

ISSN 2531-2189

Volumen 2, Número 5 — Enero — Marzo - 2018

Revista de Ingeniería Mecánica

ECORFAN®

ECORFAN-Spain

Editora en Jefe

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Redactor Principal

SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC

Asistente Editorial

ROSALES-BORBOR, Eleana. BsC

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Editor Ejecutivo

MIRANDA-GARCIA, Marta. PhD

Editores de Producción

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Administración Empresarial

REYES-VILLO, Angélica. BsC

Control de Producción

RAMOS-ARANCIBIA Alejandra. BsC

DÍAZ-OCAMPO Javier. BsC

Revista de Ingeniería Mecánica Volumen 2, Número 5, de Enero a Marzo - 2018, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Spain. Calle Matacerquillas 38, CP: 28411. Morzarzal -Madrid. WEB: www.ecorfan.org/spain, revista@ecorfan.org. Editora en Jefe: RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD, Co-Editor: MIRANDA-GARCÍA, Marta. PhD, ISSN: 2531-2189. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-BOUCHÁN, Imelda. PhD, LUNA-SOTO, Vladimir. PhD, actualizado al 31 de Marzo de 2018.

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

Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin permiso del Centro Español de Ciencia y Tecnología.

Revista de Ingeniería Mecánica

Definición del Research Journal

Objetivos Científicos

Apoyar a la Comunidad Científica Internacional en su producción escrita de Ciencia, Tecnología en Innovación en el Área de Ingeniería y Tecnología, en las Subdisciplinas Construcción de puentes, Desarrollo de la ingeniería ambiental, Gestión en construcción de viviendas, Infraestructura hidráulicas Mecánica de suelos, Ingeniería sanitaria, Infraestructura vial

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

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

Alcances, Cobertura y Audiencia

Revista de Ingeniería Mecánica es un Research Journal editado por ECORFAN-México S.C en su Holding con repositorio en Spain, es una publicación científica arbitrada e indizada con periodicidad trimestral. Admite una amplia gama de contenidos que son evaluados por pares académicos por el método de Doble-Ciego, en torno a temas relacionados con la teoría y práctica de Construcción de puentes, Desarrollo de la ingeniería ambiental, Gestión en construcción de viviendas, Infraestructura hidráulicas Mecánica de suelos, Ingeniería sanitaria, Infraestructura vial con enfoques y perspectivas diversos, que contribuyan a la difusión del desarrollo de la Ciencia la Tecnología e Innovación que permitan las argumentaciones relacionadas con la toma de decisiones e incidir en la formulación de las políticas internacionales en el Campo de las Ciencias Ingeniería y Tecnología. El horizonte editorial de ECORFAN-México® se extiende más allá de la academia e integra otros segmentos de investigación y análisis ajenos a ese ámbito, siempre y cuando cumplan con los requisitos de rigor argumentativo y científico, además de abordar temas de interés general y actual de la Sociedad Científica Internacional.

Consejo Editorial

ROCHA - RANGEL, Enrique. PhD
Oak Ridge National Laboratory

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

GUZMÁN - ARENAS, Adolfo. PhD
Institute of Technology

CASTILLO - TÉLLEZ, Beatriz. PhD
University of La Rochelle

FERNANDEZ - ZAYAS, José Luis. PhD
University of Bristol

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

TELOXA - REYES, Julio. PhD
Advanced Technology Center

HERNÁNDEZ - PRIETO, María de Lourdes. PhD
Universidad Gestalt

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

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

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

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

LAGUNA, Manuel. PhD
University of Colorado

VAZQUES - NOGUERA, José. PhD
Universidad Nacional de Asunción

VAZQUEZ - MARTINEZ, Ernesto. PhD
University of Alberta

AYALA - GARCÍA, Ivo Neftalí. PhD
University of Southampton

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

MEJÍA - FIGUEROA, Andrés. PhD
Universidad de Sevilla

DIAZ - RAMIREZ, Arnoldo. PhD
Universidad Politécnica de Valencia

MARTINEZ - ALVARADO, Luis. PhD
Universidad Politécnica de Cataluña

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

ROBLEDO - VEGA, Isidro. PhD
University of South Florida

LARA - ROSANO, Felipe. PhD
Universidad de Aachen

TIRADO - RAMOS, Alfredo. PhD
University of Amsterdam

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

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

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

LÓPEZ - LÓPEZ, Aurelio. PhD
Syracuse University

RIVAS - PEREA, Pablo. PhD
University of Texas

VEGA - PINEDA, Javier. PhD
University of Texas

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

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

RODRÍGUEZ - AGUILAR, Rosa María. PhD
Universidad Autónoma Metropolitana

BAEZA - SERRATO, Roberto. PhD
Universidad de Guanajuato

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

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

SERRANO - ARRELLANO, Juan. PhD
Universidad de Guanajuato

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

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

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

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

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

CERCADO - QUEZADA, Bibiana. PhD
Intitut National Polytechnique Toulouse

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

DURÁN - MEDINA, Pino. PhD
Instituto Politécnico Nacional

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

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

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

VALENZUELA - ZAPATA, Miguel Angel. PhD
Universidad Autónoma Metropolitana

OCHOA - CRUZ, Genaro. PhD
Instituto Politécnico Nacional

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Comité Arbitral

ESCAMILLA - BOUCHÁN, Imelda. PhD
Instituto Politécnico Nacional

LUNA - SOTO, Carlos Vladimir. PhD
Instituto Politécnico Nacional

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

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

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

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

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

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

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

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

OLVERA - MEJÍA, Yair Félix. PhD
Instituto Politécnico Nacional

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

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

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

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

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

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

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

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

GONZÁLEZ - JASSO, Eva. PhD
Instituto Politécnico Nacional

FLORES - RAMÍREZ, Oscar. PhD
Universidad Politécnica de Amozoc

ARROYO - FIGUEROA, Gabriela. PhD
Universidad de Guadalajara

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

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

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

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

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

NÚÑEZ - GONZÁLEZ, Gerardo. PhD
Universidad Autónoma de Querétaro

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

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

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

TZILI - CRUZ, María Patricia. PhD
Universidad ETAC

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

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

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

MARTÍNEZ - RAMÍRES, Selene Marisol. PhD
Universidad Autónoma Metropolitana

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

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

JUAREZ - SANTIAGO, Brenda. PhD
Universidad Internacional Iberoamericana

ENCISO - CONTRERAS, Ernesto. PhD
Instituto Politécnico Nacional

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

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

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

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

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

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

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

ARCEO - OLAGUE, José Guadalupe. PhD
Instituto Politécnico Nacional

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

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

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

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

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

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

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

CHÁVEZ - GUZMÁN, Carlos Alberto. PhD
Instituto Politécnico Nacional

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Cesión de Derechos

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

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

Declaración de Autoría

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

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

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

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

Detección de Plagio

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

Proceso de Arbitraje

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

Instrucciones para Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

Área del Conocimiento

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

Presentación del Contenido

Como primer artículo presentamos, *Propuesta de módulo didáctico plano para PLC S7-1200*, por RINCÓN-MALTOS, Gerardo, CÓRDOVA-LISZT, Gina Elizabeth y SÁNCHEZ-ROMO, César Rogelio, con adscripción en la Universidad Tecnológica del Norte de Coahuila, como segundo artículo presentamos, *Diseño y Construcción de un Refrigerador Solar por Adsorción que Usa el par Oxido de Silicio-Agua*, por AGUILAR-CELIO, Valentín, TOLEDO-MANUEL, Ivan, ARANA-CHAVEZ, David y SABÁS-SEGURA, José, con adscripción en el Instituto Tecnológico Superior de Abasolo, como tercer artículo presentamos, *Análisis Termodinámico del proceso de compresión con enfriamiento y sin enfriamiento en un ciclo real de refrigeración R12 y 134^a*, por RANGEL-ROMERO, Carlos, ROJAS-GARNICA, Juan Carlos, MUÑOZ-MATA, José Lorenzo y BARCELATA-PINZÓN, Antonio, con adscripción en la Universidad Tecnológica de Puebla, como cuarto artículo presentamos, *Análisis del comportamiento eléctrico en un compresor recíprocante hermético monofásico a la modificación de las variables termodinámicas en la refrigeración*, por AGUILAR-ANASTACIO, José Carlos, PEREZ-LULE, Salvador y MUÑOZ-FLORES, Luis David, con adscripción en el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec.

Contenido

Artículo	Página
Propuesta de módulo didáctico plano para PLC S7-1200 RINCÓN-MALTOS, Gerardo, CÓRDOVA-LISZT, Gina Elizabeth y SÁNCHEZ- ROMO, César Rogelio <i>Universidad Tecnológica del Norte de Coahuila</i>	1-8
Diseño y Construcción de un Refrigerador Solar por Adsorción que Usa el par Oxido de Silicio-Agua AGUILAR-CELIO, Valentín, TOLEDO-MANUEL, Ivan, ARANA-CHAVEZ, David y SABÁS-SEGURA, José <i>Instituto Tecnológico Superior de Abasolo</i>	9-15
Análisis Termodinámico del proceso de compresión con enfriamiento y sin enfriamiento en un ciclo real de refrigeración R12 y 134a RANGEL-ROMERO, Carlos, ROJAS-GARNICA, Juan Carlos, MUÑOZ-MATA, José Lorenzo y BARCELATA-PINZÓN, Antonio <i>Universidad Tecnológica de Puebla</i>	16-22
Análisis del comportamiento eléctrico en un compresor recíprocante hermético monofásico a la modificación de las variables termodinámicas en la refrigeración AGUILAR-ANASTACIO, José Carlos, PEREZ-LULE, Salvador y MUÑOZ-FLORES, Luis David <i>Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec</i>	23-33

Propuesta de módulo didáctico plano para PLC S7-1200

Proposal of a didactic module for PLC S7-1200

RINCÓN-MALTOS, Gerardo†*, CÓRDOVA-LISZT, Gina Elizabeth y SÁNCHEZ-ROMO, César Rogelio

Universidad Tecnológica del Norte de Coahuila

ID 1^{er} Autor: *Gerardo, Rincón-Maltos* / **ORC ID:** 0000-0003-4712-4302, **CVU CONACYT ID:** 362678

ID 1^{er} Coautor: *Gina Elizabeth, Córdova-Liszt*

ID 2^{do} Coautor: *César Rogelio, Sánchez-Romo*

Recibido 08 Enero, 2018; Aceptado 12 Marzo, 2018

Resumen

La Universidad Tecnológica del Norte de Coahuila cuenta con Controladores Lógicos Programadores (PLC) S7-1200, los cuales no están ubicados en un lugar fijo lo que significa constante movimiento, la conexión y desconexión de dispositivos en sus terminales en cada hora clase, por materia y por programa educativo que cuenta con asignaturas de automatización en sus planes de estudio. Este documento propone un diseño de un módulo didáctico S7-1200 para poner en funcionamiento en el laboratorio de Robótica del Taller Pesado I de la Universidad, con el propósito de integrar sistemas tecnológicos que refuercen el conocimiento de los alumnos. Presentando, un conjunto de elementos que conformaran el módulo didáctico, en una estructura de perfil de aluminio, se procura la estética, funcionalidad y ergonomía. Además como parte de este trabajo se desarrolló un manual de prácticas para el desarrollo de habilidades de programación de PLC de los alumnos, así como un manual de mantenimiento básico para el cuidado del equipo.

PLC, S7-1200, Módulo Didáctico

Abstract

The Universidad Tecnológica del Norte de Coahuila owns S7-1200 Programmable Logic Controllers (PLC). The PLCs do not have fixed location, which means that they have to be constantly moved around, being connected and disconnected from its terminals. This situation happens with every class, subject and educational program that has automation as part of its curriculum. This document proposes a design of a S7-1200 didactic module to be located at Robotics Lab of Heavy Workshop 1 of the University. The purpose of this project is to integrate technology systems in the class to assist in the learning process, by presenting a set of elements that will compromise the didactic module as well as the design based on aluminum profile, all this by keeping the aesthetic, functionality and taking care of the ergonomics. Also, as part of this effort, a practice manual has been drafted with the purpose of increasing the PLC programming skills of the students and a basic maintenance manual has been prepared to serve as guidance for care of the module.

PLC, S7-1200, Didactic Module

Citación: RINCÓN-MALTOS, Gerardo, CÓRDOVA-LISZT, Gina Elizabeth y SÁNCHEZ-ROMO, César Rogelio. Propuesta de módulo didáctico plano para PLC S7-1200. Revista de Ingeniería Mecánica. 2018. 2-5: 1-8.

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: gerardo-rincon@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

1. Introducción

La formación tecnológica en la Universidad debe estar encaminada a preparar al estudiante, mostrando una perspectiva del equipo y modos de trabajo que afrontara una vez que sea introducido en el sector laboral.

Por lo tanto, dado el desarrollo de las aplicaciones de automatización en el ámbito industrial por medio de Controladores Lógicos Programables (PLC por sus siglas en inglés), se deben abordar estas tecnologías, de manera explícita y lo más cercano a la realidad, durante la formación académica de los estudiantes de ingeniería relacionados a este ramo, como lo son en la mecatrónica y el mantenimiento industrial. Es por ello, que a través de esta propuesta de la implementación de un módulo didáctico PLC S7-1200, se busca proporcionar al alumno, la oportunidad de interactuar con el módulo a un nivel integral.

En algunos módulos de marca de prestigio ven como ventaja el cambio de conexiones eléctricas a solo conexiones rápidas, ya que permite que el alumno solo se centre en la programación, sin embargo, la conexión y desconexión de elementos ayudan al reconocimiento de los puertos así como los modos de conexión, por tal motivo, esta propuesta evita el uso de conexiones rápidas, logrando acercar a los alumnos a una práctica más completa para sus conocimientos. Como parte de la propuesta, la estructura para montar el módulo didáctico PLC S7-1200, está basada en perfil estructural de aluminio por su bajo costo, su resistencia al peso y la corrosión. También se ofrece un manual básico de prácticas para realizar en el módulo didáctico. Se busca que en un futuro próximo pueda ser implementada la propuesta, ya que se procuró un costo bajo.

2. Justificación

El contar actualmente con controladores como los son S7-1200 en la Universidad Tecnológica del Norte de Coahuila (UTNC), es una ventaja competitiva para la formación de los alumnos, sin embargo, el no tener ubicados los controladores en un lugar fijo y la conexión/desconexión constante de dispositivos a sus terminales, aumenta la posibilidad de daños al equipo, demeritando así su vida útil en la Universidad.

Por tal motivo se busca plantear una propuesta económica, en donde se puedan realizar prácticas desde las más rudimentarias hasta las más complejas, procurando mantener las terminales de conexión del PLC protegidos del deterioro por conexión y desconexión de dispositivos, así como un diseño con disponibilidad para agregar aditamentos extra que mejoren la experiencia con el equipo.

3. Objetivo general

Diseñar un módulo didáctico de PLC S7-1200 que facilite el aprendizaje teórico-práctico y así satisfacer las necesidades de las distintas asignaturas que requieran el uso de este equipo dentro de la institución, permitiendo que los alumnos tengan una mejor preparación para el desenvolvimiento en el campo laboral relacionado con automatismos.

4. Objetivos específicos

- Determinar los componentes del módulo didáctico.
- Diseñar el módulo didáctico cumpliendo con las normas de ergonomía.
- Diseñar una guía de prácticas para la simulación de procesos industriales.
- Realizar una guía básica de mantenimiento para el modulo.

5. Desarrollo

El desarrollo del proyecto puede ser considerado en 4 etapas, cada una de ellas con actividades específicas.

Etapa I

Es necesario determinar la intención de diseñar un módulo didáctico, así como las áreas que se verán beneficiadas con este proyecto. Esto tiene que considerarse ya que cada programa educativo cuenta con un perfil definido del alumno a egresar, ya que tienen competencias específicas que requieren adquirir los alumnos de acuerdo a cada carrera que se oferta.

Como primera etapa del proyecto se considera lo siguiente:

- Programas educativos afines al campo de la automatización que son ofertados por la Universidad Tecnológica del Norte de Coahuila.

- Examinar las competencias que se buscan cubrir con un aprendizaje práctico en dichos programas.
- Analizar las asignaturas de automatización y su contenido temático.
- Delimitar el proyecto.

La Universidad cuenta actualmente con 7 programas educativos a nivel Técnico Superior Universitario y 5 a nivel Ingeniería, sin embargo no todas cumplen con el perfil de automatización según sus competencias específicas declaradas, en la Tabla 1 se muestran los programas y competencias acordes al tema.

Programa Educativo	Competencias referentes a sistemas automatizados
Para T.S.U.	
Mantenimiento área Industrial	<ul style="list-style-type: none"> - Apoya proyectos de automatización. - Desarrolla y conserva sistemas automatizados y de control en sistemas de manufactura. - Implementa sistemas automatizados y de control para instalar, poner en marcha y probar el funcionamiento del sistema. - Supervisa el mantenimiento a equipos automatizados y de control acorde a las normas, estándares de calidad.
Mecatrónica área Instalaciones Electricas Eficientes	
Mecatrónica área Sistemas de Manufactura Flexible	
Para Ingeniería en	
Mantenimiento Industrial	<ul style="list-style-type: none"> - Integra proyectos de innovación a los sistemas productivos con enfoque en la mantenibilidad mediante la utilización de nuevas tecnologías para mejorar la operatividad de la empresa. - Desarrolla proyectos de automatización y control, a través del diseño, administración y aplicación de nuevas tecnologías para satisfacer las necesidades del sector productivo. - Diseña sistemas eléctricos, mecánicos y electrónicos a través de proyectos integradores, para automatizar y controlar los procesos productivos. - Desarrolla e innova sistemas de manufactura, entandares de calidad, ergonomía, seguridad y ecología para lograr la competitividad y rentabilidad de la organización con enfoque globalizado.
Mecatrónica	
Sistemas Productivos	

Tabla 1 Competencias que se cubren con un Aprendizaje Práctico

Fuente: *Elaboración Propia*

Si bien existen asignaturas que hacen uso de la automatización para lograr un proyecto final, las principales asignaturas que hacen alusión al uso de este tipo de controladores son las que se muestran en la Tabla 2.

Programa Educativo	Principales asignaturas que hacen uso del PLC y HMI
Nivel T.S.U.	
Mantenimiento área Industrial	-Automatización y robótica
Mecatrónica área Instalaciones Electricas Eficientes	-Controladores Lógicos Programables
Mecatrónica área Sistemas de Manufactura Flexible	-Controladores Lógicos Programables -Manufactura flexible
Nivel Ingeniería	
Mantenimiento Industrial	-Sistemas automatizados y redes industriales -Visualización y control de procesos
Mecatrónica	-Control lógico avanzado -Sistemas de manufactura flexible
Sistemas Productivos	-Automatización de procesos

Tabla 2 Principales asignaturas que hacen uso de PLC

Fuente: *Elaboración Propia*

Es de gran utilidad conocer que programas educativos podrían ser los beneficiados en caso de ser aceptado el proyecto para implementar. En esta sección queda demostrado el uso que puede llegar a tener un PLC en la UTNC, por lo que es un recordatorio de la importancia del cuidado de estos dispositivos y aunque se tiene pensado plantear un diseño económico, el diseño será propuesto para ser escalable.

Etapa II

Durante esta etapa se realiza la planificación y cotización, ya que al ser un módulo didáctico se tiene que considerar un presupuesto bajo, pero se busca reunir componentes que resistan la rudeza de las continuas prácticas, las múltiples conexiones/desconexiones y manejo del módulo, así como los recursos necesarios para la implementación en caso de ser aceptado. En esta etapa se considera lo siguiente:

- Búsqueda de proveedores locales y/o nacionales.
- Cotización de material y dispositivos eléctricos.
- Mano de obra

Durante el desarrollo del proyecto surgieron una serie de cambios en la gestión de recursos por lo que fue necesario realizar diferentes cotizaciones e investigar sobre los diferentes tipos de materiales para la estructura, lo más conveniente era hacer contacto con proveedores locales lo cual dio un resultado positivo, en el ahorro de costes de componentes. La lista de los componentes cotizados es la que se muestra en la Tabla 3.

Cantidad	Unidad	Descripción
50	Piezas	Clema para cable gris
8	Piezas	Relevador de control 4pdt bobina 24vdc MY4N
8	Piezas	Base socket para relevador 4pdt
4	Metros	Canaleta ranurada 1.5 x 1.5 pulgadas color gris
3	Metros	Riel din
8	Piezas	Botón pulsador cuerpo de plástico con base sin contacto puede ser rojo, verde con leyenda según disposición
4	Piezas	Contacto para botón n.o.
4	Piezas	Contacto para botón n.c.
8	Piezas	Lámpara piloto 24vdc foco led verde o rojo
1	Paquete	Perfil estructural de aluminio 30x30x6000 mm, incluye accesorios
1	Pieza	Melamina 3/4 ”
1	Pieza	Cubrecanto papel melaminico 16 mm

Tabla 3 Requerimientos para estructura y componentes
Fuente: *Elaboración Propia*

Se considera como estrategia que sean alumnos de nivel ingeniería los que se encarguen de la construcción de los módulos didácticos durante su periodo de estadías, ya que la Universidad cuenta con área de talleres, en las cuales pueden adquirir destrezas así como habilidades en máquinas- herramientas y soldadura; con lo cual se lograría un ahorro por costo de fabricación.

Etapa III

La tercera etapa se ocupa de la organización y proceso de diseño, esta etapa se decide la ubicación y forma del módulo, así como la determinación y acomodo de los componentes; siendo el proceso de diseño la parte fundamental para satisfacer principalmente el que sea funcional, para permitir al usuario el desarrollo de prácticas efectivas para su aprendizaje, y cómodo al cumplir con los parámetros de ergonomía para bancos de trabajo.

Se divide en las siguientes actividades:

- Diseño estructural en software CAD
- Adaptación de componentes en el módulo.
- Descripción y hojas de datos de componentes.

El diseño propuesto para la estructura del módulo es el que se muestra en la Figura 1, además en la Figura 2, se hace notar el uso de una mesa sobre el cual ira soportada dicha estructura.

La altura máxima para manipulación sobre repisas o gabinetes suspendidos en postura bípeda es de 182.9 cm para los hombres y 175.3 cm para las mujeres (Rueda Ortiz & Zambrano Velez, 2013), por lo que se tomara como límite de altura de 175 cm para el modulo didáctico.

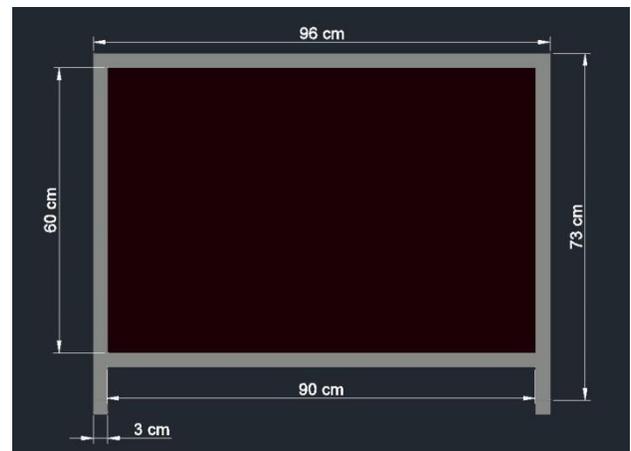


Figura 1 Módulo didáctica vista frontal
Fuente: *Elaboración Propia*

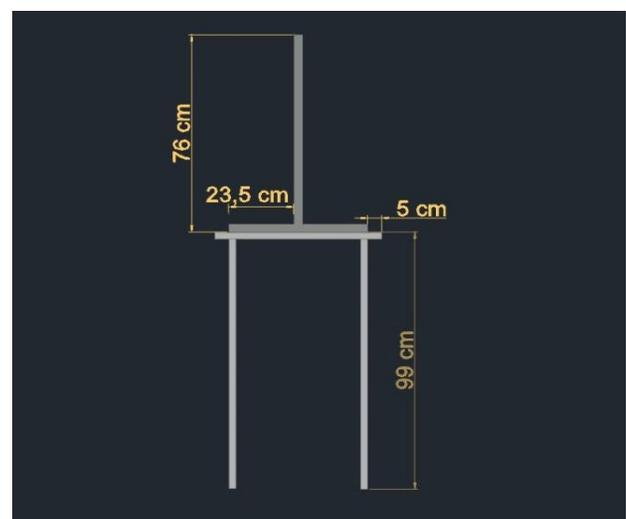


Figura 2 Módulo didáctico montado sobre mesa vista lateral
Fuente: *Elaboración propia*

La distribución de los componentes elegidos para el módulo se muestra en la Figura 3, nótese la disponibilidad para agregar más componentes si la práctica así lo requiere.

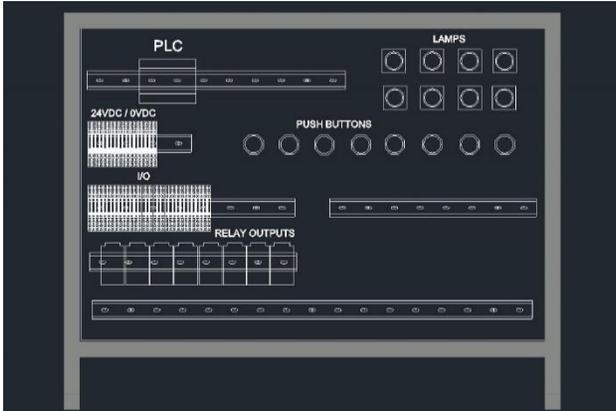


Figura 3 Distribución de componentes en módulo
Fuente: *Elaboración Propia*

A continuación en la Figura 4 se muestra un ejemplo de las hojas de datos que se preparó para colocar en el manual de operación del módulo.

RIEL DE MONTAJE DIN

Especificaciones	
Longitud : 1 metro	
Anchura : 35 mm	
Material: Aluminio	
Fuente:	
http://mexico.newark.com/idec/baa1000/din-mounting-rail-35mm-aluminium/dp/96B1269	

Figura 4 Hoja de datos
Fuente: *Elaboración Propia*

Etapa IV

En esta etapa se busca ofrecer al departamento de talleres, una guía de operación y buenas prácticas de mantenimiento, para un óptimo aprovechamiento del módulo didáctico. Esta etapa se genera la guía de operación y mantenimiento a partir de:

- Compilación de los resultados obtenidos en las etapas 1,2 y 3.
- Generación de formatos básicos y procedimientos de mantenimiento a modulo y componentes.
- Listado de materiales con precios y proveedores.
- Preparación de manual básico de prácticas.

Después de agrupar los resultados obtenidos, se procedió a realizar procedimientos de mantenimiento al módulo y un formato general de inspección mensual el cual se muestra en el anexo 1. El contar con un manual básico de prácticas bajo los formatos de calidad de la Universidad, es de gran utilidad, ya que actualmente se está trabajando para lograr la certificación de 3 programas educativos a nivel TSU, de los cuales 2 de ellos se nombran en la Tabla 2. En el Anexo 2, se muestra una práctica ejemplo de las cuales se incluirán en la guía de operación del módulo didáctico plano para PLC S7-1200.

6. Resultados

Entre los principales logros en la propuesta del módulo didáctico PLC Siemens S7-1200 se encuentran el bajo costo de su inversión y la excelente respuesta por parte de los proveedores para la cotización y tiempos de entrega de los componentes, demostrando así la factibilidad en la realización del proyecto. Para la cotización del módulo didáctico se tomaron en cuenta proveedores locales y nacionales, con los cuales se economizó en el costo de los componentes y elementos, quedando en una suma de \$12,449.00 MXN.

7. Anexos

Formato de inspección de Modulo didáctico plano para PLC S7-1200			
Unidad inspeccionada:		Hora:	
Laboratorio:		Fecha:	
Responsable:			
Sistemas y Componentes	Observaciones		
1. Sistema mecánico			
Fijación de elementos	Fijo	Suelto	
1.1. PLC			
1.2. Clemas			
1.3. Relevadores			
1.4. Pulsadores			
1.5. Riel DIN			
1.6. Lámparas			
1.7. Cableado			
1.8. Estructura			
2. Sistema eléctrico			
2.1. Tensión de alimentación dentro de los rangos permitidos	SI	NO	
2.2. Tensión de las entradas y salidas del PLC dentro de los rangos permitidos			
2.3. Resistencia de los relevadores dentro de rangos permitidos			
3. Sistema de diagnóstico S7-1200			
Señales LED diagnostico			
3.1. Estado operativo del CPU	BUENO MALO		
3.2. Estado operativo de las entradas			
3.3. Estado operativo de las salidas			
3.4. Condición de los puertos del CPU			

Figura 5 Formato de inspección mensual
Fuente: *Elaboración Propia*

		PRACTICAS	
REGISTRO		F-ACA-12	
Carrera: Ingeniería en Mantenimiento Industrial		Cuatrimestre:	
Docente: M. I. Gerardo Rincón Maltos		Materia: Sistemas Automatizados y Redes Industriales	
Unidad temática: Sistemas con PLC		Horas: 2 horas	
Practica # : 2	Nombre: Arranque y paro con enclavamiento		
Objetivo de la práctica	El alumno comprenderá el propósito y aplicación de instrucciones de programación.		
Desarrollo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar conexiones eléctricas necesarias para la práctica. 2. Realizar transferencia de programación realizada en software. 3. Realizar pruebas de funcionamiento. 4. Realizar mediciones de voltaje antes de activar y después de activar el arranque. 5. Realizar mediciones de voltaje una vez que es activado el botón de paro. 		
Registro de datos, parámetros y observaciones			

Figura 6 Práctica ejemplo, parte 1.

Fuente: *Elaboración Propia*

Conclusiones y Reportes de resultados		
Herramienta y equipo	Módulo didáctico plano para PLC S7-1200, pinzas eléctricas, cable calibre #14, destornillador plano 1.4 mm, destornillador plano 3mm, destornillador Phillips ph0, destornillador Phillips ph1	
Bibliografía a utilizar	-Manual de sistema: Controlador programable S7-1200. SIEMENS. -Hoja de datos de los componentes eléctricos a utilizar. -Instrumentación industrial. Creus Sole. Alfaomega.	
Elaboró: M. I. Gerardo Rincón Maltos	Revisó: Ing. José Roberto Guajardo González	Fecha:

Figura 8 Práctica ejemplo, parte 2.

Fuente *propia*.

8. Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Tecnológica del Norte de Coahuila por los apoyos brindados.

9. Conclusiones

Se analizó cada uno de los componentes que conformarían el módulo didáctico para que cada estudiante tenga la facilidad de manipularlos, realizando las conexiones necesarias para efectuar la práctica programada.

Aunque se buscaba diseñar un módulo económico, este se pudo dejar abierto a mejoras, para aplicaciones más complejas. Sin embargo, al conocer el número de asignaturas que se ocupan de la automatización, esto da cabida a que sea fuertemente considerado aumentar la inversión. El módulo se complementó con la elaboración de guías prácticas para que los estudiantes adquieran las habilidades de programación en lenguaje escalera y de transferencia de programas al controlador.

Se vuelve a hacer énfasis en la cotización ya que se hicieron varios ajustes en el presupuesto, así como también en el modelo de tablero que se realizaba, logrando un precio de \$12,449.00 MXN y gracias a que se cuenta con elementos genéricos como los son las borneras de conexión, pulsadores y lámparas piloto, se puede disminuir el precio al ser sustituidas por alguna más económica.

10. Discusión

Fue necesario realizar más de una vez la cotización de los componentes, hasta conseguir lo deseado sin que esto afectara la calidad de los materiales. Fue así, que a base de cambios en el diseño, se obtuvo un módulo funcional, elaborado con una baja inversión, que permitiera realizar en su totalidad las prácticas de laboratorio.

El contar con módulos de entrenamiento fue pensado para el uso por alumnos, sin embargo, otro beneficio que se puede obtener al contar con este módulo es que puede ser utilizado en las “ferias tecnológicas”, eventos que se realizan en las instalaciones de la Universidad, haciendo muestra de proyectos y equipamiento a estudiantes de otras escuelas, posibles candidatos a ingresar.

11. Referencias

Candia García, F., Galindo López, V., Carmona Rendón, J., & González Hernández, A. (2016). Tablero de PLC, para capacitación en el trabajo. Pistas Educativas Vol. 38, Núm. 119, 2-19.

Cañar Aguirre, D. A. (Agosto de 2015). Repositorio Digital Universidad Técnica de Cotopaxi. Recuperado el 20 de Octubre de 2017, de <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/3424>

- Cárdenas Jaime, R. G., & Villacís Macías, J. Z. (2015). Diseño e implementación de modulo didáctico (Tablero Metálico) para prácticas de laboratorios de controles industriales con aplicaciones en arranque e inversión de giro de motores. Recuperado el 28 de Septiembre de 2017, de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/10406>
- Cruz Guzmán, G., Chagolla Gaona, H., Barrera Navarro, A., Silva Peñaloza, R., Rangel Miranda, D., & Hernández Padrón, G. (2016). Diseño e implementación de prototipo de máquina automatizada, para mezclado de poliestireno reciclado y arcilla. *Pistas Educativas* Vol. 38, Núm. 120, 21-36.
- Cuenca Tinitana, J. C., & Maldonado Quezada, O. X. (2015). Diseño e implementación de un tablero simulador para PLC Siemens s7-1200 y desarrollo de guías de prácticas. Recuperado el 18 de Octubre de 2017, de [Dspace.unl.edu.ec: http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/11850](http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/11850)
- Cuevas-Bracamontes, Lydia, Valle-Bahena, Silvia, Zagal-Barrera, Sergio Ricardo y Mena-Salgado, Enrique. *Realidad Virtual: Impacto de las NTIC en la promoción institucional. Revista del Desarrollo Tecnológico* 2017, 1-4: 27-34
- Flores Iturralde, J. E., & Pucha Yucailla, G. F. (2012). Diseño e Implementación de un Módulo Didáctico para Simular Procesos de Control, Utilizando un Software de Interfaz HMI y PLC. Recuperado el 18 de Octubre de 2017, de [Dspace.esPOCH.edu.ec : http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1949](http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1949)
- Guzman, A. (2011). Tablero Didáctico de PLC. *Tec-Magazine* (Vol. 2 No. 1), 185-196.
- Magos Rivera, M., Lara Chávez, J. A., Gutiérrez Flores, Z. E., Figueroa Sánchez, M. Á., Ramírez Zúñiga, R. M., & Farfán Espinoza, D. A. (2016). Tablero didáctico para prácticas con controladores lógicos programables. *Pistas Educativas*, Vol. 38, Núm. 120, 77-93.
- Magos Rivera, M., Lara Chávez, J. A., Rodríguez Alvarad, L. W., Loyo Quijada, J., & López Ontiveros, M. Á. (2016). Automatización de un sistema didáctico para estudios de tiempos y movimientos. *Pistas Educativas* Vol. 38, Núm. 120, 37-53.
- Maldonado Correa, J. L., Aguilera Díaz, D. A., Armijos Ruiz, V. R., & Edder Emilio, C. A. (2011). Diseño y construcción de un tablero de control y mando de motores, con el sistema electromecánico y sistema digital (PLC). Recuperado el 14 de Octubre de 2017, de [dspace.unl.edu.ec: http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/18049](http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/18049)
- Manzanares Ordoñez, F. J., & Lezama González, N. R. (2016). Tablero didáctico basado en controlador lógico programable (PLC), para los laboratorios de la asignatura de accionamiento eléctrico en la carrera de ing. electrónica de la UNAN-Managua. Recuperado el 18 de Octubre de 2017, de [repositorio.unan.edu.ni: http://repositorio.unan.edu.ni/3168/](http://repositorio.unan.edu.ni)
- Ortega, L. M. (22 de Noviembre de 2017). Repositorio Digital UTN. Recuperado el 4 de Diciembre de 2017, de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7573>
- Padilla Padilla, J. G., & Vaca Anchaluiza, S. J. (Diciembre de 2013). Repositorio Institucional de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Recuperado el 20 de Octubre de 2017, de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2980>
- Pillapa Tibanquiza, Ó. W., & Hurtado Guambingo, E. G. (2010). Diseño, construcción e implementación de tableros didácticos para el laboratorio de control eléctrico y PLC de la ESPE Extensión Latacunga. Recuperado el 14 de Octubre de 2017, de [Repositorio.espe.edu.ec: http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/4422](http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/4422)
- Rueda Ortiz, M. J., & Zambrano Velez, M. (2013). *Manual de ergonomía y seguridad*. México: Alfaomega.

SIEMENS AG. (2009). Controlador programable S7-1200 Manual de sistema. Recuperado el 14 de NOVIEMBRE de 2017, de <https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S71200-MANUAL%20DEL%20SISTEMA.PDF>

SIEMENS AG. (2012). Controlador programable S7-1200 Manual de sistema. Recuperado el 15 de Septiembre de 2017, de <https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S71200%20Manual%20Sistema%20Abr12.pdf>

Diseño y Construcción de un Refrigerador Solar por Adsorción que Usa el par Oxido de Silicio-Agua

Design and Construction of an Adsorption Solar Refrigerator Using the Silicon Oxide-Water Pair

AGUILAR-CELIO, Valentín†, TOLEDO-MANUEL, Ivan, ARANA-CHAVEZ, David y SABÁS-SEGURA, José*

Instituto Tecnológico Superior de Abasolo-Ingeniería en Energías Renovables

ID 1^{er} Autor: Valentín, Aguilar-Celio / ORC ID: 0000-0003-4579-0192, CVU CONACYT ID: 891182

ID 1^{er} Coautor: Ivan, Toledo-Manuel

ID 2^{do} Coautor: David, Arana-Chavez / CVU CONACYT ID: 477272

ID 3^{er} Coautor: José, Sabás-Segura / CVU CONACYT ID:168628

Recibido 08 Enero, 2018; Aceptado 12 Marzo, 2018

Resumen

Un problema crítico para la refrigeración y las bombas de calor es la utilización de energía. Los refrigeradores de compresión tradicionales y las bombas de calor comúnmente funcionan con electricidad. Una solución es la refrigeración solar, tan solo en el estado de Guanajuato el recurso solar es de 3.6 a 5.4 kilowatts por metro cuadrado. Por otro podemos encontrar dentro de la literatura diferentes tipos de tecnología de refrigeración solar, un buen ejemplo son los sistemas de sorción y así como los sistemas de absorción y de adsorción. En este trabajo se presenta la operación de un sistema de refrigeración por adsorción alimentado con energía solar el cual fue diseñado para lograr enfriamiento, operando con el principio de adsorción-desorción, el sistema no tiene partes móviles. El concepto de operación se basa en el hecho de que cuando se enfría (por la noche) el óxido de sílice actúa como una esponja que absorbe o adsorbe el vapor de agua y cuando se calienta durante el día de sol el vapor de agua se desorbe o libera.

Oxido de Silicio, Par adsorbente-adsorbato Refrigeración Solar

Abstract

A critical problem for refrigeration and heat pumps is the use of energy. Traditional compression chillers and calorie pumps run on electricity. A solution for solar cooling, only in the state of Guanajuato the solar resource is 3.6 to 5.4 kilowatts per square meter. On the other hand, we can find in the literature the different types of solar cooling technology, a good example are the absorption systems and as well as the absorption and adsorption systems. This paper presents the operation of a cooling system by adsorption powered by solar energy, which was designed to achieve cooling, operating with the principle of adsorption and desorption, the system has no moving parts. The concept of operation is based on the fact that when it is cooled (at night) the silica oxide acts as a sponge that absorbs or adsorbs the water vapor and when it is heated during the sunny day the water vapor becomes desorbed or free.

Silica oxide, Adsorbent-adsorbate pair, Solar cooling

Citación: AGUILAR-CELIO, Valentín, TOLEDO-MANUEL, Ivan, ARANA-CHAVEZ, David y SABÁS-SEGURA, José. Diseño y Construcción de un Refrigerador Solar por Adsorción que Usa el par Oxido de Silicio-Agua. Revista de Ingeniería Mecánica. 2018. 2-5: 9-15.

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: jose.sabas@tecabasolo.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Los refrigeradores de compresión tradicionales y las bombas de calor comúnmente funcionan con electricidad. Las demandas de electricidad aumentan a medida que las sociedades se desarrollan. Según los datos proporcionados por el departamento de energía de EE. UU. Entre 2003 y 2004, la electricidad consumida por los aires acondicionados durante el verano es del 15,4% del consumo total de electricidad. Así mismo el consumo promedio por refrigerador fue 840 kWh anual [1], lo que se traduce en 419.92 toneladas de dióxido de carbono emitido. Una solución es la refrigeración solar, tan solo en el estado de Guanajuato el recurso solar es de 3.6 a 5.4 kilowatts por metro cuadrado (dependiendo la estación del año) [2].

En este sentido podemos encontrar dentro de la literatura diferentes tipos de tecnología de refrigeración solar, un buen ejemplo son los sistemas de sorción y bomba de calor impulsados por calor de baja calidad y que utiliza refrigerantes ecológicos [3], otros ejemplos son los sistemas de absorción y de adsorción. En la refrigeración solar los enfriadores de absorción usan una fuente de calor en lugar de un compresor para cambiar el refrigerante del vapor al líquido. Existen dos combinaciones más comunes, las cuales son agua mezclada con bromuro de litio o amoníaco, en cada caso, debido al gas refrigerante, su fabricación resulta costosa [1].

Por otro lado, los sistemas de adsorción tienen una amplia variedad de adsorbentes, que incluyen diferentes adsorbentes físicos y químicos tales como son metanol-carbón activado, zeolita-agua y alúmina-carbón activado. En este documento presenta los resultados a nivel experimental de un refrigerador de adsorción alimentado con energía solar, el cual fue diseñado para disminuir la temperatura operando con el principio de adsorción-desorción, cabe señalar que el sistema no tiene partes móviles, utiliza agua como fluido de trabajo y se usa como adsorbente óxido de silicio.

El sistema propuesto se presenta como una alternativa a la refrigeración tradicional, ya que es amigable con el ambiente, debido a la alta disponibilidad de radiación solar en México, así como por los materiales con los que fue construido.

El principal propósito de esta investigación es reducir la temperatura para, una vez superada la etapa de pruebas, ser utilizado para la conservación de medicamentos y alimentos.

En la primera sección de este documento se describe el principio de operación del ciclo desorción-desorción propuesto, en la sección dos a cinco se describe como fueron diseñados los elementos principales del refrigerador solar, colector solar, condensador y evaporador respectivamente, en la sección 6 se explica como fue el montaje del mismo sistema y finalmente en la sección 7 se muestran las mediciones de temperatura en la cámara de refrigeración durante la operación del ciclo.

Concepto Básico de Operación

El sistema propuesto está compuesto por los siguientes elementos: un colector tipo plano, un condensador de tipo estático enfriado por aire, un evaporador de inundación, un depósito de agua, así como válvulas de control; el diseño general del sistema se muestra en la Figura 1.

El concepto de operación se basa en el hecho de que cuando se enfría (por la noche) el óxido de silicio actúa como una esponja que adsorbe el vapor de agua y cuando se calienta durante el día de sol el vapor de agua se desorbe o libera [4].

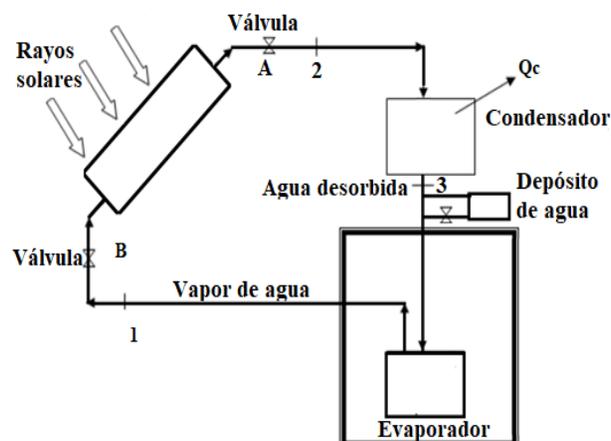


Figura 1 Diagrama de diseño del refrigerador de adsorción

Fuente: Elaboración Propia

Se decidió utilizar el óxido de sílice debido al COP (coeficiente de rendimiento) con el que cuenta, en comparación con otros elementos, esto es mostrado en la tabla 1.

Tipo de Colector	Área	COP
Colector Plano	0.4m ²	0.40
Colector Plano	6m ²	0.1 0.12
Colector Plano	20m ²	0.10
Colector Plano	2m ²	0.36
Tubo de Vacío	170m ²	0.2 – 0.3
Tubo Evacuado	150m ²	0.35

Tabla 1. COP del refrigerador solar.

Fuente: (S. C. Kaushik A. Mahesh, 2013)

A la temperatura de desorción, el vapor de agua comienza a desorberse del óxido de sílice. Por lo tanto, el receptor actúa como una caldera y el vapor de agua sale por el conducto hacia el condensador [4]. Este vapor de agua se condensa en gotas de agua a medida que el intercambiador de calor (condensador) emite calor como se muestra en el diagrama de flujo (Figura 1). El agua resultante desciende debido a la gravedad en un tanque de almacenamiento [4].

Durante la noche, el óxido de sílice se enfría cerca de la temperatura ambiente y comienza a adsorber el vapor de agua. El agua líquida en el evaporador absorbe el calor del espacio que se va a enfriar y se convierte en vapor de agua. Como el sistema está sellado a muy baja presión, el agua restante en el tanque de almacenamiento se enfría. El agua fría se calentará lentamente durante el día siguiente, proporcionando así una temperatura baja razonable.

Diseño del Colector Solar

Para el diseño del colector solar se consideró que solo parte de la radiación solar global se convertirá en calor. La radiación solar global E se define por las propiedades de los materiales de superficie transparentes y los de la superficie de absorción, esto se muestra en la ecuación 1 [6].

$$Q_a = (\alpha\tau) \cdot E = A_0 \cdot E \quad (1)$$

Las pérdidas ópticas del colector solar representan la diferencia entre la intensidad de la radiación solar y la intensidad de la radiación solar absorbida por la absorción en la superficie, esto se describe en la ecuación 2 [6].

$$q_{opt} = E - Q_a \quad (2)$$

Las pérdidas térmicas están directamente relacionadas con la diferencia de temperaturas T_m entre la superficie de absorción y el entorno T_a , esto se muestra en la ecuación 3.

$$q_t = k \cdot (T_m - T_a) \quad (3)$$

El calor utilizable derivado del colector Q_u es el calor transferido por el factor térmico mencionado, representa el calor derivado de la superficie de absorción y las pérdidas térmicas del colector (relación llamada Hottel-Whillier-Bliss) mostrada en la ecuación 4 [6].

$$Q_u = \alpha \cdot \tau \cdot E - k \cdot (T_m - T_a) \quad (4)$$

La eficiencia térmica se define como la relación entre la energía utilizable resultante y la intensidad de radiación, esto se muestra en la ecuación 5 [6].

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{Q_u}{E} = \frac{\alpha \cdot \tau \cdot E - k \cdot (T_m - T_a)}{E} \quad (5) \\ &= \alpha \cdot \tau - \frac{k \cdot (T_m - T_a)}{E} \end{aligned}$$

De esta manera el calor absorbido por el factor térmico es descrito en la ecuación 6 [6].

$$Q_t = \dot{m} \cdot c \cdot (T_e - T_i) \quad (6)$$

Debido a que el calor absorbido por el factor térmico es igual a 1 calor utilizable derivado del colector solar, por lo tanto, se tiene la ecuación 7 [6].

$$\dot{m} \cdot c \cdot (T_e - T_i) = \tau \cdot \alpha \cdot E - k(T_m - T_a) \quad (7)$$

Las diferencias de temperatura entre la temperatura de entrada y la temperatura de salida del colector implican un alto factor de velocidad de flujo que corre a través del colector. Si el factor de velocidad de flujo es bajo, se producen diferencias de temperatura altas entre la entrada y la salida del colector un diagrama de esto se observa en la figura 2.

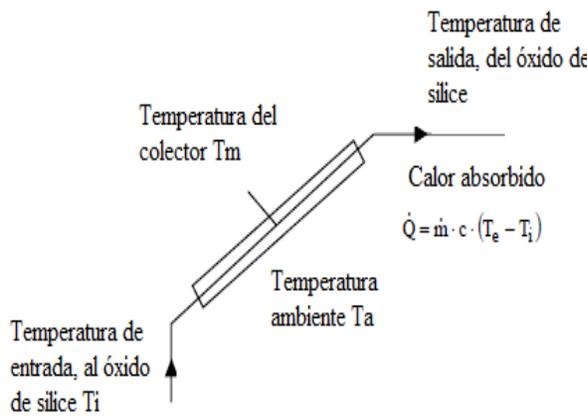


Figura 2 Balance de entrada y salidas del colector
Fuente: *Elaboración Propia*

Si el calor derivado de la superficie de absorción no es absorbido por el factor térmico (la bomba de circulación se detiene o se descompone), la temperatura de la superficie de absorción se eleva al valor T_{max} , esta temperatura impone condiciones sobre los materiales utilizados para construir el colector solar [6].

El diseño final del colector se muestra en la figura 3. Es importante indicar que el óxido de sílice se colocó dentro de este elemento; al ser solo medio kilogramo solo ocupó una pequeña área.



Figura 3 Diseño final del colector solar
Fuente: *Elaboración Propia*

Diseño del Condensador

Para el diseño del condensador se propuso el número de vueltas y una longitud de tubo, con ellos calcular los parámetros de diseño. La primera condición física es mostrada en la ecuación 8, donde se calcula la conductividad en el condensador [7].

$$h = 0.725 \left[\frac{p^2 \cdot g \cdot h_{fg} \cdot k_f^3}{\mu_f \cdot n \cdot d (T_o - T_p)} \right]^{1/4} \quad (8)$$

La siguiente condición está dada por la ecuación 9, donde se calcula la relación entre el área y el número de vueltas [7].

$$\frac{A}{L} = n \cdot \pi \cdot d \quad (9)$$

Para determinar el calor que perderá por longitud se utilizó la ecuación 10. [7].

$$\frac{q}{L} = h \frac{A}{L} (T_o - T_p) \quad (10)$$

Y para obtener al último tendremos el flujo másico sobre la longitud respecto al condensador de la ecuación 11 [7].

$$\frac{\dot{m}}{L} = \frac{q}{h_{fg} L} \quad (11)$$

El diseño final del condensador se muestra en la figura 4.

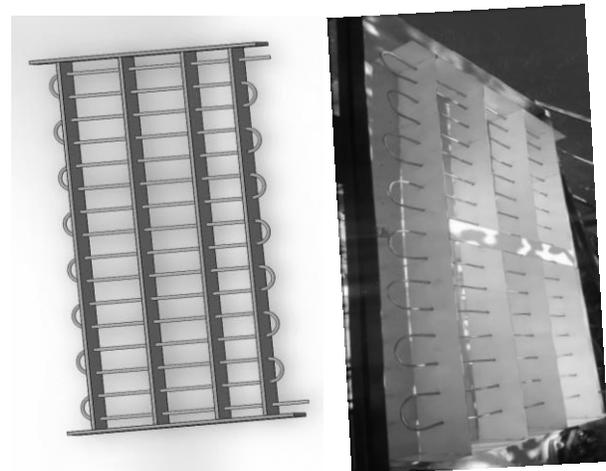


Figura 4 Diseño final del condensador
Fuente: *Elaboración Propia*

Diseño del Evaporador

En el diseño del evaporador se utilizaron las ecuaciones 8-11, mismas que en el condensador, de esta manera para el diseño se consideró el tamaño que debería tener la cámara de refrigeración. Se propuso que el serpentín del evaporador constará de un tubo doble reduciendo los espacios de aire y aumentando el área de contacto.

El número de vueltas se consideró mayor que el del condensador porque se utiliza para el intercambio de calor donde se produce la transferencia de energía térmica desde el fluido que circula desde el interior del dispositivo. El diseño final se muestra en la figura 5.

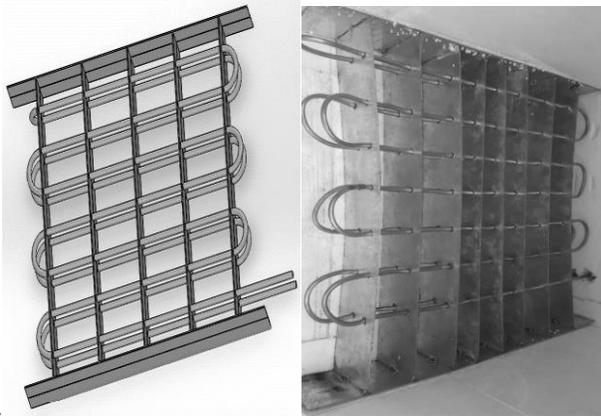


Figura 5 Diseño final del condensador
Fuente: Elaboración Propia

Cámara de Enfriamiento

En el diseño del refrigerador se utilizó un software CAD, considerándose una cámara interna de enfriamiento, así como una cama aislante como se muestra en la figura 2. Este modelo nos ayuda a poder armar el cajón para la cámara de enfriamiento ya que se realiza por medio de forma de un cubo y se le recorta la tapa para que quede como se muestra en la figura 6.

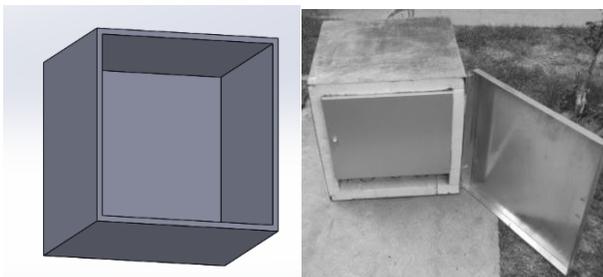


Figura 6 Diseño de la cámara de enfriamiento
Fuente: Elaboración Propia

La cámara de enfriamiento es recubierta de una capa de poliestireno localizada entre ambas cámaras. En la parte inferior de la cámara de enfriamiento es colocado el evaporador, dentro del recubierto de la capa de poliestireno a fin de evitar pérdidas y colocado directamente en la cara interna para tener contacto con el interior, esto se muestra en la figura 7.

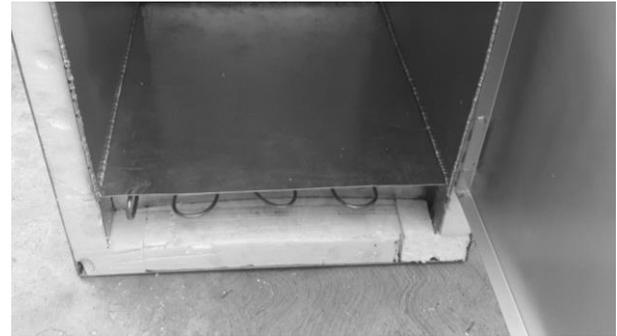


Figura 7 Detalle de la colocación del evaporador dentro de la cámara de enfriamiento
Fuente: Elaboración Propia

Ensamble del dispositivo

Construidos todos los elementos se ensamblaron sobre una base de escuadra de acero, mediante tubería de 1/4 de pulgada se conectaron de acuerdo con el diagrama de la figura 1. El diseño terminado se muestra en la figura 8.



Figura 8 Diseño final del refrigerador
Fuente: Elaboración Propia

Además, se colocaron tres las válvulas. La primera entre el colector y el condensador, la cual su función es evitar que el calor no liberado por el condensador regrese rápidamente (figura 7). La segunda válvula es colocada entre el evaporador y el colector, esta evita que el calor liberado por el óxido de silicio durante el día regrese a la cámara de refrigeración (figura 8). La tercera válvula es colocada entre el evaporador y el depósito de agua, con la finalidad de regular la cantidad de líquido que se encuentra en el sistema (figura 9).

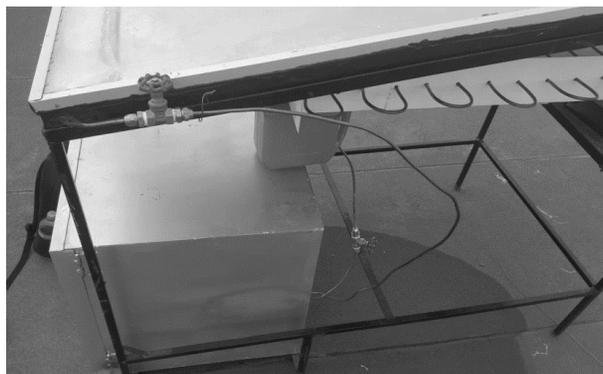


Figura 9 Perspectiva lateral del refrigerador
Fuente: Elaboración Propia

Resultados

Se realizaron mediciones durante algunos días para comprobar el funcionamiento del refrigerador. Como parte de este estudio, las lecturas de temperatura fueron tomadas a intervalos de dos horas para evitar el posible ingreso de calor a la cámara de refrigeración.

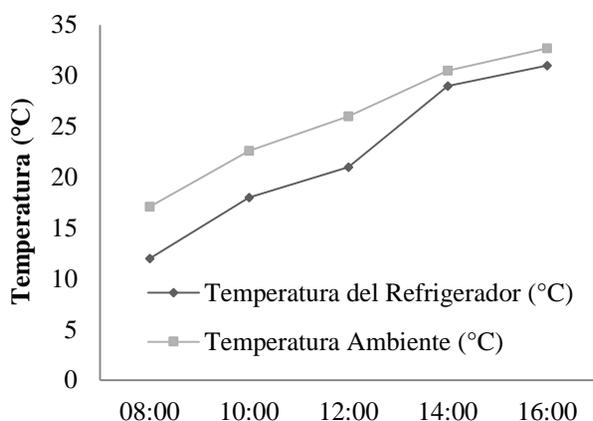


Figura 10 Temperaturas por hora del lunes 23 de abril dentro de la cámara de refrigeración.
Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con la figura 10, se observa que las temperaturas dentro de la cámara de refrigeración se mantuvieron inferiores a la temperatura ambiente. La temperatura más baja registrada fue de 11 grados centígrados a las 8 de la mañana, conforme va avanzando el día la cámara de refrigeración va ganando calor, manteniéndose a solo un grado de diferencia para las 16 horas.

Como resultado final del prototipo, se analizaron las mediciones obtenidas, para compararlas entre la temperatura promedio del refrigerador contra la temperatura ambiental dentro de los datos mostrados en la tabla 2.

Condiciones ambientales del experimento:

- 7 días soleados
- 2 días nublados
- 1 día operó con fuga de agua (primero)

Día	Temperatura Refrigerador °C	Temperatura Ambiental °C
Martes 17-04	23.66	24.03
Miércoles 18-04	23.4	24.86
Jueves 19-04	23	25.48
Viernes 20-04	22	24.14
Lunes 23-04	22.2	25.78
Martes 24-04	25.16	26.35
Miércoles 25-04	24.2	25.95
Jueves 26-04	23.4	25.96
Viernes 27-04	22.8	25.02
Lunes 30-04	22.2	25.22

Tabla 2 Resultados promedio
Fuente: Elaboración Propia

El análisis comparativo de los 10 días se muestra en la figura 11, donde se puede observar que en promedio la temperatura del refrigerador fue inferior a la temperatura ambiente. En color gris se muestra la temperatura ambiente contra la temperatura de la cámara de refrigeración en color negro, observándose que esta última es menor.

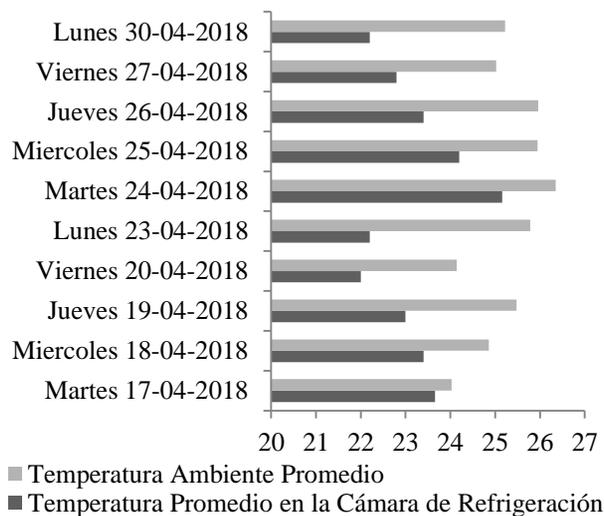


Figura 11 Temperaturas promedio ambiente y en la cámara de refrigeración
Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la figura 10 fue posible mantener una temperatura inferior manteniéndola baja por más de medio día. Cabe señalar que el primer día de operación el no se observaron cambios significativos, pero en el tercer día (después de que paso 48 horas al exterior, correspondiente al jueves 19) el dispositivo a las 8 horas se encontraba con temperaturas bajas, en comparación con la temperatura ambiente y las mantenía por debajo de esta la mayor la parte del día.

El día 27, es importante señalar, se observó un incremento en la temperatura promedio del refrigerador. Este fenómeno se explica ya que ese día no se presentaron condiciones óptimas de clima (nublado), con lo que el óxido de silicio, al no ser calentado, no permitió liberar adecuadamente el calor.

Se puede notar en la figura 10 que en aproximadamente tres días se estabiliza el ciclo de adsorción-desorción (observado en los días 20-23, así como en el 27-30)

Agradecimiento

Agradecemos a la Secretaría de Innovación, Ciencia y Educación Superior del estado de Guanajuato (SICES) por el financiamiento brindado para la realización de este proyecto a través de la convocatoria Investigadores Jóvenes 2017, así como al Instituto Tecnológico Superior de Abasolo por las facilidades otorgadas para la culminación de este.

Conclusiones

En el refrigerador solar par adsorbente-adsorbato se logro comprobar la funcionalidad tanto en el diseño como en el modelo. Como resultado de la construcción del dispositivo de refrigeración solar se observó que este tipo de sistema por adsorción utilizando el par oxido de sílice-agua puede ser útil para la producción de frio, aunque en esta ocasión solo se redujo la temeperatura.

Como se puede apreciar en las tablas de resultados se mantuvo un temeperatura inferior al ambiente en termino generales utilizando como adsorbente medio kilogramo de oxido de sílice. Como resultado del desarrollo del proyecto, y tal como se aprecia en las tablas de resultados, se alcanzó a disminuir la temperatura y mantenerla baja por más de medio día con tan solo medio kilogramo de oxido de sílice.

Cabe señalar que el primer día de terminado el dispositivo no se observaron cambios significativos, pero al tercer día (después de que paso 48 horas al exterior) el dispositivo a la 8 de la mañana se encontraba con temperatura baja y la mantenía temperaturas bajas en comparación con la temperatura ambiente por mayor parte del día.

Lo siguiente por realizar dentro de esta investigación es reducir aún mas la temperatura en el dispositivo utilizando mayor cantidad de óxido de sílice, así como incrementar el área de contacto entre el evaporador y la cámara de refrigeración. Finalmente, lo que restaría es analizar si el óxido de sílice pierde sus propiedades de adsorción después de un determinado número de ciclos, pero esto corresponde a un estudio complementario.

Referencias

- [1] CONERMEX, tabla de consumos de CFE, <http://www.conermex.com.mx/webinar/tabla-consumos-CFE.pdf>. Consultado noviembre 2017.
- [2] Gobierno del Estado de Guanajuato. Estudio de la Irradiación Solar en el Estado de Guanajuato 2006. Junio 28 de 2013.
- [3] RuzhuWang, LiweiWang and Jingyi Wu. Adsorption Refrigeration Technology, Wiley, 2014.
- [4] N. O. Omisanya¹, C. O. Folayan², S. Y. Aku² and S. S. Adefila. Performance of a zeolite–water adsorption refrigerator. Pelagia Research Library Advances in Applied Science Research, 2012, 3 (6):3737-3745
- [5] S. C. Kaushik A. Mahesh. SOLAR ADSORPTION COOLING SYSTEM: SOME MATERIALS AND COLLECTORS ASPECTS. Centre for Energy Studies Indian Institute of Technology Delhi Hauz Khas. New Delhi, India. 2013.
- [6] F. Struckmann. Analysis of a Flat-plate Solar Collector. Dept. of Energy Sciences, Faculty of Engineering, Lund University. Lund, Sweden. 2008.
- [7] J. P. Holman. Transferencia de Calor Southern Methodist University. Madrid, España. 1998.

Análisis Termodinámico del proceso de compresión con enfriamiento y sin enfriamiento en un ciclo real de refrigeración R12 y 134a

Thermodynamic analysis of the compression process with cooling and without cooling in a real refrigeration cycle R12 and 134a

RANGEL-ROMERO, Carlos†*, ROJAS-GARNICA, Juan Carlos, MUÑOZ-MATA, José Lorenzo y BARCELATA-PINZÓN, Antonio

Universidad Tecnológica de Puebla

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

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

ID 2^{do} Coautor: *José Lorenzo, Muñoz-Mata* / CVU CONACYT ID: 177117, ORC ID: 0000-0001-7813-5579

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

Recibido 08 Enero, 2018; Aceptado 12 Marzo, 2018

Resumen

En este trabajo se desarrolló una metodología para determinar el comportamiento del proceso de compresión con enfriamiento y sin enfriamiento en un ciclo real de refrigeración por compresión mecánica de vapor. La metodología desarrollada fue probada en un sistema de refrigeración experimental instalado en el Laboratorio de Ingeniería Térmica e Hidráulica Aplicada de la SEPIESIME-IPN. Para el análisis del proceso de compresión se efectuó la evaluación de las irreversibilidades para cada uno de los componentes del sistema de refrigeración, (evaporador, línea de succión, compresor, línea de descarga, condensador, línea de líquido y válvula de expansión). El análisis teórico se fundamenta en la primera y la segunda ley de la termodinámica. Comparando los procesos de compresión con enfriamiento y sin enfriamiento de un ciclo real de refrigeración, se observa que las mayores irreversibilidades se presentan cuando el proceso de compresión no cuenta con enfriamiento y, por ende, mayor consumo de energía.

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

Abstract

In this work a methodology was developed to determine the behavior of the compression process with cooling and without cooling in a real refrigeration cycle by mechanical vapor compression. The methodology developed was tested in an experimental refrigeration system installed in the Applied Thermal and Hydraulic Engineering Laboratory of the SEPIESIME-IPN. For the analysis of the compression process, the irreversibilities were evaluated for each of the components of the refrigeration system (evaporator, suction line, compressor, discharge line, condenser, liquid line and expansion valve). The theoretical analysis is based on the first and second law of thermodynamics. Comparing the compression processes with cooling and without cooling of a real refrigeration cycle, it is observed that the greatest irreversibilities occur when the compression process does not have cooling and, therefore, it has greater energy consumption than the compression process with cooling.

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

Citación: RANGEL-ROMERO, Carlos, ROJAS-GARNICA, Juan Carlos, MUÑOZ-MATA, José Lorenzo y BARCELATA-PINZÓN, Antonio. Análisis Termodinámico del proceso de compresión con enfriamiento y sin enfriamiento en un ciclo real de refrigeración R12 y 134a. Revista de Ingeniería Mecánica. 2018. 2-5: 16-22.

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

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Los sistemas de refrigeración por compresión mecánica de vapor se aplican a los sectores industrial, comercial y doméstico. Para operar, estos sistemas de refrigeración necesitan consumir energía en forma de trabajo mecánico. Dicho sistema es el más empleado a nivel mundial y está compuesto por cuatro procesos fundamentales: evaporación, compresión, condensación y expansión. El uso de la energía se ve afectada por las irreversibilidades que se generan en los diferentes componentes en el sistema, lo que provoca un desperdicio en el consumo de la energía suministrada.

Aplicando la primera y la segunda ley de la termodinámica a cada componente del sistema de refrigeración se pueden cuantificar las irreversibilidades producidas y así determinar la potencia aprovechada por el sistema. Por esta razón es de gran importancia conocer la distribución de las irreversibilidades que se generan en el sistema de refrigeración para tener la información suficiente que permita tomar decisiones sobre las acciones que se deben tomar para que estos sistemas logren un buen aprovechamiento de la energía consumida.

Para cumplir con el propósito de evaluar el uso de la energía en los sistemas de refrigeración por compresión mecánica de vapor, en este trabajo se presenta el análisis que se realizó a un sistema experimental de refrigeración por compresión mecánica de vapor, instalado en el Laboratorio de Ingeniería Térmica e Hidráulica Aplicada (LABINTHAP) del Instituto Politécnico Nacional de México. Se evaluaron las irreversibilidades generadas en los diferentes componentes del sistema, así como la energía aprovechada. El fluido de trabajo de este sistema es el refrigerante R-134a y el R-12.

Los sistemas de refrigeración son importantes y ofrecen la oportunidad para mejorar la operación, en cuanto al consumo de energía, en el funcionamiento de los mismos y poder tomar decisiones sobre la posibilidad de donde se puede efectuar un mejoramiento al utilizar los principios de la termodinámica.

Para este estudio se realiza el análisis energético del sistema de refrigeración por compresión mecánica de vapor, con lo que al analizar la distribución de las irreversibilidades en el sistema de compresión con enfriamiento y sin enfriamiento se tendrá información que será de utilidad para la toma de decisiones sobre los cambios que sean necesarios en los componentes del sistema y en las condiciones de operación y se evalúa la energía adicional consumida por los componentes del sistema de refrigeración cuando el compresor no tiene enfriamiento, la cual es necesaria para superar la irreversibilidades que se producen en cada uno de los componentes. En este trabajo se ha logrado establecer una metodología de evaluación de las irreversibilidades originadas en los procesos de compresión con enfriamiento y sin enfriamiento.

Metodología

Los experimentos se realizaron para enfriar a un flujo de agua sobre el evaporador de 0.5 l/s. La duración de cada una de las pruebas experimentales fue de 2 horas. Cada experimento se repitió 3 veces para validar los resultados.

Durante el desarrollo de los experimentos se tomaron lecturas de temperaturas y presiones del refrigerante en cada entrada y salida de los diferentes elementos que componen el sistema experimental de refrigeración. Para el agua, se verificaron los flujos y sus temperaturas a la entrada y salida del evaporador, así como su temperatura en el depósito de agua. También se midieron los parámetros eléctricos necesarios para calcular la potencia suministrada al compresor, y que son: diferencia de potencial, corriente eléctrica, potencia activa y potencia aparente. Estos instrumentos de medición, tanto termopares y transductores de presión se encuentran ubicados a la entrada y salida del evaporador, compresor, condensador y válvula de expansión termostática.

Las características técnicas de la unidad condensadora son las siguientes: corresponde al modelo Friomold UF-300M que es enfriado por un ventilador accionado por un motor trifásico de 3 HP, cuenta con compresor MYCOM E-50, con presostato cuyo rango de operación -0.5 a 6 kg/cm² y, dos manómetros, uno de succión con rango de operación de 0 a 6 Bar y otro de descarga con rango de operación de 0 a 16 Bar.

Se colocaron termopares en la entrada y salida de cada uno de los componentes del sistema. Son de la marca Omega CO3-T de cobre constantan, con un rango de medición de temperatura de -185 a 298 °C. También se colocaron tres transductores de presión con sensor de cerámica para el lado de baja presión y otros tres para el lado de alta presión, todos de la marca Hauser con rango de operación de 0 a 6 Bar para los de baja presión y de 0 a 16 Bar para los de alta presión.

Con los datos obtenidos de temperatura y presión del refrigerante se obtienen diferentes variables termodinámicas, entre las cuales están la entropía, la entalpía y el volumen específico. Con estos se grafica el ciclo real de refrigeración en un diagrama T-s, como se muestra a continuación.

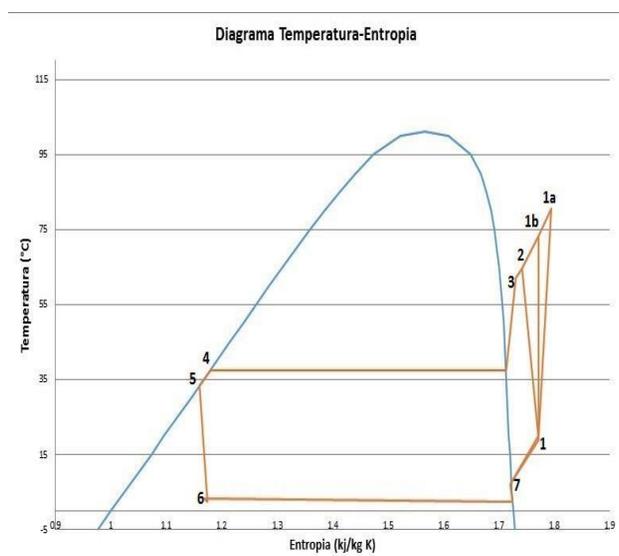


Gráfico 1 Diagrama de Temperatura-Entropía de un ciclo de refrigeración real

Fuente: *Elaboración Propia*

Análisis termodinámico del proceso de compresión con enfriamiento

El ciclo termodinámico de un sistema de refrigeración por compresión con enfriamiento, que se muestra en el Gráfico 1, está compuesto de los siguientes procesos (1-2-3-4-5-6-7): I) evaporación (6-7): el refrigerante absorbe calor del espacio a enfriar; II) absorción de calor en la tubería de succión (7-1); III) compresión con enfriamiento (1-2): se incrementa la temperatura y presión del refrigerante; IV) rechazo de calor en la tubería de descarga (2-3); V) condensación (3-4): el refrigerante rechaza calor al medio ambiente; VI) rechazo de calor en la tubería de líquido (4-5); VII) expansión (5-6): el refrigerante sufre una caída súbita de presión.

Las ecuaciones usadas para el cálculo de los procesos del ciclo de refrigeración son la primera y la segunda leyes de la termodinámica, las cuales se muestran en la tabla 1. Con estas ecuaciones se hace el análisis energético y el análisis de las irreversibilidades generadas en el sistema.

Proceso	1° Ley
I	$Q_{7-6} = m_r(h_7 - h_6)$
II	$Q_{1-7} = m_r(h_1 - h_7)$
III	$Q_{2-1} = m_r(h_2 - h_1) + w_{2-1}$
IV	$Q_{3-2} = m_r(h_3 - h_2)$
V	$Q_{4-3} = m_r(h_4 - h_3)$
VI	$Q_{5-4} = m_r(h_5 - h_4)$
VII	$h_6 = h_5$

Tabla 1 Primera Ley de la Termodinámica

Proceso	2° Ley
I	$I_{7-6} = \left[m_r(s_7 - s_6) - \frac{Q}{T_r} \right] T_{amb}$
II	$I_{1-7} = \left[m_r(s_1 - s_7) - \frac{Q}{T_0} \right] T_{amb}$
III	$I_{2-1} = \left[m_r(s_2 - s_1) - \frac{Q}{T_0} \right] T_{amb}$
IV	$I_{3-2} = \left[m_r(s_3 - s_2) - \frac{Q}{T_0} \right] T_{amb}$
V	$I_{4-3} = \left[m_r(s_4 - s_3) - \frac{Q}{T_0} \right] T_{amb}$
VI	$I_{5-4} = \left[m_r(s_5 - s_4) - \frac{Q}{T_0} \right] T_{amb}$
VII	$I_{6-5} = [m_r(s_6 - s_5)] T_{amb}$

Tabla 2 Segunda Ley de la Termodinámica

Análisis termodinámico del proceso de compresión sin enfriamiento

El ciclo termodinámico de un sistema de refrigeración por compresión sin enfriamiento se muestra en la tabla 3 y está compuesto de los siguientes procesos (1-1a-3-4-5-6-7)

Fase	Proceso	No.
I	Evaporación	6-7
II	Línea de succión	7-1
III	Compresión	1-1a
IV	Línea de descarga	1a-3
V	Condensación	3-4
VI	Línea de líquido	4-5
VII	Expansión	5-6

Tabla 3 Procesos del ciclo de refrigeración sin enfriamiento

Para el análisis de este proceso termodinámico sin enfriamiento, primeramente se necesitan calcular las variables termodinámicas del punto 1b, en la descarga del compresor.

Para este cálculo se considera el proceso de compresión como isentrópico, y con el dato de la presión del refrigerante, se obtienen las demás variables mediante tablas termodinámicas, como la entalpía, la temperatura, el volumen específico, entre otras. Con esto se obtienen todas las variables termodinámicas del estado 1b. Para ello, cuando no se tiene enfriamiento, se emplea la siguiente ecuación.

$$\eta_{ise} = \frac{h_a - h_1}{h_b - h_1} \quad (1)$$

Donde la diferencia entre h_a y h_b implica la desviación de un proceso politrópico reversible de un proceso isentrópico, y también la desviación de un proceso politrópico irreversible de un proceso reversible. Con esta ecuación se obtiene h_a y con el dato de la presión del refrigerante en la descarga del compresor se obtienen todos los puntos del estado 1b.

Con lo cual ya se puede iniciar el análisis de las irreversibilidades originadas en el ciclo de refrigeración, empleando las ecuaciones de la tabla 1 para su cálculo. Como se muestra en la figura de la unidad condensadora el sistema de compresión tiene un sistema en el cual el aire condensante va directamente al compresor para realizar el proceso de enfriamiento.



Figura 1 Unidad Condensadora
Fuente: Elaboración Propia

Análisis de resultados y discusión

En la tabla 4 se presentan los resultados obtenidos al aplicar las ecuaciones de la tabla 1, para los procesos de compresión con enfriamiento y sin enfriamiento. Con esta tabla se observa que la diferencia con respecto a las irreversibilidades originadas en un sistema de refrigeración entre un proceso de compresión con enfriamiento y sin enfriamiento están en el compresor y línea de descarga.

En el análisis de las irreversibilidades producidas en el compresor, se demuestra que cuando este componente cuenta con un proceso de enfriamiento se originan menores irreversibilidades, esto es debido a que en el compresor se produce un menor calentamiento, que es causado por la energía que transmite el refrigerante en forma de calor.

Con lo que respecta a la línea de descarga que conecta a la succión del compresor y a la entrada del compresor, se observa que en un proceso de compresión con enfriamiento, el calor que desprende el refrigerante hacia los alrededores, que es energía que se pierde o que no se puede emplear para producir el efecto de refrigeración, es menor y, por lo tanto, la energía consumida para producir el efecto de refrigeración aumenta, que se comprueba en la tabla 4.

Por lo tanto al tener mayor irreversibilidad en un ciclo de refrigeración, aumenta la energía consumida por el compresor y la energía eléctrica que es la que provoca el movimiento del compresor mediante un motor eléctrico también aumenta.

Componentes	Irreversibilidad Con enfriamiento	Irreversibilidad Sin enfriamiento	Unidades
Evaporador	0.00027		kW/K
Compresor	0.0067	0.0075	kW/K
Condensador	0.00081		kW/K
Válvula de Expansión	0.00009		kW/K
Línea de Succión	0.00017		kW/K
Lín. Des.	0.00002	0.00019	kW/K
Línea de líquida	0.00089		kW/K
Irreversibilidad Total	0.0089	0.0099	kW/K
Energía Utilizada	2.65	2.92	kW/K
Energía Real Consumida	2.76	2.76	kW/K
Potencia Compresor	0.30	0.63	kW/K

Tabla 4 Comparación de resultados entre el proceso de compresión con enfriamiento y sin enfriamiento

En el gráfico 2 se muestra claramente la diferencia entre un proceso de compresión con enfriamiento y sin enfriamiento, ya que cuando la temperatura en la descarga del compresor aumenta la irreversibilidad del compresor tiende a comportarse de la misma forma. Y como se ve en el gráfico 3 al aumentar la potencia consumida por el compresor cuando no cuenta con enfriamiento.

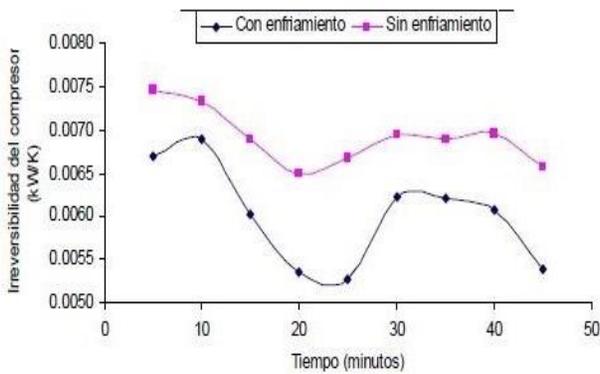


Gráfico 2 Comparación de las irreversibilidades del compresor con enfriamiento y sin enfriamiento
Fuente: Elaboración Propia

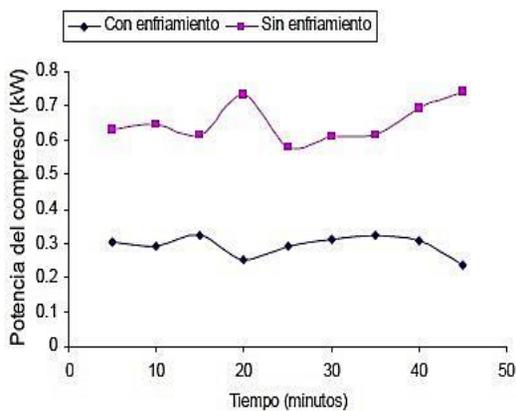


Gráfico 3 Comparación de la potencia consumida por el compresor con enfriamiento y sin enfriamiento
Fuente: Elaboración Propia

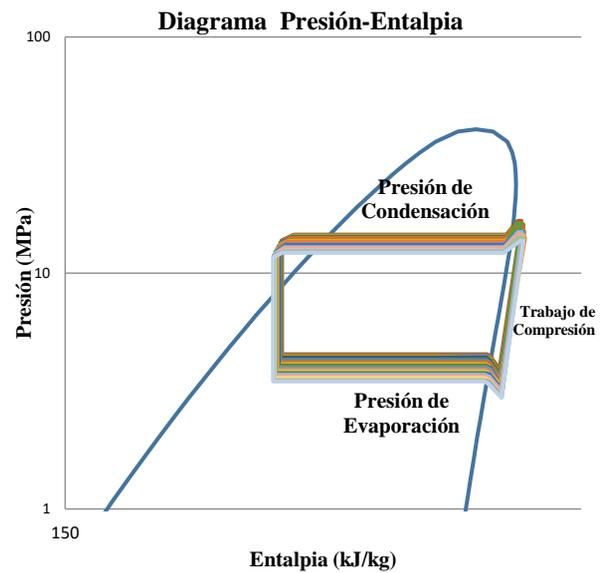


Gráfico 4 Diagrama del ciclo real de refrigeración.
Fuente: Elaboración Propia

En el diagrama P-h, del gráfico 4, muestra que el ciclo de refrigeración mantiene un proceso de evolución con respecto al tiempo, la presión de evaporación muestra más la tendencia con respecto a la presión de condensación.

En el gráfico de la Temperatura-Entropía, del gráfico 5, muestra como se realiza el trabajo de compresión, el cual se genera un menor consumo de energía y lo cual tiene como consecuencia una menor irreversibilidad.

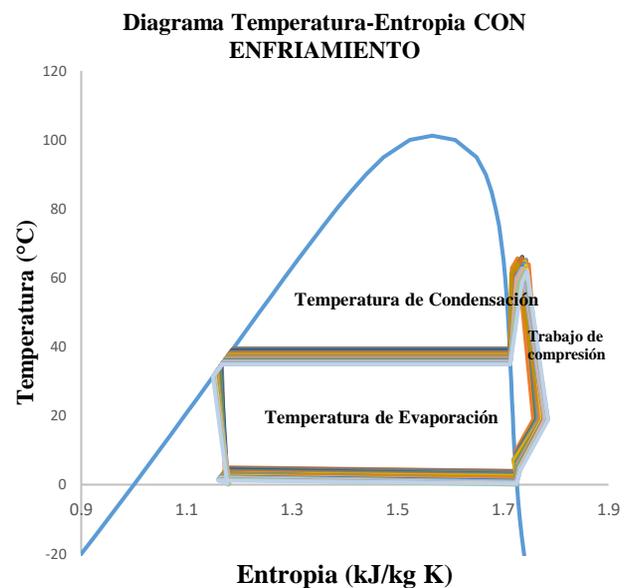


Gráfico 5 Diagrama Temperatura- Entropía de un ciclo real con enfriamiento
Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico 6, de Temperatura–Entropía sin enfriamiento, se observa que el trabajo de compresión aumenta lo que genera una mayor irreversibilidad.

Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos en el sistema de refrigeración por compresión de vapor se ha demostrado que el comportamiento energético de los ciclos de refrigeración es mejor cuando se utiliza un proceso de enfriamiento en el compresor.

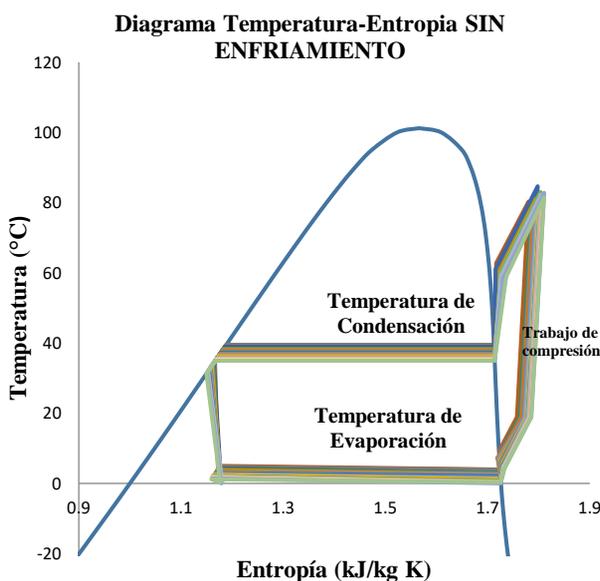


Gráfico 6 Temperatura-entropía de un ciclo real sin enfriamiento

Fuente: *Elaboración Propia*

En lo que respecta al análisis termodinámico se concluye que, en un ciclo real de refrigeración el calentamiento del fluido refrigerante, a causa del proceso de compresión, se acompaña de pérdidas de energía que dependen del proceso de enfriamiento o sin enfriamiento que se esté efectuando en el compresor, que aumentan o disminuyen el consumo de energía por parte del compresor.

De los resultados presentados se muestra que las pérdidas en el compresor son las más grandes, por lo que se pone mayor atención a la sección de este tipo de equipos, con la idea de diseñar o elegir elementos de mayor eficiencia, además que con un proceso de enfriamiento se aumenta la eficiencia de un ciclo de refrigeración.

Con este análisis del compresor se demuestra que se puede obtener un ahorro de energía en los ciclos de refrigeración, que tienen gran aplicación a nivel mundial, así mismo se disminuye de manera substancial una de las causas que provocan irreversibilidades en estos sistemas.

Por lo tanto antes de que el fluido refrigerante entre al compresor si resulta ventajoso su enfriamiento para reducir el trabajo de compresión, pero se tiene que tener en cuenta el modo de dicho enfriamiento debido a los costos económicos. Asimismo esta metodología desarrollada es de aplicación sencilla para los ciclos de refrigeración y por lo tanto se pueden aplicar a cualquier tipo de sistema.

Referencias

Ahmadi P., Dincer I., Rosen M. A. (2013). Thermodynamic modeling and multi-objective evolutionary-based optimization of a new multigeneration energy system. *Energy Conversion and Management*, Vol. 76. pp. 282–300.

Ahmed B., Zubair S.M. (2011). Performance degradation of a vapour compression refrigeration system under fouled conditions. *International Journal of Refrigeration*. Vol. 34. pp. 1016-1027.

Anand S., Tyagi S.K. (2012). Exergy analysis and experimental study of a vapour compression refrigeration cycle. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. Vol. 110. pp. 961–971.

Ansari N., Yadav B., Kumar J. (2012). Theoretical exergy analysis of HFO-1234yf and HFO-1234ze as an alternative replacement of HFC-134a in simple vapour compression refrigeration system. *International Journal of Scientific Engineering Research*. Vol. 4 (8). pp. 137–144.

Bahman A., Groll E. (2016). Second-law analysis to improve the energy efficiency of environmental control unit. 16th International refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, July 11-14 2016.

Chandrasekharan M. (2014). Exergy analysis of vapor compression refrigeration system using R12 and R134a as refrigerants. *International Journal of Students' Research in Technology & Management*. Vol. 2 (04). pp. 134-139.

Fenga H., Chena L., Suna F., Wu. Ch. (2011). Heating load and COP optimisations for a universal steady flow endoreversible heat pump model. *International Journal of Ambient Energy* Vol. 32 (2). pp. 70-77.

Nawaz Md., Mamoon Md., Ashar Md., Zafar A. (2015). Energy and exergy analysis of vapour compression refrigeration system with R12, R22, R134a. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* Volume 5, Issue 3 March 2015. pp. 210-216.

Yadav P., Sharma A. (2015). Exergy analysis of R134a based vapour compression refrigeration tutor. *Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*. National Conference on Advances in Engineering, Technology & Management (AETM'15). pp. 73- 77.

Yataganbaba A., Kilicarslan A., KurtbasI. (2015). Exergy analysis of R1234yf and R1234ze as R134a replacements in a two evaporator vapour compression refrigeration system. *International Journal of Refrigeration*, 60:pp. 26-37.

Yataganbaba A., Kilicarslan A., Kurtbas I. (2015). Irreversibility analysis of a two-evaporator vapour compression refrigeration system. *International Journal of Exergy*. Vol. 18, No. 3. pp. 340-355.

Análisis del comportamiento eléctrico en un compresor recíprocante hermético monofásico a la modificación de las variables termodinámicas en la refrigeración

Analysis of the electrical behavior in a monophasic hermetic reciprocating compressor to the modification of the thermodynamic variables in the refrigeration

AGUILAR-ANASTACIO, José Carlos†*, PEREZ-LULE, Salvador y MUÑOZ-FLORES, Luis David

Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec

ID 1^{er} Autor: *José Carlos Aguilar-Anastacio* / ORC ID: 0000-0001-9466-6935, Researcher ID Thomson: G-3853-2018, CVU CONACYT ID: 235122

ID 1^{er} Coautor: *Salvador, Pérez-Lule* / ORC ID: 0000-0003-3928-5368, Researcher ID Thomson: F-4294-2018, CVU CONACYT ID: 775589

ID 2^{do} Coautor: *Luis David, Muñoz-Flores* / ORC ID: 0000-0002-4975-428X, Researcher ID Thomson: F-4291-2018, CVU CONACYT ID: 898565

Recibido 08 Enero, 2018; Aceptado 12 Marzo, 2018

Resumen

Este artículo presenta el análisis del comportamiento eléctrico del compresor hermético en alimentación monofásica cuando ocurre la modificación de temperatura de congelación, tal efecto modifica todas las variables termodinámicas presentes en el sistema de refrigeración que se reflejan en el comportamiento del consumo eléctrico del compresor, ante esta situación según la *Comisión Federal de Electricidad (CFE)*, los sistemas de refrigeración son considerados uno de los mayores consumidores de energía eléctrica en el hogar y en la industria. El análisis tiene por objetivo identificar los picos de consumo eléctrico que representan una gran demanda en un intervalo de temperaturas de -10 a -20°C . La metodología consiste en el análisis termodinámico del sistema de refrigeración, aplicando leyes de la termodinámica para la obtención de las variables que influyen en el comportamiento del sistema, se aplicará el análisis fasorial y de Euler para obtener los modelos que describen las variables eléctricas dentro de un motor de inducción. La contribución de este trabajo es la obtención de un modelo matemático del comportamiento de un compresor recíprocante hermético monofásico en función de las temperaturas de congelación que puedan influir en la disminución del consumo eléctrico del sistema.

Compresor hermético, Variables térmicas, Potencia eléctrica

Abstract

This article presents the analysis of the electrical behavior of the hermetic reciprocating compressor in single-phase power supply when the freezing temperature changes, this effect modifies all thermodynamic variables present in the refrigeration system, which is reflected in the behavior of the compressor's electrical consumption, In view of this situation, according to the Federal Electricity Commission (CFE), refrigeration systems are considered one of the largest consumers of electricity in the home and in industry. The objective of the analysis is to identify the peaks of the electrical consumption that represent a great demand in a temperature range of -10 to -20°C . The methodology consists in the thermodynamic analysis of the cooling system, applying laws of thermodynamics to obtain the variables that influences the behavior of the system, the fasor analysis and Euler will be applied to obtain the models that describe the electrical variables within an induction motor. The contribution of this work is to obtain a mathematical model of the behavior of a single-phase hermetic reciprocating compressor as a function of the freezing temperatures that may influence the decrease in the electrical consumption of system.

Hermetic compressor, Thermal variables, Electric power

Citación: AGUILAR-ANASTACIO, José Carlos, PEREZ-LULE, Salvador y MUÑOZ-FLORES, Luis David. Análisis del comportamiento eléctrico en un compresor recíprocante hermético monofásico a la modificación de las variables termodinámicas en la refrigeración. *Revista de Ingeniería Mecánica*. 2018. 2-5: 23-33.

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: jcaguilar@tese.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En los últimos años el costo de la energía eléctrica ha reflejado un incremento substancial en México a consecuencia de los incrementos en el precio y la caída de producción de los combustibles, según el último reporte del balance nacional de energía 2016. (Sener, 2016) Esto ha despertado interés en ciertos sectores de la sociedad como el académico e industrial en la búsqueda de nuevas alternativas para mejorar el aprovechamiento del consumo eléctrico en la industrial y del hogar, particularmente en los equipos de refrigeración y aire acondicionado, es decir se busca obtener la mayor eficiencia en el aprovechamiento del consumo eléctrico en los sistemas de refrigeración durante su funcionamiento.

Según la Comisión Federal de Electricidad (CFE) los sistemas de refrigeración son uno de los electrodomésticos de mayor consumo eléctrico en el hogar y la industrial, por su continuo funcionamiento durante las 24 Hrs del día en todo el año, con el propósito de disminuir y mantener la temperatura por debajo de la temperatura ambiente para la conservación almacenamiento y prolongación de tiempo de los alimentos de consumo, así como la producción de hielo en pequeñas porciones. Adicionalmente, si se agrega el mal funcionamiento del sistema por filtraciones, puertas abiertas, desajuste del termostato, entre otros factores, el consumo eléctrico se incrementará y como consecuencia el costo por concepto de gasto de energía puede ser considerablemente mayor.

Dada su importancia en la sociedad moderna las investigaciones referentes a la disminución del consumo de energía en los sistemas de refrigeración, están enfocadas en tres líneas como son: *Control* donde se lleva a cabo el monitoreo de las variables de temperatura y presión para el control de las válvulas de expansión y refrigerante, *Compresor* regulación de par-velocidad con técnicas eléctricas o electrónicas, *Refrigerantes* mejoramiento en las propiedades de los agentes refrigerantes biodegradables que no atenten con la sustentabilidad del medio ambiente y la capa de ozono. (Ibrahim, 2010).

Este artículo presenta el análisis del comportamiento de la demanda de energía eléctrica en alimentación monofásica de un compresor hermético recíprocante en un sistema de refrigeración con temperaturas de congelación en un rango de -10 a -20°C . El objetivo de este análisis es obtener un modelo matemático que demuestre la influencia del cambio de las temperaturas de refrigeración en el consumo eléctrico del compresor.

Los resultados esperados en este análisis serán un marco de referencia para demostrar las afectaciones que producen la modificación de las temperaturas de congelación en cualquier sistema de refrigeración, dar a conocer en qué momentos se tiene una mayor demanda de energía eléctrica que se puede traducir en altos costos para el usuario.

La contribución de este trabajo es el desarrollo de un modelo que puede tener aplicaciones en el aprovechamiento del consumo eléctrico, la búsqueda de nuevas técnicas de control de velocidad del compresor para la optimización de energía en los sistemas de refrigeración.

Descripción del sistema de refrigeración

Un sistema de refrigeración es una máquina que a través de un compresor realiza la acción de incrementar la presión de un fluido refrigerante, una diferencia de presiones dentro de un circuito cerrado modifica las propiedades del fluido que son aprovechadas para la extracción de calor, en objetos o sustancias alojados en espacios cerrados donde se concentra una temperatura igual o mayor a la temperatura ambiente, el calor es transportado hacia otro punto donde es extraído o disipado por convección natural o forzada, el resultado de este proceso es la disminución de temperatura por debajo de la temperatura ambiente o incluso por debajo de los cero grados Celsius (punto de congelación).

Estos sistemas básicamente se componen de cuatro elementos principales: *compresor*, *condensador*, *expansión* y *evaporador*, cada uno interconectado para realizar el ciclo de trabajo en los siguientes procesos:

- 1-2 Compresión
- 2-3 Condensación
- 3-4 Expansión
- 4-1 Evaporación

La interconexión y el sentido del flujo del refrigerante se muestran en la figura 1.

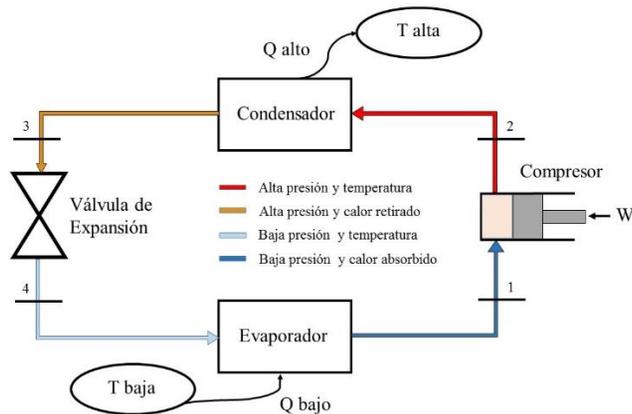


Figura 1 Elementos del sistema de refrigeración
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 1, se observa cuatro colores diferentes que denotan las condiciones de los estados del fluido a través del circuito de refrigeración. El proceso inicia en la compresión (Estados 1-2), se lleva a cabo con el compresor y el agente refrigerante, en el estado 2 el fluido se encuentra completamente gaseoso a una mayor presión y temperatura, el calor absorbido por el refrigerante es removido en el condensador (Estados 2-3) por convección natural o forzada según el caso, en el estado 3 el refrigerante mantiene alta presión con una reducción de calor a medida que el fluido recorre el condensador realiza el cambio de fase de un estado gaseoso a líquido, la válvula de expansión básicamente es una diferencia de diámetros de tubería, tiene la función de reducir la presión dentro del circuito, en el estado 4 a medida que el refrigerante circula por el evaporador las condiciones del fluido son modificadas manteniendo una baja presión y temperatura, en esta situación el fluido realiza un cambio de fase del estado líquido a vapor, en el estado 1 el fluido se encuentra completamente en estado gaseoso por el calor absorbido de los objetos del evaporador y es succionado por el compresor. Este este proceso se llama *ciclo de trabajo* (w) (Shan, 2001), (Pita, 2008).

Componentes del compresor recíprocante

Uno de los elementos causantes del *ciclo de trabajo* dentro del circuito de refrigeración es el compresor, este es un elemento electromecánico cerrado que puede ser de tipo hermético, semihermético o abierto.

Está compuesto por un motor eléctrico de corriente alterna en contacto con el refrigerante y lubricante, mecanismos internos como: pistones, bielas, ejes de transmisión, válvulas de expulsión y succión, etc. El motor eléctrico utilizado en los sistemas de refrigeración se compone de dos partes principales *estator* y *rotor*, donde se generan campos magnéticos rotatorios en velocidades distintas por el efecto del voltaje inducido en el rotor, por este principio de funcionamiento a estos motores se les conoce como motor *jaula de ardilla* o motores de inducción. En la figura 2, se presentan las partes internas del compresor recíprocante.



Figura 2 Partes principales del compresor recíprocante
Fuente: Elaboración Propia

De forma general este tipo de compresores son capaces de generar potencias desde 1/8 hasta 5HP, con una alimentación de 115V hasta 440V en CA, con una frecuencia de 60 Hz. Existe una clasificación de compresores en dos grupos desplazamiento *positivo* y *dinámicos*. (William, 2006).

Partes del motor jaula de ardilla

Estos motores se construyen a partir de un rotor tipo jaula de ardilla que consta de una serie de barras conductoras introducidas en ranuras formadas en el interior del núcleo del rotor, los extremos del núcleo son colocados en corto circuito por medio de anillos conductores formando una jaula de ardilla en su interior.

La parte fija del motor llamada *estator* consiste de un núcleo con características especiales donde se forman dos devanados *principal* y *auxiliar*, estos son colocados en el núcleo perpendicularmente entre ellos formando un ángulo de 90° , este arreglo se conoce como *motor de fase partida*, ver figura 3, esto permite crea un desfaseamiento entre la corriente y voltaje en ambas bobinas principio de funcionamiento del motor. (Saenz, 2002).

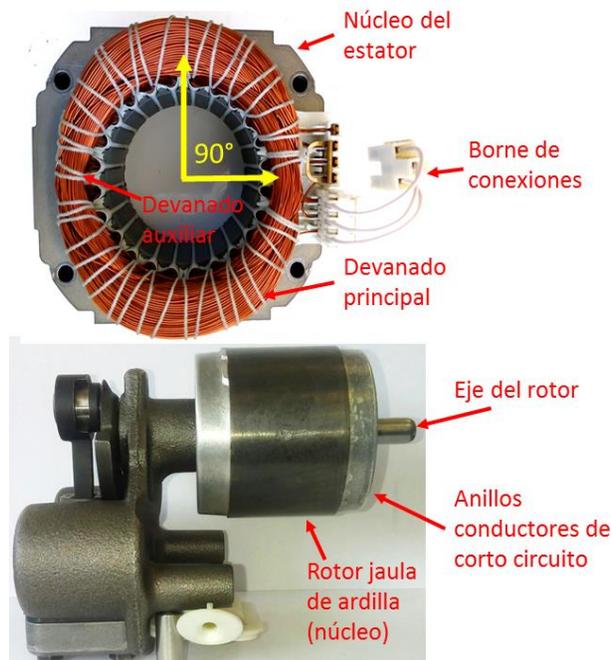


Figura 3 Partes principales del motor del compresor
Fuente: Elaboración Propia

Fasor de una función alterna

La Comisión Federal de Electricidad (CFE), suministra energía eléctrica en un rango entre 115 a 120 Volts en corriente alterna (CA) con una frecuencia de 60 Hertz, como fuente de alimentación para los aparatos eléctricos o electrónicos del hogar en toda la República Mexicana. En su forma natural el voltaje tiene un comportamiento alterno que proporciona una corriente en función del tiempo de tipo senoidal o cosenoidal, en esta condición se puede representar de forma *vectorial* o *fasorial* (*magnitud* y *sentido*), lo que permite facilitar el análisis de modelos eléctricos en función de la frecuencia, particularmente motores eléctricos que tienen comportamiento de tipo Resistivo - Inductivo (*RL*). (Chapman, 2012).

Metodología

El trabajo se desarrolla con el análisis termodinámico del sistema a partir de las temperaturas de congelación y de condensador de un refrigerador doméstico, para calcular la demanda de potencia mecánica del sistema, estos datos en conjunto con el análisis eléctrico del motor del compresor se aplicarán para obtener el comportamiento de la demanda de potencia del compresor en función de la temperatura y entalpías, los datos obtenidos de las corrientes se representarán de forma vectorial para verificar el incremento de la potencia, se graficarán para obtener los resultados y conclusiones finales del proyecto.

Análisis termodinámico del sistema de refrigeración

Para el análisis termodinámico se debe tomar en cuenta la variación de la calidad del vapor refrigerante en el evaporador, (*entendiendo como calidad del vapor refrigerante (X) el cambio de fase de líquido a vapor*) y la válvula de expansión cuando se modifica la presión y temperatura de congelación, para el análisis se utiliza el refrigerante HFC-134a por ser de mayor aplicación en los sistemas de refrigeración doméstico y comercial.

Los datos utilizados en el análisis termodinámico se muestran en la tabla 1, son lecturas obtenidas de un refrigerador doméstico.

Evaporador (°C)	Condensador (°C)
-10	40
-15	40
-20	40

Tabla 1 Temperaturas en el evaporador y condensador
Fuente: Elaboración Propia

En el diagrama Temperatura - Entalpía (*T-h*) gráfico 1, se representa el comportamiento de los cuatro estados que se llevan a cabo en el sistema al realizar el ciclo de trabajo del fluido durante la refrigeración, a medida que circula el refrigerante del punto 4 al 1, la calidad del refrigerante (*X*) se modifica de líquido a vapor por el retiro de calor presente en el evaporador y sus alrededores, llevándose a cabo el efecto de refrigeración.

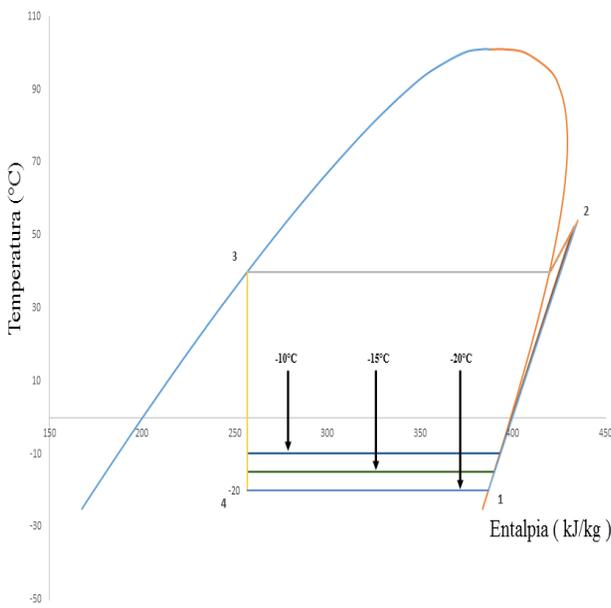


Gráfico 1 Comportamiento Temperatura-Entalpía (T-h) del refrigerante HF-134a

Fuente: Elaboración Propia

En los puntos 1 y 2, el compresor realiza el trabajo de compresión, en este proceso se tiene la mayor demanda de potencial eléctrico por la acción del incremento de presión y temperatura.

Variables de estado termodinámico estado 1 (Evaporador – Compresor)

La temperatura (T) del evaporador y compresor marcan los puntos de referencia para calcular las propiedades del refrigerante como: la entalpía (h), entropía (s), volumen (v), calidad (x) y presión (P) del refrigerante en el punto 1. En la Tabla 2, se resumen los datos calculados de las propiedades del refrigerante en la succión del compresor.

Estado	T (°C)	P (bar)	s (kJ/Kg°K)	h (kJ/Kg)	v (m³/kg)	Calidad (x)
1	-10	2.01	1.7341	392.9	0.0996	1

Tabla 2 Propiedades del refrigerante en el evaporador a temperatura de -10°C

Fuente: Elaboración Propia

Variables de estado termodinámico estado 2 (Compresor – Condensador)

Una vez que el refrigerante se introduce al compresor por la succión, se comprime por el lado de alta presión hasta la región de vapor sobrecalentado del punto 2 al 3, el proceso se considera *isobárico* e *isoentrópico*, es decir la presión y entropía se consideran constantes (P₂ = P₃) y (s₂=s₁).

En este proceso inicia el retiro de calor a medida que el refrigerante circula por el condensador, en estas condiciones se obtiene las propiedades térmicas del refrigerante mostradas en la Tabla 3.

Estado	T (°C)	P (bar)	s (kJ/Kg°K)	h (kJ/Kg)	v (m³/kg)	Calidad (x)
2	50.4	10.1	1.7485	431.36	0.0215	VSC

Tabla 3 Propiedades del refrigerante en la salida del compresor

Fuente: Elaboración Propia

Variables de estado termodinámico estado 3 (Condensador – Válvula de expansión)

En el estado 3, la presión permanece constante desde el estado 2, (P₂ = P₃), en este punto a medida que el fluido circula por el serpentín del condensador se realiza el proceso de disipación de calor, condición para que el fluido entre en condensación o cambio de *fase de vapor a líquido*, en esta condición la calidad del refrigerante es igual a cero (x = 0), es decir el refrigerante se encuentra completamente en estado líquido a una temperatura ligeramente superior a la temperatura ambiente.

Variables de estado termodinámico estado 4 (Válvula de expansión – Intercambiador de calor)

La calidad del refrigerante es un porcentaje de la cantidad del líquido que se transforma en gas, la entalpía del estado 3 se mantiene hasta el punto 4, (h_{f3} = h₄) en este punto el refrigerante se encuentra en estado líquido expandiéndose de manera isoentálpica desde la presión P₃ hasta la presión de evaporación P₄, el refrigerante al entrar a la válvula capilar el refrigerante tiende a cambiar su calidad de estado de vapor a líquido, la ecuación que describe la modificación de cambio de estado o su calidad se muestra en la ecuación 1. Los datos de la ecuación 1, se obtienen de las entalpías h_f y h_g a temperatura de saturación (T_{sat} = 40 + T_{amb}), con temperatura de congelación T₄=T₁=-10°C, a una presión de P₄ = P₁ = 2 bar.

$$x_4 = \frac{h_4 - h_{f4}}{h_{g4} - h_{f4}} \times 100\% \tag{1}$$

$$x_4 = \frac{256.6 - 186.7}{392.9 - 186.7} \times 100\%$$

$$x_4 = 34\%$$

El resultado de x_4 indica que el 34% del fluido refrigerante es vapor y el 66% líquido cuando entra al evaporador a un volumen específico (v) que se obtiene de la ecuación (2).

$$v_4 = (v_{g4} - v_{f4}) (x_4) + v_{f4} \tag{2}$$

$$v_4 = (0.0996 - 0.0007535) (0.34) + 0.0007535$$

$$v_4 = 0.0343 \frac{m^3}{kg}$$

La entropía (s) del refrigerante es calculada con la ecuación (3)

$$s_4 = (s_{g4} - s_{f4}) (x_4) + s_{f4} \tag{3}$$

$$s_4 = (1.7341 - 0.9507) (0.34) + 0.9507$$

$$s_4 = 1.2163 \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

Los datos para el cálculo del volumen específico (v_{g4} y v_{f4}) y la entropía (s_{g4} y s_{f4}) se obtienen en tablas de propiedades del refrigerante HFC- 134a, con temperatura de saturación (T_{sat}) en el estado 4. (Moran, 2005), [Tabla A.12].

Los cálculos anteriores se repiten para obtener las propiedades del refrigerante en los cuatro estados de las temperaturas de -15 y -20°C.

En las Tablas 4, 5 y 6 se resumen los datos obtenidos en cada uno de los estados de las temperaturas de congelación -10, -15 y -20°C respectivamente.

Estado	T (°C)	P (bar)	s (kJ/Kg°K)	h (kJ/Kg)	v (m³/kg)	Calidad (x)
1	-10	2.01	1.7341	392.9	0.0996	1
2	50.49	10.18	1.7485	431.36	0.0215	VSC
3	40	10.18	1.1912	256.6	0.0009	0
4	-10	2.01	1.2163	256.6	0.0343	0.34

Tabla 4 Propiedades termodinámicas de los cuatro estados del ciclo de refrigeración a -10°C en el evaporado
Fuente: Elaboración Propia

Estado	T (°C)	P (bar)	s (kJ/Kg°K)	h (kJ/Kg)	v (m³/kg)	Calidad (x)
1	-15	1.64	1.7379	389.8	0.1207	1
2	52.19	10.18	1.7541	433.17	0.0217	VSC
3	40	10.18	1.1912	256.6	0.0009	0
4	-15	1.64	1.2218	256.6	0.0445	0.36

Tabla 5 Propiedades termodinámicas de los cuatro estados del ciclo de refrigeración a -15°C en el evaporador
Fuente: Elaboración Propia

Estado	T (°C)	P (bar)	s (kJ/Kg°K)	h (kJ/Kg)	v (m³/kg)	Calidad (x)
1	-20	1.33	1.7422	386.8	0.1474	1
2	54.04	10.18	1.7601	435.14	0.0219	VSC
3	40	10.18	1.1912	256.6	0.0009	0
4	-20	1.33	1.2279	256.6	0.0578	0.39

Tabla 6 Propiedades termodinámicas de los cuatro estados del ciclo de refrigeración a -20°C en el evaporador
Fuente: Elaboración Propia

Potencia mecánica del ciclo de refrigeración

El ajuste a cierta temperatura de refrigeración o congelación provoca que las propiedades del refrigerante se modifiquen, en las tablas 4, 5 y 6 se pueden ver las modificaciones de las variables del ciclo de refrigeración a diferentes temperaturas de congelación. Para calcular la potencia mecánica del compresor se considera un sistema adiabático y estacionario, en esta condición se aplica la ecuación (4)

$$w_c = (h_2 - h_1) \dot{m} \tag{4}$$

Donde: w_c es la potencia mecánica desarrollada por el compresor h_2 entalpía en el estado 2, en este estado se desarrolla presión por parte del compresor, h_1 entalpía en el estado 1 absorción del refrigerante en el compresor, \dot{m} flujo másico del refrigerante que atraviesa el compresor.

En la tabla 7, se presenta un resumen de la variación de la entalpía cuando se modifican las temperaturas de congelación, extraídas de las tablas 4, 5 y 6.

T (°C) Temperatura de Congelación evaporador	T (°C) Temperatura de Condensador	h2 (kJ/Kg)	h1 (kJ/Kg)
-10	40	431.36	392.9
-15	40	433.17	389.8
-20	40	435.14	386.8

Tabla 7 Variación de entalpía a diferentes temperaturas en el evaporador
Fuente: Elaboración Propia

En los sistemas de refrigeración el coeficiente operacional (COP) describe la cantidad de energía en forma de calor retirado por cada watt mecánico del compresor ecuación (5).

$$COP = \frac{Q_B}{w_c} \tag{5}$$

El calor retirado en el evaporador (Q_B) y su vecindad se obtiene a partir de la ecuación (6) a medida que el refrigerante circula desde el estado 4 al 1.

$$Q_B = (h_1 - h_4)\dot{m} \quad (6)$$

Donde: Q_B calor retirado en el evaporador, h_1 entalpía en el estado 1, succión del compresor con ganancia de calor en el refrigerante al pasar por el evaporador, h_4 refrigerante sin calor absorbido.

En la tabla 8 se presentan datos calculados de la potencia mecánica (w_c), la diferencia de entalpías de la ecuación (4) y el COP desarrollado por el compresor al modificarse las temperaturas de congelación, en la columna 4 se observa el incremento de la potencia mecánica a medida que decrece la temperatura columna 1.

T Congelación el Evaporador (°C)	Flujo másico en (\dot{m}) (Kg/s)	(h_2-h_1) (kJ/kg)	W_c (Watts)	COP
-10	1.127×10^{-3}	38.46	43.37	3.5
-15	1.153×10^{-3}	43.37	50.00	3.07
-20	1.180×10^{-3}	48.34	57.00	2.7

Tabla 8 Variación de la potencia del compresor en función de la temperatura de congelación

Fuente: Elaboración Propia

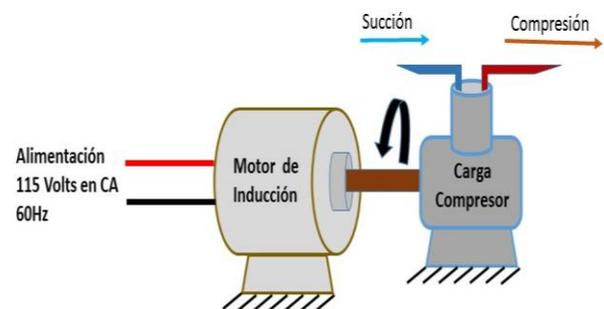
La capacidad de retiro de calor en los tres casos es de 0.1537 kJ/s, cantidad calculada para un refrigerador doméstico de 9 a 14 ft³, donde se almacena productos lácteos, carne, bebidas y vegetales.

Eficiencia del motor eléctrico

La distribución de energía eléctrica por CFE dentro del hogar es una alimentación de una sola fase en un rango de variación de 110 a 120 volts rms en corriente alterna (CA) a 60Hz, la demanda de corriente del motor dependerá directamente del funcionamiento propio y la carga conectada en la flecha del motor, es decir la compresión del refrigerante. En la figura 4 se observa la potencia desarrollada en el motor y compresor para mantener la presión y temperatura en el circuito de refrigeración, la alimentación al motor se traduce en potencia eléctrica para cubrir la potencia de funcionamiento del motor más la potencia mecánica del compresor con las variables térmicas del sistema de refrigeración. La potencia de entrada que el motor demanda de la línea de alimentación se expresa en la ecuación (7).

$$P = V \angle \theta \cdot I \angle \alpha \quad (7)$$

Donde: V voltaje de alimentación de la red eléctrica, θ ángulo de desfase de la onda de voltaje, I corriente que demanda el motor, α ángulo de desfase de la onda de corriente, P potencia promedio absorbida por el motor durante el funcionamiento.



$$\text{Potencia de Entrada} = \text{Potencia de Motor} + \text{Potencia de Carga}$$

Figura 4 Representación del motor físico y desarrollo de potencia en el motor y compresor.

Fuente: Elaboración Propia

Las máquinas eléctricas por naturaleza durante su funcionamiento tienen pérdidas de energía en sus diferentes tipos: calor, fricción mecánica, campos electromagnéticos, etc. Las pérdidas se pueden contemplar dentro del factor de potencia (η), dada por la ecuación (8).

$$\eta = \frac{P_{re}}{P_{ap}} \quad (8)$$

Donde: Potencia aparente (P_{ap}) es la potencia suministrada al compresor desde la toma eléctrica. Potencia real (P_{re}) es la potencia mecánica que demanda el compresor cuando es sometido a la carga dada por las variables de estado W_c , ecuación (4).

Los motores eléctricos cuando son de adquisición reciente su eficiencia ronda entre un 85 a 90 %. (Theodore, 2007).

Diagrama eléctrico del compresor e impedancia del motor

Los motores eléctricos utilizados para la fabricación de compresores de refrigeración y aire acondicionado son motores de inducción conocidos como tipo *jaula de ardilla* o de *fase partida*, ofrecen ventajas en la construcción y su funcionamiento, la representación simbólica del motor en un compresor se muestra en la figura 5.

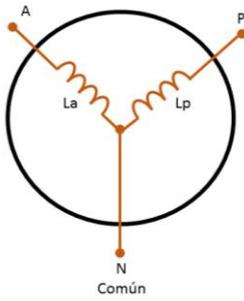


Figura 5 Símbolo del motor eléctrico en un compresor
Fuente: Elaboración Propia

El motor eléctrico consta de dos bobinas llamadas devanado *principal* (L_p) y *auxiliar* (L_a), en los puntos A y P se conecta la misma fase de alimentación con un circuito auxiliar que consta de un relevador para la desconexión del devanado auxiliar y mantener en conexión el devanado L_p . Sus características principales de las bobinas son el número de espiras y el diámetro diferente de los conductores de ambas bobinas.

La finalidad de los diferentes devanados consiste en la creación de dos campos magnéticos desfasados aproximadamente $\pi/9$ entre las corrientes de cada devanado L_a y L_p y aproximadamente $\pi/2$ con respecto al voltaje, para la producción de un impulso giratorio en el rotor, una vez que se ha alcanzado la velocidad suficiente en el rotor, la corriente disminuirá gradualmente hasta la desconexión del devanado auxiliar, manteniéndose en funcionamiento únicamente el devanado principal una vez que se mantenga la velocidad y la corriente nominal (I_t). (Alexander, 2006). En la figura 6, se representa el diagrama completo del motor de inducción.

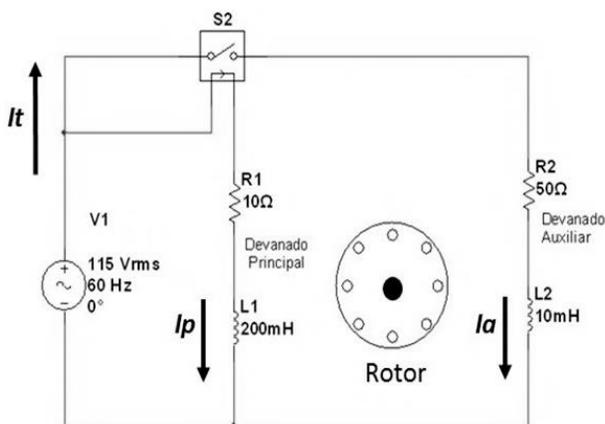


Figura 6 Representación del motor de inducción con alimentación
Fuente: Elaboración Propia

Se observa el devanado auxiliar conectado al interruptor (s_2) del relevador, cuando la bobina del relevador se alimenta a través del devanado principal del compresor durante el arranque se demanda grandes cantidades de corriente que provoca la conexión de la bobina auxiliar, generando las corrientes de los devanados *principal* (I_p) y *auxiliar* (I_a) respectivamente. La corriente total (I_t) que demanda el compresor en el arranque se representa en la ecuación (9).

$$I_t = I_a + I_p \tag{9}$$

Donde: I_t es la corriente total que demanda el motor, I_a corriente del devanado auxiliar e I_p corriente del devanado principal. La figura 7 representa el diagrama equivalente del motor de inducción de un compresor, con los valores respectivos de la inductancia y resistencia de cada una de las bobinas.

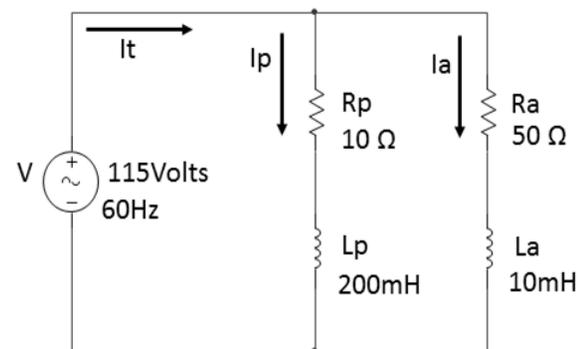


Figura 7 Diagrama de las corrientes y devanados del motor
Fuente: Elaboración Propia

La impedancia de cada devanado del motor se muestra en la configuración paralela de la figura 8, las expresiones (10) y (11) son valores reales de los devanados Z_a y Z_p . Las unidades de las impedancias se expresan en ohms (Ω).

$$Z_p = 10 + 75.4j \tag{10}$$

$$Z_a = 50 + 3.77j \tag{11}$$

En su forma vectorial se expresan en las ecuaciones (12) y (13)

$$Z_p = 76.06 \angle 82.44^\circ \tag{12}$$

$$Z_a = 50.14 \angle 4.31^\circ \tag{13}$$

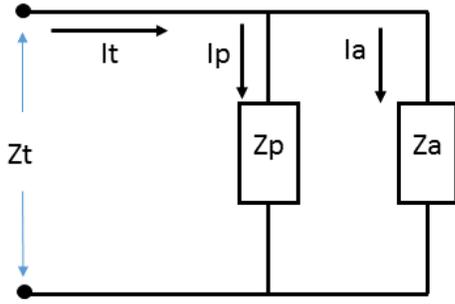


Figura 8 Impedancias de los devanados LP y La del motor
Fuente: *Elaboración Propia*

La impedancia Z_p y Z_a se encuentran en paralelo por lo tanto la impedancia total (Z_T) se expresa en la ecuación (14), la figura 9 presenta la impedancia total o equivalente que ofrece el motor al momento del arranque, ambas bobinas están en conexión por lo tanto se tiene una corriente total (I_T)

$$Z_T = \frac{Z_a \cdot Z_p}{Z_a + Z_p} \tag{14}$$

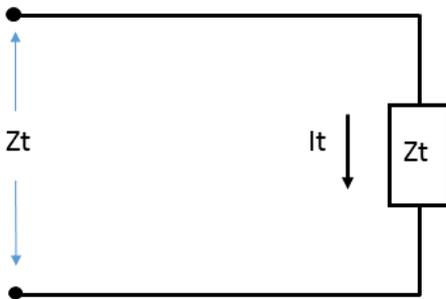


Figura 9 Impedancia total de los devanados del motor
Fuente: *Elaboración Propia*

La impedancia total se expresa en la ecuación (15).

$$Z_T = 31.86 + 21.42j \tag{15}$$

Representación vectorial ecuación (16)

$$Z_T = 38.40 \angle 33.91^\circ \tag{16}$$

En la figura 10, se representa la impedancia de los devanados L_p , L_a y L_T que ofrecen los devanados del motor en su forma vectorial en conexión paralela con la fuente de alimentación.

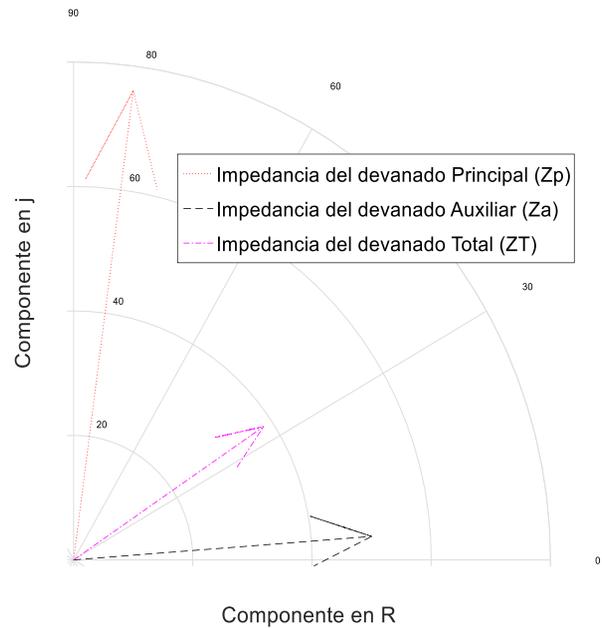


Figura 10 Forma vectorial de los devanados del motor
Fuente: *Elaboración Propia*

Demanda de Corriente en el compresor considerando la carga y la eficiencia

Para calcular la demanda de corriente del motor se toma en cuenta la eficiencia del compresor, potencia mecánica de la carga térmica, la impedancia de los devanados del motor. Aplicando la ecuación de la potencia en la entrada, compresor y motor:

$$P_{Entrada} = P_{Motor} + P_{Mecánica} \tag{17}$$

La ecuación (17) se escribe:

$$V_{rms}[\theta] \cdot I_{rms}[\alpha] = \frac{V_{rms}^2[\theta]}{Z_T} + \frac{P_M}{\eta} \tag{18}$$

Donde: V_{rms} es el voltaje efectivo de alimentación al compresor (115 Volts), I_{rms} corriente efectiva que demanda el compresor durante su funcionamiento $P_M = w_c$, potencia mecánica (carga térmica), $\eta = 0.85$ eficiencia del motor y sistema mecánico del compresor. θ ángulo desfasado de voltaje, α ángulo desfasado de corriente, Z_T impedancia total de los devanados del motor. Despejando la corriente de la ecuación (18) tenemos:

$$I_{rms}[\alpha] = \frac{V_{rms}^2[\theta] \cdot \eta + Z_T P_M}{Z_T \eta V_{rms}[\theta]} \tag{19}$$

De otra forma se tiene:

$$I_{rms}[\alpha] = \frac{V_{rms}^2[\theta] \cdot \eta + Z_T \cdot [(h_2 - h_1) \cdot \dot{m}]}{Z_T \cdot \eta \cdot V_{rms}[\theta]} \tag{20}$$

La ecuación (20) es el modelo que expresa la demanda de corriente del compresor donde existe dependencia directa de la potencia mecánica $w_c = P_M$ ecuación (4), suficiente para establecer las variables térmicas que afectan la temperatura de refrigeración o congelación.

Resultados

La cantidad de corriente efectiva (**rms**) total que se demanda para establecer temperaturas de -10, -15 y -20 °C respectivamente se presentan en los siguientes resultados:

$$I_{rms} = 3.37 \angle -29.9^\circ (\text{Amp})$$

$$I_{rms} = 3.43 \angle -29^\circ (\text{Amp})$$

$$I_{rms} = 3.50 \angle -28.5^\circ (\text{Amp})$$

La conversión para cada una de las corrientes en forma de Euler, es necesario obtener la amplitud máxima de la corriente o corriente pico (**Ip**) con la ecuación (21).

$$I_P = I_{rms} \cdot \sqrt{2} (\text{Amp}) \quad (21)$$

Entonces se tiene:

$$I = 4.76e^{-29.9j} (\text{Amp})$$

$$I = 4.85e^{-29j} (\text{Amp})$$

$$I = 4.95e^{-28.5j} (\text{Amp})$$

Las corrientes en forma de Euler:

$$4.76e^{-29.9j} = 4.76 [\cos(-29.9^\circ) + \text{Sen}(-29.9^\circ)j] (\text{Amp})$$

$$4.85e^{-29j} = 4.85 [\cos(-29^\circ) + \text{Sen}(-29^\circ)j] (\text{Amp})$$

$$4.76e^{-28.5j} = 4.95 [\cos(-28.5^\circ) + \text{Sen}(-28.5^\circ)j] (\text{Amp})$$

En la tabla 9, se resumen los datos de las corrientes y la demanda de potencia. Se observa ligeramente el incremento de corriente y el consumo de potencia eléctrica que es suministrada por la alimentación de 115 Volts, quiere decir que a menor temperatura de congelación la demanda del consumo eléctrico se incrementa por parte del sistema de refrigeración.

T (°C) Temperatura de Congelación	Vrms (Volts)	Irms (Amperes)	P _M Potencia de compresión (Watts)	Ángulo de atraso (α)	P _T Potencia Total de Consumo (Watts)
-10	115	3.37	43.36	-29.9°	387.55
-15	115	3.41	50	-29.13°	392.15
-20	115	3.50	57	-28°	402.5

Tabla 9 Demanda de corriente y potencia del compresor
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 11, se muestra la corriente en forma vectorial a diferentes temperaturas, al cambiar la temperatura se modifica ligeramente el ángulo de desfase.

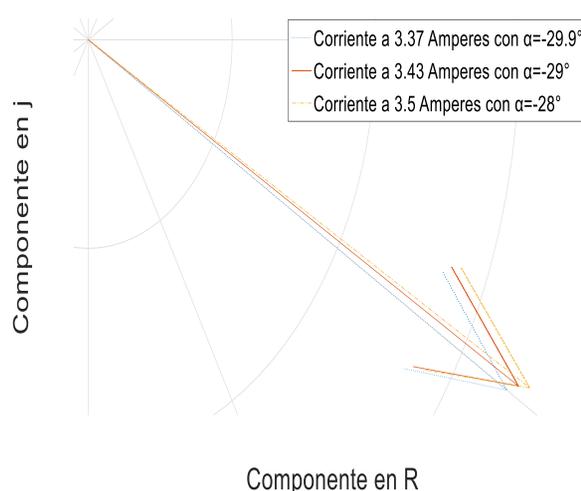


Figura 11 Forma vectorial de la corriente a la modificación de temperatura
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 12, se muestra el comportamiento de la corriente en forma cosenoidal en función del ángulo y del tiempo con una frecuencia de 60Hz a diferentes temperaturas.

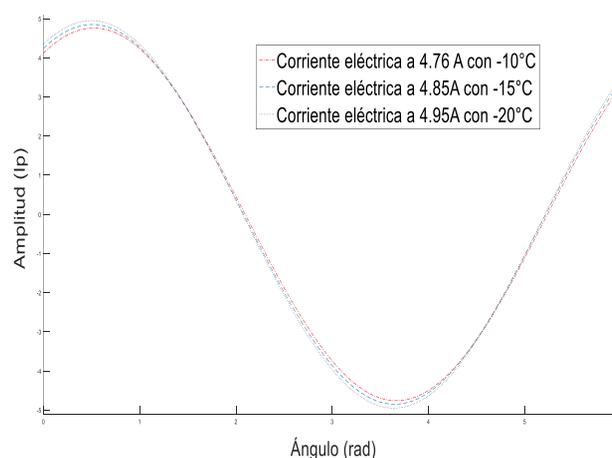


Figura 12 Formas de onda cosenoidal a diferente amplitud y ligero desfase.
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 13, se muestran el comparativo entre las funciones cosenoidales de voltaje y corriente donde se observa el desfase de -28.5° , -29° y -29.9° aproximadamente por el efecto de modificación de la temperatura en el compresor, a un voltaje de alimentación de 115 Volts efectivos.

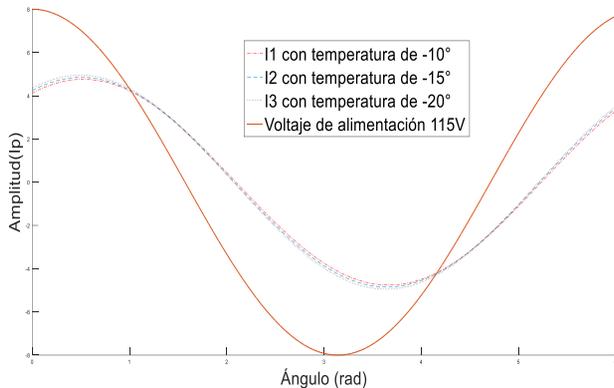


Figura 13 Voltaje de alimentación desfasado con respecto a la corriente a diferentes temperaturas

Fuente: *Elaboración Propia*

Conclusiones

Los resultados proporciona comportamientos de incremento de corriente eléctrica cuando se exige una mayor temperatura de congelación al sistema, este efecto se refleja en el incremento de potencia consumida a medida que la temperatura de congelación se modifica, el análisis puede ser aplicado para sistemas de mayor capacidad de refrigeración a nivel industrial, donde la demanda de corriente son de mayor impacto.

Como se puede observar en los puntos 1 y 2 de la gráfica del comportamiento del sistema de refrigeración, el resultado es una mayor demanda de trabajo para el compresor, lo que implica un mayor gasto de energía eléctrica. Ante esta situación es inevitable ajustar la temperatura de un refrigerador, dado que en todo el año existen diferencias de temperatura según la localidad y la estación del año.

Referencias

Alexander, CH. (2006). Fundamentos de Circuitos Eléctricos. CD de México: Mc Graw Hill.

Chapman, S. (2012). Electric Machinery Fundamentals. New York: Mc Graw Hill.

Hayt, W. (2012). Análisis de Circuitos Eléctricos en Ingeniería. CD de México: Mc Graw Hill

Ibrahim, D. (2010). Refrigeration systems and applications. United Kingdom: Wiley.

Joaquín, C. (2017). Balance Nacional de Energía 2016. México: Secretaría de Energía.

Morán, M. (2005). Fundamentos de Termodinámica Técnica. Barcelona: Reverte.

Pira, E. (2008). Principios y sistemas de Refrigeración. México: Limusa.

Sáenz, F. (2002). Máquinas eléctricas. Madrid: Prentice Hall.

Shan, K. (2001). Handbook of Air Conditioning and Refrigeration. New York: Mc Graw Hill.

Theodore, W. (2007). Máquinas Eléctricas y Sistemas de Potencia. México: Prentice Hall.

William, C. (2006). Tecnología de la Refrigeración y aire Acondicionado 1, Fundamentos. Madrid: Paraninfo.

Instrucciones para la Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

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

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

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

International Identification of Science - Technology and Innovation

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

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

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

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

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

Resumen (En Español, 150-200 palabras)

Objetivos
Metodología
Contribución

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

Resumen (En Inglés, 150-200 palabras)

Objetivos
Metodología
Contribución

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

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

* Correspondencia del Autor (ejemplo@ejemplo.org)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

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

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

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

Enfocar claramente cada una de sus características

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

Explicación de las secciones del Artículo

Desarrollo de Secciones y Apartados del Artículo con numeración subsecuente

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

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

Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

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

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

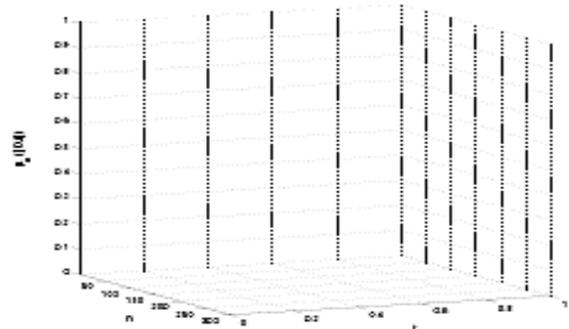


Gráfico 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.



Figura 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

Tabla 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

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

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

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

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

Metodología a desarrollar

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

Resultados

Los resultados deberán ser por sección del Artículo.

Anexos

Tablas y fuentes adecuadas.

Agradecimiento

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

Conclusiones

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

Referencias

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

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

Ficha Técnica

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

Nombre de la Revista

Título del Artículo

Abstract

Keywords

Secciones del Artículo, por ejemplo:

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

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor

Referencias

Requerimientos de Propiedad Intelectual para su edición:

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

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

Reserva a la Política Editorial

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

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

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

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

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

Título del Artículo:

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

Copyright y Acceso

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

Título del Artículo:

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

Principios de Ética y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

Responsabilidades del Editor

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

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

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

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

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

Responsabilidades del Consejo Editorial

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

Responsabilidades del Comité Arbitral

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

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

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

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

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

Responsabilidades de los Autores

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

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

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

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

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

Servicios de Información

Indización - Bases y Repositorios

RESEARCH GATE (Alemania)

GOOGLE SCHOLAR (Índices de citas-Google)

MENDELEY (Gestor de Referencias bibliográficas)

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

HISPANA (Información y Orientación Bibliográfica-España)

Servicios Editoriales:

Identificación de Citación e Índice H.

Administración del Formato de Originalidad y Autorización.

Testeo de Artículo con PLAGSCAN.

Evaluación de Artículo.

Emisión de Certificado de Arbitraje.

Edición de Artículo.

Maquetación Web.

Indización y Repositorio

Traducción.

Publicación de Obra.

Certificado de Obra.

Facturación por Servicio de Edición.

Política Editorial y Administración

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

ECORFAN®

Editora en Jefe

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Redactor Principal

SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC

Asistente Editorial

ROSALES-BORBOR, Eleana. BsC

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Editor Ejecutivo

MIRANDA-GARCIA, Marta. PhD

Editores de Producción

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Administración Empresarial

REYES-VILLAGO, Angélica. BsC

Control de Producción

RAMOS-ARANCIBIA Alejandra. BsC

DÍAZ-OCAMPO Javier. BsC

Editores Asociados

OLIVES-MALDONADO, Carlos. MsC

MIRANDA-GARCIA, Marta. PhD

CHIATCHOUA, Cesaire. PhD

SUYO-CRUZ, Gabriel. PhD

CENTENO-ROA, Ramona. MsC

ZAPATA-MONTES, Nery Javier. PhD

ALAS-SOLA, Gilberto Américo. PhD

MARTÍNEZ-HERRERA, Erick Obed. MsC

ILUNGA-MBUYAMBA, Elisée. MsC

IGLESIAS-SUAREZ, Fernando. MsC

VARGAS-DELGADO, Oscar. PhD

Publicidad y Patrocinio

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

Licencias del Sitio

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

Oficinas de Gestión

244 Itzopan, Ecatepec de Morelos–México.

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

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

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

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

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

Southwest Avenue, San Sebastian – León-Nicaragua.

6593 Kinshasa 31 – Republique Démocratique du Congo.

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

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

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

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

Revista de Ingeniería Mecánica

“Propuesta de módulo didáctico plano para PLC S7-1200”

RINCÓN-MALTOS, Gerardo, CÓRDOVA-LISZT, Gina Elizabeth y SÁNCHEZ-ROMO, César Rogelio

Universidad Tecnológica del Norte de Coahuila

“Diseño y Construcción de un Refrigerador Solar por Adsorción que Usa el par Oxido de Silicio-Agua”

AGUILAR-CELIO, Valentín, TOLEDO-MANUEL, Ivan, ARANA-CHAVEZ, David y SABÁS-SEGURA, José

Instituto Tecnológico Superior de Abasolo

“Análisis Termodinámico del proceso de compresión con enfriamiento y sin enfriamiento en un ciclo real de refrigeración R12 y 134a”

RANGEL-ROMERO, Carlos, ROJAS-GARNICA, Juan Carlos, MUÑOZ-MATA, José Lorenzo y BARCELATA-PINZÓN, Antonio

Universidad Tecnológica de Puebla

“Análisis del comportamiento eléctrico en un compresor recíprocante hermético monofásico a la modificación de las variables termodinámicas en la refrigeración”

AGUILAR-ANASTACIO, José Carlos, PEREZ-LULE, Salvador y MUÑOZ-FLORES, Luis David

Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec

