

ISSN 2523-6873

Volumen 2, Número 8 — Octubre — Diciembre — 2018

Revista de Ingeniería Innovativa

ECORFAN[®]

ECORFAN-Perú

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

SUYO-CRUZ, Gabriel. 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 Innovativa,

Volumen 2, Número 8, de Octubre a Diciembre 2018, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Perú. La Raza Av. 1047 No.-Santa Ana, Cusco-Perú. Postcode:11500.

WEB:

www.ecorfan.org/republicoferu,

revista@ecorfan.org. Editora en Jefe:

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD. Co-

Editor: SUYO-CRUZ, Gabriel. PhD. ISSN

2523-6873. Responsables de la última

actualización de este número de la Unidad

de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-

BOUCHÁN Imelda, LUNA-SOTO,

Vladimir, actualizado al 31 de Diciembre

2018.

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

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

Revista de Ingeniería Innovativa

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 Diseño de sistemas de producción, Gestión de calidad en los productos, Investigación de operaciones, Simulación informática, Cadenas de suministros, Certificación de calidad, Hidrometeorología.

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 Innovativa es un Research Journal editado por ECORFAN-México S.C en su Holding con repositorio en Perú, 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 la Diseño de sistemas de producción, Gestión de calidad en los productos, Investigación de operaciones, Simulación informática, Cadenas de suministros, Certificación de calidad, Hidrometeorología 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 Ingeniería y Tecnología. El horizonte editorial de ECORFAN-Mexico® 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-GONZÁLEZ, 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 Innovativa 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 Perú considere pertinentes para divulgación y difusión de su Artículo cediendo sus Derechos de Obra.

Declaración de Autoría

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

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

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

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

Detección de Plagio

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

Proceso de Arbitraje

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

Instrucciones para Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

Área del Conocimiento

Los trabajos deberán ser inéditos y referirse a temas de Diseño de sistemas de producción, Gestión de calidad en los productos, Investigación de operaciones, Simulación informática, Cadenas de suministros, Certificación de calidad, Hidrometeorología y a otros temas vinculados a las Ingeniería y Tecnología.

Presentación del Contenido

Como primer artículo *Estudio de la modificación de la presión de recalentamiento de una central térmica de vapor de 350 MW, para mejorar el rendimiento térmico del ciclo en condiciones reales* por JIMENEZ-GARCIA, Juan A, TORRES-TOVAR, Rigoberto, GASPAR-SANCHEZ, Noé y CALDERON-NEPAMUCENO, Dora M. con adscripción en la Universidad Autónoma del Estado de México, como siguiente artículo está *Implementación de un módulo de validación de acciones seguras para navegación de robots de servicio* por PACHECO-FARFAN, L., RIOS-MARTINEZ, J, MORENO-SABIDO, M y SANDOVAL-CURMINA, V, con adscripción en la Universidad Autónoma de Yucatán, como siguiente artículo está *La Calibración para el aseguramiento de la calidad de datos PM10 y PM2.5 en el monitoreo de la calidad del aire* por GARCÍA-ALVA, Sigifredo, MUÑOZ-ZAMORA, Guillermina, SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, Zindi y ARGUELLES-ORTIZ Hugo Alberto, con adscripción en el Instituto Tecnológico de Nogales, como siguiente artículo está *Aplicación de eficiencia energética para optimizar el Sistema de Iluminación en una Institución de Nivel Superior* por LEZAMA-ZÁRRAGA, Francisco Román, ANDRADE-DURÁN, Juan Edgar, OVANDO-SIERRA, Juan Carlos y CASTILLO-TÉLLEZ, Margarita con adscripción en la Universidad Autónoma De Campeche.

Contenido

Artículo	Página
Estudio de la modificación de la presión de recalentamiento de una central térmica de vapor de 350 MW, para mejorar el rendimiento térmico del ciclo en condiciones reales JIMENEZ-GARCIA, Juan A, TORRES-TOVAR, Rigoberto, GASPAR-SANCHEZ, Noé y CALDERON-NEPAMUCENO, Dora M. <i>Universidad Autónoma del Estado de México</i>	1-10
Implementación de un módulo de validación de acciones seguras para navegación de robots de servicio PACHECO-FARFAN, L., RIOS-MARTINEZ, J, MORENO-SABIDO, M y SANDOVAL-CURMINA, V <i>Universidad Autónoma de Yucatán</i>	11-21
La Calibración para el aseguramiento de la calidad de datos PM₁₀ y PM_{2.5} en el monitoreo de la calidad del aire GARCÍA-ALVA, Sigifredo, MUÑOZ-ZAMORA, Guillermina, SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, Zindi y ARGUELLES-ORTIZ Hugo Alberto <i>Instituto Tecnológico de Nogales</i>	22-26
Aplicación de eficiencia energética para optimizar el Sistema de Iluminación en una Institución de Nivel Superior LEZAMA-ZÁRRAGA, Francisco Román, ANDRADE-DURÁN, Juan Edgar, OVANDO-SIERRA, Juan Carlos y CASTILLO-TÉLLEZ, Margarita <i>Universidad Autónoma De Campeche</i>	27-34

Estudio de la modificación de la presión de recalentamiento de una central térmica de vapor de 350 MW, para mejorar el rendimiento térmico del ciclo en condiciones reales

Study of the modification of the reheating pressure of a steam thermal plant of 350 MW, to improve the thermal efficiency of the cycle in real conditions

JIMENEZ-GARCIA, Juan A†*, TORRES-TOVAR, Rigoberto, GASPAR-SANCHEZ, Noé y CALDERON-NEPAMUCENO, Dora M.

Universidad Autónoma del Estado de México

ID 1^{er} Autor: *Juan A. Jimenez-Garcia*/ ORC ID: 0000-0002-7303-1284, Researcher ID Thomson: G-2711-2018, CVU CONACYT ID: 241737

ID 1^{er} Coautor: *Rigoberto, Torres-Tovar*/ ORC ID: 0000-0001- 8734-3839, Researcher ID Thomson: S-4706-2018, CVU CONACYT ID: 353766

ID 2^{do} Coautor: *Noé, Gaspar-Sanchez*/ ORC ID: 0000-0000-4597-8865, Researcher ID Thomson: B-3853-2016, CVU CONACYT ID: 232164

ID 3^{er} Coautor: *Dora M. Calderon-Nepamuceno*/ ORC ID: 0000-0002-4296-4049, Researcher ID Thomson: B-3222, CVU CONACYT ID: 101812

Recibido 9 de Octubre, 2018; Aceptado 5 de Diciembre, 2018

Resumen

Se analiza la modificación de la presión de recalentamiento de la central térmica de vapor Villa de Reyes, se desarrolla un modelo de simulación del ciclo térmico de vapor, que incluye el análisis térmico de la cámara de combustión, la transferencia de calor en el generador de vapor, y el balance de masa y energía del ciclo Rankine con recalentamiento y regeneración, se validan los resultados contra los datos de operación establecidos por el fabricante y se realiza un análisis de sensibilidad del efecto que tienen la presión del recalentamiento de vapor, empleado la técnica del análisis energético y exergetico, sobre la operación del ciclo. Se encontró que al modificar la presión del vapor de recalentamiento y establecerla al 19% respecto a la presión de vapor principal, se logra un incremento de 2.37 MW de trabajo útil adicional respecto al régimen de operación de carga 100%. Se determinó que las máximas eficiencias energéticas y exergeticas del ciclo se logran a regímenes altos de carga de la central térmica y estableciendo la presión de vapor recalentado en un rango del 5% - 20% respecto a la presión de vapor principal.

Análisis exergetico y energético, Central termoeléctrica, Ciclo Rankine

Abstract

The analysis of the modification of the reheating pressure of the Villa de Reyes thermal power plant was presented. A simulation model was developed for the behavior of the steam thermal cycle, including the thermal analysis of the combustion chamber, the heat transfer in the steam generator, and the mass and energy balance of the reheat and regenerative Rankine thermodynamic cycle under which the plant operates, the results were validated against the operating data set by the manufacturer. A sensitivity analysis of the effect of the main operating variables on the total cycle efficiency, using the technique of energy and exergetic analysis, was performed, by modifying the superheating vapor pressure and setting it to 19% with respect to the Main vapor pressure, an increase of 2.37 MW of useful work is achieved, for the 100% load operation regime. It was determined that the maximum energy and exergetic efficiencies of the cycle are achieved at high load regimes of the thermal power station and establishing the superheated steam pressure in a range of 5% - 20% with respect to the main vapor pressure.

Exergy and energy analysis, Thermolectric power plant, Rankine cycle

Citación: JIMENEZ-GARCIA, Juan A, TORRES-TOVAR, Rigoberto, GASPAR-SANCHEZ, Noé y CALDERON-NEPAMUCENO, Dora M. Estudio de la Modificación de la Presión de Recalentamiento de una Central Térmica de Vapor de 350 MW, para Mejorar el Rendimiento Térmico del Ciclo en Condiciones Reales. Revista de Ingeniería Innovativa 2018, 2-8: 1-10

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: juan.jimenez.uaem@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

A nivel mundial, se emplean distintas tecnologías para la generación de energía eléctrica, en centrales térmicas se genera el 66.7% (40.8% en carbóelectricas, 21.6% en centrales de ciclo combinado y 4.3% centrales que queman combustóleo), el 16.4% en hidroeléctricas, 10.6% en nucleoeleéctricas, 2.1% con biocombustibles y 4.2% otras tecnologías (Solar, eólica, geo termoeleéctricas y mareomotriz) (IEA, 2016).

Debido a las medidas de sustentabilidad y cambio climático, se promueve el uso de energías limpias para la generación de energía eléctrica, desincentivando el uso de combustibles fósiles. De 2014 a 2015 a nivel mundial, se redujo el uso de carbón mineral en -7.6%, el combustóleo en -10.6%, fuentes nucleares -0.4%, paralelamente la generación hidroeléctrica se redujo en -1.9%, no obstante, otras tecnologías limpias incrementaron su aportación como la eólica en +16%, solar +17.8%, biocombustibles +2.5%, (IEA, 2016).

La generación bruta de energía eléctrica en México por tipo de tecnología en 2012 se constituyó por 45.6% Ciclo combinado, 20.6% termoeleéctricas convencionales, 12.9% carbóelectricas, 12% hidroeléctricas, 3.4% Nucleoeleéctrica, 2.7% otras fuentes (geotérmica, eólica y solar fotovoltaica), así como 2.4% Turbogás y 0.4% Combustión interna. (CFE, 2014a). En los últimos años, se ha observado que la tendencia nacional es instalar centrales de ciclo combinado debido a la alta disponibilidad del gas natural, así como la conversión de las centrales termoeleéctricas convencionales ya existentes. En 2014, la Comisión Federal de Electricidad (CFE), poseía un fuerte programa de conversión de centrales termoeleéctricas convencionales a duales (dualidad para quemar combustóleo o gas natural en el generador de vapor), que son proyectos de oportunidad, debido a los precios fluctuantes de combustóleo y a la alta disponibilidad de gas natural a corto plazo, estudios han demostrado su factibilidad y rentabilidad económica (CFE, 2014b). Sin embargo, existen cuestiones técnicas para la conversión que requieren total conocimiento de los regímenes de operación de las centrales termoeleéctricas en cuestión.

La CFE en 2014, contaba con un parque termoeleéctrico convencional, que utiliza combustóleo, con capacidad total de 11,698.6 MW, en 26 centrales, 87 unidades generadoras (unidades entre 150 y 350 MW), cuya antigüedad promedio es de 29 años. (CFE, 2014b), las cuales representan la oportunidad de investigación y desarrollo para su reconversión. En la presente investigación se estudia una central termoeleéctrica convencional de vapor de 350 MW que quema combustóleo, que es de las unidades termoeleéctricas de máxima capacidad instalada en nuestro país, candidata a la conversión.

La relevancia del estudio, radica, en la complejidad del modelo que se ha desarrollado, ya que simula el comportamiento de la operación de la central termoeleéctrica, validando los resultados contra los datos reales operación (CFE, 1987), el modelo calcula las condiciones termofísicos del núcleo de la flama en el hogar del generador de vapor quemando combustóleo, lo que permite conocer las condiciones de los gases de combustión y realizar el cálculo de la transferencia de calor en los sobrecalentadores de vapor y de esta manera, conocer las características de fluido de trabajo y analizar el ciclo Rankine con recalentamiento y regeneración de la central termoeleéctrica.

Las variables independientes son los límites de presiones establecidas para cada uno de los estados termodinámicos establecidos (ver figura 1.0) por el fabricante a diferentes regímenes de operación y las condiciones termodinámicas de los fluidos de trabajo a la entrada del modelo. Se realizan iteraciones del cálculo exergético desde el régimen 25% hasta el 100% y se realiza un análisis de sensibilidad del efecto que tiene la modificación de la presión de recalentamiento sobre el comportamiento del ciclo.

Para CFE, en 2014 la reconversión dual de 7 unidades termoeléctricas convencionales de combustóleo a gas natural, que es económicamente rentable con beneficios elevados, con un valor presente neto a 2013 de 1,275 millones de dólares, con una tasa interna de rentabilidad de 210% y relación beneficio/costo de 4.7. (CFE, 2014b), dicho estudio se realizó considerando únicamente diferentes escenarios de precios de combustible y la variación de las eficiencias térmicas de ambas tecnologías, sin embargo, una reconfiguración a dual de cualquier central termoeléctrica implica variaciones y problemas técnicos de reconfiguración que afectan los régimen de operación.

Por ello, en el presente artículo, se parte de la creación de un modelo de simulación del comportamiento total de la planta, y posteriormente se realizan análisis de sensibilidad del efecto que tienen las principales variables sobre el comportamiento total del ciclo, el primero de ellos se presentan a continuación, que es la modificación de la presión de recalentamiento, sin variar el combustible original (combustóleo), con lo que se espera que el modelo desarrollado entregue resultados consistente con la literatura existente. El diseño de los sistemas térmicos y la optimización de las centrales termoeléctricas pueden tener diferentes enfoques, ya que existen diferentes maneras de incrementar la eficiencia del ciclo modificando parámetros de operación que afecten directamente a la presión o temperatura del ciclo. Por ejemplo Silvetri (1992), analizo una central carboeléctrica de 100MW estudiando la importancia de varios parámetros de operación para optimizar el diseño de la turbina, concluyendo que es conveniente incrementar la presión y temperatura del ciclo para incrementar la potencia y eficiencia del ciclo, sin embargo esta solución está limitada por la resistencia de los materiales de construcción, específicamente sobre la presión de recalentamiento, determina que el incrementar la presión se incrementa la temperatura del vapor recalentado, lo cual reduce las pérdidas en el ciclo.

Dincer (2001), analizó un ciclo Rankine con recalentamiento, realizando varias configuraciones de las presiones y temperatura, en un rango de [400-600°C] y [10-15 Mpa] de vapor para estudiar el efecto sobre la eficiencia exergética y energéticas del ciclo, sin embargo establece la presión de recalentamiento al 19% de la presión de vapor principal para todos los análisis con base en las recomendaciones de Habib (1995; 1999), quien establece que la presión de regeneración equivalente al 19% de la presión de vapor principal, entrega la máxima eficiencia para un ciclo Rankine con una regeneración.

Por otra parte, Dincer y Rosen (2007), establecen que existen varias oportunidades para incrementar la eficiencia de las plantas termoeléctricas: incrementar la temperatura promedio de transferencia de calor en el ciclo, disminuir la temperatura del rechazo de calor en el condensador, reducir las irreversibilidades en los componentes de la planta e implementar mejoras en el proceso para reducir las pérdidas. Más recientemente Kaushik et al. (2011) presenta una revisión de los análisis energéticos y exergético en centrales termoeléctricas, donde dedica un apartado a los estudios para implementar mejoras en el ciclo, lista estudios de modificación de parámetros (Dincer y Rosen, 2007; Habib et al., 1995; Kelly et al., 2009; Tsatsaronis et al., 2002; Kotas, 1985; Horlock, 2000; Sohn, 2002).

Si bien el modelo de simulación desarrollado en la presente investigación se ha comprobado con los datos de operación de la planta, se busca la concordancia con los resultados de otras investigaciones al modificar parámetros en el modelo a fin de validar su confiabilidad, ya que involucra modificación de parámetros de operación, validación del modelo energéticos y exergéticos, todo esto a régimen de carga variable de la central termoeléctrica, lo que permitirá evaluar una futura repotencialización o conversión.

Nomenclatura

Símbolo	Nomenclatura
$A_{paredes}$	Área de las paredes externas en contacto con los productos de la combustión (m^2)

B_{cal}	Gasto de combustible (kg/s)
B_o	Número de Boltzman (-)
B_u	Número de Buger efectivo(-)
e, e_i, e_o	Flujo de Exergía, entrada, salida (KJ/Kg)
E	Exergía (KJ)
E_D	Flujo de destrucción de exergía (KJ/Kg)
h_1, h_2	Coefficiente de transferencia de calor externo e interno, en el intercambiador de calor, respectivamente (W/m^2K)
k_{cont}, K_m	Coefficientes de conducción de la capa de ensuciamiento externa, del metal del tubo y de las incrustaciones internas
M	Parámetro $M(-)$
$\square, \square, \square$ m, m_i, m_o	Flujo másico, entrada, salida (Kg/s)
P_o	Presión en el estado de Referencia (Pa)
Q	Transferencia de calor (W)
Q_e	Flujo de calor suministrado (KJ/Kg)
Q_j	Transferencia de calor j (W)
T_o	Temperatura del estado de referencia (K)
T_a	Temperatura adiabática (K)
T_{hogar}''	Temperatura de los productos de la combustión a la salida del hogar (K)
T_j	Temperatura instantánea (K)
u	Coefficiente de transferencia de calor total (W/m^2K)
V	Volumen (m^3)
$(vc)_{promedi}$	Calor específico promedio de los productos de la combustión (kJ/kg)

W	Trasferencia de energía asociada al trabajo (kJ/Kg)
W_{b1}	Trabajo de la bomba de condensados (KJ)
W_{b2}	Trabajo de la bomba de recirculación (KJ)
W_{ciclo}	Trabajo termodinámico del ciclo térmico (KJ)
W_{r1}	Trabajo de la sección de la turbina de alta presión (KJ)
W_{r2}	Trabajo de la sección de la turbina de baja presión (KJ)

Alfabeto griego

δ_{conta}	Espesor de la capa de ensuciamiento por su parte externa, pared de los tubos e incrustaciones internas (m)
δ_m	
δ_{int}	
η	Eficiencia térmica (%)
θ_{hogar}''	Temperatura relativa de los gases en salida del hogar (-)
$\psi_{promedio}$	Valor promedio del coeficiente de eficiencia térmica de las paredes del hogar
φ	Coefficiente de conservación de calor en el hogar (-)
ε	Efectividad del intercambiador de calor. (-)

Metodología

Para realizar el modelo de simulación de la central termoeléctrica de 350 MW, el estudio se divide en varios módulos:

Diseño del Modelo de Simulación.

La central termoeléctrica, cuenta con una potencia instalada de 700 MW, con dos unidades de 350 MW, cada unidad con una potencia nominal de 332.5 MW, con generadores de vapor con capacidad de producción de vapor principal de 325.4 Kg/s a 541°C y 288 Kg/s de vapor recalentado a 541°C.

La presión nominal del domo del generador de vapor es de 183 Bar y la presión nominal de vapor recalentado es de 40 Bar. Se emplea combustóleo con una composición química de 83.64 %C, 11.3% Hidrogeno, 4.2% Azufre y 0.86% N+O. Se considera un ciclo Rankine con recalentamiento y dos regeneraciones para el análisis, cuyo diagrama se presenta en la figura 1.0.

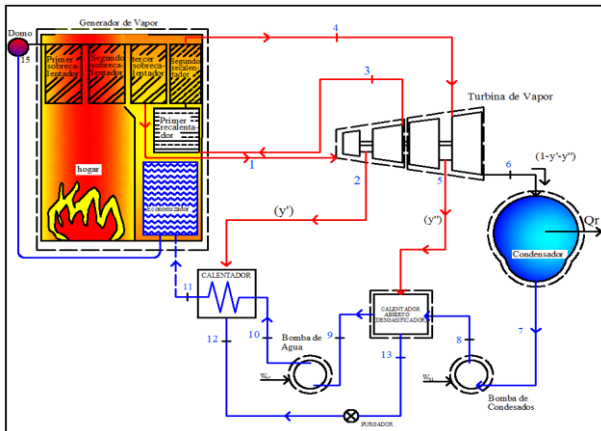


Figura 1 Diagrama Esquemático de la central termoeléctrica en estudio
Fuente: Elaboración Propia

Módulo de cálculo térmico del hogar

En el presente estudio se incorpora el análisis de proceso de la combustión en el hogar del generador de vapor, considerando variables independientes como el flujo de combustible, la relación aire- combustible y la fracción de gases de recirculación, en función de estas variables se determinan las propiedades de los gases de combustión como son su temperatura y flujo másico, lo que permitirá en los apartados 3.3.1 realizar el análisis de la transferencia de calor en la zona de sobrecalentadores.

La ecuación principal para el cálculo de intercambio de calor en hogares, conocida como ecuación de Gurvich (CKTI, 1973) y (Mullinger y Jenkins, 2007), que relaciona la temperatura relativa de los gases en salida del hogar θ_{hogar} y la temperatura de flama adiabática T_a (CKTI, 1998):

$$\theta_{hogar} = \frac{T_{hogar}''}{T_a} = \frac{Bo^{0.6}}{M \cdot Bu^{0.3} + Bo^{0.6}} \quad (1)$$

Alternativamente, la temperatura de los gases de combustión a la salida del hogar del generador de vapor analizado, se escribe como (Jarquín, Polupan, Carvajal y Montaña, 2015):

$$T_{hogar}'' = \frac{T_a}{1 + M \cdot Bu^{0.3} \left(\frac{5.67 \cdot \Psi_{promedio} \cdot A_{paredes} \cdot T_a^3}{10 \cdot \phi \cdot B_{calc} \cdot (V.C)_{promedio}} \right)} \quad (2)$$

Los parámetros termo físicos de la ecuación 2, dependen de la configuración geométrica y las características de núcleo de la flama en el hogar del generador de vapor, su determinación específica puede encontrarse en (Jiménez, 2008).

Transferencia de calor en las superficies intercambiadoras

Para determinar las temperaturas de salida de los fluidos de trabajo en cada intercambiador de calor, es necesario conocer el coeficiente de transferencia de calor global para los sobrecalentadores del generador de vapor que se calcula como (Jarquín, 2003; Pysmenny, et al., 2007; Ganapathy, 2003):

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\delta_{cont}}{K_{cont}} + \frac{\delta_m}{K_m} + \frac{\delta_{int}}{K_{int}} + \frac{1}{h_2}} \quad (3)$$

Para determinar el coeficiente de global de transferencia de calor que tiene lugar en los sobrecalentadores y recalentadores de vapor del generador de vapor hay que considerar los fenómenos de convección y radiación de los fluidos de trabajo, en esta sección, no se profundiza en la metodología para su determinación, ya que se emplean métodos convencionales para calcularlos, más información puede encontrarse en (Bejan y Kraus, 2003; Kitto y Stultz, 2005; Ramesh, 2005; Jiménez, 2015; Cengel y Boles, 2015).

Análisis de ciclo Rankine con recalentamiento y regeneración

El análisis del ciclo térmico de vapor de la central termoeléctrica Villa de Reyes, se realizó considerando procesos de flujo estable, y despreciando los cambios en la energía cinética y potencial del vapor, considerando un ciclo Rankine con recalentamiento y regeneración, empleando como variables independientes el flujo másico de agua de alimentación y las presiones de operación del ciclo, se desarrolló un sistema de ecuaciones basados en un balance de masa y energía, para ello, se definieron 18 estados termodinámicos para el vapor de agua y siete estados termodinámicos para los gases de combustión rotulados de *a* hasta *g*, que se aprecian en la figura 1.0. Información adicional sobre el balance de masa y energía de ciclo Rankine puede encontrarse en (Boehm, R., 1997.), (Moran. y Shapiro, 2008), (Rajput, R.K., 2010), (Cengel, Y. A. y Boles, M.A., 2015), (Borgnakke, C., 2013).

Tomando en consideración el diagrama de la figura 1.0, y empleado las correlaciones de las IAWPS, más información acerca de estas, pueden encontrarse en (Durán, 2004), el rendimiento térmico del ciclo Rankine con recalentamiento y regeneración es (Cengel y Boles, 2015), se describe como:

$$\eta = \frac{W_{t1}/m_1 + W_{t2}/m_1 - W_{b1}/m_1 - W_{b2}/m_1}{Q_e/m_1} \quad (4)$$

Finalmente, conociendo la potencia neta que el ciclo térmico de vapor desarrolla, la eficiencia térmica del ciclo se determina como (Moran. y Shapiro, 2008):

$$\eta = \frac{W_{ciclo}}{W_{t1}/m_1 + W_{t2}/m_1 - W_{b1}/m_1 - W_{b2}/m_1} \quad (5)$$

Análisis de Exergía y Volumen de control

El balance de exergía, para sistemas cerrados se puede escribir de manera conveniente de la forma (Dincer y Rosen, 2007):

$$\frac{dE}{dt} = \sum_j \left(1 - \frac{T_0}{T_j} \right) Q_j - \left(\dot{W} - P_0 \frac{dV}{dt} \right) - E_D \quad (6)$$

La ecuación del balance de exergía para volumen de control, incluye el término debido a la exergía transferida por entrada y salida del elemento *n* de flujos másicos, es (Moran y Shapiro, 2008):

$$\frac{dE}{dt} = \sum_j \left(1 - \frac{T_0}{T_j} \right) Q_j - \left(W_{cv} - p_0 \frac{dV}{dt} \right) + \sum_n m_i e_i - \sum_n m_o e_o - E_D \quad (7)$$

Para estado estacionario, la ecuación (11.0) se reduce a (Dincer y Rosen, 2007):

$$0 = \sum_j \left(1 - \frac{T_0}{T_j} \right) Q_j - W + \sum_n m_i e_i - \sum_n m_o e_o - E_D \quad (8)$$

Despreciando, los efectos de la exergía transferida con la transferencia de calor en el volumen de control con los alrededores Q_j , el intercambio de energía debido al trabajo sobre el volumen de control (*W*), y factorizando el flujo másico que atraviesa el volumen de control, el balance de exergía para un volumen de control, se escribirse como (Moran, 2005):

$$0 = \sum_n m_i e_i - \sum_n m_o e_o - E_D \quad (9)$$

La destrucción de exergía para un volumen de control, se expresa como (Moran, 2005):

$$E_D = \sum_n m_i e_i - \sum_n m_o e_o \quad (10)$$

La ecuación (10), establece la destrucción de exergía para *m*, flujos másicos que entran y *n*, flujos que salen del volumen de control.

Integración de los módulos de análisis

Los resultados obtenidos en la presente investigación se desarrollan con el empleo de Microsoft Excel 2010, empleando el editor de Visual Basic Applications (Walkenbach, 2010; Amelot, 2013), como lenguaje de programación de diversas funciones, para determinar las propiedades termodinámicas de los fluidos de trabajo en el ciclo térmico de vapor, rutinas; para calcular la transferencia de calor en las superficies de intercambio de calor, y formularios de usuarios u objetos, para realizar el cálculo térmico del hogar y el análisis del ciclo térmico de vapor, así como para realizar el análisis exergético y termoeconómico de la planta. Se desarrollan Macros, para automatizar la tarea del análisis de los resultados y se emplea Excel, como base de datos para almacenar momentáneamente los cálculos iterativos, lo que convierte a esta aplicación en una herramienta muy poderosa para obtener y almacenar los resultados de la presente investigación. La caratula principal de la aplicación desarrollada para el presente análisis se muestra en la figura 2.0.

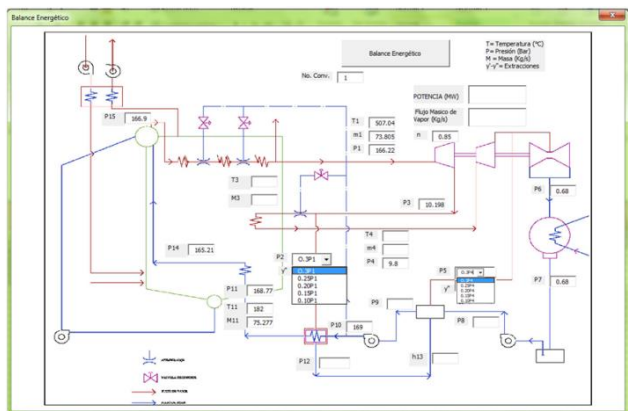


Figura 2 Formulario de usuario, calculo energético para el análisis del ciclo térmico de la central termoeléctrica
Fuente: Elaboración Propia

Análisis de resultados

En este apartado, se estudia el efecto que tiene la presión de recalentamiento sobre la eficiencia térmica y exergética del ciclo, así también sobre el trabajo útil. Para ello, se realizan simulaciones que consideran la variación de la presión de vapor de recalentamiento, respecto a la establecida en el manual de Operación (MO), se estable que el vapor a recalentamiento lo hace a las fracciones del 10%, 15%, 19%, 20%,25%, 30% y 40%, respecto a la presión de vapor principal (PI), para ocho regímenes de carga de la central termoeléctrica (25%,30%, 50%, 66.6% 75%, 80%, 98.4% y 100%). Con lo que se logra observar la influencia de la presión del vapor recalentado, sobre los resultados del modelo de simulación. La variación de la presión principal del domo y de la fracción de vapor recalentado se muestra en la figura 3.0 a diferentes regímenes de carga de la central térmica.

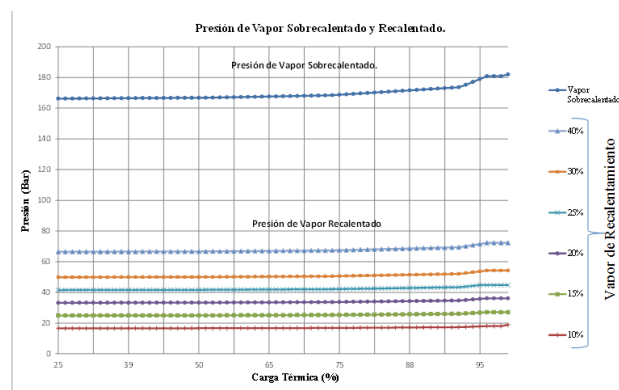


Figura 3 Presión de vapor principal y recalentamiento a diferentes regímenes de carga
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 4.0, se observa que la eficiencia térmica del ciclo está influenciada por la presión a la que se recalienta el vapor en el ciclo térmico. Donde eficiencia térmica máxima es de 35.72% y ocurre en el régimen de carga del 100%, para fracciones de presiones de recalentamiento del 10%, 15%, 19% y 20% respecto a la presión del vapor principal (PI), no obstante la mínima eficiencia térmica del ciclo de 31.86% se presenta al 25% de carga y con una fracción de presión de recalentamiento del 40%, respecto a la presión de vapor principal (PI).

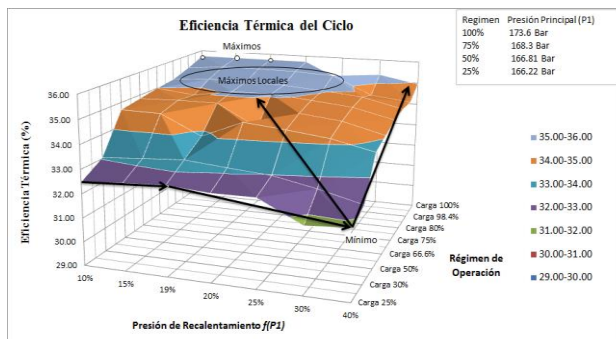


Figura 4 Eficiencia térmica del ciclo a Diferentes presiones de recalentamiento de vapor
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 4.0, se aprecia que existe una región de máximas eficiencias térmicas locales que van desde 35.29% hasta los máximo del 35.72%, para los regímenes de carga del 98.4% y 100% y fracciones de presión de recalentado del 10%, 15%, 19%, 20%, 25% y 30%. Así, se observa un ligero incremento en la eficiencia térmica al incrementar la presión de vapor recalentado desde el 10% hasta el 20% de la presión de vapor principal, punto en el que la eficiencia térmica empieza a disminuir hasta llegar a la presión de vapor recalentado de 40% de la presión del vapor principal.

Por lo anterior, se puede establecer que es óptimo realizar el recalentamiento a presiones menores al 20% con respecto a la presión del vapor principal y operar la central térmica a regímenes de carga del 98.4% y 100%, para garantizar los valores de eficiencia térmica máximos del ciclo.

Por otra parte, la figura 5.0, muestra que la eficiencia exergética del ciclo a diferentes presiones de vapor recalentado, se observa que la eficiencia exergética máxima global es del 28.34%, al 50% del régimen de carga y una presión de vapor recalentado del 19%, en contraste con la eficiencia exergética mínima de 25.61%, que se encontró al régimen de 20% de carga y una presión de vapor recalentado del 10%.

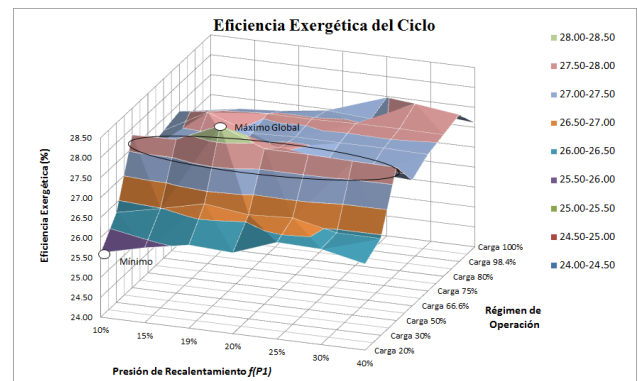


Figura 5 Eficiencia Exergética del ciclo a Diferentes presiones de recalentamiento de vapor
Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado, se realizó un análisis del trabajo útil en diferentes grados de carga, este se presenta en la figura 6.0; se observa que el trabajo útil máximo generado por el ciclo es de 282.87 MW, alcanzado en el régimen de carga del 100% y para cada una de las presiones de vapor recalentado del 10%, 15%, 19% y 20%, éste valor, es 2.37 MW superior al trabajo útil generado en el régimen de operación actual que emplea la presión de vapor recalentado establecida en el MO.

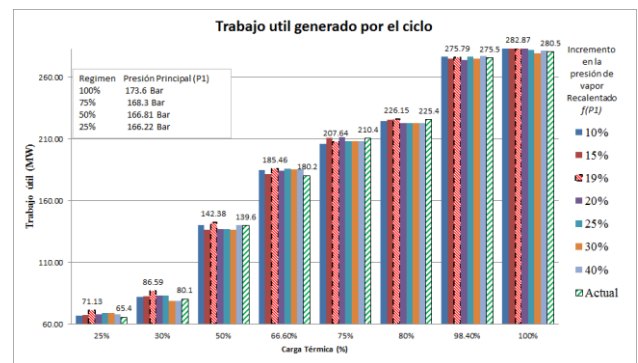


Figura 6 Trabajo útil generado por el ciclo a diferentes presiones de vapor recalentado y cargas térmicas
Fuente: Elaboración Propia

Conclusiones y recomendaciones

Con el análisis que se realizó de la presión de vapor recalentado, se concluye que la presión a la que se recalienta el vapor, afecta a la eficiencia térmica y exergética del ciclo, siendo los máximos encontrados de 35.7% y 28.3%, en los regímenes de carga del 100% y 50%, respectivamente, empleando una fracción de presión de recalentamiento del 19%, que es la fracción de recalentamiento de vapor que produjo los mejores resultados en las eficiencias, dichas eficiencia son ligeramente mayores a las calculadas bajo las condiciones actuales de operación.

En el caso de la eficiencia térmica solo se incrementa en 0.1% y en el caso de la eficiencia exergética esta disminuye en 0.7%.

Se determinó que la presión del vapor a recalentamiento que presentan mejores resultados, son aquellas presiones, que no rebasan el límite del 20% (10%,15%,19%) de la presión de vapor principal, y se considera óptima la presión de vapor recalentado equivalente al 19% de la presión de vapor principal, lo cual concuerda con otros estudios que han concluido que dicha presión es la óptima para realizar el recalentamiento (Dincer y Rosen, 2007), ya que con dicha fracción se alcanzan las eficiencias térmica y exergética máximas, así como el trabajo útil máximo generado por el ciclo de 282.87 MW.

Se concluye que el desarrollo de modelos de sistemas de generación de energía, como el presentado, contribuyen a la investigación y desarrollo que permitan el estudio y optimización de los parámetros de operación técnicos, de reconfiguración de los sistemas y que afectan el régimen de operación; análisis que se pueden realizarse previamente a una repotencialización o variación del ciclo, que permitan la toma de decisiones y la puesta a punto de la central térmica, con ayuda de software de programación y técnicas modernas de análisis energéticos y exergético, y más aún, con metodologías que permitan considerar los costos asociados a la producción de energía con técnicas como la termoeconomía, que permiten identificar las pérdidas económicas debido a las irreversibilidades de los sistemas, técnicas que será aplicada al caso de estudio presentado, pero que no sería posible sin la existencia primero, de un modelo que permita simular la central térmica Villa de Reyes, desarrollado durante la presente investigación.

Referencias

- Amelot, M., (2013). VBA Excel 2013, Programar con Excel: Macros y Lenguaje VBA. Barcelona: ENI Ediciones.
- Bejan, A. & Kraus, A. (2003). *Heat transfer Handbook*, U.S.A.: John Wiley y Sons, Inc.
- Boehm, R., 1997. *Developments in the Design of thermal Systems*. New York: Cambridge University Press.
- Borgnakke C. y Sonntag, R., 2013. *Fundamentals of Thermodynamics*. Danvers, Massachusetts.: Jonh Wiley y Sons, Inc.
- Cengel, Y. A. y Boles, M.A., (2015). *Termodinámica*. 8 ed. México: Mc Graw Hill.
- CFE (2014a). Informe anual 2014. México D.F.: CFE
- CFE. (2014b). Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico 2014 – 2028. México D.F.: Subdirección de Programación, Coordinación de Planificación, CFE.
- CFE. (1987). *Manual del Operación de la central termoeléctrica villa de reyes*. San Luís Potosí, México: Comisión Federal de Electricidad.
- CKTI-VTI. (1973). *Thermal calculation of steam generator Regulatory Method* (2 ed). Sankt Petersburg: CKTI-VTI.
- CKTI-VTI. (1998). *Thermal calculation of steam generator Regulatory Method* (3 ed.) Sankt Petersburg: CKTI-VTI.
- Dincer I. y Rosen M., 2007. *Exergy Energy, Environment and Sustainable Development*, USA: Elsevier Ltd. Ch 2.
- Durán M. (2004). *Thermoeconomic optimization of combined cycle gas turbine using genetic algorithms*, Tesis Doctoral, UPM, Madrid 2004.
- Ganapathy, V., 2003. *Industrial Boilers and Heat Recovery Steam Generators*. U.S.A: CRC Press.
- Habib MA, Said SAM, Al-Bagawi JJ. 1995. Thermodynamic performance analysis of the ghazlan power plant. *Energy*. 20. 1121-1130.
- Habib MA, Said SAM, Al-Zaharna I. 1999. Thermodynamic optimization of reheat regenerative thermal power plants. *Applied Energy* 63,17-34.
- Horlock JH, Young JB, Manfrida G. Exergy analysis of modern fossil-fuel power plants. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power* 2000;122: 1–7.
- I.E.A. (2016). Key Electric Trends, Excerpt from: Electricity information. USA: International Energy Agency.

Jarquín G., Polupan G., Carvajal I., Montañó D. (2015). Heat exchange and NO_x reduction in the 350 MW steam generator. En: Al-Kayiem H.H., Brebbia C.A. y Zubir S.S, Ed. 2015. Energy and Sustainability V. UK: Wit Press, pp. 327-340.

Jiménez, J. (2015). *Análisis Exergético y Termoeconómico de un sistema de generación de energía, estudio del caso del generador de vapor de 305 MW instalado en la central termoeléctrica Villa de Reyes*. Tesis Doctoral. México. Universidad Autónoma del Estado de México.

Kelly S, Tsatsaronis G, Morosuk T. Advanced exergetic analysis: approaches for splitting the exergy destruction into endogenous and exogenous parts. Energy 2009. 34(3):384-391.

Kitto, J., & Stultz, S. (2005). *Steam its generation and use* (41 Edition), USA: The Babcock y Wilcox Company.

Kotas TJ. The exergy method of thermal power analysis. London: Butterworths; 1985.

Moran, M. & Shapiro H. N. (2008). *Fundamentals of engineering thermodynamics*. (6th ed.). USA: John & Sons Inc.

Moran M. (2005). Engineering Thermodynamics. In: Kreith, F. & Goswami D. Y., (Ed.). *The CRC handbook of Mechanical Engineering*. USA: The CRC press. Ch. 2.

Mullinger P. & Jenkins B. (2008). *Industrial Process Furnaces, Principles and Design*, Ed. Elsevier.

Ramesh K. S. 2005. Compact heat exchangers. En Kreith F. y Goswami D.Y., 2005. Mechanical Engineering. USA: CRC Press.

Rajput R.K, 2010. Ingeniería Térmica. 3 ed. México: Cengage.

Sohn JL, Song TW, Kim JH, Kim TS, Ro ST. Exergy based performance analysis of the heavy duty gas turbine in part-load operating conditions. International Journal of Exergy 2002;2: 105–12.

Tsatsaronis G, Park M-H. On avoidable and unavoidable exergy destructions and investment costs in thermal systems. Energy Conversion & Management 2002. 43.1259- 70.

Walkenbach, J., 2010. Excel 2010, Power Programming with VBA. Indiana, USA: Wiley Publishing, Inc.

Implementación de un módulo de validación de acciones seguras para navegación de robots de servicio

Safe actions module implementation for service robots navigation

PACHECO-FARFAN, L.†*, RIOS-MARTINEZ, J, MORENO-SABIDO, M y SANDOVAL-CURMINA, V.

Universidad Autónoma de Yucatán, Anillo Periférico Norte, T.C. 13615, Chuburná Hidalgo Inn, Mérida, Yucatán, México. Tecnológico Nacional de México/I.T. Mérida, Av. Tecnológico km. 4.5 S/N, C.P. 97118, Mérida, Yucatán, México

ID 1^{er} Autor: L. Pacheco-Farfan/ ORC ID: 0000-0003-4842-6396 , Researcher ID Thomson: T-3492-2018, arXiv ID Author: LPacheco, CVU CONACYT ID: 484010

ID 1^{er} Coautor: J. Rios-Martinez/ ORC ID: 0000-0003-4208-0515, Researcher ID Thomson: H-1139-2018, arXiv ID Author: jorge.rios, CVU CONACYT ID: 280567

ID 2^{do} Coautor: M. Moreno-Sabido/ ORC ID: 0000-0003-4690-7583, Researcher ID Thomson: T-3397-2018, arXiv ID Author: xacdc12, CVU CONACYT ID: 406193

ID 3^{er} Coautor: V. Sandoval-Curmina/ ORC ID: 0000-0002-6511-7344, Researcher ID Thomson: T-3408-2018, arXiv ID Author: victor.sandoval, CVU CONACYT ID: 70654

Recibido 19 de Octubre, 2018; Aceptado 14 de Noviembre, 2018

Resumen

El diseño de sistemas de navegación autónomos para robots de servicio que trabajen en proximidad de humanos exige un adecuado balance entre tiempo de respuesta y garantía de seguridad para el robot y los humanos. En particular, se requiere un mecanismo para decidir qué estrategia de navegación es la mejor dependiendo de un criterio de seguridad. El presente artículo revisa enfoques de seguridad abordados en la literatura de robótica móvil y describe la implementación realizada del módulo PICS-DW, el cual asigna un valor de seguridad a las acciones de movimiento de un robot empleando un concepto llamado estados de colisión inevitable probabilísticos. Las acciones posibles de navegación se encuentran organizadas en una ventana dinámica y dependen de la configuración estructural del robot. El módulo se desarrolló en lenguaje C++ en el marco de trabajo del Middleware ROS (Robot Operating Systems) y la plataforma de simulación de robots MORSE. Los resultados muestran que el método implementado elige rutas de navegación que evitan zonas de riesgo alrededor de humanos simulados. Por la naturaleza modular del sistema y su licencia de código abierto, este prototipo puede ser usado por la comunidad para probar nuevas estrategias de navegación segura.

Navegación autónoma, robótica de servicios, robótica computacional

Abstract

The design of autonomous navigation systems for service robots which move near people requires an adequate balance between response time and safety for both humans and robots. Particularly, it is needed a mechanism to decide which strategy is the best according to a safety criterion. This article reviews different safety approaches appearing in the mobile robotics literature and describes the implementation of the software module PICS-DW which assigns a safety value to the possible navigation actions of a robot according to the concept of probabilistic inevitable collision states. The set of navigation actions are organized according to a Dynamic Window and are dependent on the structure of the robot. The module was developed using C++ language according to the framework of the Middleware ROS (Robot Operating System) and was tested on the robot simulation platform MORSE. The results show that the proposed method choose navigation paths which avoid risk zones around humans. Due to the modular nature of the system and its Open Source License the present prototype can be used by the community to test new safe navigation strategies.

Autonomous navigation, service robots, computational robotics

Citación: PACHECO-FARFAN, L., RIOS-MARTINEZ, J, MORENO-SABIDO, M y SANDOVAL-CURMINA, V.. Implementación de un módulo de validación de acciones seguras para navegación de robots de servicio. Revista de Ingeniería Innovativa 2018, 2-8: 11-21

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

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En los últimos años, el interés en la creación y desarrollo de robots de servicio ha ido en aumento por su aplicabilidad en diversos campos como las tareas domésticas, la restauración, logística o vigilancia situación por la cual prometen mejorar la calidad de vida de las personas. Al mismo tiempo, la seguridad es un aspecto que debe tomarse en cuenta en el diseño de las interacciones con los humanos.

En robótica, la seguridad puede definirse de acuerdo a diversos aspectos ya que depende del propio robot, del ambiente (Chung et al, 2009) y del contexto con el cual interactúa. En la navegación autónoma de un robot la seguridad consiste en evitar que el robot cause colisiones con los diferentes elementos que se encuentran presentes en su ambiente (ISO131482, 2014), tanto aquellos que se mantienen fijos durante todo el proceso (como las paredes y los muebles), como aquellos que se encuentran en movimiento (como los humanos u otros robots).

Una de las estrategias que ha sido utilizada en la navegación de robots para evitar colisiones es el Enfoque de las Ventanas Dinámicas (Fox et al, 1995) o DWA por sus siglas en inglés. Este enfoque ha demostrado que es capaz de seleccionar movimientos o controles libres de colisión, sin embargo, durante la selección del control a realizar el algoritmo considera a todos los objetos detectados como estáticos. Lo que se suele hacer para contrarrestar esta deficiencia es ajustar los distintos parámetros del algoritmo para considerar ventanas de tiempo en el cual el cambio de posición de los elementos en movimiento sea tan pequeño como para ser negados y considerados elementos fijos.

Este trabajo busca mejorar la seguridad de la navegación de un robot cuando se usa el algoritmo DWA agregando una función de evaluación del riesgo de colisión aplicando el concepto de estados de colisión inevitable (ICS, por sus siglas en inglés) (Petti y Fraichard, 2005), el cual considera las posibles colisiones del robot con los objetos en movimiento tomando en cuenta las trayectorias futuras de los mismos. Al incluir esta función el algoritmo puede seleccionar controles más seguros.

El resto del documento se organiza de la siguiente manera, en la sección 2 se revisará el estado del arte, en la sección 3 se describirá el algoritmo DWA con las modificaciones realizadas en este trabajo, la sección 4 describirá el proceso realizado para la implementación del algoritmo, en la sección 5 se presentarán los resultados obtenidos, y finalmente, en la sección 6 se presentan las conclusiones y trabajo futuro.

Antecedentes

La navegación en ambientes dinámicos requiere de la interacción de varios subprocesos tales como: encontrar una ruta desde la posición actual hasta la posición objetivo, seleccionar los movimientos a realizar o detectar los cambios en el ambiente. En la literatura se encuentran muchos trabajos que proponen enfoques para garantizar seguridad en la navegación de robots. Entendida como la ausencia de colisión, la seguridad debe equilibrarse con la eficiencia para seguir las trayectorias planeadas y alcanzar el objetivo por parte del robot. Como ejemplo de tales trabajos está el presentado por (Alami, Krishna y Simeon, 2007) donde se define un perfil de velocidad con base en la máxima velocidad que podría alcanzar un robot sin colisionar con los objetos de su entorno. (Aoude, Luders, Joseph, Roy, y How, 2013) combinan Procesos Gaussianos en las trayectorias de los objetos con algoritmos RRT (LaValle, 1998) para garantizar la ausencia de colisiones durante la navegación, mientras que (Bouraine, Fraichard y Salhi, 2012) aplican en la navegación de robots el concepto de seguridad en movimientos pasivos, es decir, si hay colisión el robot deberá estar en reposo. Un trabajo muy reciente que guarda bastante similitud con el que se plantea en este paper es el presentado por (Lorente, Owen, y Montano, 2018) en el cual se aplica un modelo llamado Dynamic Velocity Obstacles para describir el movimiento de los objetos, y con base en ello decidir cuál estrategia de las definidas en su método es la más segura.

A diferencia de los trabajos anteriores, esta propuesta se enfoca en evaluar la seguridad de los controles en etapas muy cercanas de la ejecución de la trayectoria seleccionada, porque el interés principal de la presente propuesta está en aquellos movimientos que le robot realiza muy cerca de los humanos.

Además, en el módulo desarrollado se utiliza un par de modelos para el movimiento de los humanos que dan sentido al espacio alrededor de ellos, por ejemplo, el modelo PS (Personal Space) da un mayor riesgo a la zona situada al frente del humano que a la situada en la posterior a diferencia de los otros métodos que tienden a considerar a los humanos como círculos con igual riesgo en cualquier parte.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, se decidió priorizar el tema de selección de controles seguros más que el de selección de trayectorias seguras a largo plazo. En ese sentido, se detectaron tres estrategias de seguridad que se enfocan en la selección de los controles: el Enfoque de Diagramas de Proximidad (NDA o simplemente ND por sus siglas en inglés) (Minguez y Montano, 2004), el Enfoque de Ventanas Dinámicas (DWA o DW por sus siglas en inglés) y el Enfoque de la Velocidad del Obstáculo (VOA por sus siglas en inglés) (Fiorini y Shiller, 1998).

Para esta propuesta se eligió el enfoque de Ventanas Dinámicas o DWA (Fox et al, 1995) el cual funciona creando un conjunto de velocidades alcanzables y admisibles a partir de la velocidad actual del robot. Una velocidad es considerada alcanzable si ésta puede ser alcanzada por el robot al aplicar una aceleración o desaceleración constante, durante un período de tiempo definido, a su velocidad actual y es considerada admisible si ésta le permite al robot detenerse antes de que ocurra una colisión con algún obstáculo. Este conjunto de velocidades es lo que se denomina ventana dinámica; posteriormente, se realiza para cada una de las velocidades alcanzables y admisibles una simulación para determinar cómo va cambiando el estado del robot al aplicar esa velocidad, y así evaluarla tomando en cuenta distintos parámetros, como la proximidad entre el robot y su destino, la proximidad entre el robot y los obstáculos, la propia velocidad que alcanzaría el robot después de aplicar la velocidad, y la proximidad entre el robot y el plan global (el plan global suele ser proporcionado por algún planeador global).

Una vez evaluadas todas las velocidades admisibles se elige como próximo control a ejecutar aquella velocidad que maximice los parámetros antes mencionados. Además, como se requería una forma de catalogar los controles con respecto a su seguridad, se incluyó el concepto de estados de colisión inevitable (ICS), es decir, estados desde los cuales, independientemente del control que se elija, el robot colisionará. Los ICS tienen una validez más teórica que práctica ya que calcularlos puede ser muy costoso computacionalmente. En (Bautin et al, 2010) se propone el concepto de ICS probabilístico que se define como la probabilidad de que un estado sea un ICS, para poder determinar este valor de probabilidad se requiere de un modelo probabilístico que le permita aproximar los movimientos futuros de los obstáculos dinámicos. El concepto de los PICS junto con el DWA son los dos conceptos principales implementados en este trabajo.

Incorporando los PICS al DWA

Al incorporar el concepto de los PICS al DWA se evalúa cada uno de los controles que conforman la ventana creada con el DWA y se obtiene así el riesgo de colisión que posee cada uno de ellos. En este punto ya es posible seleccionar el control que mejor siga el plan global asignado al robot con el menor riesgo posible.

El proceso que se sigue se muestra en el diagrama de la Figura 1, donde se identifican tres etapas: creación de la ventana dinámica, evaluación de la ventana dinámica y selección del mejor control; a continuación, se describe cada una de esas etapas.

Dependiendo de sus capacidades y restricciones físicas y dinámicas, cada robot posee un espacio de velocidades que puede alcanzar, en (Fox et al, 1995) cada una de estas velocidades están representadas por curvas que se derivan de un par (v, ω) que caracterizan las trayectorias que seguiría el robot al moverse con dicha velocidad en un determinado lapso de tiempo (aquí v es el componente de traslación de la velocidad o velocidad traslacional y ω es el componente rotacional de la velocidad o velocidad rotacional).

Esto deriva en un espacio de búsqueda de velocidades bidimensional que por lo general es un conjunto de gran tamaño, que puede llegar a ser infinito; esto hace que la tarea de determinar cuál es la mejor velocidad para ejecutar sea bastante tardada. Para evitar eso, en la primera etapa de creación de la ventana dinámica, se reduce el espacio de búsqueda utilizando únicamente aquellas velocidades que son alcanzables por el robot a partir de su velocidad actual, bajo las restricciones dinámicas. Cabe aclarar que tales restricciones varían grandemente si se trata de un robot diferencial, un robot con patas o un robot humanoide. En el presente trabajo se modeló al robot como un robot diferencial.

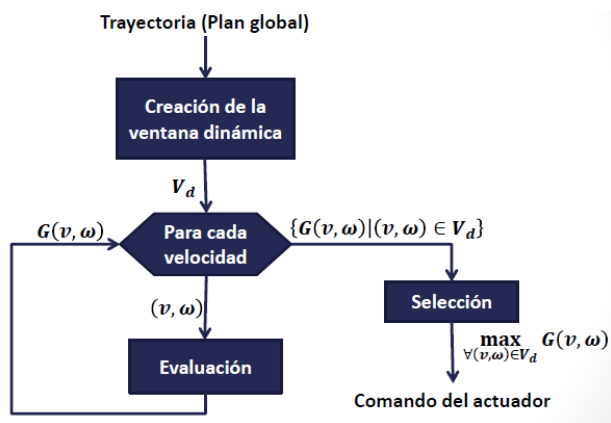


Figura 1 Diagrama de ejecución del algoritmo DWA
Fuente: Elaboración Propia

El conjunto de velocidades que pueden ser alcanzadas son aquellas que resultan de aplicarles las aceleraciones y desaceleraciones \dot{v} y $\dot{\omega}$ a los componentes rotacional y traslacional de la velocidad actual (v_a, ω_a) como se muestra en la siguiente ecuación:

$$V_d = \left\{ (v, \omega) \mid \begin{array}{l} v \in [v_a - \dot{v} \cdot t, v_a + \dot{v} \cdot t], \\ \omega \in [\omega_a - \dot{\omega} \cdot t, \omega_a + \dot{\omega} \cdot t] \end{array} \right\} \quad (1)$$

El conjunto resultante V_d se llamará de ahora en adelante la “Ventana Dinámica” de donde se tomarán los controles posibles de movimiento para el robot.

El propósito de la etapa de evaluación es asignar una puntuación a cada una de las velocidades que permita posteriormente seleccionar la mejor opción. Para asignar esta calificación en (Fox et al, 1995) utilizan una función objetivo $G(v, \omega)$ que se encuentra definida de la siguiente manera:

$$G(v, \omega) = \sigma(\alpha \cdot heading(v, \omega) + \beta \cdot dist(v, \omega) + \gamma \cdot velocity(v, \omega)) \quad (2)$$

Donde $heading(v, \omega)$, $dist(v, \omega)$ y $velocity(v, \omega)$ son a su vez funciones que evalúan cada velocidad considerando únicamente un criterio; α , β y γ son constantes que ponderan el peso que se le otorga a cada criterio, y que por lo tanto ajustan las prioridades con las que se tomarán las decisiones en el proceso de la evasión de obstáculos. Por último, σ es una constante utilizada para normalizar los resultados de las evaluaciones. Los valores de tales constantes se tomaron de acuerdo a los estándares que ROS define en el modelo diferencial para su paquete de navegación.

El criterio usado para determinar cuál es la mejor opción es elegir la velocidad que maximiza el valor de la función objetivo $G(v, \omega)$.

Estados de Colisión Inevitable Probabilísticos (PICS)

Como se mencionó en la sección 2, el concepto de los PICS usa un modelo de ocupación de los objetos para estimar qué celdas estarían ocupadas en un futuro cercano.

En (Bautin et al, 2010) se definen procesos estocásticos independientes para cada uno de los parámetros de configuración de cada uno de los objetos \mathcal{B}_i en el conjunto de objetos \mathcal{B} , es decir, se usan variables aleatorias dependientes del tiempo para las coordenadas del punto de referencia de cada objeto \mathcal{B}_i y para su respectiva orientación. Así, a cada una de las variables aleatorias que corresponden a las coordenadas se les asocia una función de densidad la cual se emplea para obtener la probabilidad de que un punto (x_w, y_w) en el espacio de trabajo \mathcal{W} se encuentre ocupado por \mathcal{B}_i en el instante de tiempo t .

El proceso usado para encontrar la probabilidad de colisión con un objeto b_i , en un instante de tiempo t_k al realizar un control (v, ω) se encuentra ilustrado en la Figura 2. Para calcular la probabilidad de colisión del objeto b_i con el robot A se estima la posible posición futura en ambos para el tiempo t_k . En particular se calcula la probabilidad de que, al elegir (v, ω) de la ventana dinámica, el robot llegue a un estado de colisión inevitable.

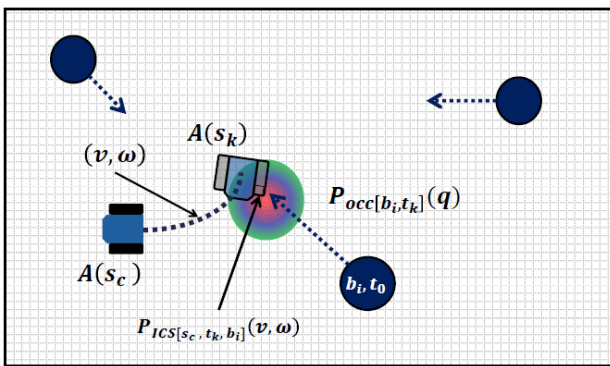


Figura 2 Cálculo de la probabilidad de ICS

Fuente: *Elaboración Propia*

Al utilizar un modelo probabilístico no es posible determinar si ocurrirá una colisión en el futuro de forma infalible. Debido a esto se asigna a cada estado una medida de probabilidad que indique que tan probable es que se trate de un ICS. Un estado s tendrá más probabilidad de ser ICS si todas las trayectorias de control en el espacio de control \tilde{U} tienen una probabilidad de colisión muy alta (≈ 1) cuando parten de ese estado.

En este trabajo se modificó el algoritmo Forward PICS-Check (Bautin et al, 2010) para determinar la probabilidad de que un estado sea un ICS. El enfoque usado consiste en evaluar cada una de las velocidades en la ventana dinámica con los PICS para descartar a aquellas cuya trayectoria generada atraviesan celdas o estados con una probabilidad PICS mayor a un umbral definido; dado que las trayectorias generadas por cada velocidad son representadas por una secuencia de celdas o estados, se evalúa cada una de estas usando los PICS. Se modificó el algoritmo original de tal manera que en vez de evaluar un subconjunto del conjunto de trayectorias de control, se evalúen las velocidades de la ventana dinámica V_d del DWA, de tal forma que los conjuntos de probabilidades se realicen para un sólo control durante los instantes de tiempo que éste dura. Además, se modificó la función objetivo del DWA como se muestra en la ecuación 3 de manera que incorpore dicha probabilidad como una función de costo para las velocidades candidatas (v, ω) ; de esta manera se espera que el algoritmo seleccione el control que se aproxime mejor a la trayectoria establecida o al objetivo de navegación sin comprometer la seguridad del robot y de los objetos \mathcal{B}_i presentes en el espacio de trabajo.

$$G(v, \omega) = \sigma \left(\alpha \cdot \text{heading}(v, \omega) + \beta \cdot \text{dist}(v, \omega) + \gamma \cdot \text{velocity}(v, \omega) + \delta \cdot \left(1 - P_{ICS[v, \omega]}(s) \right) \right) \quad (3)$$

El valor de la variable δ en la ecuación 3 permite ajustar la prioridad que le dará el DWA a la probabilidad PICS.

Implementación

La implementación se realizó con la integración de diferentes bibliotecas y paquetes computacionales disponibles para trabajar en robótica, como son el paquete de navegación de ROS, el ambiente de simulación MORSE y la biblioteca de planeación de movimientos OMPL para aprovechar su implementación del algoritmo RRT* (Karaman y Frazzoli, 2011). Se usó un modelo de ocupación para el robot que toma como base el modelo de transición de los robots con ruedas diferenciales.

Se realizó una extensión al módulo DWA que ya tiene ROS modificando tanto la clase "mobile_robot_kinematic_model" como la clase "probabilistic_occupation_model" y añadiendo una clase "pics". Las dos primeras son abstracciones que modelan de manera general los modelos de predicción del futuro del robot y de la ocupación de las celdas por los obstáculos dinámicos respectivamente; estas funcionan como plantillas para trabajar con distintos modelos de ocupación y de robots.

Los modelos de predicción de la ocupación futura de los obstáculos indican la probabilidad de que una celda esté ocupada por el obstáculo b_i en el instante de tiempo t . Para utilizar los PICS se implementaron 2 modelos (Rios-Martinez, 2013) que coinciden con el "Espacio personal (PS)" y con el "Espacio de Procesamiento de Información (IPS)" de los humanos. Tanto la implementación del modelo PS, como el del IPS, constan de dos pasos principales:

- Predecir la posición del centro de los obstáculos (o humanos) en el instante de tiempo t .

- Construir el área de ocupación a partir de la posición del centro del obstáculo usando el modelo especificado.

Para realizar el primer paso en ambos modelos, se asume que los humanos no cambiarán de velocidad ni de dirección durante los siguientes t segundos.

La Figura 3 muestra el área de ocupación obtenida para cada modelo. La flecha azul representa la posición y la orientación del humano para el cuál se realizó la predicción. Las probabilidades más altas se muestran en color rojo y que corresponden a probabilidades arriba de 0.75. El color amarillo corresponde a probabilidades entre 0.5 y 0.75, el verde a probabilidades entre 0.25 y 0.5, y los azules a probabilidades inferiores a 0.25.

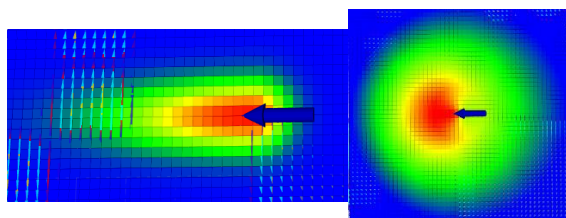


Figura 3 Áreas de ocupación. Implementación del modelo PS a la izquierda y el modelo IPS a la derecha
Fuente: *Elaboración Propia*

El espacio personal representa un espacio alrededor de un humano en el cual se siente incomodidad cuando otra persona se acerca, generalmente es más amplio adelante que a los lados. El modelo IPS se basa en la formulación del efecto Doppler el cual establece que la percepción en la frecuencia de un sonido varía con el movimiento de la fuente y el observador. Ambos modelos están pensados para ser utilizados en conjunto con un sistema de seguimiento, el cual será el encargado de proporcionarle al modelo la posición actual de la persona con respecto al marco de referencia de \mathcal{W} , así como su velocidad traslacional y rotacional que es la información que el modelo requiere para poder estimar la posición y orientación que tendrá esa persona dentro de t segundos y, a partir de allí, encontrar el valor de probabilidad, según el modelo usado, para la celda que se requiera evaluar, el valor obtenido será utilizado como la probabilidad de ocupación de dicha celda.

Las pruebas realizadas en este trabajo se hicieron por medio del simulador MORSE (siglas en inglés de Modular OpenRobots Simulation Engine) el cual es un simulador genérico para propósitos académicos desarrollado inicialmente en el laboratorio francés “LAAS-CNRS”. Se utilizó el ambiente de simulación del laboratorio “LAAS-CNRS” que es proporcionado en el paquete de instalación de MORSE, el cual incluye un modelo de robot PR2 y se le agregaron dos modelos de humanos como se aprecia en la Figura 4. El robot PR2 incorpora sensores láser y de odometría además posee actuadores para el control de sus partes móviles y de sus ruedas. Tales sensores y actuadores simulados proporcionan información al módulo de ROS conocido como Navigation Stack el cual se encarga de realizar la localización en el mapa, determinar el plan global para llevar al robot a su posición objetivo y por último ejecutar los controles seleccionados. El módulo desarrollado en este trabajo se comunica con el Navigation Stack. En esta simulación se ha optado por controlar a los humanos manualmente con el teclado a los cuales se le ha asignado un sensor que permite saber su posición.

El modelo del PR2 proporcionado en MORSE ya está configurado para su uso con ROS. Esto no ocurre con los humanos del simulador, en la aplicación, los datos publicados por el sensor asociado a cada uno de los humanos, es considerado como parte del sistema de seguimiento. Bajo este supuesto se creó un componente en ROS que toma las lecturas de los sensores de los humanos en MORSE, convierte esta información a los tipos de datos definidos en ROS y las concentra en un solo arreglo para luego proporcionárselo al módulo que implementa los algoritmos de PICS.



Figura 4 Modelo 3D del laboratorio. Se observa el escenario con un robot PR2, dos humanos y diferentes muebles

Fuente: *Elaboración Propia*

Resultados Obtenidos

Las pruebas realizadas en este trabajo se enfocan en mostrar el efecto que se tiene en la toma de decisiones del planeador local cuando se incluye la modificación hecha de PICS.

Se utilizó la implementación del PICS-DWA, los modelos de ocupación para los obstáculos descritos en la sección anterior, la implementación del DWA de ROS, el planeador global por defecto de ROS que denominaremos NavFn, un planeador global basado en el algoritmo RRT*, y los demás componentes de ROS necesarios en el proceso de navegación. Por otro lado, para los PICS en el DWA se incorpora un parámetro que se denomina P_{sc} , el cual es un valor de umbral que le permite al algoritmo determinar si un control es seguro o no, dependiendo de la calificación que obtuvo en la etapa de evaluación. Así todos los controles cuya calificación se encuentran arriba de P_{sc} , son considerados inseguros y por lo tanto son excluidos para la etapa de selección; así, al variar el valor de este parámetro cambia el nivel de seguridad en los controles seleccionados por el enfoque. Durante las pruebas se mantuvieron a los humanos fijos, pero se forzó a que los modelos de ocupación futura asumieran que el humano seleccionado se encontraba moviéndose en línea recta con una velocidad constante de 1 m/s. Esto se realizó con la finalidad de reproducir el efecto del PICS-DW en la navegación del robot ya que al tener el humano fijo en esa posición se crea siempre una zona de riesgo justo enfrente de él. Con los humanos en movimiento es difícil saber si el éxito al evitar una colisión es debido a la inclusión de los PICS o al efecto del modelo global de navegación.

En la Figura 5 se muestra el comportamiento obtenido al usar los componentes propios de ROS, es decir a su planeador global RRT* y al planeador local basado en el DWA.



Figura 5 Algoritmo DWA en conjunto con RRT*.
Fuente: Elaboración Propia

En esa imagen (y en todas las imágenes siguientes) las flechas rojas indican la posición y la orientación que se desea que alcance el robot (representa el estado objetivo), la flecha azul representa la posición y orientación del humano sobre el cual se centran las simulaciones, la línea naranja representa la trayectoria o plan proporcionado por el planeador global, la secuencia de flechas negras representa las distintas posiciones que ha realizado el robot debido a los controles seleccionados por el planeador local. En algunas imágenes aparece una tercera flecha de color amarillo que representa la posición y orientación del segundo humano presente en la simulación. La ejecución en la figura 5 muestra como en ausencia de algún conocimiento de la trayectoria futura del humano la trayectoria elegida se acerca a la posición del humano marcada en azul.

Las figuras siguientes fueron preparadas para resaltar el espacio ocupado por los modelos PS y el IPS; en tiempo de ejecución sólo se calculan los valores en los puntos de las trayectorias para evitar procesamiento innecesario. En la Figura 6 se puede observar que el robot pasa muy cerca de la posición real del humano, situación que lo pone en riesgo, incluso si se mantiene fijo en su posición. En tal configuración se utiliza el PICS-DW, con el modelo de ocupación PS y con un valor P_{sc} de 0.8. Se puede observar que con el planeador RRT* el robot se tuvo que desviar bastante del plan global (en naranja) y eso causó que navegara cerca de un área marcada con probabilidades altas de colisión lo que claramente representa una situación de riesgo.

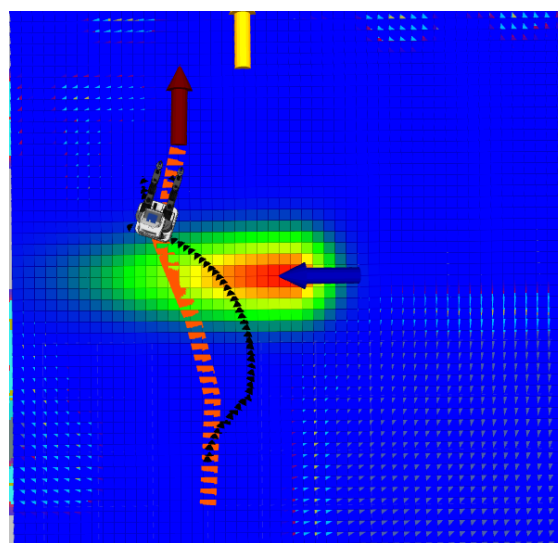


Figura 6 Simulación con el algoritmo PICS-DW, el modelo PS y el planeador RRT* con un valor de P_{sc} de 0.8
Fuente: Elaboración Propia

Se analizará ahora lo que ocurre cuando se utiliza el PICS-DW con el modelo IPS y el planeador RRT*. En la Figura 7 se muestran los resultados que se obtienen en simulación cuando se utiliza esta combinación con $P_{sc} = 0.8$. Se puede apreciar que el robot se queda rotando sobre su eje cerca del centro del área de ocupación mostrada donde las probabilidades son más altas. El motivo por el cual el robot termina entrando en la zona roja es porque el último control seleccionado para su ejecución fue evaluado como seguro para ese ciclo de ejecución y no es hasta el momento de la evaluación para la selección del control del siguiente ciclo de ejecución cuando se refleja el riesgo que impone el humano. Al utilizar el modelo IPS con $P_{sc}=0.4$ se obtiene el comportamiento que se muestra en la Figura 8; en este caso se observa un cambio en el comportamiento ya que el robot se detiene antes de entrar en la zona roja mostrada. Esto se debe a que el control que causó que el robot se adentrara en esta zona ahora es descartado porque con el nuevo valor de P_{sc} el control es considerado inseguro. En este punto, los únicos controles seguros que el algoritmo puede encontrar son aquellos que implican rotar sobre su eje.

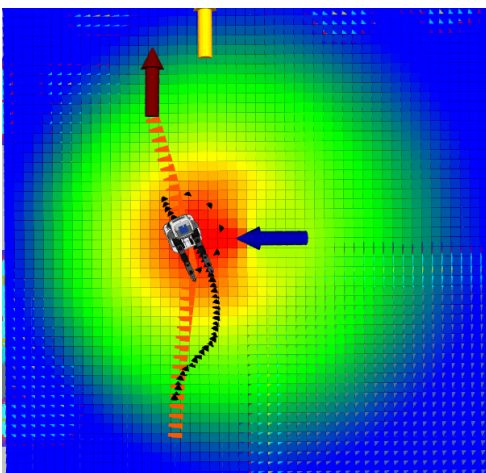


Figura 7 Simulación con el algoritmo PICS-DW, el modelo IPS y el planeador RRT* con un valor de P_{sc} de 0.8

Fuente: Elaboración Propia

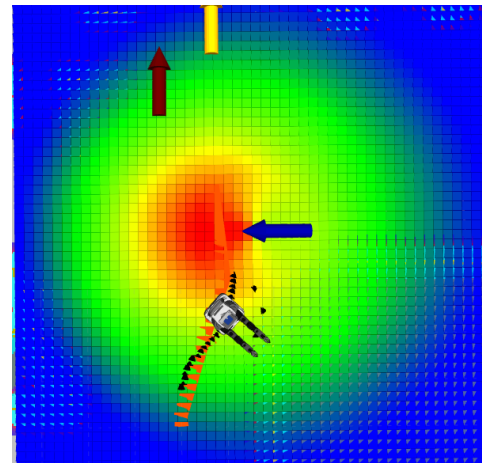


Figura 8 Simulación con el algoritmo PICS-DW, el modelo IPS y el planeador RRT* con un valor de P_{sc} de 0.4

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 1 se muestra un resumen de las pruebas realizadas y de los resultados obtenidos. La columna etiquetada como “Ruta Seguida” es una medida cualitativa de qué tan buena es la ruta real seguida por el robot (la que se representan por medio de una secuencia de flechas negras en las imágenes) donde la calificación de “Buena” indica que por lo general los movimientos realizados no se alejan mucho del plan global y tampoco cruzan por zonas de alto riesgo; la calificación de “Regular” indica que ocasionalmente pueden existir movimientos que se desvían un poco del plan global o que ocasionalmente atraviesan o invaden ligeramente zonas de alto riesgo; por último, la calificación de “Mala” indica que por lo general los movimientos se desvían demasiado del plan global o atraviesan zonas de alto riesgo. De manera similar, la columna etiquetada como “Seguridad” tiene una calificación de “Alta” cuando por lo general los movimientos realizados no atraviesan por zonas de alto riesgo; obtiene calificación “Media” cuando la mayoría de las veces los movimientos realizados logran evadir zonas de alto riesgo y obtiene calificación “Baja” cuando la mayoría de los movimientos no logra evitar las zonas de alto riesgo.

Planeador Global	Planeador Local	Modelo de Ocupación	Valor P_{sc}	Ruta Seguida	Seguridad
NavFn	DWA	N.A.	N.A.	Buena	Baja
RRT*	PICS-DWA	N.A.	N.A.	Buena	Baja
NavFn/RRT*	PICS-DWA	PS	0.8	Regular	Media
NavFn/RRT*	PICS-DWA	PS	0.4	Regular	Media
NavFn/RRT*	PICS-DWA	IPS	0.8	Regular	Media
NavFn/RRT*	PICS-DWA	IPS	0.4	Regular	Alta

Tabla 1 Resumen de las distintas pruebas realizadas para el módulo de acciones seguras

Fuente: *Elaboración Propia*

Al analizar y comparar las simulaciones realizadas se observa que al utilizar el enfoque PICS-DW propuesto en este trabajo, existe un cambio en la manera en que se selecciona el control a ejecutar por el robot, de tal manera que el algoritmo rechaza aquellos controles que son considerados peligrosos y entre los controles seguros le da preferencia a aquellos que tienen un valor de probabilidad PICS bajo.

Las simulaciones demuestran también cómo al cambiar el modelo de ocupación futuro de los obstáculos se da un cambio en el comportamiento del robot al navegar, lo que confirma que el nivel de seguridad proporcionado por este enfoque depende del modelo de ocupación futuro. En el caso de los modelos presentados en este trabajo, se obtuvieron mejores resultados con el modelo basado en el IPS porque el robot evita cruzar delante de los humanos. Si durante la navegación el robot se acerca a un humano, lo suficiente para que sus sensores lo detecten, el enfoque rechazará los controles que intenten cruzar delante del humano (debido al modelo) y a los controles que intenten cruzar por encima del humano (debido a que los sensores detectan su presencia) por lo que sus principales opciones serán detenerse, rotar sobre su eje o cruzar por detrás del humano.

Por otro lado, a pesar de que el modelo basado en el PS es una mejor representación de la ocupación de los humanos, este modelo únicamente rechazará un control cuando, en un mismo instante de tiempo, tanto el humano como el robot se encuentren en posiciones muy cercanas, esto le permite al robot más opciones para navegar.

También se observó que durante las simulaciones que el enfoque propuesto funciona para cualquier planeador global, ya que, al final, la naturaleza de las rutas proporcionadas por el planeador global no influye en el desempeño del PICS-DWA. Se puede afirmar que el enfoque propuesto mejora el proceso de selección de los controles del DWA original al considerar los posibles movimientos de los humanos.

Conclusiones y Trabajo Futuro

En este trabajo se realizó un estudio de enfoques de seguridad que pueden aplicarse a sistemas de navegación de robots, siendo el concepto de los Estados de Colisión Inevitable Probabilísticos el que se seleccionó para trabajar. Se propuso el enfoque de navegación reactiva PICS-DW el cual, incorpora el concepto de los Estados de Colisión Inevitable Probabilísticos (PICS) como una medida del riesgo de colisión al enfoque de las ventanas dinámicas (DWA). El enfoque demostró durante las pruebas, que es capaz de identificar, el nivel de riesgo que representa ejecutar cada uno de los controles considerados en la ventana dinámica y utilizar esta información para descartar aquellos que son peligrosos y priorizar aquellos que son seguros.

Bajo este enfoque, el cálculo de las probabilidades PICS se realiza con base en las posiciones actuales de los humanos y de los controles incorporados en la ventana dinámica; gracias a esto es posible realizar todo el proceso de forma on-line. A diferencia de los trabajos relacionados, no fue necesario calcular previamente las probabilidades PICS para todos los posibles estados que pudiera tomar el robot. El nivel de seguridad que puede ser alcanzado con este enfoque, depende en gran medida del modelo de ocupación empleado para los obstáculos; si el modelo es lo suficientemente robusto y preciso, el enfoque garantiza que no existirá una colisión al ejecutar el control elegido en la siguiente iteración. El sistema final queda disponible para que la comunidad pueda probar nuevas estrategias de navegación segura incorporando planeadores y modelos de robot diferentes. El enfoque aún requiere ser probado en escenarios más realistas, o en aplicaciones de la vida real, para confirmar su aplicabilidad ya que, a pesar de que se toma en cuenta un modelo matemático de movimiento de los humanos, tal modelo puede resultar muy restringido.

También resulta necesario el diseño e implementación de pruebas cuantitativas que permitan evaluar de mejor manera el rendimiento del enfoque. Es posible identificar algunas áreas de oportunidad específicas para continuar fortalecer esta propuesta, las cuales se listan a continuación:

- Extender la manera en que se representa la ventana dinámica ya que la actual no es válida para humanoides o hexápodos.
- Incorporar la representación del ambiente de 2D a 3D.
- Búsqueda y desarrollo de un mejor modelo de ocupación para los obstáculos que considere cambios de trayectoria e interacciones con otros humanos, objetos en el ambiente o el propio robot.
- Incorporar la capacidad de validar rutas a largo plazo de manera similar al presentado en (Axelrod, Kaelbling y Lozano-Pérez, 2018).
- Implementar un planeador que sea capaz de modificar una secuencia de controles, si es necesario, dependiendo de los cambios presentados en el ambiente.
- Comparar el presente enfoque con el presentado por (Lorente, Owen, y Montano, L., 2018).

Actualmente, estudiantes del Instituto Tecnológico de Mérida están realizando una extensión a esta propuesta para que pueda ejecutarse en un simulador de robots más completo y con soporte a más lenguajes de programación llamado VREP (por sus siglas en inglés, Virtual Experimentation Platform), propiedad de la empresa Coppelia Robotics.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología la contribución para el desarrollo de esta investigación mediante la beca 337663/273912 otorgada al primer autor.

Referencias

- Alami, R., Krishna, K.M., y Simeon, T. (2007) Provably Safe Motions Strategies for Mobile Robots in Dynamic Domains, págs. 85-106. Springer Berlin Heidelberg
- Aoude, G.S., Luders, B.D., Joseph, J.M., Roy, N., y How, J.P. (2013) Probabilistically Safe Motion Planning to Avoid Dynamic Obstacles with Uncertain Motion Patterns. *Auton. Robots* 35(1): 51-76
- Axelrod, B., Kaelbling, L.P., Lozano-Pérez, T (2018). Provably safe robot navigation with obstacle uncertainty. *The International Journal of Robotics Research*, DOI: 10.1177/0278364918778338
- Bautin, A., Martinez-Gomez, L., y Fraichard, T. (2010) Inevitable Collision States: A probabilistic perspective. En *International Conference on Robotics and Automation*, págs. 4022-4027
- Bouraine, S., Fraichard, T., y Salhi, H. (2012) Provably safe navigation for mobile robots with limited field-of-views in unknown dynamic environments. En *International Conference on Robotics and Automation*, págs. 174-179
- Chung, W., Kim, S., Choi, M., Choi, J., Kim, H., b. Moon, C., y Song, J.B. (2009) Safe Navigation of a Mobile Robot Considering Visibility of Environment. En *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 56(10):3941-3950
- Fiorini, P. y Shiller, Z. (1998) Motion Planning in Dynamic Environments Using Velocity Obstacles. *The International Journal of Robotics Research* 17(7):760-772. DOI:10.1177/027836499801700706
- Fox, D., Burgard, W., y Thrun, S. (1995) The Dynamic Window Approach to Collision Avoidance. Informe técnico
- ISO13482. (2014) Robots and Robotic devices-Safety requirements for personal care robots, International Organization for Standardization
- Karaman, S. y Frazzoli, (2011) E. Sampling-based algorithms for optimal motion planning. *The international journal of robotics research* 30(7):846-894

LaValle, S.M. (1998) Rapidly-exploring random trees: A new tool for path planning. Recuperado de:

<http://msl.cs.illinois.edu/~lavalle/papers/Lav98c.pdf>

Lorente, M., Owen, E. y Montano, L. (2018) Model-based robocentric planning and navigation for dynamic environments. *The International Journal of Robotics Research*, Vol. 37(8) 867–889

Minguez, J. y Montano, L. (2004) Nearness diagram navigation: collision avoidance in troublesome scenarios. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 20(1):45-59

Petti, S. y Fraichard, T. (2005) Safe motion planning in dynamic environments. *International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2210-2215

Rios-Martinez, J. (2013) *Socially-Aware Robot Navigation: combining Risk Assessment and Social Conventions*. Tesis, Université de Grenoble

La Calibración para el aseguramiento de la calidad de datos PM₁₀ y PM_{2.5} en el monitoreo de la calidad del aire

Calibration for the assurance of data quality PM₁₀ and PM_{2.5} in the monitoring of air quality

GARCÍA-ALVA, Sigifredo†*, MUÑOZ-ZAMORA, Guillermina, SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, Zindi y ARGUELLES-ORTIZ Hugo Alberto

TecNM / Instituto Tecnológico de Nogales División de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPI), Ave. Instituto Tecnológico # 911 Col. Granja CP. 84065, Nogales Sonora, México

ID 1^{er} Autor: *Sigifredo, García-Alva/ ORC ID: 0000-0001-7559-1421, Researcher ID Thomson: F-6909-2018, arXiv ID Author: Sigifredo#1*

ID 1^{er} Coautor: *Guillermina, Muñoz-Zamora/ ORC ID: 0000-0001-7480-8174, Researcher ID Thomson: F-4285-2018, arXiv ID Author: guillermina##*

ID 2^{do} Coautor: *Zindi, Sánchez-Hernández/ ORC ID: 0000-0002-0211-2378, Researcher ID Thomson: F-4328-2018, arXiv ID Author: zindi.sanchez*

ID 3^{er} Coautor: *Hugo Alberto, Arguelles-Ortiz/ ORC ID: 0000-0002-1824-1740, Researcher ID Thomson: G-7813-2018, arXiv ID Author: haao*

Recibido 12 de Octubre, 2018; Aceptado 19 de Noviembre, 2018

Resumen

Ante la importancia que tiene el problema de la contaminación atmosférica a nivel mundial, se requiere que los sistemas de monitoreo generen datos de calidad. Este trabajo está enfocado en verificar y asegurar la calidad de los datos crudos obtenidos por la caseta de calidad del aire instalada en el TecNM/Instituto Tecnológico de Nogales (ITN), con el fin de definir una serie de pasos así como el equipo requerido para la calibración basada en el flujo de aire y la detección de fugas de los muestreadores para contaminantes particulados de PM₁₀ y PM_{2.5}; las calibraciones que cumplieron los requisitos aseguran que los datos obtenidos desde la calibración anterior fueron válidos y cumplen con las normas mexicanas vigentes para datos crudos. Se obtuvieron los siguientes resultados, se monitoreó del 26 de junio del 2016 al 29 de junio del 2017 realizándose 13 calibraciones, el de PM₁₀ pasó todas las calibraciones realizadas, el de PM_{2.5} solo pasó 5 calibraciones. La robustez de los datos válidos servirá para continuar con el proceso de limpieza y validación, así como la aplicación de algoritmos de minería de datos.

Given the importance of the problem of air pollution worldwide, it is required that monitoring systems generate quality data. This paper is focused on verifying and ensuring the quality of the raw data obtained by the air quality booth installed in the TecNM/Instituto Tecnológico de Nogales (ITN), at order to define a series of steps as well as the equipment required for calibration based on airflow and leak detection of samplers for PM₁₀ and PM_{2.5} particulate pollutants; the calibrations that fulfilled the requirements ensure that the data obtained from the previous calibration were valid and comply with current Mexican standards for raw data. The following results were obtained, monitored from June 26, 2016 to June 29, 2017 with 13 calibrations performed, PM₁₀ passed all calibrations performed, PM_{2.5} only passed 5 calibrations. The robustness of the valid data will serve to continue with the cleaning and validation process, as well as the application of data mining algorithms.

Raw data, Calibration, Contaminants, Valid data

Datos crudos, Calibración, Contaminantes, Datos válidos
Abstract

Citación GARCÍA-ALVA, Sigifredo, MUÑOZ-ZAMORA, Guillermina, SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, Zindi y ARGUELLES-ORTIZ Hugo Alberto. La Calibración para el aseguramiento de la calidad de datos PM₁₀ y PM_{2.5} en el monitoreo de la calidad del aire. Revista de Ingeniería Innovativa 2018. 2-8:22-26

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: sga0097@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Los contaminantes criterio que se monitorean son: el ozono (O₃), el monóxido de carbono (CO), el dióxido de azufre (SO₂), el dióxido de nitrógeno (NO₂), el plomo (Pb) (INECC, 2010), las partículas suspendidas totales (PST), las partículas suspendidas menores a 10 (PM₁₀) y a 2.5 (PM_{2.5}) micrómetros. Debido a la producción de diésel y gasolinas sin plomo (PB), se produjo una disminución en estas emisiones, por lo que este contaminante se dejó de monitorear, así como también en el caso de PST, por implicar el uso de equipos manuales y no ser tan específicos en el tipo de partícula monitoreada, poco a poco se ha dejado de realizar. Para el resto de los contaminantes su monitoreo se encuentra vigente (INECC, 2013; US EPA, 2008).

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS) el 92% de la población a nivel mundial vive en lugares que exceden los límites de calidad del aire recomendados (OMS, 2016). Ante el fuerte impacto de la contaminación del aire en la población y en los recursos naturales, aunado a la topografía de ambos Nogales (Sonora-Arizona), debido a que son ciudades fronterizas entre México y Estados Unidos de Norte América, Nogales Sonora es la ciudad más grande de la frontera de Sonora con una población en el 2018 de más de 256,000 habitantes y debido a que colinda con Nogales Arizona con una población de 20,483 habitantes y donde predominan las cañadas y los arroyos la calidad del aire en ambos lados de la frontera internacional ha presentado retos continuos como resultado de las características naturales de la zona y el crecimiento poblacional. El aumento resultante en el sector comercial, industrial y público para acomodar el crecimiento poblacional donde existe un parque vehicular prácticamente de 1 por cada 2 habitantes y una industria maquiladora que genera más de 60 mil empleos, representando poco más del 45% de empleos relacionados directamente con la industria y los servicios que ésta demanda, trae consigo sus propios retos. Estos retos pueden contribuir a deficiencias ambientales además de tener un efecto en la salud pública (LT Consulting, 2016; SIIES, 2016).

La ciudad de Nogales, Sonora, México cuenta con una estación automática de monitoreo de calidad del aire desde el 2011 instalada en el TecNM/Instituto Tecnológico de Nogales para el monitoreo de partículas y gases.

Dicha caseta estuvo fuera de servicio del 2012 al 2014. Por todo lo anterior se hacía indispensable contar en Nogales Sonora, con un sistema adecuado de monitoreo atmosférico bajo esquemas uniformes de operación y aseguramiento de calidad, motivo por el cual se logró la reactivación de la caseta de calidad del aire a finales del 2014 con fondos proporcionados por la Región 9 de US EPA (Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos) para los contaminantes particulados de PM₁₀ y PM_{2.5} dichos datos son publicados en México por SINAICA, en Estados Unidos por AIRNow dependiente de US EPA y en AQICN que es una página para contaminación del aire a nivel mundial (SINAICA, 2016; AQICN, 2010; AirNowtech, 2014).

Descripción del método

La calibración es una comparación de un estándar de medición, o de un equipo, con un equipo de mayor exactitud en este caso DeltaCal, para detectar y cuantificar imprecisiones y reportarlas o eliminarlas mediante un ajuste. En este sentido, la calibración es la actividad de control de calidad más importante dentro de la medición, ya que establece la relación del valor medido por un equipo con la de un valor convencionalmente real, dando validez y trazabilidad a la medición (INECC, 2015). Antes de implementar cualquier actividad de medición, se recomienda que los equipos y sensores sean revisados para asegurar que se encuentran dentro de las tolerancias de calibración, y de no ser así, los equipos deberán ser debidamente calibrados en el lugar (CEDES, 2017).

Como parte del mantenimiento preventivo y calibración que se realiza cada mes a los monitores Thermo Fisher Scientific 5014i de PM₁₀ y PM_{2.5} se requiere el retiro y limpieza de los filtros externos primeramente. Después se realiza la instalación del DeltaCal en el monitor para su calibración, la cual se realiza a través de un comparativo entre la lectura exterior proporcionada por el DeltaCal y la lectura interior proporcionada por el monitor, ambas lecturas se registran en una hoja de cálculo (TFS, 2009).

Los siguientes pasos son requeridos para realizar el mantenimiento preventivo y la calibración de estos equipos de acuerdo a estándares de la EPA y el INECC:

Paso 1: revisión de flujo no ajustado

Siendo:

$f_1 =$ flujo no ajustado tres puntos

$f_e =$ flujo equipo

$f_r =$ flujo referencia

$$f_1 = \left| \frac{\sum_{r=1}^3 f_r - \sum_{e=1}^3 f_e}{\sum_{i=1}^3 f_r} \right| * 100 \quad (1)$$

Se realizan 3 lecturas de monitor (f_e) y del valor de referencia (f_r), el valor de referencia promedio es de 16.67 lts/m. Con las tres lecturas de f_e y f_r se aplica la fórmula (1) para encontrar la diferencia promedio; las lecturas se deben realizar con un intervalo de 1 minuto entre ellas. El resultado de la diferencia promedio (f_1) se interpreta de tres maneras en base al porcentaje obtenido, el “valor es aceptable” si f_1 está en un rango de 0% al 2%, hay un “valor dudoso” si f_1 es mayor 2% y menor del 2.5%, para valores mayores a 2.5% se “requiere calibración del equipo” (AZDEQ, 2016)

Paso 2: revisión de flujo ajustado de 3 puntos

El paso 2 es solo en caso de que el equipo requiera calibración y se encuentre que el porcentaje sea mayor del 2% de acuerdo con el paso 1

Siendo:

$f_2 =$ flujo de calibraciones ajustadas de 3 puntos

$f_e =$ flujo equipo

$f_r =$ flujo referencia

$$f_2 = \left| \frac{f_e - f_r}{f_r} \right| * 100 \quad (2)$$

Para esta verificación se emplea la fórmula (2) analizando cada punto por separado, donde se pone el muestreador en modo de autoajuste y se le inserta el valor que muestra el DeltaCal para que el muestreador se ajuste al valor de referencia de 16.7 lts/m este proceso se puede realizar 3 veces dando un tiempo de 1 minuto por vez para que se autoajuste hasta obtener un “valor aceptable” donde la diferencia del flujo para f_2 debe estar en un rango de 0% al 2%, para un “caso dudoso, se recomienda recalibración” que está entre mayor del 2% y menor del 2.5%, para valores mayores “requiere re-calibración el equipo”.

Paso 3: revisión de fugas

En este paso se utiliza la fórmula (3) que consiste en la detección de fugas del monitor, en caso de no pasar debe abrir el equipo y revisarse, después volverse a realizar el paso 2 (DOF, 2012).

Siendo:

$f_3 =$ fuga diferencia en %

$f_i =$ flujo inicial equipo

$f_f =$ flujo final equipo

$$f_3 = \left| \frac{f_f - f_i}{f_f} \right| * 100 \quad (3)$$

En la etapa de revisión de fugas para la fórmula f_3 los valores aceptables para que pase la prueba de fugas son $\leq .42$ %, si el valor es mayor de .42% no pasa la prueba de fugas, buscar fugas y hacer de nuevo la prueba.

Todo lo anterior basado en el manual de instalación, operación, calibración y mantenimiento definido por el fabricante (INECC, 2013).

Resultados

Se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 1 de las pruebas de calibración hechas a los muestreadores de PM_{10} y $PM_{2.5}$, se realizaron un total de 13 calibraciones en un rango de 4 a 5 semanas de cada una, los datos obtenidos fueron de un año desde el 16 de junio del 2016 al 29 de junio del 2017.

Para el caso de PM_{10} como se muestra en la tabla 1, las calibraciones no detectaron falla en el medidor de flujo y el muestreador se mantuvo en los rangos válidos de calibración sin perderse datos de un total de 378 días que equivalen a 544,320 registros generados.

Para el muestreador de $PM_{2.5}$ a partir del 16 de junio del 2016 al 17 de octubre del 2016 pasaron las 5 calibraciones como se muestra en la tabla 1, los datos correspondieron a 147 días que son equivalentes a 211,680 registros válidos; del 18 de octubre del 2016 al 22 de marzo del 2017 fueron de la calibración 6 a la 9 con datos que corresponden a 156 días que no pasaron la calibración con un total de 224,640 registros no válidos. A partir de la calibración 10 el muestreador fue enviado a mantenimiento, como lo establecen las normas mexicanas para la operación de los sistemas de monitoreo de calidad del aire perdiéndose un total de 99 días con un total de 142,560 registros no válidos (DOF, 2012).

Después de realizar con éxito la primer etapa que es el proceso de calibración, solo los datos de PM_{10} quedan listos para pasar a la segunda etapa que es el aseguramiento de la calidad de los datos por medio de un proceso de limpieza, verificación y validación de los datos ya que pasaron más del 75% de los registros (García-Alva, Muñoz-Zamora, Cruz-Rentería, & Nuñez-Silva, 2018).

Fecha Calibración	$PM_{2.5}$	PM_{10}
16/6/2016	Pasó	Pasó
13/7/2016	Pasó	Pasó
12/8/2016	Pasó	Pasó
23/9/2016	Pasó	Pasó
17/10/2016	Pasó	Pasó
11/11/2016	Requiere calibración	Pasó
16/12/2016	Requiere calibración	Pasó
16/1/2017	Requiere calibración	Pasó
14/2/2017	Requiere calibración	Pasó
23/3/2017	Enviado a Mtto.	Pasó
11/4/2017	Enviado a Mtto.	Pasó
15/5/2017	Enviado a Mtto.	Pasó
29/6/2017	Enviado a Mtto.	Pasó

Tabla 1 Reporte de calibraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$
Fuente: Elaboración Propia

Agradecimientos

Se agradece al Tecnológico Nacional de México (TecNM) porque el desarrollo del presente artículo es uno de los productos académicos del proyecto financiado y realizado en el Instituto Tecnológico de Nogales, el cual se tituló “Desarrollo de un ETL para datos de PM_{10} de la estación de calidad del aire de Nogales Sonora”, con número de proyecto 5802.16-P y terminado en junio del 2017. También se agradece a la Comisión de Ecología y Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora (CEDES) por compartir los datos de la estación de calidad del aire instalada en Nogales, Sonora, así mismo al Arizona Department of Environmental Quality (AZDEQ) por su apoyo en la definición del proceso de calibración.

Conclusiones

Aplicando los estándares de la EPA en los mantenimientos y las calibraciones fueron detectadas las fallas que presentan los muestreadores y con ello se asegura la calidad de los datos crudos obtenidos en el sitio. Para el caso del PM_{10} pasaron la calibración el 100% de los datos, para el caso del $PM_{2.5}$ solo pasó el 38.88% y fueron rechazados el 61.11% de los datos por no haber pasado la calibración o estar en mantenimiento el muestreador y como lo marca la norma oficial mexicana NOM-025-SSA1-2014 que solo se permite perder 3 meses o el 75 % de los datos en un año como máximo para que sea validado todo el año de monitoreo, en este último caso los datos para el muestreador de $PM_{2.5}$ no fueron válidos por el año (DOF, 2014).

La pérdida de datos se puede reducir con un buen plan de mantenimiento correctivo que incluya tener partes de repuesto a disposición que sean más susceptibles a dañarse para poder poner en operación rápidamente el muestreador descompuesto.

Referencias

AirNowtech. (02 de 07 de 2014). <https://www.airnowtech.org/s>. Recuperado el 12 de 06 de 2018, de <https://www.airnowtech.org/>: <https://www.airnowtech.org/sitelist.cfm>

AQICN. (01 de 01 de 2010). <http://aqicn.org>. Recuperado el 05 de 06 de 2018, de <http://aqicn.org>: <http://aqicn.org/map/world/es/#@g/31.3743/-109.8372/9z>

AZDEQ. (2016). *Formulario de revisión del sitio de Nogales*. EPA, Quality Air. Nogales Sonora: AZDEQ.

CEDES. (01 de 02 de 2017). <https://cedes.gob.mx>. Recuperado el 05 de 04 de 2018, de <https://cedes.gob.mx>: <https://cedes.gob.mx/images/pdf/ProAireSonora.pdf>

DOF. (16 de Julio de 2012). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 30 de 06 de 2018, de Diario Oficial de la Federación: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5259464&fecha=16/07/2012

DOF. (20 de Agosto de 2014). *Diario Oficial de la Federación*. Obtenido de Diario Oficial de la Federación: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5357042&fecha=20/08/2014

García-Alva, S., Muñoz-Zamora, G., Cruz-Rentería, J. R., & Nuñez-Silva, O. R. (31 de 03 de 2018). Desarrollo de ETL para limpieza y transformación de datos crudos de PM10 de la estación de monitoreo de calidad del aire de Nogales, Sonora. (M. P. RAMOS-ESCAMILLA, Ed.) *Revista de Tecnología e Innovación*, 5(14), 25-29. Recuperado el 12 de 06 de 2018, de http://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Tecnologia_e_innovacion/vol5num14/Revista_de_Tecnologia_e_Innovacion_V5_N14.pdf

INECC. (11 de abril de 2010). <http://sinaica.inecc.gob.mx/>. (S. N. Aire, Ed.) Recuperado el 25 de 06 de 2018, de <http://sinaica.inecc.gob.mx/>: <http://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/3%20-%20Redes,%20Estaciones%20y%20Equipos%20de%20Medici%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20del%20Aire.pdf>

INECC. (11 de 04 de 2013). <http://sinaica.inecc.gob.mx/>. (S. N. Aire, Ed.) Recuperado el 01 de 06 de 2018, de <https://www.gob.mx/>: <http://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/4%20-%20Operaci%C3%B3n%20de%20Estaciones%20de%20Medici%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20del%20Aire,%20mantenimiento%20y%20calibraci%C3%B3n%20de%20sus%20Componentes.pdf>

INECC. (12 de 04 de 2015). (<https://www.gob.mx/>, Ed.) Recuperado el 22 de 05 de 2018, de <http://sinaica.inecc.gob.mx/>: <http://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/6%20-%20Lineamientos%20T%C3%A9cnicos%20y%20Administrativos%20para%20la%20Auditor%C3%ADa%20de%20Sistemas%20de%20Medici%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20del%20Aire.pdf>

LT Consoulting. (2016). *Desarrollo del ProAire. Avances del diagnóstico y medidas y acciones* (págs. 3-5). Nogales Sonora: ProAire.

OMS. (27 de 09 de 2016). *Organizacion Mundial de la Salud*. Obtenido de Organizacion Mundial de la Salud: <https://cfpub.epa.gov/airnow/index.cfm?action=aqibasics.particle>

SIIES. (20 de 5 de 2016). <http://www.estadisticasonora.gob.mx/>. (S. d. Sonora, Editor, & G. d. Sonora, Productor) Recuperado el 30 de 06 de 2018, de <http://www.estadisticasonora.gob.mx/>: <http://www.estadisticasonora.gob.mx/indicadores.aspx>

SINAICA. (19 de 10 de 2016). <http://sinaica.inecc.gob.mx/>. Recuperado el 30 de 06 de 2018, de <http://sinaica.inecc.gob.mx/>: <http://sinaica.inecc.gob.mx/>

TFS. (01 de 03 de 2009). *Thermo Fisher Scientific*. Recuperado el 30 de 03 de 2018, de Thermo Fisher: <http://tools.thermofisher.com/content/sfs/manuals/EPM-Model5014i-Manual.pdf>

US EPA. (2008). *Data validation and Data Verification*. En US-EPA, *Guidance on Environmental* (pág. 99). US-EPA.

Aplicación de eficiencia energética para optimizar el Sistema de Iluminación en una Institución de Nivel Superior

Application of energy efficiency to optimize the Lighting System in a Higher Level Institution

LEZAMA-ZÁRRAGA, Francisco Román†*, ANDRADE-DURÁN, Juan Edgar, OVANDO-SIERRA, Juan Carlos y CASTILLO-TÉLLEZ, Margarita

Universidad Autónoma De Campeche, Campus V, Predio s/n por Av. Humberto Lanz Cardenas y Unidad Habitacional Ecológica Ambiental, Col. Ex-Hacienda Kala, CP 24085, San Francisco de Campeche, Cam., México

ID 1^{er} Autor: *Francisco Román, Lezama-Zárraga*/ ORC ID: 0000-0003-3397-7881, **Researcher ID Thomson:** U-1229-2018, **CVU CONACYT ID:** 205493

ID 1^{er} Coautor: *Juan Edgar, Andrade-Durán*/ ORC ID: 0000-0002-7370-1290, **Researcher ID Thomson:** T-8830-2018, **CVU CONACYT ID:** 238526

ID 2^{do} Coautor: *Juan Carlos, Ovando-Sierra*/ ORC ID: 0000-0003-4358-6657, **Researcher ID Thomson:** S-2357-2018, **CVU CONACYT ID:** 358434

ID 3^{er} Coautor: *Margarita, Castillo-Téllez*/ ORC ID: 0000-0001-9639-1736, **Researcher ID Thomson:** S-2283-2018, **CVU CONACYT ID:** 210428

Recibido 6 de Octubre, 2018; Aceptado 5 de Noviembre, 2018

Resumen

En este artículo se desarrolla un estudio con el objetivo de optimizar el sistema de iluminación interior y exterior de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche para obtener niveles de iluminación que cumplan con la norma NOM-025-STPS-2008 y que proporcione condiciones de seguridad a las personas que utilizan las instalaciones eléctricas en baja tensión. Se diseña un sistema basado en domótica a través de sensores de movimiento y tipo horario en el edificio B de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche y en el alumbrado exterior periférico a este edificio. Además, se verifica los niveles de iluminación de iluminación en las diversas áreas para verificar si cumple con la normatividad y las zonas que no cumplen serán rediseñadas. Con esta metodología se crea una alternativa que proporcione el máximo confort visual y el más alto rendimiento del sistema para lograr un verdadero ahorro de energía eléctrica. Este estudio piloto es la base para implementar un modelo de optimización de los sistemas de iluminación para Instituciones de Educación Superior.

Optimizar, Sistema de iluminación, Domótica

Citación: LEZAMA-ZÁRRAGA, Francisco Román, ANDRADE-DURÁN, Juan Edgar, OVANDO-SIERRA, Juan Carlos y CASTILLO-TÉLLEZ, Margarita. Aplicación de eficiencia energética para optimizar el Sistema de Iluminación en una Institución de Nivel Superior. Revista de Ingeniería Innovativa 2018. 2-8:27-34

Abstract

In this article a study is developed with the aim of optimizing the interior and exterior lighting system of the Engineering Faculty of the Universidad Autónoma de Campeche to obtain lighting levels that comply with the standard NOM-025-STPS-2008 and that provides safety conditions to people who use low voltage electrical installations. A system based on home automation is designed through motion and time-type sensors in building B of the Engineering Faculty of the Universidad Autónoma de Campeche and in the exterior lighting peripheral to this building. In addition, the lighting levels in the various areas is performed to verify if it complies with the regulations and the areas that do not comply are redesigned. With this methodology an alternative that provides maximum visual comfort and the highest system performance to achieve real savings of electricity is created. This pilot study is the basis for implementing an optimization model of lighting systems for Higher Education Institutions.

Optimize, Lighting system, Home automation

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: frlezama@uacam.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Ante el inminente crecimiento industrial y tecnológico, la demanda de energía eléctrica se ha incrementado exponencialmente. Los grandes complejos comerciales, industriales y de servicios que se desempeñan las 24 horas del día requieren niveles de iluminación que proporcione condiciones de seguridad a las personas que realizan tareas muy específicas. La iluminación de un área de trabajo, de descanso o de esparcimiento debe proveer la suficiente cantidad de radiación visible para que las imágenes recibidas transmitan las ideas con fidelidad.

La información que vemos a nuestro alrededor depende de varios factores: del tipo de la fuente de iluminación, de su ubicación en el lugar, así como de los objetos que reflejan la luz (paredes, piso, techo, mobiliario) e incluso, del color que se transmite o se refleja.

De todos los tipos de energía que pueden utilizar los seres humanos, la luz es la más importante. La luz es un elemento esencial de nuestra capacidad de ver y necesaria para apreciar la forma, el color y la perspectiva de los objetos que nos rodean en nuestra vida cotidiana. Desde el punto de vista de la seguridad en el trabajo, la capacidad y el confort visuales son muy importantes, ya que muchos accidentes obedecen, entre otras razones, a deficiencias en la iluminación o a errores cometidos por el usuario, a quien le resulta difícil identificar objetos o los riesgos asociados con la maquinaria, equipo y objetos considerados peligrosos.

Los trastornos visuales asociados con deficiencias del sistema de iluminación son habituales en los lugares de trabajo. En adición, no debe ahorrarse energía a expensas del confort visual o del rendimiento de los usuarios.

Para lograr el confort visual, es importante examinar la luz en el lugar de trabajo no sólo con criterios cuantitativos, sino también cualitativos a través de mediciones puntuales localizadas.

En el edificio B de la Facultad de Ingeniería se debe verificar la precisión que requieren las tareas realizadas, la cantidad de trabajo, la movilidad de los usuarios (docentes y alumnos).

La luz debe incluir componentes de radiación difusa y directa. El resultado de la combinación de ambos producirá sombras de mayor o menor intensidad, que permitirán a los usuarios percibir la forma y posición de los objetos situados en el plano de trabajo. Deben eliminarse los reflejos molestos, que dificultan la percepción de los detalles, así como los brillos excesivos o las sombras oscuras. Debe tomarse en cuenta la luz natural del día y medir sus niveles de iluminación con el fin de validar si es pertinente o no su utilización.

El mantenimiento preventivo de la instalación de alumbrado es muy importante ya que previene el envejecimiento de las lámparas y la acumulación de polvo en las luminarias, cuya consecuencia será una pérdida importante de luz. Por esta razón, es importante elegir lámparas y sistemas fáciles de mantener.

En este artículo, el estudio de eficiencia energética para optimizar el sistema de iluminación se realiza en el primer nivel del edificio B de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche con el fin de obtener un diagnóstico del consumo energético que ofrezca las soluciones a la problemática en lo referente a las cargas de iluminación y alumbrado exterior. Verificar si se requiere un cambio de tecnología en iluminación o algún cambio en los hábitos de consumo, crear conciencia e implementar acciones de ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica dentro del personal administrativo, docente y alumnado.

En la primera sección, se explica sobre el nivel óptimo de iluminación en las diferentes áreas de trabajo, principalmente en las aulas y evitar su uso irracional. En la segunda sección, se describe la metodología propuesta para tener resultados significativos de eficiencia energética en la iluminación del campus. En la tercera sección, indica el procedimiento de las mediciones realizadas de acuerdo con la NOM vigente. Por último, en la cuarta sección se muestran los resultados obtenidos de mediciones e implementación de estrategias de eficiencia energética. Finalmente, en la sección de conclusiones se indica la importancia de este estudio y los resultados obtenidos.

Metodología propuesta

Tomando como referencia la metodología de Checkland (Checkland, P. 1994), la propuesta consta de las siguientes etapas:

Preparación de materiales, herramientas, equipo de medición y del personal que realizará el trabajo de campo.

Levantamiento físico en las instalaciones con ayuda de los planos eléctricos, identificando cada uno de los circuitos de alumbrado.

Evaluar los niveles de iluminación en cada área de trabajo, de acuerdo a la NOM-025-STPS-2008, tomando en cuenta el uso de la luz natural y la luz artificial.

Analizar la información requerida con ayuda de hojas de cálculo y software especializado.

Definir las propuestas de mejora que optimizarán el sistema de iluminación y modificarán procesos administrativos internos. Realizar un informe final del diagnóstico energético, el cual incluye un programa de mantenimiento preventivo.

Con el fin de tener resultados significativos en el proceso de optimización mediante la aplicación de la eficiencia energética, se debe cumplir con el procedimiento plasmado en la figura 1, la cual se muestra a continuación.



Figura 1 Etapas del proceso de optimización de un sistema de iluminación

Fuente: *Elaboración propia*

El informe final debe de incluir:

Objeto y alcance técnico para la optimización del sistema de iluminación del edificio B de la Facultad de Ingeniería.

Metodología utilizada y desarrollo de la misma.

Análisis de las propuestas de mejora

Una de las mejoras que se proponen para lograr un ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica en el sistema de iluminación está basada en la domótica y se incluye en este estudio.

Domótica en el sistema de iluminación

Las tendencias actuales en el tema del confort, seguridad, telecomunicaciones y ahorro energético aplicadas a edificios han propiciado el desarrollo de nuevas áreas del conocimiento como la Domótica (Zamora-Izquierdo, M. 2010).

La domótica es la utilización de un conjunto de tecnologías para controlar y automatizar de forma inteligente un edificio o una vivienda, permitiendo una mejor comunicación entre el usuario y todos los sistemas de su entorno (Fundación UNAM, 2016).

Dado que las luminarias son utilizadas de manera irracional en la Facultad de Ingeniería, en este estudio se incluyó el análisis de la implementación de un sistema de control a través de sensores de movimiento y tipo horario para el encendido y apagado de las luminarias cuando realmente se está haciendo uso de un área determinada. Este dispositivo fue creado por nuestros alumnos de la especialidad de Ingeniería en Mecatrónica.

Se trata del diseño de un dispositivo de control para el alumbrado artificial que tiene funciones de encendido y apagado, cuyo objetivo principal es establecer la conexión remota entre el módulo de control y un dispositivo conectado a internet a través de una interfaz programable de acuerdo a las especificaciones requeridas e interactuando con diversos estándares de comunicación para el control ON-OFF de las luminarias instaladas en cada una de las aulas del edificio B, primer nivel en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche.

Dicho control, se lleva a cabo cuando se detecta movimiento en el aula o de forma automática según la programación de horarios de clases mediante la interfaz computacional (véase figura 2).

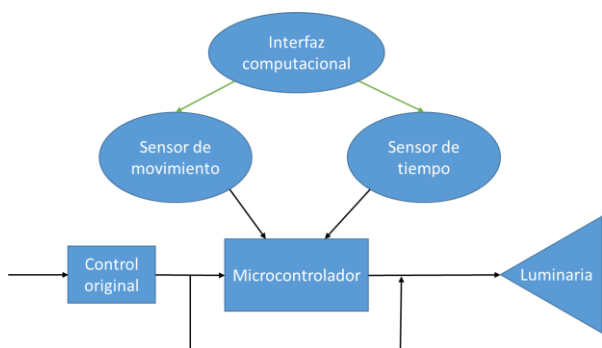


Figura 2 Elementos del diseño de control automático de luminarias
Fuente: Elaboración Propia

Mediciones para el nivel de iluminación

El nivel de iluminación se mide con un luxómetro que convierte la energía luminosa en una señal eléctrica, que posteriormente se amplifica y permite una fácil lectura en una escala de luxes calibrada. Al elegir un cierto nivel de iluminación para un puesto de trabajo determinado, deberán estudiarse la naturaleza del trabajo, la reflectancia del objeto y de su entorno inmediato y las diferencias entre la luz natural y la luz artificial.

Evaluación de los niveles de iluminación

De acuerdo a la NOM-025-STPS-2008, existe una relación que permite calcular el número mínimo de puntos de medición a partir del valor del índice de área aplicable al interior analizado. El valor del índice de área, para establecer el número de zonas a evaluar, está dado por la ecuación

$$IC = \frac{(x)(y)}{h(x + y)} \tag{1}$$

Donde:

IC = índice de área.

x, y = dimensiones del área (largo y ancho), en metros.

h = altura de la luminaria respecto al plano de trabajo, en metros.

En donde x es el valor de índice de área (IC) del lugar, redondeado al entero superior, excepto que para valores iguales o mayores a 3 el valor de x es 4.

En pasillos o escaleras, el plano de trabajo por evaluar debe ser un plano horizontal a 75 cm ± 10 cm, sobre el nivel del piso, realizando mediciones en los puntos medios entre luminarias contiguas.

A partir de la ecuación se obtiene el número mínimo de puntos de medición que se muestran en la Tabla 1.

Índice de área	A) Número de mínimo de zonas a evaluar	B) Número de zonas a considerar por la limitación
$IC < 1$	4	6
$1 \leq IC < 2$	9	12
$2 \leq IC < 3$	16	20
$3 \leq IC$	25	30

NOM-025-STPS-2008.

Tabla 1 Relación entre el índice de área y número de zonas de medición

Cumpliendo con la norma, el valor promedio en Luxes obtenido de las mediciones está dado por

$$L_{prom} = \frac{(\sum L_{puntual})}{N} \tag{2}$$

Donde: Lprom es el nivel promedio de iluminación en luxes, Lpuntual es el nivel de iluminación en luxes de cada punto y N es el número de mediciones realizadas.

Análisis de la información y resultados
Se realizaron las mediciones de los niveles de iluminación en el primer nivel del edificio B de la Facultad de Ingeniería (ver figura 3).

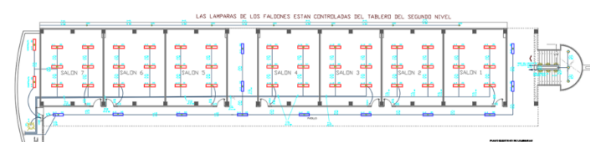


Figura 3 Área en la cual se realizó el estudio
Fuente: Elaboración Propia

La figura 4 representa una ampliación en el lado izquierdo de la figura 3 para observar a detalle las aulas, los pasillos, el estrado y los faldones del edificio.

Se procedió a realizar las mediciones con el luxómetro marca KOBAN modelo KL6610.

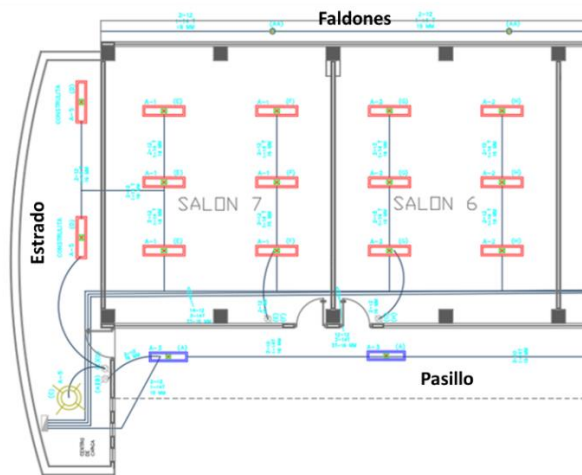


Figura 4 Aulas, pasillo y estrado
Fuente: Elaboración Propia

Las dimensiones de cada aula son 7.2 m. de largo, 8.4 m. de ancho y 4.2 m. de altura, por lo que el índice del área es

$$IC = \frac{(7.2)(8.4)}{4.2(7.2 + 8.4)} = 0.923 \approx 1.0$$

De acuerdo con la tabla 1, las mediciones mínimas, en luxes, deben ser 9 en cada aula distribuidas uniformemente y usando la ecuación (2) se obtiene un promedio de las mediciones para definir si cumple o no con la norma NOM-025-STPS-2012. Durante la primera medición, se encontró que en los salones 1, 3, 6 y 7 se tenía dañadas al menos una luminaria de 2x56W y en la tabla 2 se muestran los resultados.

Mediciones	Aula #						
	1	2	3	4	5	6	7
1ª	213	483	246	492	502	518	503
2ª	256	476	486	489	507	519	509
3ª	412	491	479	491	504	515	507
4ª	219	521	228	512	528	487	296
5ª	270	518	274	519	525	352	318
6ª	428	519	521	516	531	232	532
7ª	382	521	518	523	518	523	274
8ª	493	509	532	527	522	339	321
9ª	502	512	536	524	525	224	523
Promedio	353	505	424	510	518	412	420

Tabla 2 Mediciones iniciales
Fuente:Elaboración Propia

Se observa que todas las aulas cumplen con los requerimientos mínimos de iluminación gracias al valor promedio, pero en las mediciones localizadas, las que dan valores por debajo de 300 luxes, indican que en esa área se encuentran las luminarias dañadas mencionadas anteriormente. Aunque en general se cumple con la norma, se debe realizar las correcciones para optimizar el nivel de iluminación de cada aula.

En la tabla 3 se muestran las mediciones en las que se han reemplazado las luminarias dañadas. Además, se realiza la comparación del uso de luz artificial en las primeras 4 aulas contra el uso de luz natural utilizada en las últimas tres aulas.

Mediciones	Aulas con luz artificial				Aulas con luz natural		
	1	2	3	4	5	6	7
1ª	506	509	507	512	482	478	476
2ª	502	512	509	509	486	481	479
3ª	509	514	511	506	487	479	477
4ª	527	536	528	514	431	422	418
5ª	519	524	526	522	429	419	414
6ª	523	527	528	519	432	424	420
7ª	520	526	523	527	492	482	484
8ª	518	514	534	529	483	481	487
9ª	523	516	537	529	482	479	485
Promedio	516	520	522	518	467	460	460

Tabla 3 Mediciones finales
Fuente: Elaboración Propia

De la tabla anterior se demuestra que los niveles de iluminación en las aulas con luz artificial y las que utilizan luz natural, cumplen con los niveles mínimos de iluminación de acuerdo a la tabla 4. Una recomendación importante es que durante el día las aulas utilicen la luz natural, por lo que el control ON-OFF de luminarias mantendrá las luminarias apagadas en los horarios de clase de 7:00 a 16:00 hr.

Uso del control ON-OFF para iluminación

Se implementó el control ON-OFF para las luminarias en el edificio B, se realizaron pláticas de concientización y se utilizó la luz natural en las aulas durante el día en vez de cerrar las cortinas y usar iluminación artificial.

Tarea visual del puesto de trabajo	Área de trabajo	Niveles mínimos (luxes)
Distinción moderada de detalles: ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple, empaque y trabajo de oficina	Talleres: áreas de empaque y ensamble; aulas y oficinas.	300
En interiores	Áreas de circulación y pasillos; salas de espera; salas de descanso; cuartos de almacen; plataformas; cuartos de calderas.	100
En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimientos de vehículos.	Exteriores generales; patios y estacionamientos.	20

NOM-025-STPS-2008.

Tabla 4 Niveles mínimos de iluminación

El ahorro energético en las luminarias con control ON-OFF, a través de sensores de tiempo, se muestra en la tabla 5, y se implementó en el edificio B, primer nivel. Son seis gabinetes de 2x56 W en cada salón, 12 lámparas de 2x28 W en los pasillos y en el estrado son dos lámparas de 2x28W y una de tipo led de 4W.

Edificio B, 1er. nivel	Anterior		Actual Control ON-OFF Sensor de tiempo	
	Salón No.	Horas de uso	Consumo (kWh)	Horas de uso
1	10	7.392	4	2.957
2	10	7.392	4	2.957
3	10	7.392	4	2.957
4	10	7.392	4	2.957
5	10	7.392	4	2.957
6	6	4.435	0	2.957
7	4	2.957	4	2.957
Pasillos	13	9.609	13	4.804
Estrado	4	0.508	1	0.127
Faldones	24	0.672	13	0.364
Totales		55.141		25.994

Tabla 5 Comparación de consumo de energía eléctrica de luminarias en un día

Fuente:Elaboración Propia

Se realizó la comparación entre el ahorro de energía eléctrica con sensor de tiempo y sensor de movimiento, observándose que se tienen mayores ahorros cuando se empleó el sensor de movimiento. Esto se muestra en la tabla 6.

Con el sensor de movimiento se reducen en los salones No. 2 y No. 5 debido a que no hubo clase el día de la medición y no acudieron alumnos al salón. Y en los faldones no hay movimiento de alumnos, manteniéndose permanentemente apagadas las luminarias. Por lo tanto, hay una reducción en el consumo de la energía eléctrica usando el sensor de movimiento.

Edificio B, 1er. nivel	Control ON-OFF Sensor de tiempo		Control ON-OFF Sensor de movimiento	
	Salón No.	Horas de uso	Consumo (kWh)	Horas de uso
1	4	2.957	4	2.957
2	4	2.957	2	1.478
3	4	2.957	4	2.957
4	4	2.957	4	2.957
5	4	2.957	2	1.478
6	0	2.957	0	2.957
7	4	2.957	4	2.957
Pasillos	13	4.804	8	5.914
Estrado	1	0.127	1	0.127
Faldones	13	0.364	0	0
Totales		25.994		23.782

Tabla 6 Comparación de consumo de energía eléctrica de luminarias en un día empleando sensor de tiempo y sensor de movimiento

Fuente: Elaboración Propia

Consumo de energía eléctrica

Se instaló el analizador de redes trifásico en el Tablero Trifásico de alumbrado y se obtuvieron los resultados mostrados en el gráfico 1 en el cual se observa la disminución en el consumo de energía al implementar el control ON-OFF. El gráfico 2 muestra una comparación entre el consumo acumulado de de energía eléctrica de las luminarias, en la que se observa resultados de ahorro de energía con el control ON-OFF representado por la línea naranja.

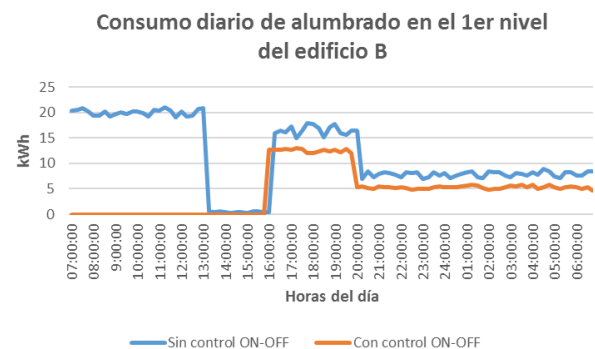


Gráfico 1 Comparación entre el consumo de luminarias sin estrategia de ahorro de energía (línea azul) y con estrategia de ahorro de energía (línea naranja)

Fuente:Elaboración Propia

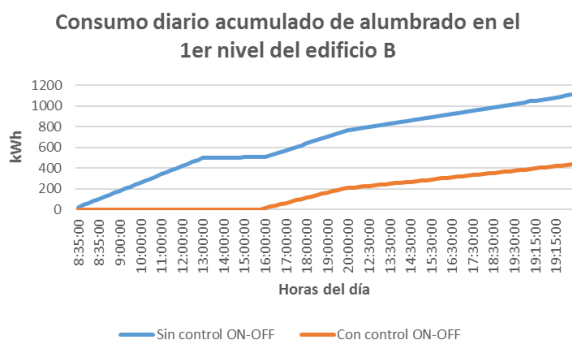


Gráfico 2 Comparación entre el consumo acumulado de luminarias

Fuente: *Elaboración Propia*

En las gráficas anteriores, se verifica la diferencia de consumo de energía eléctrica entre el apagado y encendido de las luminarias de manera manual y automática presentándose diferencias favorables para el ahorro y uso eficiente de la energía con el control ON-OFF automatizado.

Las medidas de ahorro de energía en las luminarias se implementaron en el mes de marzo de 2018, las cuales incluyen el control ON-OFF y pláticas de concientización entre la comunidad universitaria para usar la luz natural durante el día y por la tarde y noche mantengan apagadas las luminarias en las aulas y pasillos que no se estén utilizando.

Esto dio por resultado que el consumo de energía eléctrica en la Facultad de Ingeniería disminuyera con respecto al mes de marzo de los años 2016 y 2017 (ver tabla 7).

Consumo (kWh)				
Mes	Base	Interm.	Punta	Total
marzo-16	6,845	26,135	4,728	37,708
marzo-17	5,643	24,023	4,223	33,889
marzo-18	5,491	22,872	4,212	32,575

Tabla 7 Comparación de consumo de energía eléctrica en el mes de marzo de los años 2016, 2017 y 2018

Fuente: *Elaboración Propia*

Medidas de eficiencia energética

Las principales medidas de eficiencia energética que se recomendaron en el informe final para ser aplicada en todo el campus son:

Sustituir lámparas dañadas y de baja eficiencia por lámparas fluorescentes tipo LED.

Instalar sensores de tiempo para el control de las luminarias en las diferentes áreas, principalmente en el centro de cómputo y oficinas que son las que funcionan la mayor parte del día.

Crear un programa de mantenimiento preventivo para las luminarias con el fin de evitar el deterioro y mantener condiciones de confort visuales.

Implementar el sistema de Gestión ISO 50001 para que supervise el cumplimiento de las medidas de eficiencia energética.

Conclusiones

En este artículo se realizó un estudio de eficiencia energética en el sistema de iluminación del edificio B, primer nivel, de la Facultad de Ingeniería, mediante la medición de los niveles de iluminación en las aulas, primero, analizando niveles de iluminación con luminarias dañadas sin el control automático y segundo, comparando los luxes empleando luz natural y luz artificial con el control automático, obteniendo resultados importantes para aplicar en nuestro campus. Se obtuvo mayor ahorro de energía eléctrica empleando el sensor de movimiento.

Se demuestra que al implementar estas medidas se reduce el consumo de energía eléctrica por iluminación y que al aplicarlo en un futuro a todo el campus se tendrán valores significativos de ahorro y uso eficiente de la energía.

Se concluye que la metodología empleada es una guía de acciones que se deben realizar de manera ordenada y con un orden cronológico en Instituciones de Educación Superior con el fin de reducir costos de consumo de energía eléctrica a través de la eficiencia energética.

Referencias

Checkland, P. & Scholes J. (1994). Metodología de los sistemas suaves en acción. México: Megabyte, Noriega Editores. 352p.

Enríquez Harper, G. (2007). El abc del alumbrado y las instalaciones eléctricas en baja tensión. 1era. Edición. México: Limusa.

Estevez L. (2012) NOM 001 Sede 2012 Instalaciones Eléctricas (Utilización), México: Limusa.

Fundación UNAM. Domótica. La Ciencia de hacer hogares inteligentes. (Digital). México: UNAM. Recuperado de: <http://www.fundacionunam.org.mx/mi-tecnologia/domotica/> . Consultado el 9/05/18; 6:17 pm.

Ley General de Cambio Climático. (Junio, 2012). Título Cuarto: Política Nacional de Cambio Climático. Capítulo III: Mitigación México: DOF.

Manual del Alumbrado de Westinghouse. (2000). Editorial Dossat. ISBN: 84-237-0314-2 4ta. Edición.

Presidencia de la República. (2012). Sexto Informe de Gobierno: Desarrollo Sustentable y Cambio climático. (Digital) .México: SEGOB. Eje 4, Tema 4.6. Recuperado de http://calderon.presidencia.gob.mx/informe/sexto/pdf/INFORME_ESCRITO/04_CAPITULO_DESARROLLO_SUSTENTABLE/4_06_Cambio_Climatico.pdf Consultado el 12/06/18, 5:42 pm.

Rey F. & Velasco E. (2006). Eficiencia energética en Edificios: certificación y auditorías energéticas. España: Paraninfo, 2006.

Secretaria del Trabajo y Prevision Social. (12 de Diciembre de 2008). NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008. México: Diario Oficial de la Federación.

Zamora, Santa, & Gomez. (2010). An integral and networked home automation solution for indoor ambient intelligence. IEEE Pervasive Computing. Vol. 9, 2010.

http://www.fide.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=121&Itemid=219 Consultado el 14/05/18; 11:28 am.

http://app.cfe.gob.mx/aplicaciones/ccfe/tarifas/tarifas/tarifas_negocio.asp?Tarifa=HM&Anio=2017&mes=6 Consultado el 28/05/2017; 7:43 pm.

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 – Techonology an 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 Innovativa. 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]

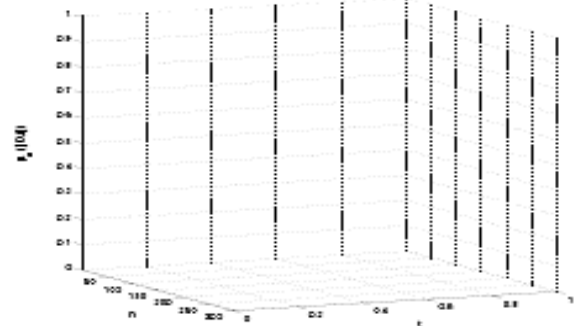


Gráfico 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

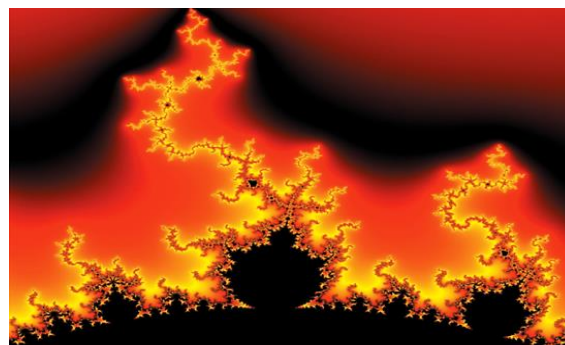


Figura 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

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.

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 Sistemas Experimentales 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 Sistemas Experimentales emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones seriadas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Artículo, salvo que sea rechazado por el Comité de Arbitraje, podrá ser retirado.
- Ninguno de los datos presentados en este Artículo ha sido plagiado ó inventado. Los datos originales se distinguen claramente de los ya publicados. Y se tiene conocimiento del testeo en PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se procederá a arbitrar.
- Se citan las referencias en las que se basa la información contenida en el Artículo, así como las teorías y los datos procedentes de otros Artículos previamente publicados.
- Los autores firman el Formato de Autorización para que su Artículo se difunda por los medios que ECORFAN-México, S.C. en su Holding Bolivia 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-Mexico, S.C en su Holding Perú para su Revista de Ingeniería Innovativa, 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

SUYO-CRUZ, Gabriel. PhD

Editores de Producción

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Administración Empresarial

REYES-VILLAO, Angélica. BsC

Control de Producción

RAMOS-ARANCIBIA Alejandra. BsC

DÍAZ-OCAMPO Javier. BsC

Editores Asociados

OLIVES-MALDONADO, Carlos. MsC

MIRANDA-GARCIA, Marta. PhD

CHIATCHOUA, Cesaire. PhD

SUYO-CRUZ, Gabriel. PhD

CENTENO-ROA, Ramona. MsC

ZAPATA-MONTES, Nery Javier. PhD

ALAS-SOLA, Gilberto Américo. PhD

MARTÍNEZ-HERRERA, Erick Obed. MsC

ILUNGA-MBUYAMBA, Elisée. MsC

IGLESIAS-SUAREZ, Fernando. MsC

VARGAS-DELGADO, Oscar. PhD

Publicidad y Patrocinio

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

Licencias del Sitio

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

Oficinas de Gestión

244 Itzopan, Ecatepec de Morelos–México.

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

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

18 Marcial Romero, CP-241550. Avenue, Salinas 1 - 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 Innovativa

“Estudio de la modificación de la presión de recalentamiento de una central térmica de vapor de 350 MW, para mejorar el rendimiento térmico del ciclo en condiciones reales”

JIMENEZ-GARCIA, Juan A, TORRES-TOVAR, Rigoberto, GASPAR-SANCHEZ, Noé y CALDERON-NEPAMUCENO, Dora M.

Universidad Autónoma del Estado de México

“Implementación de un módulo de validación de acciones seguras para navegación de robots de servicio”

PACHECO-FARFAN, L., RIOS-MARTINEZ, J, MORENO-SABIDO, M y SANDOVAL-CURMINA, V

Universidad Autónoma de Yucatán

“La Calibración para el aseguramiento de la calidad de datos PM₁₀ y PM_{2.5} en el monitoreo de la calidad del aire”

GARCÍA-ALVA, Sigifredo, MUÑOZ-ZAMORA, Guillermina, SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, Zindi y ARGUELLES-ORTIZ Hugo Alberto

Instituto Tecnológico de Nogales

“Aplicación de eficiencia energética para optimizar el Sistema de Iluminación en una Institución de Nivel Superior”

LEZAMA-ZÁRRAGA, Francisco Román, ANDRADE-DURÁN, Juan Edgar, OVANDO-SIERRA, Juan Carlos y CASTILLO-TÉLLEZ, Margarita

Universidad Autónoma De Campeche

