

Volumen 4, Número 12 — Julio — Septiembre -2017

ISSN 2410-3454

Revista de
Aplicaciones de la
Ingeniería

ECORFAN[®]



ECORFAN-Bolivia

Indización

Google Scholar

Research Gate

REBID

Mendeley

RENIECYT

ECORFAN-Bolivia

Directorio

Principal

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Director Regional

IGLESIAS-SUAREZ, Fernando. BsC

Director de la Revista

SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC

Edición de Logística

PERALTA-CASTRO, Enrique. PhD

Diseñador de Edición

SORIANO-VELASCO, Jesus. BsC

Revista de Aplicaciones de la Ingeniería, Volumen 4, Número 12, de Julio a Septiembre -2017, es una revista editada mensualmente por Ecorfan-Bolivia. Loa 1179, Cd. Sucre. Chuquisaca, Bolivia. WEB: www.ecorfan.org, revista@ecorfan.org. Editora en Jefe: RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD, Co-Editor: IGLESIAS-SUAREZ, Fernando. ISSN-En línea: 2410-3454 Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática Ecorfan. ESCAMILLA-BOUCHÁN, Imelda. PhD, LUNA-SOTO, Vladimir. PhD, actualizado al 30 de Septiembre 2017.

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 Servicio Nacional de Propiedad Intelectual.

Consejo Editorial

GALICIA-PALACIOS Alexander. PhD
Instituto Politécnico Nacional- México

NAVARRO-FRÓMETA Enrique. PhD
Instituto Azerbaidzhan de Petróleo y Química Azizbekov-Rusia

BARDEY, David. PhD
University of Besançon-Francia

IBARRA-ZAVALA, Darío. PhD
New School for Social Research-U.S.

COBOS-CAMPOS, Amalia. PhD
Universidad de Salamanca-España

ALVAREZ-ECHEVERRÍA, Francisco. PhD
University José Matías Delgado-El Salvador

BELTRÁN-MORALES, Luis Felipe. PhD
Universidad de Concepción-Chile

BELTRÁN-MIRANDA, Claudia. PhD
Universidad Industrial de Santander- Colombia-Colombia

ROCHA-RANGEL, Enrique. PhD
Oak Ridge National Laboratory-U.S.

RUIZ-AGUILAR, Graciela. PhD
University of Iowa-U.S.

TUTOR-SÁNCHEZ, Joaquín. PhD
Universidad de la Habana-Cuba

VERDEGAY-GALDEANO, José. PhD
Universidad de Granada-España

SOLIS-SOTO, María. PhD
Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca-Bolivia

GOMEZ-MONGE, Rodrigo. PhD
Universidad de Santiago de Compostela-España

ORDÓÑEZ-GUTIÉRREZ, Sergio. PhD
Université Paris Diderot-Pari- Francia

ARAUJO-BURGOS, Tania. PhD
Universita Degli Studi Di Napoli Federico II-Italia

SORIA-FREIRE, Vladimir. PhD
Universidad de Guayaquil-Ecuador

FRANZONI-VELAZQUEZ, Ana. PhD
Instituto Tecnológico Autónomo de México-México

OROZCO-GUILLÉN, Eber. PhD
Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica-México

QUIROZ-MUÑOZ, Enriqueta. PhD
El Colegio de México-México

SALAMANCA-COTS, María. PhD
Universidad Anáhuac-México

Consejo Arbitral

MTT, PhD

Universidad de Granada-España

AH, PhD

Simon Fraser University-Canadá

AG, PhD

Economic Research Institute – UNAM-México.

MKJC MSc

Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca-Bolivia

MRCY, PhD

Universidad de Guadalajara-México

MEC, PhD

Universidad Anáhuac-México

AAB, PhD

Universidad Autónoma de Sinaloa-México

EDC, MSc

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey-México

JRB, PhD

Universidad Panamericana-México

AGB, PhD

Instituto de Biotecnología UNAM-México

ACR, PhD

Universidad Nacional Autónoma de México- México

ETT, PhD

CICATA-Instituto Politécnico Nacional-México

FVP, PhD

GHC, PhD

JTG, PhD

MMG, PhD

Instituto Politécnico Nacional-Escuela Superior de Economía-México

FNU, PhD

Universidad Autónoma Metropolitana-México

GLP, PhD
Centro Universitario de Tijuana-México

GVO, PhD
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo- México

IAA, MsC
Universidad de Guanajuato-México.

IGG, MsC
Centro Panamericano de Estudios Superiores-México

TCD, PhD
Universidad Autónoma de Tlaxcala-México

JCCH, MsC
Universidad Politécnica de Pénjamo-México

JPM, PhD
Universidad de Guadalajara-México

JGR, PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla-México

JML, PhD
El Colegio de Tlaxcala-México

JSC, PhD
Universidad Juárez del Estado de Durango-México

LCL Ureta, PhD
Universidad de Guadalajara-México

MVT, PhD
Instituto Politécnico Nacional-México

MLC, PhD
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada-México

MSN, PhD
Escuela Normal de Sinaloa-México

MACR, PhD
Universidad de Occidente-México

MAN, MsC
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato-México

MTC, PhD

Instituto Politécnico Nacional –UPIICSA-México

MZL, MsC

Universidad del Valle de México-México

MEC, PhD

Universidad Autónoma de San Luis Potosí-México

NGD, PhD

UDLA Puebla-México

NAL, MsC

Universidad Politécnica del Centro- México

OSA, PhD

Universidad Tecnológica Emiliano Zapata del Estado de Morelos-México

OGG, PhD

Universidad Autónoma Metropolitana-México

PVS, PhD

Universidad Politécnica de Tecámac-México

MJRH, PhD

Universidad Veracruzana-México

SCE, PhD

Universidad Latina-México

SMR, PhD

Universidad Autónoma Metropolitana-México

VIR, PhD

Instituto Mexicano del Transporte-México

WVA, PhD

Universidad Politécnica Metropolitana de Hidalgo-México

YCD, PhD

Centro Eleia-México

ZCN, MsC

Universidad Politécnica de Altamira-México

Presentación

ECORFAN, es una revista de investigación que publica artículos en las áreas de: Aplicaciones de la Ingeniería.

En Pro de la Investigación, Enseñando, y Entrenando los recursos humanos comprometidos con la Ciencia. El contenido de los artículos y opiniones que aparecen en cada número son de los autores y no necesariamente la opinión del Editor en Jefe.

Como primer capítulo esta *Alternativa para la utilización de recursos energéticos en una unidad de producción agropecuaria en Cajeme, Sonora*, por FORNÉS-RIVERA, René Daniel, CONANT-PABLOS, Marco Antonio, BELTRÁN-ESPARZA, Luz Elena y CANO-CARRASCO-Adolfo, con adscripción en el Instituto Tecnológico de Sonora, como siguiente capítulo esta *Redes neuronales para el control de temperatura y humedad en un invernadero de tomate*, por, GUZMÁN-GORDILLO, José, MORALES-HERNÁNDEZ, Maricela, MATADAMAS-ORTÍZ, Idarh Claudio y DÍAZ-SARMIENTO, Bibiana, con adscripción en Instituto Tecnológico de Oaxaca, como siguiente capítulo esta, *Método para determinar conductividad térmica por comparativo longitudinal de flux de calor*, por MACÍAS-MELO, Edgar Vicente, TORRES-AGUILAR, Carlos Enrique, AGUILAR-CASTRO- Karla María y PÉREZ-OLÁN, Isa Yadira con adscripción en la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, como siguiente artículo esta, *Metodología para realizar el cálculo de parámetros de rendimiento de cojinetes deslizantes finitos*, por VILLARREAL, Marco, LUGO, Eloina, GAYTÁN, Alfredo y SOTO, Francisco, con adscripción en la Universidad Politécnica de Santa Rosa Jáuregui, como siguiente capítulo tenemos *Desarrollo de un sistema SCADA para monitoreo remoto de grúas RTG en la empresa LCTPC del Puerto de Lázaro Cárdenas, Michoacán, México* por ZAPIEN-RODRIGUEZ, Jose¹, RAMIREZ-CHAVEZ, Mayra², BURGARA-MONTERO, Oscar¹, y ESCOTO-SOTELO, Edgardo¹, con adscripción en ¹ Universidad Politécnica de Lázaro Cárdenas, ² Universidad Autónoma de Queretaro, como siguiente capítulo tenemos, *Flujo y números de Nusselt en cavidades con multi-obstrucciones*, por LIZARDI, Arturo, LÓPEZ, Raymundo, TERRES, Hilario y VACA –Mabel con adscripción en Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco y como último capítulo tenemos, *Comparación del comportamiento del flujo en impulsores de disco y de flujo axial*, por LIZARDI, Arturo, TERRES, Hilario, LÓPEZ, Raymundo y VACA, Mabel, con adscripción en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco.

Contenido

Artículo	Página
Alternativa para la utilización de recursos energéticos en una unidad de producción agropecuaria en Cajeme, Sonora FORNÉS-RIVERA, René Daniel, CONANT-PABLOS, Marco Antonio, BELTRÁN-ESPARZA, Luz Elena y CANO-CARRASCO-Adolfo	1-9
Redes neuronales para el control de temperatura y humedad en un invernadero de tomate GUZMÁN-GORDILLO, José, MORALES-HERNÁNDEZ, Maricela, MATADAMAS-ORTÍZ, Idarh Claudio y DÍAZ-SARMIENTO, Bibiana	10-19
Método para determinar conductividad térmica por comparativo longitudinal de flux de calor MACÍAS-MELO, Edgar Vicente, TORRES-AGUILAR, Carlos Enrique, AGUILAR-CASTRO- Karla María y PÉREZ-OLÁN, Isa Yadira	20-28
Metodología para realizar el cálculo de parámetros de rendimiento de cojinetes deslizantes finitos VILLARREAL, Marco, LUGO, Eloina, GAYTÁN, Alfredo y SOTO, Francisco	29-35
Desarrollo de un sistema SCADA para monitoreo remoto de grúas RTG en la empresa LCTPC del Puerto de Lázaro Cárdenas, Michoacán, México ZAPIEN-RODRIGUEZ, Jose , RAMIREZ-CHAVEZ, Mayra, BURGARA-MONTERO, Oscar, y ESCOTO-SOTELO, Edgardo	36-43
Flujo y números de Nusselt en cavidades con multi-obstrucciones LIZARDI, Arturo, LÓPEZ, Raymundo, TERRES, Hilario y VACA -Mabel	44-53
Comparación del comportamiento del flujo en impulsores de disco y de flujo axial LIZARDI, Arturo, TERRES, Hilario, LÓPEZ, Raymundo y VACA, Mabel	54-65

Instrucciones para Autores

Formato de Originalidad

Formato de Autorización

Alternativa para la utilización de recursos energéticos en una unidad de producción agropecuaria en Cajeme, Sonora

FORNÉS-RIVERA, René Daniel*†, CONANT-PABLOS, Marco Antonio, BELTRÁN-ESPARZA, Luz Elena y CANO-CARRASCO-Adolfo

Instituto Tecnológico de Sonora. Departamento de Ingeniería Industrial. Ciudad Obregón, Sonora. Colonia Villa ITSON, Tel (644)410-90-01, C.P. 85000

Recibido Julio 4, 2017; Aceptado Agosto 4, 2017

Resumen

El contar con diferentes alternativas para la utilización de recursos energéticos en una Unidad de Producción Agropecuaria (UPA), es de vital importancia para su subsistencia. Los energéticos más usados en UPA son: diésel, energía eléctrica, gas lp y gasolina; su capacidad instalada es de 230 vacas en un área de 350 hectáreas, y distinta maquinaria ocupada en dos turnos laborables; al no usar estos recursos de forma eficiente, se está perdiendo rentabilidad por sus altos costos de producción, por lo anterior se planteó el objetivo de proponer alternativas para mejorar la eficiencia de recursos energéticos en el proceso de producción de leche. Para lo cual se diseñó el siguiente procedimiento: a) conocer el área bajo estudio; b) recopilar información; c) analizar información; d) elaborar alternativas de eficiencia energética y rentabilidad. Como resultado se elaboraron alternativas de uso de recursos energéticos en la UPA, trayendo consigo un ahorro en los costos fijos de producción, cumpliendo con el objetivo, concluyendo que es beneficioso implementar alternativas de ahorros energéticos, lo cual es recomendable contar con las mismas y tenerlas en constante revisión.

Recurso energético, costo, rentabilidad, establo lechero

Abstract

The existence of different alternatives for the use of energy resources in an Agricultural Production Unit (UPA) is of vital importance for their subsistence. The most used energy sources in UPA are: diesel, electric power, lp gas and gasoline; Its installed capacity is 230 cows in an area of 864.869 acres, and different machinery occupied in two shifts; by not using these resources efficiently, profitability is being lost due to its high production costs. Therefore, the objective was to propose alternatives to improve the efficiency of energy resources in the milk production process. For which the following procedure was designed: a) to know the area under study; b) collect information; c) analyze information; d) to develop alternatives of energy efficiency and profitability. As a result, alternatives were developed for the use of energy resources in the UPA, bringing with it a saving in fixed costs of production, fulfilling the objective, concluding that it is beneficial to implement alternatives of energy savings, which is advisable to have them and to have them in constant revision.

Energy resource, cost, profitability, dairy barn

Citación: FORNÉS-RIVERA, René Daniel, CONANT-PABLOS, Marco Antonio, BELTRÁN-ESPARZA, Luz Elena y CANO-CARRASCO-Adolfo. Alternativa para la utilización de recursos energéticos en una unidad de producción agropecuaria en Cajeme, Sonora. 2017, 4-12: 1-9.

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: rene.fornes@itson.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La energía, aunque parece a simple vista un concepto eminentemente físico, definida como la capacidad de hacer un trabajo, representa el proceso de creación de riqueza material y tiene una estrecha relación con el progreso social. La historia muestra que la evolución de la humanidad y la economía han estado determinadas por la disponibilidad de los recursos naturales y energéticos (Pacheco y Melo, 2015). La energía es una parte central de la vida actual, la mayoría se genera de la quema de combustibles de origen fósil como el carbón, el petróleo o el gas.

Actualmente, estos combustibles proveen el 66% de la energía eléctrica a nivel global, y a la vez responden al 95% de la demanda energética, incluyendo el calentamiento, el transporte, la generación de la electricidad y otros usos (Badii & Abreu, 2016). Se espera que el consumo energético mundial se incremente en 50% en el periodo entre 2005 y 2030, donde el petróleo seguirá siendo la principal fuente de energía (Arriola, Vázquez y López, 2016).

El suministro de energía en los últimos años ha sido impulsado por diferentes factores, en particular los avances tecnológicos que han aumentado la gama y la disponibilidad de diferentes combustibles y las rápidas ganancias tecnológicas han apoyado un crecimiento en la energía renovable, liderada por la energía eólica y solar. Estos avances significaron que, a pesar de la debilidad de la demanda de energía, el petróleo, el gas natural y las energías renovables registraron un sólido crecimiento en 2015 (Petroleum, 2016). La demanda de las economías en desarrollo de rápido crecimiento, lideradas por China e India, ha incrementado el consumo mundial de energía primaria el cual aumentó sólo un 1% en 2016, tras un crecimiento del 0.9% en 2015 y del 1% en 2014.

Esto se compara con el promedio de 10 años de 1,8% anual; como en 2015, el crecimiento fue inferior al promedio en todas las regiones excepto Europa y Eurasia. Todos los combustibles excepto petróleo y energía nuclear crecieron a tasas por debajo de la media; el consumo de energía en China creció sólo un 1,3% en 2016. El crecimiento durante 2015 y 2016 fue el más bajo. A pesar de esto, China siguió siendo el mayor mercado mundial de energía.

El petróleo fue el recurso energético de mayor incremento en el consumo de energía en 77 millones de toneladas de petróleo equivalente (mtep), seguido por el gas natural (57 mtep) y la energía renovable (53 mtep), este mismo recurso sigue siendo el combustible dominante en África y las Américas, mientras que el gas natural domina en Europa, Eurasia y Oriente Medio. El carbón es el combustible dominante en la región de Asia y el Pacífico, que representa el 49% del consumo regional de energía. En 2016, la cuota de carbón de la energía primaria cayó a su nivel más bajo en América del Norte, Europa y Eurasia y África (Petroleum, 2017).

Actualmente la población mundial crece, el consumo de energía aumenta, debido al vínculo en el desarrollo económico y calidad de vida impulsadas a partir de combustibles fósiles, como el petróleo y el gas natural (Cuapio, Lozano y Maldonado, 2016). La eficiencia energética representa la obtención de los mismos bienes o servicios con el uso de menos recursos energéticos y sin afectar los niveles de confort, calidad de vida o de productividad.

Hoy en día, la población mundial es de aproximadamente 6.5 mil millones de habitantes y para el año 2030 se estima que sea de 8.3 mil millones. Con este incremento de la población, el consumo energético será mayor, agotando aún más los recursos primarios y ocasionando un mayor daño al medio ambiente (González y Araujo, 2014).

Las fuentes de energía no renovables de origen fósil (carbón, petróleo, gas natural y otros) representan el 94% del consumo energético mundial. Esto se debe a que estas fuentes de energía tienen un mayor contenido energético, para conseguir un uso racional de los recursos, el ahorro y la eficiencia energética, se hace necesaria que se involucren todas las personas de las organizaciones, desde la alta gerencia hasta el personal de menor rango, por su parte Hernández et, al (2014) y De Laire (2013) describen que el ciclo de mejora continua para la gestión energética en, Planear: es comprender el comportamiento energético de la organización para establecer controles y objetivos necesarios; hacer: busca implementar procedimientos y procesos, con el fin de controlar y mejorar; verificar: es monitorear y medir procesos con base a las políticas, y características de las operaciones, así como reportar resultados; actuar: es tomar acciones para mejorar continuamente el desempeño energético con base a los resultados.

Según Torres, Lavayru, Cereceda, y Lavayru (2014) las medidas para mejorar el desempeño energético deben considerarse en una secuencia de complejidad creciente, se debe iniciar por las más evidentes y fáciles de implementar como:

- a. Capacitar al personal estableciendo procedimientos y controles para su cumplimiento.
- b. Establecer mecanismos y elementos de control operacional, sistemas de detección de condiciones anómalas del proceso, que activen una alarma o señal, para ejecutar correcciones de dispositivos automáticos.
- c. Mejorar equipos que incrementen el desempeño energético.
- d. Cambio de equipo, sistemas o tecnología.

Laasch y Conaway (2015), Baca, Cristóbal, Baca, Gutiérrez, Pacheco, Rivera, Rivera y Obregón (2015) sostienen que los procesos se deben de conocer, de dónde vienen, hacia dónde van y cómo interactúan para analizar y comprender en dónde se deben de integrar las actividades al diseñarlos para optimizar el uso de los recursos energéticos; por su parte Sagástegui (2014) menciona que se debe de contar con un buen respaldo económico en la implantación de estrategias necesarias como: realizar mantenimiento preventivo de equipo y maquinaria y mano de obra calificada.

México ha fijado metas ambiciosas para la reducción de emisiones hacia el 2020 y 2050. Después del sector transporte, el uso final de la energía es el sector industrial y de servicios es uno de los que presenta las mayores áreas de oportunidad. Prácticas como el ahorro y uso eficiente de la energía pueden contribuir a alcanzar esas meta (Hernández, Ezequiel, Flores y Sosa, 2014); a su vez Becerra, Rodríguez, Godínez y Morales (2016) reportan que aunque México es considerado uno de los diez productores y exportadores de petróleo en el mundo, también experimenta un declive en la producción de crudo por los bajos precios internacionales, por lo cual se debe de empezar a trabajar en el desarrollo de nuevas fuentes de energía.

Con respecto a lo anterior Romero, Romero y Muñoz (2015) mencionan que el objetivo de una organización debe ser la optimización en el manejo y uso de energéticos utilizándolos de manera eficiente, evaluando los factores económicos que inciden en su implementación, mejorando el uso de los mismos en la reducción de costos, por su parte Evans y Lindsay (2015) argumentan que los cambios deben de ser una tarea de la administración proactiva, la cual se debe de considerar como una oportunidad y no como una reacción ante los problemas y las amenazas de la competencia.

En la actualidad los indicadores económicos agrícola se encuentran estancados, ya que se prevé que el ritmo de las importaciones de granos y oleaginosas en 2020, éstas serán del orden de 80%; por lo tanto, el desarrollo de las actividades en el sector agropecuario requiere de una serie de acciones que comprometen la sustentabilidad productiva (Campos, Jiménez y Juárez, 2013). Por su parte Ortiz-Laurel, Kipping, García y Muñoz (2016) afirman que las pequeñas y medianas empresas agroindustriales son los sectores donde la aplicación de las energías renovables tiene el mayor potencial para su pleno desarrollo.

Dentro de las actividades económicas primarias se encuentran las UPA's, siendo una extensión de tierra de 500 m² o más, dedicada total o parcialmente a la producción agropecuaria, considerada como una unidad económica, en las cuales la utilización de recursos energéticos es de vital importancia para el desarrollo del proceso de producción. Las UPA deben manejar en forma integrada las condiciones naturales de clima, vegetación, suelos, condiciones biológicas de plagas, enfermedades y las condiciones económicas y sociales como los precios, venta y compra, financiamiento, trabajo e inversiones capitalizables, manejando la explotación haciendo uso de los factores de producción que dispone, maximizando el beneficio económico (AGROCA, 2010).

Derivado de lo anterior se registran 9.4 millones de terrenos rurales (194 millones de hectáreas). Se realizan actividades agrícolas, pecuarias y/o forestales en 8.6 millones de terrenos (112 millones de hectáreas), de las cuales 4.8 millones son UPA (que comprenden los 8.6 millones de terrenos) (Censo Agropecuario, 2017).

El costo de la energía en las UPA constituye uno de los factores de mayor peso del proceso productivo. Un correcto consumo de energéticos permite alcanzar mayor productividad en su producción. Por esta razón el conocimiento de consumo de energéticos en sus procesos, repercute en sus costos, su posición relativa respecto a otras empresas similares identificando las posibilidades de ahorro (ATISAE, 2010).

Según Establo lechero (2017) dentro de las UPA se deriva el sector ganadero y de éste, el sector de producción de leche, siendo un establo lechero el cual requiere de los siguientes recursos energéticos para su producción:

- Diésel: Para el abastecimiento de materia prima a través de tractores y camiones de carga.
- Energía eléctrica: Para la extracción de agua de pozo, alumbrado, y uso de la maquinaria de ordeña.
- Gas LP: Para calentar agua, la cual es utilizada en el proceso de limpieza y esterilización de maquinaria.
- Gasolina: Para el movimiento de vehículos propios del establo y personal.

Los costos principales para el establo son el alimento para el ganado, siendo la base para la producción de leche, pero no es recomendable reducir la dieta, el consumo de energéticos y el pago de nómina.

En el caso del establo lechero de interés los energéticos involucrados impactan al proporcionar alimentación continua al ganado, el cual se ordeña dos veces por día a 230 vacas que producen 4,900 litros de leche diarios, a través de trece empleados; por lo que sin el manejo óptimo de los recursos sería imposible lograr la rentabilidad y competitividad que se requiere.

Se detecta por medio de la observación y a través de entrevistas no estructuradas que los trabajadores operan de una manera empírica y no organizada para el abastecimiento en grandes cantidades, y de una manera constante, de granos, alfalfa, agua, vitaminas y proteínas; así como energéticos en los viajes constantes para proveerse de materias primas y diésel, al no contar con almacenes para materia prima y tanques de combustible, por lo que el abastecimiento de los mismos resulta costoso. Partiendo de lo anterior, se da paso a generar la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué tipo de intervención es pertinente a la operación de la UPA que permita mejorar la rentabilidad de la misma? Por lo anterior, se definió el objetivo el cual consistente en proponer alternativas para mejorar la eficiencia en el uso de recursos energéticos de una UPA en Cajeme, Sonora.

Metodología a desarrollar

El objeto de estudio fueron los recursos energéticos en el proceso de producción de leche (diésel, electricidad, gas lp y gasolina). Los materiales fueron:

- Curso básico de ahorro de energía eléctrica publicado por la empresa ESM S.A. de C.V. (Energy and Water Savings Multinational);
- La herramienta de auditoría energética de la empresa MEGACAL.

Para lo cual se diseñó el siguiente procedimiento:

- conocer el área bajo estudio;
- recopilar información;
- analizar información;
- elaborar alternativas de eficiencia energética y rentabilidad.

Resultados

En esta sección se analizaron los resultados obtenidos como parte de la metodología.

Conocer el área bajo estudio

Para este punto se realizó una distribución de planta, ver figura 1.



Figura 1 Distribución de planta del establo

Fuente: Establo lechero (2017)

La distribución de planta consiste en seis corrales de ordeña, en los cuales está organizado el ganado, un área de vacas secas, (no se encuentran en producción) y dos áreas para la crianza de becerros, la preparación de las dietas, el almacén de materia prima, el silo, molino, sala de ordeña, limpieza del ganado, enfermería, cuarto de refrigeración de leche, taller de soldadura, pozo de donde se extrae agua y oficina, contando con trece empleados.

Recopilar información

A través de visitas y entrevista al responsable del establo se obtuvo información en relación al alimento para el ganado consumido en un mes, ver tabla 1.

Materia Prima	Tipo de entrega	Entrega al mes	Consumo (Ton.)	Costo (\$)
Alfalfa	Domicilio	1	12	31,231
Maíz	Sucursal	4	40	153,552
Silo de maíz	Domicilio	1	200	106,706
Grano	Sucursal	2	16	53,353
Pasta soya	Sucursal	2	16	120,760
Minerales	Domicilio	4	1	11,712
Rastrojo	Domicilio	1	24	15,615
Proteína	Domicilio	4	6	46,846
		TOTAL	315	\$539,775

Tabla 1 Alimento para el ganado

Fuente: Adaptado de Establo lechero (2017)

El consumo de energéticos se puede apreciar en la tabla 2.

Energético	Cantidad	Costo/ unidad	Costo Total	%
Electricidad (KWH)	15,909.09	\$0.58	\$9,227.27	7%
Gas LP (Lts.)	1,069.00	\$15.99	\$17,093.31	14%
Diesel (Lts.)	5,299.00	\$17.36	\$91,990.64	73%
Gasolina (Lts.)	487.80	\$16.42	\$8,009.68	6%
		Total =	\$126,320.90	100%

Tabla 2 Consumo de energéticos mensual

Fuente: Adaptado de Establo lechero (2017)

A su vez se muestra un diagrama de recorrido del carro mezclador jalado por un tractor para proporcionar la dieta uno, al corral cinco, ver figura 1, en la cual no se muestran los restantes cuatro recorridos que se realizan por el establo para proporcionar la mezcla adecuada de alimento, ya que es muy repetitivo.

Analizar información

Se analizaron los datos recopilados, lo cual sirvió para comprender de una manera clara, el cómo y para qué, los energéticos son utilizados en el proceso de producción de leche, ver Tabla 3

Proceso de producción de leche		
Equipo	Energético	Actividad
Tractor molino	Diesel	Molido de maíz, alfalfa
Carro mezclador	Diesel	Repartición de la dieta
Carro de pipa	Gas LP	Entrega de la leche
Calentador de agua	Gas LP	Calentar agua para lavado de ordeña y alimento para becerros

Carros de trabajo	Gasolina	Transporte de granos, gasolina, diésel
Bombas de agua	Electricidad	Extracción de agua
Ordeñadoras	Electricidad	Extracción de leche
Equipo de enfriamiento	Electricidad	Mantener la leche fría
Total = 8	Energéticos = 4	Actividades = 8

Tabla 3 Equipos de consumo, energéticos y actividades

Fuente: Adaptado de Establo lechero (2017)

De igual manera en la Tabla 4, se presenta el análisis de los recorridos actuales del carro mezclador, donde se muestran indicadores.

Tipo de Dieta	Sin Suministrar Alimento				Suministrando Alimento				TOTAL				
	Distancia (m)	Tiempo (seg)	Diesel (lts)	Costo (\$)	Distancia (m)	Tiempo (seg)	Diesel (lts)	Costo (\$)	Distancia (m)	Tiempo (seg)	Diesel (lts)	Costo (\$)	Eficiencia (%)
1	327.00	267.91	1.08	18.73	68.40	56.04	0.23	3.92	395.40	323.95	1.30	22.65	17.30%
2	455.20	372.94	1.50	26.08	107.93	88.43	0.36	6.18	563.13	461.37	1.86	32.26	19.17%
3	865.19	708.85	2.86	49.56	67.51	55.31	0.22	3.87	932.70	764.16	3.08	53.43	7.24%
4	474.65	388.88	1.57	27.19	33.17	27.18	0.11	1.90	507.82	416.06	1.68	29.09	6.53%
5	789.77	647.06	2.61	45.24	77.00	63.09	0.25	4.41	866.77	710.14	2.86	49.65	8.88%
Total	2,911.81	2,385.64	9.61	166.81	354.01	290.04	1.17	20.28	3,265.82	2,675.68	10.78	187.09	10.84%

Velocidad = $\frac{4.394}{\text{km/hr}}$
Consumo = $\frac{14.5}{\text{lts/hr}}$
Diesel = $\frac{17.36}{\text{\$/lt}}$

Recorridos diarios = 2
Costo diario = \$374.18
Costo mensual = \$11,225.38

Tabla 4 Distancias recorridas y consumo de diésel actual

Fuente: Adaptado de Establo lechero (2017) Nota. Consumo de diésel del tractor New Holland 7610, una velocidad de 4.394 km/hr con la toma de fuerza trabajando es de 14.5 lts / hr. Fuente: Jefe de Servicios New Holland (2017)

Elaborar alternativas de eficiencia energética y rentabilidad

Se estudiaron datos a través de los indicadores resultantes de los recorridos, en los cuales sólo se consideró el diésel, el cual representa el 73% de los costos. El restante 27% de los costos está desglosado en (energía eléctrica, gas lp, y gasolina).

Para realizar esto es necesario hacer una reubicación estratégica de la toma de agua, con base a la cercanía al almacén de materia prima para reducir los recorridos del tractor y carro mezclador en la distribución del alimento, para lo cual solo se requirió invertir \$382, lo cual ocasionó una disminución en distancia de 81.4 km/mes, ahorro de 268.61 lts/mes de diésel, que equivale a \$4,663, lo que resultó en un Valor Presente Neto (VPN) de \$31,390.25; lo cual significa una ganancia de \$31,390.25, adicionales a los mínimos aceptables, a valor de dinero del inicio del horizonte de planeación.

La Tabla 5, muestra la diferencia en el gasto de diésel así como las distancias que se recorrerían en cada una de las dietas después de instalar la nueva toma de agua cercano al almacén de materia prima (ver Figura 1 de apoyo, ya que con los resultados de la propuesta a través del cambio de la toma de agua, las rutas cambiaron, y el resultado se aprecia en la Tabla 5.

Tipo de Dieta	RECORRIDOS												Eficiencia (%)
	Sin Suministrar Alimento				Suministrando Alimento				TOTAL				
	Distancia (m)	Tiempo (seg)	Diésel (lts)	Costo (\$)	Distancia (m)	Tiempo (seg)	Diésel (lts)	Costo (\$)	Distancia (m)	Tiempo (seg)	Diésel (lts)	Costo (\$)	
1	172.61	141.42	0.57	9.89	69.23	56.72	0.23	3.97	241.84	198.14	0.80	13.85	28.63%
2	222.87	182.60	0.74	12.77	107.93	88.43	0.36	6.18	330.80	271.02	1.09	18.95	32.63%
3	367.28	300.91	1.21	21.04	67.51	55.31	0.22	3.87	434.79	356.22	1.43	24.91	15.53%
4	221.49	181.47	0.73	12.69	33.17	27.18	0.11	1.90	254.66	208.64	0.84	14.59	13.03%
5	570.08	467.07	1.88	32.66	77.00	63.09	0.25	4.41	647.08	530.15	2.14	37.07	11.90%
TOTAL	1,554.33	1,273.46	5.13	89.04	354.84	290.72	1.17	20.33	1,909.17	1,564.18	6.30	109.37	18.5861%

Recorridos diarios = 2

Costo diario = \$ 218.74

Tabla 5 Distancias recorridas y consumo de diésel propuesto

Fuente: Adaptado de Establo lechero (2017)

Alternativa 1 (Diésel)

Constitución de una cooperativa entre miembros de productores de leche del Valle del Yaqui, con un tanque de autoconsumo de 40,000 lts. Se evaluó ponderando costos, gastos e inversión al consumo de 5,000 lts/mes. Por lo que participaría con una inversión de \$21,794, generándole un costo de operación y mantenimiento de \$650.65 mensual y un ahorro mensual de \$ 18,394, por un periodo de cinco años; lo que da como resultado un VPN = \$550,807.50.

Alternativa 2 (Diésel)

Invertir \$17,794 en la compra de una nodriza de 5,000 lts para el autoconsumo del establo, la cual arrojó un ahorro mensual de \$18,316 y un VPN de \$542,674.23.

Conclusiones

Derivado del análisis realizado en el estudio del impacto económico de los recursos energéticos, se recomienda implementar la alternativa uno, constitución de una cooperativa entre miembros de productores de leche del Valle del Yaqui, con un tanque de autoconsumo de 40,000 lts, ya que ofrece un beneficio económico adicional de \$ 8,133.27 sobre la alternativa dos y además por que esta alternativa extiende el beneficio a otros socios de la cooperativa que es la compra de una nodriza de 5000 lts; necesarios para la operación del establo lechero y en concordancia con el resultado traducido en alternativas de ahorro de recursos energéticos se determina que se cumplió el objetivo planteado en la presente investigación.

A su vez se debe de disponer de información actual y pertinente en relación al consumo, pero sobre todo de desperdicios de recursos energéticos, por desconocimiento, manipulación y transporte de los mismos.

Se logró ponderar diferentes alternativas (diésel, energía eléctrica, gas lp y gasolina) en el uso de energéticos, determinando que el diésel es el recurso crítico con un 73 % en la operación. Se recomienda dar inicio con el uso de la alternativa 1 de ahorro de energético, estarlos actualizando, mantener en condiciones óptimas la maquinaria para reducir el consumo de combustible y un buen programa de mantenimiento y conservación de las áreas de interés.

Se recomienda igualmente no descuidar la parte de los costos de las materias primas y lo relacionado al personal en cuanto a su capacitación oportuna y adecuada en el uso eficiente de recursos energéticos con el objetivo de bajar costos logrando la permanencia en el mercado del establo y no impactar de forma negativa al medio ambiente con el despilfarro de recursos energéticos.

Referencias

AGROCA (2010). *Agropecuaria H. Carrillo*. Recuperado el 3 de Marzo del 2010. Desde <http://agroca.com.ve/mundo.php?id=44>

Arriola, L. D., Vázquez, C. P., y López, V. M. (2016). *Efectos del polvo en el desempeño de un arreglo fotovoltaico instalado en un clima costero*. Revista de aplicaciones de la ingeniería 2016, 104-113.

ATISAE (2010). *Asistencia Técnica Industrial*. Recuperado el 5 de Marzo del 2010. Desde http://www.atisae.com/opencms/opencms/sectores/energia/3_Ficha_comerc_E_E_Industria.pdf

Baca, U.G., Cruz, V.M., Cristóbal, V.M.A., Baca, C.G., Gutiérrez, M.J.A., Pacheco, E.A.A., Rivera, G.A.E., Rivera, G.I.A. y Obregón, S.M.G. (2015). *Introducción a la Ingeniería Industrial*. Grupo editorial patria. México.

Badii, M. A., & Abreu, J. (2016). *Renewable Energies and Energy Conservation*. Daena: International Journal of Good Conscience, 141-155.

Becerra, J. C., Rodríguez, L. V., Godínez, R. L., y Morales, M. D. (2016). *Biocombustibles (Energías Renovables) utilizando residuos plásticos*. Revista de Energía Química y Física, 2016, 1-13.

Campos, M. Á., Jiménez, A. M., y Juárez, M. Y. (2013). *Los sistemas de gestión ambiental y su aplicación en la industria agropecuaria de México: una breve revisión del tema*. Entreciencias: diálogos en la Sociedad del Conocimiento 2013, 1(2).

Censo Agropecuario 2017. (2017). *Panorama general*. INEGI. Recuperado de: <http://www.iiieg.gob.mx/contenido/ceieg/Presen-tacion%20Panorama%20General.pdf>

Cuapio, A. A., Lozano, Y. E., y Maldonado, M. J. (2016). *Obtención de energía a partir de residuos sólidos: Situación actual en el Estado de México*. Revista de Investigación y Desarrollo 2016, 71-76.

De Laire, M. (Diciembre de 2013). *Guía de Implementación de Sistema de Gestión de la Energía Basada en ISO 50001*. Recuperado 26 de marzo de 2015 de Agencia Chilena de eficiencia energética: www.acce.cl

Evans, J. R. y Lindsay, W.M. (2015). *Administración y control de la Calidad*. México: CENGAGE Learning.

Establo lechero (2017)

González, C. P., y Araujo, G. (2014). *Uso racional de la energía eléctrica en el sector administrativo. Consumo eficiente*.

Hernández, A., Ezequiel, G., Flores, L. y Sosa, R. (19 de agosto de 2014). *Manual para la implementación de un sistema de gestión de la energía*. Recuperado 25 de abril del 2015 de Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE): <http://www.conuee.gob.mx/pdfs/ManualGestionEnergia>

Jefe de Servicios New Holland (2017)

Laasch, O. y Conaway, R.N. (2015). *Principio de administración responsable. Sostenibilidad, responsabilidad y ética locales*. CENGAGE Learning. México.

Pacheco, F. M., y Melo P. Y. E. (2015). *Recursos naturales y energía. Antecedentes históricos y su papel en la evolución de la sociedad y la teoría económica*. Revista energética, 2015, 107-115.

Petroleum, B. (2016). *BP Statistical Review of World Energy*. June 2016.

Petroleum, B. (2017). *BP Statistical Review of World Energy*. June 2017.

Romero, H.S., Romero, H.O. y Muñoz, N.D. (2015). *Introducción a la Ingeniería*. CENGAGE Learning. México.

Sagástegui, D.A. (2014). *Propuesta para reducir las emisiones de polvo fugitivo en el proceso productivo de una empresa cementera* (Doctoral dissertation, universidad peruana de ciencias aplicadas-UPC)

Ortiz-Laurel, H., Kipping, D. R., García, H. M., y Muñoz, L. G. (2016). *Balance energético de la biomasa agrícola con procesos y tecnologías de vanguardia*. Revista de Energía Química y Física 2016, 9-14.

Torres, P., Lavayru, R., Cerceda, R. y Lavayru, D. (Diciembre de 2014). *Guía Eficiencia energética en proyectos de inversión. De Agencia Chilena de eficiencia energética*: http://www.acce.cl/system/files/guia_de_ee_en_proyectos_de_inversion_0.pdf

Redes neuronales para el control de temperatura y humedad en un invernadero de tomate

GUZMÁN-GORDILLO, José †, MORALES-HERNÁNDEZ, Maricela*, MATADAMAS-ORTÍZ, Idarh Claudio y DÍAZ-SARMIENTO, Bibiana

Instituto Tecnológico de Oaxaca, Departamento de Sistemas y Computación. Avenida Ing. Víctor Bravo Ahuja No. 125 Esquina Calzada Tecnológico, C.P. 68030 Tels. (951) 501 50 16 ext 264 ó 237

Recibido Julio 8, 2017; Aceptado Septiembre 14, 2017

Resumen

El artículo presenta el resultado obtenido de utilizar "Redes Neuronales para el control de temperatura de un invernadero de tomate". Uno de los problemas a los que se enfrentan los agricultores de invernaderos es la variación de temperatura en los mismos. Si la temperatura baja o sube, rebasando los umbrales aceptables para que un cultivo se desarrolle adecuadamente, el resultado puede ser un cultivo de baja calidad. Mantener una temperatura constante representa una oportunidad de mejora en el proceso de cultivo de hortalizas como el tomate. Se experimentó con una red neuronal artificial (RNA) tipo perceptrón multicapa instalada en un invernadero de tomate en producción ubicado en San Andrés Ixtlahuaca, Oaxaca; cuyo objetivo es probar la efectividad de la RNA para predecir temperatura y humedad dentro del invernadero. Se realizó un comparativo utilizando el modelo estadístico de suavizamiento exponencial para predecir la temperatura contra los resultados de predicción de la RNA en campo, los hallazgos son que las predicciones de la RNA se acercan a los datos de temperaturas reales en un 89.52 %. Mientras que con el modelo estadístico las predicciones se acercan también en un porcentaje mayor al 80 %; sin embargo, el prototipo parece más preciso que el modelo estadístico.

Redes Neuronales Artificiales, Invernadero, Predicción, Temperatura

Abstract

This paper presents the results obtained using "Neural networks for the control of temperature of a tomato greenhouse". One of the problems faced by greenhouse farmers is the temperature variation within them. When the temperature goes down or rises, exceeding the acceptable thresholds for a crop to develop properly, the result can yield a low quality crop that would have sold at low prices. The importance of maintaining a constant temperature represents an opportunity for improvement the process of growing vegetables such as tomatoes. The experiment used an artificial neural network (ANN), it is a multilayer perceptron type which was installed in a tomato greenhouse in production. It is located in San Andrés Ixtlahuaca, Oaxaca; the main objective of the experiment is to test the effectiveness of ANN to predict temperature and humidity inside the greenhouse, so that the farmer takes the actions anticipated in order to maintain the best conditions for the crop to obtain a quality harvest. The proposed statistical model for the prediction of temperatures is the exponential smoothing and the results obtained show that 89.52% of the predictions are close to the real temperature data. The statistical model predictions are also approaching in a percentage greater than 80%; however, but prototype has better results.

Artificial Neural Network, Greenhouse, Prediction, Temperature

Citación: GUZMÁN-GORDILLO, José, MORALES-HERNÁNDEZ, Maricela, MATADAMAS-ORTÍZ, Idarh Claudio y DÍAZ-SARMIENTO, Bibiana. Redes neuronales para el control de temperatura y humedad en un invernadero de tomate. Revista de Aplicaciones de la Ingeniería 2017, 4-12: 10-19.

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: moralesh.maricela@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La región Valles Centrales del Estado de Oaxaca tiene 4,223 invernaderos (SAGARPA, 2015), en la mayoría de ellos se cultiva tomate rojo (jitomate), para su cultivo se requieren estándares y microclimas que cuenten con las condiciones óptimas para que el crecimiento sea rápido y de mayor calidad.

Por lo anterior, en el presente artículo se describe el experimento hecho con Redes Neuronales para la predicción de temperatura y humedad en un invernadero de tomate en producción ubicado en San Andrés Ixtlahuaca, Oaxaca, con el objetivo de determinar la eficiencia con la que se pueden predecir la temperatura y humedad internas en un invernadero real; pensando que en un futuro se puedan construir sistemas autónomos que sean capaces de mantener esas variables climáticas en los umbrales deseados para cada tipo de cultivo.

El objetivo del artículo es divulgar los resultados obtenidos en este experimento, y aunque el uso de la red neuronal artificial para hacer predicciones se ha propuesto por diferentes investigadores, se ha retomado particularmente en el estado de Oaxaca, debido a que los invernaderos que existen actualmente no utilizan la tecnología a su favor y aún trabajan con técnicas tradicionales de cultivo y producción.

Es importante hacer notar que este trabajo investigativo se desarrolló en tres etapas; la primera consistió en la elaboración del prototipo basado en Redes Neuronales; la segunda etapa consistió en realizar una serie de entrenamientos que se realizaron en condiciones controladas en el Instituto Tecnológico de Oaxaca, obteniendo la mejor configuración para la Red Neuronal.

La tercera etapa consistió en probar el prototipo en un invernadero en producción que no contara con ningún tipo de apoyo tecnológico en su operación, así mismo se eligió un invernadero de la región de Valles Centrales por ser donde se encuentra la mayor concentración de éstos (Méndez, 2011).

Redes Neuronales Artificiales

Las redes neuronales artificiales (RNA) son conjuntos de elementos que interactúan entre sí, simulando la estructura y funcionamiento de las neuronas biológicas del cerebro humano, como se ilustra en la figura 1. Estas procesan información recibida por medio de impulsos o datos de entrada (exterior) para generar una salida (respuesta) conforme al proceso que está destinada a realizar (Florez, 2008).

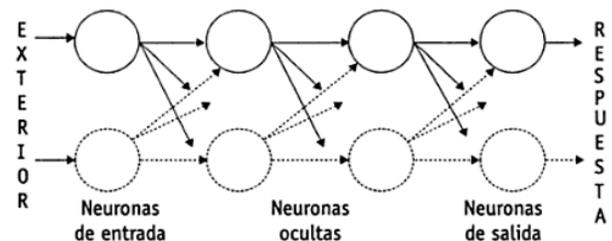


Figura 1 Funcionamiento del procesamiento de información en una red neuronal

Fuente: (Florez, 2008)

La actividad que una unidad de procesamiento o neurona artificial realiza en un sistema de este tipo es simple. Normalmente, consiste en sumar los valores de las entradas (inputs) que recibe de otras unidades conectadas a ella, comparar esta cantidad con el valor umbral y, si lo iguala o supera, enviar activación o salida (output) a las unidades a las que esté conectada (Montaño, 2002).

Para este trabajo se utilizó una red neuronal conocida como perceptrón multicapa, éste es un modelo con “propagación hacia delante” que se caracteriza por su organización en capas de celdas disjuntas, de forma que ninguna salida neuronal constituye una entrada para las neuronas de la misma capa o de capas previas, evitando así las conexiones “hacia atrás” o “autorrecurrentes” (Florez, 2008).

Correlación

Para analizar la efectividad de los pronósticos de temperatura y humedad se utilizó la técnica estadística de correlación, así como para determinar la dependencia entre las variables temperatura y humedad en el interior del invernadero, es deseable “conocer si estas dos variables está relacionadas o no, y de estarlo, conocer el grado de asociación entre ellas.

Cabe señalar que, al igual que otros coeficientes de correlación su valor va de -1 a $+1$, si su valor está cerca de $+1$ existe una relación directa muy fuerte entre las dos variables, si está cerca de -1 , existe una relación inversa muy fuerte y si está cerca de cero, no hay relación entre las variables” (Marques, 2009).

Hipótesis

Las predicciones de temperatura y humedad dentro de un invernadero de tomate realizadas por un prototipo basado en Red Neuronal Artificial se acercan a los valores reales al menos en un 80 %.

Metodología

La metodología utilizada en este trabajo es de tipo experimental con un enfoque cuantitativo, ya que de acuerdo con Gómez (2006) el investigador utiliza su diseño para analizar la certeza de la hipótesis formulada.

En este caso, el experimento propuesto consiste en instalar en un invernadero en producción un prototipo basado en RNA, realizando predicciones cada 10 minutos para una muestra de 50 días, las variables climáticas a censar son la temperatura y humedad relativa, tanto interna como externa al invernadero seleccionado.

La técnica de recolección de datos que se ha utilizado es la experimentación, dado que se puso en marcha el prototipo basado en RNA directamente en el sitio donde se genera la información.

Una vez obtenidos los datos de predicción se utilizó la técnica estadística de correlación para poder determinar si los datos arrojados por el prototipo se acercaron a los datos reales de temperatura y humedad que de forma natural se presentaron en el ambiente, así como la relación que guardan estas dos variables.

Por otro lado, se propone utilizar el modelo estadístico para la predicción de temperaturas de suavizamiento exponencial, el cual emplea un ponderado en la serie de tiempo pasada como pronóstico; es un caso especial del método de promedios móviles ponderados en el cual solo se selecciona un peso o factor de ponderación: el de la observación más reciente.

Los factores para los demás valores de datos se calculan en forma automática y se hacen menores a medida que las observaciones son más y más antiguas (Hanke, 2006), y una vez obtenidas las predicciones mediante la correlación analizar si con el modelo estadístico éstas se acercan a los datos reales.

Desarrollo

Investigación previa sobre agricultura protegida en la región de los Valles Centrales del estado de Oaxaca

La Agricultura es la principal actividad del sector primario en el estado de Oaxaca, caracterizada por ser extensiva, por temporadas, tradicional y de subsistencia; debido a que la mayor parte de la población es rural, este sector absorbe el 51.39 % de la población, y su principal característica es ser mano de obra no calificada; además de considerarse como población que vive en la marginación, pobreza y pobreza extrema (Berumen, 2006).

Según los datos obtenidos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SAGARPA, 2015) se cuenta con un registro de 4223 invernaderos en la región de Valles Centrales, los 10 tipos de cultivo más importantes son los que se listan en la tabla 1.

Los invernaderos que están ubicados en la región de los valles centrales de Oaxaca y que se dedican a la producción del tomate rojo (jitomate) son los más productivos (Méndez, 20011). En esta región existen 378 unidades de producción las cuales 303 están activas y 75 inactivas. De las primeras, 288 se dedican a la producción del tomate (Pichardo, 2014).

Debido a que el cultivo en invernadero predominante en los Valles Centrales del estado de Oaxaca es el tomate rojo o jitomate, se eligió para esta investigación un invernadero de este tipo.

No.	Tipo de Cultivo
1	Tomate rojo (Jitomate)
2	No disponible
3	Chile de agua
4	Chile verde
5	Flores
6	Sin cultivo
7	Tomate de cascara (miltomate)
8	Ejote
9	Lilis
10	Crisantemo

Tabla 1 Tipos de Cultivo en la región de valles Centrales
Fuente: (SAGARPA, 2015)

La duración del ciclo del cultivo de tomate está determinada por las condiciones climáticas de la zona en la cual se establece el cultivo, el suelo, el manejo agronómico que se dé a la planta, el número de racimos que se van a dejar por planta y la variedad utilizada.

En un invernadero cuando se produce un aumento de temperatura, ésta provoca en la planta una alteración de todos los procesos biológicos y térmicos por tal motivo en necesario conocer los umbrales de temperatura y sus efectos en la planta del tomate tal y como se muestra en la tabla 2.

Temperatura	Efecto
Mínima 10-12° C	Los procesos de toma de nutrientes y crecimiento alcanzan una intensidad mínima o se detienen; si la temperatura mínima se prolonga por varios días la planta se debilita y si ocurren temperaturas por debajo de este nivel, la planta sufre una progresiva decadencia o muerte.
Óptima 21-27° C	Todos los procesos bioquímicos se desarrollan normalmente; el crecimiento vegetativo, la floración y la fructificación son adecuados.
Máxima 33-38° C	Los procesos bioquímicos y de toma de nutrientes están al máximo, son excesivos y agotadores para la planta, se presentan desórdenes fisiológicos y se detiene la floración; cuando estas temperaturas se prolongan ocurre la muerte de la planta.

Tabla 2 Temperaturas que influyen en el crecimiento del tomate rojo

Fuente: (Control Climática en Invernaderos, 2006)

Instalación y configuración de la RNA en un invernadero de tomate en producción para la recolección de datos

El presente trabajo forma parte de una investigación desarrollada en diferentes etapas, en la primera de ellas se implementó el prototipo basado en RNA para la predicción de temperatura de un invernadero (Pérez, 2015), en la segunda etapa se hicieron entrenamientos con la RNA para seleccionar la mejor configuración y en la tercera etapa se instaló el prototipo en un invernadero en producción.

Este invernadero se encuentra en la comunidad de San Andrés Ixtlahuaca, la cual se localiza en la parte central del estado, en la región de los Valles Centrales, perteneciente al distrito del Centro. Se ubica en las coordenadas 96°49' longitud oeste, 17°04' latitud norte y a una altura de 1,620 metros sobre el nivel del mar. Tiene una superficie total de 35.77 kilómetros cuadrados. Su clima es templado con lluvias en verano.

El invernadero donde se trabajó con el prototipo tiene las siguientes características acorde con las recomendaciones de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, como se ilustra en la figura 2.

- Estructura de invernadero con ventila central fija
- Ventana cenital manual
- Ventana perimetral manual
- Sistema de riego localizado con eyección de fertilizante manual
- Apto para climas templados y fríos
- Dependiendo de la región del país resisten vientos de 80 a 120 km/hr



Figura 2 Invernaderos de clima templado

Fuente: Elaboración propia.

Dentro del invernadero se colocó un sensor en la parte central de la nave como se muestra en la figura 3 y 4 a una altura aproximada de dos metros para poder captar los datos de la temperatura y la humedad.



Figura 3 Toma frontal del sensor dentro del invernadero

Fuente: Elaboración propia.



Figura 4 Toma lateral del sensor dentro del invernadero

Fuente: Elaboración propia.

Se colocó otro sensor en el exterior a unos cuantos metros del invernadero, la ubicación física se muestra en las figuras 5 y 6.



Figura 5 Toma lejana del sensor externo.

Fuente: Elaboración propia



Figura 6 Acercamiento a la posición del sensor externo

Fuente: Elaboración propia

Existen tres factores determinantes para el funcionamiento correcto del prototipo basado en RNA:

- Error cuadrático medio
- Porcentaje de clasificaciones correctas en datos de entrenamiento.

- Porcentaje de clasificaciones correctas en datos de validación

Durante la investigación se hicieron entrenamientos a la RNA con los datos obtenidos de las lecturas de la temperatura y la humedad dentro y fuera del invernadero, realizando diferentes configuraciones en los datos de entrada; tales como el número de épocas, la cantidad de neuronas ocultas y el error cuadrático medio, ya que estas variables son factores importantes para determinar el mayor porcentaje de patrones clasificados correctamente en los datos del entrenamiento, así como también en los datos de validación. La configuración de la Red Neuronal que se eligió para los experimentos es la siguiente:

Datos:

- Cantidad total de datos: 2907
- Cantidad de datos utilizados para entrenamiento: 1500
- Cantidad de datos utilizados para validación: 1407
- Cantidad relativa de datos utilizados para entrenamiento: 55 %
- Cantidad relativa de datos utilizados para validación: 45%
- Fecha de inicio del conjunto de datos: 16/01/2017
- Fecha de término del conjunto de datos: 06/03/2017
- Intervalo de minutos utilizado: 10 min

Los datos de entrada contienen la siguiente información:

- Hora
- Minuto
- Temperatura interna
- Humedad interna
- Temperatura externa
- Humedad externa

Los datos de salida son un conjunto binario de seis dígitos con el formato mostrado en la tabla 3.

Fecha	'2017-01-13'
Hora	14
Minuto	6
Temperatura Exterior	28
Humedad Exterior	20
Humedad Interior	18
Temperatura Interior	31

Tabla 3 Formato de los datos obtenidos por el prototipo
Fuente: *Elaboración propia*

Sin embargo, es necesario normalizar los datos de entrada, ya que de lo contrario tendrán un efecto adicional sobre la neurona, dando lugar a decisiones incorrectas debido a los diferentes órdenes de magnitud (Parfenovich, 2014).

La fórmula que se aplicó para normalizar los datos es la siguiente:

$$f(x) = \frac{(x - \text{mínimo})(d2 - d1)}{(\text{máximo} - \text{mínimo})} + d1 \quad (1)$$

Los valores d1 y d2 son los límites de los rangos en los cuales se desean mantener los datos en este caso será d1=0 y d2=1.

Los valores que se denotan en (1) como máximo y mínimo son los que se obtienen del prototipo, los cuales se presentan en la tabla 4.

Variable	Máximo	Mínimo
Hora	23	0
Minuto	59	0
Temperatura	40	0
Humedad	95	11

Tabla 4 Valores máximos y mínimos de los datos obtenidos por el prototipo
Fuente: *Elaboración propia*

Resultados

Una vez que se instaló y configuró el prototipo en el invernadero de San Andrés Ixtlahuaca, se obtuvo una submuestra de predicciones de temperatura y humedad interna que corresponden a los días del 13 de enero de 2017 al 6 de febrero del 2017. En el gráfico 1, se muestra la correlación que existe entre estas dos variables, se aprecia que en las primeras horas del día se mantiene una temperatura relativamente baja y humedad alta.

Conforme avanzan las horas y la temperatura aumenta la humedad descende, y de la misma manera mientras se acerca la noche la temperatura comienza a descender y la humedad vuelve a aumentar.

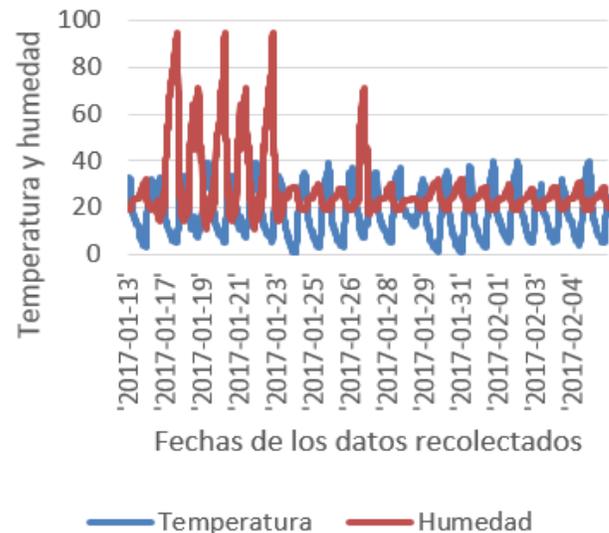


Gráfico 1 Temperatura y humedad interna del invernadero
Fuente: *Elaboración propia*

La humedad ambiental es otro factor importante que se debe regular para que se generen las condiciones perfectas para la producción del tomate, esta debe de ser de un 50 a un 60 % dentro del invernadero, lo cual permite que la planta desarrolle más rápido y la cosecha sea de mejor calidad.

De acuerdo a los datos obtenidos por el prototipo se pudo determinar que la humedad relativa mínima fue de 12%, la máxima 54% y en promedio fue de 24.58%.

Con esto se puede notar que el promedio de la humedad relativa registrada dentro del invernadero está abajo de las condiciones deseables.

Comparando los datos reales con las predicciones obtenidas por el prototipo son efectivas en un 89.52 %, este comportamiento se observó en los diferentes días en los que se realizaron los experimentos, para ejemplificar dicho comportamiento de predicciones, se muestran los gráficos 2, 3 y 4.

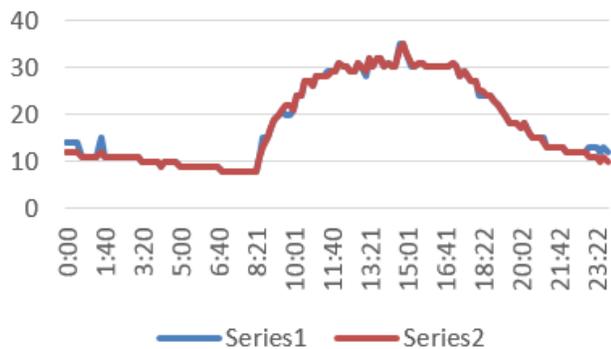


Gráfico 2 Predicciones de temperatura obtenidas por el prototipo basado en RNA del día 20 de enero del 2017
Fuente: Elaboración propia

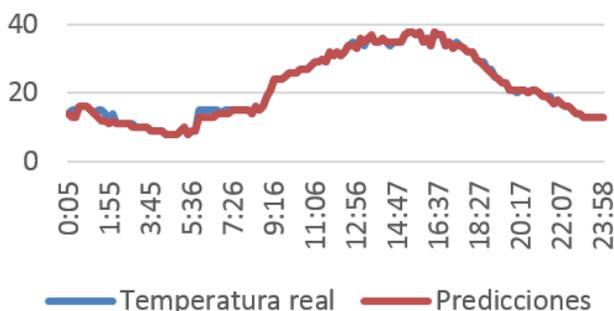


Gráfico 3 Predicciones de temperatura obtenidas por el prototipo basado en RNA del día 22 de enero del 2017
Fuente: Elaboración propia

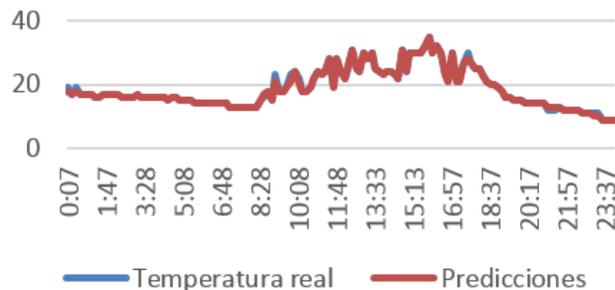


Gráfico 4 Predicciones de temperatura obtenidas por el prototipo basado en RNA del día 29 de enero del 2017
Fuente: Elaboración propia

Al realizar el análisis en la gráfica de dispersión de las predicciones con los valores reales de temperatura se nota la concentración de los puntos y forman una línea casi perfecta y su coeficiente de correlación es de +0.99 lo cual nos indica que su correlación es casi perfecta, como se muestra en el gráfico 5.

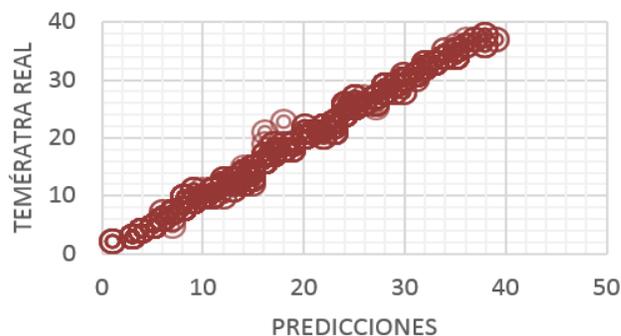


Gráfico 5 Correlación de los datos reales con las predicciones de la temperatura
Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, se experimentó utilizando el modelo estadístico de suavizamiento exponencial cuyos resultados se muestran en los gráficos 6, 7 y 8; se usaron las mismas fechas que se usaron con el prototipo basado en RNA, para poder establecer el comparativo.

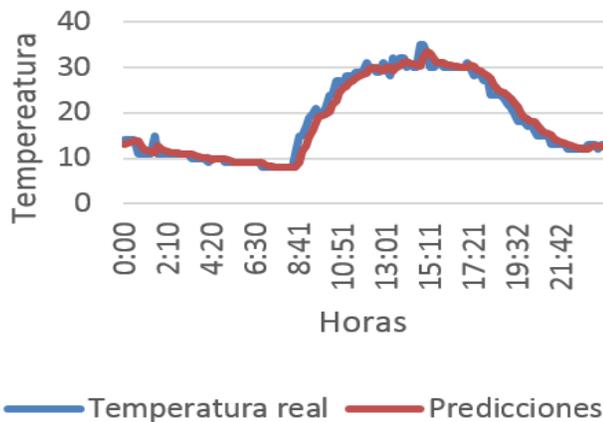


Gráfico 6 Predicciones de temperatura obtenidas por el modelo estadístico para el día 20 de enero del 2017

Fuente: *Elaboración propia*

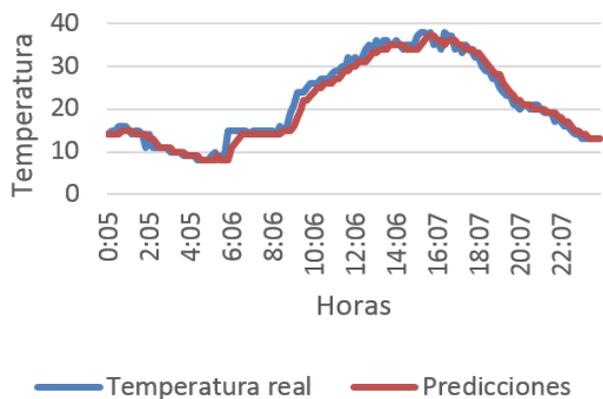


Gráfico 7. Predicciones de temperatura obtenidas por el modelo estadístico para el día 22 de enero del 2017

Fuente: *Elaboración propia*

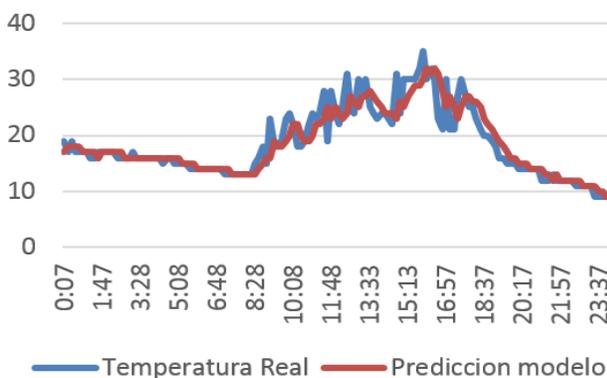


Gráfico 8. Predicciones de temperatura obtenidas por el modelo estadístico para el día 29 de enero del 2017

Fuente: *Elaboración propia*

Conclusiones

La hipótesis planteada al inicio de la investigación fue comprobada con los resultados obtenidos, el prototipo basado en RNA para predecir temperatura y humedad instalado en el invernadero de tomate en producción ubicado en San Andrés Ixtlahuaca, Oaxaca, predijo la temperatura interna del invernadero con una aproximación a los datos reales de casi un 90 %, mientras que las predicciones hechas a través del modelo estadístico tuvieron un 80 % de aproximación a los datos reales. Debido a que en la hipótesis se planteó que el prototipo tendría una aproximación de al menos un 80 %, en los experimentos este valor fue superado en un 10 %. Utilizando el modelo estadístico también se obtiene una aproximación aceptable, pero el prototipo es más eficiente.

Por lo tanto, se concluye que la aplicación que se le ha dado a la RNA para predecir temperatura y humedad dentro de un invernadero es útil y es confiable; sin embargo, para poder hacer mejores predicciones se necesita de un lapso de tiempo mayor para realizar un entrenamiento apropiado del prototipo, es decir, realizar las predicciones a lo largo de un año completo de acuerdo con la región o municipio donde se vaya a implementar, esto con el fin de completar un ciclo de lecturas para: primavera, verano, otoño e invierno, ya que en cada caso la temperatura y humedad varían.

Es importante hacer notar, que a través de los experimentos realizados se encontró información importante como por ejemplo que a pesar de que el tomate se cultiva dentro de invernaderos, por falta de conocimiento y experiencia por parte de los agricultores, no se logran alcanzar los parámetros deseados de la temperatura y humedad para la producción del tomate.

Lo cual sería interesante para hacer el seguimiento de las producciones tratando de mantener las variables lo más óptimas posibles y así obtener productos competitivos que lleven a los agricultores a obtener mejores beneficios.

El costo del prototipo aún no se puede determinar, ya que está en proceso de mejora continua, buscando elementos que puedan abaratar su producción, así como completar el sistema con otros elementos que apoyen a los agricultores a tomar decisiones oportunas como pueden ser ventiladores o calefactores automáticos en los invernaderos cuya función se dispare a partir de la información que arroja la RNA.

Trabajos futuros

El paso siguiente sería incorporar otros componentes, como por ejemplo que el sistema de la RNA sea autónomo introduciendo una fuente de energía renovable como puede ser la energía solar; así como otros componentes que pudieran combinarse con tecnología de comunicaciones para poder advertir a los agricultores si los umbrales de temperatura y humedad están próximos a sobrepasarse, ya sea por alcanzar temperaturas muy bajas o muy altas que perjudican el desarrollo normal de los cultivos.

También valdría la pena incorporar datos como los nutrientes de la tierra, los tiempos de cultivo, la cantidad de producto obtenido en cada cosecha, entre otros, lo anterior con la finalidad de mejorar los cultivos e incrementar el margen de ganancias.

Referencias

Berumen Barbossa, Miguel E. (2006). Geografía Económica de Oaxaca. Universidad de Malaga. Pp 19-27. Recuperado el 12 de enero de 2017 de: <http://www.eumed.net/coursecon/libreria/mebb/indice.html>.

Control Climático en Invernaderos (Abril de 2016). Recuperado el 20 de enero de 2017 de http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/control_climatico.htm

Florez López, Raquel (2008). Las Redes Neuronales Artificiales. Fundamentos teóricos y aplicaciones prácticas. Netbiblio, España.

Gómez, M., (2006). Introducción a la Metodología de la Investigación Científica. Córdoba, Argentina. Editorial Brujas.

Hanke, John E., Wichern, Dean W. (2006). Pronósticos en los negocios. Pearson Education. Mexico.

Marques Dos Santos, María José (2009). Estadística Básica. Un enfoque no paramétrico. UNAM. México.

Méndez Sánchez, S.G. (30 de septiembre de 2011). Integra feria del tomate a 4 mil 200 productores en Oaxaca. México: HortiCultivos. Recuperado el día 20 de diciembre de 2016 de <http://www.horticultivos.com/746/integra-feria-del-tomate-a-4-mil-200-productores-en-oaxaca/>.

Montaño, J. (2002). Redes neuronales artificiales aplicadas al análisis de datos. Universitat De Les Illes Balears. Facultad de Psicología. Palma de Mallorca, España.

Parfenovich, Dimitriy (8 de mayo de 2014). Redes Neuronales: De la teoría a la práctica. Recuperado el día 18 de septiembre de 2016 de <https://www.mql5.com/es/articles/497>

GUZMÁN-GORDILLO, José, MORALES-HERNÁNDEZ, Maricela, MATADAMAS-ORTÍZ, Idarh Claudio y DÍAZ-SARMIENTO, Bibiana. Redes neuronales para el control de temperatura y humedad en un invernadero de tomate. Revista de Aplicaciones de la Ingeniería 2017.

Pérez Pérez, Alejandro (2015). Desarrollo de un sistema Web para monitoreo y predicción de temperatura en un invernadero utilizando Redes Neuronales. Instituto Tecnológico de Oaxaca, Oaxaca, Mexico.

Pichardo, R. D. (2014). Caracterización de las unidades de producción de tomate en invernaderos de Oaxaca. Oaxaca de Juárez. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*. Recuperado el 20 de enero de 2017 de <http://www.colpos.mx/asyd/volumen11/numero2/asd-13-062.pdf>

SAGARPA. (2015). Agricultura Protegida Oaxaca: Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural y Alimentación.

Método para determinar conductividad térmica por comparativo longitudinal de flux de calor

MACÍAS-MELO, Edgar Vicente* †, TORRES-AGUILAR, Carlos Enrique, AGUILAR-CASTRO-Karla María y PÉREZ-OLÁN, Isa Yadira

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Recibido Julio 8, 2017; Aceptado Septiembre 14, 2017

Resumen

En los últimos años, una de las alternativas para reducir el consumo de energía ha sido el análisis de sistemas térmicos. Por lo que es necesario conocer las propiedades térmicas de los materiales empleados. Esto ha propiciado el desarrollo de métodos para determinar propiedades tales como la conductividad térmica en materiales de construcción, aunque la mayoría de los métodos son costosos y poco representativos. Por lo que, en este estudio, se desarrolló la aplicación de un método que consiste en determinar la conductividad térmica de una placa de un material desconocido (madera), a partir de las mediciones de flux de calor que pasan a través de ella y de dos placas de referencia (poliestireno extruido). Estos resultados fueron comparados con una simulación numérica en 2D para obtener la conductividad térmica. Los resultados mostraron que el sistema alcanzó la estabilización en 3 horas después de haber iniciado el experimento y al compararse con la simulación se determinó que la conductividad térmica de la placa de madera fue de 0.119 W/mK. Por lo que, este método permite conocer la conductividad térmica en materiales desconocidos, lo cual podría facilitar el análisis de sistemas térmicos teóricos o experimentales.

Conductividad térmica, flux de calor, simulación numérica, sistemas térmicos

Abstract

In recent years, the analysis of thermal systems has been employed to reduce the energy consumption so that it is necessary to know the thermal properties of the materials. There are different methods apply to typical materials, but these are expensive and insufficient. So, in this study, the application of a method to determinate the conductivity thermal of a plate of unknown material was made. The method consisted of measuring of heat flux through of the unknown sample (wood plate) and two reference plates (extruded polystyrene) with known properties. These results are compared and evaluated with a 2D numerical simulation considering the same time of the experiment to obtain the thermal conductivity of the unknown sample. The result showed that the stability of analyzed system was achieved after 3 hours and when was compared with simulation was determined the thermal conductivity of wood plate, 0.119 W/mK. So, this method permits to know the thermal conductivity of unknow materials facilitate the experimental or theoretical thermal systems analysis.

Thermal conductivity, heat flux, numerical simulation, thermal systems

Citación: MACÍAS-MELO, Edgar Vicente, TORRES-AGUILAR, Carlos Enrique, AGUILAR-CASTRO- Karla María y PÉREZ-OLÁN, Isa Yadira. Método para determinar conductividad térmica por comparativo longitudinal de flux de calor. Revista de Aplicaciones de la Ingeniería.2017.4:12, 20-28.

*Correspondencia al Autor:(Correo Electrónico: edgarvmaciasmelo@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En los últimos años, el aumento en el consumo energético a nivel mundial se ha convertido en un problema de constante crecimiento en varias naciones del mundo. Pues tan solo en los Estados Unidos el consumo principal de energía ha aumentado 10% tan solo hasta el 2012 de acuerdo con “Energy Information Administration” (EIA) (Cao et al 2016), por lo que el estudio de sistemas térmicos con fines de ahorro de energía es una alternativa de solución ante tal problemática.

En México se han creado normas oficiales publicadas en el Diario Oficial de la Federación para regular la eficiencia energética en edificaciones y envolventes de edificios para uso habitacional y edificios no residenciales (Norma Oficial Mexicana 2001 y 2011), por lo que es necesario el desarrollo de métodos para conocer las propiedades térmicas de los materiales empleados en la construcción. Una de las propiedades de interés a conocer para realizar cualquier análisis térmico, es la conductividad térmica, la cual controla la razón de flujo de calor en el medio y permite conocer que materiales conducen mejor el calor que otros.

Existen estudios de aplicación en los que interviene esta propiedad térmica tal como se menciona en el trabajo de Ruiz et al (2016), en el que se estudia el comportamiento térmico de un muro con distintos materiales de mampostería y Torres Aguilar et al (2016), que, por medio de simulaciones numéricas, se determinó la eficiencia energética de edificios residenciales, a partir de las distintas configuraciones y propiedades térmicas de los materiales empleados. Desde su formulación por el físico matemático Jean Baptiste Fourier, el primero en dar una definición de la conducción de calor y una teoría matemática de la misma (Reif-Acherman 2014).

Se han desarrollado distintas metodologías para conocer esta propiedad tal como el de la placa caliente con guarda, hasta técnicas con laser empleadas hoy en día. Estas últimas pruebas, debido a su elevado costo económico, limita su uso obligando la búsqueda de otras técnicas para conocer propiedades térmicas en materiales sólidos.

Entre los métodos teóricos, se encuentran las soluciones numéricas tales como presentan Ukraincyk *et al* (2009), en cuyo trabajo proponieron una solución numérica por el método inverso de Levenberg-Marquardt para obtener la difusividad térmica de materiales como la glicerina. Aunque el método reportado tiene un error máximo de 0.7%, este método se limita a materiales como líquidos no metálicos y aceites.

O trabajos como el de Monde et al (2010) en el que mediante la solución inversa de la conducción de calor en una dimensión, determinaron la difusividad térmica y la conductividad térmica de muestras con tan solo la medición de 3 minutos y con un error de 1%, sin embargo, solo se limitan a muestras de 6cm^2 lo que implicaría analizar solo muestras metálicas, ya que presentan mayor homogeneidad en sus propiedades térmicas.

Existen normas que establecen métodos experimentales como la ASTM C 177 para la medición del flujo de calor y propiedades de transmisión térmicas o la ASTM C 408 para la conductividad térmica en materiales cerámicos, entre otras. Los métodos empleados en estas normas presentan un amplio rango de evaluación de conductividades térmicas para materiales, mediante especímenes representativos de mayor dimensión.

Trabajos como el de Peña et al (2014) y Barea et al (2006), presentan métodos experimentales para la determinación de la conductividad térmica acogiendo las normas antes mencionadas por métodos comparativos, aplicados específicamente en bloques de arcilla roja y materiales cerámicos, elementos empleados en el ramo de la construcción.

En México, el Centro Nacional de Metrología (CENAM), describe un método experimental para la determinación de la conductividad térmica para materiales aislantes en el que emplean un Aparato de Placa Caliente con Guarda (APCG). A partir de ello, se han presentado trabajos empleando este método experimental por Lira et al (2008) y Lira et al (2010) en los que se construyó el sistema de medición y son aplicados en materiales para la construcción como metales, poliestireno, yeso, pvc, entre otros. Determinando valores con una incertidumbre no mayor al 2% en materiales aislantes y 10% en materiales no aislantes o que sobrepasan los límites definidos de operación del padrón nacional.

Por lo que en este trabajo se presenta un método para determinar la conductividad térmica de materiales mediante comparativo longitudinal de flux de calor, que consiste en la evaluación de las mediciones de flux de calor que pasan a través de dos materiales de referencia y una placa cuyas propiedades son desconocidas con los resultados obtenidos en una simulación numérica en 2D habiendo alcanzado el estado permanente.

Descripción del método

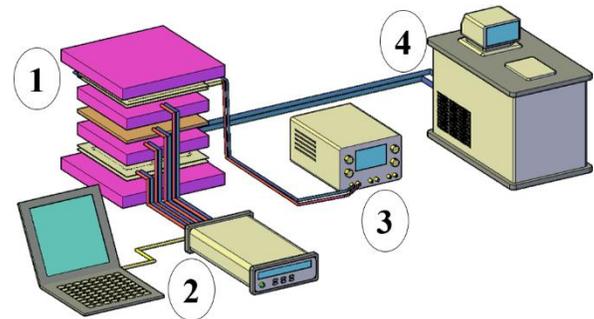


Figura 1 Esquema general del sistema del comparativo longitudinal de flux de calor. (1) Placas de referencia y muestra desconocida, (2) sistema de adquisición de datos, (3) fuente de poder y (4) baño térmico

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 1 se muestra el esquema general del modelo experimental para determinar la conductividad térmica por comparativo longitudinal. Se aprecian los equipos empleados para la medición: termopares tipo T, conectados a un multímetro digital Agilent 34979A; una PC como sistema de sistema de adquisición de datos; un baño térmico con sistema de enfriamiento de capacidad de 5lt; y una fuente de corriente directa de 32 V y 6 A empleada en las placas isotérmicas.

Para la calibración de los termopares, se empleó un baño térmico y una sonda de cobre. Las puntas de los termopares se conectaron al interior de la sonda, y esta fue introducida al baño térmico, el cual tiene una precisión de 0.01°C de estabilización de la temperatura alcanzada.

Se tomaron lecturas por dos horas, y con los datos recabados, se realizó un análisis de desviación estándar y error estándar de estimación en los termopares. Finalmente, se determinaron los coeficientes del comportamiento lineal de los termopares para introducirlos al sistema de adquisición de datos.



Figura 2 Espesores y configuración de las placas empleadas en el sistema

La distribución de las placas aislantes, de referencia, isotérmicas y el espécimen desconocido, se muestran en la Figura 2. Tanto las placas aislantes y de referencia estaban conformadas de poliestireno extruido o comumente conocido como “foamular” de 0.5 m × 0.5 m; para las placas aislantes al igual que las isotérmicas y de material desconocido son de 0.4 m × 0.4 m.

La placa isotérmica superior estaba conformada principalmente por dos placas de aluminio de 1.5mm que envolvían una resistencia eléctrica distribuida uniformemente por toda el área de contacto entre las placas de aluminio.

La placa isotérmica inferior cumplía la función de un intercambiador de calor ya que en su interior se conformaba por un sistema de tubería de cobre conectada directamente al baño térmico, el cual estaba configurado para hacer circular agua a 15 °C.

De esta manera se inducía un flux de calor en dirección hacia el intercambiador de calor, atravesando las placas de referencia y del material desconocido. Este método permite emplear distintas dimensiones de espesor para las placas de referencia y material desconocido a costa de mantener el sistema en funcionamiento durante mas tiempo. El caso de estudio presentado como material desconocido fue una placa de madera comercial de 0.0125 m de espesor.

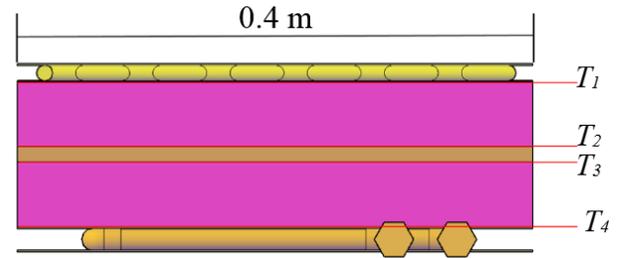


Figura 3 Posición de los termopares entre las placas

Para conocer la evolución de las temperaturas entre las placas del material desconocido y de referencia, se colocaron termopares tipo T como se muestra en la Figura 3. De tal manera que el arreglo permite conocer la temperatura en el centro de las placas, comenzando con T_1 , entre la placa isotérmica con la resistencia eléctrica y la primera placa de referencia; T_2 entre la primera placa de referencia y el material desconocido; y así sucesivamente hasta T_4 .

Al iniciar la medición de las temperaturas en los puntos señalados, se encendieron el baño térmico y la resistencia eléctrica. Por lo que se registró la evolución de las temperaturas al interior del sistema hasta alcanzar el estado permanente, de aquí la importancia de las lecturas para la determinación de la conductividad térmica ya que se emplearon por lo menos 30 minutos de medición habiendo ya alcanzado el estado permanente para determinar esta propiedad. El sistema de adquisición de datos se configuró para obtener las lecturas de los termopares cada minuto.

Material	Λ (W/m °C)	P (kg/m ³)	C_p (KJ/kg °C)
Poliestiereno extruido (A 26.85°C, Máxima 78°C)	0.028	55	1210
Madera de pino (A 26.85°C)	0.119	510	1380

Tabla 1 Propiedades térmicas de las placas del material de referencia y para la madera comercial

Fuente: Bergman et al 2011 y Ozisik 1993

En la Tabla 1, se muestran las propiedades térmicas de los materiales comerciales empleados en el estudio. Como se mencionó anteriormente, la propiedad a determinar por este método fue madera de pino. Al final se mostrará la comparación entre el resultado obtenido y el valor comercial de la muestra.

Para obtener el valor de la conductividad térmica de la muestra, se tomaron mediciones de temperatura un tiempo después de haber alcanzado el estado permanente. Para entonces el flux de calor se expresa de la siguiente manera:

$$q''_{1-2} = q''_{2-3} = q''_{3-4} \quad (1)$$

La ecuación 1, representa la relación de los flux de calor que atraviesan por los materiales de referencia y desconocido, a partir de las temperaturas que se tomaron de acuerdo a los puntos mostrados en la Figura 3. Esta relación es aplicable cuando el sistema alcanzó el estado permanente. q''_{1-2} y q''_{3-4} representan el flux de calor a través de los materiales de referencia.

$$q''_{1-2} = \frac{\lambda_{r1}(T_1 - T_2)}{L_{r1}} \quad (2)$$

$$q''_{3-4} = \frac{\lambda_{r3}(T_3 - T_4)}{L_{r3}} \quad (3)$$

Por medio de la Ley de Fourier, se puede obtener la ecuación para obtener el flux de calor en los materiales de referencia, ecuación 2 y 3, ya que se conocen todas las variables:

λ_r : conductividad térmica de la placa de referencia (W/m°C).

T : temperatura registrada por el termopar en la posición indicada por el subíndice (°C).

L_r : espesor de la placa de referencia (m).

Por último el flux de calor q''_{2-3} , que corresponde al de la muestra desconocida, es igual al flux de calor de las placas de referencia, por lo que para determinar la conductividad térmica de la placa desconocida se empleó el siguiente despeje de la ecuación:

$$\lambda_d = \frac{q''_{2-3}L_d}{T_2 - T_3} = \frac{q''_{1-2}L_d}{T_2 - T_3} \quad (4)$$

λ_d : conductividad térmica de la placa desconocida (W/m°C).

L_d : espesor de la placa desconocida (m).

Por medio de la ecuación 3, se determinó la conductividad térmica de la muestra desconocida. A continuación, se mostrarán las ecuaciones gobernantes de la transferencia de calor empleadas en la simulación en 2D, para comparar los datos obtenidos experimentalmente con la solución numérica del fenómeno.

Ecuaciones gobernantes

Para realizar la simulación del modelo físico del método descrito en este trabajo, se empleó la ecuación gobernante de la transferencia de calor en 2D (Patankar 1980):

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) \quad (5)$$

La ecuación 5 representa el campo de temperaturas al interior de un sólido a través del tiempo para materiales isotrópicos. Se empleó el método de diferencias finitas para la discretización de la ecuación gobernante.

$$a_p T_p = a_E T_E + a_W T_W + a_N T_N + a_S T_S + b \quad (6)$$

$$a_E = \frac{\lambda_e \Delta y}{\delta x_e}; \quad a_W = \frac{\lambda_w \Delta y}{\delta x_w}$$

$$a_N = \frac{\lambda_n \Delta x}{\delta y_n}; \quad a_S = \frac{\lambda_s \Delta x}{\delta y_s}$$

$$a_p^0 = \frac{\rho C_p \Delta x \Delta y}{\Delta t}$$

$$b = a_p^0 T_p^0$$

$$a_p = a_E + a_W + a_N + a_S + a_p^0$$

Donde las variables:

T : Temperatura en el nodo evaluado ($^{\circ}\text{C}$)

λ : Conductividad térmica en el nodo evaluado ($\text{W/m } ^{\circ}\text{C}$)

ρ : Densidad (kg/m^3)

C_p : Calor específico ($\text{KJ/kg}^{\circ}\text{C}$)

Δx : Volumen de control en x (m)

Δy : Volumen de control en y (m)

δx : Distancia entre nodos en x (m)

δy : Distancia entre nodos en y (m)

Δt : Intervalo de tiempo

La ecuación 6 esta simplificada de tal manera para la solución de un sistema de ecuaciones que determinan el campo de temperaturas al interior.

Condiciones de frontera

Las condiciones de frontera que se tomaron en cuenta para analizar el modelo físico, fueron las siguientes:

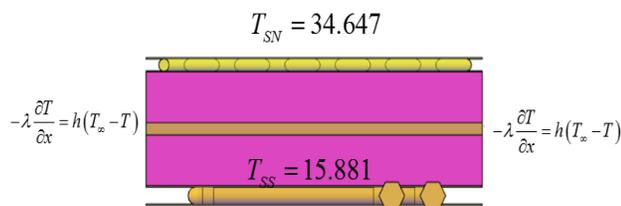


Figura 4 Condiciones de frontera empleados para la simulación

Como se muestra en la Figura 4, las fronteras norte y sur son de primera clase, el valor de estas temperaturas es la misma registrada durante el método experimental. Las fronteras este y oeste son de tercera clase, debido a que físicamente estas expuestas al ambiente. Para ello se emplearon coeficientes convectivos, h , de $6 \text{ W/m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C}$, y una temperatura ambiente de $24.085 \text{ } ^{\circ}\text{C}$, temperatura registrada durante el experimento.

La simulación se llevó a cabo con un intervalo de tiempo de 30 segundos y la cantidad de nodos del sistema fue de 91×91 , se tomaron estos valores de tiempo y cantidad de nodos ya que se alcanzó la independencia temporal y espacial del sistema en esos valores. A continuación, se mostrarán las temperaturas registradas por los termopares, la comparación con los resultados de la simulación en 2D y el cálculo final de la conductividad térmica desconocida.

Resultados

Se presentan los datos obtenidos a partir de la medición de temperaturas entre las placas:

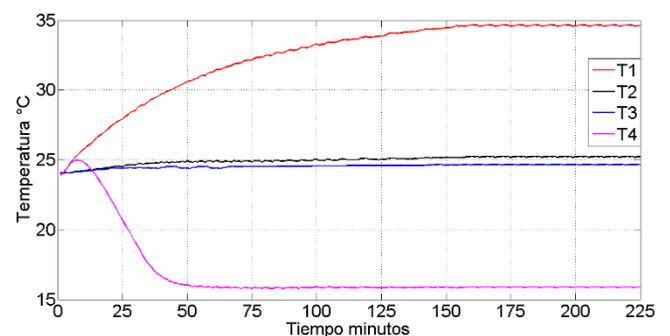


Gráfico 1 Evolución de la temperatura entre placas.

El gráfico 1 muestra la evolución de las temperaturas desde el inicio de la prueba, cada una de acuerdo a las posiciones mostradas en la Figura 3, las cuatro lecturas se estabilizaron después de las 3 horas permitiendo así el cálculo de la conductividad térmica de la placa de madera.

El tiempo para que cualquier sistema alcance el estado permanente, dependerá del tipo de material y de las dimensiones de la misma. Tan solo es necesario superar los 30 minutos de medición durante el periodo en el que el sistema se estabiliza para proceder con los cálculos correspondientes.

Material	Posición de termopar	Temperatura promedio	Desviación estándar en la temperatura	Flux de calor
Referencia	1	34.6299	0.0320	5.2654
	2	25.2274	0.0181	
Desconocido (madera)	2	25.2274	0.0181	5.28925
	3	24.6693	0.0125	
Referencia	3	24.6693	0.0125	5.3131
	4	15.8894	0.0139	

Tabla 2 Datos adquiridos en estado permanente

La Tabla 2, muestra las lecturas de los termopares cuando el sistema alcanzó el estado permanente. Se tomaron 30 minutos de medición para determinar la temperatura promedio de cada posición y la desviación estándar de estos datos. Posteriormente, se calculó el flux de calor que pasa a través de las muestras de referencia para conocer el flux de la placa desconocida.

Para conocer este ultimo valor, se promediaron los dos flux conocidos, dando así el valor de 5.28925 W/m². Conociendo este valor de flux, y empleando la ecuación 3, el valor de la conductividad térmica de la placa de material desconocido resulto con un valor de 0.1184655 W/m°C.

Posteriormente empleando todos los datos adquiridos en la medición y del cálculo de la conductividad térmica del material desconocido, se procedió a realizar la simulación en 2D.

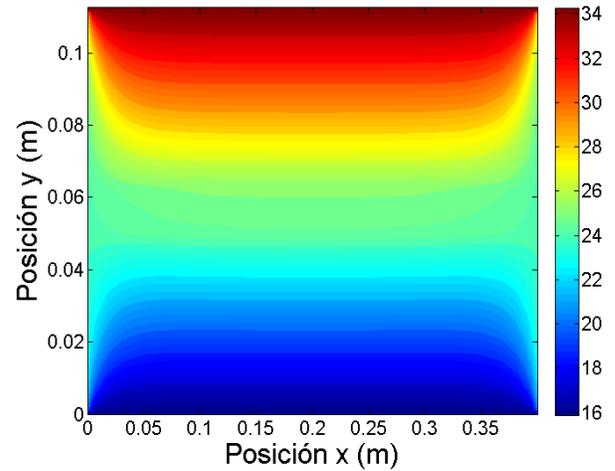


Figura 6 Campo de temperaturas en estado permanente

Como se muestra en la Figura 6, el campo de temperaturas se presenta de esa forma al alcanzar el estado permanente. El tiempo de simulación en el que alcanzó variaciones menores a 0.001 °C, fue de 3 horas con 42 minutos y 30 segundos.

Además, se realizaron simulaciones en el que los resultados alcanzaron el estado permanente al tener variaciones en el paso del tiempo maximas de 0.01°C y 0.1°C. A continuación, se muestran los tiempos de simulación en los se que alcanzó el estado permanente de acuerdo a las variaciones de temperatura mencionadas anteriormente:

Variaciones °C	<i>t_{ep}</i>	L (m)
0.1	00:12:30	0.04
0.01	00:39:00	0.0888
0.001	3:42:30	0.18222

Tabla 3 Tiempo necesario en alcanzar el estado permanente y longitud de cambio de temperatura por convección

La tercera columna de la Tabla 3, presenta los resultados de la distancia en dirección sobre el eje x, de la pared oeste hacia el centro de la placa desconocida, que representa el punto en el que no se muestran cambios de temperatura con respecto al centro del sistema.

Esto debido a las pérdidas o ganancias de calor por convección, ya que el sistema no estaba aislado por las paredes del costado, lo que pudo retrasar el tiempo en el que el sistema alcanzó el estado permanente.

Las variaciones entre cada lapso de tiempo en la simulación, permitieron analizar cuanto tiempo demoró el sistema en alcanzar el estado permanente y su similitud con la medición experimental, para que, de esta manera, se lograra reproducir el campo de temperaturas al interior de las placas, exactamente en el lugar donde fueron colocados los sensores. Permitiendo determinar de esta manera, que el valor de la conductividad térmica encontrada a partir de las mediciones de flux de calor fue acertado.

Comparando el valor de la placa de madera presentado comercialmente, Tabla 1, con el determinado por comparativo longitudinal de flux de calor, existe una diferencia máxima de 0.45% entre ambos valores.

Conclusiones

En este trabajo se presentó un método para determinar la conductividad térmica de materiales sólidos. Se abordó un caso en el que se determinó la propiedad térmica de una placa comercial de madera, cuyo valor solo presenta una diferencia de no más del 0.45% del valor presentado en el mercado. El método es aplicable para distintas dimensiones de muestras representativas. Es ideal para materiales con una conductividad no mayor a los 200 W/m°C como el acero.

Para determinar el valor de la propiedad, es necesario conocer el flux de calor cuando el sistema ha alcanzado el estado permanente y al ser comparado con la simulación en 2D, es posible determinar de forma precisa el comportamiento de la muestra de estudio.

De esta forma es posible conocer las propiedades térmicas de casi cualquier material de manera económica, comparado con otras técnicas, que son necesarias para cualquier estudio en sistemas térmicos en beneficio del medio ambiente y como métodos alternativos de ahorro de energía.

Agradecimiento

A la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco por el apoyo y las facilidades para la realización de este trabajo.

Referencias

Barea R., Marín R., Osendi M.I., Martínez R., Miranzo P., (2006) Equipo comparativo para la medida de conductividad térmica de materiales cerámicos. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio 45 [2] 80-86

Bergman T., Lavine A., Incropera F., Dewitt D., (2011) Fundamental of Heat and Mass transfer, John Wiley & Sons, Inc.

Cao, X., Dai, X., & Liu, J. (2016). Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zeroenergy buildings during the past decade. *Energy and Buildings*, 128, 198-213. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.089>

Centro Nacional de Metrología (2007) Padrón Nacional de Conductividad Térmica CNM-PNE-16

Lira Cortés L., García Duarte S., Méndez Lángo E., González Durán E., (2010), Conductividad térmica de metales. Simposio de Metrología 2010, SM2010-Car-29

Lira Cortés L., González Rodríguez O. J., Méndez Lango E., (2008) Sistema de Medición de la Conductividad Térmica de materiales Sólidos Conductores, Diseño y Construcción. Simposio de Metrología 2008, SM2008-M218-1095-1

Lira Cortés L., González Rodríguez O. J., Méndez Lango E., (2008) Medición de la Conductividad Térmica de Algunos Materiales Utilizados en Edificaciones. Simposio de Metrología 2008, SM2008-S4C2-1100-1

Masanori Monde, Masataka Kosaka, Yuichi Mitsutake, (2010) Simple measurement of thermal diffusivity and thermal conductivity using inverse solution for one-dimensional heat conduction, International Journal of Heat and Mass Transfer 53 5343-5349

Neven Ukraincyk, (2009) Thermal diffusivity estimation using numerical inverse solution for 1D heat conduction, International Journal of Heat and Mass Transfer, 52 5675-5681

Norma Oficial Mexicana (2001), Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales, NOM-008-ENER-2001

Norma Oficial Mexicana (2011), Eficiencia energética en edificaciones-envolvente de edificios para uso habitacional, NOM-020-ENER-2011

Ozisik M. N., (1993) Heat Conduction, JOHN WILEY & SONS, INC, New York, USA

Patankar, Suhas V., (1980), Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemisphere Publishing Corporation, EUA.

Peña Rodríguez G., Peña Quintero J. Y., Gómez Tovar M. A., (2014) Determinación Experimental de la Conductividad Térmica Efectiva en Bloques Extinguidos de Arcilla Roja, Revista Ciencia en Desarrollo ISSN 0121-7488

Ruiz F., Hernandez E., Aguilar K., Macías E., (2016) Comparación de la solución analítica y numérica de la ecuación de difusión de calor unidimensional en estado transitorio aplicado a un muro, Revista de Aplicaciones de la Ingeniería, ECORFAN ISSN-2410-3454

Simón Reif-Acherman, (2014), Early and current experimental methods for determining thermal conductivities of metals, International Journal of Heat and Mass Transfer 77 542-563

Torres-Aguilar C., Serrano-Arellano J., Macías-Melo E., Aguilar-Castro K., (2016) Diseño arquitectónico con elementos bioclimáticos para el confort térmico en viviendas de Hidalgo, Revista de Aplicaciones de la Ingeniería, ECORFAN ISSN-2410-3454

Torres-Aguilar C., Serrano-Arellano J., Macías-Melo E., Trejo-Torres B., (2016) Simulación energética de prototipo de vivienda de interés social para evaluar el confort térmico, Revista de Aplicaciones de la Ingeniería, ECORFAN ISSN-2410-3454

Metodología para realizar el cálculo de parámetros de rendimiento de cojinetes deslizantes finitos

VILLARREAL, Marco*†, LUGO, Eloina, GAYTÁN, Alfredo y SOTO, Francisco

Ingeniería en Sistemas Automotrices. Universidad Politécnica de Santa Rosa Jáuregui

Recibido Julio 8, 2017; Aceptado Septiembre 14, 2017

Resumen

Para la caracterización de los cojinetes hidrodinámicos deslizantes es necesario la obtención de los parámetros de rendimiento, dentro de los más importantes se encuentran la capacidad de carga y la temperatura a la que debe operar el aceite lubricante dentro del cojinete. Las máquinas rotativas para poder sostener su rotor y permitir la rotación a altas velocidades con grandes cargas dinámicas hacen uso de los cojinetes deslizantes, por lo que en el diseño de este tipo de máquinas la caracterización y diseño de los cojinetes deslizantes juegan un papel fundamental. En este trabajo se propone y presenta una metodología basada en el estudio profundo de las diferentes teorías para análisis de cojinetes deslizantes que a través de una implementación computacional permite mejorar el tiempo de análisis, así como también los resultados del perfil de presión y espesor de película del lubricante, al introducir una solución numérica por medio del software multifísica COMSOL con un modelo 3D. Para la obtención de los parámetros que requiere dicha solución se hace uso de un algoritmo iterativo programado en el software MATLAB. Finalmente con ésta metodología se estudian los resultados de su aplicación a un problema experimental real.

Cojinete deslizante, parámetros de rendimiento, capacidad de carga, maquina rotativa, simulación

Abstract

To characterize the sliding bearings' hydrodynamics is necessary to obtain its performance parameters, within the most important are found the charge capacity and the bearing's inner lubricant oil working temperature. To sustain its own rotor weight and aloud high revolution speed, rotary machines make use of sliding bearings, so that in the design of this kind of machines, the sliding bearings' design and characterization plays a fundamental role. In this work is proposed and presented a methodology based on the deep study of the different theories to analyze sliding bearings, that through a computational implementation allows to improve the analysis time, as well as the pressure profile results and the lubricant film thickness, applying a numerical simulation through multifísic COMSOL software with a 3D model.

To obtain the required parameters, an iterative algorithm is implemented in Matlab platform.

Finally, with this methodology the result in a real application problem are studied.

Journal bearing, performance parameters, loading capacity, rotative machine, simulation

Citación: VILLARREAL, Marco, LUGO, Eloina, GAYTÁN, Alfredo y SOTO, Francisco. Metodología para realizar el cálculo de parámetros de rendimiento de cojinetes deslizantes finitos. Revista de Aplicaciones de la Ingeniería. 2017, 4-12: 29-35.

*Correspondencia al Autor:(Correo Electrónico: mavillarreal@upsrj.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En las máquinas es muy frecuente encontrar interacciones entre piezas con deslizamiento relativo, como es el caso de las máquinas rotativas y que por su naturaleza se hace necesario reducir la fricción y minimizar el desgaste, para lo cual se usan los cojinetes. Un cojinete es un elemento mecánico sobre el que se soporta y gira el rotor transmisor de una máquina y de acuerdo con el tipo de contacto que exista entre las piezas puede ser de deslizamiento o un rodamiento.

Los cojinetes de deslizamiento son más usados para maquinaria rotativa, comúnmente son llamados chumaceras hidrodinámicas las cuales consisten en un cuerpo cilíndrico completo o parcial dentro del cual gira un eje, se usa para soportar carga radial donde la lubricación del tipo hidrodinámica tiene como objetivo separar las superficies de eje y cojinete mediante una película de líquido, vapor o gas lubricante, de forma que las pérdidas de energía por fricción no sean consecuencia de rozamiento entre las superficies sólidas sino de efectos de viscosidad en el fluido debido a esfuerzos cortantes.

Marco teórico

Cuando el rotor comienza a girar en un cojinete deslizante el fluido dentro del mismo se encuentra en estado transitorio y el movimiento del rotor dentro del cojinete es excéntrico, ésta excentricidad es variable durante este estado (Figura 1). Los trabajos analíticos y experimentales de la literatura (Ruiz, Rafael, 2008) demuestran que el centro del rotor se posiciona en un cuadrante del cojinete llamada posición de equilibrio o ángulo de actitud, esto ocurre cuando el cojinete está bajo condiciones de estado estable.

El número de Sommerfeld S sirve para caracterizar a los cojinetes deslizantes y conjunta de forma adimensional las variables de las que depende el comportamiento del cojinete. En estado estable para un número de Sommerfeld existe una sola excentricidad que satisface las condiciones de equilibrio, lo cual es la premisa en la que se basan las metodologías iterativas que se encargan de calcular los parámetros de rendimiento de los cojinetes deslizantes.

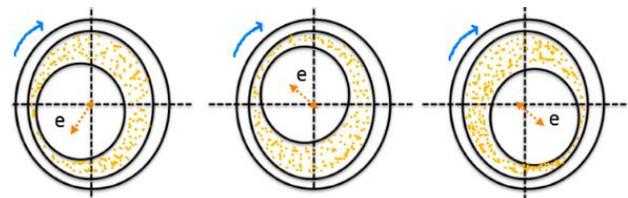


Figura 1 Excentricidad del rotor-cojinete

Fuente Diseño propio.

El diseño o análisis de cojinetes con longitud finita se ha ido conformando por los diversos estudios que han dado como resultado metodologías que consisten en obtener parámetros adimensionales de una serie de gráficas y tablas, las cuales han sido aportadas por diversos autores. (Budynas, Nisbett, & Keith, 2008).

En estas metodologías se considera que la viscosidad inicial del aceite en el cojinete cambia debido al incremento de velocidad, produciendo un aumento de la temperatura efectiva.

El número S cambia si la viscosidad también lo hace, y como consecuencia de esto también provoca que las variables que dependen de S se vean afectadas, así las metodologías tratan de predecir la temperatura ΔT y a la par determinar los parámetros de rendimiento en condiciones de equilibrio del sistema.

La solución a este tipo de diseños se lleva a cabo mediante un proceso iterativo e implica la lectura de muchas gráficas en repetidas ocasiones, esto hace que en las iteraciones se cometan muchos errores debido a la escala y resolución que tienen las mismas. Además el tiempo que toma cada cálculo es considerable, y también la obtención de la viscosidad en función del incremento de temperatura depende de gráficas, pero algunos autores solo muestran las de algunos aceites, por lo que hace que se realice por aparte una búsqueda de estas gráficas que en muchas ocasiones no se da de forma satisfactoria.

Metodología

La metodología que se presenta a continuación propone dos etapas, ésta se dio como resultado después de haber estudiado las metodologías existentes.

La primer etapa es basada en la implementación de un algoritmo computacional en MATLAB que conjunte los beneficios de otras metodologías que hacen el uso de tablas, con lo que se pretende reducir los errores al usar gráficos y los tiempos de cálculos, ésta metodología lleva a cabo un proceso iterativo de ecuaciones, relaciones adimensionales entre variables y valores de tablas encontradas en la literatura.

En la segunda, al tener los parámetros adimensionales resultados de la primera etapa, se agrega una solución numérica para los perfiles de presión mediante el software multifísica COMSOL ya que se ha estudiado que los resultados se aproximan más a los experimentales si se realiza una simulación flujo de fluidos, de pared delgada (manzo & villarreal, 2015). Dicha metodología se presenta a continuación:

Los datos iniciales son: viscosidad absoluta del aceite μ , velocidad angular del rotor ω , diámetro D , radio R y largo L del cojinete, el claro radial C_r , la carga aplicada W del rotor, la temperatura inicial a la que trabaja el aceite T_e y la velocidad tangencial U . Con estos datos se calcula el número de Sommerfeld.

$$S = \frac{\mu\omega DL}{2\pi W} \left(\frac{R}{C_r}\right)^2 \quad (1)$$

Se determina la relación entre el largo y diámetro del cojinete $\frac{L}{D}$.

Se busca la tabla que contenga las soluciones numéricas para la relación $\frac{L}{D}$, para este caso las tablas son tomadas de la literatura. (Khonsari & Booser, 2001)

De las tablas se hace una interpolación lineal para encontrar las variables adimensionales como lo son la presión adimensional \bar{P} , el flujo axial adimensional \bar{Q}_L , el flujo de entrada adimensional \bar{Q}_i y la excentricidad relativa ε .

Con las variables adimensionales, la velocidad N_s del rotor en rps y la presión de alimentación P_s , se obtienen la presión máxima P_{max} , el flujo de entrada Q_i y el flujo axial Q_L .

$$P_{max} = \mu N_s \left(\frac{R}{C_r}\right)^2 \bar{P} + P_s \quad (2)$$

$$Q_i = \bar{Q}_i \left(\frac{\pi}{2}\right) N_s D L C_r \quad (3)$$

$$Q_L = \bar{Q}_L \left(\frac{\pi}{2}\right) N_s D L C_r \quad (4)$$

Se calcula la fuerza de fricción F_f y el coeficiente de fricción f .

$$f = \frac{F_f}{W} \quad (5)$$

$$F_f = \frac{2\pi\mu U L R}{C_r \sqrt{1-\varepsilon^2}} \quad (6)$$

Con la presión en megapascales P_{MPa} , se calcula el incremento de temperatura ΔT_c en grados Celsius.

$$\frac{0.120 \Delta T_c}{P_{MPa}} = \frac{R f / C_r}{\left(1 - \frac{0.5 Q_L}{Q_i}\right) \left(\frac{Q_i}{R C_r N_s L}\right)} \quad (7)$$

Se calcula la nueva temperatura a la que trabaja el aceite, en la primera iteración $T_e = T_i$, en las siguientes T_i es la temperatura T calculada en cada iteración anterior.

$$T = T_i + \frac{\Delta T}{2} \quad (8)$$

Con la ecuación 8 se calcula la nueva viscosidad a la que está trabajando el aceite lubricante, donde μ_{ref} es la viscosidad conocida del aceite a una temperatura de referencia T_{ref} , β una constante del aceite, μ_1 y μ_2 viscosidades conocidas a temperatura T_1 y T_2 respectivamente.

$$\mu = \mu_{ref} e^{-\beta(T - T_{ref})}, \quad \beta = \frac{\ln\left(\frac{\mu_2}{\mu_1}\right)}{T_2 - T_1} \quad (9)$$

Como ha cambiado la temperatura y por consecuencia la viscosidad, se recalcula el número de Sommerfeld con la ecuación (1) y con ello el procedimiento se repite.

Las iteraciones se hacen hasta que el incremento de temperatura, la viscosidad y la excentricidad ya no tienen incremento o es mínimo.

Al obtener los valores finales, se trabaja bajo el supuesto que el cojinete se encuentra en édo estable, por lo que se utilizan los valores finales de la viscosidad y la excentricidad para la simulación por COMSOL la cual se realiza con la física de Flujo de fluidos, escogiendo Flujo en películas delgadas (placa). Con las dimensiones del cojinete se hace el modelo 3D que se muestra en la Figura 2, se aplica la propiedad de simetría.

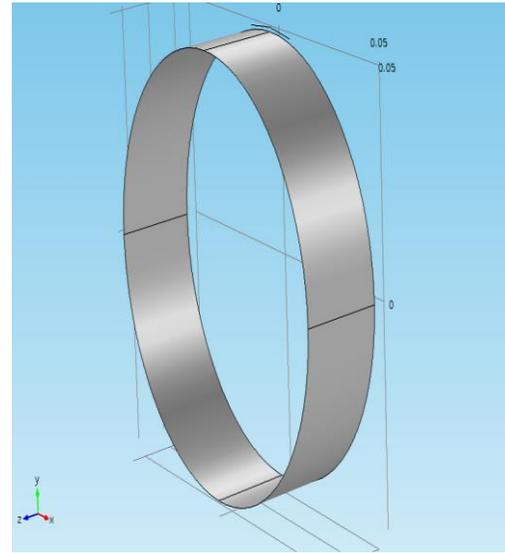


Figura 2 Modelo 3D del cojinete

Fuente: COMSOL Elaboración propia

Desarrollo

Para poder aplicar ésta metodología se han buscado trabajos que contengan experimentación con parámetros de rendimiento de los cojinetes que permitan comparar los resultados que se obtienen con ésta. Uno de los cuales se adecúa bastante a ésta necesidad es el caso que presenta Ahmada & Dwyer (2014) que en su experimentación utiliza un cojinete con los parámetros de la Tabla 1, en donde se mide el comportamiento de la temperatura y la presión máxima, así como la posición de equilibrio del rotor para cuatro casos diferentes variando la velocidad y carga del rotor que se resumen en la Tabla 2.

Parámetros	Valores
diámetro del rotor	100 mm
largo del cojinete	50 mm
claro radial	0.052 mm
carga aplicada	10 y 20 kN
velocidad del rotor	300-500 rpm
tipo de lubricante	Shell Tellus S2 M
viscosidad del lubricante	68 cSt a 40 °C 8.8 cSt a 100 °C
densidad	886 kg/m ³ a 15 °C
Presión de alimentación	0.25 Mpa

Tabla 1 Dimensión del cojinete y parámetros de operación

Fuente: Ahmada & Dwyer (2014)

VILLARREAL, Marco, LUGO, Eloina, GAYTÁN, Alfredo y SOTO, Francisco. Metodología para realizar el cálculo de parámetros de rendimiento de cojinetes deslizantes finitos. Revista de Aplicaciones de la Ingeniería. 2017.

Número de caso	Condiciones
Caso 1	300 rpm y 10 kn
Caso 2	300 rpm y 20 kn
Caso 3	500 rpm y 10 kn
Caso 4	500 rpm y 20 kn

Tabla 2 Condiciones para cada caso de estudio
Fuente: Elaboración propia

La tabla 3 resume los valores para el caso experimental 3, el cual se analizará en primer instancia con ésta metodología. Después se proseguirá con el análisis de los otros tres casos.

Caso 3	Experimental	Metodología Implementada
Temperatura efectiva (°C)	43	42.74
Presión máxima(Mpa)	5.71	5.8
Posición de la Presión máxima (°)	197	195

Tabla 3 Temperatura y presión experimental del aceite del caso 3
Fuente: Elaboración propia

Resultados

Como resultado de la primer etapa para el caso 3 se obtuvo que después de la décima iteración los cambios son mínimos lo que indica que ha llegado a un equilibrio y se está trabajando en estado estable, en la Tabla 4 se muestran la última iteración y con un tiempo de ejecución del programa en matlab de 24.7 segundos.

Con los datos obtenidos de la Tabla 4, se hizo la simulación en COMSOL la cual llevó un tiempo del proceso no más de 20 min. obteniendo una nueva presión en el aceite del cojinete. Estos resultados se muestran en la Tabla 5.

Iteración	T	μ	ϵ	P_{Max}
10	42.75	0.0528	0.6851	6.44×10^6

Tabla 4 Resultados iterados caso 3
Fuente: Elaboración propia

Caso 3	Experimental	Metodología implementada
Temperatura efectiva (°C)	43	42.74
Presión máxima(Mpa)	5.71	5.8
Posición de la Presión máxima (°)	197	195

Tabla 5 Resultados de la metodología vs datos experimentales
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3 se tiene el resultado de la presión en la película del lubricante dentro del cojinete obtenida con la simulación en COMSOL

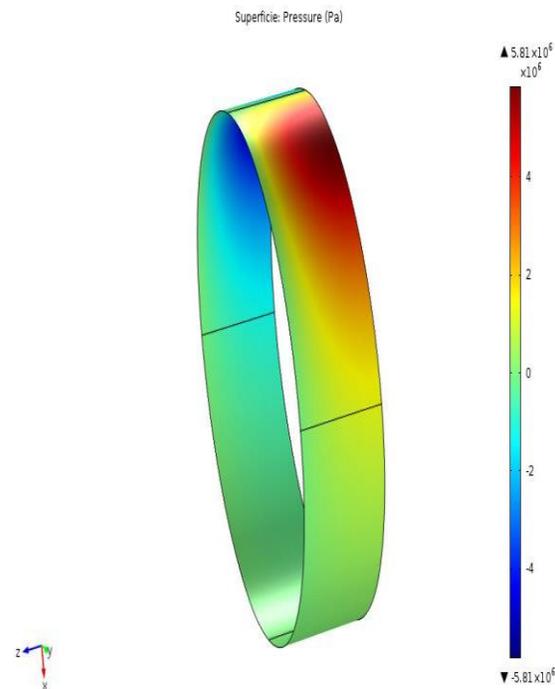


Figura 3 Perfil de presión en COMSOL
Fuente: COMSOL.

Con la metodología se analizaron los otros casos obteniendo los siguientes resultados que se presentan de forma resumida en las tablas 6,7 y 8.

Caso 1	Experimenta l	Metodología Implementada
Temperatura efectiva (°C)	38.2	39.3
Presión máxima(Mpa)	6.45	6.15
Posición de la Presión máxima (°)	197	193.3

Tabla 6 Resultados de la metodología vs datos experimentales caso 1

Fuente: Elaboración propia

Caso 2	Experimenta l	Metodología Implementada
Temperatura efectiva (°C)	42.8	40.49
Presión máxima(Mpa)	15.4	14.5
Posición de la Presión máxima (°)	195	190

Tabla 7 Resultados de la metodología vs datos experimentales caso 2

Fuente: Elaboración propia

Caso 4	Experimenta l	Metodología Implementada
Temperatura efectiva (°C)	44	44.53
Presión máxima(Mpa)	13.8	13.4
Posición de la Presión máxima (°)	196	192

Tabla 8 Resultados de la metodología vs datos experimentales caso 4

Fuente: Elaboración propia

El gráfico 1 muestra de forma resumida la información de las temperaturas que se obtienen con la metodología para los cuatro casos y en el cual se aprecia las diferencias con las temperaturas experimentales. El gráfico 2 compara la presión máxima experimental contra la temperatura de la metodología que se obtiene después de aplicar COMSOL al modelo 3D.

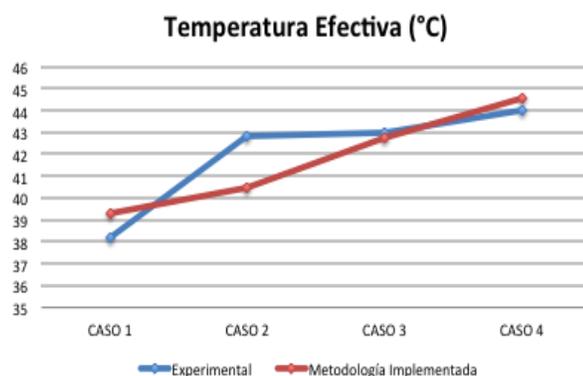


Gráfico 1 Comparativa de la Temperatura efectiva

Fuente: Elaboración propia

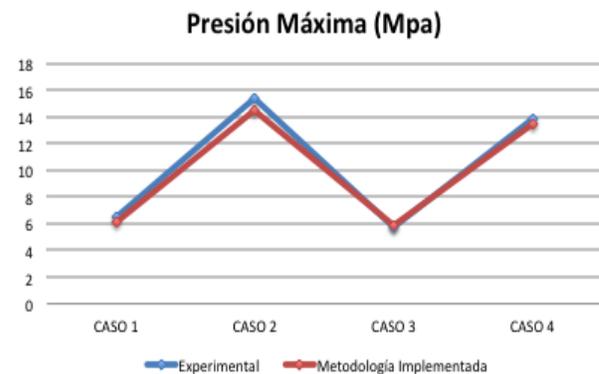


Gráfico 2 Comparativa de la Presión máxima

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

El algoritmo computacional permite que el tiempo de cálculo para los parámetros sea menor a un minuto, lo cual es un tiempo bastante factible si se compara con los cálculos al usar lectura de gráficas y tablas.

Los valores para la presión máxima obtenidos en la primer etapa de la metodología se alejan de las presiones experimentales (Tabla 4.), puesto que el algoritmo está basado en las metodologías que se encuentran de la literatura, la cual nos dice que los valores calculados siempre son mayores a la real. Las temperaturas encontradas difieren no más de 2 °C con las experimentales (Gráfico 1), esto es debido a que el algoritmo usa directamente la ecuación (9) que calcula la variación de la viscosidad del aceite y no requiere de la lectura de gráficas. Las presiones máximas se mejoran y aproximan a la experimental cuando se agrega la solución numérica por COMSOL (Gráfico 2).

Combinar los resultados que se encuentran con el algoritmo computacional con la simulación en COMSOL hace que se mejora el cálculo de los parámetros de caracterización finales, que son la presión máxima que soporta el aceite y la temperatura efectiva.

Referencias

- Ahmada, M., S. Kasolang, and R. Dwyer, Experimental study on the effects of oil groove location on temperature and pressure profiles in journal bearing lubrication. *Tribology International*, 2014. 74: p. 79-86.
- Alyaqout, S. E., A., Optimal film shape for two-dimensional slider bearings lubricated with couple stress fluids. *Tribology International*, 2011. . 44.
- Ávalos Gauna, J., Análisis y validación por volumen finito de los coeficientes rotodinámicos de rigidez de una chumacera corta con y sin presurización, in *Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica*. 2011, Instituto Politécnico Nacional: México, DF.
- Budynas, R. G., Nisbett, J. Keith, *Diseño en Ingeniería mecánica de Shigley*. Octava ed, ed. McGraw-Hill/Interamericana. 2008
- Carrillo Ledesma, A., I. Herrera Revilla, and R. Yates Smith, *Método de Elementos Finitos*. 2008, Universidad Nacional Autónoma de México: México.
- Ferziger, J.H., Perić, Milovan, *Computational Methods for Fluid Dynamics*. Third ed, ed. Springer. 2002.
- Harnoy, A., *Bearing Design in Machinery, Engineering Tribology and Lubrication*, in Marcel Dekker, Inc. 2003.
- Hoffmann, K., Chiang, Steve., *Computational Fluid Dynamics*. 4a ed. Vol. 1. 2000.
- Khonsari, M., Booser, E., *Applied Tribology. Bearing Design and Lubrication*, I. John Wiley & sons, Editor. 2001.
- Manzo, J. and M. Villarreal, Análisis de la capacidad de carga de cojinete de deslizamiento corto en estado estable por simulación numérica in *Congreso Internacional de investigación de Academia Journals Chiapas 2014*. 2014: Chiapas.
- M., K., J. Jang, and F. M., On the generalization of Thermohydrodynamic analysis for journal bearings. *ASME Journal Tribology*, 1996. . 118: p. 571-579.
- Mane, R. S., S. Vallabhbai, S. . Analysis of Hydrodynamic Plain Journal Bearing. in *The Proceedings of the COMSOL*. 2013. Bangalore.
- Panday, K. C., P. Kumar, N. , Numerical Unsteady Analysis of Thin Film Lubricated Journal Bearing. *IACSIT International Journal of Engineering and Technology*, 2012. 4.
- Ruiz, R., et al., Analisis no lineal de cojinetes de anillo flotante. *Ciencia e Ingeniería*, 2008.
- Ramírez, I. G., A. De La Rosa, C. , Caracterización dinámica de chumaceras hidrodinámicas mediante perturbaciones, in *xix congreso internacional anual de la SOMIM*. 2013.
- Zeidan, V., Murphy, F., & Murphy, B. (2010). *Machinery vibration and rotordynamics*. new jersey: john wiley & sons, inc., hoboken.

Desarrollo de un sistema SCADA para monitoreo remoto de grúas RTG en la empresa LCTPC del Puerto de Lázaro Cárdenas, Michoacán, México

ZAPIEN-RODRIGUEZ, Jose¹ †, RAMIREZ-CHAVEZ, Mayra², BURGARA-MONTERO, Oscar¹, y ESCOTO-SOTELO, Edgardo¹.

¹ Universidad Politécnica de Lázaro Cárdenas Michoacán, Av. Galeanas Sin Numero, Col. Las 600 Casas, C.P. 60950, Lázaro Cárdenas Michoacán, México

² Universidad Autonoma de Queretaro, Campus San Juan del Rio, Río Moctezuma 249, Col. San Cayetano, C.P. 76807 San Juan del Rio, Queretaro, México

Recibido Julio 25, 2017; Aceptado Septiembre 12, 2017

Resumen

El control de los procesos de producción, así como las técnicas de mantenimiento ha evolucionado de forma continua, pero mantener en condiciones estables la operación no es suficiente, se requiere el monitoreo en tiempo real de las variables involucradas en el proceso. Las grúas RTG (Rubber Tired Gantry) permiten manipular contenedores de manera precisa y sin movimientos transitorios. Dentro de sus planes de mantenimiento, la variable con mayor relevancia es el nivel de combustible, sin embargo su revisión no se efectúa de manera constante, ya que es necesario detener por completo la operación de la grúa repercutiendo en tiempos y costos para la empresa, además que la capacidad de desplazarse a lo largo del patio de servicio requieren de un tiempo considerable para ubicarlas. Este proyecto se centró en el nivel de diésel, para esto se realizó la comunicación de los sensores hasta el PLC FUJI-NP1S-22, configurándose las tarjetas de entrada y salida analógicas en relación al rango de la variable, posteriormente mediante el OPC, se comunica a la interfaz HMI del cuarto de control diseñada con el software Ignition. El monitoreo remoto en tiempo real permite realizar una programación individual efectiva de la recarga de combustible, potencializando el movimiento de contenedores del Puerto Lázaro Cárdenas, Michoacán.

Abstract

Control of production processes, as well as maintenance techniques have evolved continuously, but maintaining stable operation is not enough, real-time monitoring of the variables involved in the process is required. RTG (Rubber Tired Gantry) cranes allow you to handle containers accurately and without transient movements. Within its maintenance plans, the variable with greater relevance is the level of fuel, however its revision is not done in a constant way, since it is necessary to completely stop the operation of the crane with repercussions in times and costs for the company, And the ability to move around the service yard requires considerable time to physically locate them. This project was focused on the diesel level, for this the communication of the sensors to the FUJI-NP1S-22 PLC was made, the analog input and output cards has being configured in relation to the variable range, later using the OPC, communicates the HMI interface to the control room designed with the software Ignition. Remote real-time monitoring allows effective individual scheduling of fuel refueling, enhancing the movement of containers at Lázaro Cárdenas Port, Michoacán.

SCADA System, Real-Time, Monitoring

Sistemas SCADA, Tiempo-Real, Monitoreo

Citación: ZAPIEN-RODRIGUEZ, Jose, RAMIREZ-CHAVEZ, Mayra, BURGARA-MONTERO, Oscar, Desarrollo de un sistema SCADA para monitoreo remoto de grúas RTG en la empresa LCTPC del Puerto de Lázaro Cárdenas, Michoacán, México y ESCOTO-SOTELO, Edgardo. Revista de Aplicaciones de la Ingeniería. 2017, 4-12: 36-43.

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

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Con el avance de la tecnología, la evolución industrial permite mejoras en sus procesos de producción y de servicios, en diferentes ramas, tales como administración, mantenimiento, automatización y control, sin embargo la etapa de automatización marca en la mayoría de los casos, la pauta para el crecimiento industrial.

La adquisición y supervisión remota del proceso en tiempo real a través de medios alámbricos e inalámbricos [7], permite tomar acciones preventivas cuando las variables se encuentren fuera del rango prestablecido [10].

El monitoreo remoto del nivel de las Grúas RTG's (Rubber Tired Gantry), desarrollado para la empresa Lázaro Cárdenas Terminal Portuaria de Contenedores (LCTPC), es un sistema que indica los valores en tiempo real del nivel de los tanques de diésel, que por medio del autómatas (PLC Fuj) transfiere el valor de dicha variable hacia una interfaz de monitoreo creada en la plataforma IGNITION [3]-[6].

Instrumentación para nivel

El conocimiento del proceso así como los principios de medición determinan la selección del instrumento para la medición de nivel, permitiendo un proceso robusto y confiable.

El departamento de Instrumentación y Control evalúa factores como la seguridad de las instalaciones, el control de la calidad del producto, la optimización de los procesos, la protección del ambiente, para realizar la selección idónea del instrumento a implementar en el proyecto [10].

Los dispositivos de medición de nivel trabajan bajo diferentes técnicas, por medio de la altura de líquido sobre una línea de referencia, presión hidrostática, desplazamiento de un flotador, características eléctricas del líquido, por radar, entre muchas otras.

Gruas RTG

Las grúas RTG cuentan con una estructura de acero de gran rigidez y estabilidad que permite manipular contenedores industriales de manera precisa y sin sacudidas en sus movimientos. Cuentan con una longitud entre cinco y ocho contenedores con una elevación de hasta 6 contenedores.

Dispone de un control muy preciso con movimientos simultáneos, por lo que no resulta necesario montar un travesaño de polea de cable ni un sistema de desplazamiento lateral. Otra de las ventajas de las grúas RTG es que su facilidad de mantenimiento reduce en una minimización de los tiempos de parada, lo que a su vez aumenta el rendimiento de cada unidad [1].



Figura 1 Gruas RTG en LCTPC

Fuente: Elaboración Propia

Ignition

Ignition es una plataforma de software integrada para SCADA [8], con aplicaciones especialmente diseñadas para funcionar sobre ordenadores de control de producción, con acceso a la planta mediante la comunicación con los instrumentos de medición, actuadores y la interfaz gráfica de alto nivel con el usuario [2]. Se basa en una arquitectura de base de datos de SQL-centrado.

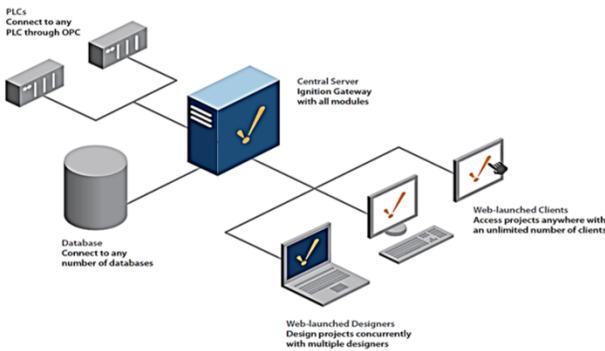


Figura 2 Arquitectura Ignition
Fuente: Elaboración Propia

Ignition funciona con base en una estructura escalable con gestión central, es capaz de proporcionar datos a todos los clientes en la red, esta comunicación se realiza mediante entre los PLCs, Bases de Datos y los Clientes de forma bidireccional.

Las partes básicas de la herramienta Ignition son tres: el Gateway, el diseñador y el cliente. Gateway es la plataforma del sistema empleada para acceder a distintos proyectos creados, mientras que la opción de diseño permite generar la interfaz de comunicación, finalmente el cliente solo puede monitorear lo creado y programado.

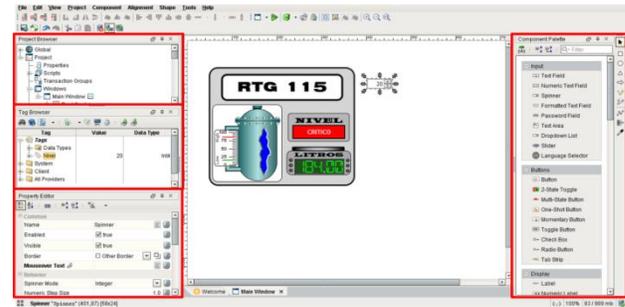


Figura 3 Herramientas de Ignition
Fuente: Elaboración Propia

PLC - FUJI NP1S-22

El Controlador Lógico Programable empleado por LCTPC es el FUJI NP1S-22, el cual está conformado por un chasis de 8 slots, cuenta con una fuente de alimentación, CPU, extensiones, tarjetas de Ethernet y se permite conectar tarjetas de entradas y salidas digitales y analógicas [9].



Figura 4 PLC Fuji NP1S-22
Fuente: Elaboración Propia

Las tarjetas de entradas-salidas analógicas se configuran según el uso de la terminal, es decir, como lectura o escritura de voltaje o corriente, esto se realiza mediante un código hexadecimal en la programación del software D300win.

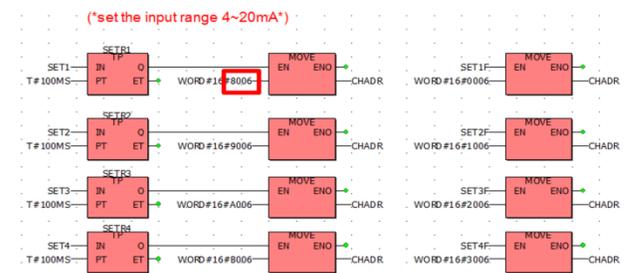


Figura 5 Configuración de Tarjetas de I/O
Fuente: Elaboración Propia

El módulo de entradas analógicas NP1AX04-MR cuenta con cuatro canales configurables, donde el código hexadecimal 8006 configura la terminal como entrada analógica con una lectura de corriente con un rango de 4-20 mA.

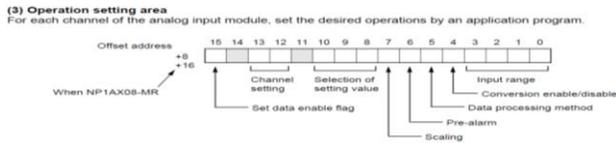


Figura 6 Configuración de Terminales
Fuente: Elaboración Propia

Las especificaciones del significado de cada una de las casillas permite la configuración de las terminales del PLC de manera específica de acuerdo a las necesidades.

Bit	Operation mode	Contents
0	Setting of input range	0000: 0 to 10V 0001: 0 to 5V 0010: 1 to 5V 0011: ± 5V 0100: ± 10V 0101: 0 to 20mA 0110: 4 to 20mA 0111: ± 20mA 1000 to 1111: Reserved
4	Conversion enable/disable	0: Conversion enabled, 1: Conversion disabled
5	Setting of data processing method	0: Sampling process, 1: Averaging process
6	Setting of pre-alarm	0: Not set, 1: Set
7	Setting of scaling	0: Not set, 1: Set (Unused for NP1AX04-MR or NP1AX08-MR)
8	Selection of setting value	000: Not selected
9		001: Offset scaling data (Unused for NP1AX04-MR or NP1AX08-MR)
10		010: Gain scaling data (Unused for NP1AX04-MR or NP1AX08-MR)
11		011: Number of times of averaging
12	Pre-alarm value	100: Pre-alarm value
13		101: Offset value
14		110: Gain value
15	Set data enable flag	111: Gain/offset decision } Disabled for NP1AX08-MR. If set, conversion characteristic may be changed.
11	Not used	
12	Setting of channel	000: Channel 1
13		001: Channel 2
14		010: Channel 3
15		011: Channel 4
100	Setting of channel	100: Channel 5
101		101: Channel 6
110		110: Channel 7
111		111: Channel 8
14	Not used	
15	Set data enable flag	0: Not enabled, 1: Enabled

Figura 7 Especificaciones de la Configuración
Fuente: Elaboración Propia

Metodología

El mecanismo del sensor de nivel se encuentra por fuera del tanque, alimentandose con 24V, de forma que cuenta con una terminal EXC de 5V hacia el transductor, el cual dependiendo del nivel, retorna un voltaje de 0-5V.

Posteriormente el instrumento lo estandariza a una señal de corriente de 4-20 mA. Esta señal eléctrica es la que se conecta hasta el PLC FUJI que se encuentra en la cabina de la grúa RTG.

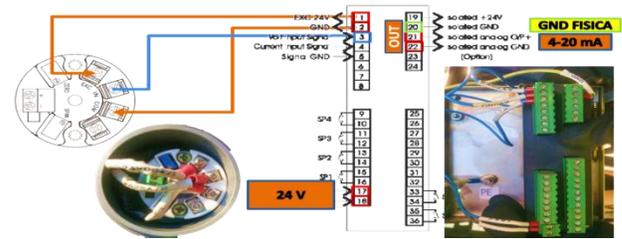


Figura 8 Configuración del Indicador
Fuente: Elaboración Propia

Las rutas de interconexiones eléctricas parten de D-room y deberá terminar en la cabina mediante una conexión secuencial, entre el mazo de cables previamente instalados [11].



Figura 9 Layout de Ruta para Cableado
Fuente: Elaboración Propia



Figura 10 Ruta para Cableado Seccional
Fuente: Elaboración Propia

Mediante el software D300win se configuran los canales necesarios en la tarjeta analógica, de acuerdo a las especificaciones del proyecto, estos canales son configurados para tener una lectura de corriente de 4-20 mA [12].

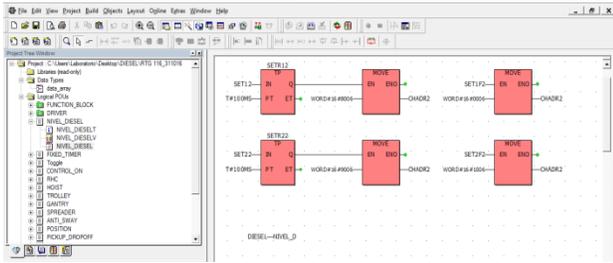


Figura 11 Configuración de Canales

Fuente: Elaboración Propia

La comunicación entre el PLC y la computadora se hace mediante vía Ethernet, para ello, se da de alta la tarjeta en el programa, esto se hace en System Definition que se encuentra en Project Tree Window [13]. Posteriormente se configura con la IP del PLC, colocando el número de slot que tiene la Base Board, y se cambia la dirección y la máscara de subred del PLC especificada para cada grúa.

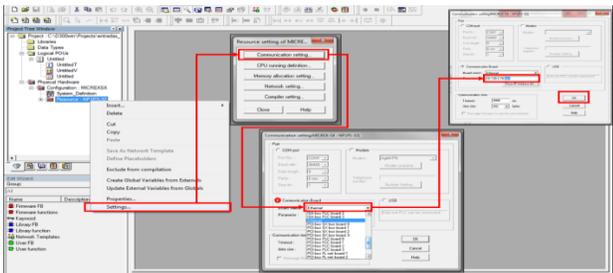


Figura 12 Configuración de Comunicación

Fuente: Elaboración Propia

Para cargar el programa en el PLC, es necesario detener la operación del PLC para su modificación [13].

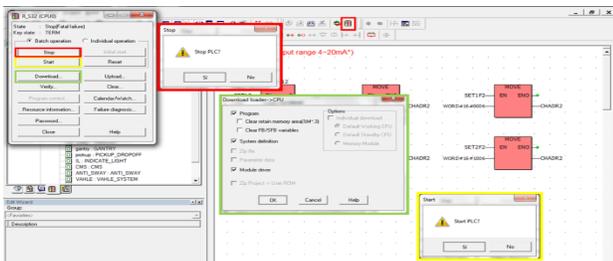


Figura 13 Descarga del Programa al PLC

Fuente: Elaboración Propia

El diseño del sistema SCADA se realiza por medio de IGNITION la cual contiene una Main Window donde se diseña la interfaz HMI arrastrando los diferentes elementos necesarios y modificándolos según el gusto y la perspectiva del diseñador. En la ventana Component Palette se encuentran los elementos tales como tanques, botones, indicadores, sensores, entre otros. Una vez que se colocan los elementos a la Main Window, funcionan solo como diseño de la interfaz, por lo que requieren de programarse para realizar acciones específicas [14].

La ventana Property Editor, hace referencia a las propiedades de cada elemento donde se modifican sus parámetros, incluso expresiones matemáticas o lógicas más complejas. Mientras que Project Browser muestra los elementos en forma de diagrama de árbol y permite presentarse como una base de datos, entre muchas otras acciones.

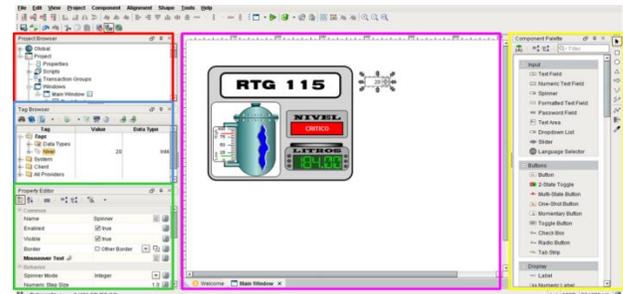


Figura 14 Plataforma de Diseño Ignition

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente la sección de Tag Browser crea variables con etiquetas en IGNITION, para comunicarse con el OPC y vincular un Tag ya creado, para esto el Tag de Nivel se creado se configura a los valores de los indicadores a la interfaz del proyecto diseñado. Una vez diseñada la interfaz, se realiza la comunicación con el OPC TAKEBISHI para vincular el Tag que se ha creado. Para eso se hace la configuración del OPC en el GATEWAY. En el apartado OPC Connections, después en Servers y en Create New OPC Server Connection [15].

ZAPIEN-RODRIGUEZ, Jose, RAMIREZ-CHAVEZ, Mayra, BURGARA-MONTERO, Oscar y ESCOTO-SOTELO, Edgardo. Desarrollo de un sistema SCADA para monitoreo remoto de grúas RTG en la empresa LCTPC del Puerto de Lázaro Cárdenas, Michoacán, México. Revista de Aplicaciones de la Ingeniería. 2017.

Artículo

Al seleccionar las configuraciones para cada OPC requerido, así como sus características de operación se realiza la conexión con el servidor.

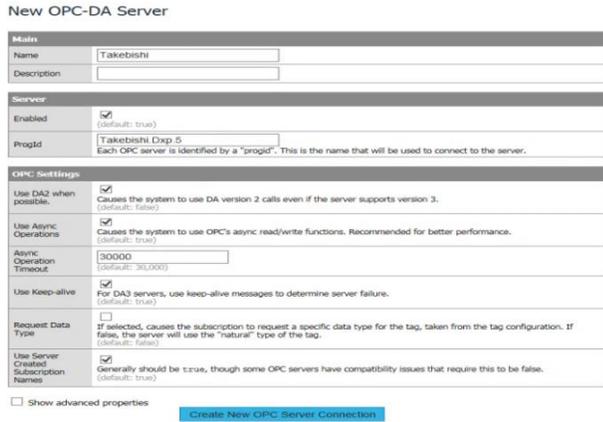


Figura 15 Configuración OPC Sever Fuente: Elaboración Propia

Para ubicar de forma rápida los Tags creados se puede usar la herramienta Browser OPC Server eligiendo la opción de Takebishi, al encontrar el Tag con nombre Nivel ubicado dentro de la carpeta RTC 115, en el cual se registran los datos de la grúa a monitorear.

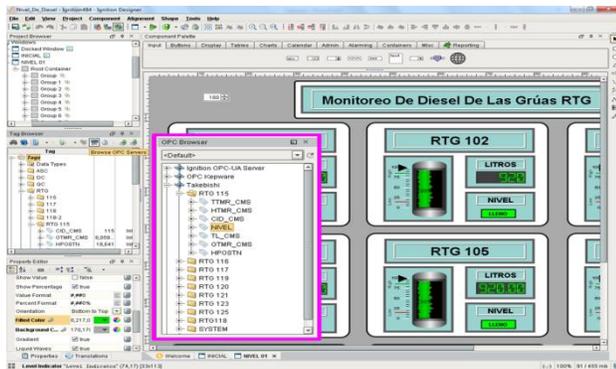


Figura 16 Tags del OPC en Ignition Fuente: Elaboración Propia

Finalmente el proyecto desarrollado en el área de Mantenimiento se reproduce en cada una de las grúas con las que cuenta LCTPC, para un control total de todas las grúas en una sola pantalla de control, una vez concluida la interfaz indica cada uno de los niveles con los que cuenta la grúa.

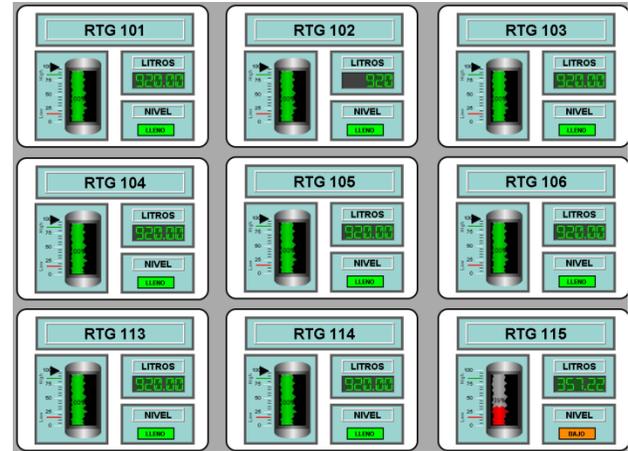


Figura 17 HMI de Grúas RTG en LCTPC Fuente: Elaboración Propia

Conclusión

El desarrollo tecnológico en las industrias requiere mantener actualizado el proceso de producción mediante un control de las variables involucradas, para fines de la automatización de la empresa. Existen un sinnúmero de variables a controlar de acuerdo al proceso industrial, sin embargo el proyecto se enfocó en la variable nivel, el cual al ser dentro del tanque de diésel en las grúas RGT, se emplean sensores para nivel de líquidos.

El desarrollo de este proyecto requirió de una investigación previa sobre el proceso en el que está sometida la grúa, así como a la terminología empleada de cada una de las partes que la conforman. De la misma manera se profundizó sobre la configuración de los PLC Fuji, de los diferentes slots que lo conforman, teniendo un mayor realce en las tarjetas de adquisición de datos.

ZAPIEN-RODRIGUEZ, Jose, RAMIREZ-CHAVEZ, Mayra, BURGARAMONTERO, Oscar y ESCOTO-SOTELO, Edgardo. Desarrollo de un sistema SCADA para monitoreo remoto de grúas RTG en la empresa LCTPC del Puerto de Lázaro Cárdenas, Michoacán, México. Revista de Aplicaciones de la Ingeniería. 2017.

Para realizar la interfaz HMI para el sistema SCADA desarrollado, se requirió la programación mediante el software Ignition que toma información en tiempo real de la variable censada para representarla de forma gráfica en la Interfaz, lo que permite tomar decisiones de control mediante el monitoreo de las grúas.

Debido al constante cambio de posición de las grúas, su comunicación con las estaciones de servicio se realiza de manera inalámbrica, proporcionando el valor de diversas variables en etiquetas previamente declaradas, sin embargo esta información se encuentra codificada y requiere un tratamiento que permita representarla de forma visual a escala el nivel del tanque, indicando el valor de la variable en un porcentaje dentro de la interfaz general que monitorea todas las grúas, de igual manera la interfaz está diseñada para expresar el nivel en litros cuando se accede de manera particular a cada una de estas.

Referencias

- [1].- López, I., Martínez, M., & Ortiz, R. Factores de afectación de las mercancías de comercio internacional en tráfico marítimo. *de Cuerpos Académicos*, 1.
- [2].- Avilés, J., Arreguín, A., Ambríz, F., Cano, J., & Rodríguez, M. Interfaz electrónica para monitoreo de equipos industriales empleando tecnología OPC.
- [3].- Valencia Arias, C. D. (2013). Diseño e implementación del sistema SCADA para la visualización de niveles de tanques de diesel para el consumo de las turbinas de generación eléctrica de la refinería la libertad de EP Petroecuador
- [4].- Cueva Ochoa, C. V. (2000). Sistema inteligente de medición HTG de tanques para almacenamiento de crudo.
- [5].- Borja Salazar, D. P. (2009). Diseño de un sistema de medición y control de uso de combustibles para las centrales de generación termoeléctrica del SIN.
- [6].- Ureña Aguirre, J. D. P. (2007). Diseño de un sistema de adquisición de datos para procedimientos de almacenamiento en tanques de combustible en la Empresa Petrocomercial Terminal Ambato. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Carrera Ingeniería Industrial en Procesos de Automatización.
- [7].- Goel, A., & Mishra, R. S. (2009). Remote data acquisition using wireless-SCADA system. *International Journal of Engineering (IJE)*, 3(1), 58-65.
- [8].- Daneels, A., & Salter, W. (1999). What is SCADA?.
- [9].- Endi, M., & Elhalwagy, Y. Z. (2010, February). Three-layer plc/scada system architecture in process automation and data monitoring. In *Computer and Automation Engineering (ICCAE), 2010 The 2nd International Conference on* (Vol. 2, pp. 774-779). IEEE.
- [10].- HSIUNG, Chang-Meng B., et al. *Monitoring system for an industrial process using one or more multidimensional variables*. U.S. Patent No 6,985,779, 10 Ene. 2006.
- [11] MICREX-SX. (2016). Fee-Front runners. USER'S MANUAL, NPIAX04-MR, 1-63.
- [12] MICREX-SX. (2016). USER'S MANUAL. SX-Programmer Expert (D300win), 1-48.
- [13] MICREX-SX. (2016). Fee Fuji Electric. USER'S MANUAL, HARDWARE, 1-289.

[14] Inductive Automation. (2016). USER'S MANUAL. IGNITION, HMI-SCADA-MES Software, 1-919.

[15] DeviceXPlorer OPC Server. (2015). User's Guide. TAKEBISHI, PLC Communication Edition, 1-492

Flujo y números de Nusselt en cavidades con multi-obstrucciones

LIZARDI, Arturo†, LÓPEZ, Raymundo, TERRES, Hilario y VACA -Mabel

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

Recibido Julio 8, 2017; Aceptado Septiembre 16, 2017

Resumen

Se presenta el análisis numérico del flujo en convección natural generado en el interior de una cavidad rectangular cerrada llena de agua, con obstrucciones en su interior. La cavidad, con relación geométrica alto/ancho = 1/2, se compone de paredes verticales isotérmicas y horizontales adiabáticas. La pared vertical izquierda se encuentra a una temperatura alta y la pared opuesta a una temperatura baja; y se manejan tres casos: cavidad sin obstrucciones en el interior y con tres obstrucciones, rectangulares y semicirculares, en la parte inferior del sistema. Se modelan y resuelven numéricamente las ecuaciones de conservación de masa, momentum y energía para flujo permanente, bidimensional, junto con las condiciones de frontera apropiadas, empleando el método numérico del elemento finito, a través del software COMSOL MULTIPHYSICS. Al comparar los resultados de los sistemas con obstrucciones rectangulares y semicirculares contra el que no tiene obstrucciones, se encontró que: a) el valor máximo positivo de la componente de velocidad vertical se redujo: 18.41 y 9.72%, respectivamente; b) el valor máximo positivo de la componente de velocidad horizontal disminuyó: 12.84 y 5.83%, respectivamente; y c) el número del Nusselt promedio se redujo: 5.70 y 2.65%, respectivamente.

Cavidad, convección natural, obstrucciones

Abstract

The numerical analysis of the flow in natural convection, generated in the interior of a closed rectangular cavity, full of water, with blockages in its interior, is presented. The cavity, with height/wide = 1/2 geometric ratio, is composed of isothermal vertical walls and adiabatic horizontal ones. The left vertical wall is at a high temperature and the opposite wall, at a low temperature; three cases were studied: cavity without internal obstructions, with three rectangular obstructions, and with three semi-circular obstructions, in the bottom of the system. The equations of conservation of mass, momentum and energy for two-dimensional permanent flow are modeled and numerically solved, considering the appropriate boundary conditions. The finite element numerical method, through the COMSOL MULTIPHYSICS software was used. Comparing the outcomes for systems with rectangular and semi-circular obstructions to the one which it has no obstructions, it was found that: to) the maximum positive value of the vertical velocity component was reduced: 18.41 and 9.72%, respectively; (b) the maximum positive value of the horizontal velocity component decreased: 12.84 and 5.83%, respectively; and (c) the average Nusselt number was reduced: 5.70 and 2.65%, respectively.

Cavity, natural convection, obstructions

Citación: LIZARDI, Arturo, LÓPEZ, Raymundo, TERRES, Hilario y VACA, Mabel. Flujo y números de Nusselt en cavidades con multi-obstrucciones. Revista de Aplicaciones de la Ingeniería. 2017, 4-12: 44-53.

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

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Nomenclatura

C	Calor específico (J/kg C)
E	Anchura de la cavidad (m)
g	Aceleración gravitatoria (m/s ²)
H	Altura de la cavidad (m)
k	Conductividad térmica (W/m C)
Nu _(Y)	Nusselt local
Nu	Nusselt promedio
P	Presión (Pa)
Pr	Número de Prandtl
Ra	Número de Rayleigh
T	Temperatura (C)
T _c	Temperatura de pared caliente (C)
T _f	Temperatura de pared fría (C)
T _o	Temperatura de referencia del fluido (C)
\vec{V}	Vector velocidad (m/s)
u	Velocidad horizontal (m/s)
v	Velocidad vertical (m/s)
x	Coordenada en eje horizontal (m)
X	Coordenada horizontal adimensional
y	Coordenada en eje vertical (m)
Y	Coordenada vertical adimensional
β	Coefficiente expansión volumétrico (1/K)
θ	Temperatura adimensional
ρ	Densidad (kg/m ³)
ρ_o	Densidad a temperatura de referencia (kg/m ³)
μ	Viscosidad dinámica (kg/m s)
ν	Viscosidad cinemática (m ² /s)

Introducción

El movimiento de un fluido en general es promovido por fuerzas que se dividen en fuerzas de superficie y/o fuerzas de cuerpo. Como ejemplo de flujos que resultan de las fuerzas que actúan sobre la superficie de un volumen de control, están los flujos a través de tubos, flujos del tipo capa límite, etc. La característica más relevante de este flujo es el hecho de que el campo de fuerzas que genera el flujo es independiente del flujo mismo.

Las expresiones para describir el campo de fuerzas que actúan en la frontera del flujo, están desacopladas de las ecuaciones del flujo de fluido. Matemáticamente el campo de fuerzas puede obtenerse sin resolver las ecuaciones de Navier-Stokes, lo cual se presenta por un sistema desacoplado, facilitando simplificaciones importantes de aplicación práctica.

Entre los flujos motivados por fuerzas de cuerpo, se tienen los fluidos que caen y el vaciado de depósitos, donde la fuerza de cuerpo es proporcionada por la gravedad. En convección natural, la fuerza generadora del flujo es proporcionada por una fuerza de cuerpo debida a una diferencia de densidad dentro del fluido, causada por un gradiente de temperatura o por un gradiente de concentración dentro del sistema.

El flujo promovido por convección natural es consecuencia de un proceso físico o químico que ocurre en el fluido, tal como, la transferencia convectiva de calor o masa. Se deduce que la definición de estos problemas de flujo de fluidos ha de comprenderse junto con el estudio de otros procesos de transferencia.

La fuerza que causa el flujo se encuentra acoplada entre el flujo y otros procesos de transporte. Este acoplamiento entre los procesos de transporte hace que el estudio de este tipo de flujo sea altamente complicado [1].

El propósito de este trabajo es analizar el campo de flujo, por convección natural, que se genera en una cavidad rectangular, llena de agua, sin protuberancias en su interior y con tres protuberancias semicirculares y rectangulares, ubicadas simétricamente en la parte inferior del sistema.

Para hallar la solución, se resuelven las ecuaciones de conservación de la masa, momentum y energía, para flujo permanente, bidimensional, junto con las condiciones de frontera, usando un algoritmo con base en el método numérico de elementos finitos, a través del software COMSOL MULTIPHYSICS, método que ha demostrado ser efectivo y rápido en problemas de transferencia de calor por convección libre.

El tema ha sido abordado al paso del tiempo por varios investigadores, cada uno con algunas variantes en cuanto a la geometría de la cavidad, rango del número de Rayleigh o el método de solución empleado. Algunos trabajos referentes a este tópico, desde el punto de vista numérico son: Kaviany [2], analizó numéricamente los campos de temperatura y líneas de corriente en una cavidad cuadrada, llena de aire, con una protuberancia semicircular localizada simétricamente en el fondo.

Las paredes verticales se consideraron a temperatura constante, con el lado izquierdo a mayor temperatura que el derecho. Las superficies superior e inferior se trataron como adiabáticas. Se muestran resultados del número de Nusselt y de los valores máximos de la función corriente para un rango del número de Rayleigh de $10^1 < Ra < 10^4$ y para radios de la protuberancia de 0, 0.2 y 0.4.

Deng [3], analizó numéricamente la convección natural laminar en una cavidad cuadrada bidimensional, llena de aire, de longitud H , con dos y tres pares de fuentes de calor en las paredes laterales verticales. El análisis se centra en los efectos del tamaño y la disposición de las fuentes y sumideros sobre las características de flujo y la transferencia de calor.

Los resultados se presentan a través de los campos de las líneas de corriente, líneas isotérmicas y números de Nusselt promedio. Se encontró que la transferencia de calor total está estrechamente relacionada con el número de remolinos en el recinto. Cuando las fuentes y sumideros fueron dimensionados en segmentos más pequeños y/o dispuestos en un modo escalonado, el número de remolinos en el recinto aumentó y por lo tanto la transferencia de calor se incrementó. Wang y Pepper [4], analizaron la convección natural laminar en canales verticales con obstrucciones semicirculares y rectangulares en el interior.

Utilizaron un algoritmo de elementos finitos que emplea la norma L_2 , basado en un estimador de error a-posteriori. Los términos de advección se trataron con el método explícito de Adams Bashforth, mientras que los términos de difusión se hicieron avanzar por un esquema de Euler implícito. Los resultados muestran los campos de temperatura y líneas de corriente para diferentes parámetros (número de Rayleigh, relación geométrica y ubicación de las obstrucciones) para canales lisos y obstruidos. Liu, *et al.* [5], estudiaron experimental y numéricamente el flujo en convección natural en una cavidad rectangular, llena de agua, con aletas en las paredes laterales.

Se colocaron dos aletas horizontales de diferentes longitudes a diferentes alturas a lo largo de cada una de las paredes laterales de la cavidad. En la etapa de estado permanente se observaron oscilaciones regulares por encima de la aleta inferior. La oscilación en el flujo térmico horizontal por encima de la aleta inferior genera una mezcla fuerte en la capa límite térmica entre las dos aletas. Como consecuencia, la transferencia de calor a través de la capa límite térmica es mayor. La simulación numérica correspondiente logró una buena concordancia con el experimento.

Además, se reveló numéricamente que el flujo convectivo a través de la cavidad se mejora significativamente debido a la presencia de las aletas. La transferencia de calor se mejora hasta en un 17.1% sobre el rango de número de Rayleigh investigado. Malekshah y Salari [6], analizaron experimental y numéricamente la convección natural tridimensional en un prisma rectangular lleno de dos fluidos inmiscibles, agua y aire, a diferentes relaciones de altura.

En una de las paredes laterales se coloca un calentador de flujo constante y en otras paredes se coloca material aislante. Las paredes superior e inferior se fijan a una temperatura fría constante.

Las mediciones se realizan para diferentes relaciones de altura líquida $AR=0.5, 0.625, 0.75$ y 0.875 y números de Rayleigh de $Ra=1.4 \times 10^8, 2.79 \times 10^8, 6.98 \times 10^8$ y 8.37×10^8 . Se presentan las mediciones y los resultados numéricos de las distribuciones de temperatura entre las paredes verticales y horizontales para diferentes relaciones de altura de interfaz de fluido y números de Rayleigh, presentándose concordancia.

Modelo a analizar

El sistema físico consiste en una cavidad rectangular de altura $H=8$ cm y anchura $E=16$ cm. La pared vertical izquierda se encuentra a una temperatura alta, T_c , y la derecha a una temperatura baja, T_f . Las paredes superior e inferior se consideran adiabáticas.

En el estudio se manejan tres casos: cavidad sin obstrucciones en su interior y con tres obstrucciones rectangulares (0.75 cm de alto por 1.25 cm de ancho) y semicirculares (0.625 cm de radio), repartidas simétricamente en el fondo, Fig. 1.

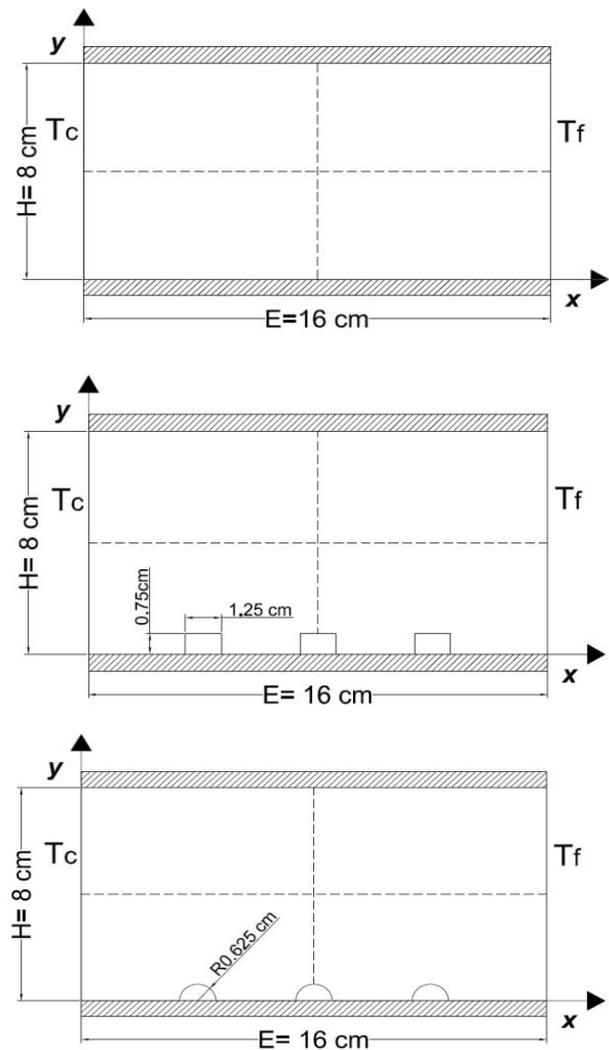


Figura 1 Representación del problema y ejes de referencia para el análisis (líneas discontinuas)

Fuente: *Elaboración propia*

La cavidad se encuentra llena de un fluido newtoniano, incompresible y de propiedades físicas constantes, excepto la densidad en el término de flotación (aproximación de Boussinesq). En estas condiciones la densidad se considera como una función lineal de la temperatura, esto es, Incropera y DeWitt [7].

$$\rho = \rho_0 [1 - \beta (T - T_0)] \quad (1)$$

Donde β es el coeficiente de expansión volumétrica y ρ_0 es la densidad a la temperatura de referencia T_0 .

Formulación matemática

En los problemas de transferencia de calor por convección libre la energía térmica es transportada tanto por conducción de calor como por el movimiento del fluido. El planteamiento matemático está definido por las ecuaciones de continuidad, cantidad de movimiento y energía.

En el estudio se emplea la aproximación de Boussinesq que considera que las propiedades físicas del fluido son independientes de la temperatura. La densidad del fluido, ρ , se toma como constante, excepto en el término de fuerza de flotación. En este último término la densidad se considera como una función lineal de la temperatura. Bajo las condiciones anteriormente mencionadas, las ecuaciones de movimiento para flujo laminar convectivo, considerando capa límite son, Bejan [8]

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

$$\rho_0 \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

$$\rho_0 \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \rho_0 g \beta (T - T_0) + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (4)$$

$$\rho_0 C \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (6)$$

Las condiciones de frontera para los sistemas, Fig. 1, se muestran en la siguiente tabla.

x=0	u=v=0	T=Tc	(6)
x=E	u=v=0	T=Tf	(7)
y=0	u=v=0	$\frac{\partial T}{\partial y} = 0$	(8)
y=H	u=v=0	$\frac{\partial T}{\partial y} = 0$	(9)

Tabla 1 Condiciones de frontera

Fuente: *Elaboración propia*

Solución numérica

Para resolver las ecuaciones que rigen en el interior del sistema (2), (3), (4) y (5), junto con las condiciones de frontera (6), se empleó el método numérico del elemento finito, a través del software COMSOL MULTIPHYSICS. Para ello se utilizó la siguiente metodología [9]:

Se selecciona en el software el tipo de análisis, en este caso modelo en 2D.

Se dibuja la geometría a analizar y se generan los elementos en el sistema. En este caso la cavidad se dimensionó con un alto de $H=8$ cm y de ancho $E=16$ cm. En el sistema sin obstrucciones se generaron 2756 elementos; en las protuberancias rectangulares, de base 1.25 cm y altura 0.75 cm, se generaron 4659 elementos; en la protuberancia semicircular, de radio 0.625 cm, se generaron 3609 elementos. Con el número de nodos y elementos propuestos se satisfacen los criterios de estabilidad y de orden de precisión para el alcance del trabajo.

Se introduce el valor de las propiedades del fluido, en este caso agua, que permanecen constantes: calor específico (C), viscosidad dinámica (μ), viscosidad cinemática (ν), coeficiente de expansión volumétrica (β) y conductividad térmica (k). La densidad se maneja como variable y la presión se modela con el algoritmo de relajación (TDMA).

Se introduce el valor y la dirección de la aceleración gravitatoria.

Se introducen las condiciones de frontera y se dan los valores de las temperaturas de las paredes verticales, en este caso $T_c=50^\circ\text{C}$ y $T_f=20^\circ\text{C}$. La interface resuelta por el programa fue de transferencia de calor en fluidos en flujo laminar.

Se exportan los valores de los campos de velocidad (\vec{V}) y de las componentes de velocidad vertical (v) y horizontal (u); para realizar las gráficas.

Cabe mencionar que al introducir los valores de las propiedades termofísicas del agua y las condiciones de las cavidades, se obtuvieron un número de Prandtl de 4.83 y Rayleigh de 3.74×10^9 .

Resultados y discusión

En las Figs. 2, 3 y 4 se muestran los resultados de los campos de velocidad (\vec{V}), en m/s, para las cavidades: sin obstrucción y con obstrucción rectangular y semicircular, respectivamente. En ellas se aprecia que en la inmediación de las paredes con alta y baja temperatura el fluido se mueve verticalmente hacia la frontera superior e inferior, respectivamente.

En las paredes adiabáticas superior e inferior el movimiento del fluido es hacia la derecha y hacia la izquierda, respectivamente. La combinación de estos flujos genera un movimiento en sentido horario. En la cavidad con obstrucciones rectangulares, Fig. 3, se observa que el fluido va bordeando a las mismas de derecha a izquierda, esto en concordancia con el gradiente de temperatura.

El fluido se mueve lentamente en la zona derecha de las obstrucciones, llega a la parte superior de las mismas, y de allí se presenta un incremento en su velocidad, que es en parte generado por el efecto gravitatorio. En la obstrucción rectangular de lado izquierdo se presentan los valores más altos de la velocidad del flujo, debido a la cercanía con la pared con alta temperatura.

En la Fig. 4 se aprecia el sistema con obstrucciones semicirculares. Al igual que en el caso anterior, el fluido se mueve de derecha a izquierda, bordeando los contornos de las semicircunferencias. A comparación de las obstrucciones rectangulares, en este caso se presentan velocidades más altas del flujo debido a la poca resistencia que presenta la curvatura de las semicircunferencias a su paso.

También en este caso se observa que el fluido cercano a la obstrucción de lado izquierdo adquiere valores mayores de velocidad, esto es a causa del flujo convectivo que genera la pared caliente.

Finalmente, en la Fig. 5, se muestra en detalle la distribución de velocidades en las cercanías de las obstrucciones que están a un lado de la pared caliente. En la obstrucción rectangular se aprecian dos vórtices secundarios que giran en sentido anti horario y que se ubican en las esquinas inferiores.

En estas esquinas se estanca el fluido y se generan bajas velocidades debido a que el flujo que pasa por allí emplea parte de su cantidad de movimiento para hacerlo girar. En la obstrucción semicircular se carece de estos vórtices secundarios, lo cual favorece al paso del flujo y por consiguiente a la magnitud de la velocidad.

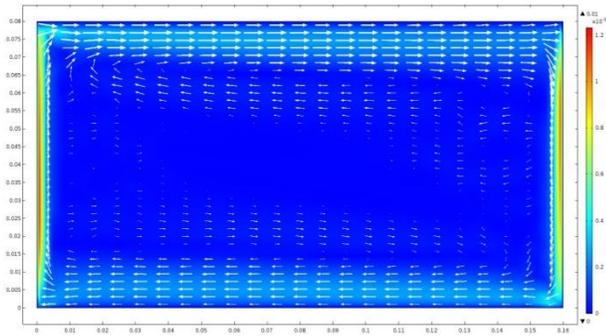


Figura 2 Campo de velocidades, ∇ , para cavidad sin obstrucciones
Fuente: Elaboración propia

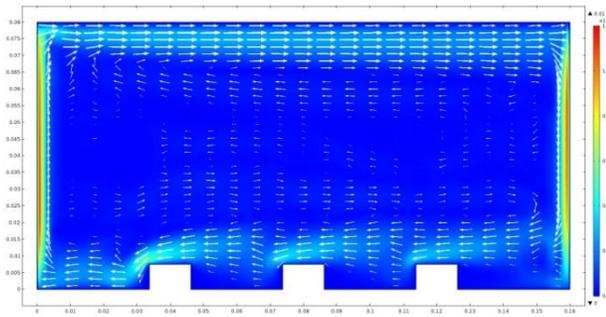


Figura 3 Campo de velocidades, ∇ , para cavidad con obstrucción rectangular
Fuente: Elaboración propia

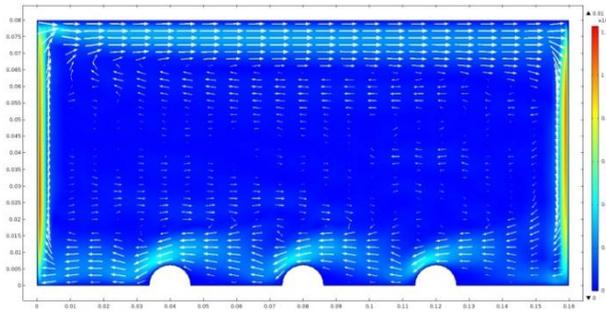


Figura 4 Campo de velocidades, ∇ , para cavidad con obstrucción semicircular
Fuente: Elaboración propia

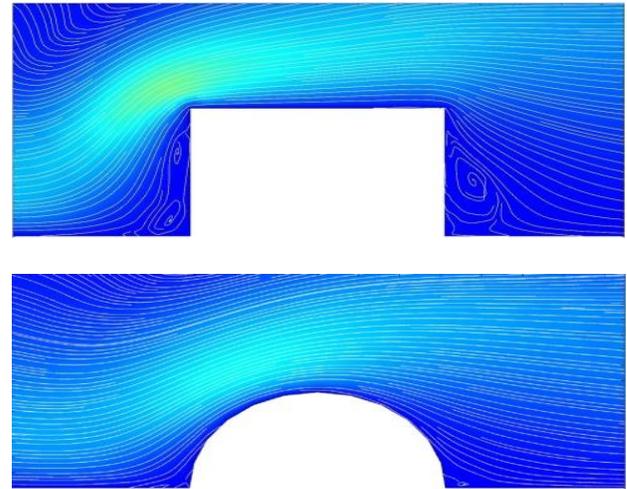


Figura 5 Campo de velocidades, ∇ , en las obstrucciones cercanas a la pared caliente
Fuente: Elaboración propia

Para hacer una comparación del desempeño del flujo en las cavidades estudiadas, se analizaron las componentes de velocidad horizontal (u) y vertical (v) en la posición $E/2$ y $H/2$, respectivamente (ver Fig. 1).

En la Fig. 6, se muestran los resultados de la componente de velocidad vertical (v), en m/s, para distintas posiciones en el eje “x” y para los tres casos. Para la cavidad sin obstrucciones se aprecia que la velocidad vertical comienza en cero, debido a la condición de frontera de no deslizamiento sobre la pared del depósito. Posteriormente se observa una zona donde el flujo se dirige verticalmente hacia la frontera superior, esto se indica por el signo positivo de la velocidad.

Se aprecia que la magnitud de la velocidad vertical va aumentando hasta un máximo positivo de $+6.79 \times 10^{-4}$ m/s y de allí comienza a disminuir hasta un valor cercano a cero. A partir de ese punto se presentan pequeñas variaciones de la componente de velocidad a lo largo de la parte central de la cavidad.

Finalmente se observa la zona donde el flujo se dirige hacia la frontera inferior, esto se indica por el signo negativo de la velocidad. En esta región se aprecia que la velocidad vertical va aumentando hasta un máximo negativo de -11.81×10^{-4} m/s, y de allí nuevamente disminuye su magnitud hasta llegar a cero sobre la pared del depósito.

Para las cavidades con obstrucciones rectangulares y semicirculares se observa el mismo comportamiento pero con valores distintos, en estos casos las magnitudes máximas positivas y negativas son de $+5.54 \times 10^{-4}$ y $+6.13 \times 10^{-4}$, -10.40×10^{-4} y -10.16×10^{-4} m/s, respectivamente. Comparando los resultados de las cavidades con obstrucciones rectangulares y semicirculares con la que no tiene obstrucciones, se encontró que el valor máximo positivo de la velocidad vertical se redujo: 18.41 y 9.72%, respectivamente.

Esto muestra que la velocidad vertical se ve disminuida al colocar las obstrucciones, encontrándose el valor más alto en la cavidad sin obstrucciones y el más bajo en la rectangular. Al no haber obstrucciones, el flujo se mueve libremente por el efecto convectivo que generan las paredes isotérmicas.

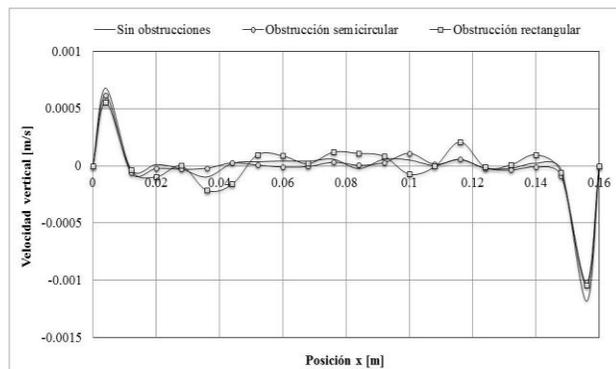


Figura 6 Distribución de velocidad vertical (m/s) para la posición $y=0.04$ m y para los tres casos

Fuente: *Elaboración propia*

En la Fig. 7 se muestran los resultados de la componente de velocidad horizontal (u), en m/s, para distintas posiciones en el eje “ y ” y para los tres casos. Para el sistema sin obstrucciones se aprecia que la componente de velocidad comienza en cero, debido a la condición de frontera de no deslizamiento sobre el fondo rígido. Posteriormente se observa la zona donde el flujo se dirige horizontalmente hacia la pared caliente, esto se indica por el signo negativo de la velocidad.

Se aprecia que la magnitud de la velocidad horizontal va aumentando hasta un máximo negativo de -3.93×10^{-3} m/s, y de allí comienza a disminuir hasta un valor cercano a cero. A partir de ese punto se presentan pequeñas fluctuaciones de la componente de velocidad a lo largo de la parte central de la cavidad. Finalmente se observa la zona donde el flujo se dirige hacia la pared fría, esto se indica por el signo positivo de la velocidad.

En esta parte se aprecia que la velocidad horizontal va aumentando hasta un máximo positivo de $+2.57 \times 10^{-3}$ m/s, y de allí nuevamente disminuye su magnitud hasta llegar a cero sobre la tapa rígida. Para los sistemas con obstrucciones rectangulares y semicirculares se observa el mismo comportamiento pero con valores distintos, en estos casos las magnitudes máximas negativas y positivas son de -3.13×10^{-3} y -3.48×10^{-3} m/s, $+2.24 \times 10^{-3}$ y $+2.42 \times 10^{-3}$ m/s, respectivamente.

Comparando los resultados de las cavidades con obstrucciones rectangulares y semicirculares con la que no tiene obstrucciones, se encontró que los valores máximos positivos de la velocidad horizontal disminuyeron: 12.84 y 5.83%, respectivamente.

Al igual que en el caso de la velocidad vertical, los resultados muestran que la velocidad horizontal disminuye al colocar las protuberancias en la cavidad, presentándose el valor más alto de esta componente en la cavidad sin protuberancia y el más bajo en la cavidad rectangular.

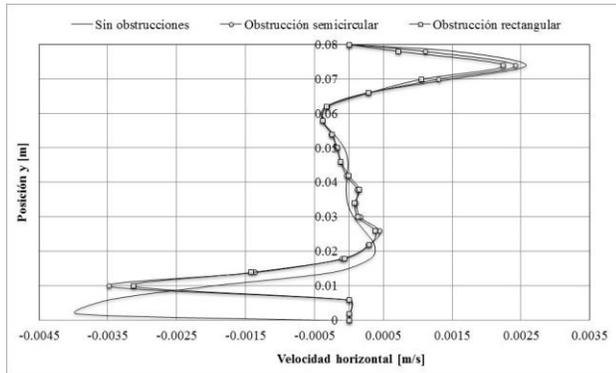


Figura 7 Distribución de velocidad horizontal (m/s) para la posición $x=0.08$ m y para los tres casos
Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, para el cálculo del número de Rayleigh y número de Nusselt promedio se emplearon las siguientes ecuaciones [10]:

$$Ra = \frac{g \beta (T_c - T_f) E^3 Pr}{\nu^2} \quad (7)$$

$$Nu_{(Y)} = - \left. \frac{\partial \theta}{\partial X} \right|_{X=0} \quad (8)$$

$$Nu = \int_0^1 - \left(\frac{\partial \theta}{\partial X} \right)_{X=0} dY \quad (9)$$

Los parámetros utilizados en estas expresiones son:

$$X = \frac{x}{E}; Y = \frac{y}{H}; \theta = \frac{(T - T_f)}{(T_c - T_f)} \quad (10)$$

Con las ecuaciones anteriores se obtiene un número de Rayleigh de 3.74×10^9 y Prandtl de 4.83. Los números de Nusselt promedio para los tres casos se muestran en la tabla siguiente.

	Sinobstrucc.	Obstrucc.semicircular	Obstrucc.rectangular
Nu	32.46	31.64	30.61

Tabla 2 Números de Nusselt promedio
Fuente: Elaboración propia

La presencia de las obstrucciones genera que en la convección térmica se presente una disminución del número de Nusselt promedio. Lo anterior muestra que hay una correspondencia entre el flujo convectivo y éste parámetro adimensional. Comparando los resultados de las cavidades con obstrucciones rectangulares y semicirculares con la que no tiene obstrucciones, se encontró que los valores del número del Nusselt promedio disminuyeron: 5.70 y 2.62%, respectivamente. Estos resultados son acordes con los reportados por Kaviany [2] y Lizardi, *et al.* [11], donde se muestra que el número de Nusselt promedio disminuye al colocar protuberancias en el interior de las cavidades. La importancia de este trabajo se centra en el análisis del flujo, en el interior de la cavidad, al contemplar tres casos (cavidad rectangular sin obstrucciones y con 3 obstrucciones rectangulares y semicirculares). Todo ello para entender en detalle el desarrollo del campo de velocidades (\vec{V}), de las componentes de velocidad vertical (v) y horizontal (u), y del número de Nusselt.

Conclusiones

En este trabajo se han presentado los resultados numéricos del flujo en convección natural generado en el interior de una cavidad rectangular, llena de agua, sin obstrucciones en su interior y con obstrucciones rectangulares y semicirculares ubicadas simétricamente en el fondo.

LIZARDI, Arturo, LÓPEZ, Raymundo, TERRES, Hilario y VACA, Mabel. Flujo y números de Nusselt en cavidades con multi-obstrucciones. Revista de Aplicaciones de la Ingeniería. 2017.

La solución numérica se hizo con el método del elemento finito, a través del software COMSOL MULTIPHYSICS. Se encontró que en la cavidad sin obstrucciones el flujo se mueve libremente por el efecto convectivo que generan las paredes isotérmicas; pero al colocar las obstrucciones, el flujo disminuye por las protuberancias impuestas, presentándose mayor resistencia en las obstrucciones rectangulares y después en las semicirculares.

Los valores tanto de la componente de velocidad vertical como de la horizontal se ven disminuidos al colocar las obstrucciones, encontrándose el valor más alto en la cavidad sin obstrucciones y el más bajo en las obstrucciones rectangulares. Al analizar el número de Nusselt promedio se encontró una correspondencia con el flujo dentro de la cavidad, es decir, se encontró el valor más alto en la cavidad sin obstrucciones y el valor más bajo en la cavidad con obstrucciones rectangulares.

Referencias

- [1] Ozisik, M. N., (1979), *Transferencia de calor*, Bogotá, Colombia, McGraw-Hill.
- [1] [2] Kaviany, M., (1984), Effect of a Protuberance on Thermal Convection in a Square Cavity, *Journal of Heat Transfer*, Vol. 106, pp. 830-834.
- [3] Deng, Q.-H., (2008), Fluid flow and heat transfer characteristics of natural convection in square cavities due to discrete source–sink pairs, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 51, pp. 5949–5957.
- [2] [4] Wang, X., Pepper, D. W., (2009), Numerical simulation for natural convection in vertical channels, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 52, pp. 4095–4102.
- [5] Liu, Y., Lei, C., and Patterson, J. C., (2014), Natural convection in a differentially heated cavity with two horizontal adiabatic fins on the sidewalls, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 72, pp. 23–36.
- [6] Malekshah, E. H., Salari, M., (2017), Experimental and numerical investigation of natural convection in a rectangular cuboid filled by two immiscible fluids, *Journal of Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 85, pp. 388–398.
- [7] Incropera, F. P., DeWitt, D. P., (1999), *Fundamentos de Transferencia de Calor*, México, Prentice Hall.
- [3] [8] Bejan, A., (1995), *Convection Heat Transfer*, New York, Wiley, Chap. 4.
- [9] Pryor, R. W., (2011), *Multiphysics Modeling Using COMSOL, A First Principles Approach*, Jones & Bartlett Learning.
- [4] [10] Shiralkar, G. S., Tien, C. L., (1981), A Numerical Study of Laminar Natural Convection in Shallow Cavities, *Journal of Heat Transfer*, Vol. 103, pp. 226-231.
- [5] [11] Lizardi, A., Terres, H., López, R., Vaca, M., Chávez, S., Lara, A., y Morales, J. R., (2017), Experimental and numerical analysis of convective flow in a square cavity with internal protuberances, *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 792, No. 1, p. 012022), IOP publishing.

Comparación del comportamiento del flujo en impulsores de disco y de flujo axial

LIZARDI, Arturo†*, TERRES, Hilario, LÓPEZ, Raymundo y VACA, Mabel

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

Recibido Julio 8, 2017; Aceptado Septiembre 16, 2017

Resumen

En este trabajo se presenta la comparación del desempeño del flujo, en el interior de un depósito cilíndrico cerrado, que es generado por un impulsor de disco y uno de flujo axial. Para ello se modelan y resuelven en forma numérica las ecuaciones de continuidad y de cantidad de movimiento en estado permanente para un fluido incompresible. Los resultados se muestran a través de los campos del vector velocidad (\vec{V}) y de las componentes de velocidad radial (u) y axial (w). En ambos casos se maneja una velocidad angular constante y la misma relación radio/altura, además de dos tipos de fluido: agua y gasolina que, de acuerdo a la situación física del problema, corresponden a un número de Reynolds de 2.74×10^4 y 0.63×10^4 , respectivamente. Al comparar el impulsor de flujo axial con el de disco se encontró que: la componente de velocidad radial positiva (u) aumentó 699.65% para $Re=2.74 \times 10^4$ y 672.64% para $Re=0.63 \times 10^4$; la componente de velocidad axial positiva (w), por debajo de los impulsores, aumentó 101.89% y 115.74%, para los mismos números de Reynolds; y la componente de velocidad axial positiva (w), por encima de los impulsores, aumentó 140.60% y 171.30%, para los mismos números de Reynolds.

Impulsor de flujo axial, impulsor de disco, velocidad radial y axial

Abstract

This work presents the comparison of the performance of the flow, in the interior of a closed cylindrical reservoir, which is generated by a disk impeller drive and an axial-flow one. The equations of continuity and of quantity of movement in steady state were modelled and solved in numerical form for an incompressible fluid. The results are presented through the fields of velocity vector (\vec{V}) and the radial (u) and axial (w) components of velocity. In both cases a constant angular velocity and the same ratio radius/height are used, in addition to two types of fluid: water and gasoline, which, according to the physical location of the problem, correspond to Reynolds numbers of 2.74×10^4 and 0.63×10^4 , respectively. When the axial-flow impeller was compared to a disc impeller, it was found that: the component of the positive radial velocity (u) increased 699.65% for $Re=2.74 \times 10^4$ and 672.64% for $Re=0.63 \times 10^4$; the component of positive axial velocity (w), below the impellers, increased 101.89% and 115.74%, for the same Reynolds numbers; and the component of positive axial velocity (w), over the impellers, increased 140.60% and 171.30%, for the same numbers of Reynolds.

Axial flow impeller, disk drive, radial and axial velocity

Citación: LIZARDI, Arturo, TERRES, Hilario, LÓPEZ, Raymundo y VACA, Mabel. Comparación del comportamiento del flujo en impulsores de disco y de flujo axial. Revista de Aplicaciones de la Ingeniería. 2017, 4-12: 54-65.

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

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Nomenclatura

g	aceleración gravitatoria (m/s ²)
k	conductividad térmica (W/m K)
r	coordenada radial (m)
u	componente de velocidad radial (m/s)
v	componente de velocidad tangencial (m/s)
w	componente de velocidad axial (m/s)
z	coordenada axial (m)
C	calor específico (J/kg K)
P	presión (Pa)
Re	número de Reynolds
\vec{V}	vector velocidad (m/s)
α	ángulo entre el eje y el álabe del impulsor (grados)
β	coeficiente de expansión volumétrico (1/K)
ν	viscosidad cinemática (m ² /s)
μ	viscosidad dinámica (kg/m s)
ρ	densidad (kg/m ³)
ω	velocidad angular del impulsor (rad/s)
θ	coordenada tangencial (rad)

Introducción

La gran cantidad de aplicaciones prácticas que tiene el movimiento circulatorio de un fluido viscoso e incompresible confinado en un recipiente cilíndrico, aunado al interés teórico dado por las características de la ecuación de Navier-Stokes; ecuación diferencial parcial no lineal y elíptica, ha generado investigaciones que aún no resuelven el problema por completo.

Dentro de los diferentes aspectos de la dinámica de fluidos computacional, la ecuación de Navier-Stokes, para fluidos viscosos, juega un papel importante en el desarrollo de nuevos y eficientes algoritmos numéricos que permitan obtener información sobre el comportamiento del flujo.

La no linealidad de la ecuación de Navier-Stokes implica dificultades críticas de integración global requiriendo de sofisticados esquemas iterativos de solución para resolver los sistemas de ecuaciones algebraicas resultantes.

Además, al acoplar las condiciones de frontera al esquema de segundo grado de la ecuación de Navier-Stokes, conduce a dificultades de implementación para definir el problema en estudio. Al encontrarse primeras derivadas parciales entre sus términos, se hace necesario utilizar modelos de mayor orden de exactitud, incrementando con esto el tiempo de cómputo para la solución.

Finalmente, el comportamiento elíptico de las ecuaciones para fluidos incompresibles, dificulta la obtención del campo de presiones que complementa la descripción del flujo. Por todo lo anterior la simulación numérica, al paso del tiempo, ha venido ganando terreno en la solución de este tipo de problemas.

Desde el punto de vista numérico, algunos de los trabajos reportados en la literatura sobre el flujo rotatorio, son: Pao [1] quien propuso un método numérico para estudiar un fluido viscoso incompresible confinado en una cámara cilíndrica donde la tapa superior está rotando a una velocidad angular constante y las paredes y fondo del recipiente permanecen fijos. Se analiza la función corriente y la circulación, la distribución de velocidades y el coeficiente de par para un rango del número de Reynolds de 1 a 400.

Bertelá y Gori [2] presentaron un método numérico que permite resolver el flujo estable y transitorio de un fluido dentro de una cámara cilíndrica con la cubierta rotando. En el estudio se analizan las componentes de velocidad, líneas de corriente y coeficiente de torque para un número de Reynolds de 100 y 1000, y para una relación geométrica de 0.5, 1 y 2. Lang *et al.* [3] estudiaron numéricamente el flujo laminar estable en un cilindro fijo con un disco rotando en la tapa superior.

El trabajo resalta el análisis del coeficiente de torque y de los flujos volumétricos primario y secundario para un rango del número de Reynolds de 1 a 10^5 y para una relación geométrica de 0.02 a 3. Valentine y Jahnke [4] describieron el campo de flujo dentro de un contenedor cilíndrico inducido por la rotación de las tapas superior e inferior, manteniendo la pared lateral fija.

En el trabajo se demuestra que se generan puntos de estancamiento a lo largo del eje de rotación entre el plano medio de simetría y las tapas en rotación. Las relaciones geométricas analizadas fueron 0.5, 0.8, 1.0, y 1.5, se examinaron en un intervalo de números de Reynolds de 100 a 2000. Khalili, *et al.* [5] proveyeron una solución numérica para un flujo laminar inducido, dentro de un cilindro, por un disco rotatorio situado asimétricamente respecto a la altura.

Presentaron el análisis de las líneas de corriente, de la componente de velocidad tangencial y del coeficiente de torque para distintos posicionamientos del disco, para una relación geométrica de 1 a 2 y para un rango de números de Reynolds de 1 a 5000. Yu, *et al.* [6] estudiaron numéricamente el flujo en una cámara cilíndrica cerrada con un disco giratorio en el fondo y cuyo radio es menor al de la cámara.

El comportamiento del flujo se investigó para una amplia gama de parámetros. Se analizaron, en el plano meridional, las líneas de corriente, momento angular y vorticidad, para diferentes Reynolds (1000, 1500 y 2000), relación geométrica H/R (1.5) y relación de radios R/r_d (1.5, 1.8, 2.0, 2.2, 2.6, 3.0, 5.0). Sturzenegger, *et al.* [7] estudiaron el flujo axisimétrico dentro de un recipiente cilíndrico con una varilla a lo largo de su eje de simetría.

El flujo se produce por la rotación de uno de los extremos del cilindro, de ambos extremos, o de la pared lateral. Se presentan expresiones analíticas (para números de Reynolds bajos) del campo de velocidad azimutal, extendiendo la solución para el caso sin varilla.

En este trabajo se pretenden conocer las características del movimiento de un fluido viscoso, incompresible, contenido en un depósito cilíndrico vertical cerrado. Dicho movimiento es generado por dos tipos de impulsor: uno de disco y otro de flujo axial con cinco álabes. Las ecuaciones que se resuelven son las de Navier-Stokes en coordenadas polares cilíndricas, en estado permanente, junto con las condiciones de frontera.

Los resultados obtenidos permiten determinar los campos del vector velocidad (\vec{V}) y de las componentes de velocidad radial (u) y axial (w) del fluido girando en el interior del depósito, para los dos tipos de impulsor y dos tipos de fluido: agua y gasolina que, de acuerdo a la situación física del problema, corresponden a un número de Reynolds de 2.74×10^4 y 0.63×10^4 , respectivamente.

Sistemas a analizar

El modelo considerado consiste en un depósito cilíndrico cerrado de 9 cm de diámetro por 9 cm de altura, al cual se le colocan por separado dos impulsores: uno de disco y uno de flujo axial, con cinco álabes. El impulsor de disco tiene 4 cm de diámetro por 0.5 cm de espesor (Fig. 1).

El impulsor de flujo axial tiene 4 cm de diámetro proyectado, cinco álabes de 0.5 cm de altura, 0.1 cm de espesor y están colocados sobre un eje o flecha con un ángulo de 40° respecto a la vertical (Fig. 2 y 3). Los impulsores y el eje o flecha, de 1 cm de diámetro, giran a una velocidad angular constante de 13.61 rad/s.

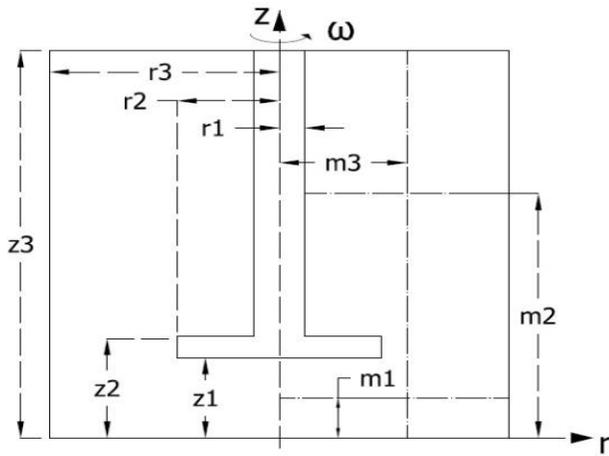


Figura 1 Sistema físico con impulsor de disco y ejes de referencia para análisis de componentes de velocidad
Fuente: Elaboración propia

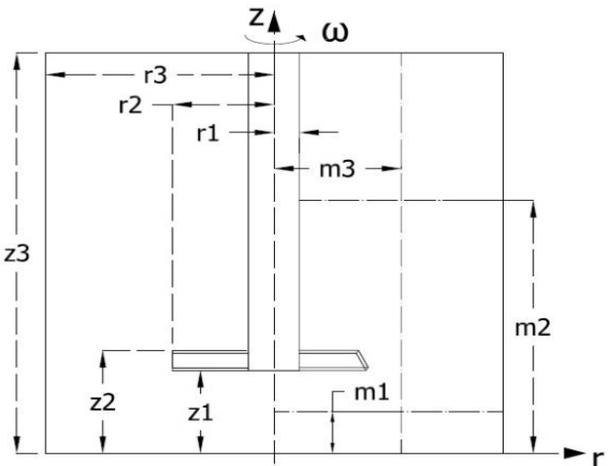


Figura 2 Sistema físico con impulsor de flujo axial y ejes de referencia para análisis de componentes de velocidad
Fuente: Elaboración propia

En el interior del recipiente se colocan, por separado, dos fluidos: agua y gasolina, que se consideran como fluidos viscosos e incompresibles de propiedades físicas constantes.

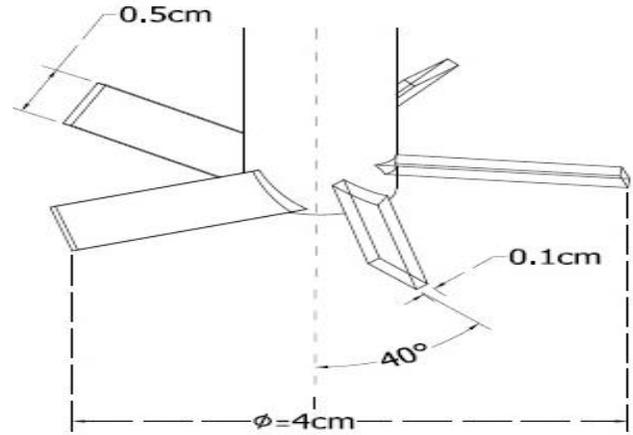


Figura 3 Detalle del impulsor de flujo axial
Fuente: Elaboración propia

Desarrollo matemático

Las expresiones que describen el movimiento rotatorio de un fluido viscoso, incompresible, en estado permanente, en el interior de un depósito cilíndrico, son las ecuaciones de continuidad y conservación la cantidad de movimiento en coordenadas polares cilíndricas [8] y [9].

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(ru) + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \tag{1}$$

$$u \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{v}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} - \frac{v^2}{r} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial r} + \nu \left[\nabla^2 u - \frac{u}{r^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v}{\partial \theta} \right] \tag{2}$$

$$u \frac{\partial v}{\partial r} + \frac{v}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{uv}{r} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho r} \frac{\partial P}{\partial \theta} + \nu \left[\nabla^2 v - \frac{v}{r^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial u}{\partial \theta} \right] \tag{3}$$

$$u \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{v}{r} \frac{\partial w}{\partial \theta} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \nabla^2 w + g \tag{4}$$

En estas ecuaciones se tienen cuatro incógnitas; las tres componentes de velocidad (u, v, y w) y la presión (P). Pero además, la presión en cualquier parte del recipiente depende de las componentes de velocidad. Las condiciones de frontera para el sistema con impulsor de disco se muestran en la Tabla 1.

$r = 0,$ $0 \leq z \leq z_1$	$u=0,$	$v=0,$	$\frac{\partial w}{\partial r} = 0$	(6)
$r = r_3,$ $0 \leq z \leq z_3$	$u=0,$	$v=0,$	$w=0$	(7)
$0 \leq r \leq r_2$ $z = z_1,$ $r_1 \leq r \leq r_2$ $z = z_2$	$u=0,$	$v=\omega r,$	$w=0$	(8)
$z_1 \leq z \leq z_2$ $r = r_2$ $z_2 \leq z \leq z_3,$ $r = r_1,$	$u=0,$	$v=\omega r,$	$w=0$	(9)
$z = 0,$ $0 \leq r \leq r_3$ $z = z_3,$ $r_1 \leq r \leq r_3$	$u=0,$	$v=0,$	$w=0$	(10)

Tabla 1 Condiciones de frontera para sistema con impulsor de disco

Fuente: *Elaboración propia*

En donde r_1, r_2 y r_3 son el radio del eje, del impulsor y del recipiente, respectivamente; z_1, z_2 y z_3 son las distancias desde el fondo del contenedor hasta la parte inferior impulsor, parte superior del mismo y tapa del cilindro, respectivamente; y ω es la velocidad angular con que gira el impulsor (Figs. 1, 2). El número de Reynolds (Re) para este sistema se puede obtener con la siguiente ecuación.

$$Re = \frac{\Omega r_2^2}{\nu} \tag{11}$$

Las condiciones de frontera para el sistema con impulsor de flujo axial son similares a las del impulsor de disco, a diferencia de que se le asigna la condición de no deslizamiento, y la expresión $v=\omega r$, a la superficie de los álabes del impulsor.

Tratamiento numérico

Para resolver las ecuaciones que rigen en el interior del sistema (1), (2), (3) y (4), junto con las condiciones de frontera (5), se empleó el método numérico del elemento finito, a través del software COMSOL MULTIPHYSICS.

Para ello se utilizó la siguiente metodología [10]:

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. En este caso se dibujó un cilindro de 9 cm de diámetro por 9 cm de alto, y, para sujetar los impulsores, un eje de 1 cm de diámetro por 6.64 cm de altura. En el sistema con impulsor de disco, de 4 cm de diámetro por 0.5 cm de alto, se generaron 133239 elementos, Fig. 4. En el sistema con impulsor de flujo axial, de 4 cm de diámetro, con cinco álabes de 0.5 cm de altura por 0.1 cm de espesor, colocados a un ángulo de 40° respecto a la vertical, se generaron 224636 elementos, Fig. 5. Con el número de nodos y elementos propuestos se satisfacen los criterios de estabilidad y de orden de precisión para el alcance del trabajo.

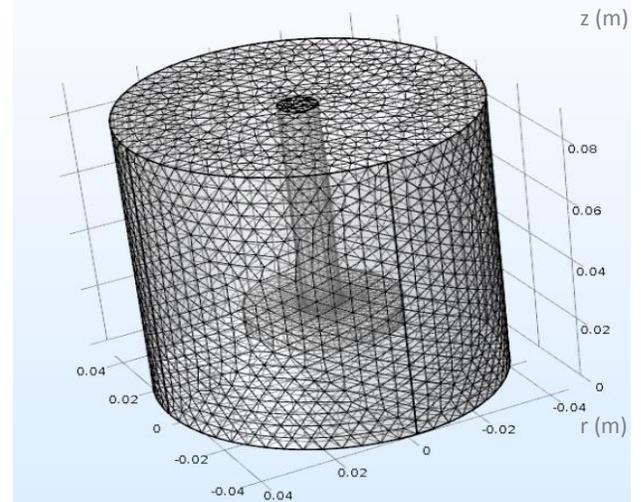


Figura 4 Malla para el sistema con impulsor de disco

Fuente: *Elaboración propia*

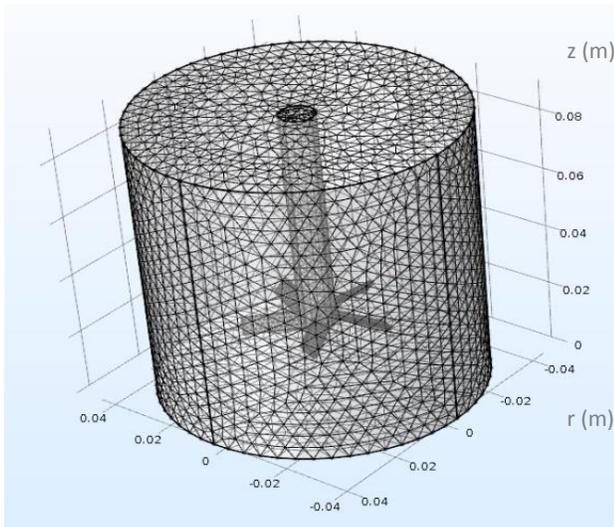


Figura 5 Malla para el sistema con impulsor de flujo axial
Fuente: Elaboración propia

Se introduce el valor de las propiedades del fluido, en este caso agua y gasolina, que permanecen constantes: viscosidad dinámica (μ), densidad (ρ), calor específico (C), coeficiente de expansión volumétrico (β) y conductividad térmica (k). La presión se modela con el algoritmo de relajación (TDMA).

Se introducen las condiciones de frontera y se da el valor de la velocidad angular a la que va a girar el impulsor, en este caso 13.61 rad/s. La interface resuelta por el programa fue la de "Maquinaria rotativa", flujo turbulento k- ϵ , que es la que resuelve adecuadamente las ecuaciones descritas en este trabajo.

Se corre el programa y se exportan los valores de los campos de velocidad (\vec{V}) y de las componentes de velocidad radial (u) y axial (w); para realizar las gráficas.

Análisis y discusión de resultados

Una vez hecha la programación, se hicieron corridas para dos tipos de fluido: agua y gasolina que, junto con la geometría del sistema, corresponden a un número de Reynolds de 2.74×10^4 y 0.63×10^4 , respectivamente.

El sistema se acotó con los siguientes valores: $r_1=0.5$ cm, $r_2=2$ cm, $r_3=4.5$ cm, $z_1=1.86$ cm, $z_2=2.36$ cm, $z_3=9$ cm, $n=5$ álabes, $\alpha=40^\circ$, y $\omega=13.61$ rad/s. La distribución de los campos de velocidad (\vec{V}), para los dos fluidos y los dos tipos de impulsor, se muestran en las Figs. 6 a 9.

En la Fig. 6, sistema con impulsor de disco y número de Reynolds 2.74×10^4 , se observa que el fluido es lanzado hacia la pared del cilindro. Al acercarse a la frontera rígida, el flujo se divide en dos: una parte se dirige hacia la parte inferior del depósito, formando un movimiento giratorio en sentido horario, y otra parte se dirige hacia la zona superior, formando un movimiento en sentido anti horario.

El campo de velocidades muestra que en las cercanías del impulsor y del eje de rotación se presentan los valores más altos de la velocidad y que lejos de los mismos su magnitud va disminuyendo, haciéndose presente la condición de frontera de no deslizamiento en las paredes del cilindro, fondo del depósito y superficie rígida.

Los valores que toma el vector velocidad \vec{V} , en m/s, para el flujo horario (+) y anti horario (-), en los núcleos de lado derecho, son: +0.0112 y -0.0065, respectivamente.

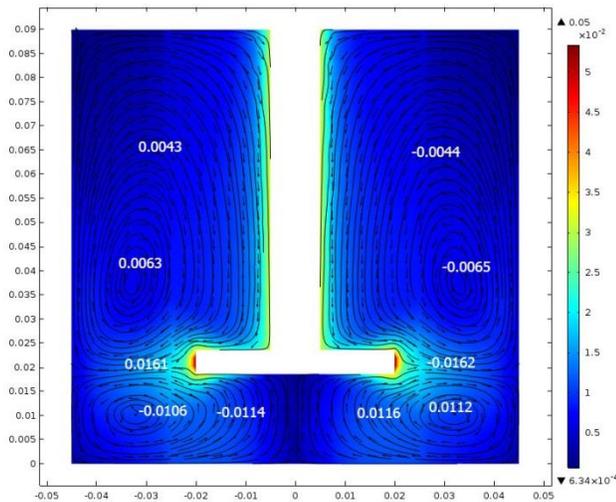


Figura 6 Campo de velocidades (∇) con impulsor de disco en agua ($Re=2.74 \times 10^4$)

Fuente: *Elaboración propia*

En el caso del impulsor de flujo axial (Fig. 7) se nota el mismo comportamiento, es decir, el flujo también se compone de dos movimientos circulatorios, uno en sentido horario (+), ubicado por debajo del impulsor, y otro en sentido anti horario (-), ubicado por encima del mismo.

Las magnitudes del vector velocidad en este caso son mayores a las del impulsor de disco, lo que muestra que al tener un impulsor con álabes mejora notablemente la velocidad del flujo. Lo anterior es debido a que el impulsor de disco induce a las partículas de fluido a moverse solo radialmente, generándose el movimiento axial solo por la influencia que tienen las paredes del recipiente en el flujo producido.

Cuando se utiliza el impulsor de flujo axial, su configuración misma contribuye a desarrollar tanto el movimiento radial como axial del fluido. Los valores que adquiere el vector velocidad ∇ , en m/s, para el flujo horario (+) y anti horario (-), en los núcleos de lado derecho, son: +0.0209 y -0.032, respectivamente.

Al comparar la magnitud del vector velocidad que genera el impulsor de flujo axial con respecto al de disco, en los núcleos positivo (+) y negativo (-) antes descritos, se observa un incremento del 86.61 y 392.31%, respectivamente.

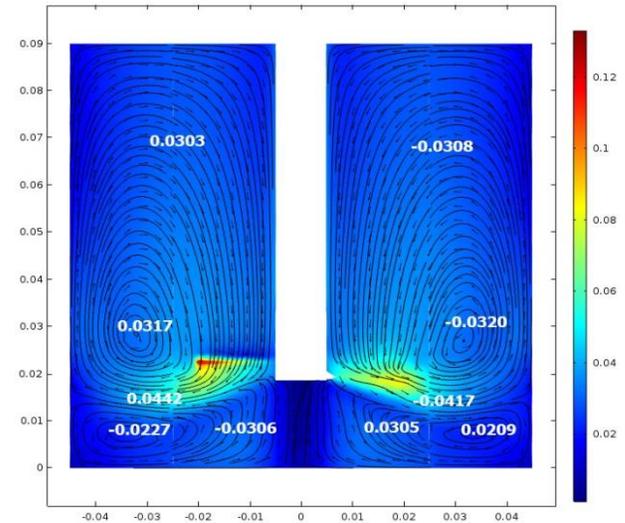


Figura 7 Campo de velocidades (∇) con impulsor de flujo axial en agua ($Re=2.74 \times 10^4$)

Fuente: *Elaboración propia*

El comportamiento para el sistema con número de Reynolds 0.63×10^4 , Figs. 8 y 9, es parecido aunque con valores mayores, ver Tabla 2. Las magnitudes que toma el vector velocidad ∇ , en m/s, en los núcleos antes descritos, para el movimiento horario (+) y anti horario (-), y para los dos tipos de impulsor son: +0.0114, -0.0065 y +0.0236, -0.0351, respectivamente.

Comparando los valores del vector velocidad que genera el impulsor de flujo axial con respecto al de disco, en los núcleos positivo (+) y negativo (-) previamente referidos, se encontró un aumento del 107.02 y 440.00%, respectivamente. El incremento de los valores del vector velocidad de la gasolina respecto al agua es consecuencia de la disminución de la viscosidad cinemática.

Fluido	Impulsor	\bar{V} (+)	\bar{V} (-)
Agua	Disco	0.0112	0.0065
	Flujo axial	0.0209	0.0320
Gasolina	Disco	0.0114	0.0065
	Flujo axial	0.0236	0.0351

Tabla 2 Vector velocidad, \bar{V} , en los núcleos de lado derecho para agua ($Re=2.74 \times 10^4$) y gasolina ($Re=0.63 \times 10^4$)

Fuente: Elaboración propia

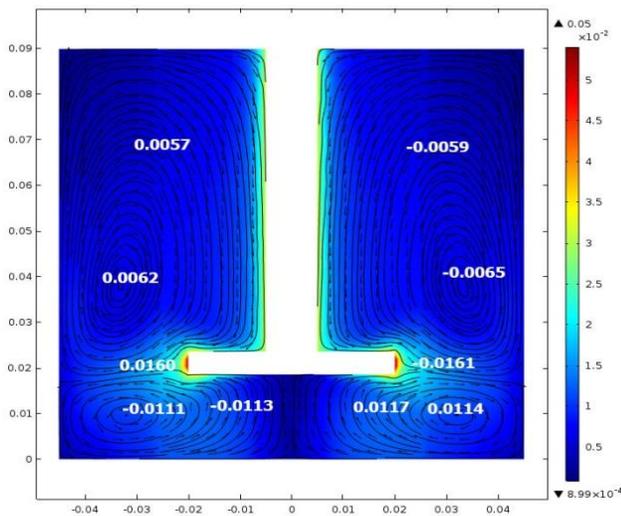


Figura 8 Campo de velocidad (\bar{V}) con impulsor de disco en gasolina ($Re=0.63 \times 10^4$)

Fuente: Elaboración propia

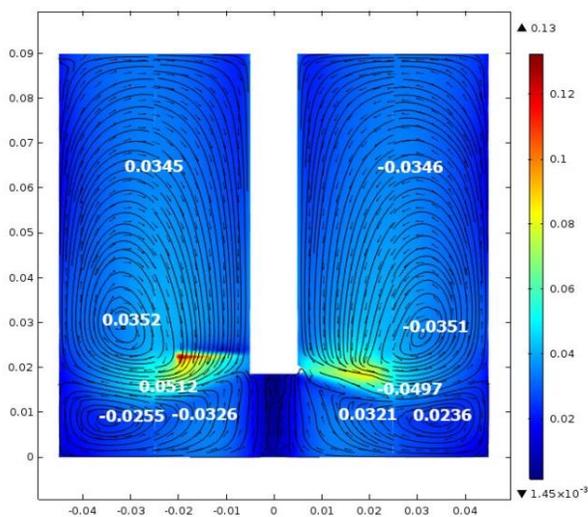


Figura 9 Campo de velocidad (\bar{V}) con impulsor de flujo axial en gasolina ($Re=0.63 \times 10^4$)

Fuente: Elaboración propia

Para hacer un análisis más detallado del movimiento del fluido en el depósito, se hicieron gráficas del comportamiento de las componentes de velocidad radial (u) y axial (w) en algunas posiciones de interés.

En la Fig. 10, se muestra el comportamiento de la componente de velocidad radial (u) al cambiar la posición de la coordenada “ z ”, para un Reynolds de 2.74×10^4 , en un radio de referencia $m_3=2.5$ cm (Fig. 1 y 2) y para los dos tipos de impulsor. Para el impulsor de disco se observa que la componente de velocidad radial comienza en cero en el fondo del cilindro.

Posteriormente se aprecia que el flujo se dirige horizontalmente hacia el eje del sistema, esto se indica por el signo negativo de la velocidad. Se nota que la magnitud de la velocidad radial va aumentando hasta un máximo de -4.12×10^{-3} y de allí comienza a disminuir su valor hasta cambiar el sentido del flujo. Ahora el fluido se mueve horizontalmente hacia la pared del depósito, esto se indica por el signo positivo de la velocidad. Su magnitud comienza a aumentar hasta un máximo de $+4.58 \times 10^{-3}$ y de allí nuevamente disminuye su valor hasta presentarse otro cambio en el sentido del flujo.

Ahora el fluido se mueve horizontalmente hacia el eje del impulsor, esto se indica por el signo negativo de la velocidad. Su magnitud comienza a aumentar hasta un máximo de -1.59×10^{-3} . Finalmente el valor de la velocidad radial comienza a disminuir hasta hacerse cero sobre la tapa del recipiente. Por otro lado, al analizar la curva del impulsor de flujo axial, se observa el mismo comportamiento, pero con magnitudes mayores. Los valores máximos, en correspondencia con el impulsor de disco, son: -9.97×10^{-3} , $+36.64 \times 10^{-3}$ y -4.58×10^{-3} , respectivamente.

Lo anterior muestra que el impulsor de flujo axial tiene mejor desempeño en la generación del flujo que el impulsor de disco. Al comparar la magnitud máxima positiva de la componente de velocidad radial que genera el impulsor de flujo axial con respecto al de disco, se encontró un incremento del 699.65%.

Fluido	Impulsor	$u_{m\acute{a}x}$
Agua	Disco	$-4.12 \times 10^{-3}, +4.58 \times 10^{-3}, -1.59 \times 10^{-3}$
	Flujo axial	$-9.96 \times 10^{-3}, +36.64 \times 10^{-3}, -4.58 \times 10^{-3}$
Gasolina	Disco	$-4.19 \times 10^{-3}, +4.99 \times 10^{-3}, -1.45 \times 10^{-3}$
	Flujo axial	$-10.40 \times 10^{-3}, +38.57 \times 10^{-3}, -4.63 \times 10^{-3}$

Tabla 3 Valores máximos de la velocidad radial (u) para agua ($Re=2.74 \times 10^4$) y gasolina ($Re=0.63 \times 10^4$)

Fuente: Elaboración propia

Para el análisis de la componente de velocidad axial (w) se propusieron dos zonas de estudio, una por debajo y otra por encima de los impulsores.

En la Fig. 11, se presenta el comportamiento de la componente de velocidad axial (w) al cambiar la posición de la coordenada "r", para un Reynolds de 2.74×10^4 , en una posición axial de referencia dada por $m_1=0.93$ cm (Fig. 1 y 2) y para los dos tipos de impulsor. Para el impulsor de disco se aprecia que la componente de velocidad vertical comienza en cero sobre el eje del cilindro, posteriormente se observa la zona donde el flujo se dirige verticalmente hacia el disco giratorio, esto se indica por el signo positivo de la velocidad. Se nota que el valor de la velocidad axial va aumentando hasta un máximo positivo de $+2.79 \times 10^{-3}$ y de allí comienza a disminuir hasta presentarse un cambio en el sentido del flujo.

Ahora el fluido se dirige hacia el fondo del depósito, esto se indica por el signo negativo de la velocidad. Se aprecia que la velocidad axial va aumentando hasta un máximo negativo de -2.85×10^{-3} y de allí nuevamente disminuye su magnitud hasta llegar a cero cuando se ubica sobre la pared del recipiente. Al analizar la curva del impulsor de flujo axial, se observa el mismo comportamiento, pero con valores más altos. Las magnitudes máximas, en correspondencia con el impulsor de disco, son: $+5.65 \times 10^{-3}, -10.04 \times 10^{-3}$, respectivamente.

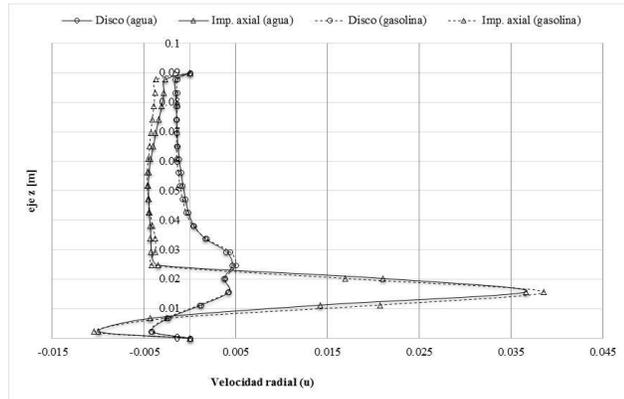


Figura 10 Componente de velocidad radial (u) en $m_3=2.5$ cm, para agua ($Re=2.74 \times 10^4$) y gasolina ($Re=0.63 \times 10^4$)

Fuente: Elaboración propia

Para el número de Reynolds de 0.63×10^4 , Fig. 10, se aprecia el mismo comportamiento pero con valores distintos. En este caso las magnitudes máximas que toma la componente de velocidad radial, en el radio de referencia $m_3=2.5$ cm (Fig. 1 y 2) y para los dos tipos de impulsor, se muestran en la Tabla 3.

Los resultados indican, como en el caso anterior, que el valor de la componente de velocidad radial (u) se ve favorecido al utilizar el impulsor de flujo axial. Al comparar la magnitud máxima positiva de la componente de velocidad radial que genera el impulsor de flujo axial con respecto al de disco, se encontró un aumento del 672.64%.

Comparando el valor máximo positivo de la componente de velocidad radial que genera el impulsor de flujo axial con respecto al de disco, se encontró un incremento de 101.89%.

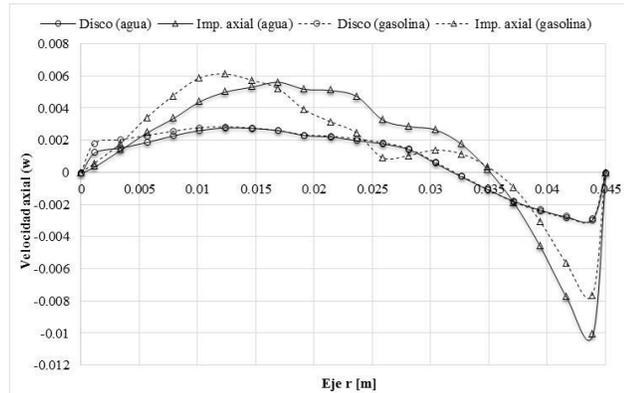


Figura 11 Componente de velocidad axial (w) en $m_1=0.93$ cm, para agua ($Re=2.74 \times 10^4$) y gasolina ($Re=0.63 \times 10^4$)
Fuente: Elaboración propia

Para el número de Reynolds de 0.63×10^4 , Fig. 11, se aprecia el mismo comportamiento pero con magnitudes distintas. En este caso los valores máximos que toma la componente de velocidad axial en la posición de referencia $m_1=0.93$ cm (Fig. 1 y 2) y para los dos tipos de impulsor se muestran en la Tabla 4.

Los resultados indican, como en el caso anterior, que la magnitud de la componente de velocidad axial (w) se mejora al utilizar el impulsor de flujo axial. Al comparar el valor máximo positivo de la componente de velocidad axial que genera el impulsor de flujo axial con respecto al de disco, se encontró un aumento del 115.74%.

Fluido	Impulsor	$w_{m\acute{a}x}$
Agua	Disco	$+2.79 \times 10^{-3}, -2.85 \times 10^{-3}$
	Flujo axial	$+5.65 \times 10^{-3}, -10.04 \times 10^{-3}$
Gasolina	Disco	$+2.84 \times 10^{-3}, -2.94 \times 10^{-3}$
	Flujo axial	$+6.13 \times 10^{-3}, -7.63 \times 10^{-3}$

Tabla 4 Valores máximos de la velocidad axial (w) para agua ($Re=2.74 \times 10^4$) y gasolina ($Re=0.63 \times 10^4$)
Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en la Fig. 12, se presentan los resultados de la componente de velocidad axial (w) al cambiar la posición de la coordenada “r”, para un Reynolds de 2.74×10^4 , en una posición axial de referencia dada por $m_2=5.43$ cm (Fig. 1 y 2) y para los dos tipos de impulsor.

Para el impulsor de disco se observa que la componente de velocidad vertical comienza en cero sobre el eje del impulsor, posteriormente se aprecia la zona donde el flujo se dirige verticalmente hacia el disco giratorio, esto se indica por el signo negativo de la velocidad.

Se observa que la magnitud de la velocidad axial va aumentando hasta un máximo negativo de -4.65×10^{-3} y de allí comienza a disminuir hasta presentarse un cambio en el sentido del flujo.

Ahora el fluido se dirige hacia la tapa del cilindro, esto se indica por el signo positivo de la velocidad. Se nota que la velocidad vertical va aumentando hasta un máximo positivo de $+4.36 \times 10^{-3}$ y de allí nuevamente disminuye su valor hasta llegar a cero cuando se localiza sobre la pared del depósito.

Al analizar la curva del impulsor de flujo axial, se aprecia el mismo comportamiento, pero con magnitudes mayores. Los valores máximos, en analogía con el impulsor de disco, son: -13.72×10^{-3} y $+10.50 \times 10^{-3}$, respectivamente.

Comparando la magnitud máxima positiva de la componente de velocidad axial que genera el impulsor de flujo axial con respecto al de disco, se encontró un incremento del 140.60%.

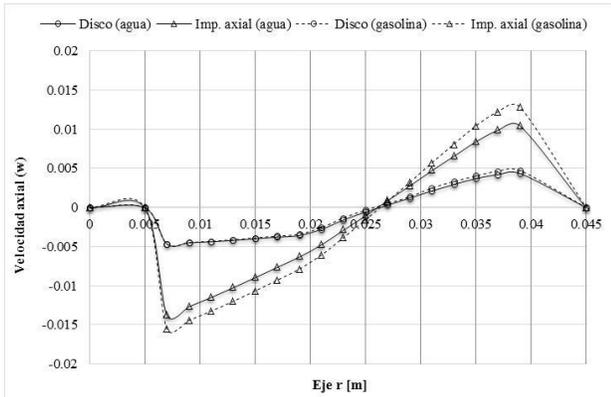


Figura 12 Componente de velocidad axial (w) en $m_2=5.43$ cm, para agua ($Re=2.74 \times 10^4$) y gasolina ($Re=0.63 \times 10^4$)

Fuente: *Elaboración propia*

Para el número de Reynolds de 0.63×10^4 , Fig. 12, se tiene el mismo comportamiento pero con valores distintos. En este caso las magnitudes máximas que toma la componente de velocidad axial en la posición de referencia $m_2=5.43$ cm (Fig. 1 y 2) y para los dos tipos de impulsor se muestran en la Tabla 5.

Los resultados indican, como en el caso anterior, que el valor de la componente de velocidad axial (w) se ve favorecido al emplear el impulsor de flujo axial. Al comparar la magnitud máxima positiva de la componente de velocidad axial que genera el impulsor de flujo axial con respecto al de disco, se encontró un incremento del 171.30%.

Fluido	Impulsor	$w_{m\acute{a}x}$
Agua	Disco	$-4.65 \times 10^{-3}, +4.36 \times 10^{-3}$
	Flujo axial	$-13.72 \times 10^{-3}, +10.50 \times 10^{-3}$
Gasolina	Disco	$-4.66 \times 10^{-3}, +4.73 \times 10^{-3}$
	Flujo axial	$-15.53 \times 10^{-3}, +12.83 \times 10^{-3}$

Tabla 5. Valores máximos de la velocidad axial (w) para agua ($Re=2.74 \times 10^4$) y gasolina ($Re=0.63 \times 10^4$)

Fuente: *Elaboración propia*

Los resultados obtenidos en este trabajo son acordes con los reportados en la literatura.

La composición del flujo, descrita por movimientos circulatorios por debajo y por encima de los impulsores, es semejante a los reportados por Khalili *et al.* [5], Lizardi *et al.* [11] y Lizardi *et al.* [12], con las respectivas diferencias que conlleva cada trabajo en específico. La relevancia de este trabajo se centra en el análisis del flujo, al interior de la cámara cilíndrica, al emplear los dos tipos de impulsor (de disco y de flujo axial) y dos tipo de fluido. Todo ello para entender en detalle el desarrollo del campo del vector velocidad (\vec{V}) y de las componentes de velocidad radial (u) y axial (w) que genera cada impulsor.

Conclusiones

Los resultados mostraron que el movimiento del fluido en el recipiente cilíndrico, generado por el impulsor de disco o de flujo axial, se forma de dos flujos: uno que gira en sentido horario, ubicado por debajo de los impulsores y otro que gira en sentido anti horario ubicado por encima de los mismos.

Al comparar el impulsor de flujo axial con el de disco se encontró que: la componente de velocidad radial (u) positiva aumentó 699.65% para agua ($Re=2.74 \times 10^4$) y 672.64% para gasolina ($Re=0.63 \times 10^4$); la componente de velocidad axial (w) positiva, por debajo de los impulsores, se incrementó 101.89% y 115.74%, para los mismos números de Reynolds; y la componente de velocidad axial (w) positiva, por encima de los impulsores, aumentó 140.60% y 171.30%, para los mismos números de Reynolds.

Al comparar las magnitudes de las componentes de velocidad de la gasolina ($Re=0.63 \times 10^4$) con los del agua ($Re=2.74 \times 10^4$) se encontró que: los valores máximos positivos de la componente de velocidad radial (u) aumentaron en promedio 7.11%.

Las magnitudes máximas positivas de la componente de velocidad axial (w), por debajo de los impulsores, se incrementaron en promedio 4.98%; y los valores máximos positivos de la componente de velocidad axial (w), por encima de los impulsores, aumentaron en promedio 15.27%. Estos resultados revelan que el desempeño del flujo es más favorable en el impulsor de flujo axial que en el de disco, pues en todos los casos las magnitudes de su velocidad fueron más altas. Sin embargo, no se encontró un valor constante en la variación de los parámetros estudiados.

Referencias

- [1]Pao, H-P., (1972), Numerical solution of the Navier Stokes equations for flows in the disk-cylinder system, *Physics of fluids*, Vol. 15, pp. 4-11.
- [2]Bertelá, M., Gori, F., (1982), Laminar flow in a cylindrical container with a rotating cover, *Journal of fluids engineering*, Vol. 104, pp. 31-39.
- [3]Lang, E., Sridhar, K., Wilson, N. W., (1994), Computational study of disk driven rotating flow in a cylindrical enclosure, *Journal of fluids engineering*, Vol. 116, pp. 815-820.
- [4]Valentine, D. T., Jahnke, C. C., (1994), Flows induced in a cylinder with both end walls rotating, *Physics of fluids*, Vol. 6, pp. 2702-2710.
- [5]Khalili, A., Adabala, R. R., Rath H. J., (1995), Flow induced by a asymmetrically placed disk rotating coaxially inside a cylindrical casing, *Acta Mechanica*, Springer-Verlag, Vol. 113, pp. 9-19.
- [6]Yu, P., Lee, T. S., Zeng, Y., Low, H. T., (2007), Characterization of flow behavior in an enclosed cylinder with a partially rotating end wall, *Physics of fluids*, Vol. 19, pp. 57104-57109.
- [7]Sturzenegger, J. C., Sarasúa, L. G., Martí, A. C., (2012), Analytical solutions for the axisymmetric flow inside a cylindrical container with a rod along the axis at low Reynolds numbers, *Journal of Fluids and Structures*, Vol. 28, pp. 473-479.
- [8]Landau y Lifshitz, (1982), *Fluids Mechanics*, Vol. 6, Pergamon Press.
- [9]Tijonov, A. N., Samarsky, A. A., (1980), *Ecuaciones de la física matemática*, Edit. MIR, Moscú, pp. 1-29.
- [10]Pryor, R. W., (2011), *Multiphysics Modeling Using COMSOL, A First Principles Approach*, Jones & Bartlett Learning.
- [11]Lizardi, A., Terres, H., López, R., Vaca, M., Flores, J., Lara, A., Chávez, S., Morales, J. R., (2015), Flujo asimétrico en cámaras cilíndricas para distintos radios y fluidos, *Primer Congreso Internacional de Energía (CIE 2015)*, pp. 31-38, México, D. F.
- [12]Lizardi, A., Terres, H., López, R., Chávez, S., Lara, A., Morales, J. R., (2016), Influencia del número de impulsores en el flujo rotatorio asimétrico, *VIII Congreso Internacional de Ingeniería Electromecánica y de Sistemas*, pp. 1-8, Ciudad de México, México.

Instrucciones para Autores

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

Apellidos en Mayusculas -1er Nombre de Autor †, Apellidos en Mayusculas -2do Nombre de Autor
Correo institucional en Times New Roman No.10 y Cursiva

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

Resumen

Título

Objetivos, metodología

Contribución

(150-200 palabras)

Abstract

Title

Objectives, methodology

Contribution

(150-200 words)

Keywords

**Indicar (3-5) palabras clave en Times New Roman
y Negritas No.11**

Cita: Apellidos en Mayúsculas -1er Nombre de Autor †, Apellidos en Mayusculas -2do Nombre de Autor. Título del Paper.
Título de la Revista. 2015, 1-1: 1-11 – [Todo en Times New Roman No.10]

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico:)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Instrucciones para Autores

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

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

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

Inclusión de Graficos, 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 titulo en la parte inferior con Times New Roman No.10 y Negrita]

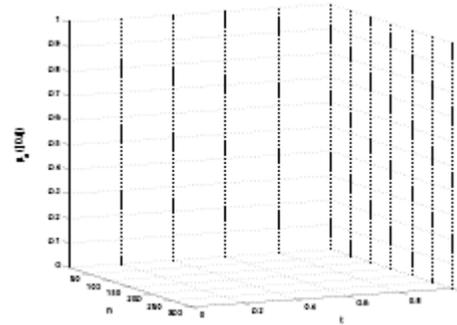


Grafico 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberan ser imágenes- todo debe ser editable.

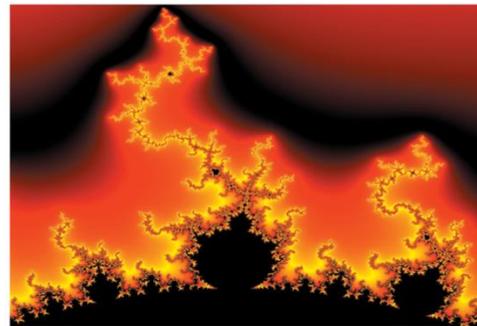


Figura 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberan ser imágenes- todo debe ser editable.

Tabla 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberan 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.

Instrucciones para Autores

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.

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

Formato de Originalidad



Sucre, Chuquisaca a ____ de ____ del 20 ____

Entiendo y acepto que los resultados de la dictaminación son inapelables por lo que deberán firmar los autores antes de iniciar el proceso de revisión por pares con la reivindicación de ORIGINALIDAD de la siguiente Obra.

Artículo (Article):

Firma (Signature):

Nombre (Name)

Formato de Autorización



Sucre, Chuquisaca a ____ de ____ del 20 ____

Entiendo y acepto que los resultados de la dictaminación son inapelables. En caso de ser aceptado para su publicación, autorizo a ECORFAN-Bolivia a difundir mi trabajo en las redes electrónicas, reimpresiones, colecciones de artículos, antologías y cualquier otro medio utilizado por él para alcanzar un mayor auditorio.

I understand and accept that the results of evaluation are inappealable. If my article is accepted for publication, I authorize ECORFAN-Bolivia to reproduce it in electronic data bases, reprints, anthologies or any other media in order to reach a wider audience.

Artículo (Article):

Firma (Signature)

Nombre (Name)

Revista de Aplicaciones de la Ingeniería

“Alternativa para la utilización de recursos energéticos en una unidad de producción agropecuaria en Cajeme, Sonora”

FORNÉS-RIVERA, René Daniel, CONANT-PABLOS, Marco Antonio, BELTRÁN-ESPARZA, Luz Elena y CANO-CARRASCO-Adolfo

Instituto Tecnológico de Sonora

“Redes neuronales para el control de temperatura y humedad en un invernadero de tomate”

GUZMÁN-GORDILLO, José, MORALES-HERNÁNDEZ, Maricela, MATADAMAS-ORTÍZ, Idarh Claudio y DÍAZ-SARMIENTO, Bibiana

Instituto Tecnológico de Oaxaca,

“Método para determinar conductividad térmica por comparativo longitudinal de flux de calor”

MACÍAS-MELO, Edgar Vicente, TORRES-AGUILAR, Carlos Enrique, AGUILAR-CASTRO- Karla María y PÉREZ-OLÁN, Isa Yadira

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

“Metodología para realizar el cálculo de parámetros de rendimiento de cojinetes deslizantes finitos”

VILLARREAL, Marco, LUGO, Eloina, GAYTÁN, Alfredo y SOTO, Francisco

Universidad Politécnica de Santa Rosa Jáuregui

“Desarrollo de un sistema SCADA para monitoreo remoto de grúas RTG en la empresa LCTPC del Puerto de Lázaro Cárdenas, Michoacán, México”

ZAPIÉN-RODRIGUEZ, Jose¹, RAMIREZ-CHAVEZ, Mayra², BURGARA-MONTERO, Oscar¹, y ESCOTO-SOTELO, Edgardo¹.

¹ *Universidad Politécnica de Lázaro Cárdenas*

² *Universidad Autonoma de Queretaro*

“Flujo y números de Nusselt en cavidades con multi-obstrucciones”

LIZARDI, Arturo, LÓPEZ, Raymundo, TERRES, Hilario y VACA -Mabel

Universidad Autónoma Metropolitana

“Comparación del comportamiento del flujo en impulsores de disco y de flujo axial”

LIZARDI, Arturo, TERRES, Hilario, LÓPEZ, Raymundo y VACA, Mabel

Universidad Autónoma Metropolitana

