



ISSN: 1646-9895

Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

J u n h o 2 0 • J u n e 2 0



©AISTI 2020 <http://www.aisti.eu>

Nº E30

Edição / Edition

N.º E30, 06/2020

ISSN: 1646-9895

Indexação / Indexing

Academic Journals Database, CiteFactor, Dialnet, DOAJ, DOI, EBSCO, GALE, Index-Copernicus, Index of Information Systems Journals, Latindex, ProQuest, QUALIS, SCImago, SCOPUS, SIS, Ulrich's.

Propriedade e Publicação / Ownership and Publication

AISTI – Associação Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação

Rua Quinta do Roseiral 76, 4435-209 Rio Tinto, Portugal

E-mail: aistic@gmail.com

Web: <http://www.aisti.eu>

Director

Álvaro Rocha, Universidade de Coimbra, PT

Coordenadores da Edição / Issue Coordinators

Juan Pablo Salgado, Universidad Politécnica Salesiana, EC

Pablo Pérez Gosende, Universidad Politecnica Salesiana, EC

Conselho Editorial / Editorial Board

Carlos Ferrás Sexto, Universidad de Santiago de Compostela, ES

Gonçalo Paiva Dias, Universidade de Aveiro, PT

Jose Antonio Calvo-Manzano Villalón, Universidad Politécnica de Madrid, ES

Manuel Pérez Cota, Universidad de Vigo, ES

Ramiro Gonçalves, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, PT

Conselho Científico / Scientific Board

A. Augusto Sousa, FEUP, University of Porto, PT

Adolfo Lozano-Tello, University of Extremadura, ES

Adrián Hiebra Pardo, University of Santiago de Compostela, ES

Adriano Pasqualotti, University of Passo Fundo, BR

Alberto Fernández, Universidad Rey Juan Carlos, ES

Alberto Freitas, FMUP, University of Porto, PT

Alcinia Zita Sampaio, IST, University of Lisbon, PT

Alejandro Medina, National Institute of Astrophysics, Optics and Electronics, MX

Alejandro Peña, Escuela de Ingeniería de Antioquia, CO

Alexandre L'Erario, Federal Technological University of Paraná, BR

Alexandre Valle de Carvalho, FEUP, University of Porto, PT

Alicia García-Holgado, University of Salamanca, ES

Alma Gomez-Rodríguez, University of Vigo, ES

Ana Amélia Carvalho, University of Coimbra, PT

Ana Azevedo, Polytechnic Institute of Porto, PT

Ana Isabel Veloso, University of Aveiro, PT

Ana Maria Correia, ISEGI, Universidade Nova de Lisboa, PT

Ana Paula Afonso, Polytechnic Institute of Porto, PT

Anabela Mesquita, Polytechnic Institute of Porto, PT
Anacleto Correia, Escola Naval, PT
Andreia Bos, Federal Institute of Rio Grande do Sul, BR
Angelica Caro, Universidad del Bío-Bío, CL
Ana Calvão, University of Aveiro, PT
Ana Carla Amaro, University of Aveiro, PT
Ana Melro, University of Aveiro, PT
Ania Cravero, Universidad de La Frontera, CL
Aníbal Zaldivar-Colado, Universidad Autonoma de Sinaloa, MX
Antoni Lluís Mesquida Calafat, University of les Illes Balears, ES
António Coelho, FEUP, University of Porto, PT
Antonio Fernández-Caballero, University of Castilla-La Mancha, ES
António Godinho, ISLA-Gaia, PT
Antonio Jesus Garcia Loureiro, University of Santiago de Compostela, ES
Antonio Jiménez-Martín, Universidad Politécnica de Madrid, ES
António Manuel Andrade, Portuguese Catholic University, PT
António Palma dos Reis, ISEG, University of Lisbon, PT
António Pedro Costa, University of Aveiro, PT
António Pereira, Polytechnic Institute of Leiria, PT
António Teixeira, University of Aveiro, PT
Armando Mendes, University of the Azores, PT
Arnaldo Martins, University of Aveiro, PT
Arturo J. Méndez, University of Vigo, ES
August Climent Ferrer, La Salle Open University, AD
Baltasar García Pérez-Schofield, University of Vigo, ES
Beatriz Rodríguez, Universidad de la Republica, UY
Beatriz Sainz de Abajo, University of Valladolid, ES
Bernabé Escobar-Pérez, Universidad de Sevilla, ES
Borga Bordel, Universidad Politécnica de Madrid, ES
Boris Almonacid, Global Change Science, CL
Bráulio Alturas, ISCTE - University Institute of Lisbon, PT
Brenda L. Flores-Rios, Universidad Autónoma de Baja California, MX
Brígida Mónica Faria, ESS, Polytechnic Institute of Porto, PT
Carlos Alexandre Silva, Federal Institute of Minas Gerais, PT

Carlos Costa, University of Aveiro, PT
Carlos Carreto, Polytechnic Institute of Guarda, PT
Carlos Morais, Polytechnic Institute of Bragança, PT
Carlos Vaz de Carvalho, Polytechnic Institute of Porto, PT
Carmen Galvez, University of Granada, ES
Carlos Rabadão, Polytechnic of Leiria, PT
Carlos Rompante Cunha, Polytechnic of Bragança, PT
Ciro Martins, University of Aveiro, PT
Claudio de la Riva, University of Oviedo, ES
Cristina MR Caridade, ISEC, Polytechnic of Coimbra, PT
Daniel Poland, University of Aveiro, PT
David Fonseca, Universitat Ramon Llull, ES
David Luis La Red Martínez, Universidad Nacional del Nordeste, AR
David Ramos Valcarcel, University of Vigo, ES
Debora Paiva, Federal University of Mato Grosso do Sul, BR
Diana Lancheros-Cuesta, Universidad de La Salle / Universidad Cooperativa de Colombia, CO
Diego Ordóñez-Camacho, Universidad Tecnológica Equinoccial, EC
Dora Simões, University of Aveiro, PT
Edna Dias Canedo, University of Brasilia, BR
Eduardo Amadeu Dutra Moresi, Catholic University of Brasilia, BR
Eduardo Sánchez Vila, University of Santiago de Compostela, ES
Emiliano Reynares, CIDISI - UTN FRSF - CONICET, AR
Enric Mor, Universitat Oberta de Catalunya, ES
Erika Upegui, Francisco José de Caldas District University, CO
Eusébio Ferreira da Costa, School of Fafe Technologies, PT
Fábio Marques, University of Aveiro, PT
Feliz Gouveia, Fernando Pessoa University, PT
Fernando Bandeira, Fernando Pessoa University, PT
Fernando Bobillo, University of Zaragoza, ES
Fernando Moreira, Universidade Portucalense, PT
Fernando Paulo Belfo, ISCAC, Polytechnic of Coimbra, PT
Fernando Ramos, University of Aveiro, PT
Fernando Ribeiro, Polytechnic of Castelo Branco, PT

Filipe Caldeira, Polytechnic of Viseu, PT
Filipe Montargil, Lisbon Polytechnic, PT
Filipe Portela, Universidade do Minho, PT
Francisco Javier Lena-Acebo, University of Cantabria, ES
Francisco Restivo, Universidade Católica Portuguesa, PT
Franyelit María Suárez, Universidad UTE, EC
Gabriel Alberto García-Mireles, Universidad de Sonora, MX
Gabriel Guerrero-Contreras, University of Cadiz, ES
Gerardo Gonzalez Filgueira, University of Coruña, ES
Germano Montejano, National University of San Luis, AR
Guilhermina Lobato Miranda, University of Lisbon, PT
Hélder Gomes, University of Aveiro, PT
Hélder Zagalo, University of Aveiro, PT
Helena Garbarino, Universidad ORT Uruguay, UY
Hélia Guerra, University of the Azores, PT
Henrique S. Mamede, Open University, PT
Higino Ramos, University of Salamanca, ES
Inês Domingues, CI-IPOP, PT
Isabel Pedrosa, Polytechnic Institute of Coimbra, PT
Isabel Lopes, Polytechnic of Bragança, PT
Isaura Ribeiro, University of the Azores, PT
Isidro Calvo, Universidad del País Vasco (UPV / EHU), ES
Ismael Etxeberría-Agiriano, Universidad del País Vasco (UPV / EHU), ES
Ivaldir de Farias Junior, University of Pernambuco, BR
Ivan Garcia, Universidad Tecnológica de la Mixteca, MX
João Paulo Ferreira, ISEC, Polytechnic of Coimbra, PT
João Reis, University of Aveiro, PT
João Roberto de Toledo Quadro, CEFET / RJ, BR
Jacinto Estima, European University, PT
Javier Garcia Tobio, CESGA-Supercomputing Center of Galicia, ES
Javier Medina, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, CO
Jeimy Cano, Universidad de los Andes, CO
Jezreel Mejia, Center for Research in Mathematics (CIMAT), MX
João Balsa, FC, University of Lisbon, PT

João Paulo Costa, University of Coimbra, PT
João Rocha da Silva, FEUP, University of Porto, PT
João Tavares, FEUP, University of Porto, PT
Joaquim Ferreira, University of Aveiro, PT
Joaquim Madeira, University of Aveiro, PT
Joaquim Pinto, University of Aveiro, PT
Joaquim Reis, ISCTE - University Institute of Lisbon, PT
Jorge Bernardino, ISEC, Polytechnic of Coimbra, PT
Jorge da Silva Correia-Neto, Federal Rural University of Pernambuco, BR
Jorge Pires, IBM R&D Labs - Prague, CZ
Jose Alfonso Aguilar, Universidad Autonoma de Sinaloa, MX
José Alvarez-Garcia, University of Extremadura, ES
José Borbinha, IST, University of Lisbon, PT
José Braga de Vasconcelos, Atlantic University, PT
José Carlos Ribeiro, Polytechnic of Leiria, PT
José Cascalho, University of the Azores, PT
José Felipe Cocón Juárez, Universidad Autónoma del Carmen, MX
Jose J. Pazos-Arias, University of Vigo, ES
José Luis Pardo Díaz, Global School of Business. Empowerment and Entrepreneurship, ES
José Luís Pereira, University of Minho, PT
José Luís Silva, Lisbon University Institute (ISCTE-IUL), PT
José Paulo Lousado, Polytechnic Institute of Viseu, PT
José Luis Pestrana Brincones, University of Malaga, ES
José Luís Reis, ISMAI - Instituto Superior da Maia, PT
Jose M Molina, Universidad Carlos III de Madrid, ES
José Machado, University of Minho, PT
Jose Maria Alvarez Rodríguez, Universidad Carlos III de Madrid, ES
Jose Maria de Fuentes, Universidad Carlos III de Madrid, ES
Jose RR Viqueira, University of Santiago de Compostela, ES
José Silvestre Silva, Military Academy, PT
José Torres, Fernando Pessoa University, PT
Josep M. Marco-Simó, Universitat Oberta de Catalunya, ES
Juan Angel Contreras Vas, University of Extremadura, ES

Juan D'Amato, PLADEMA-UNCPBA-CONICET, AR
Juan M. Santos Gago, University of Vigo, ES
Juan Manuel Fernández-Luna, Universidad de Granada, ES
Jugurta Lisboa-Filho, Federal University of Viçosa, BR
Leila Weitzel, Universidade Federal Fluminense, BR
Leonardo Bermon, Universidad Nacional de Colombia, CO
Leticia Morales Trujillo, Universidad de Sevilla, ES
Lucila Ishitani, PUC Minas, BR
Lucila Romero, Universidad Nacional del Litoral, AR
Luis Alvarez Sabucedo, University of Vigo, ES
Luís Bruno, Polytechnic Institute of Beja, PT
Luis Camarinha-Matos, New University of Lisbon, PT
Luís Cavique, Open University, PT
Luis Chamba Eras, Universidad Nacional de Loja, EC
Luís Ferreira, Polytechnic Institute of Cávado and Ave, PT
Luis Enrique Sánchez Crespo, University of Castilla-La Mancha, ES
Luis Vilán-Crespo, University of Vigo, ES
Luisa María Romero-Moreno, Universidad de Sevilla, ES
Luisa Miranda, Polytechnic Institute of Bragança, PT
Lus Sussy Bayona Ore, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, PE
Magdalena Arcilla Cobián, National University of Distance Education, ES
Manuel Fernández-Veiga, University of Vigo, ES
Manuel Jose Fernandez Iglesias, University of Vigo, ES
Marcelo Marciszack, Universidad Tecnológica Nacional, AR
Marcelo de Paiva Guimarães, Federal University of São Paulo, BR
Marco Painho, ISEGI, Universidade Nova de Lisboa, PT
Mari de los Milagros Gutierrez, National Technological University, AR
Maria Amelia Eliseu, Mackenzie Presbyterian University, BR
Maria Cecília Rosa, Polytechnic of Guarda, PT
Maria Cristina Marcelino Bento, UNIFATEA, BR
Maria do Rosário Bernardo, Open University, BR
Maria Helena Garcia Ruiz, University of Camtabria, ES
María J. Lado, University of Vigo, ES
Maria João Ferreira, University of Portugal, PT

Maria João Gomes, University of Minho, PT
Maria José Angélico, Polytechnic Institute of Porto, PT
Maria José Sousa, European University, PT
Marisol B. Correia, University of Algarve, PT
Maristela Holanda, University of Brasilia, BR
Martín Llamas Nistal, Universidad de Vigo, ES
Martín López Nores, Universidad de Vigo, ES
Matías García Rivera, University of Vigo, ES
Mercedes Ruiz, University of Cadiz, ES
Miguel A. Brito, University of Minho, PT
Miguel Bugalho, European University, PT
Miguel Casquilho, IST, University of Lisbon, PT
Mirna Ariadna Muñoz Mata, Center for Research in Mathematics (CIMAT), MX
Nelson Rocha, University of Aveiro, PT
Nuno Lau, University of Aveiro, PT
Nuno Melão, Polytechnic of Viseu, PT
Nuno Ribeiro, Fernando Pessoa University, PT
Oscar Mealha, University of Aveiro, PT
Patrícia Cabral de Azevedo Tedesco, Federal University of Pernambuco, BR
Patricia Dias, Minas Gerais State University, BR
Patrícia Oliveira, University of Aveiro, PT
Paula Prata, University of Beira Interior, PT
Paulo Martins, University of Trás-os-Montes and Alto Douro, PT
Paulo Pinto, FCT, Universidade Nova de Lisboa, PT
Paulo Rurato, Fernando Pessoa University, PT
Paulo Urbano, FC, University of Lisbon, PT
Pedro Araújo, University of Beira Interior, PT
Pedro Fernandes, Instituto Superior Miguel Torga, PT
Pedro Sánchez Palma, Universidad Politécnica de Cartagena, ES
Pedro Sanz Angulo, University of Valladolid, ES
Pedro Sobral, Fernando Pessoa University, PT
Pedro Sousa, University of Minho, PT
Pilar Mareca Lopez, Universidad Politécnica de Madrid, ES
Rui Rodrigues, Instituto Superior Miguel Torga, PT

Ramiro Delgado, Universidad de las Fuerzas Armadas, EC
Ramon Alcarria, Universidad Politécnica de Madrid, ES
Raul Laureano, ISCTE - University Institute of Lisbon, PT
Ricardo J. Rodríguez, University of Zaragoza, ES
Ricardo Linden, FSMA, BR
Rita Oliveira, University of Aveiro, PT
Rita Santos, University of Aveiro, PT
Roberto Theron, University of Salamanca, ES
Rodolfo Miranda Barros, State University of Londrina, BR
Rodrigo Rocha Silva, University of Coimbra, PT
Rogerio Garcia, Paulista State University, BR
Román Lara, Universidad de las Fuerzas Armadas, EC
Rubén González Crespo, Universidad Internacional de La Rioja, ES
Rui Cruz, IST, University of Lisbon, PT
Rui José, University of Minho, PT
Rui Pedro Marques, University of Aveiro, PT
Rui Pitarma, Polytechnic of Guarda, PT
Rui S. Moreira, Fernando Pessoa University, PT
Rute Abreu, Polytechnic of Guarda, PT
Samuel Sepúlveda, Universidad de La Frontera, CL
Samuel Silva, University of Aveiro, PT
Santiago Gonzales Sánchez, Universidad Inca Garcilaso de la Vega, PE
Sara Balderas-Díaz, Universidad de Cádiz, ES
Sara Paiva, Polytechnic of Viana do Castelo, PT
Saulo Barbara de Oliveira, Federal Rural University of Rio de Janeiro, BR
Sérgio F. Lopes, University of Minho, PT
Sergio Gálvez Rojas, University of Malaga, ES
Sérgio Guerreiro, Lusophone University of Humanities and Technologies, PT
Sérgio Nunes, ISEG, University of Lisbon, PT
Silvia Fernandes, University of Algarve, PT
Solange N Alves de Souza, University of São Paulo, BR
Telmo Silva, University of Aveiro, PT
Teresa Guarda, Santa Elena Peninsula State University, EC
Thiago Dias, CEFET-MG, BR

Valéria Farinazzo Martins, Universidade Presbiteriana Mackenzie, BR
Vania Baldi, University of Aveiro, PT
Verónica Vasconcelos, ISEC, Polytechnic of Coimbra, PT
Victor Flores, Universidad Católica del Norte, CL
Victor Hugo Medina Garcia, Francisco José de Caldas District University, CO
Vitor Carvalho, Polytechnic Institute of Cávado and Ave, PT
Vitor Santos, ISEGI, Universidade Nova de Lisboa, PT
Wagner Tanaka Botelho, Federal University of ABC, BR
Xose A. Vila, University of Vigo, ES

Editorial

Tendencias emergentes de la sostenibilidad ambiental, telecomunicaciones, industria y movilidad

Emerging trends in environmental sustainability, telecommunications, industry and mobility

Luis Álvarez-Rodas¹, Angel Torres-Toukourmidis¹

lalvarez@ups.edu.ec, atorrest@ups.edu.ec

¹ Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

Pages: xi-xii

El constante crecimiento tecnológico ha conllevado la circunscripción de nuevas problematizaciones de índole ecológico, comunicativo, empresarial y vehicular propugnando la configuración de escenarios orientados a remitir soluciones interdisciplinarias, que imbuidas en la globalización, se trasladan a promover experiencias y casos de estudio, que a pesar de las diferencias culturales e ideológicas, buscan confrontar episodios mediante descubrimientos que dinamizan la obtención de resultados cercanos a cada realidad.

Específicamente, se puede observar que en las tres etapas dispuestas por las tecnologías emergentes: introducción, penetración y potenciación (Moor, 2005) se procede en base a tres elementos comunes: ética, colaboración y repercusión social. En el primer elemento corresponde a la ética contiene fluctuaciones y es limitada según cada contexto. En especial cuando se trata temas tecnológicos se debe examinar de forma minuciosa la priorización de valores morales y su estandarización derivada en las normativas del proyecto y de la empresa. En otras palabras, las regulaciones existentes sobre el uso de internet en 1990 son diferentes a la noción actualizada del 2020.

Respecto a la colaboración, se pretende proponer alianzas tanto entre pares académicos como también con el sector empresarial, de ese modo se cumple con la arista científica, impulsando proyectos de otros grupos de investigación y posibilitando la toma de decisiones colectivas que faciliten el desarrollo de las tecnologías emergentes. En ese

tenor, la colaboración evidenciada desde la arista empresarial pretende conocer las necesidades de cada industria, proponiendo alternativas de innovación y mejora de los procedimientos y procesos técnicos mediante el apoyo de instituciones universitarias.

El último elemento común se enfoca en la repercusión final de las tecnologías en desarrollo, las mismas deben buscar de reproducción del impacto positivo en la sociedad a corto, mediano o largo plazo involucrando nuevos agentes de cambio y propinando así su difusión en nuevos entornos (Herrán-Gómez, Sastre Merino, & Torres-Toukourmidis, 2017), en definitiva, la repercusión de las tecnologías emergentes no debe únicamente medirse de acuerdo con el costo/beneficio económico, sino que debe también asentarse en otras variables como responsabilidad social, apoyo a las comunidades, capital humano invertido en los proyectos, entre otras.

Uno de los indicadores más relevantes para determinar el devenir de las tecnologías emergentes es el hiperciclo de Gartner (Burke, 2012), de hecho, la curva procede con 5 fases: desencadenante de la innovación, pico de expectativas infladas, depresión de la desilusión, pendiente de la iluminación y meseta de la productividad. Acompañado de las fases, también se presenta cada tecnología bajo una expectativa de tiempo, entre los que se encuentra: menos de 2 años, 2 a 5 años, 5 a 10 años, más de 10 años y obsoleto.

Por lo antedicho se admite que la curva de las tecnologías emergentes tiene un proceso diligente hacia la continuidad que buscan singularizarse estableciéndose como esencial en su respectivo mercado. Para muestra, se encuentra la gamificación que en el 2012 se vislumbraba como tecnología emergente, pero en el 2016 alcanzó la cumbre de productividad, siendo etiquetada como componente esencial para la educación del futuro (Torres-Toukourmidis, 2016).

La última curva de Gartner referente al 2019 presenta tecnologías para la sostenibilidad ambiental, telecomunicaciones, sector industrial y al área del transporte, particularmente, en el sector ambiental se coloca especial atención en los *biochips*, artilugio con sensores moleculares que se diferencia de los conocidos con anterioridad, por la ejecución de reacciones bioquímicas dentro de un organismo vivo. De forma complementaria y que en efecto depende sensitivamente a los cambios ambientales, se ubican los tejidos artificiales que corresponde a un biomaterial que permite la reconstrucción de pieles y cartílagos.

Para el ámbito de las telecomunicaciones se logran ubicar las *Edge Analytics* que implica la aproximación a un cálculo analítico automatizado de los datos en un sensor, un conmutador de red u otro dispositivo; la red generativa antagónica; sistemas de satélites de órbita terrestre baja, generación móvil 5G, aprendizaje automático adaptado y descentralización web.

Las características propias e hipersegmentadas del sector industrial implica claramente una variada gama de tecnologías en proceso de desarrollo, entre ellas están los espacios de trabajo inmersivos, la inteligencia emocional artificial, inteligencia artificial para servicios en la nube o también llamada IA PaaS, impresión 3D nano escala, cámaras de detección 3D, analíticas de gráficos, personificación-atribución de la naturaleza humana a objetivos y dispositivos-, entre otras. Por último, en el área del transporte se encuentran conducción autónoma nivel 4 y nivel 5, el nivel 4 significa que el vehículo es

capaz de desempeñar una conducción en circunstancias específicas y el nivel 5 implica el desempeño de tareas de conducción sin la interacción humana. Cabe igualmente destacar los *drones* de carga ligera y los vehículos autónomos voladores.

En suma, las tecnologías emergentes son oportunidades que atañen a la colectividad, planteando nuevos caminos hacia el saber común. De allí que hoy día se deben impulsar la promoción y difusión de los resultados mediante discursos directos y claros que permitan transversalizar el impacto de la ciencia y fomentar su adaptación a múltiples contextos.

Referencias

- Burke, B. (2012). Gamification 2020: What is the Future of Gamification? Connecticut. *Ethics and Information Technology*(7), 111-119.
- Herrán-Gómez, J., Sastre Merino, S., & Torres-Toukourmidis, Á. (2017). Radio mensaje para la gestión del sistema de riego en comunidades rurales indígenas de Ecuador. *Equidad y Desarrollo*, 1(28), 43-60.
- Moor, J. (2005). Why we need better ethics for emerging technologies. *Ethics and information technology*. *Ethics and Information Technology*, 7(3), 111-119.
- Torres-Toukourmidis, Á. (2016). *Evaluación de políticas públicas con técnicas de gamificación para la educación ciudadana*. Huelva: Universidad de Huelva.

Índice / Index

EDITORIAL

Tendencias emergentes de la sostenibilidad ambiental, telecomunicaciones, industria y movilidad	xi
<i>Luis Álvarez-Rodas, Angel Torres-Toukoudidis</i>	

ARTIGOS / ARTICLES

Desarrollo de un algoritmo para la detección de eventos durante la conducción basado en señales pid's obtenidas a través de OBD-II.....	1
<i>Oswaldo Neira Alvarado, Jorge Quito Ucho</i>	
Estudio numérico comparativo de la conductividad térmica del refrigerante R600a con nanopartículas de Al ₂ O ₃ y CuO.....	16
<i>Fernando Toapanta-Ramos, Andrés Lobato-Campoverde, William Quitiaquez, Luis Hernández-Revelo, Víctor Sánchez</i>	
Diseño de una mini central hidroeléctrica	30
<i>Vinicio Palomeque, Ismael Valdez, Nelson Jara, Fran Reinoso</i>	
Control de sanidad en juntas de aluminio soldadas mediante el proceso fricción-agitación (FSW)	44
<i>Royer Mendieta, David Montero, Fran Reinoso, Nelson Jara, César Nieto-Londoño</i>	
Corte en rocas y su relación con la resistencia a compresión simple	59
<i>Patricio Feijoo, Camila Iñiguez</i>	
Modelling and simulation of the behavior of a bioreactor for yogurt production	68
<i>Wilfredo Angulo, Christian Montoya, Cristina López, Ronnie Murillo</i>	
Análisis comparativo del rendimiento en el calentamiento de agua usando nanofluido CuO	81
<i>José Estupiñán-Campos, Fernando Toapanta-Ramos, Orlando Rosero</i>	
Implementation of Crowdsourcing as an integral element of communication engineering in the Smart City concept	97
<i>Lukasz Przysucha</i>	
Determinación de holgura de corte en chapa metálica mediante simulación en ANSYS.	109
<i>Víctor Cabrera, Jonathan Yépez, Luis Juiña, Nancy Moreno, Diana Carrera, Junior Ortiz</i>	
Implementación de un laboratorio de ensayo de bicicletas en el Ecuador.	125
<i>Hernán Morocho-Campos, Servio Astudillo-León, Nelson Jara-Cobos, Fran Reinoso-Avecillas</i>	

Extractos naturales una alternativa conservante en la industria cosmética.....	139
<i>Tatiana Mosquera Tayupanta, Alejandra Medrano Jara, María Elena Maldonado</i>	
Actinomicetos con capacidad de biotransformación de sales sódicas de ácidos biliares.....	150
<i>María Maldonado, Jessica Beltrán, Michelle Calvachi, Sebastián Espinel</i>	
Análisis temporal de mediciones de radiación no ionizante	159
<i>Fernando Espinoza-Pinto, Álex Lema-Romero, José Jaime-Carriel, Christopher Reyes-López</i>	
Estandarización de métricas de rendimiento para clasificadores Machine y Deep Learning.....	172
<i>Ricardo Borja-Robalino, Antonio Monleón-Getino, José Rodellar</i>	
Conocimiento ancestral agrícola de adultas mayores aplicado a huertos urbanos Cuenca-Ecuador	185
<i>David Calderón, Fredi Portilla</i>	
Borrosidad de transmisión y reflexión en un dispositivo de partículas suspendidas para niveles intermedios entre los estados ópticos claro y oscuro	197
<i>David Barrios, Carlos Álvarez, José Miquitama</i>	
Controlador de velocidad PID-2DOF-ACO para motor DC sobre plataforma ARM	205
<i>Sebastián Palacios, Sebastián Chiriboga, William Montalvo</i>	
Tratamiento de aguas residuales de la industria curtiembre mediante carbonización hidrotermal	217
<i>Diego Flores, Edwin Albacura, Jhonny Achote</i>	
Estudio Integral del Recurso Hídrico de la Microcuenca del Río Guarango, Cuenca – Ecuador	228
<i>Paola Duque-Sarango, Bolívar Hernández</i>	
Análisis de materia prima para revestimiento y recubrimientos con residuos de construcción	241
<i>Diego Carrión, Estuardo Correa, Edwin García</i>	
Modelo térmico para determinar la vida útil de un transformador de distribución sumergido en aceite	258
<i>David Cárdenas, David Paredes, Erwin Solano, Gary Ampuno</i>	
Cromatografía de gases en filtros ecológicos para cigarrillos y su biodegradabilidad.....	275
<i>Jonathan Lincango, Erika Mancero</i>	
Comparando formatos de lectura basado en señales electroencefalográficas	287
<i>Luiz Galarza, Klever Tepan, Ana Villa</i>	

Prevención de la contaminación por la fabricación de hormigones con nanopartículas	297
<i>Luis Morales, Farid Alvansazyazdi, Paúl Landázuri, Walter Vásconez</i>	
Diseño de órtesis activa para autorehabilitación de codo	313
<i>José Segnini, Daniel Vaca, Mary Vergara</i>	
Análisis de consumo energético en laboratorios por economía circular utilizando baterías NiHm	329
<i>Efrén Fernández</i>	
Predicción de gases de escape en motores Otto mediante la PME empleando RNA	339
<i>Wilmer Contreras, Yasmany Aguilar, Pablo León, Daniel Piña</i>	
Modelo matemático para la estimación de contaminantes de vehículos categoría M1 en etapas de funcionamiento en frío y caliente en la ciudad de Cuenca	354
<i>Edisson Cabrera, Daniel Patiño</i>	
Análisis de emisiones contaminantes originados por el parque automotor en Cuenca.....	364
<i>Néstor Rivera, Chris Mata, José Lalangui, Andrea Bermeo, Luis Valdez, Jhon Morocho</i>	
Caracterización del Parque Automotor Perteneiente a la Categoría M1 del Cantón Cuenca en Función a sus Propiedades Constructivas y Niveles de Emisión	381
<i>Joselyn Morales, Gabriel Rodríguez, Néstor Rivera, Karina Bermeo</i>	
Análisis de una Red con Protocolo CAN para Detección de Fallas	391
<i>Héctor García, Efrén Fernández</i>	

Desarrollo de un algoritmo para la detección de eventos durante la conducción basado en señales pid's obtenidas a través de OBD-II

Oswaldo Neira Alvarado¹, Jorge Quito Ucho¹

oneiraa@est.ups.edu.ec, jquitou@est.ups.edu.ec

¹ Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

Pages: 1–15

Resumen: El artículo que se presenta a continuación describe el desarrollo de un algoritmo para detectar cuatro eventos representativos: aceleración, desaceleración, cruce y ralentí; dentro de ciclos de conducción de vehículos en el casco urbano de la ciudad de Cuenca en circunstancias reales de tráfico. Para la obtención de datos de la operación real de conducción se utiliza el dispositivo Freematics One +, luego los mismos se analizan y se estudian basados en lo que se denominó microciclos de movimiento reales. Con el desarrollo del algoritmo se obtienen microciclos idealizados partiendo de los microciclos reales. De acuerdo con su morfología se clasifican apoyados en tipologías representativas de cada uno de los microciclos idealizados. Después de obtener microciclos idealizados se determinan variables dependientes a partir de las variables independientes característicos de cada tipología. El beneficio de este proyecto será una pieza fundamental para trabajos posteriores a fin de reducir las emisiones contaminantes provenientes de los gases de escape y el consumo de combustible.

Palabras-clave: Recopilación de datos; ciclos de conducción; morfología; microciclo real; microciclo idealizado.

Development of an algorithm for the detection of events during driving based on pid's signals obtained through OBD-II

Abstract: The following article describes the development of an algorithm to detect four representative events: acceleration, deceleration, cruising, and idling; within cycles of driving vehicles in the urban area of the city of Cuenca in real traffic circumstances. To obtain data from the actual driving operation the Freematics One+ device is used, then the freematics are analyzed and studied based on what was called actual motion microcycles. With the development of the algorithm, idealized microcycles are obtained from the actual microcycles. According to their morphology they are classified based on typologies representative of each of the idealized microcycles. After obtaining idealized microcycles, dependent variables are determined from the independent variable's characteristic of each typology. The benefit of this project will be a critical part for further work to reduce emissions from exhaust gases and fuel consumption.

Keywords: Data collection; driving cycles; morphology; real microcycle; idealized microcycle.

1. Introducción

Los ciclos de conducción son necesarios para la estimación de las contaminantes generados por los vehículos para las pruebas y certificación de emisiones, además para evaluar la contaminación por gases del transporte por carretera; los cuales se basan en el conocimiento de las emisiones específicas de los vehículos, por lo regular se miden en un banco de pruebas, utilizando ciclos de conducción únicos para diferentes tipos de vehículos y carreteras (Arun, Mahesh, Ramadurai, & Nagendra, 2017); (André, Joumard, Vidon, Tassel, & Perret, 2006).

Los ciclos de pruebas de vehículos liviano FTP-75 y NEDC se utilizan en los procedimientos de prueba de emisiones de EE.UU y europeos respectivamente, a principios de la década de 1990, se descubrió que el ciclo de prueba FTP-75 no cubre más del 15% de las condiciones y el comportamiento de conducción en la vida real, tales como los estilos de conducción (Pathak, Sood, Singh, & Channiwal, 2016); (Berry, 2010). Según Sundbom y Sjöberg (2013); Vaitkus, Lengvenis y Žylius (2014); Wang, Xi, Chong y Li (2017); Žylius (2017), Han, Wang, Li y Xi (2018); y (Bose, J. Dutta, Ghosh, Pramanick y Roy (2018) se pueden dividir en normal y agresivo por esta razón al conocer las diversas características que existen al momento de ejecutar ciertos estilos de conducción, de la cual se puede extraer información útil sobre el estilo de conducción utilizando señales del acelerómetro, siendo así una manera de conseguir información mediante diagnóstico inteligente, por ejemplo, realizar detecciones en etapas iniciales de la condición de falla (Abbas, Ferri, Orchard, & Vachtsevanos, 2007).

Con la misma finalidad de analizar los efectos del estilo de conducción y el consumo de combustible de los vehículos en el mundo real, el investigador Jun et al. indicaron que el consumo y emisiones de gases contaminantes provenientes del combustible, tiene una correlación con el desempeño de conducción caracterizada por fuertes aceleraciones y frenado (Liu & Khatkhat, 2017), además el estudio de Lin y Niemeier (2003); Hung, Tong, Lee y Pao, (2007); y Kamble, Mathew y Sharma (2009), [13]–[15] determinaron que los patrones de conducción varían en diferentes tipos de vehículos, diferentes condiciones de tráfico, de una ciudad a otra y de un área a otra, los ciclos de conducción disponibles que se obtienen para ciertas ciudades o países, generalmente no son aplicables para otras ciudades y países, surgiendo la necesidad de ciclos de conducción específicos para una ciudad, por ejemplo se introdujeron “microciclos” a fin de desarrollar ciclos de manejo representativos para el área de la zona ribereña de Toronto (Amirjamshidi & Roorda, 2015).

También, se ha desarrollado en base al análisis estadístico de los datos de conducción, que contiene la Matriz de Probabilidad de Aceleración de Velocidad (SAPM) el cual es un método que requiere grandes cálculos para la selección de los “microciclos” representativos. En este método, los SAPM de todos los “microciclos” deben construirse por separado y por último compararse con el SAPM total para clasificarlos (Montazeri-Gh & Naghizadeh, 2007).

La investigación de Fotouhi y Montazeri-Gh propone un nuevo enfoque para el desarrollo del ciclo de conducción de Teherán basado en la agrupación de datos de conducción en

cual se calcula dos funciones de manejo “velocidad promedio” y “porcentaje de tiempo de inactividad”, en este método para el desarrollo del ciclo de conducción necesita menos cálculos en comparación con el método SAPM (Fotouhi, 2013).

Los esfuerzos para crear ciclos de conducción específicos son de gran interés para reducir las emisiones contaminantes, así lo demuestra un estudio desarrollado por Jiménez et al., en donde se ha realizado la construcción de ciclos de conducción poligonales aplicables a autobuses, la metodología no emplea un solo ciclo para representar a todo el conjunto de recorridos, ya que, puede existir cambios característicos entre ellas y en efecto un ciclo único sería insuficiente para representar la mayor parte de las características de las líneas de autobuses urbanos en Madrid (Jiménez, Román, & J., 2013).

El estudio de estos trabajos previos permite observar la ausencia de una metodología sistemática de análisis para la identificación de eventos de conducción de manera automática en una zona específica, por esta razón mediante la obtención de microciclos idealizados permite conseguir una solución general del ajuste entre microciclos reales y microciclos idealizados para llegar a detectar eventos en ciclos de conducción de manera automática y aplicable para cualquier lugar geográfico, cabe indicarse que es basado únicamente en una muestra limitada de vehículos de la categoría M1 por el motivo de su fácil accesibilidad, además se puede aplicar a cualquier tipo de vehículos que dispongan el sistema OBD-II.

2. Metodología

2.1. Enfoque del desarrollo para la detección de eventos de los ciclos de conducción

En este documento, el desarrollo del algoritmo para la detección de eventos de ciclos de conducción se realizó mediante el análisis de gráficas velocidad-tiempo en donde se tomaron en cuenta factores como los picos con valores máximos y mínimos, así también como el número de picos que tiene cada una, la amplitud de las mismas y por último el área bajo la curva. Los datos de conducción se basaron en las señales PID's que se consiguen de varios sensores del vehículo. Para la recopilación de datos de conducción se utilizaron taxis con recorridos que rondan los 200 km por día, además esto se realizó en condiciones de tráfico real. Las señales obtenidas se fragmentaron en pequeñas partes llamadas “microciclos” sin antes haber filtrado la señal del sensor VSS (Sensor de velocidad del vehículo). Seguidamente, se analizaron las características que poseen los microciclos, para idealizarlo de acuerdo a la morfología. Luego, de acuerdo a cada tipología se determinaron parámetros como el tiempo total, velocidad media, tiempo de la aceleración inicial, tiempo de la desaceleración final, distancia total, distancia de la aceleración inicial, distancia de la desaceleración final, espacio de velocidad constante. Posteriormente, se obtuvieron un modelo matemático para la estimación de los diferentes tipos de morfologías. El diagrama de flujo del enfoque propuesto de este estudio del desarrollo de un algoritmo para la detección de eventos en los ciclos de conducción se muestra en la Figura 1. Los pasos del procedimiento se describen en las siguientes secciones.

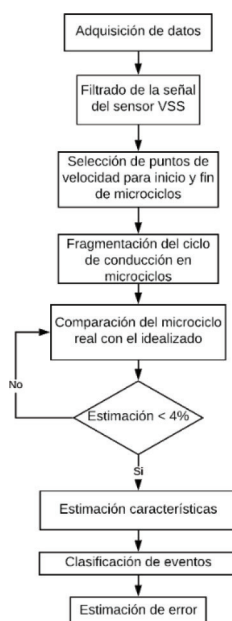


Figura 1 – Diagrama de flujo del enfoque del desarrollo para la detección de eventos de los ciclos de conducción.

2.2. Recopilación de datos

La recolección de datos de conducción se lo realizó en condiciones más apegadas al tráfico real, por lo que se emplea un equipo oculto para evitar que el conductor cambie sus hábitos de manejo (Hjälmdahl & Várhelyi, 2004).



Figura 2 – Freematics One plus + GPS.

Este documento utilizó el dispositivo Freematics One + que se muestra en la Figura 2 el cual es un dispositivo avanzado para el seguimiento y monitoreo de vehículos el cual entrega los datos de conducción en formato .CSV (valores separados por comas), además la adquisición de datos se realizó de 10 vehículos de la categoría M1, los mismos que laboran como taxis teniendo así periodos de recorridos largos de funcionamiento llegando a adquirir 2400 km de recorrido aproximadamente.

2.3. Filtrado de la señal del sensor de velocidad VSS

Después de obtener los datos de operación de los vehículos, los datos del sensor VSS (sensor de velocidad del vehículo) fueron preprocesados mediante el uso del filtro de Savitzky–Golay el cual se basa en el cálculo de una regresión polinomial para eliminar el punto de error causado por la falla de la adquisición por el dispositivo, el cual se da por el ruido que aparece debido a las vibraciones que produce la calzada irregular existente en ciertos tramos de los recorridos de la ciudad, todo esto hace que la señal se corrompa; en consecuencia de lo que sucede se procedió a filtrar la señal comparando los datos normales de funcionamiento con los datos adquiridos del vehículo con el Freematics One +.

El filtrado se lo realiza cuando se presenten dos casos, el primero es como ya se dijo antes, por las vibraciones que se transmiten al vehículo y el segundo caso se lo realiza para eliminar pendientes infinitas que da la señal, estas son causadas al haber distintos puntos en un mismo tiempo y son perjudiciales al momento de trabajar con ellas, como muestra en la Figura 3 realizado a la señal de las revoluciones del motor.

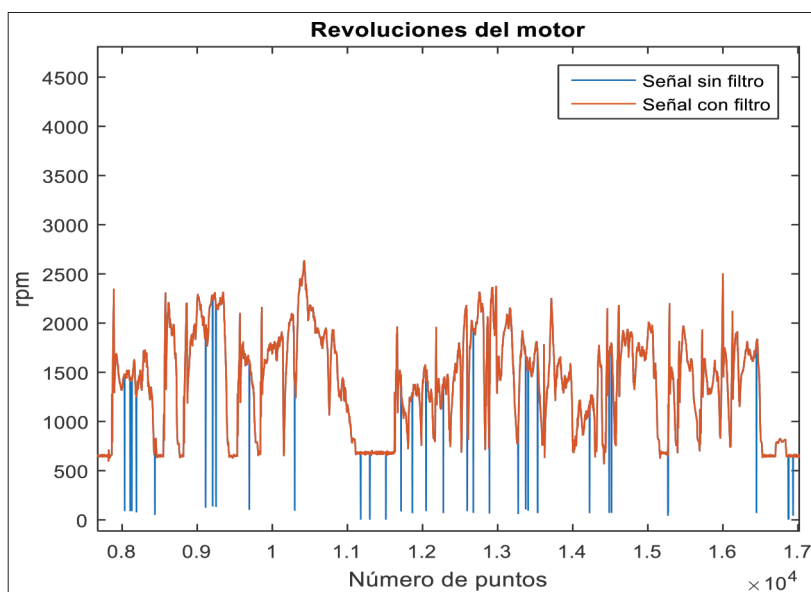


Figura 3 – Filtrado de la señal de las rpm del motor.

Con el fin de analizar los datos de conducción, se propuso la partición de un ciclo en “microciclos”, donde un microciclo es una zona entre dos puntos de tiempo sucesivos en los que se detiene el vehículo. Esta parte del movimiento consiste en los modos de aceleración, cruce y desaceleración. Convencionalmente, un periodo de ralentí se ubica al comienzo de un microciclo, en la Figura 4 se muestra un periodo de conducción en una etapa de funcionamiento que contiene 6 microciclos. En este estudio, los siguientes parámetros fueron esenciales para el análisis de microciclos [17].

Velocidad (km/h)

Tiempo (s)

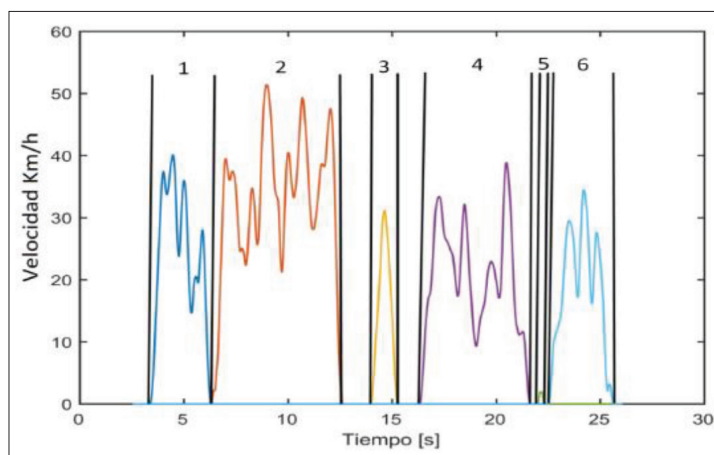


Figura 4 – Ciclo de conducción segmentado en microciclos.

Los microciclos de conducción se obtienen al segmentar el ciclo completo, en donde se consiguen microciclos con velocidad y ralentí.

Luego de segmentar el ciclo completo de recorridos de los vehículos, se disponen a ser preprocesados, para ello se utiliza técnicas para idealizar los datos de velocidad obtenidos a través del dispositivo Freematics One + que se explica a continuación.

2.4. Proceso de idealizado para microciclos

Para desarrollar el algoritmo que ayuda a obtener el microciclo idealizado apropiado de los microciclos correspondientes a ciclos de conducción importados al software matemático MATLAB se sigue un proceso específico y ordenado.

Primero, se parte de los microciclos de conducción que se consiguió en el punto anterior en el que se estableció un tiempo acumulativo a todo el ciclo de conducción. A partir del mismo, se realiza la estimación de la amplitud e identificación de puntos de valor máximos y mínimos de microciclos reales apartados del resto descartando microciclos de parada previa y la siguiente al microciclo.

Siendo así, en cada microciclo real, se consiguen las pendientes que se encuentran entre los valores de velocidad. Al completar esto, se adecuan las pendientes en el que la diferencia sea menor al 4 % entre el microciclo real e idealizado obteniendo el resultado de microciclos idealizados pertenecientes respetivamente al microciclo real. El proceso a seguir es el expuesto en la Figura 5.

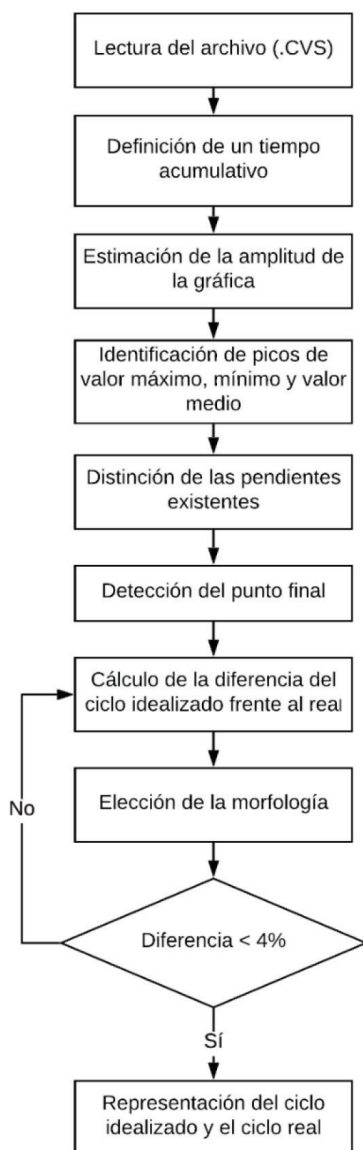


Figura 5 – Flujograma del proceso de idealizado de los ciclos de conducción.

2.5. Tipos de microciclos de acuerdo a su morfología

Las principales tipologías de microciclos basadas en la gráfica de la función velocidad-tiempo se pueden apreciar en la Figura 6.

Morfología	Tipología	Morfología	Tipología
	1		4
	2		5
	3		6

Figura 6 – Principales tipos de microciclos basados en su morfología.

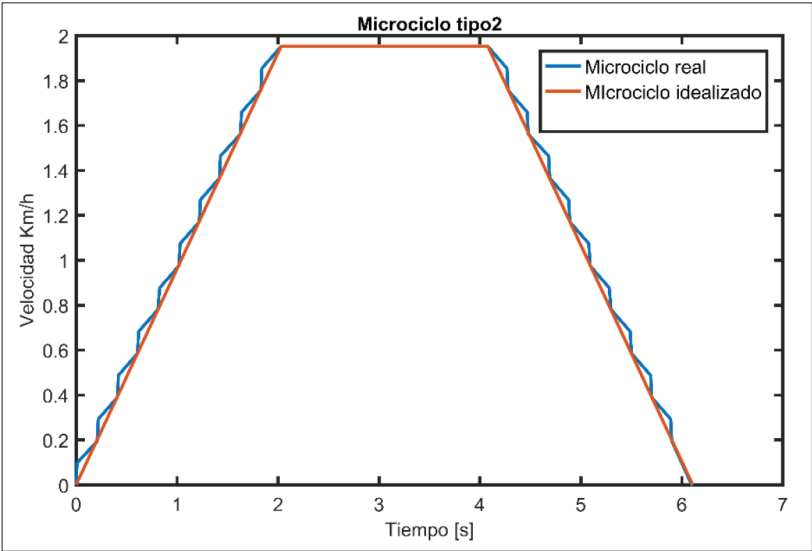


Figura 7 – Microciclo de movimiento real e idealizado.

En el siguiente ejemplo se va a explicar el proceso para obtener la morfología tipo dos, en primer lugar se establece un tiempo acumulativo que sirve para que el tiempo de cada gráfica arranque desde cero y se incremente de manera progresiva, a continuación se identifica el punto de valor máximo de la gráfica, después se compara el valor del punto máximo con los valores siguientes, buscando la igualdad entre estos para así obtener la forma de paralelogramo, para verificar que la forma es correcta se analiza la amplitud para encontrar el número de picos que tiene la gráfica, al hacer todo esto para terminar la gráfica del microciclo se busca el punto final.

Existen microciclos con un gran número de picos de puntos máximos en donde la tipología dos es la ideal para caracterizarlo, para esto se realiza un proceso diferente. Se establece el punto de inicio de la gráfica, luego se examina la amplitud y se encuentran los picos existentes, si existe un gran número de estos, se encuentran los puntos de los valores máximos para luego sacar una media de todos estos, estableciendo así un valor máximo medio para tener la morfología. Luego de realizar todo el proceso descrito anteriormente se obtiene la Figura 7 que pertenece a la morfología tipo dos.

3. Resultados y discusión

Al analizar de manera detallada las propiedades de las tipologías, donde los microciclos de tipología 1 y 2 fueron de mayor frecuencia por lo tanto los más característicos de los ciclos de conducción. Los valores de las variables que son dependientes se calcularon partiendo de las variables independientes descritas en las Tablas 1, 2, 3 y 4.

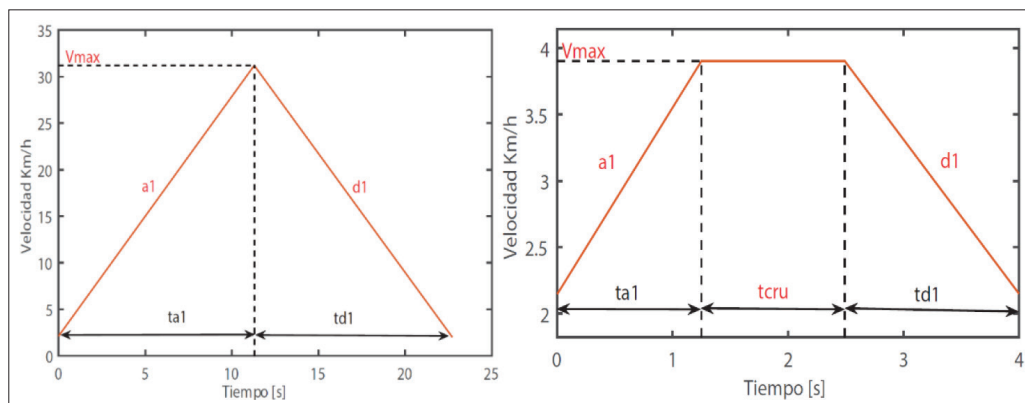


Figura 8 – Morfología con las variables características del microciclo de tipo 1 y 2 respectivamente.

Variables independientes	Nomenclatura	Variables dependientes Descripción	Ecuación
$V_{\max}$	V_{media}	Velocidad media	$\frac{\int_{t_i}^{t_f} f_x}{t}$
a_1	t_{a1}	Tiempo de aceleración 1	$\frac{V_{\max}}{a_1}$
d_1	t_{d1}	Tiempo de desaceleración 1	$-\frac{V_{\max}}{d_1}$
t_{cru}	$t(\text{tipo1})$	Tiempo total	$t_{a1} + t_{d1}$
	$t(\text{tipo2})$	Tiempo total	$t_{a1} + t_{\text{cru}} + t_{d1}$

Tabla 1 – Variables del microciclo de tipología 1 y 2.

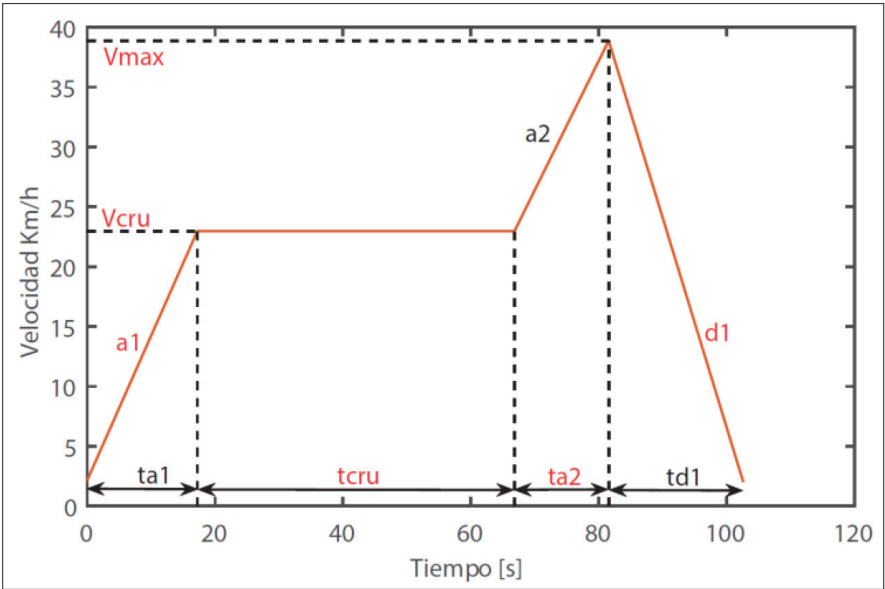


Figura 9 – Morfología con las variables características del microciclo de tipo 3.

Variables independientes	Nomenclatura	Variables dependientes Descripción	Ecuación
V_{max}	V_{media}	Velocidad media	$\frac{\int_{ti}^{tf} f(x)}{t}$
a_1	t	Tiempo total	$t_{a1} + t_{cru} + t_{a2} + t_{d1}$
d_1	t_{a1}	Tiempo de aceleración 1	$\frac{V_{cru}}{a_1}$
t_{cru}	t_{d1}	Tiempo de desaceleración 1	$-\frac{V_{max}}{d_1}$
	a_2	Aceleración 2	$\frac{V_{max} - V_{cru}}{t_{a2}}$

Tabla 2 – Variables del microciclo de tipología 3.

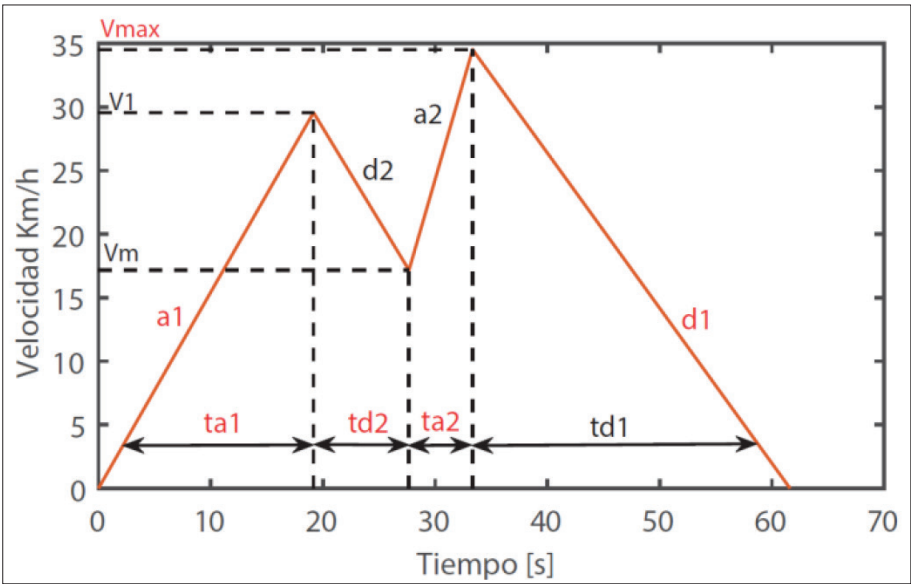


Figura 10 – Morfología con las variables características del microciclo de tipo 5.

Variables independientes	Nomenclatura	Variables dependientes Descripción	Ecuación
V_{max}	V_{media}	Velocidad media	$\frac{\int_{ti}^{tf} f x}{t}$
t_{a1}	t	Tiempo total	$t_{a1} + t_{d2} + t_{a2} + t_{d1}$
t_{a2} t_{d2}	t_{d1}	Tiempo de desaceleración 1	$-\frac{V_{max}}{d_1}$
a_1 d_1	a_2	Aceleración 2	$\frac{V_{max} - a_1 t_{a2} - d_2 t_{d2}}{t_{a2}}$

Tabla 3 – Variables del microciclo de tipología 5.

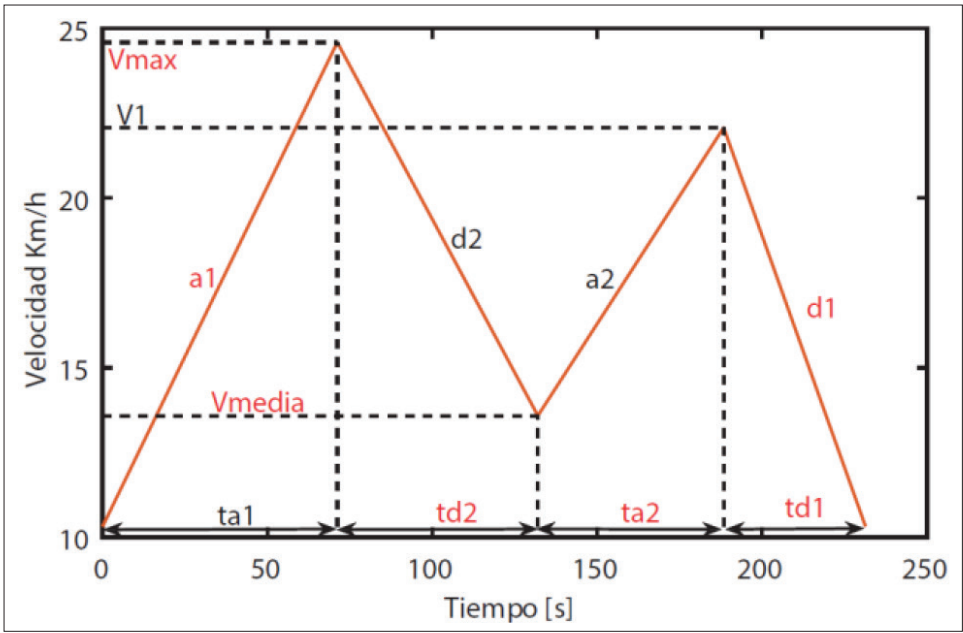


Figura 11 – Morfología con las variables características del microciclo de tipo 6.

Variables independientes	Nomenclatura	Variables dependientes Descripción	Ecuación
V_{max}	V_{media}	Velocidad media	$\frac{\int_{ti}^{tf} f_x}{t}$
t_{a1}	t	Tiempo total	$t_{a1} + t_{d2} + t_{a2} + t_{d1}$
t_{a2} t_{d2}	t_{d1}	Tiempo de desaceleración 1	$\frac{V_{max}}{a1}$
a_1 d_1	a_2	Aceleración 2	$-\frac{V_{max} - a_1 t_{a2} - d_2 t_{d2}}{t_{a2}}$

Tabla 4 – Variables del microciclo de tipología 6.

4. Conclusiones

En este artículo se ha desarrollado un algoritmo que detecta eventos tales como la aceleración, desaceleración, cruce y ralentí, basado en la particularidad del tráfico en la ciudad de Cuenca, donde un aspecto fundamental a tener en cuenta es que la tipología 1 y 2 de los microciclos son de mayor frecuencia, llegando a demostrar la existencia de irregularidad geográfica que se tiene en la ciudad que se traduce en aceleraciones extensas, lo que genera un mayor consumo de combustible y por ende una mayor contaminación.

La utilización del algoritmo en vehículos de categoría M1 para la aproximación realizada entre microciclos de movimiento real con respecto a microciclos de movimiento idealizados brinda resultados positivos, ya que, se elimina el ruido en el microciclo idealizado reduciendo el error en el porcentaje de aproximación, esto se puede corroborar de forma visual en la Figura 7.

Al ampliar el rango para la selección de puntos de velocidad para el inicio y fin de los microciclos se produce el incremento de microciclos y la disminución del porcentaje de error existente entre las áreas bajo la curva de la gráfica del microciclo real con respecto al microciclo idealizado.

Este enfoque es adecuado para desarrollar ciclos de conducción urbanos, el mismo que puede ser utilizado para estudiar cualquier ciudad al tomar muestras o recorridos en la misma, de igual modo para evaluar el consumo de combustible y emisiones de escape, para trabajos futuros se puede crear una base de datos con los eventos de conducción detectados por el algoritmo, para comparar entre tipologías del vehículo con un correcto e incorrecto funcionamiento, de esta manera se podría encontrar fallos no detectados por la ECU y al corregirlos se tendría una reducción de consumo de combustible y contaminación por gases de escape.

Referencias

- Abbas, M., Ferri, A., Orchard, M., & Vachtsevanos, G. (2007). An intelligent diagnostic/prognostic framework for automotive electrical systems. *2007 IEEE Intelligent Vehicles Symposium* (págs. 352-357). IEEE.
- Amirjamshidi, G., & Roorda, M. (2015). Development of simulated driving cycles for light, medium, and heavy duty trucks: Case of the toronto waterfront area. *Transportation research part D: transportand environment*, 34, 255-266.
- André, M., Joumard, R., Vidon, R., Tassel, P., & Perret, P. (2006). Real-world european driving cycles, formeasuring pollutant emissions from high-and low-powered cars. *Atmospheric Environment*, 40(31), 5944-5953.
- Arun, N., Mahesh, S., Ramadurai, G., & Nagendra, S. (2017). Development of driving cycles for passenger cars and motorcycles in chennai, india. *Sustainable cities an society*, 32, 508-512.
- Berry, I. (2010). *The effects of driving style and vehicle performance on the real-world fuel consumption of us light-duty vehicles*. (P. dissertation, Ed.) Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.
- Bose, B., J. Dutta, J., Ghosh, S., Pramanick, P., & Roy, S. (2018). D&rsense: Detection of driving patternsand road anomalies. *2018 3rd International Conference On Internet of Things: Smart Innovation and Usages (IoT-SIU)*, (págs. 1-7).
- Fotouhi, A. a.-G. (2013). Tehran driving cycle development using the k-means clustering method. *Scientia Iranica*, 20(2), 286-293.
- Han, W., Wang, W., Li, X., & Xi, J. (2018). Statistical based approach for driving style recognition using bayesian probability with kernel density estimation. *IET Intelligent Transport Systems*, 13(1), 22-30.
- Hjälmdahl, M., & Várhelyi, A. (2004). Validation ofin-car observations, a method for driver assessment. *Transportation research part A: policy and practice*, 38(2), 127-142.
- Hung, T., Tong, H., Lee, C. H., & Pao, L. (2007). Development of a practical driving cycle construction methodology: A case study in hong kong. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 12(2), 115-128.
- Jiménez, F., Román, A., & J., L. (2013). Determinación de ciclos de conducción en rutas urbanas fijas. *Dyna Ingeniería e Industria*, 88(6), 681-688.
- Kamble, H., Mathew, T., & Sharma, G. (2009). Development of real-world driving cycle: Case study of pune, india. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14(2), 132-140.
- Lin, J., & Niemeier, D. (2003). Regional driving characteristics, regional driving cycles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 8(5), 361-381.

- Liu, J., & Khattak, A. W. (2017). A comparative study of driving performance in metropolitan regions using large-scale vehicle trajectory data: Implications for sustainable cities. *International Journal of Sustainable Transportation*, 11(3), 170-185.
- Montazeri-Gh, M., & Naghizadeh, M. (2007). Development of the tehran car driving cycle. *International journal of environment and pollution*, 30(1), 106-118.
- Pathak, S., Sood, V., Singh, Y., & Channiwalla, S. (157-176 de 2016). Real world vehicle emissions: Their correlation with driving parameters. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 44.
- Sundbom, M., P., F., & Sjöberg, J. (2013). Online driver behavior classification using probabilistic arx models. in *16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC2013)*, 1107-1112.
- Vaitkus, V., Lengvenis, P., & Žylius, G. (2014). Driving style classification using long-term accelerometer information. in *2014 19th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR)*, 641-644.
- Wang, W., Xi, J., Chong, A., & Li, L. (2017). Driving style classification using a semisupervised supportvector machine. *IEEE Transactions on Human Machine Systems*, 47(5), 650-660.
- Zylius, G. (2017). Investigation of route-independent aggressive and safe driving features obtained from accelerometer signals. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 2, 103-113.

Estudio numérico comparativo de la conductividad térmica del refrigerante R600a con nanopartículas de Al_2O_3 y CuO

Fernando Toapanta-Ramos¹, Andrés Lobato-Campoverde¹, William Quitiaquez¹,
Luis Hernández-Revelo¹, Víctor Sánchez¹

ltoapanta@ups.edu.ec, clobato@est.ups.edu.ec, wquitiaquez@ups.edu.ec,
lhernandezr2@est.ups.edu.ec, vsancheza1@est.ups.edu.ec.

¹ Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

Pages: 16–29

Resumen: El presente artículo tiene como objetivo aportar una mejora en la transferencia de calor de los refrigerantes hidrocarburos debido a la gran necesidad de remplazar a los refrigerantes HFC, los cuales han generado un daño significativo en la capa de ozono, es así que se llevó a cabo una comparación numérica para el parámetro de conductividad térmica en el isobutano R600a adicionando dos diferentes nanopartículas con el fin de conocer cuál de estas mezclas presentó una mejora sustancial en su funcionamiento, para esto se ha requerido del software de simulación comercial ANSYS fluent ya que en este se encuentran los modelos de energía, fase discreta, inyección y turbulencia para garantizar los resultados. En el desarrollo de la simulación se determinó una fracción volumétrica de nanopartículas hasta el 5%. Las condiciones del fluido base y de las nanopartículas se describe en el documento. La simulación presentó que para las condiciones dadas el nanorefrigerante R600a/ Al_2O_3 tienen una mejor conductividad térmica, comparando con el R600a/ CuO y el refrigerante base

Palabras-clave: Refrigerantes; nanopartículas; conductividad; turbulencia; ANSYS.

Comparative numerical study of the thermal conductivity of the R600a refrigerant with nanoparticles of Al_2O_3 and CuO

Abstract: This article aims to contribute to an improvement in the heat transfer of hydrocarbon refrigerants due to the great need to replace HFC refrigerants, which have generated significant damage to the ozone layer, so it was carried out a numerical comparison for the parameter of thermal conductivity in the isobutane R600a adding two different nanoparticles in order to know the parameters of these mixtures that present an improvement in their operation, for this it has been required of the commercial simulation software ANSYS fluid since In this are the models of energy, discrete phase, injection and turbulence to find the results. In the development of the simulation a volumetric fraction of nanoparticles was determined up to 5%. The conditions of the base fluid and the nanoparticles are

described in the document. The simulation showed that for the conditions given, the R600a/Al₂O₃ nanorefrigerant has a better thermal conductivity, compared to the R600a/CuO and the base refrigerant.

Keywords: Refrigerants; nanoparticles; conductivity; turbulence; ANSYS.

1. Introducción

Para autores como Uddin y Rasel (2019); Chang, Liu y Tai (2011); Coumaressin y Palaniradja (2014); Karami, Akhavan-Behabadi, Raisee y Dehkordi (2016); Rostami, Nadooshan y Raisi (2019); Mohammadpoor, Sabbaghi, Zerafat y Manafi (2019); Singh, Gangacharyulu y Bulasara (2018) y Hechavarría, Delgado y Pazmiño (2017), en los últimos años el desarrollo e investigación de nanopartículas aplicadas a refrigerantes ha incrementado significativamente, tanto en el sector industrial como doméstico. La búsqueda de refrigerantes sustitutos eficientes que tengan un alto coeficiente de transferencia de calor y conductividad térmica se han convertido en uno de los principales objetivos de las ingenierías. Diferentes artículos científicos demuestran que la dispersión de nanopartículas de TiO₂, Al₂O₃, SiO₂ y CuO en un refrigerante puede aumentar las propiedades térmicas de manera eficiente.

En estudios anteriores se comprobó que el coeficiente de transferencia de calor de los nanofluidos aumenta, dando así una notable mejora a base de los refrigerantes CFC, HCFC y HFC. Debido a problemas ambientales como agotamiento en la capa de ozono y el calentamiento global, se ha realizado nuevos estudios con refrigerantes naturales como el amoníaco (R-717), el dióxido de carbono (R-744) y los hidrocarburos como el isobutano (R-600a) para dar un paso adelante a los CFC, HCFC y los HFC (Akhavan-Behabadi, Nasr, & Baqeri, 2014); (Zuñiga-Puebla, Vallejo-Coral, & Vega, 2018).

Baqeri, Akhavan-Behabadi y Ghadimi (2014) señalan en su estudio que, el coeficiente de transferencia de calor por ebullición convectiva incrementa al aumentar la fracción de masa en las nanopartículas de óxido de cobre hasta un 2%, mientras que al aumentar la fracción de masa de las nanopartículas de óxido de cobre disminuye en un 5%.

Fadhilah, Marhamah y Izzat (2014) indican en su trabajo la eficiencia de los refrigerantes avanzados a partir de nanopartículas de CuO, obteniendo una conductividad térmica de 0.0139 W/mK a una temperatura de 26 °C. La suspensión de la fracción de volumen del 1% de las nanopartículas de óxido de cobre en el refrigerante, incrementó la conductividad térmica en un rango de 3.53 a 8.38% con el 5% de fracción volumétrica.

La investigación realizada por Shanmugasundaram, Vandaarkuzhali y Elansezhian (2015), para un sistema de aire acondicionado aplicando a diferentes nanopartículas de ZnO, CuO y Al₂O₃, con base en el refrigerante R-22. Demostró que el nanorefrigerante R22/ CuO es más eficiente, sometido a condiciones de presión de 0 a 10 bar, temperatura entre -500°C y 1990°C, con un tamaño de nanopartículas 50 nm.

Mahbulul et al (2015), en su investigación muestra, el incremento de la conductividad térmica del refrigerante R134a mezclado con nanopartículas de Al₂O₃, Obteniendo una mejora máxima de 28,58% en comparación con el fluido base, Ratificando los resultados obtenidos en la investigación previa de Alawi, Salih y Mallah (2019), que muestran en su

experimentación una mejora máxima del 28.88% en la conductividad térmica en rangos de temperaturas de $10^{\circ}C$ a $35^{\circ}C$ y variación de fracción de volumen del 1% a 4%.

Las experimentaciones previas con nanorefrigerantes indican una mejora en COP aproximadamente un 19% y 22% utilizando nanopartículas de Al_2O_3 y refrigerante base R290 como lo dicen Jaffri, Dondapati, Bhat y Vyas (2018) en su publicación. Otro experimento realizado por Alawi et al (2019) muestra que, utilizando R141b como fluido base y nanopartículas de Al_2O_3 se obtuvo una mejora máxima en el COP 15.13%.

En el presente artículo se tiene como objetivo realizar un análisis numérico comparativo, mediante el uso del software ANSYS fluent y el modelo matemático de fase discreta, que permita determinar la transferencia de calor y conductividad térmica de dos nanorefrigerantes, con base en las nanopartículas de Al_2O_3 y CuO respectivamente incorporadas en el refrigerante R600a como fluido base.

2. Métodos

En el presente estudio se ha previsto el diseño de un intercambiador de calor de tubos concéntricos, bajo el arreglo a contraflujo. El fluido con mayor temperatura de ingreso fue agua (H_2O), en condiciones de $70^{\circ}C$ y una velocidad de 1m/s, el fluido encargado de recibir el calor cedido por el agua es el refrigerante R600a (Isobutano), como análisis de partida. Basados en un primer análisis, se realiza una mezcla con nanopartículas de Al_2O_3 y CuO , cuyo nanorefrigerantes circula por la parte interior del tubo ingresando a una velocidad de 0.8 m/s y una temperatura de $-10^{\circ}C$. En la figura 1 se puede observar un esquema del funcionamiento de flujo cruzado en el intercambiador de calor nombrado

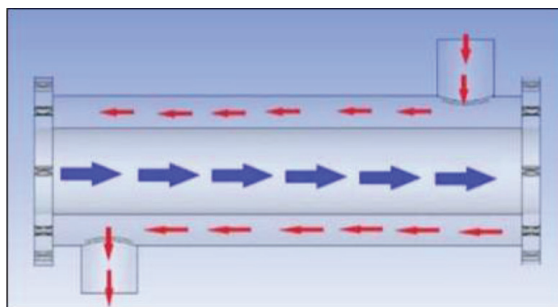


Figura 1 – Esquema del funcionamiento del intercambiador de calor de tubos concéntricos.

2.1. Descripción del sistema

El diseño del intercambiador de calor de tubos concéntricos que se muestra en la figura 2, se realizó en el software Autodesk Inventor, además, se consideró al aluminio como el material base del tubo interno y externo. Cabe resaltar que, en la selección de este diseño, se tomó en cuenta el intercambio continuo de calor sin contacto directo entre los fluidos de trabajo.

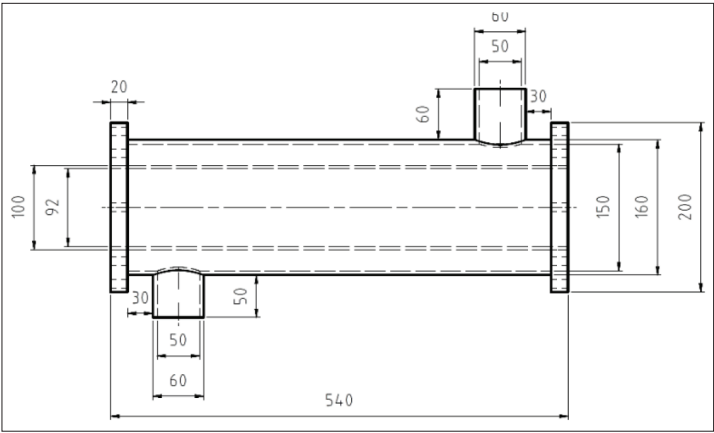


Figura 2 – Dimensiones del intercambiador de calor.

Así mismo, en la tabla 1 se especifican las medidas correspondientes como: longitud, diámetros y espesores, tanto del tubo externo como interno.

Descripción	Medidas
Longitud total del Intercambiador	540 mm
Diámetro de las tapas del intercambiador	200 mm
Espesor de las tapas	20 mm
Diámetro de entrada y salida del tubo externo	5 mm
Longitud del tubo interno	500 mm
Diámetro nominal del tubo externo	100 mm
Espesor de la pared del tubo	4 mm

Tabla 1 – Dimensiones del Intercambiador de calor

2.2.Descripción de los fluidos de trabajo

La obtención de las propiedades de trabajo del refrigerante R600a se obtuvieron a través del software Solucionador de Ecuaciones para Ingeniería (EES), teniendo en cuenta como variables predefinidas a la temperatura y presión; sin embargo, para determinar las propiedades de las nanopartículas se utilizó publicaciones como Moldoveanu, Huminic, Minea y Huminic (2018), en la cual muestran las propiedades del Al_2O_3 y Akhavan et al. [18] evidencian propiedades de CuO . La tabla 2 muestra las propiedades térmicas de transporte de los fluidos y nanopartículas.

Para determinar la conductividad térmica se revisó diferentes fuentes, las cuales, indican una serie de ecuaciones. Debido a que en el presente estudio se empleara las ecuaciones de los modelos utilizados en la simulación en ANSYS fluent. El estudio desarrollado por Maxell (1881) toma en cuenta conductividad térmica de partículas esféricas, fluidos basados y fracción volumétrica de sólidos.

Descripción	H ₂ O	R600a	Al ₂ O ₃	CuO
RDíámetro de la partícula (nm)	-	-	43	40
Masa molar (g/mol)	18.001	58.12	101.96	79.55
Densidad (g/[cm] ³)	1	0.001681	3.95	6.31
Conductividad térmica (W/m.K)	0.6	0.01204	40	32.9
Calor específico (J/Kg.K)	4182	1479	729	531

Tabla 2 – Propiedades térmicas de transporte del R600a y de las nanopartículas

$$\frac{K_n b}{kb} = \frac{kp + 2kb + 2\phi(kp - kb)}{kp + kb - \phi(kp - kb)} \quad (1)$$

Hamilton y Crosser (1962) proponen que, para partículas no esféricas, $K_p/kb > 100$, n es un factor de forma empírico ($n=3/t$, t es la esfericidad de las nanopartículas).

$$\frac{K_n b}{kb} = \frac{kp + (n-1)kb + (n-1)\phi(kp - kb)}{kp + (n-1)kb - \phi(kp - kb)} \quad (2)$$

Otro modelo teórico de conductividad térmica es el de Maiga et al (2005):

$$\frac{k_n f}{K_f} = 1 + 2.72\phi + 4.97\phi^2 \quad (3)$$

2.3. Modelos utilizados en la simulación

A continuación, se describe las ecuaciones utilizadas por ANSYS en sus modelos de simulación.

Las ecuaciones de transporte modeladas para k - ϵ realizable, predice con gran exactitud la velocidad de propagación en múltiples planos, así como en tendencias circulares de chorros. Es probable que también proporcione un rendimiento superior para los flujos que involucran la rotación de capas límite bajo fuertes gradientes de presión adversos.

$$\frac{\partial}{\partial t}(pk) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \dot{\rho} \rho - Y_M + S_k \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \epsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S_\epsilon - \rho C_2 \frac{\epsilon^2}{k + \sqrt{\nu \epsilon}} + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} C_{3\epsilon} G_b + S_\epsilon \quad (5)$$

$$C_1 = \max \left[0.43, \frac{n}{n+5} \right], n = s \frac{k}{\epsilon}, s = \sqrt{2 S_{ij} S_{ij}} \quad (6)$$

El modelo de energía permite determinar la naturaleza de transferencia de calor que tiene el volumen de control con respecto a las paredes.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla \cdot (\vec{v}(\rho E + p)) = \nabla \cdot \left(K_{eff} \nabla T - \sum_j h_j \vec{J}_j + \left(\vec{\tau}_{eff} \cdot \vec{v} \right) \right) + S_h \quad (7)$$

Donde, $\vec{v}$, es el flujo de difusión de especies j ; h_j , es el calor de la reacción química y cualquier otra fuente de calor volumétrica que se definió.

La conductividad térmica es el aspecto más importante en esta investigación, la ecuación que utiliza el software para simular esta variable se aprecia con la Ec. 8.

$$k_{eff} = k + k_t \quad (8)$$

Donde, k , es la conductividad efectiva, k_t , es la conductividad térmica turbulenta, definida de acuerdo con el modelo de turbulencia utilizado.

La Ec.9 representan la transferencia de energía debida a la conducción, la difusión de las especies y la disipación viscosa, respectivamente.

$$E = h - \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} \quad (9)$$

Fluent de ANSYS al momento de proveer un modelo de fase discreta se rige a leyes físicas; mediante las condiciones de transferencia de calor y masa. En el presente análisis se aplicarán las leyes 1 y 6 del calentamiento o enfriamiento inerte.

Ley 1

$$T_p < T_{vap} \quad (10)$$

Ley 6

$$m_p \leq (1 - f_{v,o}) m_{p,o} \quad (11)$$

Donde, T_p , es la temperatura de la partícula; T_{vap} , es la temperatura de vaporización; $m_{p,o}$, es la masa inicial de la partícula y m_p , es la masa final.

La Ley 1 se aplica hasta que la temperatura de la partícula/gota alcance la temperatura de vaporización. Para esta ley, Fluent utiliza un balance de calor simple para relacionar la temperatura de la partícula, $T_p(t)$, con la transferencia de calor por convección y el factor de absorción/emisión de radiación en la superficie de la partícula.

$$m_p c_p \frac{dT_p}{dt} = h A_p (T_\infty - T_p) + \dot{\phi}_p A_p \sigma (\theta_R^4 - T_p^4) \quad (12)$$

Donde, c_p es la capacidad calórica de la partícula (J/kg-K); A_p , abarca toda el área superficial de la partícula; T_p , temperatura local de la fase continua; h , coeficiente de transferencia de calor convectivo; $\dot{\phi}_p$, emisividad de partícula se debe toma en cuenta las dimensiones; σ , constante de Stefan-Boltzmann (5.67×10^{-8}); θ_R , es la temperatura de radiación.

La Ec. 13 se integra en el tiempo utilizando una forma lineal y aproximada que asume que la temperatura de las partículas cambia lentamente de un valor de tiempo al siguiente.

$$m_p c_p \frac{dT_p}{dt} = A_p \left\{ - \left[h + \dot{\phi}_p \sigma T_p^3 \right] T_p + \left[h T_\infty + \dot{\phi}_p \sigma \theta_R^4 \right] \right\} \quad (13)$$

El coeficiente de transferencia de calor, h , se evalúa utilizando la correlación de Ranz-Marshall.

$$Nu = \frac{h d_p}{k_\infty} = 2.0 + 0.6 Re_d^{1/2} Pr^{1/3} \quad (14)$$

Donde, d_p , es el diámetro promedio de la partícula; k_∞ , conductividad térmica de la fase (W/m-K); Re_d , número de Reynolds basados en el diámetro de la partícula y la velocidad relativa; Pr , número de Prandtl en fase continua.

Después de obtener los datos de operación de los vehículos, los datos del sensor VSS (sensor de velocidad del vehículo) fueron preprocesados mediante el uso del filtro de Savitzky-Golay el cual se basa en el cálculo de una regresión polinomial para eliminar el punto de error causado por la falla de la adquisición por el dispositivo, el cual se da por el ruido que aparece debido a las vibraciones que produce la calzada irregular existente en ciertos tramos de los recorridos de la ciudad, todo esto hace que la señal se corrompa; en consecuencia de lo que sucede se procedió a filtrar la señal comparando los datos normales de funcionamiento con los datos adquiridos del vehículo con el Freematics One +.

El filtrado se lo realiza cuando se presenten dos casos, el primero es como ya se dijo antes, por las vibraciones que se transmiten al vehículo y el segundo caso se lo realiza para eliminar pendientes infinitas que da la señal, estas son causadas al haber distintos puntos en un mismo tiempo y son perjudiciales al momento de trabajar con ellas, como muestra en la Figura 3 realizado a la señal de las revoluciones del motor.

2.4. Mallado del intercambiador de calor

En el proceso de mallado para el intercambiador de calor de tubos concéntricos como se muestra en la figura 3, se realizó varias configuraciones.

La generación de calidad del mallado se valorizó con respecto a la métrica de oblicuidad, basados en la asimetría de la cara o célula del mallado generado. Los valores que

muestran en la tabla 3 especifican el grado de aceptación que tuvo el método descrito. Cabe resaltar que dicho mallado permitirá proveer una aproximación bastante cercana a un modelo real.

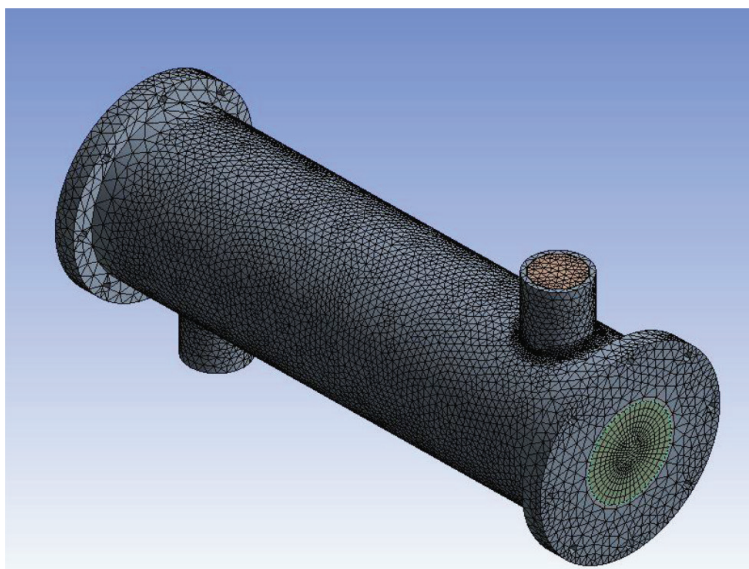


Figura 3 – Mallado en el intercambiador de calor.

Valor de la asimetría	Calidad Celular
1	Denegar
0.9 - <1	Malo
0.75 - 0.9	Pobre
0.5 - 0.75	Justa
0.25 - 0.5	Bueno
>0 - 0.25	Excelente
0	Equilátero

Tabla 3 – Valoración de la calidad del mallado

El valor obtenido en la generación de mallado respectivamente fue de 0.2205 de promedio, el cual se encuentra en el rango de excelencia, proveyendo así una mejor posibilidad en la obtención de resultados al momento de simular. Así también se estableció una cantidad de 1936489 nodos y 1315106 elementos totales obtenidos en el mallado. Posterior al proceso de mallado se revisó los resultados proporcionados sobre la Convergencia del mallado dando como resultado la figura 4.

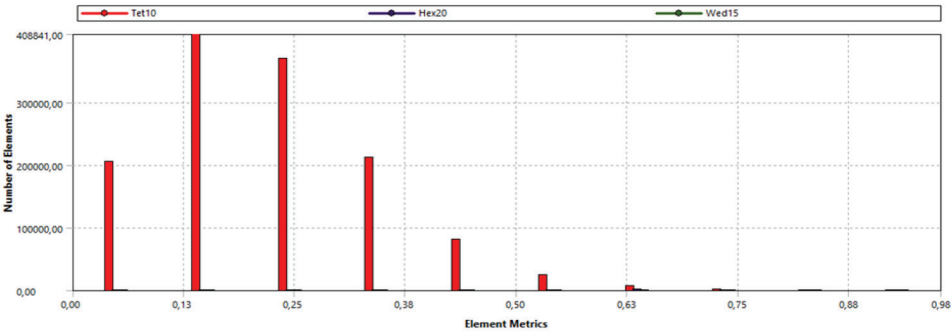


Figura 4 – Convergencia de mallado.

3. Resultados

En la elaboración de este trabajo investigativo, se desarrollaron varias simulaciones, entre ellas constan, las del refrigerante base solo R600a, nanorefrigerante con partículas de Al₂O₃ y el refrigerante mezclado con nanopartículas de CuO.

Bajo las condiciones de trabajo a la entrada para los tres fluidos y las especificaciones termofísicas de estos y de un total de 2000 iteraciones se obtuvo resultados con respecto al cambio de temperatura producido en el intercambio de calor, como se lo muestra en la figura 5, donde el agua es el fluido caliente que requiere ser enfriado mediante refrigerante.

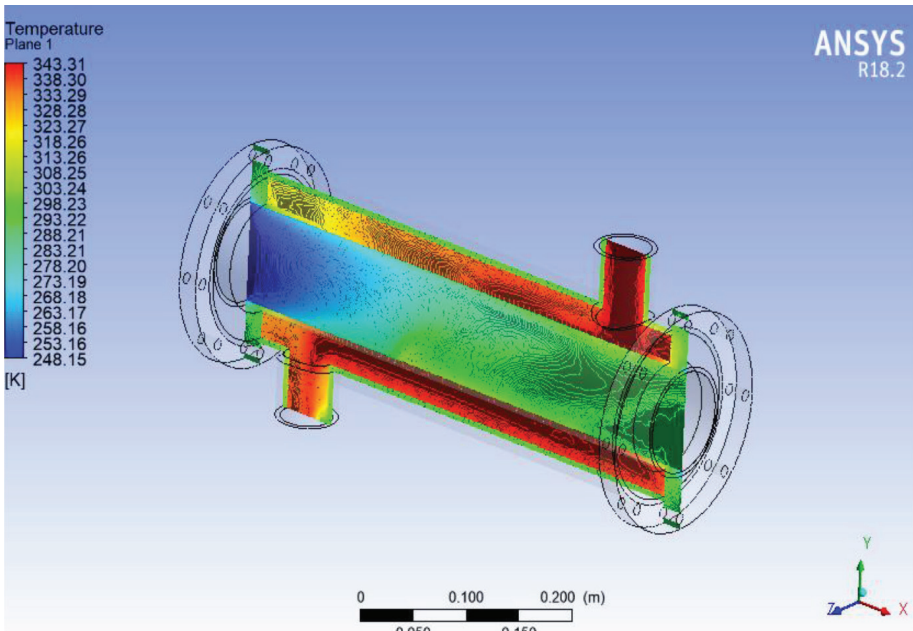


Figura 5 – Contorno de temperatura del refrigerante 600a puro.

Las simulaciones con nanorefrigerantes realizadas en el presente artículo requirieron de una configuración distinta a la del refrigerante base debido al uso del modelo de fase discreta; de tal manera que condiciones de frontera para las nanopartículas de CuO y Al_2O_3 se dieron con base en los parámetros del inyector expuestos en la tabla 4. Para la simulación del nanorefrigerante $R600a/Al_2O_3$ y $R600a/CuO$ se dispuso una cantidad de 2500 iteraciones y una configuración de ecuaciones de segundo orden, de igual manera se estableció una inicialización híbrida

Condiciones de entrada de la Nanopartícula de Alúmina Al_2O_3 y Oxido de cobre CuO	
Temperatura de entrada	-10 °C
Flujo másico de ingreso	0.002 kg/s
Velocidad de entrada	0.6 m/s
Fracción volumétrica	5%
Ingreso de la nanopartícula	Superficie de entrada

Tabla 4 – Configuración del inyector para el tamaño de las nanopartículas.

Se puede observar en la figura 6, como incrementa la temperatura conforme va recorriendo el fluido por el interior del intercambiador, mostrando el nivel de la transferencia de calor y la interacción que tiene las nanopartículas de alúmina en el refrigerante. La gráfica obtenida se denota un incremento de temperatura más conservador que con el refrigerante base por sí solo.

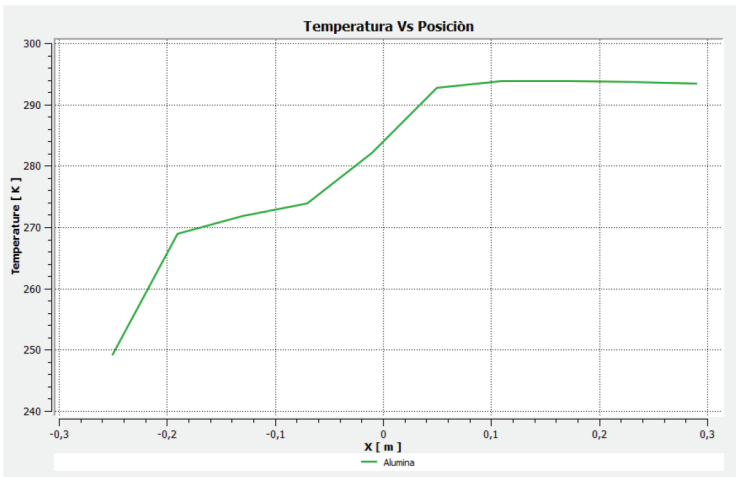


Figura 6 – Variación de la temperatura del nanorefrigerante $R600a/Al_2O_3$.

En figura 7, se muestran los resultados obtenidos en la simulación del nanorefrigerante $R600a/CuO$ en el cual se puede apreciar un intercambio de calor efectivo, se debe mencionar que las condiciones de entrada fueron las mismas de la anterior simulación exceptuando propiedades de la nanopartícula.

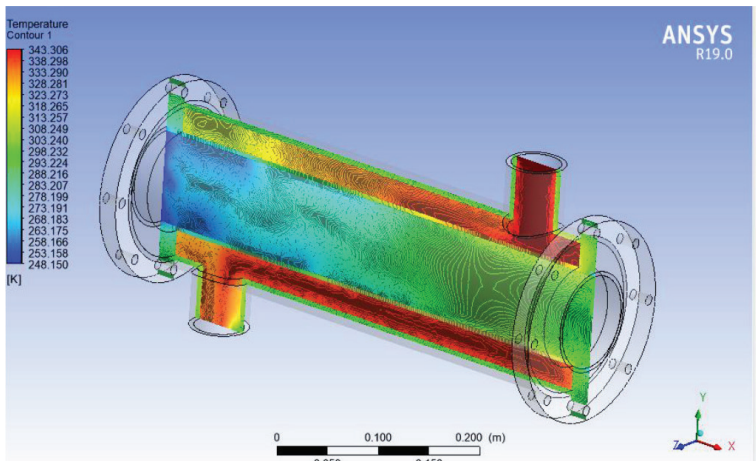


Figura 7 – Simulación del fluido R600a más nanopartículas de CuO .

La figura 8, representa el cambio de temperatura vs posición del nanorefrigerante R600a/ CuO , además, indica una tendencia creciente de la temperatura, alcanzando un valor máximo de 300 K y llegando el nanorefrigerante a una temperatura de estabilidad de 295 K a la salida del intercambiador.

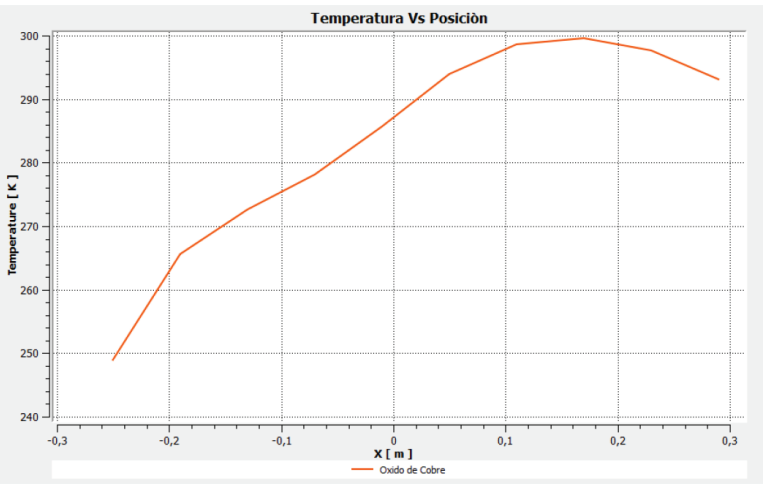


Figura 8 – Variación de la temperatura del nanorefrigerante R600a/ CuO .

Al finalizar el estudio numérico individual del refrigerante y los nanorefrigerantes, se generó una figura comparativa de Temperatura vs Posición, como se muestra en la

figura 9, la cual presenta trayectorias muy variantes con respecto a la del refrigerante base, de igual manera se puede observar una variación de temperatura a la entrada de los diferentes fluidos, esto se debe al intercambio de calor que las nanopartículas produjeron por haber entrado a una temperatura de 263 K, además, se aprecia que se alcanza una temperatura más grande con la adición de nanopartículas de cobre.

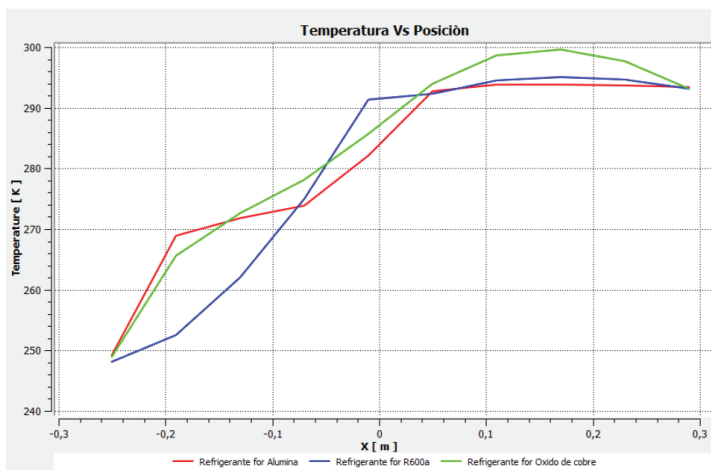


Figura 9 – Variación de la temperatura del R600a, R600a/CuO y R600a/Al₂O₃.

4. Discusión

En el transcurso del desarrollo de esta investigación, se obtuvo un aumento de la temperatura en los nanorefrigerantes, siempre como referencia el refrigerante base que es el R600a. Además, la adición de nanopartículas muy conocidas como, el óxido de aluminio (alúmina) o el óxido de cobre, en tamaños nanométricos ha posibilitado que la transferencia de calor de estos nuevos fluidos inteligentes crezca de forma considerable, eso sí, siempre considerando una fracción volumétrica de hasta el 5 %, ya que si se aumenta esta concentración es probable que las nanopartículas se aglomeren y formen micro o mili partículas, esto puede afectar el flujo de los refrigerantes en las tuberías de los sistemas de refrigeración.

El uso progresivo de la nanotecnología, y las partículas de tamaño nanométrico, ha conllevado que las propiedades de los fluidos se vean modificadas, un ejemplo de esto es que la conductividad térmica de un nanorefrigerante es más alta que un refrigerante base, esto también se ve con la viscosidad y el calor específico.

Por otro lado, es indispensable aclarar que el uso del fluido agua en los sistemas de intercambio de calor, se presenta en la mayoría de los casos, es por esta razón que se ha utilizado a este fluido como fluido portador de calor dentro de un sistema de calentamiento o enfriamiento.

Se recomienda que el estudio abarque no solamente una fracción volumétrica de nanopartículas, sino que esta cambie y así verificar si las propiedades logran modificarse con una fracción volumétrica pequeña

5. Conclusiones

Tomando en cuenta el volumen de fracción del 5% de las nanopartículas se observa que el nanorefrigerante $\text{R600a}/\text{Al}_2\text{O}_3$ incremento un 0.2731% en la transferencia de calor en comparación con el refrigerante base. En cambio, para el $\text{R600a}/\text{CuO}$ se observa un aumento del 0.0341% con respecto al R600a .

El nanorefrigerante que mayor fluidez alcanzo con respecto a la posición fue el $\text{R600a}/\text{CuO}$ obteniendo un valor de transferencia de energía turbulenta basado en la viscosidad con un valor de 0,62 Pa.s, en comparación del refrigerante base que obtuvo un valor 0,02 Pa.s. cabe recalcar que el nanorefrigerante $\text{R600a}/\text{Al}_2\text{O}_3$ en comparación con el $\text{R600a}/\text{CuO}$ solo presento una diferencia de 0,01 Pa.s.

Se estima que incrementando en el volumen de fracción de las nanopartículas de Al_2O_3 en un rango de 5% a 10% se puede incrementar en un 0.5% la transferencia de calor con respecto al intercambiador de calor. Hay que señalar que los valores de frontera establecidos en el presente artículo se deben mantener para precisar dicho incremento.

Reconocimientos

Los autores agradecen de forma cordial al Grupo de Investigación en Energías Renovables e Implementación Mecánica de Pymes de la Universidad Politécnica Salesiana, Quito-Ecuador, por sus grandes aportes a esta investigación.

Referencias

- Akhavan-Behabadi, A., Nasr, M., & Baqeri, S. (2014). Experimental investigation of flow boiling heat transfer of $\text{R-600a}/\text{oil}/\text{CuO}$ in a plain horizontal tube. *Exp. Therm. Fluid Sci.*, 58, 105-111.
- Alawi, O., Salih, J., & Mallah, A. (2019). Thermo-physical properties effectiveness on the coefficient of performance of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{R141b}$ nano-refrigerant. *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, 103, 54-61.
- Baqeri, S., Akhavan-Behabadi, M., & Ghadimi, B. (2014). Experimental investigation of the forced convective boiling heat transfer of $\text{R-600a}/\text{oil}/\text{nanoparticle}$. *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, 55, 71-76.
- Chang, M., Liu, H., & Tai, C. (2011). Preparation of copper oxide nanoparticles and its application in nanofluid. *Powder Technol.*, 207(1-3), 378-386.
- Coumaressin, T., & Palaniradja, K. (2014). Performance Analysis of a Refrigeration System Using Nano Fluid. *Int. J. Adv. Mech. Eng.*, 4(4), 459-470.

- Fadhilah, S., Marhamah, R., & Izzat, A. (2014). Copper Oxide Nanoparticles for Advanced Refrigerant Thermophysical Properties: Mathematical Modeling. *Nanoparticles*, 1-5.
- Hamilton, R., & Crosser, O. (1962). Thermal conductivity of heterogeneous two component systems. *I&EC Fundam*(1), 187-191.
- Hechavarría, R., Delgado, O., & Pazmiño, F. (2017). Estudio De Un Nuevo Procedimiento Para Medir La Conductividad Y Difusividad Térmicas De Materiales. *Ingenius*(17), 15.
- Jaffri, A., Dondapati, R., Bhat, M., & Vyas, G. (2018). Investigation on Thermo-Physical Properties of Mixed Nano-Refrigerant with CuO based nanoparticles. *Mater Today Proc*, 5(14), 27795–27800.
- Karami, M., Akhavan-Behabadi, M., Raisee, M., & Dehkordi, D. S. (2016). Thermo-optical properties of copper oxide nanofluids for direct absorption of solar radiation. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 144, 136-142.
- Mahbubul, I., Saadah, A., Saidur, R., Khairul, M., & Kamyar, A. (2015). Thermal performance analysis of Al₂O₃/R-134a nanorefrigerant. *Int. J. Heat Mass Transf*, 85, 1034-1040.
- Maiga, S., Palm, S., Nguyen, C., Roy, G., & Galanis, N. (2005). Heat transfer enhancement by using nanofluids in forced convection flows. *Int. J. Heat Fluid Flow* 26, 530-546.
- Maxwell, C. (1881). *Treatise on Electricity and Magnetism*. Clarendon Press: Oxford, UK.
- Mohammadpoor, M., Sabbaghi, S., Zerafat, M., & Manafi, Z. (2019). Investigating heat transfer properties of copper nanofluid in ethylene glycol synthesized through single and two-step routes. *Int. J. Refrig*, 243-250.
- Moldoveanu, G., Huminic, G., Minea, A., & Huminic, M. (2018). Experimental study on thermal conductivity of stabilized Al₂O₃ and SiO₂ nanofluids and their hybrid. *Int. J. Heat Mass Transf*, 127, 450-457.
- Rostami, S., Nadooshan, A., & Raisi, A. (2019). An experimental study on the thermal conductivity of new antifreeze containing copper oxide and graphene oxide nano-additives. *Powder Technol*, 345, 658-667.
- Shanmugasundaram, Vandaarkuzhali, & Elansezhian, R. (Diciembre de 2015). Performance Evaluation of Air Conditioning System Using Nanofluids. *Aust. J. Basic Appl. Sci*, 1-10.
- Singh, G., Gangacharyulu, D., & Bulasara, V. (Junio de 2018). Influence of copper oxide nanoparticles on the thermophysical properties and performance of flat tube of vehicle cooling system. *Vacuum*, 157, 268-276.
- Uddin, M., & Rasel, S. (2019). Numerical analysis of natural convective heat transport of copper oxide-water nanofluid flow inside a quadrilateral vessel. *Heliyon*, 5(5).
- Zuñiga-Puebla, H., Vallejo-Coral, E., & Vega, J. (2018). Análisis termodinámico de un chiller de absorción de 1 y 2 etapas de una planta de cogeneración. *Ingenius*(21), 41-52.

Diseño de una mini central hidroeléctrica

Vinicio Palomeque¹, Ismael Valdez¹, Nelson Jara¹, Fran Reinoso¹

vpalomeque@est.ups.edu.ec, ivaldezc@est.ups.edu.ec, njara@ups.edu.ec, freinoso@ups.edu.ec

¹ Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

Pages: 30–43

Resumen: En el presente trabajo se realiza una propuesta de diseño de una mini central hidroeléctrica para abastecer la demanda del consumo eléctrico de la Empresa Floricultora “Plantaciones Malima Cía. Ltda.” como caso de estudio. Se procede en primera instancia a determinar el rango del caudal disponible del río Paute, se estudia los consumos específicos de cada uno de los sistemas, equipos y dispositivos electromecánicos con los que cuenta la compañía. Una vez con esta información se realiza el cálculo de dimensionamiento de varias partes constitutivas del sistema de generación, por mencionar algunos como el desarenador, la cámara de carga, la tubería de presión, la turbina y otros subsistemas necesarios. Por último, se analiza el costo estimado de la instalación y se calcula la tasa interna de retorno para el periodo de vida útil de la central hidroeléctrica. Con los resultados obtenidos se determina la viabilidad del proyecto y los beneficios que la empresa podría tener al implementar una planta de generación de energía hidroeléctrica.

Palabras-clave: Consumo eléctrico; proyecto hidroeléctrico; tubería de presión; turbina Michel-Banki.

Design of a mini hydroelectric power plant

Abstract: In the present work, a proposal for the design of a mini hydroelectric power plant is made to supply the demand of the electricity consumption of the Flower Growing Company “Plantaciones Malima Cía. Ltda.” As a case study. The first step is to determine the range of available flow of the Paute River, the specific consumption of each of the systems, equipment and electromechanical devices that the company has is studied. Once with this information, the sizing calculation of several constituent parts of the generation system is done, to mention some such as the sand trap, the loading chamber, the pressure pipe, the turbine and other necessary subsystems. Finally, the estimated cost of the installation is analyzed and the internal rate of return for the period of useful life of the hydroelectric plant is calculated. The results obtained determine the feasibility of the project and the benefits that the company could have when implementing a hydroelectric power generation plant.

Keywords: Electricity consumption; hydroelectric project; pressure pipe; Michel-Banki turbine.

1. Introducción

El aprovechamiento eficiente de la energía eléctrica ha sido desde hace muchos años el eje principal en el desarrollo económico y social de la humanidad. Conforme la población crece, la energía demandada para cubrir necesidades básicas de consumo y bienestar también aumenta (Jara, 2018). Las estadísticas del consumo total de energía mundial indican que desde 1965 a 2006, el consumo se ha incrementado de 46,52 a 127,93 millones de gigavatios-hora (GWh), es decir que el consumo en el 2006 era aproximadamente el triple del consumo en 1965 (Ahmadian, Falconer, & Lejeune, 2014). Esta gran demanda energética ha ocasionado que se desarrollen diferentes maneras de obtener energía, particularmente, electricidad. Además, existe una concienciación cada vez mayor sobre los efectos medioambientales que conlleva el uso de energías no renovables (Castro, 2005).

En el área de la generación de electricidad se cuenta con varias alternativas tecnológicas desarrolladas que posibilitan la obtención de energía desde diversas fuentes sean estas renovables y no-renovables. En el contexto mundial actual, los proyectos de generación en su mayoría se enfocan en fuentes de generación limpia y renovable. En este sentido las hidroeléctricas han sido pioneras en la producción eléctrica sostenible. En el 2006, la electricidad mundial generada por hidroeléctricas representaba cerca del 90% del total de generación de electricidad renovable (Ahmadian, Falconer, & Lejeune, 2014).

La Organización Latinoamericana de Energía - OLADE considera que, en muchos casos, la generación eléctrica a través de mini centrales hidroeléctricas es una solución a las necesidades eléctricas de una comunidad o una pequeña industria (Benavides, 2011). Para el presente trabajo, se ha seleccionado un caso de estudio puntual de generación de electricidad en el que se pueda analizar la factibilidad de implementación de un proyecto hidroeléctrico que cubra la demanda energética de una empresa mediana como Plantaciones Malima (con un número de trabajadores inferior a 500).

El estudio se desarrolla en varias fases de análisis, empezando por una revisión general de conceptos acerca de la generación hidroeléctrica y las diferentes alternativas renovables y no renovables disponibles hoy en día. Luego, se desarrolla un estudio de la demanda energética de la empresa, para establecer el tamaño del proyecto y compararlo con la energía potencial y cinética que se puede conseguir en el río Paute, que constituye la fuente de energía. La siguiente fase consiste en la selección de la mejor turbina de generación en términos hidráulicos para cumplir con lo especificado. Por último, se hace un análisis económico que compruebe la viabilidad del proyecto en términos de inversión y costo de la electricidad. Los resultados son presentados y analizados para obtener las conclusiones del caso de estudio propuesto.

1.1. Centrales hidroeléctricas

La característica principal de estas centrales es aprovechar la energía potencial que posee la masa de agua de un cauce natural en virtud de un desnivel, también conocido como un salto geodésico (Ahmadian, Falconer, & Lejeune, 2014).

El cauce de un río es fundamental, ya que el fluido pasa por una turbina hidráulica, que se encarga de transmitir la energía a un generador donde se transforma en energía

eléctrica. Por lo tanto, se trata de una instalación con un diseño que utiliza la energía del movimiento del agua para transformarla en energía eléctrica (Palomeque, Valdez, & Jara, 2019).

Estas instalaciones se clasifican según distintos criterios, dos de ellos son la altura del salto y el tipo de utilización del agua.

Según la altura del salto o desnivel se clasifican como:

- Centrales de alta presión
- Centrales de media presión
- Centrales de baja presión

Según el tipo de utilización del agua se clasifican en:

- Centrales de agua fluente o centrales de pasada o de filo de agua
- Centrales de embalse o regulación
- Centrales de regulación
- Centrales de bombeo

1.2. Componentes principales de la hidroeléctrica

Para las, micro y mini centrales hidroeléctricas en general la OLADE hace algunas recomendaciones acerca de los elementos que debe poseer y la forma de determinar los costos (Indacochea, 1981). La Tabla 1 muestra los componentes necesarios de una hidroeléctrica, su descripción y materiales sugeridos para la construcción.

Lista de Control	Descripción
<i>Azud o Presa</i>	Generalmente se emplea para elevación de nivel, construcción sencilla en concreto, tierra, roca, madera, plásticos o combinaciones
<i>Obras de Toma</i>	Estructura para facilitar la entrada de agua al sistema de conducción. Puede ser sumergida o no. Materiales: Concreto, mampostería, piedra lanzada.
<i>Sistema de Conducción</i>	Para el transporte de agua desde la toma hasta la cámara de carga, puede ser por medio de canales o túneles. Es posible utilizar canales de regadío con y sin revestimiento.
<i>Cámara de Carga</i>	Estructura que facilita el ingreso del agua a la tubería de presión. Puede ser de concreto, asbesto-cemento o ferro cemento entre otros.
<i>Desarenador</i>	Sistema para evitar el ingreso de partículas sólidas a la tubería de presión. Puede instalarse como parte de la obra de toma o la cámara de carga (según caudal, terreno, materiales de canal)
<i>Accesorios de Obras Civiles</i>	Rejillas (control de sólidos), compuertas, vertederos, etc.
<i>Tubería</i>	Conducto por donde fluye el agua a presión desde la cámara de carga a la turbina
<i>Casa de Máquinas</i>	Estructura que aloja los grupos generadores, así como a los demás equipos electromecánicos
<i>Canal de Fuga</i>	Estructura de conducción que restituye el agua de casa de máquinas a la fuente de donde fue tomada
<i>Turbina</i>	Motor hidráulico que convierte la energía del agua (Salto o caída y caudal) en energía mecánica.

Lista de Control	Descripción
<i>Regulador de Velocidad</i>	Servomecanismo que mantiene constante la velocidad de giro de la turbina y consecuentemente constante la frecuencia de la energía eléctrica generada.
<i>Generador</i>	Máquina eléctrica que convierte la energía mecánica en energía eléctrica.
<i>Regulador de Tensión</i>	Sistema electrónico que mantiene la tensión generada a un nivel constante.
<i>Transformador</i>	Equipo eléctrico para variar la tensión (voltaje) permitiendo el transporte de energía a distancias económicas.
<i>Accesorios de Equipo Electromecánico</i>	Válvula principal (compuerta o esférica) Transmisión Turbina-Generador, por acoplamiento directo o por sistemas de transmisión (fajas en V, cadenas, engranajes). Instrumentación hidráulica (manómetro).

Tabla 1 – Principales elementos de una mini central hidroeléctrica. Adaptado de [5]

2. Métodos

Para diseñar un sistema hidráulico de generación eléctrica que posibilite cubrir la demanda energética de la empresa Plantaciones Malima es indispensable en primera instancia analizar la demanda eléctrica de la empresa a fin de poder establecer la capacidad neta del sistema a diseñar.

Luego de esto, a través de un estudio hidrológico del sitio permitirá plantear las condiciones con las que se cuenta a fin de seleccionar la mejor tecnología a utilizar; con estos detalles se podrán desarrollar los cálculos correspondientes.

2.1. Estudio de la demanda

El estudio de la demanda energética se lo realiza en dos partes. Primero se estima la cantidad de potencia utilizada en la empresa. Este cálculo se realiza suponiendo que todos los equipos están en funcionamiento al mismo tiempo (ver Tabla 2).

Como se puede observar en la Tabla 2, la suma de las potencias de todos los equipos instalados en plantaciones Malima es de 283,0324 kW. Es decir que usando un factor de disponibilidad del 10% se puede establecer que la capacidad para demanda está en el orden de los 300 kW (Bazo, 1985).

Descripción	Cantidad	Potencia en kW
<i>Motor trifásico de 1 hp 220 V.</i>	4	2,984
<i>Motor monofásico 0,5 hp 220 V.</i>	1	0,373
<i>Motor monofásico 1 hp 220 v.</i>	4	2,984
<i>Motor trifásico de 1 hp 220 V.</i>	16	11,936
<i>Motor trifásico de 1 hp 220 V.</i>	5	3,73
<i>Motor trifásico de 1 hp 220 V.</i>	6	4,476
<i>Motor Trifásico de 2 hp 220 V.</i>	1	1,492
<i>Compresor refrigeración 5 hp trifásico 220 V.</i>	1	3,73
<i>Compresor refrigeración 12,5 hp trifásico 220 V.</i>	5	46,625

Descripción	Cantidad	Potencia en kW
Evaporadores monofásicos de 0,8 hp 220 V.	8	4,7744
Evaporadores monofásicos de 0,5 hp 220 V.	6	2,238
Motor monofásicos 3/4 hp 220 V.	2	1,119
Motor trifásicos 1 hp 220 V.	3	2,238
Motor trifásico 5 hp 220 V.	1	3,73
Motor trifásico 1-1/2 hp 220 V.	1	1,119
Motor monofásico 1 hp 220 V.	1	0,746
Motor trifásico 1/2 hp 220 V.	1	0,373
Motor monofásico 1 hp 220 V.	1	0,746
bombas trifásicas 40 hp 440 V.	2	59,68
Contenedores refrigerados 20 Hp 440 V.	2	29,84
Contenedores refrigerados 20 Hp 440 V.	6	89,52
Compresor de refrigeración 5 hp Trifásico 220 V.	1	3,73
Evaporador de 0,5 hp Monofásico 220 V.	1	0,373
Motor Trifásico de 1 Hp 220 V.	2	1,492
Motor trifásico 1 hp 220 V.	4	2,984
Potencia total consumida (kW)		283,0324

Tabla 2 – Potencia de los equipos usados en plantaciones Malima.
Fuente: Autores.

En la Figura 1 se muestra el consumo eléctrico de la empresa desde enero de 2014 a julio de 2018.

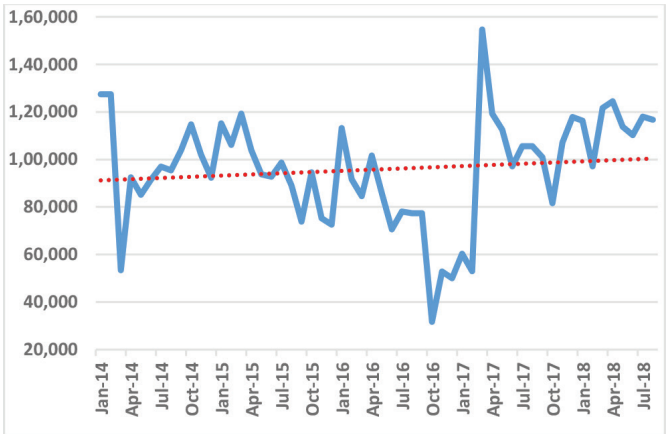


Figura 1 – Consumo eléctrico de plantaciones Malima. Fuente: Autores

Con la muestra de datos obtenida, se ha calculado un promedio aritmético de consumo de 95.817 kWh/mes, una desviación estándar de 22.780 kWh/mes, lo que indica una

variación de los consumos energéticos con respecto a la media, obteniendo un límite máximo de 118.597 kWh/mes y un mínimo de 73.037 kWh/mes.

Considerando un aproximado de 24 horas de consumo eléctrico por 31 días al mes, se puede calcular su equivalente en potencia de acuerdo a la ecuación 1 (Palomeque, Valdez, & Jara, 2019).

$$P_{requerida} = \frac{lim_{max}}{t} \quad (1)$$

$$P_{requerida} = 208,87 \text{ kW}$$

2.2. Estudio hidrológico del sitio

Consiste en la determinación de dos parámetros principales: el salto neto existente de acuerdo con la topografía del sitio y el caudal disponible.

Salto neto existente. - El cálculo del salto neto se ha desarrollado utilizando el software Google Earth. Para esto se debe especificar las ubicaciones y los tramos de tubería desde el lugar de captación hasta la casa de máquinas como lo muestra la Figura 2. Aquí también se puede apreciar la ubicación de plantaciones Malima con respecto a los lugares elegidos.

A partir de la Figura 2 se puede determinar el salto neto hidrológico como la resta entre la altura de captación y la altura de central hidráulica como se muestra en la ecuación 2 (Palomeque, Valdez, & Jara, 2019).

$$H_n = H_{captacion} - H_{central} = 27 \text{ m} \quad (2)$$



Figura 2 – Ubicaciones del lugar de captación y la hidroeléctrica. Fuente: Autores

Caudal hidrológico. - La OLADE propone como procedimiento para la determinación del caudal en zonas con ausencia de datos, que consiste en recoger datos de estaciones meteorológicas cercanas y estimar el caudal hidrológico de las sub-cuencas en las que se plantea colocar el proyecto. En este estudio se utilizan los datos entregados por la central hidrológica Ho894 instalada en el río Paute (Figura 3). Esta estación resulta ser la más cercana al sitio de estudio (Pozo, 2018).



Figura 3 – Ubicaciones del proyecto de generación y de la central hidrológica. Fuente: Autores

Los datos de los caudales diarios en la estación hidrológica Ho894 se presentan en la Figura 4, en donde se puede observar que el caudal medio durante el año 2018 fue de 34 m³/s; en este sentido como el afluente para el proyecto será el río Cuenca el cual de acuerdo a las mediciones del ancho realizadas se considera entonces un caudal del 50% del caudal medio del río Paute, esto es 17 m³/s.

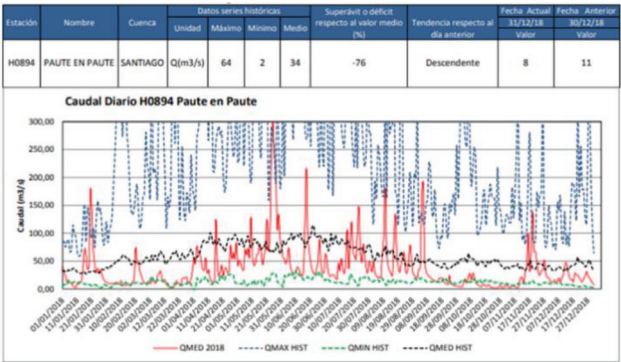


Figura 4 – Caudal diario de la estación Ho894 [8].

El caudal de equipamiento se define como el caudal necesario para que el volumen turbinado sea máximo, ver ecuación 3 (Palomeque, Valdez, & Jara, 2019).

$$Q_{eq} = Q_m * 70\% \quad (3)$$

$$Q_{eq} = 11,9 m^3 / s$$

El caudal ecológico es el mínimo caudal necesario para preservar el ecosistema en el cauce ecológico [(Castro, 2005); (Benavides, 2011) (Indacochea, 1981); (Bazo, 1985); (Palomeque, Valdez, & Jara, 2019)], ver ecuación 4.

$$Q_e = Q_{eq} * 25\% \quad (4)$$

$$Q_e = 2,97 m^3 / s$$

El caudal disponible final para la producción eléctrica es lo establecido en la ecuación 5 (Palomeque, Valdez, & Jara, 2019).

$$Q = Q_{eq} - Q_e \quad (5)$$

$$Q = 8.93 m^3 / s$$

2.3. Diseño

Preselección del tipo de turbina. - basándose en criterios de rendimiento, costo y mantenimiento, se procede con la preselección del tipo de turbina. Los datos de caudal disponible y altura neta calculados sirven como entrada (ver Figura 5). En este caso las turbinas preseleccionadas corresponden a turbinas de flujo cruzado Michelle-Banki/Ossberger, Francis, y Kaplan [7].

Para efectuar la selección definitiva se utilizó el método de matrices cuadradas en donde se establecieron criterios de ponderación tomando en cuenta parámetros como la facilidad de construcción, el costo de implementación y la facilidad de mantenimiento. Al respecto de los criterios de costo, construcción y mantenimiento se los evaluó tomando en cuenta las recomendaciones hechas por la OLADE (Villablanca, 2011). El criterio de rendimiento fue evaluado al comparar las eficiencias de las 3 turbinas preseleccionadas.

En vista de que se preseleccionaron 3 turbinas, se estableció un proceso de selección utilizando algunos factores como: costos, facilidad de emplazamiento, mantenibilidad, operación y otros, los cuales luego de ponderarlos y someter cada una de las 3 tecnologías preseleccionadas a estos factores, resultó con mayor puntaje la Turbina Michelle-Banki/Ossberger.

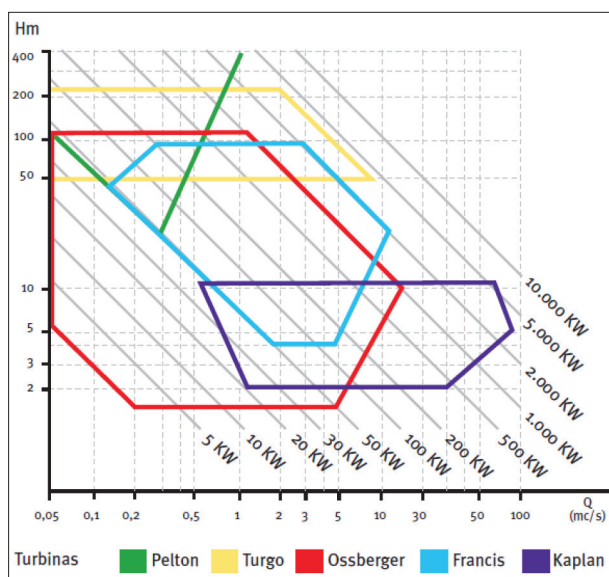


Figura 5 – Diagrama de selección de turbinas (Castro, 2005).

Selección del diámetro de tubería. - El diámetro de la tubería depende de varios parámetros relacionados con el diseño, es por esto que se realiza una selección preliminar utilizando el diagrama de la Figura 6, para un caudal de diseño de $1,5854 \text{ m}^3/\text{s}$, nos da un diámetro de 0,9 m, valor que luego de verificar la velocidad del fluido y las pérdidas, se realizará los ajustes necesarios para seleccionar el diámetro adecuado.

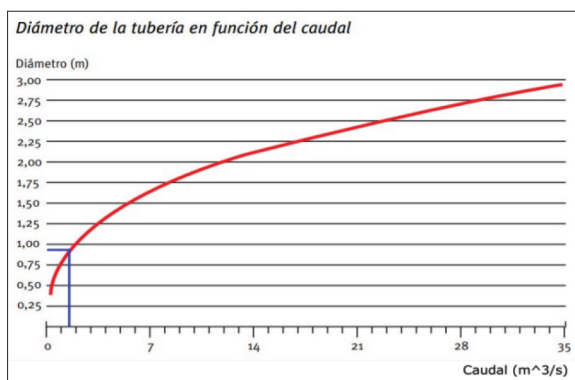


Figura 6 – Diagrama de diámetro de tubería en función del caudal (Palomeque, Valdez, & Jara, 2019).

Luego de la determinación de las pérdidas del sistema mediante el uso del software Pipe Flow Expert, se obtuvieron los resultados exactos de los cálculos hidráulicos

correspondientes al caudal de diseño y altura aprovechable, con los cuales se confirmó la selección de la turbina y fueron insumos fundamentales para determinar las geometrías de construcción del rodete y del inyector de la turbina Banki (Indacochea, 1981).

Al respecto del desarenador, cámara de carga y captación, se utilizó el procedimiento establecido principalmente en el Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas de Coz et al (1995) y algunas recomendaciones hechas por la OLADE.

En la figura 7 y 8 se presentan esquemas generales con algunas de las características del desarenador y la cámara de carga del sistema diseñado.

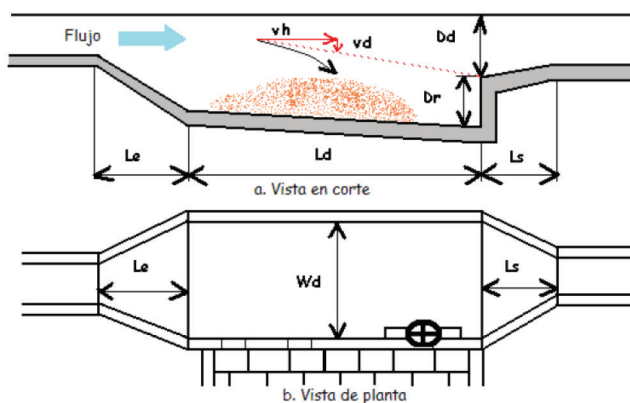


Figura 7 – Vista lateral y superior del desarenador [(Coz et al, 1995); (Palomeque, Valdez, & Jara, 2019)].

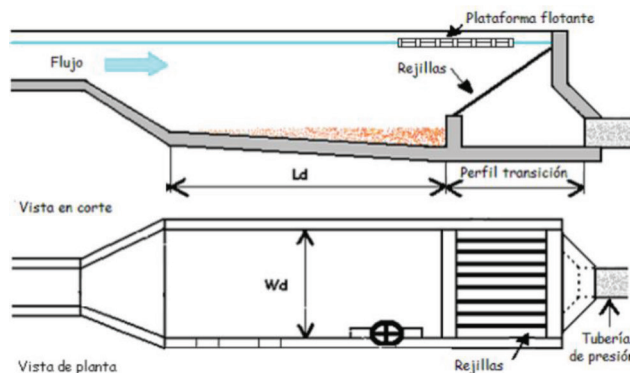


Figura 8 – Vista lateral y superior de la cámara de carga. [(Coz et al, 1995); (Palomeque, Valdez, & Jara, 2019)].

3. Resultados y discusión

En la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos para la puesta en marcha del proyecto satisfaciendo las necesidades planteadas. En resumen, los resultados indican que el

caudal y el salto presentes en el río Cuenca pueden cubrir las necesidades energéticas de la empresa Malima en su totalidad, teniendo una potencia extra estimada de 92 kW operando con caudal medio. Esta potencia extra asegura la operatividad en época de estiaje.

	Parámetro	Cantidad
<i>Demanda Energética</i>	Demanda energética (media)	95.817 kWh
	Demanda energética (máxima)	118.597 kWh
	Demanda energética (mínima)	73.037 kWh
	Potencia requerida	208,87 kW
<i>Diseño Hidráulico</i>	Altura neta	27 m
	Caudal medio	17 m ³ /s
	Caudal de equipamiento	11,9 m ³ /s
	Caudal ecológico	2,97 m ³ /s
	Caudal disponible	8,92 m ³ /s
	Potencia del generador	300 kW
	Potencia al freno	339,56 kW
	Caudal de diseño	1,59 m ³ /s
	Diámetro nominal de la tubería	1000 mm
	Rugosidad de la tubería	0,3 mm
	Longitud de la tubería de presión	915 m
	Pérdidas en la tubería de presión	2 m
<i>Diseño de la Turbina</i>	Velocidad en el inyector	22,54 m/s
	Diámetro exterior del rodete	0,4 m
	Número de revoluciones de la turbina	527
	Número específico de revoluciones (Nq)	56
	Número específico de revoluciones (Ns)	183
	Ancho del inyector	0,719 m
	Tamaño del compartimiento B1	0,239 m
	Tamaño del compartimiento B2	0,479 m
	Diámetro interno del rodete	0,264 m
	Radio de curvatura de los álabes	0,0652 m
	Ángulo de curvatura de los álabes del rodete	73°
	Diámetro máximo del eje	0,1312 m
<i>Obras Civiles</i>	Longitud de decantación	13,33 m
	Ancho del desarenador	7,93 m
	Capacidad del tanque	31,6 m ³
	Profundidad de recolección	0,3 m

Tabla 3 – Resultados del análisis técnico. Fuente: Autores.

En la Figura 9, se muestra el esquema final de la hidroeléctrica con algunos de los resultados principales del análisis hidrológico.

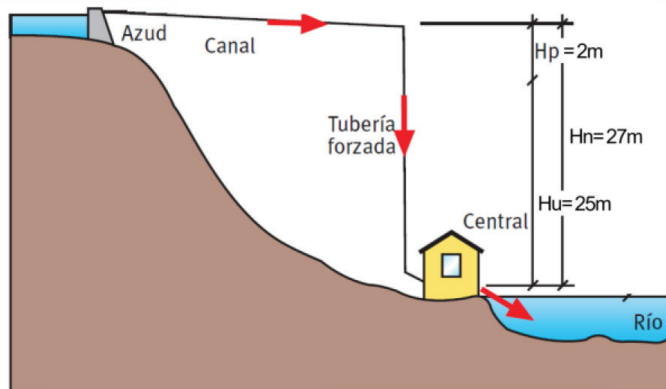


Figura 9 – Esquema general de la central hidroeléctrica Fuente: Autores

En la Figura 10 se puede observar de manera general la ubicación de los diferentes componentes de la instalación, entre ellos un desarenador que tiene 13,3 metros de longitud y un volumen de 15,8 metros cúbicos de capacidad, una cámara de carga desde donde sale la tubería de presión que tiene una longitud total de 915 m y un diámetro de 1000 mm.



Figura 10 – Esquema de captación de la central hidroeléctrica. Fuente: Autores.

La tubería de presión tiene un diámetro interior de 1 metro y un espesor de 110 mm, construido en hormigón armado en sus tres tramos.

4. Conclusiones

Se ha verificado de manera general, que el consumo energético de la empresa Floricultora Plantaciones Malima Cía. Ltda., mensualmente asciende a 62.100 kWh, lo que significaría una capacidad instalada de aproximadamente unos 100 kW. En base a la desviación estándar del consumo mensual histórico se obtiene un consumo máximo esperado de 118.597 kWh y un mínimo de 73.037 kWh.

Al realizar el estudio del emplazamiento se determinó que se puede tener un salto neto hídrico de 27 m, que pueden ser aprovechados para la generación eléctrica.

Conociendo el caudal del río Paute que es de 34 m³/s, y mediante una relación del tamaño de sus afluentes, se estima que el río Cuenca tiene un caudal de 17 m³/s, de los cuales al considerar el caudal de equipamiento y el caudal ecológico únicamente se dispone para la generación eléctrica con 8,93 m³/s.

El caudal de diseño calculado en base a la demanda energética es de 1,585 m³/s, valor que es inferior al caudal disponible, con lo que se concluye que se puede cubrir con la demanda eléctrica y su proyección de crecimiento a largo plazo.

Bajo las consideraciones ya establecidas en base a factores de diseño como: la factibilidad de construcción y mantenimiento, el costo de implementación, la eficiencia para caudales variables se selecciona como mejor alternativa la turbina Michelle-Banki.

Se determina la trayectoria de la tubería de presión, su diámetro interior en función del caudal de 1 m y el espesor de la tubería de 110 mm, además según la trayectoria de la tubería esta tiene una longitud de 915 m.

Las dimensiones para que el desarenador cumpla su función es de 13,3 metros de longitud, un ancho de 7,93 metros y una altura de la cámara de la arena de 0,3 metros.

De acuerdo a los parámetros considerados para la selección de la turbina, se determinó que la turbina hidráulica tipo Michelle-Banki. Modelo R389, es la más apropiada para el sistema de generación hidroeléctrico motivo de este proyecto.

Referencias

- Ahmadian, R., Falconer, R., & Lejeune, A. (2014). *Hydro Power—Introduction*. Elsevier.
- Bazo, C. (1985). *Manual de diseño, estandarización y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas*. Quito, Ecuador: OLADE.
- Benavides, J. (2011). *Observatorio de Energía Renovable para América Latina y el Caribe*.
- Castro, A. (2005). *Minicentrales hidroeléctricas*. Madrid: Inst. Para Diversif. Ahorro Energ.
- Coz et al. (1995). *Manual de mini y microcentrales hidráulicas; una guía para el desarrollo de proyectos*. Lima, Perú: Intermediate Technology Development Group.

- Indacochea, E. (1981). *Minicentrales hidroeléctricas: manual para toma de decisiones*. Quito, Ecuador: OLADE.
- Jara, N. (2018). *Impacto de las políticas energéticas en la industria de la fabricación de refrigeradores domésticos en Latinoamérica: caso México, Colombia y Ecuador*. Medellín, Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín.
- Palomeque, M., Valdez, I., & Jara, N. (2019). *Diseño de una central hidroeléctrica para abastecer la demanda del consumo eléctrico de plantaciones Malima CIA. LTDA*. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Pozo, A. (2018). *Análisis de la vulnerabilidad al cambio climático de la cuenca del río Paute (Ecuador)*. Cantabria: UNICAN.
- Villablanca, G. (2011). *Estudio de prefactibilidad para la construcción y operación de una mini central hidroeléctrica (MCH) en la sub cuenca del río Palora*. Quito, Ecuador: Universidad San Francisco de Quito.

Control de sanidad en juntas de aluminio soldadas mediante el proceso fricción-agitación (FSW)

Royer Mendieta², David Montero¹, Fran Reinoso¹, Nelson Jara¹, César Nieto-Londoño²

rmendietam@est.ups.edu.ec, dmonerot@est.ups.edu.ec, freinoso@ups.edu.ec,
njara@ups.edu.ec, cesar.nieto@upb.edu.co

¹ Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador

² Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia

Pages: 44–58

Resumen: En el presente artículo se estudia la sanidad estructural interna y externa de juntas de aluminio soldadas mediante el proceso fricción-agitación (FSW), aplicando técnicas superficiales y volumétricas de ensayos no destructivos (EnD); para el efecto se caracterizan las variables del proceso de soldado como: geometría de la herramienta, velocidad de rotación y avance; empleando un método factorial multinivel se determina el tamaño y configuración de la muestra; se fabrican dieciocho probetas soldadas conforme a la norma AWS 17.3; para el control de la sanidad externa de las juntas se aplican técnicas de inspección visual y líquidos penetrantes, y la sanidad interna mediante radiografía industrial según exigencias de la norma AWS D1.2/D1.2M para juntas soldadas; los resultados de los ensayos muestran que a valores de velocidad de giro cercanos a 1615 rpm y avances de 101 mm/min se registra en promedio la menor cantidad de discontinuidades externas e internas.

Palabras-clave: Juntas soldadas; aluminio; fricción-agitación; EnD.

Health control in aluminum joints welded by the friction-stir process (FSW)

Abstract: This article examines the internal and external structural health of welded aluminum joints using the friction-stirring process (FSW), applying surface and volumetric techniques of non-destructive tests (EnD); For this purpose, the variables of the welding process are characterized as: tool geometry, rotation speed and feed rate; using a multilevel factorial method, the size and configuration of the sample is determined; eighteen welded specimens are manufactured in accordance with AWS 17.3; for the control of the external health of the joints, visual inspection techniques and penetrating liquids are applied, and the internal health by means of industrial radiography according to the requirements of AWS D1.2 / D1.2M for welded joints; The results of the tests show that the lowest amount of external and internal discontinuities is recorded at average speed of rotation close to 1615 rpm and advances of 101 mm / min.

Keywords: Welded joints; aluminum; friction-stirring; EnD.

1. Introducción

La industria en la actualidad requiere estructuras más resistentes, livianas y económicas, una alternativa para responder a esta exigencia es el uso del aluminio en sus componentes, con ello se logra reducir peso, y mejorar la eficiencia en el consumo de energía (Feiyan, Jingyu, & Liming, 2017). Debido a lo anterior, el uso del aluminio se ha generalizado en las últimas décadas, contado con una clasificación de acuerdo a la finalidad de uso, establecida en las siguientes series: 1xxx, 2xxx ... 6xxx y 7xxx (Alava & Villamar, 2015). La serie 6xxx aleación 6061 se utiliza principalmente en aplicaciones donde se requiere soldabilidad, resistencia mecánica y resistencia a la corrosión (Caballero, 2015), como es el caso de las industrias: navales, aeroespaciales, aeronáuticas, transporte y construcción (Yilbas & Sahin, 2014).

El principal problema en el armado de las estructuras de aluminio es su soldabilidad, en particular cuando se emplea procesos convencionales como la fusión por arco revestido, que origina cambios o pérdida de las propiedades mecánicas del material base [(Backer, 2009); (Hong & Shin, 2017)]. El calor generado produce una alteración de la microestructura en la zona adyacente a la soldadura (Boonchouytan, Chatthong, Rawangwong, & Burapa, 2014), provocando la formación de defectos [(Welding Technology, 2007); (AWS Boost, 2010)].

El proceso de soldadura por Fricción–Agitación (FSW), es una solución para la unión de materiales blandos y dúctiles como es el caso del aluminio [(García M. , 2019); (Zapata, 2013)], este proceso utiliza el principio físico de fricción, el calor que se genera no provoca cambios en las propiedades del material por tratarse de un proceso de soldadura en estado sólido, además de ser económico y amigable con el ambiente debido a que no requiere gases y materiales de aporte (Cedeño, 2017).

Estudios realizados sobre el proceso FSW, muestran las ventajas técnicas a comparación con los métodos convencionales de soldadura de aluminio, el cordón que se obtiene con el proceso FSW conserva un 70% de las características del metal base (Arroba & Toapanta, 2015). Diferentes estudios se han reportado en la literatura sobre las características tecnológicas y el uso del proceso FSW, a decir:

Moreira et al. (2009), correlaciono y evaluó la dureza y resistencia a la tracción en juntas de AA-6061-T6 con AA-6082-T6. Lee et al. (2006), determinaron la reacción inter-facial en uniones de acero y aluminio. G. Padmanaban y Balasubramanian (2009) realizaron la selección de la geometría de pin para unir diferentes grados de aleación. Zapata (2013) evaluó los esfuerzos residuales en juntas de aluminio, C. Arroba y Toapanta (2015), estudiaron la incidencia de los parámetros del proceso FSW sobre las propiedades mecánicas en uniones de perfiles de aluminio, en esta investigación se utilizó una velocidad de avance fija, quedando pendiente el estudio de la incidencia de este parámetro en la junta soldada, tampoco se identificaron las discontinuidades que se pueden presentar con la modificación de los parámetros de proceso.

El propósito de esta investigación es estudiar la influencia de los parámetros de proceso, como la velocidad de giro y el avance, en la sanidad interna y externa de juntas de aluminio 6061-T6 soldadas mediante el proceso FSW, por ello es necesario determinar los defectos típicos que pueden presentarse durante el proceso de soldadura, a partir de ensayos no destructivos (EnD).

El proceso FSW se desarrolla en 4 fases (Illescas, 2014): (1) Inserción, (2) Fijación, (3) Soldadura y (4) Retracción, como se muestra en la figura 1.

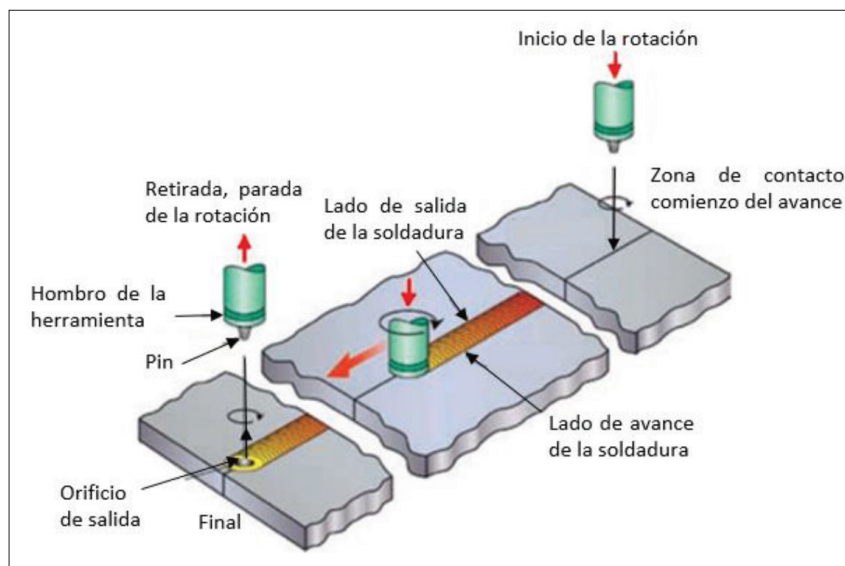


Figura 1 – Esquema del proceso de soldadura por fricción-agitación (FSW) (ESAB, 2012).

Las principales variables de operación del proceso FSW según la normativa de la Sociedad Americana de soldadura (AWS) C6.2/C6.2M:2006, son (AWS, 2016): i) Velocidad de rotación y ii) Velocidad de desplazamiento. La velocidad de rotación genera el calor necesario para plastificar el material y la velocidad de avance tiene la función de concentrar temperatura en el metal base (Cedeño, 2017).

Los criterios de aceptación o rechazo para uniones soldadas mediante el proceso FSW, se establecen en la norma AWS: D1.2/D1.2M:2014 (AWS, 2014), cláusula 7, además define las técnicas de EnD a emplearse para el control de la sanidad estructural de las juntas soldadas, entre las cuales se encuentran: técnicas superficiales como inspección visual (VT) y líquidos penetrantes (PT) [(Bernal & Reinoso, 2014); (Quiroz, 2015)] y técnicas volumétricas como la radiografía industrial (RT) (SISTENDCA, 2019).

2. Métodos

A partir de una metodología experimental se desarrolla el control de la sanidad juntas de aleación de aluminio (AA) soldadas mediante el proceso FSW, las fases de la investigación se muestran en la Figura 2:

El proceso de soldado FSW, requiere el dimensionado de la herramienta, la selección de los parámetros de proceso y el análisis térmico de la junta soldada.

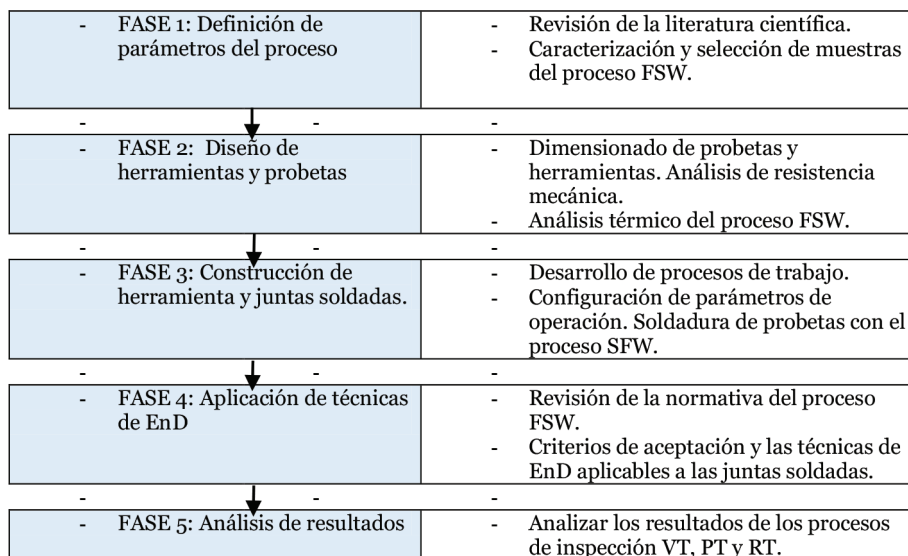


Figura 2 – Fases del proyecto de investigación.

2.1. Dimensionamiento de la herramienta

Para el dimensionado de la herramienta, es necesario considerar el tipo de material, espesor de las placas a soldar, y la geometría del pin [(Mishra & Mahoney, Friction Stir Welding and Processing, 2007); (Mishra & Nilesh, Friction Stir Welding and Processing Science and Engineering, 2014)]. El pin corresponde al diámetro (d_p) de la figura 3. Para el caso de estudio, el material es aluminio AA-6061-T6, de espesor 4 mm. El material recomendado para la herramienta es una aleación de acero y la geometría del pin cilíndrica (Mishra & Nilesh, 2014) Las dimensiones finales de herramienta se presentan en la Tabla 1.

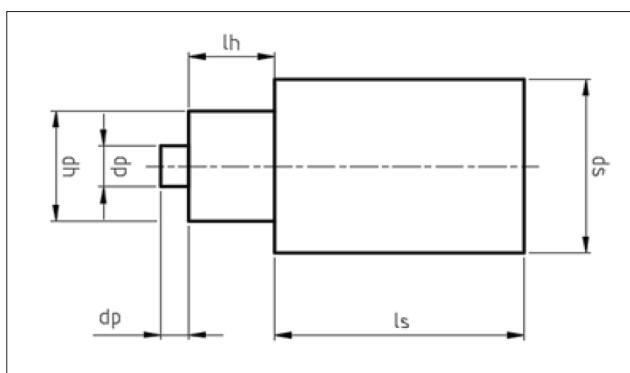


Figura 3 – Geometría y dimensiones de herramienta.

Variable	Valor (mm)
Dp	6
Lp	4
Dh	16.03
Lh	12
Ds	25.4
ls	35

Tabla 1 – Dimensiones finales de la herramienta.

2.2. Materiales

Para determinar de manera específica el tipo de aleación de acero a emplearse como herramienta es necesario determinar las fuerzas y esfuerzos generados durante el proceso FSW, los cuales se muestran en la Figura 4.

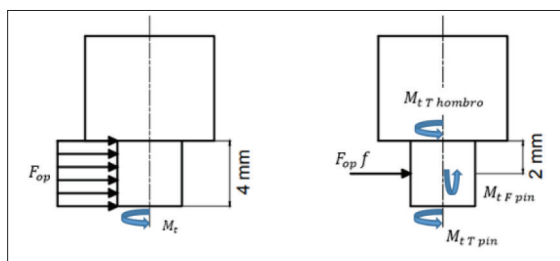


Figura 4 – Fuerzas y esfuerzos presentes en la herramienta durante el proceso FSW (Serway & Jewett, 2008)

Los esfuerzos por flexión (σ_F) y torsión (τ_T) se determina a partir de las ecuaciones 1 y 2 respectivamente propuestas por Holowenco y Laughling (Serway & Jewett, 2008).

$$\sigma_F = \frac{M_{F\ PIN}}{Z} \quad (1)$$

$$\tau_T = \frac{M_T}{Z'} \quad (2)$$

, donde:

$M_{F\ PIN}$ = Momento flector en el pin

$M_{T\ PIN}$ = Momento torsor en el pin.

Z = Es el módulo de sección. (Z' módulo polar).

F_{opf} = Es la fuerza de oposición por fricción del material a soldar (Hall, Holowenko, & Laughlin, 1975)..

El momento flector y torsor en el pin se determina mediante la ecuación 3 y 4.

$$M_{F\ PIN} = F_{opf} \cdot \left(\frac{l}{2}\right) \quad (3)$$

$$M_{T\ PIN} = F_{opf} \cdot (r) \quad (4)$$

La fuerza de oposición por fricción del material a soldar se calcula a partir de ecuación 5 (Hall, Holowenko, & Laughlin, 1975):.

$$F_{opf} = \mu \cdot F_{ap} \quad (5)$$

Para la aleación y espesor de aluminio establecidos, Resolviendo las ecuaciones propuestas en (Serway & Jewett, 2008).

se determina un esfuerzo cortante total de:

$$\tau = 250.228 [MPa]$$

Con un esfuerzo normal máximo (Rodríguez, 2008) de:

$$\sigma = 464.62 [Mpa]$$

Con los esfuerzos obtenidos y considerando un Factor de seguridad (F.S.) de 3.09, recomendado para materiales comerciales, se determina que el material óptimo para la construcción de la herramienta corresponde al acero AISI 01/DF2, el cual cumple con los requerimientos del proceso de soldadura FSW (Mott, 2009).

2.3. Selección de parámetros

El proceso FSW se lo realizo en una fresadora universal marca EASTAR VH-320, en la tabla 2 y 3 se muestran las velocidades de avance y rotación que dispone la maquina utilizada.

Velocidades de avance [mm/min]											
24	33	44	53	71	101	166	223	314	374	502	707

Tabla 2 – Velocidades de avance de la fresadora universal EASTAR VH-320 (Canga, Beltrán, & Reinoso, 2019).

Velocidades de rotación de la fresadora universal [rpm]																			
37	61	73	100	121	163	200	254	296	325	491	508	591	808	982	1311	1615	1963	2622	3925

Tabla 3 – Velocidades de avance de la fresadora universal EASTAR VH-320 (Canga, Beltrán, & Reinoso, 2019).

2.3.1. Velocidad de avance Va

A partir de los datos de la tabla 2, y mediante la ecuación 6 se determinan los valores máximos y mínimos de velocidad de avance requeridos en el proceso FSW (Arroba & Toapanta, 2015); los cuales se indican en la tabla 4.

$$V_a = \theta_{Serie\ Al} \cdot \varphi_H \cdot T^{-1}$$
 (6)

, donde:

V_a = Es la velocidad de avance de la herramienta [mm/min],

$Serie\ Al$ = Es el factor de material de las series de aluminio,

φ_H = Es el factor de herramienta (0.1 - 0.4),

T = Es el espesor del material a soldar [mm].

Velocidades [mm/min]	Factor de herramienta	Condición de diseño ($\ddot{o}_H$) [0.1 - 0.4]
24	0,08	No cumple
33	0,11	Cumple
44	0,14666667	Cumple
53	0,17666667	Cumple
71	0,23666667	Cumple
101	0,33666667	Cumple
166	0,55333333	No cumple

Tabla 4 – Condiciones de diseño para la velocidad de avance de la herramienta.

Las velocidades de 33, 44 y 53 (mm/min) presentaron valores similares por lo que se decidió utilizar el valor más alto obtenido.

2.3.2. Velocidad de rotación Vr

De acuerdo a los datos presentados en la tabla 3 y considerando las recomendaciones de la norma AWS 1.2, la velocidad de rotación de la herramienta debe oscilar entre 300-4000 rpm para plastificar el material de la junta. Para el aluminio tipo AA, la velocidad

mínima requerida para obtener un cordón continuo de soldadura es de 808 rpm de acuerdo a las características de fresadora utilizada (SISTENDCA, 2019).

2.4. Selección de muestras

A partir de los datos establecidos para las velocidades de avance y rotación, mediante el uso del software *Statgraphics StatAdvisor*, utilizando un diseño factorial multinivel se determina el orden de aleatoriedad para la construcción de probetas, como medida de protección contra el efecto de variables ocultas. Se construyen tres probetas de cada configuración. En la tabla 5, se muestra la distribución establecida.

Probeta	Vr [rpm]	Va [mm/min]
A	808	101
B	1615	53
C	3925	101
D	3925	53
E	808	71
F	1615	101
G	3925	71
H	1615	71
I	808	53

Tabla 5 – Configuración de los parámetros del proceso FSW.

2.5. Análisis térmico

El estudio de la transferencia de calor entre la herramienta y la junta, se realiza mediante la aplicación de la ley de fricción modificada de Coulomb (Mishra & Nilesh, Friction Stir Welding and Processing Science and Engineering, 2014), representada en la ecuación 11.

$$dQ = \omega \cdot r \cdot dF \quad (11)$$

, donde:

Q = Es el calor generado por el del pin $[W]$,

τ_{contacto} : Es la Tensión cortante por contacto

r : Es el radio del pin de la herramienta $[m]$,

ω = Es la velocidad angular $\left[\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right]$.

Aplicando la ecuación anterior para las tres superficies de la herramienta que entran en contacto con el material base (Figura 5), se determina el calor generado en cada una de ellas, cuyos valores se muestran en la Tabla 6.

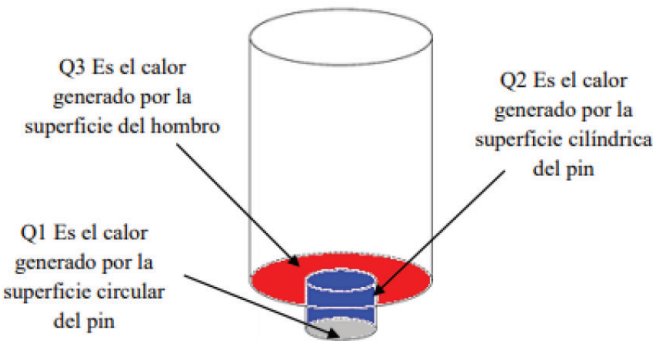


Figura 5 – Calor generado por el pin y del hombro [13].

RPM	Calor Generado [W]			
	Q1	Q2	Q3	Q Total
808	7,895	31,580	141,900	181,374
1615	15,780	63,120	283,624	362,524
3925	38,351	153,403	689,303	881,058

Tabla 6 – Calor y temperatura generada en el cordón de soldadura.

2.6.Control de sanidad

Para el control de la sanidad estructural de las juntas soldadas de aluminio AA, se aplican los criterios de aceptación y rechazo establecidos en la normativa vigente. Para la técnica de VT (García & Garzón, 2018), de acuerdo a las normas: AWS D1.2 / D1.2M y ASTM E329, se establecen los procedimientos de aplicación de la técnica VT y criterios de aceptación, como se indica en la tabla 7.

Defecto	Dimensiones
Grietas	Ninguna
Falta de vinculación	Ninguna
Porosidades	Ninguna
Inclusiones y óxidos remanentes	Ninguna
Individual	Menor de 0,33 T o 1,5 mm
Espaciado	4 veces el tamaño de la inclusión adyacente
Longitud acumulada en 75 mm de soldadura.	Menor de 1,33 T o 6 mm
Bajo relleno (Profundidad máxima, medida a partir de una superficie metálica de base)	0,05 T
Flash	Remover

Tabla 7 – Criterios de aceptación y rechazo de VT para el proceso FSW (AWS, 2014).

La técnica de PT (García & Garzón, 2018), se aplica conforme a las normas: AWS D1.2 / D1.2M y ASTM E-165, ANSI/ASME/BPV Sección V, donde se indica que: si los resultados de la inspección, confirma la presencia de fisuras o cualquier tipo de discontinuidades en la superficie soldada, la misma será rechazada (AWS, 2014).

La técnica de RT (García & Garzón, 2018), conforme a las normas: ASTM E-94 y AWS D1.2 / D1.2M: 2014. Los criterios de aceptación o rechazo se muestran en la Tabla 8.

Tamaño de la soldadura	DISCONTINUIDADES					
	Grandes		Medianas		Pequeñas	
[mm]	Nº max.	[mm]	Nº max.	[mm]	Nº max.	[mm]
4	7	1.04	18	0.7	41	0.47

Tabla 8 – Criterios de aceptación para la técnica de RT en juntas de AA de 4 mm de espesor (AWS, 2014).

3. Resultados y discusión

El análisis de resultados se plantea en función de los reportes generados por la aplicación de las técnicas EnD, de inspección visual, líquidos penetrantes y radiografía industrial.

3.1. Resultados VT

De los resultados obtenidos, el 80% de las probetas soldadas presentaron generación de rebabas (*flash*) en el cordón de soldadura, el cual fue removido por requerimientos de las especificaciones del procedimiento de soldadura. Las probetas A-1 y A-2, presentan poros superficiales de gran tamaño y un acabado superficial rugoso, Las probetas E1-F1 presentan penetración incompleta al final del cordón, en la Figura 6 se muestra una probeta soldada.

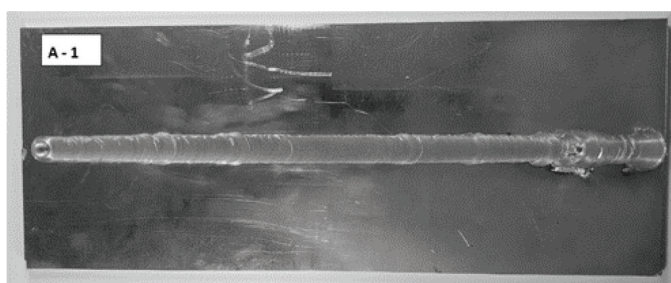


Figura 6 – Ensayo de inspección visual VT.

3.2. Resultados PT

Las probetas: H1-I1-D2-I2, presentan poros superficiales redondeados, de acuerdo a los criterios de aceptación o rechazo de PT estas son rechazadas, en la Figura 7 se puede observar una probeta sometida a la inspección por la técnica PT.

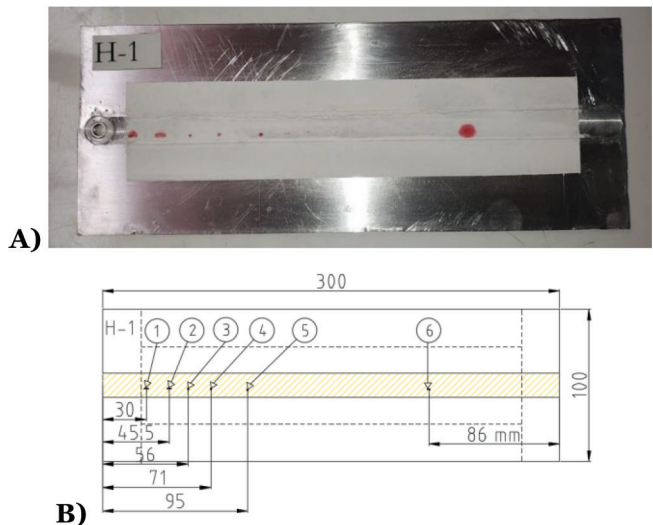


Figura 7 – Ensayo de inspección de líquidos penetrantes PT; a) negativo del ensayo PT; b) ubicación de discontinuidades.

3.3.Resultados RT

Los resultados de la inspección de radiografía industrial, muestran que todas las probetas presentan cavidades internas (*Worm-Hold*), las discontinuidades encontradas en las probetas B-1 y H-1 no cumplen en con los criterios de aceptación debido al número de poros internos, mientras que las probetas: C-1, D-1, G-1, H-1, D-2, E-2, F-2 y H-2 presentan discontinuidades internas que cumplen con los criterios de aceptación, como se muestra en la Figura 8.

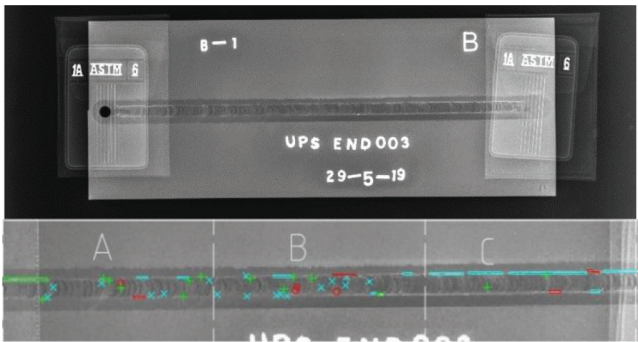


Figura 8 – Ensayo de inspección de radiografía industrial.

En la Tabla 9, se presenta un resumen consolidado de los resultados de las técnicas de inspección de EnD (VT, PT y RT), aplicados a las juntas de aluminio soldadas por el proceso FSW.

Probeta	Técnica END			
	VT	LP	RT	Evaluación
A – 1	R	R	A	R
B – 1	A	A	R	R
C – 1	A	A	A	A
D – 1	A	A	A	A
E – 1	A	A	A	A
F – 1	A	A	A	A
G – 1	A	A	A	A
H – 1	A	R	A	R
I – 1	A	R	R	R
A – 2	R	R	A	R
B – 2	A	A	A	A
C – 2	A	A	A	A
D – 2	A	R	A	R
E – 2	A	A	A	A
F – 2	A	A	A	A
G – 2	A	A	A	A
H – 2	A	A	A	A
I – 2	A	R	A	R
A= Aprobado, R= Rechazado.				

Tabla 9 – Consolidado de inspecciones realizadas en las juntas soldadas de aluminio mediante el proceso FSW.

El experimento fue repetido en condiciones similares para garantizar la validez de los resultados los resultados; de esta manera los parámetros de proceso empleados en la soldadura de las probetas A, B, D, H e I, presentan discontinuidades internas o externas que no cumplen con los criterios de aceptación establecidos por la norma AWS 1.2. De la misma manera, los parámetros de proceso utilizados en las de probetas C, E, F y G presentan discontinuidades internas que cumplen con los criterios aceptación.

Al analizar los resultados obtenidos mediante un valor promedio de discontinuidades internas y externas, se determina que los parámetros de operación correspondientes a la probeta F ($V_r=1615$ rpm y $V_a=101$ mm/mm) presentan un menor número de discontinuidades externas e internas.

4. Conclusiones

Las velocidades de avance y rotación en la soldadura de juntas de aluminio mediante el proceso FSW, deben ser proporcionales entres si para reducir la formación de discontinuidades internas y externas; es decir, al utilizar velocidades de rotación bajas

se ha de utilizar velocidades de avance bajas para obtener una mejor concentración de calor con un mayor tiempo de fijación.

El tiempo de fijación de la herramienta durante la ejecución del proceso FSW, en velocidades de rotación superiores a 1615 rpm, incide directamente en la generación de discontinuidades sub-superficiales acumuladas según los resultados presentados por la técnica de RT.

Las discontinuidades superficiales encontradas a partir de las técnicas de inspección visual y líquidos penetrantes, poros abiertos a la atmosfera y fisuras, se generan a velocidades de rotación inferiores a 808 rpm y velocidades de avance menores a 71 mm/min.

Las discontinuidades internas como la agrupación de porosidades identificadas por la técnica de radiografía industrial, se originan a velocidades de rotación y avance superiores a 1615 rpm y 71 mm/min respectivamente. También tiene efecto la falta de penetración de la herramienta y la geometría de herramienta utilizada.

De acuerdo a los resultados del valor promedio total de discontinuidades se concluye que los parámetros óptimos de operación para el desarrollo del proceso de soldadura se encuentran cercanos o superiores a una velocidad de rotación de 1615 rpm a velocidad de avance de 101 mm/min.

5. Referencias

- Alava, E., & Villamar, P. (2015). *Diseño y estudio de factibilidad para la creación de una planta fundidora de aluminio reciclado en la Provincia del Guayas*. Guayaquil, Ecuador: Escuela superior politécnica del litoral.
- Arroba, C., & Toapanta, R. (2015). *studio del proceso de soldadura por fricción agitación (FSW) y su incidencia sobre las propiedades mecánicas en uniones de perfiles de aluminio*. Amato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- AWS. (2014). *Structural Welding Code-Aluminum*. United States of America: AWS.
- AWS. (2016). *Specification for friction welding of metals (historical)*. United States of America: AWS.
- AWS Boost. (2010). *Specification For Friction Stir Welding of Aluminum alloys for Aerospace Hardware*. United States of America: AWS Boost.
- Backer, J. D. (2009). *Robotic Friction Stir Welding for Automotive and Aviation applications*. United States of America: University West.
- Bernal, C., & Reinoso, F. (2014). *Estudio técnico e implementación del laboratorio de Ensayos No Destructivos (END) para el área de Ciencia y Tecnologías de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca*. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Boonchouytan, W., Chatthong, J., Rawangwong, S., & Burapa, R. (2014). Effect of heat treatment t6 on the friction stir welded ssm 6061 aluminum alloys. *EMSES*, 56(11), 172-180.

- Caballero, G. (2015). *Electricidad 1: Fundamentos y seguridad*. Buenos Aires, Argentina: Creativa Andina.
- Canga, A., Beltrán, C., & Reinoso, F. (2019). *Control de Calidad en la Soldadura de la Estructura Metálica del Terminal de Transporte Terrestre del Cantón Gualaceo de la Provincia del Azuay*. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca.
- Cedeño, E. (2017). *Diseño metodológico de un procedimiento para la elaboración y ejecución de soldadura mediante el proceso FSW 'friction stir welding' y su aplicación en estructuras industriales*. Sangolquí, Ecuador: Departamento de ciencias de la energía y mecánica.
- ESAB. (2012). *Technical Handbook. Friction Stir Welding*. United States of America: ESAB.
- Feiyan, S., Jingyu, J., & Liming, Y. (2017). Effects of process parameters on microstructure and mechanical properties of friction stir lap linear welded 6061 aluminum alloy to NZ30K magnesium alloy. *ScienceDirect*, 5(1), 56-63.
- García, É., & Garzón, L. (2018). *Elaboración del procedimiento basado en la normativa estándar internacional AWS D.1 para la determinación de fallos en juntas soldadas usando radiografía industrial*. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca.
- García, M. (2019). *Propiedades súper plásticas de la aleación 6061 Procesada por Fricción Agitación*. Ciudad de México, México: Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas.
- Hall, A., Holowenko, A., & Laughlin, H. (1975). *Teoría y problemas de diseño de máquinas*. Switzerland: McGraw-Hill Interamericana.
- Hong, K., & Shin, Y. (2017). Prospects of laser welding technology in the automotive industry: A review. *Journal of Materials Processing Technology*, 245, 46-69.
- Illescas, T. (2014). *Efecto de los parámetros de procesamiento en la soldadura por fricción-agitación de una aleación 6061- T6*. Unidad Profesional Ticomán, Escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica. Ciudad de México, México: Instituto Politécnico Nacional.
- Lee, W., Schmuecker, M., Mercardo, U., Biallas, G., & Jung, S. B. (2006). Interfacial reaction in steel-aluminum joints made by friction stir welding. *ScienceDirect*, 355-358.
- Mishra, R., & Mahoney, M. (2007). *Friction Stir Welding and Processing* (1 ed.). Ohio: Materials Park, Ohio: ASM International.
- Mishra, R., & Nilesh, P. (2014). *Friction Stir Welding and Processing Science and Engineering*. New York: Springer Cham Heidelberg.
- Moreira, P., Santos, T., Tavares, S., Trummer, V., Vilaça, P., & Castro, P. D. (2009). Mechanical and metallurgical characterization of friction stir welding joints of AA6061-T6 with AA6082-T6. *ScienceDirect*, 30(1), 2647-2656.

- Mott, R. (2009). *Resistencia de materiales*,. Ciudad de México, México: Pearson Educacion. México.
- Padmanaban, G., & Balasubramanian, V. (2009). «Selection of FSW tool pin profile, shoulder diameter and material for joining AZ31B magnesium alloy – An experimental approach. *ScienceDirect*, 30(7), 2647-2656.
- Quiroz, E. (2015). *Gestión del proceso de ensayos no destructivos en el area de mantenimiento mina - Yanacocha*. Lima, Perú: Universidad nacional de ingeniería facultad de ingeniería geológica.
- Rodríguez, F. (2008). *Fundamentos de mecánica de sólidos*. Cuautitlán, México: Facultad de Estudios Superiores. Cuautitlán, México.
- Serway, R., & Jewett, J. (2008). *Física Para Ciencias E Ingeniería*. Harrisonburg, Virginia: James Madison University.
- SISTENDCA. (2019). *Introducción a los Ensayos No Destructivos*. Miranda, Venezuela: SISTENDCA.
- Welding Tecnology. (2007). *Welding Handbook, Welding processes*. United States of America: Welding Tecnology.
- Yilbas, B., & Sahin, A. (2014). *riction Welding: Thermal and Metallurgical Characteristics*. Switzerland: SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology.
- Zapata, J. (2013). *Evaluación de los esfuerzos residuales en juntas de aluminio unidas mediante el proceso de soldadura por fricción agitación*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Corte en rocas y su relación con la resistencia a compresión simple

Patricio Feijoo¹, Camila Iñiguez¹

pfeijoo@uazuay.edu.ec, uao78085@uazuay.edu.ec

¹ Universidad del Azuay, 010107, Cuenca, Ecuador

Pages: 59–67

Resumen: En el presente trabajo se ha ejecutado una serie de ensayos de velocidad de corte en roca, con la finalidad de obtener una relación entre dicha velocidad y la resistencia a la compresión simple, del material rocoso. Se inició el trabajo con la obtención de muestras de roca de una zona denominada Cojitambo, la cual se encuentra ubicada en la provincia del Cañar (Ecuador). Luego de la obtención de las muestras de roca, se las prepararon y se obtuvieron probetas de dicho material, con medidas de aproximadamente 5 cm x 10 cm x 12 cm y las mismas fueron sometidas a dos cortes, en una cortadora de rocas con disco diamantado. Finalmente, a las probetas que se generaron, luego de ejecutados los ensayos de corte, se las sometieron al ensayo de resistencia a la compresión simple (RCS), para finalmente determinar una relación entre la velocidad de corte y la RCS de estos valores y resultados obtenidos.

Palabras-clave: Compresión; corte; resistencia; roca; velocidad.

Rock cuts and their relationship to unconfined compressive strength

Abstract: This work shows the results of a series of rock cutting speed test in order to get a relationship between the above-mentioned speed and the unconfined compressive strength of rock material. This work started by collecting rock samples taken from a community called Cojitambo in the province of Cañar (Ecuador). After the rock samples were taken, these were prepared and test tubes of such material were obtained. These measured approximately 5 cm x 10 cm x 12 cm. They were cut into two parts by using a diamond disk rock cutter. Finally, the specimens generated, after doing the cutting test, were subjected to unconfined compressive strength test (UCS), which eventually helped determine the existing relationship between cutting speed and UCS of the values and results obtained

Keywords: Compression; cut; resistance; rock; speed.

1. Introducción

En el desarrollo de las actividades mineras, tanto en minas a cielo abierto como en minas subterráneas, es importante conocer la estabilidad de las estructuras presentes en el

proyecto minero y que muchas veces son generadas por los ingenieros en minas, para la extracción y explotación de los recursos minerales, pero es indispensable el análisis de la estabilidad de estas obras, el cual es dependiente de algunas propiedades, tanto del material rocoso como del macizo rocoso. Por esta razón es importante poder establecer las propiedades o características de la zona, para ejecutar los análisis y evaluar la estabilidad mediante la obtención de factores numéricos.

Se inicia definiendo algunos conceptos básicos para el desarrollo de esta propuesta.

El material rocoso o matriz rocosa es la roca simple y suelta de un conjunto de más pedazos del material. Este conjunto de pedazos de material rocoso toma el nombre de macizo rocoso y es el que debe ser evaluado en su totalidad.

La descripción y medida de las características y propiedades de la matriz rocosa, de las discontinuidades y de los parámetros del macizo rocoso, proporcionan los datos necesarios para la evaluación global del macizo. A partir de estos datos, la aplicación de las clasificaciones geomecánicas permite estimar la calidad y los parámetros resistentes aproximados del macizo, en términos de cohesión y fricción (González, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2004).

En la actualidad las clasificaciones geomecánicas se han generalizado y son ampliamente utilizadas, tanto en las fases de diseño como en las fases de ejecución, en todo tipo de obras en macizos rocosos. Es importante, por tanto, conocer las limitaciones y dificultades que presenta cada una de las clasificaciones. La mayoría de estas clasificaciones se basan en la cuantificación de una serie de parámetros característicos del macizo rocoso, que posteriormente se integran dando como resultado un índice de calidad. De esta manera, mediante observaciones directas y sencillos ensayos de campo, puede tenerse una aproximación del comportamiento geomecánico de macizo frente a las diferentes obras proyectadas (Hernández & Santamarta, 2015).

Una de las propiedades importantes que se debe conocer sobre el material rocoso es la resistencia a la compresión simple o uniaxial (RCS), y para obtener este parámetro se deben obtener muestras de roca que aflore en el yacimiento, preparar probetas adecuadas y enviarlas a laboratorios para la determinación de la presión de ruptura. Este trabajo debe ser permanente ya que la geología de los proyectos mineros varía en el avance de la explotación y por naturaleza las rocas son anisótropas y heterogéneas.

Se suele entender por “resistencia” a la carga específica (por unidad de sección), que es necesario aplicar a un material para producir su rotura. Según el esfuerzo que se aplique la resistencia puede ser: a compresión, a tracción, a flexión, a corte, a torsión, etc. La resistencia a compresión simple (o compresión uniaxial) de la matriz rocosa, es el valor que se obtiene cuando se aplica una carga de compresión en una dirección dada, sin aplicar ningún otro esfuerzo en ninguna otra dirección (Galván, 2017).

Se conoce que las rocas o las probetas obtenidas para la ejecución de ensayos no mantienen las propiedades en las diferentes direcciones, en consecuencia se debe introducir y argumentar estos conceptos.

La isotropía se puede aplicar de forma simplificada como siendo la propiedad de un medio de responder de forma igual independiente de la dirección que se aplique la

fuerza. Las rocas no suelen poseer esta característica, ya que la presencia de defectos o su composición condicionan/alteran el comportamiento de la roca matriz y del macizo rocoso (Santos, 2014).

Los materiales anisótropos son aquellos cuyas propiedades varían en función de la dirección utilizada para su medida. Aunque el carácter anisótropo de las rocas que poseen esta característica se manifiesta en todas sus propiedades, las de mayor importancia en mecánica de rocas son la resistencia y deformación (Oyanguren & Alejano, 2007).

De hecho, las propiedades de las rocas varían en las diferentes direcciones que se aplique el efecto, por eso a este punto proponemos utilizar el corte en la roca, el cual por razones descritas no será igual en función de la arista establecida para generar el mismo.

Este corte debe ser ejecutado sobre muestras o probetas preparadas, para tratar de mitigar los efectos de la anisotropía, lo cual es muy difícil conseguir. Así pues, en el proceso de corte de rocas intervienen conjuntamente el equipo o sierra de corte, el útil diamantado y el material a cortar. Además, no se deben olvidar los parámetros o condiciones del corte ni quizás el factor más importante: el humano (Suarez, Rodríguez, Calleja, & Ruiz, 1998).

Esta propuesta propone encontrar una relación entre la RCS de las rocas y la velocidad de corte, que en este trabajo se introduce como concepto.

2. Métodos

La base de este trabajo inicia con la obtención de muestras de roca de dos diferentes afloramientos ubicados en la provincia del Cañar (Ecuador), en el sector denominado Cojitambo, afloramientos compuestos por un travertino y una formación volcánica del tipo andesita (Feijoo, Flores, & Feijoo, 2019).



Figura 1 – Probetas de roca listas para los ensayos.

El travertino o mármol es una roca metamórfica resultado de la recristalización de la piedra caliza., sin embargo, todas las rocas calcáreas producidas por la naturaleza y capaces de tomar un pulimento se llaman mármoles, al igual que algunas rocas dolomíticas (Guerrero, 2012).

Las andesitas son rocas volcánicas de grano fino, son comunes, como coladas de lava en regiones orogénicas y ocasionalmente forman pequeñas intrusiones. Son compactas, algunas veces vesiculares y comúnmente de color castaño y en extensión total ocupan el segundo lugar después del basalto (Blyth & Freitas, 2003).

Se obtuvo 15 muestras para este estudio, de tal forma que las rocas extraídas sean sanas y no contengan ningún tipo de alteración o fracturación. Es muy importante que las muestras tengan superficies frescas y limpias, que nos permita realizar una valoración correcta del estado de la roca en la cual se procede a realizar los ensayos.

Realizada la toma de muestras se las preparó para la elaboración de probetas, las cuales tuvieron dimensiones de: 5 cm x 10 cm x 12 cm (Figura 1).

En una primera fase se ejecutó las pruebas de corte entre las dimensiones 5 cm y 12 cm, y en un segundo corte se lo plasmó entre las dimensiones 4 cm x 10 cm. Para la realización de los ensayos se utiliza el equipo apropiado. Para los dos cortes se utilizó una cortadora para probetas marca Covington, la cual es un modelo de piso diseñada para cortar rocas. Esta posee una sierra de estilo inmersión, lo que significa que el fluido de corte se asienta dentro del tanque y la cuchilla giratoria elevará el fluido de corte y alrededor de la probeta. (Figura 2).



Figura 2 – Cortadora de rocas Covington.

Las sierras de disco, para probetas de rocas de Covington, varían en tamaño desde una cuchilla de 18" a una cuchilla de 36". Esta unidad posee una sierra de disco de 30" (Covington Engineering, 2019). Se debe mantener las normas de seguridad durante la

ejecución de los cortes y siempre mantener cerrada la compuerta de la cortadora, con la finalidad de evitar cualquier tipo de incidente o accidente.

En la ejecución de cada corte, para cada probeta, se tomó el tiempo de ejecución de dicho corte de una manera exacta y de esta forma valorar el concepto, que en este trabajo se introduce, el cual se ha denominado “velocidad de corte por área” de superficie de la probeta. En el primer caso el área de corte es de manera general las dimensiones a x b. Para el segundo corte el área son las dimensiones b x c. Estos datos se los puede observar en la tabla 1.

	a	b	t corte	V c 1	c	t corte	V c 2	V c	RCS
<i>Muestra</i>	(mm)	(mm)	(min)	(mm ² / min)	(mm)	(min)	(mm ² / min)	(mm ² / min)	(MPa)
1	119,00	49,00	48,13	121,20	34,00	15,98	104,30	112,70	42,00
2	119,00	49,00	47,93	121,70	33,00	15,80	104,40	113,00	41,00
3	120,00	50,00	48,85	122,80	36,00	16,80	107,10	115,00	31,00
4	119,00	50,00	48,76	122,00	37,00	17,23	107,40	114,70	33,00
5	125,00	50,00	50,73	123,20	37,00	17,95	103,10	113,10	39,00
6	119,00	50,00	48,76	122,00	38,00	17,90	106,10	114,10	39,00
7	119,00	49,00	47,90	121,70	36,50	17,10	104,60	113,20	34,00
8	119,00	49,50	48,28	122,00	39,00	17,92	104,50	113,20	36,00
9	119,50	50,00	48,13	124,10	37,00	16,67	111,00	117,60	19,00
10	119,50	49,50	48,08	123,00	33,90	15,63	107,40	115,20	29,00
11	118,50	49,00	47,06	123,40	36,00	16,58	106,40	114,90	32,00
12	120,00	49,50	48,53	122,40	39,00	17,83	108,30	115,30	26,00
13	118,90	49,00	47,95	121,50	36,00	16,57	106,50	114,00	34,00
14	119,30	48,90	47,68	122,40	36,00	17,10	103,20	112,80	47,00
15	120,00	49,00	47,88	122,80	37,50	16,82	109,20	116,00	17,00

Tabla 1 – Datos del sector Cojitambo

De esta manera se obtiene las velocidades de corte de cada probeta en dos direcciones y finalmente se las promedia, para obtener la velocidad de corte de cada muestra.

Ejecutadas las pruebas de corte, de cada muestra quedan probetas de dimensiones aproximadas de 4 cm x 5 cm x 12 cm, las cuales son sometidas al ensayo de resistencia a la compresión simple (RCS), lo que proporciona 15 valores correspondientes a cada muestra o probeta. Para la ejecución de estas pruebas se debe utilizar el equipo adecuado. Este equipo tiene facultades para someter materiales a ensayos de compresión. La presión se logra mediante placas o mandíbulas accionadas por tornillos o sistema hidráulico. El equipo tiene como función comprobar la resistencia de diversos tipos de materiales, para esto posee un sistema que aplica cargas controladas sobre la probeta

(modelo de dimensiones preestablecidas) y mide en forma gráfica la deformación, y la carga al momento de su ruptura (Feijoo, Aucay, & Ordoñez, Aplicación del Esclerómetro para la determinación de la Resistencia a Compresión de Rocas, 2018).



Figura 3 – Equipo para ensayos de resistencia a la compresión Humboldt.

La Tabla 2 muestra una clasificación de las rocas y la resistencia a la compresión según la ISRM (International Society for Rock Mechanics) de 1981 (Feijoo & Román, 2019).

Descripción	Resistencia a la Compresión (MPa)
<i>Extremadamente blanda</i>	< 1
<i>Muy blanda</i>	1-5
<i>Blanda</i>	5-25
<i>Moderadamente blanda</i>	25-50
<i>Dura</i>	50-100
<i>Muy dura</i>	100-250
<i>Extremadamente dura</i>	250

Tabla 2 – Clasificación de la roca en base a la resistencia a la compresión según la ISRM

Para los sitios de estudio, se puede observar que las muestras de Cojitambo se clasifican dentro de las rocas blandas a moderadamente blandas.

3. Resultados y discusión

En la figura 4 se pueden observar los valores de resistencia a la compresión simple (RCS) de las probetas, en el eje de las ordenadas y cuyos valores varían entre 17 MPa y 47 MPa,

y en el eje de las abscisas, los valores de la velocidad de corte, los mismos que van desde los 112,7 mm²/min a 117,6 mm²/min para el sector de Cojitambo.

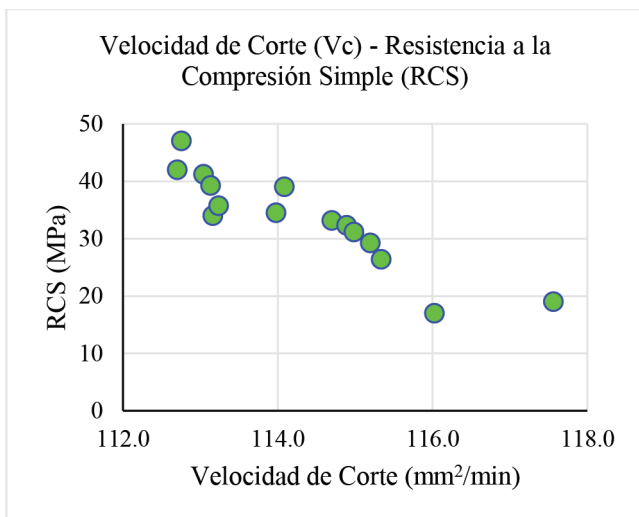


Figura 4 – Gráfica de resultados para el sector de Cojitambo.

Mediante esta gráfica podemos modelar las líneas de tendencia que generan la correlación. Esta correlación podemos observar en la figura 5.

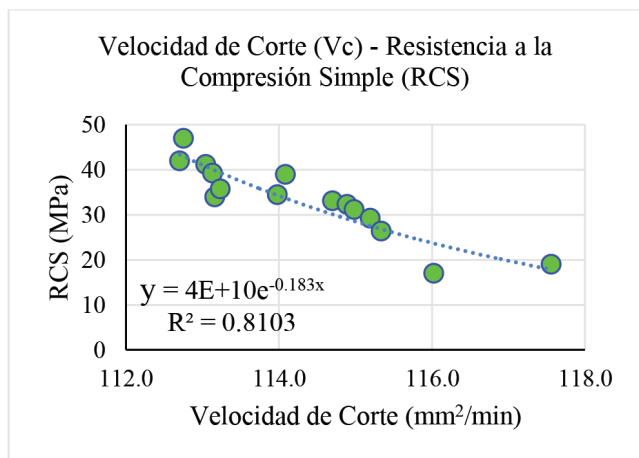


Figura 5 – Correlación para el sector de Cojitambo.

Analizados los datos se puede determinar que existe una correlación entre la RCS y la velocidad de corte de la roca. Esta velocidad de corte es inversamente proporcional a la RCS, de tal manera que las curvas de tendencia inclusive son asintóticas.

Se determina la correlación para el sector de Cojitambo (figura 6):

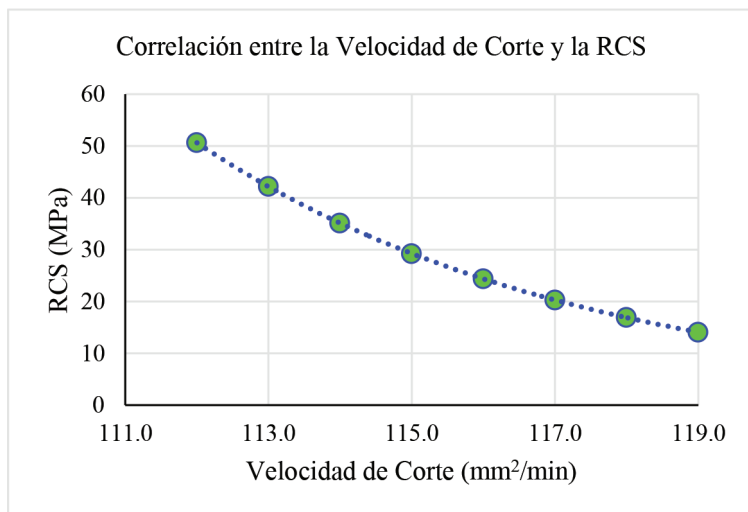


Figura 6 – Función de correlación para el sector de Cojitambo.

y esta obedece a la expresión:

$$RCS = 4E + 10e^{-0,183Vc} \quad (1)$$

Donde:

RCS en MPa

Vc en mm²/min

4. Conclusiones

Los ensayos de corte de rocas planteados en este estudio permiten conocer la resistencia a la compresión de la roca (RCS) de una manera económica y en poco tiempo, lo cual brinda cierta ventaja con respecto a los ensayos que se usan generalmente para conocer la resistencia a compresión de las rocas en laboratorio.

Como se puede observar en las figuras 4 y 5, las curvas generadas tienen un valor aceptable de R^2 (mayor a 0,8) para el sitio de estudio, y podrían facilitar el cálculo de la RCS simplemente valorando la velocidad de corte de las nuevas probetas en campo, a través de la función planteada (1).

Podemos registrar, que rocas de similares características en velocidad de corte, presentarán valores similares a los obtenidos, para Cojitambo, entre 112 y 118 mm²/min, lo que nos permite establecer que solamente cuando dichos valores de velocidad de corte no estén dentro de estos rangos, se envíen nuevamente muestras de roca a laboratorio.

Es importante ser metódicos en la toma de muestras, preparación de probetas, ejecución de corte, y análisis cuantitativo de cada elemento y ensayo, ya que de este trabajo se obtendrá resultados precisos, los cuales coadyuven a la caracterización de un material o roca en el campo.

Este trabajo podría considerarse avalado siempre que la caracterización de un material o roca este siempre supeditado a la ejecución de los ensayos de una manera que se tenga la posibilidad de comprobar los resultados con el envío esporádico de muestras al laboratorio, para la determinación de la RCS, y así verificar la metodología en el transcurso del desarrollo del proyecto minero.

Referencias

- Blyth, F., & Freitas, M. (2003). *Geología para Ingenieros*. Ciudad de México, vMéxico: CIESA.
- Covington Engineering. (2019). *Covington Manual: Lapidary & Glass Machinery*. Idaho, United States of America: Covington Engineering.
- Feijoo, E., Flores, C., & Feijoo, B. (2019). *El concepto de Área Granulométrica y su relación con la Resistencia a la Compresión Simple de Rocas*. Ciudad de Panamá, Panamá: IESTEC.
- Feijoo, P., & Román, M. (2019). Correlación entre la deformación y la resistencia a la compresión en rocas: un diagnóstico de campo. *Revista Universidad, Ciencia y Tecnología*, 93(91), 14.
- Feijoo, P., Aucay, L., & Ordoñez, D. (2018). *Aplicación del Esclerómetro para la determinación de la Resistencia a Compresión de Rocas*. La Habana, Cua: MINMETAL.
- Galván, M. (2017). *Mecánica de Rocas*. Cali, Colombia: Universidad del Valle, Colombia.
- González, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2004). *Ingeniería Geológica*. Madrid, España: Pearson.
- Guerrero, L. (2012). *Estudio de operaciones de corte en Mármol y su incidencia en la producción de la empresa DURAMAS Cía. Ltda. en el Cantón Ambato*. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- Hernández, L., & Santamarta, J. (2015). *Ingeniería Geológica en Terrenos Volcánicos*. Madrid, España: Colegio Oficial de Geólogos,.
- Oyanguren, P., & Alejano, L. (2007). *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid,.
- Santos, A. (2014). *Resistencia Anisótropa de las Rocas*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Suarez, L., Rodríguez, A., Calleja, L., & Ruiz, G. (1998). El corte de rocas ornamentales con discos diamantados: influencia de los factores propios del sistema de corte. *Revista Materiales de Construcción*, 48, 54.

Modelling and simulation of the behavior of a bioreactor for yogurt production

Wilfredo Angulo¹, Christian Montoya¹, Cristina López¹, Ronnie Murillo¹

wangulo@espol.edu.ec, cmmontoy@espol.edu.ec, crialope@espol.edu.ec,
ramurill@espol.edu.ec

¹ Escuela Superior Politécnica del Litoral, 090112, Guayaquil, Ecuador

Pages: 68–80

Resumen: El objetivo de este estudio consiste en analizar el comportamiento de un biorreactor, simularlo para diferentes casos y optimizar las condiciones iniciales para aumentar la cantidad de producción de ácido láctico. Se usaron distintos modelos matemáticos con la finalidad de explicar la operación de fermentación láctica considerando como parámetros el factor de inhibición de actividad, la velocidad de crecimiento bacteriano y las concentraciones de la biomasa (*Lactobacillus helveticus*), sustrato de suero de leche y ácido láctico. La simulación se llevó a cabo en MATLAB, se resolvieron los sistemas de Ecuaciones Diferenciales No Lineales mediante un algoritmo de Runge-Kutta de 4to Orden. Se observó la sensibilidad de los cambios al alterar las concentraciones de los reactivos además de analizar la cantidad de ácido láctico obtenido en menor tiempo logrando así un mayor rendimiento en el proceso de producción de ácido láctico.

Palabras-clave: Bacteria; Biomass; Biorreactor; MATLAB.

Abstract: The objective of this study is to analyze the behavior of a bioreactor, simulate it for different cases and optimize the initial conditions to increase the amount of lactic acid product. Different mathematical models were used in order to explain the process of lactic fermentation considering as parameters the activity inhibition factor, the rate of bacterial growth and the biomass concentrations (*Lactobacillus helveticus*), whey isolate substrate and lactic acid. The simulation was carried out in MATLAB, the systems of Nonlinear Differential Equations were solved using a 4th Order Runge-Kutta algorithm. The change sensibility was observed by altering the concentrations of the reagents besides to analyzing the amount of product obtained in less time, thus achieving a higher yield in the process of producing lactic acid.

Keywords: Bacteria; Biomass; Bioreactor; MATLAB.

1. Introducción

Nowadays, one of the fundamental processes for the elaboration of diverse products associates the use of cells or part of their metabolic activity to produce food, drugs,

fertilizer, etc. This is how the influence of bioprocesses has a great weight in the vanguard of bioreactor design, whose skill proves to be of great importance for an engineer specialized in the design of industrial, food and chemical plants.

The representative process for making yogurt is through lactic fermentation. There are basically two types of fermentation: one performed anaerobically and the other in an aerobic environment (Jakymac, Morán, Páez, Ferrer., Mármol., & Renores, 2001). The difference between one and the other is the presence of oxygen, respectively (Bouguettoucha, Balannec, & Amrese, 2011). Now, the way in which a bioreactor or fermenter works as it is commonly called, essentially is divided into two: the first is by continuous feeding of the substrate; the second form is in batches, that is, only a certain amount of matter is deposited to be fermented (Gómez, Calderón, & Álvarez, 2008).

For this case, work will be carried out considering the data used by the company TONICORP S.A. focused on its line of yogurts, in the stage of inoculation and incubation, which occurs inside a batch reactor. This process is carried out through the action of two important microorganisms: *Lactobacillus Delbruchii* subsp. *Bulgaricus* (L.D.Bo) and *Streptococci Salvarius* Subsp. *Thermophilus* (S.S.T) (Gadjil & Venkatesh, 1999). Both bacteria are added together as a starter culture, responsible for fermenting lactose and giving yogurt the aroma and flavor that characterize it (Nielsen, Nikolajsen, & Villadsen, 1991). These bacteria are grown in milk, taking advantage of their minerals, vitamins and other factors that improves bacterial growth, by cooperative symbiosis (Luedeking. & Piret, 1959). The behaviors of each process compounds are described by mathematical models based on specific parameters that act on the growth rate of the biomass, the substrate and the desired product (Rogers, Bramall, & McDonald, 1978). The mathematical models obtained are based on studies prior to this investigation, in order to compare the reliability of the generated model, with the referenced models.

The study will focus on the dynamic behavior of the BATCH bioreactor, along with the simulation of the process explaining how they vary over time: the concentration of substrate (Lactose), product (Lactic acid), Biomass (bacteria). The main motivation to develop this study was to introduce it in the automatic process control area.

The present work is divided as follows: Section 2 mentions the physical characteristics of fermenter, the chemical characteristics of a fermentation reaction and the description together with the characteristics of the fermenter. Section 3 is dedicated to the modeling of the system and in Section 4 the simulations are shown along with the necessary disturbances in order to improve the process. Finally, in section 5 the conclusions and future work.

2. Métodos

This study is based on a standard fermentation process in order to make yogurt through the transformation of lactose into lactic acid. In the industry of yogurt, this process consists on several discontinuous reactors that acts in parallel, whose lots are manually entered by the plant operators. But for the study, just one of those is analyzed. As is shown in Figure 1 (Leh & Charles, 1989).

It is assumed that the bioreactor acts as an isothermal one, since it is important for the process to maintain the temperature on 45 °C, in which the temperature is controlled by sensors and valves, though a cooling jacket. For this reason, it is not important to analyze how temperature affects the production of yogurt, since at this temperature it is provided an optimal environment for the correct development of the bacteria inside the reactor, and thus comply with quality standards.

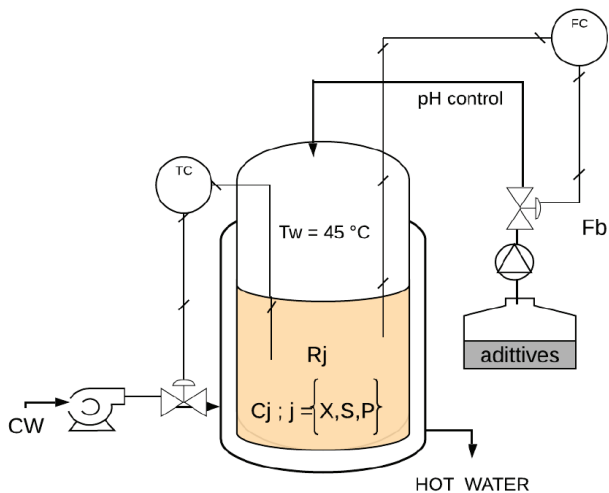


Figure 1 – Model of the idealized BATCH Reactor used in Standard fermentation processes in the preparation of Yogurt.

For this study was recollected some relevant info of a standard batch bioreactor in order to be used a guide for results. Presented in Table 1.

Optimal parameters for yogurt incubation	
Temperature	42 a 45 °C
Culture concentration	2% to 3%
Incubation time	5 to 6 hours

Table 1 – Optimum parameters for the preparation of Yogurt and dimensions of the reactor used AISI 304.

The purpose of this study was model and obtain the optimal conditions to operate a bioreactor in order to produce yogurt, through mathematical equations, material balances, and simulations of the results.

There must be considered certain assumptions to represent an optimal model:

Abdalah Bouguettouche mentioned lactic fermentation, for this process takes place in an anaerobic environment. It also must be despised the pressure drop due to there's no height gradient in the process, or the fact that there is no gas phase involved in lactic fermentation, under Cesar's Augusto Gómez assumption.

It all begins from the material balance for a general process in a dynamic system:

$$[\text{Accumulation}] = [\text{Entry}] - [\text{Output}] + [\text{Generation}] \quad (1)$$

From this equation, relations were established for the material balances by component within the reactor of: Substrate (S), Biomass (X) and Product (P) [(Jakymac, Morán, Páez, Ferrer., Mármol., & Renores, 2001); (Bouguettoucha, Balannec, & Amrese, 2011); (Gómez, Calderón, & Álvarez, 2008); (Gadjil & Venkatesh, 1999); (Nielsen, Nikolajsen, & Villadsen, 1991); (Luedeking. & Piret, 1959); (Rogers, Bramall, & McDonald, 1978); (Leh & Charles, 1989); (Amrane & Prigent, 1994); (Kumar, Mukherjee, & Chakraborty, 1996); (Boonmee, N.Leksawasdi, W.Bridge, & Rogers, 2003); (Passos, Fleming., Ollis, Felder, & McFeeters, 1994); (Tango & Ghaly, 1999); (Suárez, 2007) y (Biazar, Tango, Babolian, & Islam, 2003)].

Assuming there is no inputs or outputs, since this reaction occurs on a batch reactor, there is just an accumulation and generation term, and this is realized by component.

For biomass:

$$\frac{dX}{dt} = Rx; \quad X(o) = X_o \quad (2)$$

In order to explain the kinetics of bacterial growth, it was defined in the following equation as (Gómez, Calderón, & Álvarez, 2008):

$$\frac{dX}{dt} = Rx = \mu^* X \quad (3)$$

Where:

X represents the concentration of *Lactobacillus Helveticus* biomass, μ represents the specific microbial velocity, and Rx the velocity of bacterial growth.

Some authors include the death rate of the bacteria as K_{dx} in their expressions in the form of decay. [(Gadjil & Venkatesh, 1999); (Nielsen, Nikolajsen, & Villadsen, 1991); (Luedeking. & Piret, 1959); (Rogers, Bramall, & McDonald, 1978); (Leh & Charles, 1989); (Amrane & Prigent, 1994); (Kumar, Mukherjee, & Chakraborty, 1996); (Boonmee, N.Leksawasdi, W.Bridge, & Rogers, 2003) y (Passos, Fleming., Ollis, Felder, & McFeeters, 1994)]

$$\frac{dX}{dt} = Rx = \mu^* X - K_{dx} \quad (4)$$

The limitation of substrate proteins and the saturation of bacteria force the velocity equation to depend on the substrate. Monod's equation includes this expression (Nielsen, Nikolajsen, & Villadsen, 1991).

$$\mu = \mu_{max} * \frac{S}{S + K_s} \quad (5)$$

Where μ_{max} is the maximum specific growth rate, and K_s is the initial substrate concentration at half the maximum specific cell growth rate.

In order to make a more realistic model, some authors add the inhibition factors for the substrate, and product, as follows (Luedeking. & Piret, 1959):

$$\mu = \mu_{max} * \frac{S}{S + K_s} * e^{\left(-\frac{S}{K_{is}}\right)^{n_1}} * e^{\left(-\frac{S}{K_{ip}}\right)^{n_2}} - K_d \quad (6)$$

Where K_{is} is the substrate concentration at which the substrate inhibition factor is

$e^{\left(-\frac{S}{K_{is}}\right)^{n_1}} = 0.368$ (g/l), lactic acid inhibition concentration at which the product inhibition factor $e^{\left(-\frac{S}{K_{ip}}\right)^{n_2}} = 0.368$ (g/l), and n_1, n_2 are shape constants for the exponential function.

Matching Ec. (4), Ec. (5) and Ec. (6), it could be established an expression for the material balance of biomass as follows:

For inhibition factor:

$$\frac{dX}{dt} = Rx = \left[\mu_{max} * \frac{S}{S + K_s} * e^{\left(-\frac{S}{K_{is}}\right)^{n_1}} * e^{\left(-\frac{S}{K_{ip}}\right)^{n_2}} - K_d \right] * X \quad (7)$$

In fermentation process, the substrate is also an important variable since, is intended to form the medium where the respective cells are transported and where the product is formed (Luedeking. & Piret, 1959):

In order to explain the behavior of substrate in the fermentation process, it is also required to do a material balance as follows:

$$\frac{dS}{dt} = Rs \quad S(0) = S_0 \quad (8)$$

Where Rs = The substrate consumption.

Based on the kinetics of substrate consumption, we have the following equations:

$$\frac{dS}{dt} = Rs = R_{sx} + R_{sm} + R_{sp} \quad (9)$$

Where:

R_{sx} = Consumption velocity of substrate for cell growth $\left(\frac{g}{L * h}\right)$, R_{sm} = Consumption velocity of substrate for cellular maintenance $\left(\frac{g}{L * h}\right)$, and R_{sp} = Consumption velocity of substrate for product development $\left(\frac{g}{L * h}\right)$.

M.S.A. Tango exposes the importance of including the functionality of substrate as a reactive, and as a regulator agent, by distributing nitrogen nutrients over the bacteria for a greater resistance and productivity (Tango & Ghaly, 1999).

The consumption and production rate of each component, is expressed as follows:

$$R_{sx} = \frac{\frac{dX}{dt}}{Y_{x/s}} \quad (10)$$

$$R_{sm} = m_s * X \quad (11)$$

$$R_{sp} = \frac{\frac{dP}{dt}}{Y_{p/s}} \quad (12)$$

Where:

$Y_{x/s}$ Represents the yield coefficient for cell on substrate (g/g), m_s : The maintenance energy coefficient (1/h), $Y_{p/s}$: yield coefficient for product on substrate (g/g) and $\frac{dP}{dt}$: The rate of product formation (g/l h^{-1}).

Also, *Lactobacillus Helveticus* performance expressions are almost inferred by Diego Andrés Zuluaga, where (Suárez, 2007):

$$Y_{x/s} = \frac{\text{Grams of biomass obtained}}{\text{Grams of glucose consumed}} \quad (13)$$

$$Y_{p/s} = \frac{\text{Grams of product obtained}}{\text{Grams of glucose consumed}} \quad (14)$$

Adding Ec. (10), Ec. (11) and Ec. (12) into the Ec. (9), it is obtained:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{1}{Y_{x/s}} \left[\frac{dX}{dt} \right] + m_s X + \frac{1}{Y_{p/s}} \left[\frac{dP}{dt} \right] \quad (15)$$

Matching Ec. (7) with Ec. (15) results in an equation that explains the behavior of the substrate and how it is affected by the inhibition factor, as follows:

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{X}{Y_{\frac{X}{S}}} \left[\mu_{max} * \frac{S}{S + K_s} * e^{\left(\frac{S}{K_{is}}\right)^{n_1}} * e^{\left(\frac{S}{K_{ip}}\right)^{n_2}} - K_d \right] + m_s X + \frac{1}{Y_{\frac{P}{S}}} \left[\frac{dP}{dt} \right] \quad (16)$$

Furthermore, the material balance for the production of lactic acid is presented as follows:

$$\frac{dP}{dt} = R_p ; \quad P(0) = P_0 \quad (17)$$

So that, to explain the kinetics of fermented products, Ludeking and Pirat define the production equation of lactate through the production of bacterial growth and its growth rate (Boonmee, N.Leksawasdi, W.Bridge, & Rogers, 2003).

$$\frac{dP}{dt} = \alpha * \frac{dX}{dt} + \beta X \quad (18)$$

Where:

α and β are ratios of performance coefficients (Tango & Ghaly, 1999).

$$\alpha = \frac{Y_P}{Y_{\frac{X}{S}}} \quad (19)$$

$$\beta = \frac{Y_P}{m_s} \quad (20)$$

Equally, matching Ec. (7) with Ec. (18) results in Ec. (21).

$$\frac{dP}{dt} = X * \left[\beta + \alpha * \left[\mu_{max} * \frac{S}{S + K_s} * e^{\left(\frac{S}{K_{is}}\right)^{n_1}} * e^{\left(\frac{S}{K_{ip}}\right)^{n_2}} - K_d \right] \right] \quad (21)$$

Replacing the differential equations of biomass and product with Ec. (21) and Ec. (7), knowing Ec. (19) and Ec. (20), the equation for the material balance of substrate is:

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{X}{Y_{\frac{X}{S}}} \left[\mu_{max} * \frac{S}{S + K_s} * e^{\left(\frac{S}{K_{is}}\right)^{n_1}} * e^{\left(\frac{S}{K_{ip}}\right)^{n_2}} - K_d \right] m_s X \frac{1}{Y_{\frac{P}{S}}} * \left[\beta + \alpha * \left[\mu_{max} * \frac{S}{S + K_s} * e^{\left(\frac{S}{K_{is}}\right)^{n_1}} * e^{\left(\frac{S}{K_{ip}}\right)^{n_2}} - K_d \right] \right] \quad (22)$$

Once the differential equations are obtained, the concentrations for each species are simulated with bibliographic data. In the next step the change sensibility in product concentration over time will be analyzed. This will be done by maintaining the initial concentration of one from the two reagents while the second varies. Finally, the biomass behavior, substrate and product concentration will be observed, reproducing the results using graphs obtained in MATLAB.

3. Resultados y discusión

In general, the behavior of the process depends on several factors as the amount of substrate and biomass, their properties of life and metabolism. In the process operating at standard conditions, by using 0.1 g/l of biomass to consume 50 g/l of substrate we get 7.5 g/l of product in a period of 14 hours. See figure 2 and 3

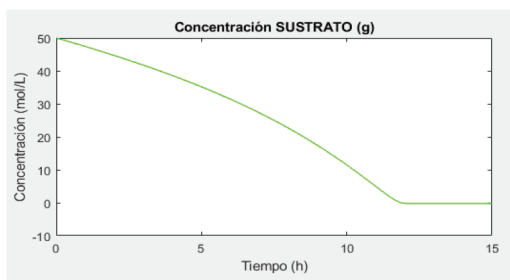


Figure 2 – Simulation of the process in standard condition for substrate simulation.

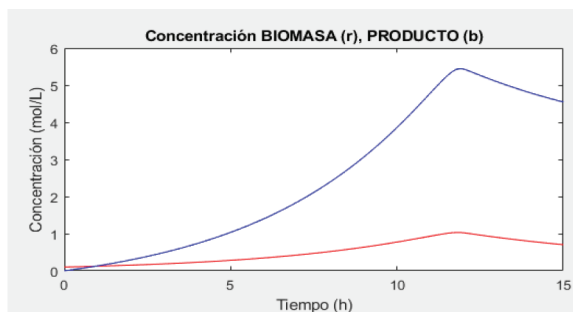


Figure 3 – Simulation of the process in standard conditions for biomass and product

Just as is illustrated in the table 2, we can see different concentration of product by changing the operational conditions. For example, as we increase the initial amount of biomass in the reactor, the process takes less time to consume the whole substrate and produce lactic acid, obtaining a concentration of 8.4 g/l in 6 hours using 0.7 g/l of initial concentration of biomass (highest amount of biomass necessary to consume 50g/l of substrate) see figure 4.

Simulations	X (g/l)	S (g/l)	P (g/l)	t (h)
Standard	0.1	50	5.5	12
1	0.2	50	7.5	11
2	0.5	50	7.8	8
3	0.6	50	8.4	7
4	0.7	50	8.6	6
5	0.1	100	15	17
6	0.1	150	23.5	19
7	0.1	200	32	20
8	0.1	250	60	23
Optimal	0.7	250	45	12

Table 2 – Simulations of different amounts of substrate and biomass.

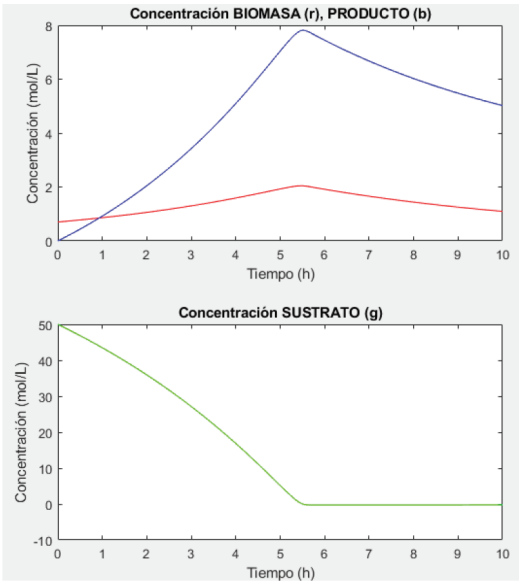


Figure 4 – Highestl amount of biomass necessary to consume 50 g/l of substrate.

If we change the initial concentration of substrate present in the reactor, we can get an increase of product generated by the biomass, but in a longer time of process. Getting 32 g/l of product in a period of 23 hours (amount of substrate consumed by 0.1 g/l of biomass on 24 hours) see figure 5. This occurs because the maximum concentration of bacteria that could be produce is in function of the amount of substrate present in the reactor, and as a result we can obtain more product, but it would take more time to produce it because there is more substrate to be consumed, see Table 2.

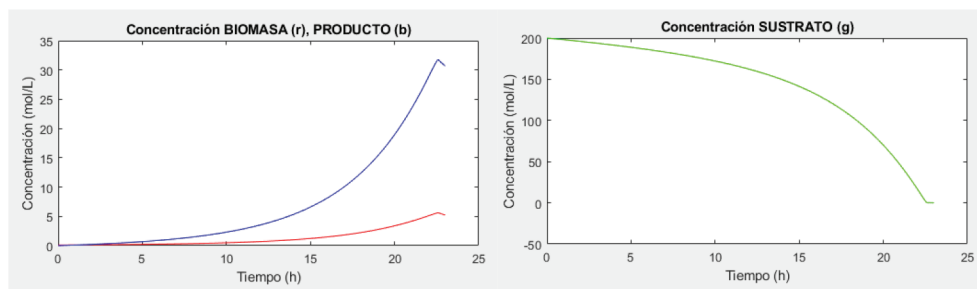


Figure 5 – Amount of substrate consume by 0.1 g/l of biomass on 24 hours

As we can appreciate in the Table 2 and figure 6, we manipulated the initial operational concentrations to the substrate and biomass in order to achieve the highest concentration of product in the optimal conditions predicted. So, increasing the concentration of biomass to 0.7 g/l and the concentration of substrate in 250 g/l we can produce 45 g/l in 12 hours, which is six times the amount of product generated by 0.1 g/l of substrate in the double of time.

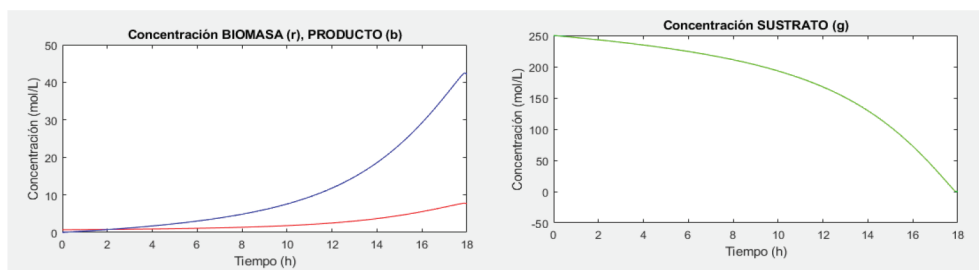


Figure 6 – Simulation with the optimal parameters.

4. Discusión

The modelling equations to program the simulation are the equations (7), (21), (22). The program expresses the mathematical behavior of each variable made in MATLAB using two simultaneous programs. The first program describes the functions in vectors using his own variables to get the answer using the previous data of the process. This program is a linear system of equations that use strings to get the graphics of concentrations of product, biomass and substrates. This program is called “SI”. The second program is used to sign the parameters of the biomass, the conditions of the time and initial concentrations of each component. The second program is named “yogurt”.

Subsequently, the simulations try to show the major conditions of concentration of component looking which concentration has more importance to increase the amount of product that process can obtain. To get these results, the conditions of substrate and biomass will change in different simulations while they keep constant another variable

(Product, kinetic parameters of the bacteria, etc.). After that, the max product will be checked and the needed time to get that amount of product. To see which variable more influence in the process has, both variables will be observed in different concentrations in a specific period.

The first change was increasing the amount of biomass to consume the initial amount of substrate, and according with the results, we can see that the biomass has a positive effect regarding the necessary time to consume the whole substrate. This occurs because the biomass is the main influence to perform the reaction.

The second change was increasing the amount of substrate available in the reaction, this increase the amount of product but with the inconvenient of a significant waste of time to achieve the product, this occurs because the substrate is just raw material in the reaction, so even if we increase the amount of substrate, it don't have a really important effect in the reaction rate but in the amount of product that can be obtain.

So is predictable, that if we combine the amount of biomass and substrate, we can obtain an increase of the product. Furthermore, our analysis and equations are focused on how our reactor works when we use only one bacterium in the process. In the real process, the reaction is taking place with two or three bacteria working simultaneously, as we mentioned before, so we can intuit a decrease of the time required to reach the maximum concentration of product. In case that we want to implement the effect produced by adding other bacteria working together, we should edit and add the parameters and variables of the other bacteria in the equations.

For upcoming research, it would be appropriate to find parameters of different kind of bacteria in order to determinate if these bacteria can be more efficient than the studied in this paper. As well as obtain more information about the dimensions of a real reactor for the purpose of optimize the process by changing the streams of substrate and product involve. For further analysis, it can determinate the effects of the pressure, temperature and pH in the reaction involve.

5. Conclusions

The substrate concentration was increased generating a greater amount of desired product in a longer time. Obtaining 32 g/l of product by 150 g/l of substrate in less than a day.

The biomass concentration was increased in seven times by reducing the operating time to consume the entire substrate in the process. Gaining 6 hours of process, by consuming 0.7 g/L of biomass to consume 50 g/l of substrate and getting 8 g/L of product

An increase in the proposed reaction yield was obtained, getting an increase in the production of lactic acid in less time compared to the reference process

With the objective of implementing this research to the food industry, simulations can be carried out knowing the initial concentrations and the bacteria type in use to increase the lactic acid production in the Ecuadorian yogurt industries.

Referencias

- Amrane, A., & Prigent, Y. (1994). Lactic acid production from lactose in batch culture: Analysis of the data with the help of a mathematical model: Relevance for Nitrogen source and preculture assessment. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 40, 644-649.
- Biazar, J., Tango, M., Babolian, E., & Islam, R. (2003). Solution of the kinetic modeling of lactic acid fermentation using Adomian decomposition method. *Applied Mathematics and Computation*, 144, 433-439.
- Boonmee, M., N.Leksawasdi, W.Bridge, & Rogers, P. (2003). Batch and continuous culture of *Lactococcus lactis* NZ133: Experimental data and model development. *Biochemical Engineering Journal*, 14(2), 127-135.
- Bouguettoucha, A., Balannec, B., & Amrese, A. (2011). Unstructured models for lactic acid fermentation – A Review. *Food Technology & Biotechnology*, 49(1), 3-12.
- Gadjil, C., & Venkatesh, K. (1999). Structured model for batch culture growth of *Lactobacillus bulgaricus*. *Chemical Technology and Biotechnology*, 89-93.
- Gómez, C. A., Calderón, Y., & Álvarez, H. (2008). Construcción de modelos semifísicos de base fenomenológica. Caso proceso fermentación. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 6(2), 28-39.
- Jakymac, M., Morán, H., Páez, G., Ferrer, J., Mármol, Z., & Renores, E. (2001). Cinética de la producción de ácido láctico por fermentación sumergida con lactosuero como sustrato. *Revista Científica. Facultad de Ciencias Veterinarias*, XI(1), 53-59.
- Kumar, S., Mukherjee, A., & Chakraborty, P. (1996). Effect of product inhibition on lactic acid fermentation: Simulation and modelling. *Applied Microbiology and Biotechnology volume*, 46, 410-413.
- Leh, M., & Charles, M. (1989). The effect of whey protein hydrolysate average molecular weight on the lactic acid fermentation. *Journal of Industrial Microbiology*, 4, 77-80.
- Luedeking, R., & Piret, E. (1959). Transient and steady states in continuous fermentation: Theory and experiments. *Biotechnology Bioengineering*, 1(4), 431-459.
- Nielsen, J., Nikolajsen, K., & Villadsen, J. (1991). Structured modeling of a microbial system: A theoretical study of latic acid fermentation. *Biotechnol Bioeng*, 38(1), 1-10.
- Passos, F., Fleming, H., Ollis, D., Felder, R., & McFeeters, R. (1994). Kinetics and modeling of lactic acid production by *Lactobacillus plantarum*. *Applied an environmental microbiology*, 60(7), 2627-2636.
- Rogers, P., Bramall, L., & McDonald, L. (1978). Kinetic analysis of batch and cintinous culture of *Streptococcus cremoris*. *Canadian Journal of Microbiology*, 24(4), 372-380.

Suárez, D. (2007). *Evaluación y simulación de la producción de ácido láctico con Lactobacillus casei ATCC 7469*. Medellín, Colombia: Universidad EAFIT.

Tango, M., & Ghaly, E. (1999). *Kinetic modeling of lactic acid production from batch submerged fermentation of cheese whey*. United States: U.S. Department of Energy Office of Scientific and Technical Information.

Análisis comparativo del rendimiento en el calentamiento de agua usando nanofluido CuO

José Estupiñán-Campos¹, Fernando Toapanta-Ramos¹, Orlando Rosero¹

jestupinanc@est.ups.edu.ec, ltoapanta@ups.edu.ec, oroserop@est.ups.edu.ec

¹ Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

Pages: 81–96

Resumen: La presente investigación tiene como objetivo demostrar el cambio de propiedades térmicas, temperatura y conductividad térmica, que presenta un fluido base (agua) al agregarse cierto porcentaje de nanopartículas (CuO) y cómo las mismas aumentan modifican estas propiedades en los procesos que se involucra la transferencia de calor. Por este motivo, se realizó un estudio de las propiedades del nanofluido de CuO a base de agua a una concentración de 0.3% y se desarrolló un análisis comparativo sobre la transferencia de calor con el fluido de agua sin nanopartículas con un software de simulación de CDF. Según los resultados obtenidos, la diferencia de temperatura en el fluido base y el nanofluido es de 27,5 y 68,7 ° C respectivamente, lo que muestra una mejora significativa de la transferencia de energía, el pico de flujo de calor en la pared del intercambiador utilizando el nanofluido es aproximadamente diez veces mayor que el fluido base con valores de 5394020 y 549765 (W m⁻²) respectivamente. Existe también una mejora considerable en términos de conductividad térmica debido a que su valor pico en el nanofluido es 1825,825 veces mayor al valor pico del fluido base.

Palabras-clave: Propiedades térmicas; temperatura; conductividad térmica; nanopartículas; transferencia de calor; nanofluido.

Rock cuts and their relationship to unconfined compressive strength

Abstract: This research aims to demonstrate the change of thermal properties, temperature and thermal conductivity, which presents a base fluid (water) by adding a certain percentage of nanoparticles (CuO) and how they increase modify these properties in the processes that involve the heat transfer. For this reason, a study of the properties of the water-based CuO nanofluid at a concentration of 0.3% was carried out and a comparative analysis on heat transfer with water fluid without nanoparticles was developed with a CDF simulation software. According to the results obtained, the temperature difference in the base fluid and the nanofluid is 27.5 and 68.7 ° C respectively, which shows a significant improvement in energy transfer, the peak heat flow in the wall of the exchanger using the nanofluid is approximately ten times greater than the base fluid with values of 5394020 and

549765 (W m⁻²) respectively. There is also a considerable improvement in terms of thermal conductivity because its peak value in the nanofluid is 1825,825 times greater than the peak value of the base fluid.

Keywords: Thermal properties; temperature; thermal conductivity; nanoparticles; heat transfer; nanofluid.

1. Introducción

Un nanofluido puede ser considerado como una suspensión de nanopartículas sólidas las cuales poseen una alta conductividad térmica. Debido a estas partículas se consigue una mejora de las propiedades térmicas de dicho fluido. Los nanofluidos tienen interés como medio de transferencia de calor en aplicaciones con condiciones críticas de transmisión de calor. Entre los potenciales campos de aplicación se pueden señalar enfriamiento de reactores nucleares, sistemas de acondicionamiento, entre otros.

La transferencia de calor como explican Ful, Bhanvase & Sonawane (2017) es un proceso muy importante en muchos campos, como la generación de energía, el aire acondicionado, transporte y la microelectrónica debido a los procesos de calentamiento y enfriamiento involucrados. Además, señala que es una ciencia básica que estudia la rapidez con la cual se transfiere la energía térmica.

Según Dang et al (2019), la energía presente en un cuerpo o fluido se puede transferir hacia otro por dos mecanismos: calor y trabajo. Es importante destacar que se debe entender que flujo de calor se refiere a la transferencia de energía térmica y no a un fluido llamado calor.

La superficie y las propiedades de transferencia de calor del fluido, son factores importantes que tienen un gran impacto en el proceso de transferencia. La implementación de nanofluidos, según Fard, Dehkordi y Abdollahi (2018), es propuesta como una nueva generación en fluidos de transferencia de calor en procesos de enfriamiento o calentamiento, disminuirán el tamaño de los equipos de transferencia. La implementación de los nanofluidos se debe a la baja efectividad térmica de trabajo del agua, aceite o etileno.

Como explican Hajatzadeh et al. (2019), los intercambiadores de calor son dispositivos que proporcionan un flujo de energía térmica entre dos o más fluidos a diferentes temperaturas con aplicaciones comúnmente empleadas en las industrias automotrices. Sin embargo, Arie et al. (2020), exponen que un intercambiador de calor además de tener un buen rendimiento debe tener un peso no muy elevado y bajo costo de producción para ser considerado como un dispositivo viable a ser utilizado en la industria. Adicionalmente, Li et al. (2020), afirman que los elementos de este dispositivo deben estar diseñados para ser capaces de resistir los diferentes cambios de temperatura a los cuales van a estar sometidos.

Si a los intercambiadores se les agrega nanofluidos su capacidad para intercambiar calor aumenta, como exponen Mukesh y Chandrasekar (2019), además, su eficiencia aumenta notablemente. En este estudio es posible observar como el intercambio de calor del nanofluido hacia otro fluido, es alto, lo cual abre un gran abanico de posibilidades en aplicaciones de diversos tipos.

Partiendo de lo anterior Kaya et al (2019) señalan que la aplicación de nanopartículas a los campos de ingeniería térmica presenta muchos resultados significativos y que los sólidos tienen una conductividad térmica más alta junto a un almacenamiento térmico más prolongado en comparación a los líquidos.

Fard y Abdollahi (2018), también recalcan que la conductividad térmica de los nanofluidos dependerá de varios parámetros incluyendo la forma y tamaño de las nanopartículas, temperatura, fluido base, aditivos añadidos, el pH del nanofluido, como también la interacción entre la superficie de las nanopartículas y las moléculas del fluido base, dicha interacción tiene un mayor impacto en las propiedades térmicas del nanofluido. Esto se puede confirmar en la investigación de Shan et al. (2018), donde estas características generaron una variación en la conductividad y viscosidad del nanofluido, lo que es evidente tomando en cuenta que el rendimiento térmico del nanofluido con partículas de cobre presenta una notable mejora de alrededor de 20% cuando su porcentaje en el volumen total es de un 0,3%.

La alta conductividad de las nanopartículas es la razón principal del alto rendimiento térmico de los nanofluidos. Estos nanofluidos por consecuencia adquieren una alta conducción térmica a bajas concentraciones de nanopartículas, en el caso de utilizar altas concentraciones de estas partículas, se pueden generar aglomeraciones, fenómeno desfavorable en las aplicaciones de transferencia de calor. De igual manera, otro punto importante en la conducción es la temperatura de la partícula como afirman Ahmadi et al. (2019), debido a que se ha logrado apreciar en varios experimentos como la conducción ha aumentado acorde al incremento de la temperatura.

Es importante señalar al movimiento Browniano como factor clave para mejorar la conductividad térmica de un nanofluido, dicho movimiento es aquel que se da de manera aleatoria en las partículas que se encuentran en un fluido cualquiera, al aumentar su movimiento, las nanopartículas transportaran mayor cantidad de energía en el fluido base, haciéndolas perfectas para trabajos térmicos, tal y como se evidencia partiendo de Ahmadi et al. (2019).

En su trabajo Shan et al. (2018), experimentan con varias formas y tamaños de nanopartículas de CuO, con el objetivo de saber cuál de estas tiene el mejor rendimiento. Las más destacadas en su estudio fueron las de nano-varilla, nano-barra, rectangular y en forma de cubo. Sin embargo, la que sobresale por su mejor rendimiento en transferencia de calor es la nano-varilla, debido a que, a mayor temperatura tendrá una mayor transferencia de calor.

Vasco et al. (2016), expresan en su investigación que existen principalmente dos técnicas para sintetizar nanofluidos; el método de dos pasos y el método de un solo paso. La dispersión de una pequeña cantidad de nanopartículas obtenidas en ambos métodos en un fluido base, incrementa notablemente su conductividad térmica, lo que se puede apreciar en nanofluidos con nanopartículas de CuO y Al_2O_3 , debido a que aumentan su conductividad térmica en un 20% y un 30%.

Es posible verificar el aumento de la tasa de transferencia de calor en nanofluidos con varios tipos de nanopartículas en un material de cambio de fase (parafina), gracias a los experimentos realizados debido a que arrojaron mejores resultados con nanopartículas

de cobre, estabilizadas en el fluido base mediante un dispersante, adicionalmente, los tiempos de calentamiento y enfriamiento son reducidos en un 30.3% y 28.2%, respectivamente, ello partiendo de Vasco et al (2016).

Por lo tanto, este artículo tiene como objetivo demostrar el cambio de propiedades térmicas, temperatura, conductividad térmica y flujo de calor, que presenta un fluido al agregarse cierto porcentaje de nanopartículas y cómo las mismas aumentan estas propiedades en los procesos que se involucra la transferencia de calor.

2. Métodos

2.1. Descripción de sistema de transferencia

A partir de Vasco et al. (2016), la densidad y la capacidad calorífica, de un nanofluido pueden calcularse mediante el principio de la regla de la mezcla. Sin embargo, por el momento no hay manera una teoría general con la que se pueda predecir la conductividad térmica del fluido de trabajo, debido a que depende de otras características. Sin embargo, se ha propuesto correlaciones empíricas para el cálculo de la conductividad térmica. Para la aplicación matemática se debe tomar en cuenta la necesidad de trabajar con el diámetro hidráulico para obtener en número de Reynolds y el intervalo de concentraciones volumétricas ($0\% < \phi < 2,5\%$).

$$\rho_{nf} = (1 - \phi) \rho(T) + \phi \rho_s \quad (1)$$

$$Cp_{nf} = \frac{\phi \rho_s Cp_s + (1 - \phi) \rho(T) Cp(T)}{\phi \rho_s + (1 - \phi) \rho(T)} \quad (2)$$

$$k_{nf} = \frac{k_s + 2k(T) - 2\phi(k(T) - k_s)}{k_s + 2k(T) + \phi(k(T) - k_s)} k(T) \quad (3)$$

A partir de las tres ecuaciones presentadas anteriormente se puede determinar las propiedades de los nanofluidos, como se aprecia en la tabla 1, para poder aplicarlas en cualquier cálculo o estudio.

	Agua pura	Cu	Al ₂ O ₃	TiO ₂
Calor específico, C_p , (J/kg K)	4179	385	765	686.2
Densidad, ρ , (kg/m ³)	997.1	8933	3970	4250
Conductividad térmica, k , (W/m K)	0.613	400	40	8.9538
Coefficiente de expansión volumétrica, β , (10^{-5} K ⁻¹)	21	1.67	0.85	0.9
Viscosidad cinemática, α , (10^{-7} m ² /s)	1.47	1163	131.7	30.7

Tabla 1 – Propiedades de diferentes nanofluidos (Fard & Abdollahi, 2018).

Hay que tener en cuenta. Sin embargo, al tratarse de nanopartículas de CuO la conductividad también va a variar de acuerdo a la geometría de la partícula. Esto recalca Shan et al. (2018), en su informe, donde experimentalmente demuestra esta hipótesis poniendo en prueba diferentes geometrías. En la figura 1 se muestran los resultados de dicho experimento, pudiendo notar que las partículas con forma de nano-barra (nanorod) son las que ofrecen mejores propiedades térmicas.

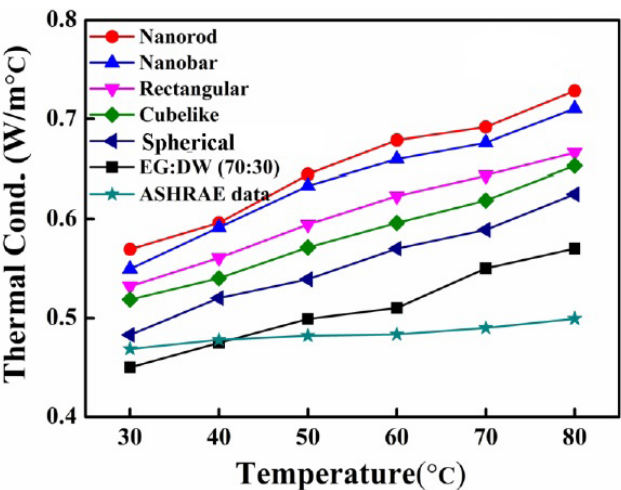


Figura 1 – Conductividad térmica en diferentes tipos de geometrías de nanopartículas de CuO. Shan et al. (2018).

En la tabla 2 se muestran diferentes fracciones de volumen en la que el nanofluido de CuO es óptimo y además del régimen de flujo en el que se debe encontrar para cumplir con dicha característica.

Autor / Año	Nanofluido	Rango fracción volumen (%)	Régimen de flujo
Khoshvaght (2016)	CuO/Agua	0.1 & 0.3 %	Laminar
Huminic y Huminic (2015)	CuO/Agua	0.1, 0.2 & 0.3 %	Laminar & turbulento
Rakhsha, Farkan, Abbas y Saffar-Avval (2015)	CuO/Agua	0.1%	Laminar & turbulento
Tohid, Ghaffari, Nasibi y Mujumdar (2015)	CuO,Al2O3/ Agua	1 – 3 %	Caótico
Shanthi y Shanmuga (2015)	CuO Al2O3/ Agua, Aceite, Ethilen glycol	4.3 & 2.4 %	Laminar & turbulento
Huminic y Huminic (2011)	CuO, TiO2/ Agua	0.5-0.3%	Laminar

Tabla 2 – Rango de fracciones volumétricas (Mukesh Kumar & Chandrasekar , 2019).

Cualquier movimiento del fluido ocurre por medios naturales, las velocidades asociadas con la convección natural son bajas, por lo común inferiores a 1 m/s. Por lo tanto, los coeficientes de transferencia de calor que se encuentran en la convección natural suelen ser mucho más bajos que los hallados mediante convección forzada.

Se presenta las correlaciones para evaluar la transferencia de calor por convección natural teniendo una configuración geométrica circular (tubo).

$$Ra_D = \frac{g \beta (T_s - T_\infty) \varnothing_{EXT}^3}{\nu^2} Pr \quad (4)$$

$$Nu = \left\{ 0.6 + \frac{0.387 Ra_D^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 \quad (5)$$

$$h = \frac{k Nu}{\varnothing_{EXT/INT}} \quad (6)$$

$$Re = \frac{V \rho \varnothing_{IN}}{\nu} \quad (7)$$

$$L = 0.1(2) + 0.7(8) + 3.5\pi(0.1) \quad (8)$$

$$A_{trans} = \pi r^2 \quad (9)$$

$$A_s = \pi \varnothing_{\frac{EXT}{INT}} L \quad (10)$$

$$R_T = \frac{1}{A_{s\ INT} h_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi L k_{Cu}} + \frac{1}{A_{s\ EXT} h_o} \quad (11)$$

2.2. Modelado y procedimiento de simulación

Para realizar el estudio comparativo se tomaron en cuenta dos simulaciones de un intercambiador de calor en el software de simulación Ansys Fluent 19 R2 versión académica, ambas con las mismas dimensiones en cuanto a la longitud, volumen y área de transferencia de calor, como se muestra en la figura 2. Cambiando únicamente las propiedades del fluido que circula a través de él.

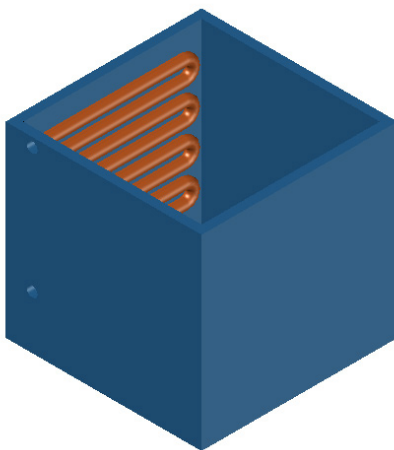


Figura 2 – Intercambiador de calor.

Las dimensiones utilizadas para el intercambiador de calor antes mencionado, para su diseño y posterior simulación, están expresadas en la figura 3, buscando obtener el mayor número de secciones horizontales para incrementar el área de transferencia de calor y a su vez la eficiencia del intercambiador.

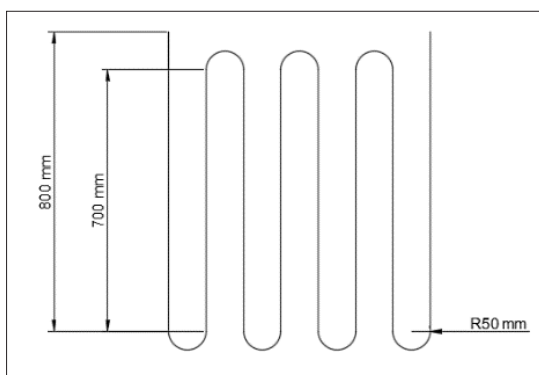


Figura 3 – Dimensiones del intercambiador de calor.

En la figura 4 se pueden apreciar la dimensión del diámetro de la tubería. El espesor de pared en el tubo es corto en comparación a otros dispositivos de transferencia de calor con el fin de tener la mayor cantidad de fluido circulando y para reducir la resistencia que pueda presentar la pared.

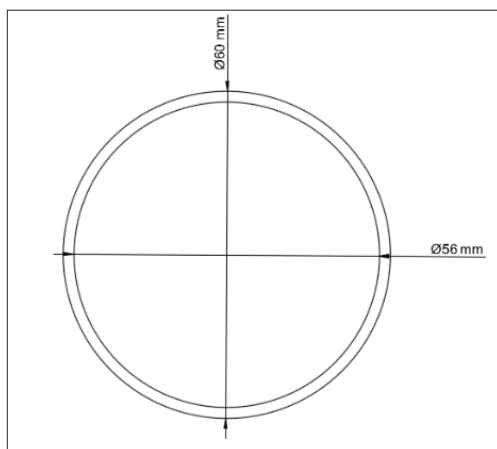


Figura 4 – Diámetro de la tubería.

2.2.1. Modelado del intercambio de calor

Para la simulación numérica del proyecto se emplean dos métodos los cuales son: Euler-Euler y Euler-Lagrange **Invalid source specified..** Donde el primero es muy exigente a nivel computacional. Mientras que el segundo método es menos exigente a nivel computacional, es adecuado para el diseño y la optimización de submodelos y procesos relacionados con la transferencia de calor (Riber, Moureau, García, Poinso, & Simonin, 2009); (Shinjo & Umemura, 2011); (Nieckele, Naccache, & Gomes, 2011); (Bi, Chen, Li, Tan, & Xiang, 2018)].

2.2.2. Turbulencia

El modelo de turbulencia común consiste en DNS, LES RANS, entre otros. Aunque DNS y LES pueden lograr una simulación más exacta, el proceso de cálculo es complicado y los mismos se usan generalmente en un campo de flujo simple e ideal. Sin embargo, no es aplicable al flujo turbulento debido a que es un flujo complejo no lineal. RANS ha sido ampliamente utilizado debido a su bajo costo computacional y su precisión aceptable (Besagni, Mereu, Chiesa, & Inzoli, 2015).

Generalmente son utilizados tres modelos RANS: el modelo k- ϵ estándar, el modelo RNG k- ϵ y el modelo k- ϵ realizable. El primero supone que el flujo es completamente turbulento y los efectos de la viscosidad molecular no son influyentes, por lo cual no debe ser empleado en los flujos totalmente turbulentos, el segundo deriva de las ecuaciones instantáneas de N-S utilizando el método de grupo de renormalización y utilizado en

flujos de tensión rápida y flujos arremolinados, y el tercero puede satisfacer ciertas restricciones matemáticas en el estrés de Reynolds, consistente con la física de los flujos turbulentos (ANSYS Inc., 2017).

2.2.3. Modelado de la función de pared

Para modelar la región del tratamiento cerca de la pared existen dos métodos incluyendo las funciones de pared y el modelo cercado a la pared. Las funciones de la pared se configuran de fórmulas semi empíricas que pueden llevar a la necesidad de modificar los modelos de turbulencia para tomar en cuenta la presencia de la pared. El modelo cercano de la pared deriva del modelo de la turbulencia modificada para resolver la malla. En este paso se recomienda elegir la función de pared estándar para una amplia gama de flujos limitados por la pared (Bi, Chen, Li, Tan, & Xiang, 2018); (ANSYS Inc., 2017).

También es posible utilizar el tratamiento de pared mejorado debido a que las funciones de pared estándar predeterminadas son generalmente aplicables si el primer centro de celda adyacente a la pared tiene una y^+ mayor que 30. La opción de tratamiento de pared mejorado proporciona soluciones consistentes para todos los valores de y^+ . Se recomienda un tratamiento de pared mejorado cuando se usa el modelo k-epsilon para problemas generales de flujo de fluido de fase única (ANSYS Inc., 2017).

2.2.4. Modelado de las nanopartículas

Para insertar las nanopartículas es necesario disponer del modelo de fase discreta donde es posible configurar la inyección de las mismas. Las opciones para poder inyectarlas son variadas, sin embargo, la más utilizada para este tipo de procesos es la inyección tipo superficie con la cual se toma en cuenta la cara por donde va a ingresar el fluido con las propiedades que va a tener en el momento de entrar al intercambiador de calor como: velocidad, temperatura, flujo másico, entre otros (ANSYS Inc., 2017).

2.2.5. Métodos de solución

En el acoplamiento presión velocidad es necesario tomar en cuenta si es requerido seleccionar un esquema simple o acoplado. De la misma forma el gradiente, presión, momento, entre otros. Los cuales presentan de primer, segundo orden o estándar como el caso lo requiera (ANSYS Inc., 2017).

3. Resultados

3.1. Análisis comparativo de la temperatura

Existe una diferencia de temperatura de $64,2^{\circ}\text{C}$ a lo largo del intercambiador en el caso del nanofluido como se aprecia en la figura 5 b. La cual, representa una mayor transferencia de energía entre el fluido dentro del tubo y el exterior. Mientras, la diferencia de temperatura del fluido base (agua) a pesar de ser notable como se aprecia en la figura 5 a, es tres veces menor con un valor de $21,4^{\circ}\text{C}$, lo que se traduce en menor eficiencia en la transferencia de calor.

El dispositivo de transferencia de calor se divide en ocho secciones horizontales como se aprecia en la figura 6, las cuales representan las filas desde la superior hacia la inferior. Esto permite realizar un estudio diferenciado entre los distintos niveles del intercambiador para conocer con precisión dónde ocurre la mayor diferencia de temperatura y cómo puede afectar la misma a las propiedades térmicas de los diferentes fluidos utilizados para el análisis.

Los cambios súbitos de temperatura generan también grandes transferencias de calor en la sección donde ocurren, por lo tanto, determinar dicha sección del dispositivo de mayor intercambio de calor es vital para el análisis del comportamiento de los fluidos.

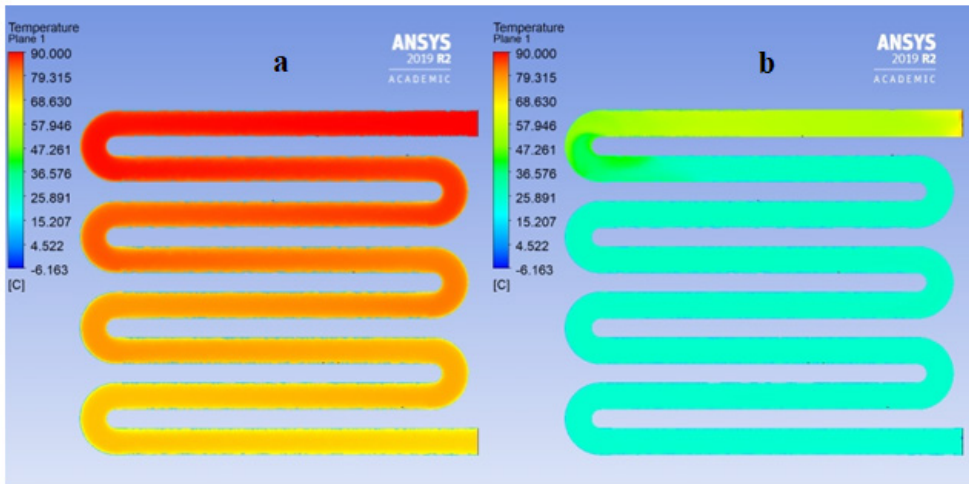


Figura 5 – Temperatura de los fluidos en el intercambiador de calor.

En la figura 6 se puede apreciar como la temperatura del agua decrece de forma lineal a lo largo del dispositivo de intercambio de calor. Lo cual se puede traducir en un flujo de calor en la pared sin grandes diferencias en el trayecto del fluido como se muestra en la figura 9.

En la figura 7 se puede apreciar el cambio no lineal y repentino de la temperatura a lo largo de toda la primera sección del intercambiador de calor cuando se utiliza el nanofluido, lo cual cambia en las demás secciones con diferencias de temperatura menos notables y más lineales.

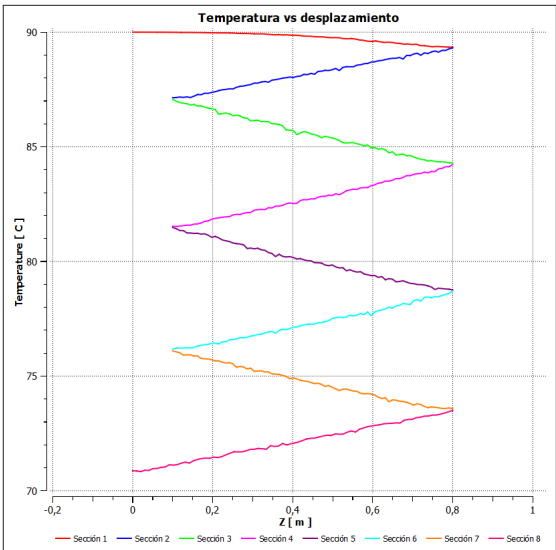


Figura 6 – Temperatura del agua vs desplazamiento.

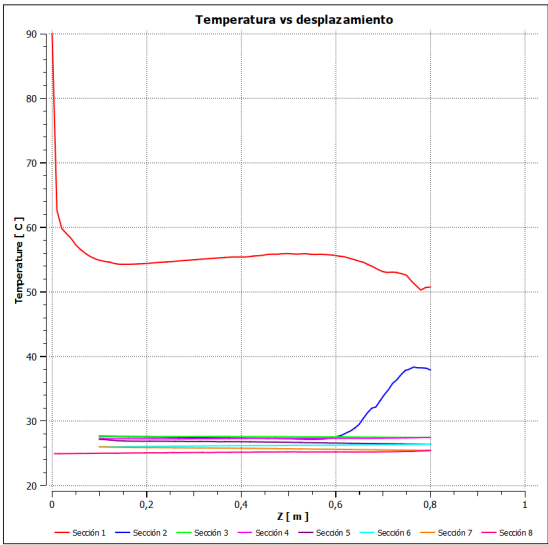


Figura 7 – Temperatura del nanofluido vs desplazamiento.

3.2. Análisis comparativo de la conductividad térmica efectiva

La conductividad térmica efectiva del nanofluido en su pico más alto es 584264 (W/m K), mientras que la conductividad térmica efectiva del fluido base en su pico más alto es 320,64 (W/m K), como se muestra en las figuras 8 a y b. Esto representa una conductividad térmica efectiva 1.825,825 veces mayor. Sin embargo, es importante notar que la misma para el fluido con nanopartículas también decrece rápidamente a lo largo del dispositivo de intercambio de calor, lo cual ocurre debido a que la conductividad térmica es una propiedad que depende directamente de la temperatura, que se reduce notablemente.

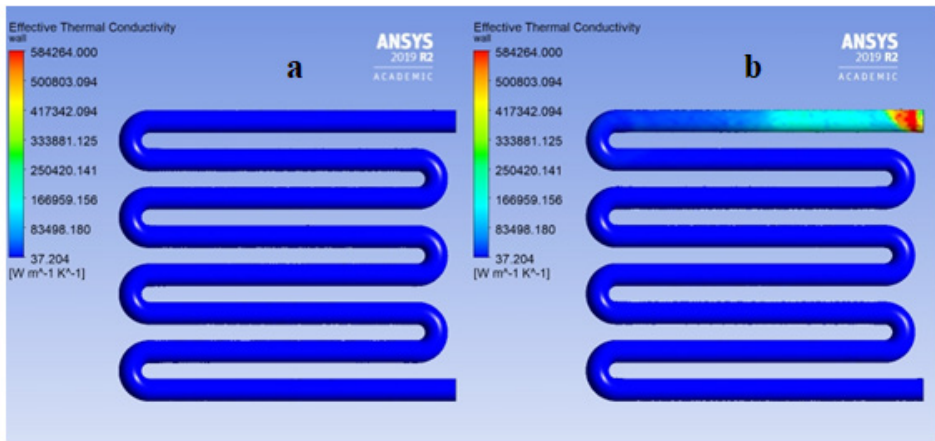


Figura 8 – Conductividad térmica efectiva de los fluidos en el intercambiador de calor.

3.3. Análisis comparativo del flujo de calor en la pared

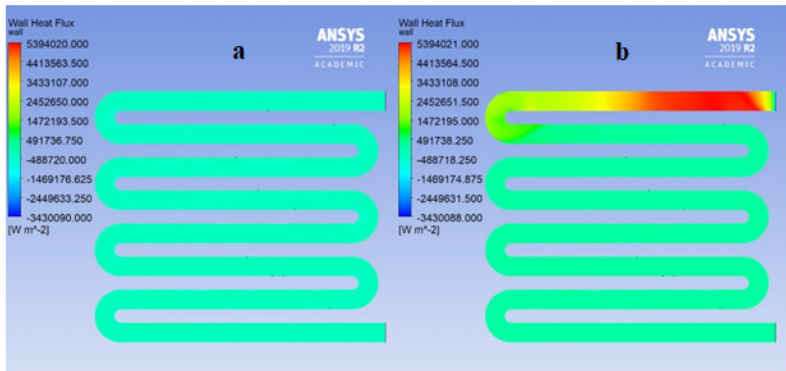


Figura 9 – Flujo de calor en las paredes de los intercambiadores de calor.

Al tomar en cuenta el cambio de temperatura de la figura 5, es evidente un flujo de calor en la pared de los intercambiadores de calor proporcional. Como se aprecia en la figura 9, en el nanofluido se puede notar un flujo de calor mayor a lo largo de la primera sección del intercambiador de calor, la cual se encuentra en la primera fila superior, para después llegar a tener un cambio menos drástico en el resto del dispositivo de intercambio de calor. Por el otro lado, el fluido base tiene un cambio poco apreciable en el flujo de calor en la pared a lo largo del intercambiador de calor.

4. Discusión

Gracias a los datos obtenidos en la simulación se puede apreciar como aumenta notablemente la transferencia de calor en el fluido con nanopartículas, por lo cual se muestra un cambio importante en las propiedades del fluido, por este motivo, se vuelve más eficiente para procesos que requieran cambios de temperatura en fluidos. Es necesario tomar en cuenta que las propiedades termodinámicas de los fluidos de trabajo como conductividad térmica, calor específico, viscosidad, entre otras, están directamente relacionadas entre sí. Por lo tanto, si se detecta un cambio en una de ellas, se puede suponer que existen variaciones en las demás, las cuales deben ser tomadas en cuenta en el diseño de nuevos dispositivos de transferencia de calor.

En procesos específicos que requieren aumento o reducción de temperatura, tradicionalmente se emplean dispositivos los cuales ocupan cierto espacio para alcanzar los límites de temperatura debido a que el área del dispositivo es directamente proporcional al intercambio de calor, sin embargo, si son sustituidos los fluidos de trabajo convencionales por aquellos con mejores propiedades térmicas, es posible reducir espacio de funcionamiento de dichos dispositivos para alcanzar los límites de temperatura requeridos, lo que se traduce en una reducción significativa de costos de operación de máquinas de transferencia de calor.

El fluido carente de nanopartículas abandonó el intercambiador de calor con una reducción de temperatura baja. Mientras que el fluido con nanopartículas tuvo una reducción notable en su temperatura, por lo cual se demuestra su mayor efectividad y se puede justificar su uso en dispositivos de intercambio de calor como: bombas de calor, equipos de aire acondicionado, refrigeradores, entre otros. Es importante señalar que, al existir un cambio en el fluido de trabajo por aquel con propiedades térmicas más propicias en dichos dispositivos, es posible mejorar su coeficiente de desempeño (COP, por sus siglas en inglés), tiempo de funcionamiento por día y su consumo energético, optimizando recursos, sin reemplazar métodos de transferencia de energía tradicionalmente utilizados.

Debido a que los nanofluidos presentan las características adecuadas para reemplazar a los refrigerantes en las máquinas que emplean procesos de intercambio de calor, las futuras investigaciones deben estar encaminadas a solucionar los problemas que presentan como, por ejemplo, la decantación, ensuciamiento y abrasión. Adicionalmente, es necesario estudiar el efecto de los nanofluidos y refrigerantes ecológicos, como fluidos de trabajo en las máquinas de refrigeración empleadas en la industria, para garantizar su funcionamiento de forma continua, económica y eficiente. Todo esto en busca de generar una transición correcta y viable de los refrigerantes como agentes portadores

de calor con alto potencial de calentamiento global (GWP, por sus siglas en inglés) por aquellos con un bajo o nulo GWP y que generan un alto COP en los dispositivos de transferencia de calor.

5. Conclusiones

Las propiedades de un fluido para la transferencia de calor son de gran importancia para procesos industriales, mostrando ventajas de eficiencia, económicas y tiempo. Por lo cual, las investigaciones actuales se han centrado en la búsqueda de dichos fluidos, aunque con un impacto ambiental menor y que sean capaces de satisfacer las necesidades de las industrias en crecimiento que utilizan procesos con cambios de temperatura.

La presencia de nanopartículas (CuO) en un fluido base (agua), mejora considerablemente los procesos de transferencia de calor en los cuales pueden ser empleados, convirtiéndolo en un candidato ideal para industrias que se dediquen a la refrigeración.

La conductividad térmica efectiva del nanofluido es 1825,825 veces mayor que la conductividad del agua con un valor pico de 584264 (W/m K) gracias a las nanopartículas, sin embargo, la misma disminuye considerablemente a lo largo de la primera sección del intercambiador debido al decremento significativo de la temperatura.

La diferencia de temperatura que existe entre la entrada y salida del intercambiador de calor utilizando el nanofluido es de 68,7 ° C, que representa un incremento de 149,8 % con respecto a los 27,5 ° C de diferencia de temperatura del caso del fluido base, por lo tanto, la transferencia de calor es significativamente mayor cuando al fluido base se le agrega cierto porcentaje de nanopartículas.

Reconocimientos

Los autores agradecen de forma cordial al Grupo de Investigación en Energías Renovables e Implementación Mecánica de Pymes de la Universidad Politécnica Salesiana, Quito-Ecuador, por sus grandes aportes a esta investigación.

Referencias

- Ahmadi, M.-A., Hossein Ahmadi, M., Fahim Alavi, M., Reza Nazemzadegan, M., Ghasempour, R., & Shamshirband, S. (2019). *Determination of thermal conductivity ratio of CuO/ethylene glycol nanofluid by connectionist approach*. Canadá: Univesity of Calgary .
- ANSYS Inc. (2017). *ANSYS Fluent Tutorial Guide*. Canonsburg: ANSYS Inc.
- Arie, M. A., Hymas, D. M., Singer, F., Shooshtari, A. H., & Ohadi, M. (2020). An additively manufactured novel polymer composite heat exchanger for dry cooling applications. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 147.
- Besagni, G., Mereu, R., Chiesa, P., & Inzoli, F. (2015). An Integrated Lumped Parameter-CFD approach for off-design ejector performance evaluation. *Energy Conversion and Management*, 105, 697-715.

- Bi, R., Chen, C., Li, J., Tan, X., & Xiang, S. (2018). Research on the CFD numerical simulation of flash boiling atomization. *Energy*, 165, 768-781.
- Dang, C., Jia, L., Peng, Q., Yin, L., & Qi, Z. (2019). Comparative study of flow boiling heat transfer and pressure drop of HFE-7000 in continuous and segmented microchannels. *International Journal of Heat and Mass Transfer*.
- Fard, B. A., & Abdollahi, A. (2018). Experimental investigation toward obtaining the effect of interfacial solidliquid. *ELSEVIER*, 1(1), 12.
- Fule, P. J., Bhanvase, B. A., & Sonawane, S. H. (2017). Experimental investigation of heat transfer enhancement in helical coil heat exchangers using water based CuO nanofluid. *Advanced Powder Technology*, 28(9), 2288 - 2294.
- Hajatzadeh, A., Aghakhani, S., Afrand, M., Mahmoudi, B., Mahian, O., & Wongwises, S. (2019). An updated review on application of nanofluids in heat exchangers for saving energy. *Energy Conversion and Management*, 198, 73-101.
- Huminic, G., & Huminic, A. (2015). Heat Transfer and Entropy Generation Analyses of Nanofluids in Helically Coiled Tube-in-Tube Heat Exchangers,» *Heat Mass Transfer. International Communications in Heat and Mass Transfer*, 128-125.
- Huminic, G., & Huminic, G. (2011). Heat transfer characteristics in double tube helical heat exchangers using nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 4280-4287.
- Kaya, M., Etem Gürel, A., Agbulut, Ü., Ceylan, I., Çelik, S., Ergün, A., y otros. (2019). Performance analysis of using CuO-Methanol nanofluid in a hybrid system with concentrated air collector and vacuum tube heat pipe. *Energy Conversion and Management*, 199.
- Khoshvaght, M. (2016). Experimental Investigation of Water Based Nanofluid Containing Copper Nanoparticles Across Helical Micro Tubes. *Int. Commun Heat Mass*, 84-92.
- Li, J., Yang, Z., Hu, S., Yang, F., & Duan, Y. (2020). Effects of shell-and-tube heat exchanger arranged forms on the thermo-economic performance of organic Rankine cycle systems using hydrocarbons. *Energy Conversion and Management*, 203.
- Mukesh Kumar, P. C., & Chandrasekar, M. (2019). A review on helically coiled tube heat exchanger using nanofluids. *Materials Today: Proceedings*, 5.
- Nieckele, A., Naccache, M., & Gomes, M. (2011). Combustion performance of an aluminum melting furnace operating with natural gas and liquid fuel. *Applied Thermal Engineering*, 31, 841-851.
- Rakhsha, M., Farkan, A., Abbas, A., & Saffar-Avval, M. (2015). Experimental and Numerical Investigations of Turbulent Forced Convection Flow of Nanofluid. *Powder Technology*, 178-189.
- Riber, E., Moureau, V., García, M., Poinso, T., & Simonin, O. (2009). Evaluation of numerical strategies for large eddy simulation of particulate two-phase recirculating flows,» *Journal of Computational Physics. Journal of Computational Physics*, 2, 539-564.

- Shan, J., Kumar, S., Ranjan, M., Sonvane, Y., Thareja, P., & Gupta, S. (2018). *The effect of filler geometry on thermo-optical and rheological properties of CuO nanofluid*. Surat: Journal of Molecular Liquids.
- Shanti, R., & Shanmuga, S. (2015). *Heat transfer enhancement using nanofluids*. Chennai: Department of Mechanical Engineering, Rajalakshmi Engineering College.
- Shinjo, J., & Umemura, A. (2011). Detailed simulation of primary atomization mechanisms in Diesel jet sprays (isolated identification of liquid jet tip effects). *Proceedings of the Combustion Institute*, 33(2), 2089-2097.
- Tohid, A., Ghaffari, H., Nasibi, H., & Mujumdar, A. (2015). Heat transfer enhancement by combination of chaotic advection and nanofluids flow in helically coiled tube. *Applied Thermal Engineering*, 91-105.
- Vasco Calle, D. A., Cheng, D., & Acevedo Cabello, J. (2016). Computational simulation of laminar heat convection of nanofluids. *DYNA*, 83(196), 10.

Implementation of Crowdsourcing as an integral element of communication engineering in the Smart City concept

Lukasz Przysucha¹

lukasz.przysucha@ue.wroc.pl

¹ Wroclaw University of Economics and Business, 53-342, Breslavia, Polonia

Pages: 97–108

Resumen: El concepto de Smart City es una idea relativamente nueva utilizada por residentes, organizaciones y empresas. Una ciudad inteligente es aquella que utiliza las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) para aumentar la interactividad y la eficiencia de la infraestructura urbana y sus componentes, así como para sensibilizar a los residentes. La población mundial ha estado migrando de lo rural a lo urbano en las últimas décadas. En 1950, solo el 30% de las personas vivían en el campo, actualmente es casi el 55%, mientras que en 2050 más del 65% de la población vivirá en las ciudades. Muestra cuán estratégica es esta área para el desarrollo de nuestra civilización. El autor en el artículo examina el impacto del crowdsourcing en la ingeniería de comunicación, como la difusión del conocimiento entre los tomadores de decisiones y las partes interesadas puede conducir a reducir la brecha de información, lo que en última instancia conduce a una mejor gestión de la ciudad y al desarrollo de la idea de Smart City. La investigación presentada de las ciudades europeas tiene como objetivo determinar cuáles son las expectativas de los residentes en materia de Smart City y qué áreas deben desarrollarse. Los elementos de ingeniería de datos y la gestión adecuada de los datos obtenidos en la interacción entre los residentes y los responsables de la toma de decisiones pueden mejorar los procesos de comunicación en la ciudad y, en combinación con herramientas electrónicas, una gestión de aglomeración más fácil. En la actualidad, estamos observando una tendencia de digitalización muy dinámica, el autor propone soluciones para la implementación del Portal Residente, que consolidará todas las áreas de Smart City y dará la posibilidad de administrar todos los ciclos de información dentro de una plataforma y una sala de servidores.

Palabras-clave: Crowdsourcing; Smart City; gestión de datos; ingeniería de datos; comunicación.

Implementation of Crowdsourcing as an integral element of communication engineering in the Smart City concept

Abstract: The Smart City concept is a relatively new idea used by residents, organizations and business. A smart city is one that uses information and communication technologies (ICT) to increase the interactivity and efficiency of urban infrastructure and its components, as well as to raise the awareness of residents. The world population has been migrating from rural to urban over the last few decades. In 1950, only 30% of people lived in the countryside, currently it is almost 55%, while in 2050 over 65% of the population will live in cities. It shows how strategic this area is for the development of our civilization. The author in the article examines the impact of crowdsourcing on communication engineering, such as the diffusion of knowledge between decision-makers and stakeholders can lead to reducing the information gap, which ultimately leads to better city management and the development of the Smart City idea. The presented research from European cities are aimed at determining what are the expectations of residents in the matter of Smart City and what areas should be developed. Elements of data engineering and appropriate management of data obtained in the interaction between residents and decision makers can improve the communication processes in the city, and in combination with electronic tools, easier agglomeration management. At present, we are observing a very dynamic digitization trend, the author proposes solutions for the implementation of the Resident Portal, which will consolidate all Smart City areas and give the possibility to manage all information cycles within one platform and one server room.

Keywords: Crowdsourcing; Smart City; data management; data engineering; communication.

1. Introducción

Every year people move to urban agglomerations. This trend is more and more dynamic and is still growing. International organizations, such as the United Nations in the International Migration Report 2017 and the International Organization for Migration in the World Migration Report 2018, note that the tendency for people to move from rural to urban areas is stable and no change is expected in the next few decades. Giga-cities are also a challenge, which are being created all over the world. In 1990, there were only 10 cities inhabited by over 10 million people. In 2030, there will be 43 cities (United Nations, 2019). To illustrate the total increase in urban population around the world, it is worth quoting the total number of urban residents. In 1950, it was 751 million people, now in 2018 there are already 4.2 billion inhabitants (Dobbs, et al., 2012). Forecasts indicate that another 2.5 billion people can move to cities by 2050. It is worth asking the question whether cities are ready to receive such a number of people, or the current patterns of conduct, elements of communication in the city, technical infrastructure and cloud computing are ready to receive so many residents and whether they will handle all urban processes in an undisturbed manner. Is the growth of the urban population not threatened by the security of citizens, the comfort of residents will not decrease, at some point will not be digitally excluded? Will the exchange of knowledge between residents be at the right level, with a tendency to develop from year to year? Will cities be intelligent or will they use modern technologies supporting the exchange of information? The author has no doubt that the most developed countries will invest large amounts of cash to develop these areas in order to raise the level of civilization in the countries concerned, but will there be global actions that will affect the entire population on earth?

The author points out that communication between residents, decision makers, education and business is a particularly important element of the Smart City concept (UCLG, 2013). A tool bringing together all these groups that will facilitate contact and management of information processes can be the resident's portal. It can be defined as a Content Management System (CMS) that is uploaded to a given server and configured according to the recommendations of decision makers in a given urban area. Access to particular areas of the inhabitant portal depends on the input attributes assigned in advance. CMS is a completely dynamic website, only with static elements in the form of content. Below is the CMS site when a user requests a page (resident, decision maker or external stakeholder).

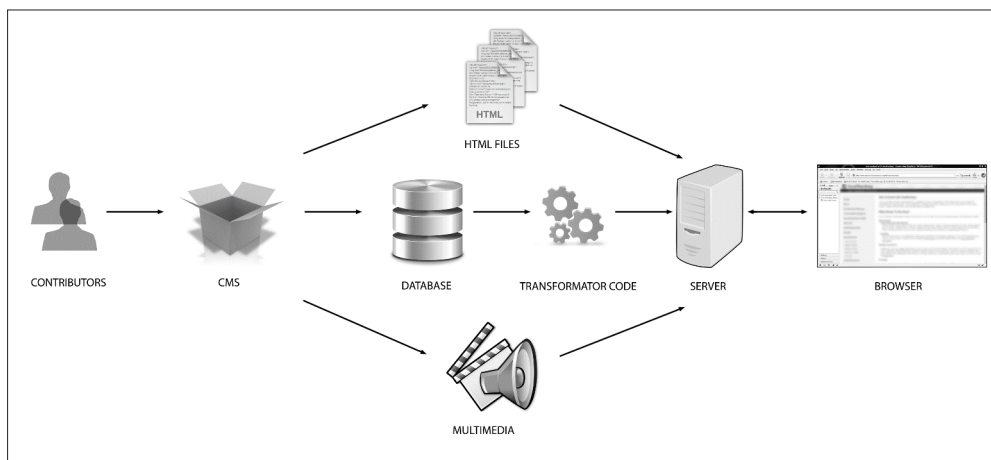


Figure 1 – Place of CMS in the page display process. Own source.

The resident portal as a dynamic website can aggregate information obtained from users and process it in real time, while using data for business intelligence analyzes. The resident's portal is a tool supporting internal processes. Analyzing the inhabitant portal in the aspect of a given urban agglomeration, we can distinguish the following benefits:

- Human capital development - establishing a resident portal that is adequate to the level of knowledge can help exchange knowledge between residents. Knowledge resources, awareness of some processes and commitment to intellectual development increase human capital and benefit residents in many aspects, e.g. in the labor market.
- Social bonding aspect - using mobile applications and an online portal can also connect people according to their interests and knowledge. It can build social bonds and lay the foundations for civil society.
- The creation of the resident portal will primarily serve the development of knowledge of residents, exchange it between them, but also there is benefit from education and business, and thus the entire city. Educated, aware residents are a good target for employers. The scientific community, also acquiring new

members, will be guided by the state of knowledge and intellect of the inhabitants concerned.

- The possibility of diffusion of knowledge between residents and residents. The portal can transport information for residents, obtain responses and serve direct and indirect communication between two parties. The obtained data can be aggregated and used over time due to relying on archival collections and estimating future moves.

It is extremely important that a tool such as a resident's portal was dedicated to every agglomeration in the world (McKeever, 2003). The system used may contain a universal core that will be modifiable depending on the region of the world and specific needs. In this case, extensions would be available that respond directly to individual needs. The author has developed a division of the concept of Smart City by urban areas, and also proposed solutions that can be used using the resident portal as a link between them.

Smart Business	• Support for investors • Business events in the city
Smart human capital	• Knowledge groups • Bank of competence
Smart Management	• Communication between 4 groups of community • Referendums and votings
Smart Environment	• Smart Trash with a geolocation • Sensors system
Smart Transportation	• Position of the vehicles • City parking system
Smart IT	• IT services and maps • Comprehensive package in the cloud for residents
Smart Everyday Life & Communication	• Social media for residents • Search people by personality • Smart shopping with RFID technology • Supporting in daily activities
Smart Care	• Consultations with doctors • On-line prescriptions
Smart Future	• Planning for the further development of ideas • Control of the other modules

Figure 2 – Division of Smart City areas. Own source.

The author presents his own division of Smart City (Figure 2) according to areas of the city, taking into account the possibilities of synchronizing them in the inhabitant portal.

The above division defines the most important areas of Smart City, which complement each other. They are compatible with the possibility of implementing a resident portal along with additional functionality that will combine the external capabilities of urban infrastructure with network activities. The author notes that one of the most important elements of the Smart City concept is the exchange of information between all parties. Efficient and effective management of information processes in the city can affect the proper management of the entire agglomeration, increase the comfort of residents.

The proposed method in the article - acquiring knowledge from society, can be done by crowdsourcing.

The author focuses in the article on the possibility of using crowdsourcing or acquiring knowledge from the crowd by creating and implementing a resident portal and other ICT channels that will support the technical exchange of information between residents, shareholders and owners. This subject is extremely important because there is a communication gap between residents and decision makers. The use of crowdsourcing can support communication and close the gap. Other authors dealing with the subject of crowdsourcing focus on other aspects, mainly related to handling large amounts of data and mapping urban realities to those prevailing in corporations and business.

The topic of using crowdsourcing in the Smart City area has already been used several times in scientific articles as a diversion in the area of unused data. Other authors, however, did not pay attention to the electronic tool that can be used for this process, including all sides of the process. T. Alizadeh (2018) in the article “Crowdsourced Smart Cities versus Corporate Smart Cities” draws attention to the dedication of a grassroots initiative to residents to acquire knowledge by stakeholders, but jointly with corporations and third parties. The article takes up the challenge to broaden theoretical insights into smart cities, by offering a bottom-up understanding of the ‘smart city’ concept with special attention to the potential of passive crowdsourcing based on the ocean of mostly untapped and unutilized available data in the public domain. Another author, M. Zook in the article “Crowd-sourcing the smart city: Using big geosocial media metrics in urban governance” (2017) describes the problem of information overload and the use of crowdsourcing with Big Data systems. That article reviews both the historical depth of central ideas within smart city governance —particular the idea that enough data/information/knowledge can solve society problems—but also the ways that the most recent version differs (Zook, 2017). A different view is presented by Hong Xu and Xuexian Geng. The article “People-Centric Service Intelligence for Smart Cities” (2019) introduces a concept of people-centric service intelligence, defines the level of it and its challenges in the aspect of infrastructure, human dynamics, human understanding and prediction, and the human–machine interface (Xu & Geng, 2019).

The next section describes the diffusion of the knowledge of the crowd and decision makers using electronic tools.

2. Materials and methods

The subject of crowdsourcing is a fairly new, yet undiscovered research area. When analysing literature, there are only a few books on the market that are dedicated to crowdsourcing used commercially on the market. There is a research gap in the use of crowdsourcing at the level of urban communities. The literature on the subject matter focuses mainly on scientific articles, the intensification of which can be attributed to the recent years.

Crowdsourcing is a process whereby an organization (company, public institution, non-profit organization) outsources tasks traditionally performed by employees to an unidentified, usually very wide group of people in the form of an open call. It is worth noting that recent definitions are beginning to open to other entities and areas, not only those related to organizations and business. The potential of crowdsourcing in public aspects was recognized, turning to a wider society

The main advantages of crowdsourcing in relation to the urban community may include [(Brabham, 2013); (Ghezzi, Gabelloni, Martini, & Natalicchio, 2018)]:

- Saves time and money (the crowd generates ideas much faster and preparing a website is definitely cheaper than paying for the work of a narrow, specialized team),
- Variety of submitted projects and their originality (many perspectives and points of view),
- Obtaining information on the needs and expectations of residents,
- Creating an engaged community,
- Marketing and promotional benefits

In order to obtain information about communication between residents, decision makers and stakeholders, the author used in his research and will use the following research methods:

- Direct survey - conducting a survey among target stakeholder groups in the examined cities - a survey based on the example of one city and verification based on the example of other agglomerations
- In-depth interview with city decision-makers - conducting in-depth interviews with decision-makers in the examined cities. Interviews may indicate what data the authorities' lack, what level of access to knowledge in the city area looks like and what information the decisions are based on.
- Experiment - implementation of Social Media accounts and groups tailored to the study, as well as webpages to experiment with relevant stakeholder groups.
- Qualitative case study - detailed identification of the problem, genesis and dynamics of the phenomenon, the importance of the problem on a global and local scale, forecasts for the future, suggestions for solving the problem, implementation of the proposed solutions, discussion of potential implementation effects and a summary of the activities carried out.
- Analysis of literature - mainly foreign. Paper books as well as online knowledge bases.
- Documentation analysis - using the documentation analysis additionally to organize and interpret the content it contains in terms of the research problem (purpose) or also the working hypothesis.

Below the author presents a general scheme of knowledge distribution in the area of Smart City including Crowdsourcing of tasks (Figure 3).

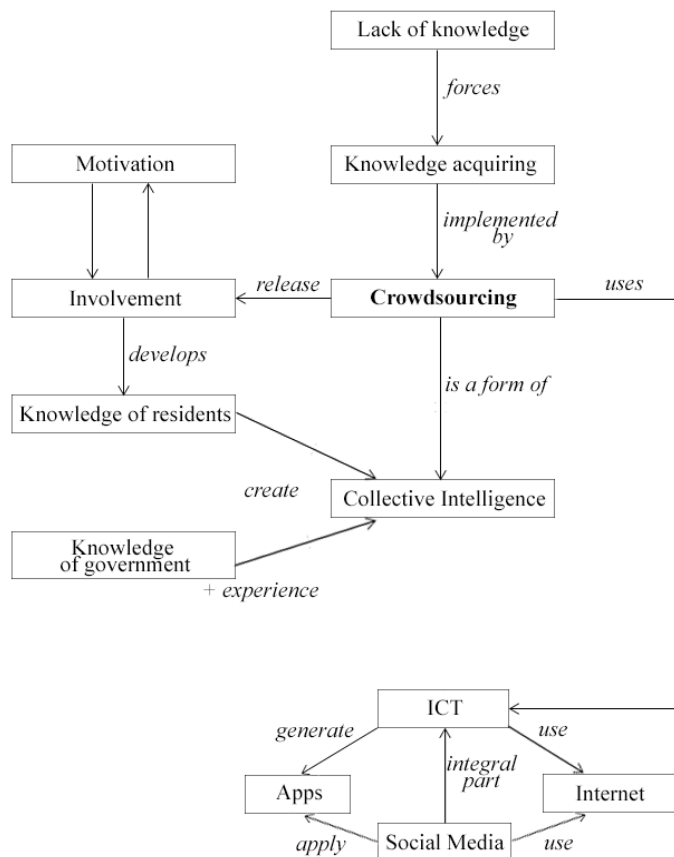


Figure 3 – Knowledge distribution scheme for Crowdsourcing. Own source.

The author has created a diagram illustrating the distribution of knowledge and information in the area of Smart City. Crowdsourcing is a response to the lack of knowledge. It enforces commitment that is directly related to motivation. It is extremely important to observe the factors affecting the willingness to share knowledge of residents and to answer the question what elements contribute to increasing the motivation of participants.

The most important research questions that focus on knowledge acquisition factors:

1. What factors determine stakeholder involvement in acquiring knowledge?
2. What tools are used to acquire knowledge from stakeholders?
3. To what extent and scope can the acquired knowledge be used in Smart City ventures?

3. Results

The crowdsourcing process requires tools that will support the acquisition of information and exchange of knowledge between decision makers, residents and stakeholders. As the author mentioned in the previous section, Crowdsourcing uses modern ICT, which in turn uses the Internet. In turn, social media that also use the Internet are an integral part of ICT, and also use applications that generate ICT. An important element is also the resident platform, which is an independent creation installed on city servers, most often in the form of a Content Management System. Thanks to it, it is possible to obtain a large amount of information and adapt its functionality to appropriate parameters according to the specification and in relation to a given agglomeration. Knowledge acquisition area - Smart City is a rather specific place that requires special technical infrastructure and conditions that will affect the proper information exchange process. Nicos Komninos believes that an intelligent city is an area (commune, district, cluster, city, city-region) consisting of four main elements (Komninos, 2008):

- Creative population implementing activities that intensively use knowledge or a cluster of such activities.
- Effective institutions and procedures for creating knowledge that enable it to be acquired, adapted and developed (Kanagasabapathy, Radhakrishnan, & Balasubramanian, 2000).
- Developed broadband infrastructure, digital spaces, e-services and on-line knowledge management tools (Azkuna, 2012).
- Documented ability to innovate, manage and solve problems that appear for the first time, because innovation and management in uncertainty conditions are key to assess intelligence.

It is also important for residents to be willing to share knowledge and know that they are part of the Smart City. People's involvement is a key element of Smart City's success.

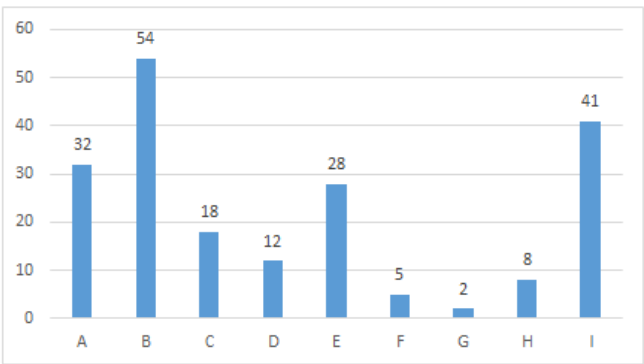


Figure 4 – Associations regarding Smart City. Own source.

As part of a direct survey, residents of the city of Wroclaw in Poland were asked about their opinions related to Smart City topics. It concerned examining the level of

knowledge of residents about the Smart City concept and their expectations related to its implementation. The following 2 charts show the high interest of residents in contact with decision-makers and the desire to develop electronic communication. The first one (Figure 4) shows associations regarding Smart City. The second one (Figure 5) presents expectations of residents in the field of Knowledge Management in the urban area.

Chart legend:

- A - Intelligent public transport
- B - New tele information systems
- C - Fast Internet
- D - Professional health service
- E - Clean air and renewable energy sources
- F - Social ties
- G - Exchange of knowledge
- H - Facilitation in shopping
- I - Easy contact with the city administration

It should be noted that a very large number of respondents replied that the Smart City concept is associated with new technologies and easy, simplified communication with decision-makers in the city. As many as 54% of respondents associate Smart City with new technologies. In additional dialogs they mainly marked communication devices such as social networks, places of exchange of ideas, applications and tools supporting Smart Society.

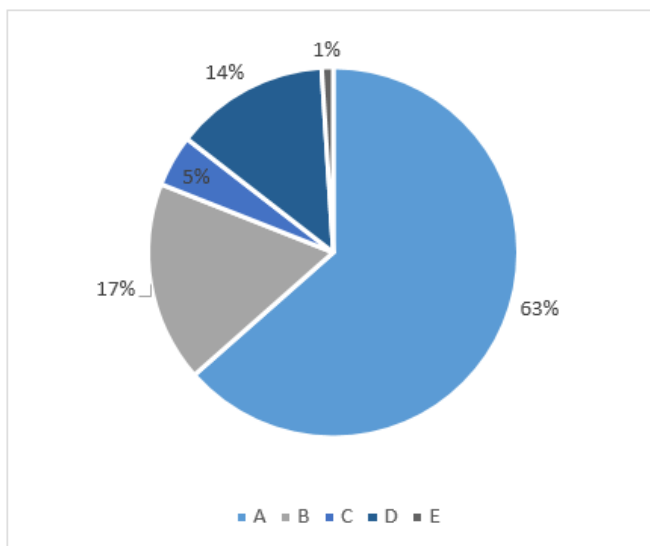


Figure 5 – Expectations of residents in the field of Knowledge Management in the urban area.

An equally popular association, which 41% responded, is connected with the fact that there is easy contact with the city's administration. At this point, residents commented

on the possibility of influencing processes in the city, co-deciding on city projects and development, awareness of creating their own image among the Smart Society and belonging to the community that develops and creates activities in the area. Another study concerned the expectations of residents regarding the exchange of knowledge in the agglomeration.

Chart legend:

- A - On-line portal for knowledge exchange within the city.
- B - Events and meetings dedicated thematically for individual groups of residents.
- C - Stationary places, allowing coming and acquiring general knowledge, interdisciplinary.
- D - Knowledge base as a material value for the city and its future generations.
- E - Exchange of knowledge with other unconventional media such as local newspapers and radio.

The survey shows that residents mainly expect interactive knowledge sharing tools available through ICT resources such as social media or the Internet. As many as 63% of respondents indicated that there is no portal for local interaction between users. The replies also included comments that the portal should be available in real mode via both stationary and mobile Internet. The next places are taken by elements - widgets, applications and all kinds of possibilities to organize meetings of residents with similar interests, hobbies and professions. It should be noted that residents need to be aware of the importance of the smart city concept and know its benefits.

4. Discussion

As mentioned before, Crowdsourcing is a method of acquiring knowledge from the crowd. In recent years, this method has been used in organizations and business. The author believes that the use of Crowdsourcing in the area of cities will definitely support communication between residents, stakeholders and decision-makers. The citizens' portal would be an electronic tool that could coordinate the process of knowledge exchange and obtaining information from the crowd. Of course, there are already traditional communication channels such as social media or other websites, but the portal could be synchronized with them. It would cover given agglomeration units. Research focuses on finding answers which factors determine the involvement of stakeholders in acquiring knowledge, what tools are used to acquire knowledge from stakeholders and to what extent the acquired knowledge can be used in Smart City ventures. Crowdsourcing can bring significant savings in time and money, projects submitted by residents and stakeholders can be diverse and original, decision-makers can get full information about the needs and expectations of residents living in a given agglomeration, the community is more engaged and aware of the interaction with decision-makers City, which creates the Smart Society. Thanks to this exchange of information, residents can also begin to define and discover tacit knowledge. Its exchange will also lead to an intelligent society. The knowledge of residents combined with the knowledge of decision-makers who are experienced can create collective intelligence [13]. Below is a chart (Figure 6) showing the division of knowledge into tacit knowledge and explicit knowledge.

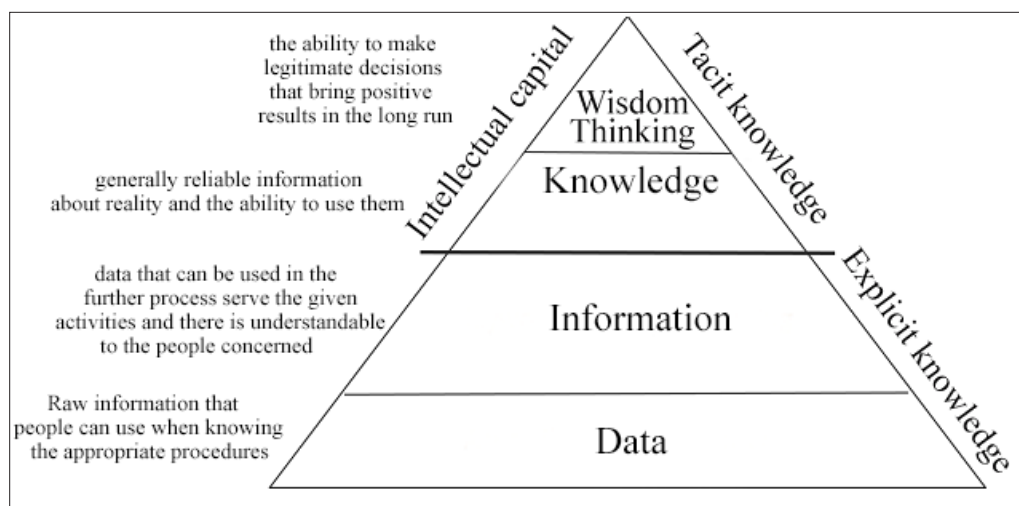


Figure 6 – Diagram of tacit and explicit knowledge. Own source.

Intellectual capital is an extremely important component of the development of Smart City (Girard & Girard, 2015). In turn, proper communication and circulation of information serves to improve data quality, proper emission and management. Crowdsourcing requires many elements that will be the basis and foundation for proper knowledge acquisition.

5. Conclusions

Crowdsourcing is a process that occurs in many places. To date, it is mainly associated with use in organizations and business. The author shows that the implementation can also function in Smart City conditions. Using crowdsourcing to acquire knowledge from residents can help exchange knowledge between residents, stakeholders and decision makers. However, one should ask the question what factors can influence the involvement of residents in readiness to share knowledge and participation in this project, how to develop motivation and what factors, including technology, can be used to optimize and implement this process in all dimensions. Thanks to crowdsourcing in the area of Smart City, city authorities can save time and money when making decisions, there is a much greater variety of ideas, knowledge accumulated in the crowd causes standardization of expectations and directions and develops the originality of submitted projects. Decision makers receive information about the needs and expectations of residents. The community is becoming more involved and motivated. However, attention should be paid to the necessary technical elements that will support the whole process. The author suggests the implementation of a resident portal, which on the one hand will support the management of the entire city, will merge all urban areas, and on the other will support the exchange of knowledge and opportunities to acquire knowledge between residents, stakeholders and decision makers.

These tools also have an extremely important social aspect, which ultimately is associated with the community living in the agglomerations. The impact of Crowdsourcing can be invaluable, it will support communication between all groups in the city, create new ideas and creativity of decision-makers. The author showed through research what the social expectations are and at what stage is the residents' awareness of Smart City and knowledge management in its area. The idea of Crowdsourcing in the area of Smart City is a fairly new and innovative field, which the author deepens and indicates further development directions.

Referencias

- Alizadeh, T. (2018). Crowdsourced Smart Cities versus Corporate Smart Cities. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 158 (pp. 1-13). IOP Publishing.
- Azkuna, I. (2012). *Smart Cities Study: International study on the situation of ICT*. Bilbao, España: UCLG.
- Brabham, D. (2013). *Crowdsourcing*. Massachusetts: The MIT Press.
- Dobbs, R., Remes, J., Manyika, J., Roxburgh, C., Smit, S., & Schaer, F. (2012). *Urban World: Cities and the Rise of the Consuming Class*. McKinsey Global Institute.
- Ghezzi, A., Gabelloni, D., Martini, A., & Natalicchio, A. (2018). Crowdsourcing: A Review and Suggestions for Future Research. *IJMR*, 20(2), 343-363.
- Girard, J., & Girard, J. (2015). Defining knowledge management: Toward an applied compendium. *Online Journal of Applied Knowledge Management*, 1-20.
- Kanagasabapathy, K., Radhakrishnan, R., & Balasubramanian, S. (2000). *Empirical Investigation of Critical Success factor and knowledge management structure for successful implementation of knowledge management system – a case study in Process industry*. Kulathupuzha, Kerala, India: Hindustan College of Engineering Review.
- Komninos, N. (2008). *Intelligent Cities and Globalization of Innovation Networks*. London, UK: Religions and Cities.
- McKeever, S. (2003). *Understanding Web content management systems: evolution, lifecycle and market*. Dublin, Ireland: MCB UP Ltd.
- UCLG. (2013). *Smart Cities Study: International Study on the Situation of ICT, Innovation and Knowledge in Cities*. Bilbao, España: United Cities and Local Governments.
- United Nations. (2019). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*. New York, United States of America: United Nations Department of Economic and Social Affairs.
- Xu, H., & Geng, X. (2019). People-Centric Service Intelligence for Smart Cities. *MDPI. Smart Cities*, 135-152.
- Zook, M. (2017). Crowd-sourcing the smart city: Using big geosocial media metrics in urban governance. *Big Data & Society*, 1-13.

Determinación de holgura de corte en chapa metálica mediante simulación en ANSYS

Víctor Cabrera¹, Jonathan Yépez¹, Luis Juiña¹, Nancy Moreno¹,
Diana Carrera¹, Junior Ortiz¹

vcabrera@ups.edu.ec, jyepcz1@est.ups.edu.ec, ljuina@ups.edu.ec,
nmoreno@ups.edu.ec, dcarrerar@est.ups.edu.ec, jortizg2@est.ups.edu.ec

¹ Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

Pages: 109–124

Resumen: La presente investigación tiene como finalidad profundizar en el campo de corte de chapa metálica, buscando validar y determinar la holgura de corte óptima, que deben tener el punzón y matriz para un proceso de corte de chapa. Dicha validación del estudio se realizó con la ayuda de un troquel punzonado, prensas mecánicas de cinco toneladas de fuerza y un posterior análisis mediante simulación en el Software ANSYS con el módulo de trabajo en Explicit Dynamics. Como parte del estudio se detallan factores que intervienen en los cálculos del diseño de la matriz los cuales son, los esfuerzos de corte, materiales utilizados y la holgura de corte punzón-matriz. Una vez determinado el valor ideal teórico para el corte, se realizó la validación con la herramienta informática de simulación ANSYS, para finalmente corroborarlo través de un proceso experimental. Los modelos comparados se obtuvieron mediante las variaciones de fuerzas de corte, velocidades, materiales, holguras de corte y parámetros varios de trabajo que ofrece el Software.

Palabras-clave: Corte de chapa; esfuerzos; parámetros de software; punzonado; simulación en ANSYS.

Determination of cut clearance in sheet metal by simulation in ANSYS

Abstract: The purpose of this research is to deepen the metal sheet cutting field, seeking to validate and determine the optimum cutting clearance, which the punch and die must have for a sheet metal cutting process. This validation of the study was carried out with the help of a punching die, mechanical presses of five tons of force and a subsequent analysis by simulation in the ANSYS Software with the work module in Explicit Dynamics. As part of the study, factors that intervene in the calculations of the design of the matrix are detailed, which the shear stresses, materials used and the punch-die are cut clearance. Once the theoretical ideal value for the cut was determined, the validation was carried out with the ANSYS simulation computer tool, to finally corroborate it through an experimental process. The models compared were obtained through variations in cutting forces, speeds, materials, clearances and various work parameters offered by the Software.

Keywords: Sheet metal cutting; stresses; software parameters; punching; simulation in ANSYS.

1. Introducción

La matricería es una rama de la ingeniería mecánica de amplio uso en la industria de la manufactura. Cada aplicación llevada a la práctica requiere de una evaluación específica previa (Ferreiro López, 2011). Algunos de los procesos de fabricación de la industria ya poseen validaciones mediante software de los procesos. El proceso de embutido es una aplicación ampliamente estudiada y validada, es así que varios softwares de simulación presentan módulos de ejecución del proceso (3D CAD Portal, 2014). La simulación previa permite optimizar el procesos de pruebas y reducir tiempo de puesta a punto antes de la producción.

El proceso de corte aún no ha sido validado, por lo que este estudio busca definir coeficientes y parámetros que ayuden a la mejora de este proceso. Para el análisis de este tema es necesario mencionar las causas por las que el proceso de corte no es óptimo. Una y la más importante es que pese a que en la actualidad la matricería ha avanzado tanto en procesos tecnológicos, los procedimientos siguen siendo empíricos (Barocio, Martínez, & Mancera, 2017)

Para Barocio, Martínez y Mancera (2017), por este y otros aspectos existe sobredimensionamiento para el desarrollo de matrices y problemas en el corte, lo que repercute en los costos finales de los elementos o piezas obtenidas (Ferreiro López, 2011).

El presente estudio tiene la finalidad de mejorar el proceso de corte de chapa metálica mediante simulación en software ANSYS a través de la comparación con datos obtenidos por métodos empíricos. Esto permitirá brindar varias opciones como verificación de usos, esfuerzos, ahorro de materiales y una mayor eficiencia del proceso (Romero, López, & Río, 2017). El estudio permite optimizar proceso de producción, mejorando los tiempos de construcción, costos y calidad del producto final mediante la optimización del proceso de pruebas. El objetivo principal es determinar la relación del proceso de corte experimental con el empírico basándose en simulación en software ANSYS. El estudio se basa en la validación mediante variación de parámetros como: esfuerzos, materiales, fuerzas, velocidad y holguras de corte (De-duce-tu, 2014).

1. El resultado final del estudio busca brindar una solución a los problemas recurrentes que se tienen en el proceso de punzonado y corte. El principal objetivo es mediante una herramienta de simulación, emular el proceso real y con ello brindar soluciones disminuyendo el tiempo de calibración mediante el método de prueba-error (Ferreiro López, 2011). Con este el análisis de problema y desarrollo de soluciones se reduce considerablemente el tiempo de puesta a punto. En cuanto a la metodología de trabajo, se utilizó un análisis cualitativo que permite validar coeficientes basados en métodos empíricos (Florit, 2005). Los datos empíricos obtenidos se fundamentan en la geometría de corte, parámetros de la prensa mecánica y validarlo mediante el análisis de simulación basado en diseño asistido por computador (3D CAD Portal, 2014). Los coeficientes y cálculos se validan mediante una simulación basada en un diseño asistido por computador (De-duce-tu, 2014).

2. Métodos

2.1. Operaciones o procesos de corte

Corte –punzonado. Para el proceso se utilizó un punzón, el cual generó aplastamiento en la zona superior para producir la perforación. De manera continua el punzón cortó el material, formando una porción de material denominada rebaba en la parte inferior por efecto del material removido como muestra la figura 1. La holgura de corte es el espacio o distancia entre los elementos de ajuste de un equipo de troquelado. La holgura entre los bordes cortantes permite que se unan las fracturas y la porción fracturada del borde cortado obteniendo una apariencia limpia como muestra la figura 2 (Barocio, Martinez, & Mancera, 2017). De manera empírica se ha establecido la holgura entre el 0 y 20% del espesor del material (Barocio, Martinez, & Mancera, 2017).

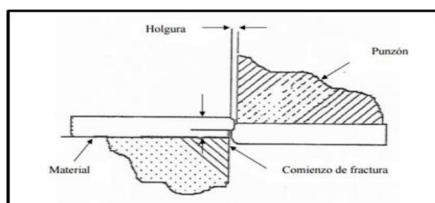


Figura 1 – Holgura de corte

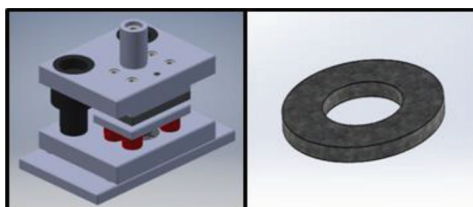


Figura 2 – Troquel para fabricación de arandelas

2.2. Esfuerzo

El esfuerzo equivalente Von Mises o teoría de la energía de distorsión o deformación máxima predice que la falla por fluencia da lugar cuando la energía de deformación total por unidad de volumen alcanza o excede la energía de deformación por unidad de volumen correspondiente a la resistencia a la fluencia en compresión o tensión del mismo material (Budynas & Nisbeth, 2008).

2.3. Matriz de esfuerzos cortantes mediante el criterio de Mohr modificado

El criterio de Mohr propone que la falla ocurre cuando el estado de estrés en un punto del cuerpo toca o supera el esfuerzo de falla. El caso de estudio posee un estado triaxial

de estrés, el mismo que se representado por tres círculos de Mohr (Figura 3) (Barocio, Martinez, & Mancera, 2017). Con línea discontinua, los círculos virtuales de Mohr para estados biaxiales representan estrés. Se supone que tanto el estado real de estrés triaxial como el estado virtual de estrés biaxial son equivalentes.

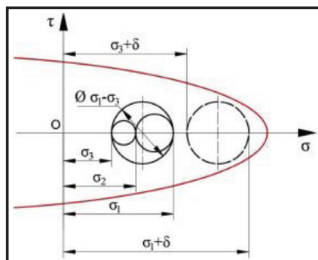


Figura 3 – Los estados de estrés triaxial (círculos dibujados con línea continua) y biaxial virtual (línea discontinua) que se consideran equivalentes (hipótesis).

Dadas las observaciones anteriores, se supone que el estado espacial real del estrés:

$$T_{\sigma} = \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Teniendo en cuenta la energía de distorsión como parámetro de equivalencia, se puede escribir:

$$\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_3\sigma_1 = (\sigma_1 + \delta)^2 + (\sigma_3 + \delta)^2 - (\sigma_1 + \delta)(\sigma_3 + \delta) \quad (2)$$

Sucesivamente, se resolvió la Ec. (2), y mediante las condiciones de frontera se llegó hasta la obtención de la Ec. (3)

$$(\sigma_1 + \sigma_3)^2 \geq 4\sigma_2(\sigma_1 + \sigma_3 - \sigma_2)(\sigma_3 + \delta) \quad (3)$$

Dentro del estudio se necesitan varias ecuaciones para definir parámetros y condiciones iniciales de simulación. Para el análisis de Fuerza de corte se analiza la Ec. (4)

$$Fc = p.e.\sigma \quad (4)$$

En donde Fc es la fuerza necesaria para el corte en Kgf, p es el perímetro, e representa el espesor de chapa metálica en mm, σ el esfuerzo al corte kg/mm². Se tiene el perímetro es (Barocio, Martinez, & Mancera, 2017).

$$p = \pi.D \quad (5)$$

Donde p es perímetro y D el diámetro

La fuerza de extracción Ec. (6) se obtuvo mediante el 7% del valor de la fuerza de corte (Ferreiro, 2011).

$$F_{ex} = (0,07).F_c \quad (6)$$

La fuerza de expulsión Ec. (7) se estimó en 1,5 % de la fuerza de corte como máximo (Florit, 2005)

$$F = (0,015).F_c \quad (7)$$

Valores que se adopta para el juego. La literatura (De-duce-tu, 2014), expresa los siguientes porcentajes de holgura para los diferentes casos y materiales.

Para latón y acero suave se obtuvo mediante Ec. (Comanici & Barsanescu, 2018).

$$D - d = 0,052 \times e \quad (8)$$

Para latón y acero suave se obtuvo mediante Ec. (Lafontaine, Cervera, & Rossi, 2017).

$$D - d = 0,062 \times e \quad (9)$$

Para latón y acero suave se obtuvo mediante Ec. (Christensen, 2013)

$$D - d = 0,072 \times e \quad (10)$$

Para latón y acero suave se obtuvo mediante Ec. (Kolupaev, 2018)

$$D - d = 0,1 \times e \quad (11)$$

3. Resultados

3.1. Método Analítico

Mediante el uso de las ecuaciones antes planteadas se obtuvieron los siguientes valores, que se establecen como parámetros iniciales para la simulación.

p(mm)	Fc(kgf)	Fex(kgf)	F(kgf)	F prensa (kgf)
43,98	3078,76	215,513	75	5000

Tabla 1 – Resultados Analíticos

3.2. Geometría

El modelo de la matricería para ejecutar el corte de chapa fue realizado mediante el software SolidWorks, editado en Design Modeler and Space Claim. El modelo se muestra en la figura 4.

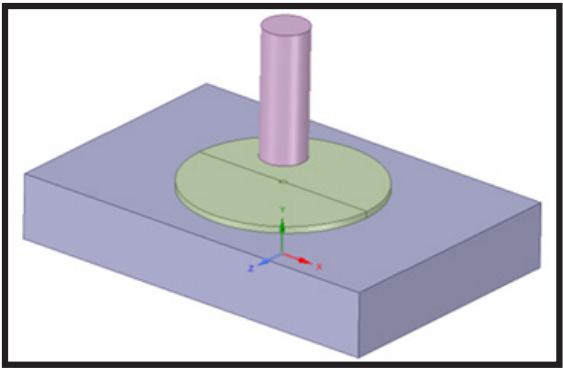


Figura 4 – Geometría para simulación.

3.3. Simulación

La validación fue realizada por medio de simulaciones mediante la variación de holguras entre el juego de punzón - matriz en un rango entre el 0% al 20% del espesor del material (Barocio, Martinez, & Mancera, 2017). Teniendo como referencia el valor de 7,2 % considerado en la literatura para aceros duros (3D CAD Portal, 2014).

El material a cortar fue, plancha de acero A36 galvanizado de 1mm de espesor. Algunos parámetros y restricciones importantes fueron definidos en el software tales como: soportes fijos, mallado, restricción de desplazamiento, fuerza de corte del módulo (50000 N) equivalente a la capacidad del equipo de corte utilizado en la sección experimental. Velocidad de la prensa con valor de 50mm/s y un punzón de 7 mm de diámetro con las siguientes matrices de corte

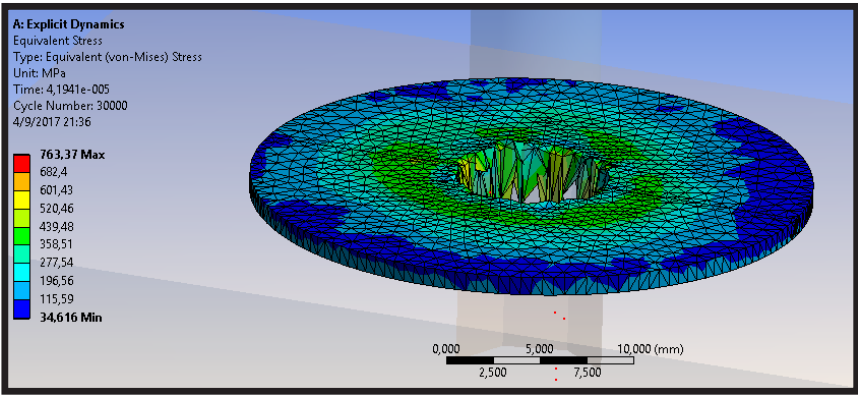


Figura 5 – Esf. Equi. Von Misses $\phi 8$ mm (100%)

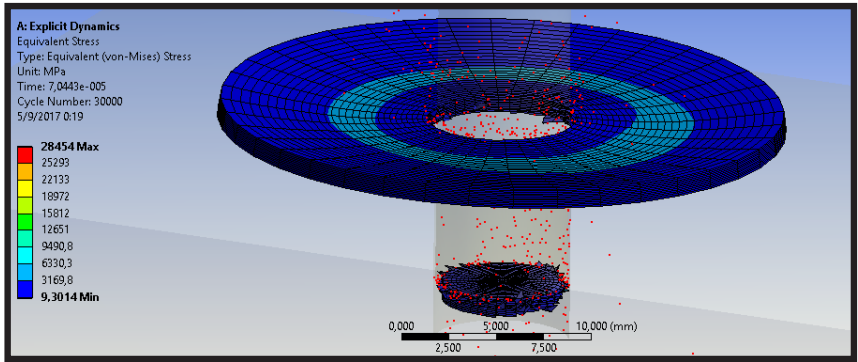


Figura 6 – Esf. Equi. Von Misses $\phi 7,2$ mm (20%)

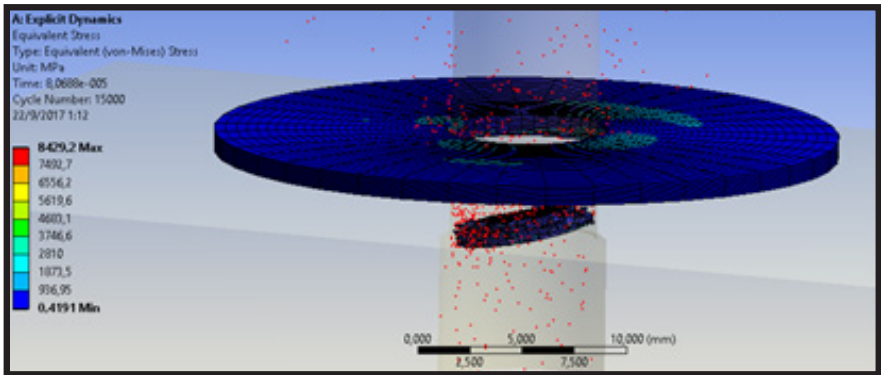


Figura 7 – Esf. Equi. Von Misses $\phi 7,1$ mm (10%)

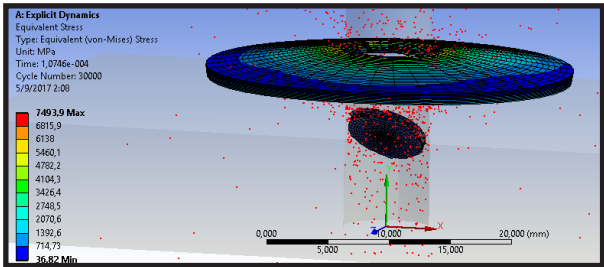


Figura 8 – Esf. Equi. Von Misses $\phi 7,07$ mm (7%)

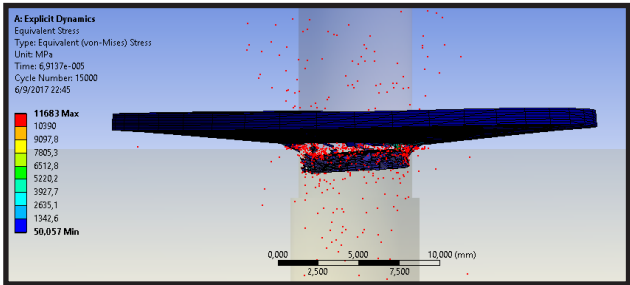


Figura 9 – Esf. Equi. Von Misses $\phi 7$ mm (0%)

3.4. Tabla de resultados

b Esfuerzos	Diametros				
	a 8	7.2	7.1	7.07	7
b Esfuerzo equivalente Max.	763.37	28454	8429.2	7493.9	11683
b Esfuerzo equivalente Min.	34.616	9.3014	0.4191	36.82	50.057

^a Los unidades de los difrentes diametros estan dados en (mm)

^b Unidades de esfuerzos dados en (MPa)

Tabla 2 – Resultados de simulación con variación de holguras en software especializado.

La tabla 2, muestra los resultados más relevantes obtenidos en la simulación realizado en el software ANSYS. De los valores mencionados, el diámetro de 8 mm correspondiente al 100% holgura fue descartado. Debido a que visualmente no se realiza un corte sino un proceso de embutido, debido a la excesiva holgura. Dentro de los valores aceptables el que genera el menor esfuerzo obtenido es de 7493.9 MPa, referente a una holgura de 7%.

3.5. Análisis de resultados respecto al desgarre producido con diferentes holguras de corte

Durante el proceso de corte que se efectúa en el punzonado sobre la chapa metálica, se presentan en su pared de corte una sección brillante o franjas laminadas de una anchura equivalente, a un tercio del espesor del material cortado. Dichas franjas se muestran en la cara opuesta a las rebabas de la pieza generadas consecuentemente por la operación del punzón y la matriz al momento del corte.

La acción de rotura o desgarro del material manifiesta una sección o franjas brillantes hasta donde se produce la rotura de las fibras del material (Budynas & Nisbeth, 2008). En la pared restante, representada por los dos tercios del total del espesor del material se forma una superficie rugosa como consecuencia de la rotura o desgarro de la misma, formándose un ángulo artificioso con relación a la pared de corte de 1° y 6° de inclinación. Por efecto de la rotura, en dicha zona rugosa la medida nominal de la pieza cortada suele ser menor al 5% aproximadamente en relación al espesor de la placa, fluctuando con un mínimo de centésimas y varias décimas de milímetro a la medida deseada.

El fundamento que involucra todos los fenómenos anteriormente descritos se basan en la aplicación de las tolerancias de corte, es decir la holgura que debe existir entre punzón y matriz de un mismo perfil (Budynas & Nisbeth, 2008), que tiene por finalidad el aliviar la expansión del material, el cual es el resultado por derivación de la presión de los elementos cortantes sobre la placa metálica, mejorando la calidad del producto final y al mismo tiempo evitando que las herramientas de corte presenten daños prematuros (figura 10).

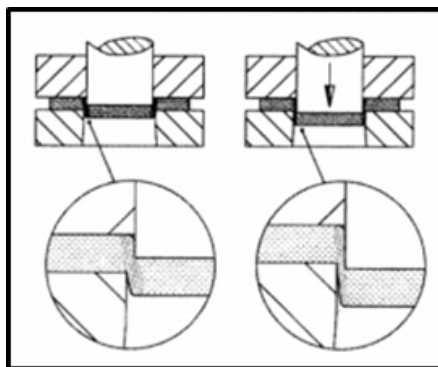


Figura 10 – Aplicación de una tolerancia de corte excesiva.

Si una tolerancia de corte es demasiado grande, esta permite una fluencia excesiva entre los elementos de corte y el material, teniendo como secuela una falta de compactación necesaria de las fibras para que se produzca su rotura (Budynas & Nisbeth, 2008). La consecuencia de esta holgura excesiva, genera que se incrusten partículas del material en el punzón a causa del impacto que este experimenta en el momento del corte, ocasionando melladuras o inclusive la rotura de la herramienta de corte.

Otro caso que se presentan a menudo es la tolerancia de corte insuficiente o, en otras palabras, poca holgura, que trae como consecuencia un impidiendo de la expansión del material presionado en el conjunto de corte, presentado una laminación excesiva en la pared de corte y las consecuencias sobre las herramientas de corte son la generación de fuerzas de sentido radial, aumentando el riesgo de rotura de las herramientas de corte (figura 11).

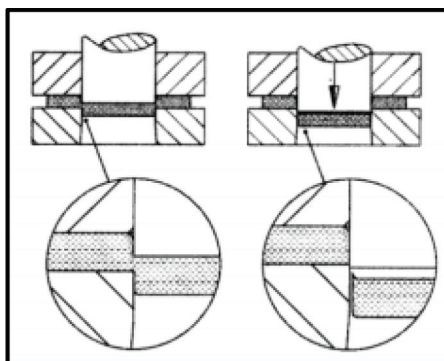


Figura 11 – Aplicación de una tolerancia de corte insuficiente.

Finalmente se expone el correcto valor holgura o de tolerancia, que permite la obtención de piezas cortadas sin rebabas con un perfil definido. Todos los esfuerzos que se producen en la matriz no ocasionan desprendimientos o incrustaciones en las paredes de corte evitando sobreesfuerzos por laminado excesiva o por holguras muy pequeñas o muy amplias.

3.6. Resultados experimentales

Mediante ensayos en probetas de acero galvanizado de 1mm de espesor, a través de la variación de holguras entre la punzón - matriz en un rango de 7,075 mm (7,5 %), 7,1 mm (10%) y 7,2 mm (20%). Las muestras presentan una sección brillante (un tercio) y una sección opaca (dos tercios) que muestran la calidad del corte. Mediante análisis micrográfico se determina una variación en las zonas de corte y zona de desgarre que y se lo expresa de forma porcentual. Dichos ensayos se realizaron en con 3 condiciones de holgura y 10 probetas para cada condición.

Holgura del 7,5 %

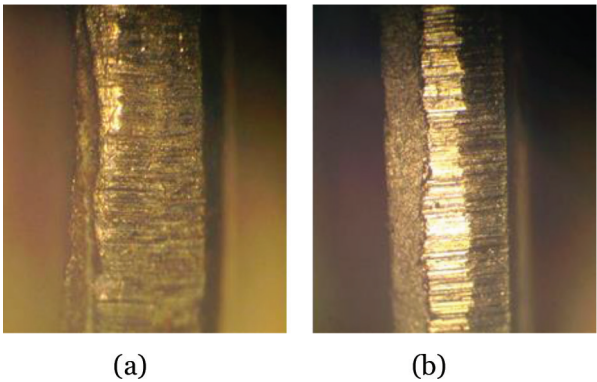


Figura 12 – Comparación micrográfica entre probeta 1(a) y probeta 10(b) para una holgura de corte 7,075.en las micrografías realizadas a las 10 probetas.

La figura 12, muestra la micrografía para una holgura de corte del 7,5%.

Resultados porcentuales con variación de holgura en 7,075		
Probeta	Zona de Corte	Zona de Desgarre
1	a75	a25
2	70	30
3	75	25
4	65	35
5	60	40
6	75	25
7	70	30
8	65	35
9	70	30
10	70	30
Promedio	a69,5	a30,5

^a Los números simbolizan porcentajes

Tabla 3 – Resultados micrografías holgura 7,5%

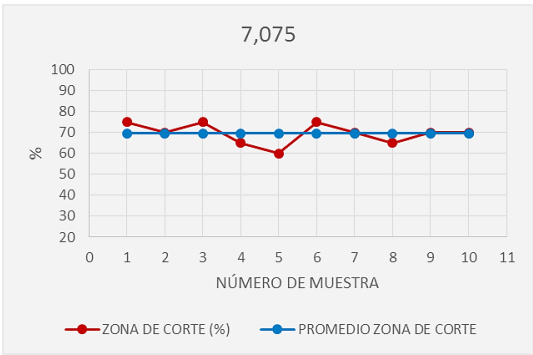


Figura 13 – Variación del porcentaje en la zona de corte para una holgura de corte 7,075.

La tabla 3 y la figura 13, muestran los resultados obtenidos.

- Holgura del 10 %

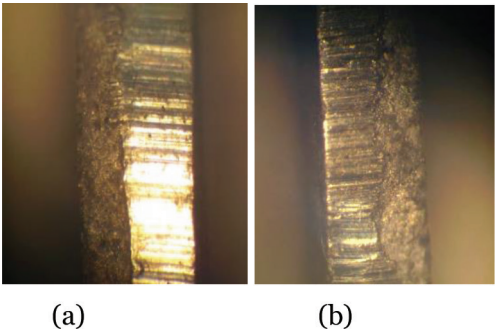


Figura 14 – Comparación micrográfica entre probeta 1 (a) y probeta 8(b) para una holgura de corte 7,1.

La figura 14, muestra la micrografía para una holgura de corte del 10%. Se procede a realizar los mismos ensayos de corte considerando un valor más alto, en este caso 7,1, obteniendo en la visualización del microscopio las siguientes superficies en las caras de corte.

Resultados porcentuales con variación de holgura en 7,1		
Probeta	Zona de Corte	Zona de Desgarre
1	b70	b30
2	65	35
3	55	45
4	65	35
5	65	35
6	60	40

Resultados porcentuales con variación de holgura en 7,1		
Probeta	Zona de Corte	Zona de Desgarre
7	65	35
8	65	35
9	60	40
10	65	35
Promedio	b63,5	b36,5

^b Los numeros simbolizan porcentajes.

Tabla 4 – Resultados micrografías holgura 10%

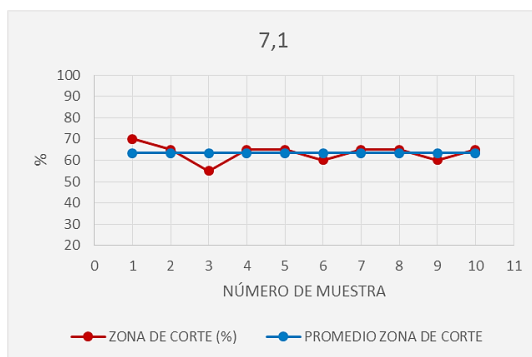


Figura 15 – Variación del porcentaje en la zona de corte para una holgura de 7,1.

La tabla 4 y la figura 15, muestran los resultados obtenidos en las micrografías realizadas a las 10 probetas.

- Holgura del 20 %

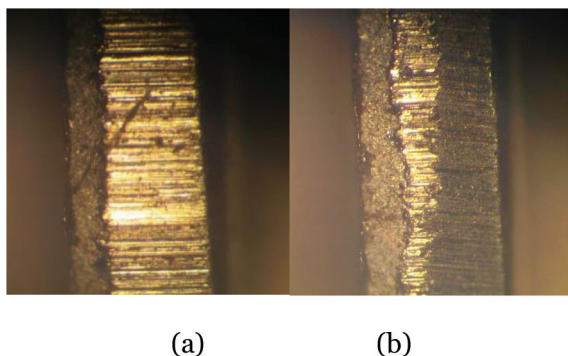


Figura 16 – Comparación micrográfica entre probeta 5 (a) y probeta 7(b) para una holgura de corte 7,2.

La figura 16, muestra la micrografía para una holgura de corte del 20%.

Resultados porcentuales con variación de holgura en 7,2		
Probeta	Zona de Corte	Zona de Desgarre
1	c55	c45
2	50	50
3	55	45
4	50	50
5	55	45
6	55	45
7	45	55
8	55	45
9	60	40
10	55	45
Promedio	c53,5	c46,5

° Los números simbolizan porcentajes.

Tabla 5 – Resultados micrografías holgura 20%

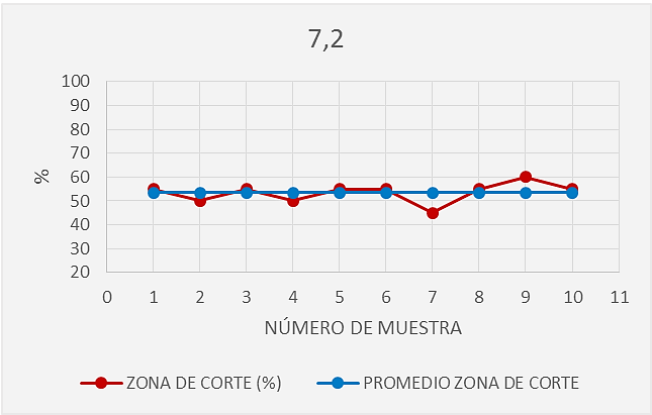


Figura 17 – Variación del porcentaje en la zona de corte para una holgura de 7,2

La tabla 5 y la figura 17, muestran los resultados obtenidos en las micrografías realizadas a las 10 probetas.

Los casos anteriormente señalados en el cual se contaba con poca o excesiva holgura, mostrando en los estudios micrográficos el comportamiento del material en la pared de corte, así como su desgarre, entre los mejores resultados se tiene un valor del 60% en la zona de desgarre para un porcentaje de holgura del 7,5%.

4. Discusión

En base al estudio, los datos obtenidos indican que la simulación realizada en el software especializado es validada con el proceso experimental. Se determina además que los mejores resultados de corte en simulación son similares a los resultados obtenidos experimentalmente.

La bibliografía sugiere que la holgura de corte debe estar entre el 5% al 20% de espesor de corte de la chapa, los conocimientos empíricos establecen que el adecuado es 10% y la bibliografía el 7%. por tal motivo se determina que la holgura hallada mediante los métodos de simulación y experimentación están dentro de los rangos presentados por otros autores.

Se constata además que los mejores resultados obtenidos, con una zona de corte de 69.5% y un desgarre de 30.5% es con la holgura de 7%. Y finalmente se valida que el porcentaje de holgura correcto es del 7% pero por temas de fabricación y facilidad de medición se aproxima este valor al 10%.

5. Conclusiones

Con los datos obtenidos se concluye que con una holgura de 7% del espesor del material correspondiente a 0,07 mm entre la matriz y el punzón permite el corte dejando más de las 2/3 partes de brillo en el espesor con respecto al acabado como indica la teoría.

Mediante los ensayos realizados con la tolerancia de diseño correspondiente al diámetro de 7,07 mm se verifica que cumple las etapas de deformación por cizallamiento que sufre el espesor del material.

Se observa una disminución de esfuerzo equivalente entre la tolerancia sugerida del 10% con un valor de 8429,2 MPa a la tolerancia de diseño con el 7% con un esfuerzo máximo de 7493,9 MPa.

Se concluye que al reducir la holgura de 0,07 mm se obtiene como desventaja aumento en la fuerza de corte calculada con un valor de 3078,76 kgf, así como también aumento en la fuerza de extracción de 215,513 kgf.

Con los datos observados se concluye que la holgura entre punzón y matriz de 0,2 mm equivalente al 20% no se puede superar porque se genera proceso de embutido y aumento de rebaba, así como también imperfectos en las superficies del material desprendido debido a la separación.

El estudio validó que la holgura de corte entre punzón - matriz en un rango entre el 0% al 20% es válido. Corte con una holgura dentro del rango realiza un corte con resultados aceptables.

La literatura expresa como referencia el valor de 7,2 % de holgura para aceros duros, la simulación nos valida que el mejor resultado obtenido tanto en desgarre como menor esfuerzo realizado se produjo con una holgura del 7%.

Referencias

- 3D CAD Portal. (2014). *ANSYS plataforma de solución CAE*. Obtenido de <http://www.3dcadportal.com/ansys.html>
- Barocio, E., Martínez, C., & Mancera, A. (2017). *Diseño y fabricación de un troquel progresivo para elaborar una arandela por golpe, norma DIN 125*. Ciudad de México, México: Instituto Politécnico Nacional.
- Budynas, R., & Nisbeth, K. (2008). *Shigley's mechanical engineering design*. Ciudad de México, México: McGraw-Hill.
- Christensen, R. (2013). *The Theory of Materials Failure*. Oxford, United Kingdom: Oxford University Press.
- Comanici, A., & Barsanescu, P. (2018). Modification of Mohr's criterion in order to consider the effect of the intermediate principal stress. *International Journal of Plasticity*(108), 40-54.
- De-duce-tu. (24 de Octubre de 2014). *Documentación y análisis: Conformado de productos sin arranque de viruta*. Obtenido de Deduce: <http://de-duce-tu.blogspot.com/p/4corte-y-punzonado.html>
- Ferreiro López, M. (07 de Enero de 2011). *Universidad Politecnica de Catalunya*. Recuperado el 2018 de Diciembre de 15, de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/12726/PFC1.pdf>
- Ferreiro, M. (07 de Enero de 2011). *Diseño de una matriz progresiva para chapa*. Barcelona, España: Universidad Politecnica de Catalunya.
- Florit, A. (2005). *Fundamentos de matricería: corte y punzonado*. Madrid, España: Grupo Planeta (GBS).
- Kolupaev, V. (2018). *Equivalent Stress Concept for Limit State Analysis*. Darmstadt, Alemania: Springer.
- Lafontaine, N., Cervera, M., & Rossi, R. (2017). Una formulación mixta estabilizada explícita para plasticidad con localización de deformaciones. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, XII(33), 250-261.
- Romero, J. L., López, E. M., & Río, O. (2017). Análisis de pilares con deformación por cortante mediante elementos finitos y acciones repartidas equivalentes. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, XII(33), 280-289.

Implementación de un laboratorio de ensayo de bicicletas en el Ecuador

Hernán Morocho-Campos¹, Servio Astudillo-León¹, Nelson Jara-Cobos¹,
Fran Reinoso-Avecillas¹

vcabrera@ups.edu.ec, jyepezc1@est.ups.edu.ec, ljuina@ups.edu.ec,
nmoreno@ups.edu.ec, dcarrerar@est.ups.edu.ec, jortizg2@est.ups.edu.ec

¹ Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

Pages: 125–138

Resumen: Este artículo presenta algunas de las actividades desarrolladas para la implementación de un laboratorio de ensayos de bicicletas en la Universidad Politécnica Salesiana, mismo que ha sido motivo de un convenio interinstitucional con el Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca (MPCEIP), con el objeto de ejecutar ensayos físicos y mecánicos a distintas partes constitutivas de las bicicletas fabricadas, ensambladas, importadas y comercializadas en el Ecuador, a fin de controlar el cumplimiento de los requisitos establecidos en el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 046 y las normas correspondientes. Luego de haber hecho una revisión exhaustiva de los ensayos posibles a realizar, la selección de máquinas, equipos y dispositivos para ejecutar los ensayos y de haber gestionado la infraestructura necesaria y la organización en general, se cuenta en la actualidad con un laboratorio implementado y operando de manera normal.

Palabras-clave: máquinas para ensayos de bicicletas; Reglamento Técnico Ecuatoriano; empresas comercializadoras de bicicletas; MPCEIP.

Implementation of a bicycle testing laboratory in Ecuador

Abstract: This article presents some of the activities developed for the implementation of a bicycle testing laboratory at the Salesian Polytechnical University, which has been the subject of an inter-institutional agreement with the Ministry of Production, Foreign Trade, Investments and Fisheries (MPCEIP), with The purpose of execute physical and mechanical tests on different constitutive parts of bicycles manufactured, assembled, imported and marketed in Ecuador, in order to monitor compliance with the requirements established in the Ecuadorian Technical Regulations RTE INEN 046 and the corresponding standards. After having made an exhaustive review of the possible tests to make, the selection of machines, equipment and devices to execute the tests and having managed the necessary infrastructure and the organization in general, there is currently a laboratory implemented and operating in a normal way.

Keywords: Bicycle testing machines; Ecuadorian Technical Regulations; bicycle

trading companies; MPCEIP.

1. Introducción

Dentro del marco institucional que ha establecido el Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca (MPCEIP) se menciona como uno de sus objetivos estratégicos: incrementar la productividad, los servicios relacionados y la calidad en todos los productos que se comercializan en todo el territorio nacional. Para ello, y como parte de la planificación estratégica, lo que se busca desde este ministerio es fomentar la inserción estratégica del Ecuador en el Comercio Mundial.

Con este argumento, la Universidad Politécnica Salesiana con el propósito de aportar con el desarrollo productivo local y nacional ha decidido intervenir como gestora para la creación y acreditación y servicio de laboratorios para el control de calidad que ayuden a garantizar que los productos cumplan con las especificaciones establecidas para cada uno de ellos.

Bajo el contexto antes mencionado, se ha realizado un análisis de cifras comerciales y otros datos que a continuación se mencionan. El análisis de estos registros permitirá definir, en primera instancia, las necesidades que tiene hoy por hoy el sector productivo nacional y desde este hecho, proporcionar soluciones viables que le permitan dar una respuesta definitiva al caso en particular.

Según el Banco Central del Ecuador, durante los primeros 7 meses del año 2010 las importaciones de bicicletas y demás velocípedos fueron de 3,8 millones de dólares, para el mismo periodo del año 2011 la cifra llegó a los 5,7 millones de dólares, mientras que para el 2012 esta cifra ascendió a 7,4 millones de dólares (Valverde, 2014). Con estas cifras y en vista de que no se ha podido verificar para los años siguientes se ha establecido una proyección hasta el año 2020 (ver Tabla 1), en donde las importaciones podrían crecer cuantiosamente llegando a valores de hasta 21,7 millones de dólares.

Año	Importaciones (millones)
2010	3,80
2011	5,70
2012	7,40
2013	9,23
2014	10,98
2015	12,78
2016	14,55
2017	16,34
2018	18,11
2019	19,89
2020	21,67

Tabla 1 – Importaciones de bicicletas 2010 – 2020. Fuente: Autores

De acuerdo a las políticas de estado de fortalecer la producción nacional, con el fin de disminuir las importaciones, se consolida la creación de empresas fabricantes y ensambladoras de bicicletas en el Ecuador, mismas que pretenden presentar productos terminados con un alto porcentaje de componentes nacionales y con la calidad necesaria a fin de poder competir. Empresas como Metaltronic, Ecobike, Grupo Ortiz y BKR (Ministerio de Industrias y Productividad, 2013), están compitiendo en el mercado nacional y han sido identificados operando hasta la actualidad.

En noviembre del año 2013 el MIPRO anuncia el ingreso al mercado ecuatoriano de las primeras 110.000 bicicletas de construcción nacional (El Universo, 2013).

Una vez que la producción nacional ha dado el primer paso, será necesaria la implementación de un laboratorio de control de calidad para estos velocípedos, que en los últimos años ha sido uno de los medios de transporte más usado en nuestro medio. En este sentido, el laboratorio que se implemente debe poseer todos los equipos, máquinas y más dispositivos que se requieren para realizar los ensayos mecánicos y físicos a cada uno de los componentes de mayor demanda de carga y esfuerzo en una bicicleta y que garanticen la seguridad de los usuarios (Valarezo, Jara, & Reinoso, 2015).

Este laboratorio operará en función de lo establecido en el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 046 “Requisitos de Seguridad para Bicicletas”, el cual mediante Resolución No. 055-2010 del 02 de abril de 2010 divulgada en el Registro Oficial No. 222 del 25 de junio de 2010, se oficializó con el carácter de obligatorio. Este reglamento establece los requisitos de seguridad y desempeño que deben cumplir las bicicletas, con el propósito de prevenir los riesgos para la seguridad de las personas y evitar prácticas que pueden inducir a error a los usuario (INEN, 2015).

Los procedimientos a aplicar dentro del laboratorio se basan directamente en lo establecido en el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 046, donde se presenta de manera clara el campo de aplicación para su correcto empleo. Las exigencias que se deben cumplir para verificar la calidad de los distintos modelos de bicicletas que se fabrican, importan y comercializan en el Ecuador, se basan en las siguientes normas (por tipo de bicicleta):

- NTE INEN ISO 4210 para bicicletas de paseo, montaña y carretera (INEN, 2013).
- ISO 8098 o EN 14765 para bicicletas para niños [(ISO, 2014); (AENOR, 2008).
- EN 16054 para bicicletas BMX (AENOR, 2013).
- EN 15194 para bicicletas con asistencia eléctrica (EPAC) (AENOR, 2012).
- ISO 8124-1 o NTE INEN UNE EN 71-1 para bicicletas de juguete y rueda libre (ISO, 2009). Los aspectos

Una vez presentado de manera general todas las normas que rigen el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 046. Se propone la implementación de un laboratorio que considere la norma NTE INEN ISO 4210 para iniciar con la atención de ensayos para uno de los modelos de bicicletas que más se comercializan en el Ecuador, que es el modelo de paseo, montaña y carretera.

2. Ensayos en base a normativas

La norma ISO 4210:2009 tiene como referencia a su similar aprobada en el año 1996. Su propósito es garantizar la seguridad de las bicicletas; esto se logra ensayando a distintas cargas todos los componentes que están sometidos a esfuerzos por el conductor, de manera que puedan ser certificados para su uso diario. Eliminando el riesgo de falla.

Por los requerimientos que se presentan para la implementación de un laboratorio de ensayos de bicicletas, sobre todo si se considera desde distintas ópticas como, lo económico, proceso de designación y acreditación, procesos de seguimiento de la designación y acreditación por parte de los entes de control, proceso de operación y sobre todo la necesidad de ofrecer servicios con elevado nivel de calidad en los ensayos, se planteó ofrecer en primera instancia 11 ensayos a aplicarse en distintas partes constitutivas del modelo de bicicleta de paseo, montaña y carretera. Se tiene previsto hacer la ampliación de la oferta de ensayos para otros modelos en un futuro cercano dependiendo de la demanda que se vaya teniendo.

Para la selección de las máquinas, equipos y más elementos que requieren los ensayos, se utilizó de manera adicional a las normas mencionadas en el reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 046, otras normas internacionales con similitud directa que aportaron significativamente y sobre todo apoyaron en el entendimiento y la aplicación de las normas exigidas, como la COVENIN 3603:2000 (COVENIN, 2000), la DIN EN 14766:2006 (DIN, 2006), la IS 10613:2014 (IS, 2014), IS/ISO 6742-2:1985 en el tema de luminosidad (ISO, 2009), la JIS D 9201:2001 en el tema de frenos (JIS, 2001) y la NMX-D-198-2-1985 (NMX, 1985).

A continuación, se presenta una breve explicación de cada uno de los ensayos que ofrecerá el Laboratorio de Ensayos de Bicicletas del Centro de Innovación Tecnológica Universidad Politécnica Salesiana CITUPS Cía. Ltda.

2.1. Ensayo de bloqueo de freno

Ensayo que se realiza en una bicicleta completamente ensamblada y ajustada con un peso equivalente de $100\text{ kg} \pm 1\%$ y consiste en someterle al mecanismo del freno a una fuerza de 180 N, necesaria para poner en contacto dicho mecanismo de frenado con el manubrio. Una vez establecida esta acción será necesario desplazar a la bicicleta 75 mm hacia adelante y hacia atrás, manteniendo la carga constante por 5 repeticiones (INEN, 2015).

2.2. Ensayo de carga del sistema de freno

En este ensayo se realiza la aplicación de una fuerza de 450 N al sistema de frenos de operación manual en un punto ubicado a 25 mm del mecanismo de frenado en 10 períodos de aplicación y 1.500 N al sistema de frenos de contra pedal manteniendo una permanencia de 15 segundos en el centro del pedal (INEN, 2015).

2.3. Ensayo de desempeño de frenos

En este ensayo se comprueba el desempeño de los frenos tanto en condiciones secas y húmedas. El ensayo se realiza en una pista con distancia y velocidad controlada para el mejor desempeño y maniobrabilidad de la bicicleta; bajo estas condiciones se realiza

el ensayo a frenos de operación manual y frenos de contra pedal con una frecuencia de ensayo variable según el gradiente de la pista (INEN, 2015).

2.4. Ensayo de proporción lineal al freno del contra pedal

La fuerza de freno se mide tangencial a la rueda posterior; para provocar esta fuerza de freno se aplica en el mecanismo de frenado una fuerza variable entre 90 N y 300 N en ángulos rectos a la biela y en la dirección de frenado. Para asegurar los resultados se debe realizar 5 tomas de datos con diferentes fuerzas de frenado (INEN, 2015).

2.5. Ensayo de ensamble del sistema de dirección

Al soporte del manubrio se le realizan ensayos de torque y doblado; en lo que respecta al ensayo de torque debe soportar 108 N.m y en lo referente a doblado debe soportar una fuerza de 1.600 N en un ángulo de 45°.

2.6. Ensayo de torque al manubrio y al soporte

Se desarrolla utilizando una fuerza de 220 N simultánea y ubicada lo más cercana al extremo del manubrio. Además, es necesario para este ensayo una prueba de torque al soporte del manubrio y a la barra de la horquilla donde se aplica un torque de 25 N.m al dispositivo de fijación del ensamble manubrio horquilla.

2.7. Ensayo de fatiga al ensamble del manubrio y el soporte

En este ensayo las cargas se aplican a 50 mm del extremo abierto del área del mango con cargas variables dependiendo del material y en diferentes formas de aplicación a una frecuencia de 25 Hz durante 50.000 ciclos (INEN, 2015).

2.8. Ensayo de impacto en el ensamble marco horquilla

Para comprobar la seguridad del ensamble marco horquilla es necesario realizar varios ensayos, en primera instancia se debe aplicar una masa descendente en el cuadrante vertical, utilizando un rodillo curvo de 1 kg instalado en su horquilla y luego se deja caer una masa de 22,5 kg desde una altura de 180 mm, otro ensayo consiste en dejar caer el ensamble marco horquilla armado con un peso de 70 kg sobre el sillín en dos repeticiones sobre un yunque, para verificar su deformación de punta a punta y por último un ensayo de fatiga en la horquilla la cual es sometida a cargas de 600 N con la masa de 1 kg instalada en la horquilla y con una frecuencia de 25 Hz y 50.000 ciclos (INEN, 2015).

2.9. Ensayo de carga estática en la rueda

El ensayo consiste en aplicar una fuerza de 178 N en el extremo del aro de la rueda sostenida sobre dos apoyos durante 1 min, para comprobar con un reloj comparador su alineación posterior, verificando la tolerancia de 1 mm de desviación (INEN, 2015).

2.10. Ensayos de pedal

Para comprobar la seguridad de los pedales es necesario realizar ensayos de carga estática sobre el sistema de empuje sencillo, aplicando fuerzas desde 0 N a 1.500 N con valores graduales, en el centro del pedal, durante un tiempo de 15 s y en ambas bielas.

Para los sistemas de empuje múltiples, se deben realizar el mismo ensayo mencionado antes, pero aplicando las fuerzas en la transmisión de cambio más alto y en la de cambio más bajo. También se realiza un ensayo dinámico de durabilidad del pedal donde se suspende una masa de 50 kg a 100 rpm en 1.000.000 de ciclos y para finalizar se realiza un ensayo de fatiga en el ensamble de la biela con su posición a 45° de la horizontal donde se aplica cargas 1.100 N y 1.400 N para materiales ferrosos y no ferrosos respectivamente durante 50.000 ciclos con frecuencia de 25 Hz (INEN, 2015).

2.11. Ensayos de soporte y sillín

Para el ensayo del soporte y el sillín se deben realizar pruebas de carga estática con un valor de 668 N, con dirección vertical hacia abajo y ubicado a 25 mm desde el extremo frontal y también con una carga de 222 N hacia un lado del sillín igual a 25 mm del frente.

Otro ensayo en el mismo elemento requiere aplicar una carga de 400 N en la parte posterior y anterior con un aditamento que sujete el sillín.

Cabe indicar que para los ensayos de fatiga realizados al soporte, es necesario tomar en consideración si el material es ferroso o no ferroso, ya que las cargas varían para cada caso; el ensayo en la primera fase consiste en colocar el soporte a 73° con la horizontal, luego se coloca un aditamento para aplicar fuerzas alternadas en cada extremo a 70 mm del centro del sillín y la segunda fase consiste en la aplicación de una carga directa en la punta del soporte a 90°, estas pruebas se realizan durante 50.000 ciclos y una frecuencia de 25 Hz (INEN, 2015).

3. Requerimientos para los ensayos

En este apartado se hará la selección del equipo para las pruebas y ensayos, y se planteará, además, el diseño de los espacios físicos para la implementación del laboratorio de ensayos de bicicletas.

Se presentan los detalles de las máquinas, equipos y dispositivos seleccionados para el cumplimiento de los ensayos establecidos en la sección 2 de este documento. También, se presentará la infraestructura necesaria y la adecuación de los distintos equipos a usar.

3.1. Máquinas, equipos y dispositivos

- **Máquina de ensayos con carga dinámica HT 2334**

Esta máquina es la que realiza los ensayos de carga dinámica tanto al pedal como a las manzanas de las bicicletas; posee 56 pesas circulares de 10 kg que son las necesarias para agregar el peso de prueba a cada elemento, en la Tabla 2 se presentan las características que posee.

Modelo	2334 C
<i>Velocidad de rotación (rpm)</i>	250/80
<i>Contador</i>	Hasta 6 dígitos con parada automática
<i>Numero de especímenes</i>	2 sets
<i>Contrapeso</i>	20 kg X 3 / 10 kg X 2

Tabla 2 – Características de la máquina HT-2334 C. Fuente: Autores

En la Figura 1 se puede observar una fotografía de la máquina de ensayos con carga dinámica HT 2334 adquirida para el laboratorio.



Figura 1 – Máquina de ensayos con carga dinámica HT 2334. Fuente: Autores

• Máquina de ensayos a impacto HT 8085

Esta máquina ha sido seleccionada para que realice los ensayos de impacto en algunas partes constitutivas de la bicicleta. Las cargas aplicadas (igual o mayor a la de un conductor) en este ensayo representan el esfuerzo que se hace en el uso de la misma. En la Tabla 3 se puede observar algunas de las características más importantes de la máquina seleccionada para el laboratorio.

Modelo	8085
<i>Altura de impacto</i>	Acorde con la norma ISO
<i>Peso de impacto</i>	Acorde con la norma ISO
<i>Área de la mesa</i>	24 cm X 180 cm
<i>Gatillo del martillo</i>	Mecanismo con doble seguridad
<i>Modulo del martillo de impacto</i>	De acuerdo al uso de la norma

Modelo	8085
Mecanismo protección	Anti rebote
Estructura de la maquina	En dos partes una de control y otra de ensayo
Poder	220 V trifásico
Dimensiones (Largo X Ancho X Altura) (cm)	110 x 180 x 278
Peso	160 kg

Tabla 3 – Características de la máquina HT-8085. Fuente: Autores

En la Figura 2 se muestra la fotografía de la máquina seleccionada para ensayo de impacto.



Figura 2 – Máquina de ensayos a impacto HT 8085. Fuente: Autores

• **Máquina de ensayos a impacto HT 8085**

La máquina HT 8505 es la seleccionada para que realice la aplicación de fuerzas a diversos componentes de la bicicleta. En la Tabla 4 se puede observar sus características principales.

En la Figura 3 se muestra la máquina universal para ensayos de tracción y compresión seleccionada.

Ítem	Especificación
Modelo	8505BM-50
Fuerza	50 KN
Resolución de carga	1/200.000

Ítem	Especificación
<i>Precisión de carga</i>	$\pm 1\%$
<i>Espacio de ensayo (mm)</i>	1.200 X 600 X 800
<i>Carrera</i>	1.400 (Con Sensores móviles)
<i>Velocidad (mm/min)</i>	0,2-200
<i>Resolución de desplazamiento (mm)</i>	0,01
<i>Control de poder</i>	Servo motor
<i>Energía</i>	220 V trifásica
<i>Dimensiones (mm)</i>	1.820 X 850 X 2.470
<i>Peso</i>	1.100 Kg

Tabla 4 – Características de la máquina HT-8505 BM-50. Fuente: Autores



Figura 3 – Máquina de ensayos universales a tracción y compresión HT 8085. Fuente: Autores

• Dispositivos

Entre los dispositivos que permitirán desarrollar correctamente los ensayos están:

- Máquina de ensayos a impacto HT 8085
- Regla metálica de 30 cm
- Dinamómetro (0 - 500) N
- Flexómetro de 3 m
- Nivel de 150 mm
- Calibrador de 0-200 mm
- Cinta métrica de 1,82 m

- Reloj comparador
- Goniómetro 0-180°
- Balanza hasta 25 kg bicicletas

3.3. Diseño y disposición de equipos de laboratorio

La Universidad Politécnica Salesiana, a través de un convenio con el Ministerio de Industrias y Productividad MIPRO, asume el reto de implementar un laboratorio para el control de la seguridad de bicicletas fabricadas, ensambladas, importadas y comercializadas en el país. Motivo por el cual las autoridades disponen de un espacio físico muy amplio donde, a partir de la fecha, funcionará el Laboratorio de Control de Calidad de Bicicletas.

Se designó un espacio de 164,48 m², mismo que se encontraba sin uso en la parte inferior del edificio de la Universidad Politécnica Salesiana. Para la disposición adecuada de los equipos y maquinaria se tuvieron que efectuar algunas excavaciones, esto con el fin de alcanzar las alturas requeridas por las máquinas.

En la Tabla 5 se puede observar la maquinaria seleccionada y sus dimensiones requeridas.

	Modelo	Espacio
<i>Máquina 1</i>	HT-8505	4 m x 3 m x 2,47 m
<i>Máquina 2</i>	HT-8085	2,5 m x 2,5 m x 2,87 m
<i>Máquina 3</i>	HT-2334A	2,50 m x 2 m x 1,22 m

Tabla 5 – Modelo y espacio de la maquinaria. Fuente: Autores

En la figura 4 se puede observar el diseño del espacio y la disposición de la maquinaria. Se puede observar que la máquina 1 y la máquina 2 son las de mayor volumen; y por su altura fue necesario realizar una excavación en el piso.

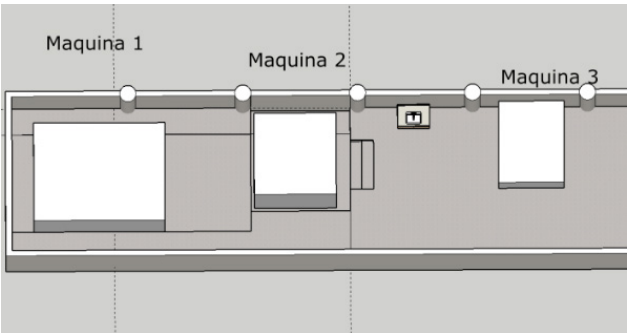


Figura 4 – Disposición de maquinaria según el espacio designado. Fuente: Autores

En cuanto a la adecuación de la oficina y demás espacios para la comodidad de los clientes y personal que trabaja en el laboratorio. El laboratorio fue adaptado con el fin de poseer una salida independiente; esto para cumplir con uno de los requisitos establecidos en los procesos de acreditación.

En la figura 5 se puede observar la distribución de la oficina, sala de espera, baño y salida independiente.

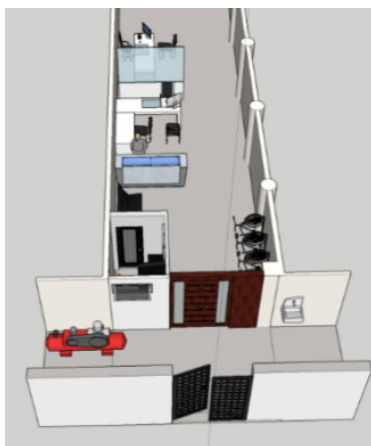


Figura 5 – Distribución del área administrativa y accesos. Fuente: Autores

4. Implementación del laboratorio de ensayos de control de calidad de bicicletas

En la actualidad, el laboratorio para ensayos de control de calidad de bicicletas, se encuentra operando normalmente, a la espera de los resultados de las Acciones Correctivas elaboradas a partir de las No Conformidades emitidas luego de la última evaluación de vigilancia de la designación por parte del SAE para empezar con el proceso de acreditación del mismo. En la figura 6 se puede observar las instalaciones del laboratorio (Valarezo, Jara, & Reinoso, 2015).



Figura 6 – Laboratorio de ensayos – Atención al cliente. Fuente: Autores



Figura 7 – Laboratorio de ensayos – Máquinas y Equipos. Fuente: Autores

5. Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a la Universidad Politécnica Salesiana y al Ministerio de Industrias y Productividad, específicamente a la Subsecretaría de Calidad, por el apoyo brindado en el desarrollo e implementación del Laboratorio de Ensayos de Bicicletas del Centro de Innovación Tecnológica Universidad Politécnica Salesiana CITUPS Cía. Ltda.

6. Conclusiones

Con el fin de garantizar la seguridad de las personas y sobre todo certificar la calidad en los productos que están a su alcance, se ha establecido a través de la firma entre la Universidad Politécnica Salesiana y el Ministerio de Industrias y Productividad un convenio para la implementación, acreditación y operación de un laboratorio para realizar ensayos mecánicos a los elementos constitutivos de la bicicleta, de acuerdo al reglamento y normativa vigente.

En este trabajo se presenta de manera general todos los ensayos exigidos en la norma NTE INEN ISO 4210:2009, donde se presenta el diseño e implementación de todos los requerimientos para cumplir con la norma mencionada: equipos, instrumentación, distribución, diseño de los espacios y sobre todo el desarrollo de los procedimientos de prueba.

El reglamento RTE INEN 046 se aplica a bicicletas que se importen, ensamblen, fabriquen, y que se comercialicen en el Ecuador, en los siguientes modelos de bicicletas: de paseo, para niños, de montaña y BMX.

El laboratorio de control de calidad de bicicletas estará en la capacidad de realizar 15 diferentes ítems de las normas que exige cumplir el reglamento RTE INEN 046.

Referencias

- AENOR. (2008). *Norma UNE-EN 14765:2006 + A1:2008 Bicicletas para niños, Requisitos de seguridad y métodos de ensayo*. Madrid, España: Asociación Española de Normalización (UNE). Obtenido de Aenor.com.
- AENOR. (2012). *Norma UNE-EN 15194: 2009 + A1: 2012 Ciclos. Ciclos con asistencia eléctrica. Bicicletas EPAV*. Madrid, España: Asociación Española de Normalización.
- AENOR. (2013). *Norma UNE-EN 16054: 2013 Bicicletas BMX. Requisitos de seguridad y métodos de ensayo*. Madrid, España: Asociación Española de Normalización.
- COVENIN. (2000). *COVENIN*. Obtenido de Norma venezolana icicletas. Requisitos de seguridad para bicicletas: <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/3603-00.pdf>
- DIN. (Septiembre de 2006). *Public Safety Standards - Bundesrepublik Deutschland*. Obtenido de DIN EN 14766 Mountain-bicycles - Safety requirements and test methods: <https://law.resource.org/pub/de/ibr/din.en.14766.e.2006.html>
- El Universo. (Noviembre de 2013). *En el 2014 se venderán las primeras 110.000 bicicletas con componente nacional*. Obtenido de El Universo: <https://www.eluniverso.com/noticias/2013/11/27/nota/1833896/2014-se-venderan-primeras-110000-bicicletas-componente-nacional>.
- INEN. (19 de Diciembre de 2013). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE ISO 4210:2009*. Obtenido de Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN: http://181.112.149.204/buzon/normas/nte_inen_iso_4210_corrige.pdf
- INEN. (14 de Enero de 2015). *Requisitos de Seguridad Para Bicicletas RTE*. Obtenido de Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN: <http://181.112.149.204/buzon/reglamentos/RTE-046-1R.pdf>
- IS. (2014). *IS 10613 : 2014 Indian Standard Cycles — Safety Requirements for Bicycles*. London, UK: SAI Globa. Obtenido de https://infostore.saiglobal.com/en-us/standards/bis-is-10613-2014-182203_SAIG_BIS_BIS_439652/
- ISO. (2009). *IS/ISO 6742-2:1985 Cycles - Lighting and Retro-Reflective Device - Photometric and Physical Requirements*. London, UK: ISO.
- ISO. (2009). *ISO 8124-1 Safety of toys - Part 1: Safety aspects related to mechanical and physical properties*. <https://www.iso.org/standard/51974.html>: ISO.
- ISO. (2014). *ISO 8098: 2014 - Cycles, Safety requirements for bicycles for young children*. London, UK: ISO. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/54815.html>

- JIS. (2001). *SAI GLOAL*. Obtenido de JIS D 9201:2001 Bicycles-Method of braking test: https://infostore.saiglobal.com/en-us/Standards/JIS-D-9201-2001-630529_SAIG_JSA_JSA_1446651/
- Ministerio de Industrias y Productividad. (2013). *B165 – Prototipos de bicicletas con alto componente nacional, fueron presentados a medios*. Recuperado el 20 de Julio de 2018, de <https://www.industrias.gob.ec/b165-ramiro-gonzales-presento-prototipos-de-bicicletas-con-alto-componente-nacional/>.
- NMX. (1985). <https://docplayer.es/85390565-Nmx-d-198-autotransporte-bicicletas-metodos-de-prueba-autotransport-bicycles-test-methods.html>. Ciudad de México, México: Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Obtenido de Norma Oficial Mexicana NMX-D-198-2-1985 Autotransporte, Bicicletas, Especificaciones.
- Valarezo, L., Jara, N., & Reinoso, F. (2015). *Laboratorio para ensayos de seguridad y calidad de bicicletas en el Ecuador*. Guayaquil, Ecuador: Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica.
- Valverde, L. (2014). *Plan de negocios para línea de ropa de ciclistas urbanos*. Guayaquil, Ecuador: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Extractos naturales una alternativa conservante en la industria cosmética

Tatiana Mosquera Tayupanta¹, Alejandra Medrano Jara², María Elena Maldonado³

tmosquera@ups.edu.ec, kmedrano@est.ups.edu.ec, mmaldonado@ups.edu.ec

^{1,2,3} Universidad Politécnica Salesiana, Av. Isabel La Católica N. 23-52 and Madrid, código postal: 170525, Pichincha, Quito, Ecuador

Pages: 139–149

Resumen: El presente estudio relaciona la acción conservante de ingredientes comerciales (Parabenos), con tres extractos naturales: aceite esencial de Romero (*Rosmarinus officinalis*), aceite esencial y extracto hidroalcohólico de Isphingo (*Ocotea quixos* Lam. Kosterm), incorporados en dos fórmulas cosméticas: champú y cremas faciales. La investigación se realiza utilizando el método ISO 11930:2012 (Challenge Test) también identificada como “Prueba de desafío”. Los resultados determinaron que las cremas que utilizaron como conservante mezclas de: extracto-aceite esencial de Isphingo a las concentraciones de 10%-0,4% y 15%-0,4% y con aceite esencial de 0,4% no presentan diferencia significativa frente al conservante comercial, en el caso del aceite esencial de Romero la incorporación de 1% en champú muestra actividad preservante similar al conservante comercial y la incorporación de 2,5% presenta mayor eficiencia antimicrobiana. En base a los resultados obtenidos, los extractos presentan eficiencia conservante y podrían reemplazar el uso de conservantes sintéticos en las fórmulas indicadas.

Palabras-clave: *Ocotea quixos*, *Rosmarinus officinalis*, conservante, cosméticos.

Natural extracts a preservative alternative in the cosmetics industry

Abstract: The present study relates the preservative action of commercial ingredients (Parabens), with three natural extracts: Rosemary essential oil (*Rosmarinus officinalis*), essential oil and hydroalcoholic extract of Isphingo (*Ocotea quixos* Lam. Kosterm), incorporated in two cosmetic formulas: shampoo and facial creams. The research is carried out using the ISO 11930: 2012 method (Challenge Test). The results determined that the creams that used as preservative mixtures of: extract-essential oil of Isphingo at concentrations of 10% -0,4% and 15% -0,4% and with essential oil of 0,4% did not show any difference significant compared to the commercial preservative, in the case of Rosemary essential oil the incorporation of 1% in shampoo shows preservative activity similar to that of the commercial preservative and the incorporation of 2,5% presents greater antimicrobial efficiency. Based on the results obtained, the extracts have preservative efficiency and could replace the use of synthetic preservatives in the indicated formulas.

Keywords: *Ocotea quixos*, *Rosmarinus officinalis*, preservatives, cosmetics.

1. Introducción

La innovación cosmética está basada, tanto en las tendencias del consumo actual, como en la importancia del cuidado de la salud de las personas; una búsqueda de productos sin aditivos considerados peligrosos, un retorno a lo natural, son conceptos que orientan tanto al consumidor como al productor a buscar ingredientes naturales con actividad tanto en el producto como en la piel o los anexos cutáneos en donde es aplicado. Dicha tendencia ha hecho que las compañías cosméticas hagan uso de ingredientes orgánicos y/o naturales en sus formulaciones. Esta práctica no es nueva, desde la antigüedad se ha utilizado la cosmética natural, incluso se podría decir que es la base para la cosmética que se conoce hoy en día, como ejemplo están los egipcios, romanos y babilonios quienes utilizaban extractos naturales y aceites esenciales, así como también jugo de semillas, jugo de plantas y arcillas como recursos para la elaboración de diversos productos de característica cosmética (Ferraro, Martino, & Bandoni, 2015). En 1960 se da a conocer el auge de lo natural inspirado en un movimiento hippie que consistía en que las personas consuman o utilicen productos naturales (Navarro, Núñez, & Cebrián, 2012). Actualmente el consumo de cosméticos naturales representa un pequeño porcentaje, comparándolo con el consumo de cosméticos de síntesis. A pesar de ello, varias investigaciones de mercado reflejan que el porcentaje de consumo global de productos de cuidado personal va en aumento e incrementará en los próximos años del 5% a un 15% (Alcalde, 2008), existen a la vez muchas investigaciones de la actividad biológica de algunos productos naturales, siendo esta actividad biológica su efecto antimicrobiano o antioxidante la que podría considerarse la base para incorporar estos ingredientes naturales como parte de una formulación esperando que dentro del producto mantenga su capacidad antibacteriana y/o antioxidante. Todos estos argumentos generan propuestas de investigación que busquen validar a estos ingredientes como materias primas vegetales, que puedan ser incorporados a las formulaciones cosméticas como una alternativa a los químicos de síntesis.

En el análisis de la importancia de los ingredientes cosméticos, sin lugar a dudas resalta el papel de los conservantes, componentes indispensables en la formulación de todo producto, ya que estos mantienen la carga microbiana en niveles seguros y aceptables, en el periodo de tiempo que se use el producto y en la vida útil del mismo, como conservante principal la mayoría de los cosméticos incorporaban a sus formulaciones una mezcla de parabenos, considerados eficaces y convenientes en precio, esta selección cambia cuando la Comunidad Andina de Naciones en su Resolución 1905 emite que está prohibido el uso de parabenos en las industrias cosméticas y farmacéuticas y, determina que a partir de febrero de 2018 los productos que contengan parabenos tienen que realizar cambios en sus formulaciones (CAN, 2017), resolución que obliga a que las industrias busquen alternativas que tengan el mismo efecto que los parabenos sin perder la seguridad de la fórmula, garantizando el mantenimiento de las características propias del producto original, o incluso mejorando la características de la fórmula con cualidades que sean interesantes para el consumidor, lo mencionado motiva a validar la acción conservante que puedan tener los ingredientes naturales con actividad antimicrobiana probada.

Generalmente los estudios realizados en materiales vegetales, están orientados a identificar la actividad biológica de los mismos, entendiéndose por actividad biológica

a su acción antimicrobiana, antifúngica e incluso antioxidante, que puedan presentar extractos vegetales que contienen los metabolitos secundarios de las plantas estudiadas, estos componentes vegetales pueden considerarse ingredientes interesantes en formulaciones cosméticas más aún cuando no sólo cumplirían una función en la fórmula, sino varias a la vez, incluso muchas de estas funciones pueden enriquecer los beneficios del producto.

En la literatura existen muchas investigaciones que demuestran el poder antimicrobiano de plantas, estudios realizados generalmente *in vitro*; de estos estudios especialmente por la diferencia metodológica con la que se realizan, presentan resultados que no son directamente comparables entre sí, por ejemplo los factores que influyen son la elección de la variedad de plantas, el tipo de extractos utilizados, su proceso de obtención, o incluso los microorganismos sobre los que se realiza la prueba, como también los métodos de prueba (Janssen, Scheffer, & Baerheim Svendsen, 1987), por tanto, el resultado no es suficiente para determinar que el efecto antimicrobiano se interpola a un efecto conservante, existe la necesidad de verificar si estas propiedades antibacterianas comprobadas de las plantas se mantienen cuando se combina con otros ingredientes, es decir cuando forma parte de una formulación.

Las especies seleccionadas cuentan con un gran número de investigaciones que demuestran actividad, tanto Ishpingo (*Ocotea quixos*) y Romero (*Rosmarinus officinalis*); presentan resultados, que se consideran antecedentes fundamentales para esta investigación, generando la hipótesis que estos extractos al ser incorporados como ingredientes dentro de una formulación mantengan la capacidad antimicrobiana, y a la vez generen un efecto conservante, y en los dos casos sean también ingredientes que aporten con un valor adicional al producto, ya que también las dos especies tienen componentes con característica antioxidante.

Ocotea quixos, cuyo nombre común es “Ishpingo” evidencia resultados que demuestran que el aceite foliar impide el crecimiento de bacterias como *Streptococcus piogenes*, *Candida albicans*, *Streptococcus mutans*, *Staphylococcus aureus* y *Staphylococcus epidermis*, el Ishpingo a la vez ha sido evaluado en cuanto a su acción antioxidante, demostrándose que la capacidad antioxidante es superior a la del aceite esencial de *Tymus vulgaris* referencia positiva en extractos vegetales (Noriega & Dacarro, 2008).

El Romero (*Rosmarinus officinalis*) es otra especie vegetal sobre la cual existen investigaciones donde se pone en manifiesto el gran poder antimicrobiano del aceite esencial, en cepas como: *Enterococcus faecalis*, *Acinetobacter baumannii*, *Candida albicans*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella entérica*, *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli* (Atti-Santos et al., 2005; Hammer, Carson, & Riley, 2005).

La presente investigación, pretende fundamentar el uso de activos botánicos en formulaciones cosméticas, tanto dentro de la categoría de cosmética de síntesis como en la cosmética natural mediante la comprobación de la eficacia antimicrobiana relacionada con el poder conservante que pueda ejercer en la formulación.

2. Materiales y métodos

2.1. Formulaciones cosméticas

El método utilizado en la preparación de la crema fue el de inversión de fases o método indirecto, en el cual se calienta la fase oleosa por separado de la acuosa y con agitación constante se añade poco a poco la fase acuosa sobre la oleosa para obtener la emulsión que se desea (Marmol & Lozano, 2012).

Con la finalidad que el ingrediente natural, pueda generar no sólo una función conservante sino también aporte un valor agregado adicional a la fórmula, considerando que el isphingo (*Ocotea quixos* Lam Kosterm), tiene referenciado bibliográficamente una capacidad antioxidante que podría ser aprovechada en una crema facial, se incorporaron diferentes concentraciones de extractos de isphingo, entendiéndose por extracto tanto: al extracto hidroalcohólico de hojas de isphingo, como al aceite esencial de las hojas.

Se probaron las siguientes combinaciones de extractos, determinando como variable únicamente la concentración de extracto hidroalcohólico, la concentración de aceite esencial se mantiene en 0,4% en todas las combinaciones, considerando que concentraciones mayores generan características organolépticas no agradables en la formulación.

- Mezcla 1: 7,5% de extracto hidroalcohólico de isphingo con 0,4% de aceite esencial de isphingo.
- Mezcla 2: 10% de extracto hidroalcohólico de isphingo con 0,4% de aceite esencial de isphingo.
- Mezcla 3: 15% de extracto hidroalcohólico de isphingo con 0,4% de aceite esencial de isphingo.
- Mezcla 4: 0,4% de aceite esencial de isphingo.

El control positivo en la crema, fue realizado utilizando el conservante comercial phenova que exhibe rápida actividad microbicida frente a bacterias Gram negativas, así como bacterias Gram positivas, levaduras, es una solución de ésteres de ácido p- hidroxibenzoico en fenoxietanol (etilenglicol-monophenylether), se utilizó a la concentración determinada en la ficha técnica del producto 0,8%.

En la formulación del champú se utilizó como ingrediente conservante el aceite esencial de Romero (*Rosmarinus officinalis*) en tres concentraciones diferentes 1% - 1,5 % y 2,5%, se consideró una fórmula básica constituida únicamente por un tensioactivo aniónico, un agente viscosante y como vehículo agua, el mínimo número de ingredientes permitirá corroborar que la actividad conservante se debe únicamente al ingrediente natural o conservante comercial.

2.1.1. Método ISO 11930:2012 “Challenge Test” eficiencia de la conservación antimicrobiana

En función del Boletín Técnico de Microbiologics (Microbiologics, 2014), se realiza un crecimiento inicial del microorganismo en medios no selectivos (ISO, 2012).

El material biológico utilizado en función de la ISO 11930:2012 es el siguiente: *Staphylococcus aureus* ATCC 6538, *Escherichia coli* ATCC 8739, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027, *Candida albicans* ATCC 1023, *Aspergillus brasiliensis* ATCC 16404

Los inóculos tanto bacterianos como fúngicos fueron preparados relacionando la densidad óptica con la cantidad de microorganismos (Stainer, Ingraham, Wheelis, & Painter, 1992). Considerando que, en una longitud de onda de 625 nm, una absorbancia de 0,08 a 0,11 relaciona a una concentración bacteriana de $1 - 2 \times 10^8$ ufc/mL y una longitud de onda de 530 nm, una absorbancia de 0,13 a 0,16 se relaciona con una concentración de hongos y levaduras es de $1 - 5 \times 10^6$ upml/mL (Vega, 2015).

Para la inoculación de las fórmulas cosméticas, de acuerdo a la norma ISO se colocó en cada una de ellas el 1% del peso total de las mismas, para champú se trabajó con muestras de 70 mL y un inóculo de 0,7mL, y para las cremas con muestras de 20g un inóculo de 0,2 mL.

Mediante recuento en placa a intervalos de tiempo establecidos se determinó el número de microorganismos vivos de cada muestra, comprobando así la supervivencia de los mismos en las formulaciones.

El análisis de los resultados se realizó en base a la reducción logarítmica del crecimiento de microorganismos viables, cuyo valor está relacionado con la concentración del inóculo inicial.

Los criterios para interpretación son los siguientes (ISO, 2012):

- Si se da la reducción del inóculo a los dos días, se considera al conservante aceptable de bajo riesgo.
- Si se da la reducción del inóculo a los siete días, se considera al conservante aceptable de riesgo moderado.
- Si se da la reducción del inóculo a los catorce días, se considera al conservante aceptable con reserva de alto riesgo.
- Si se da la reducción del inóculo a los veinte y ocho días, se no considera al conservante aceptable y este es inadecuado.

3. Resultados

3.1. “Challenge Test” eficiencia de la conservación antimicrobiana en Cremas

Se probaron cinco fórmulas en cremas con variación del sistema conservante en cada una de ellas, de acuerdo a la siguiente identificación:

Fórmula 1: Crema con extracto fluido hidroalcohólico 7,5 % de *Ocotea quixos* y aceite esencial 0,4 % de *Ocotea quixos*.

Fórmula 2: Crema con extracto fluido hidroalcohólico 10 % de *Ocotea quixos* y aceite esencial 0,4 % de *Ocotea quixos*.

Fórmula 3: Crema con extracto fluido hidroalcohólico 15 % de *Ocotea quixos* y aceite esencial 0,4 % de *Ocotea quixos*.

Fórmula 4: Crema con aceite esencial 0,4 % de *Ocotea quixos*.

Fórmula 5: Crema con conservante comercial “phenova” mezcla de parabenos: Fenoxietanol, metilparabeno, etilparabeno, propilparabeno, butilparabeno, isobutilparabeno al 0,8%, control positivo.

En tiempos establecidos por la Norma: T₀ = el mismo día que se realiza el inóculo en la muestra, T₇= 7 días después del inóculo, T₁₄ =14 días después del inóculo y T₂₈= 28 días después del inóculo; en cada uno de los tiempos se realiza un conteo en placa, determinando en que día se logra reducción logarítmica del crecimiento de microorganismos.

En función del día que se logra la reducción logarítmica del inóculo se determina la aceptabilidad del sistema conservante y a la vez el riesgo microbiológico del producto.

La interpretación es la siguiente:

- Si la reducción del inóculo se evidencia en dos días, el sistema conservante se evalúa como ACEPTABLE y se considera el producto de BAJO RIESGO.
- Si la reducción del inóculo se evidencia en siete días, el sistema conservante se evalúa como ACEPTABLE pero el producto se considera de RIESGO MODERADO.
- Si la reducción del inóculo se evidencia en los 14 días, el sistema conservante se evalúa como ACEPTABLE CON RESERVA, y el producto se considera de ALTO RIESGO.
- Si la reducción del inóculo se da a los 28 días, el sistema preservante es NO ACEPTABLE

Los resultados de la reducción logarítmica que logra los sistemas conservantes naturales incorporados en las cinco fórmulas de cremas realizadas, se presentan en la Tabla 1; para poder realizar la interpretación antes indicada en los resultados se presenta el día en el que logra la reducción logarítmica del inóculo en cada uno de los agentes biológicos testeados: *Staphylococcus aureus* ATCC 6538, *Escherichia coli* ATCC 8739, *Pseudomona aeruginosa* ATCC 9027, *Candida albicans* ATCC 1023, *Aspergillus brasiliensis* ATCC 16404.

Microorganismo	Fórmula 1	Fórmula 2	Fórmula 3	Fórmula 4	Fórmula 5
<i>S. aureus</i> ATCC 6538	14	2	2	2	2
<i>P. aeruginosa</i> ATCC 9027	2	2	2	7	2
<i>E. coli</i> ATCC 8739	14	2	2	7	2
<i>A. brasiliensis</i> ATCC 16404	2	2	2	2	2
<i>C. albicans</i> ATCC 10231	28	2	2	2	2
Evaluación	No aceptable	Criterio A Aceptable	Criterio A Aceptable	Criterio A Aceptable	Criterio A Aceptable
Interpretación	Preservante inadecuado	Bajo riesgo	Bajo riesgo	Riesgo moderado	Bajo riesgo

Tabla 1 – Evaluación de las fórmulas en función de los días en los que se da reducción logarítmica del crecimiento de microorganismos

De los cuatro sistemas naturales probados, sólo la fórmula 1, con un extracto fluido hidroalcohólico 7,5 % de *Ocotea quixos* y aceite esencial 0,4 % de *Ocotea quixos*, no logra una buena evaluación y determina que el perseverante es inadecuado, y aunque las fórmulas 2,3,4 son evaluadas con criterio A de aceptabilidad, existe diferencia en función de los días en los que logran reducción logarítmica, la fórmula 4 en la que se colocó únicamente aceite esencial 0,4 % de *Ocotea quixos*, logra la reducción logarítmica en cinco días más que las otras dos fórmulas, lo que podría indicar que combinar dos tipos de extractos, un extracto hidroalcohólico con un aceite esencial, genera sinergia en la acción conservante.

3.1. “Challenge Test” eficiencia de la conservación antimicrobiana en Champú

En Champú, se realizaron cuatro formulaciones con diferentes sistemas conservantes identificados de la siguiente forma:

Fórmula 1: conservante comercial, phenova mezcla de parabenos: Fenoxietanol, metilparabeno, etilparabeno, propilparabeno, butilparabeno, isobutilparabeno al 0,8%.

Fórmula 2: aceite esencial de Romero (*Rosmarinus officinalis*) al 1%.

Fórmula 3: aceite esencial de Romero (*Rosmarinus officinalis*) al 1,5%.

Fórmula 4: aceite esencial de Romero (*Rosmarinus officinalis*) al 2,5%.

Fórmula 5: sin conservante.

La fórmula 5 sin conservante se la realiza considerando que los tensioactivos presentan también actividad contra ciertos agentes biológicos, aunque no se utilizó un tensioactivo catiónico que son los que más actividad antimicrobiana presentan, no colocar un agente conservante en la fórmula permitirá determinar el grado de acción del tensioactivo utilizado.

En la tabla 2 se comparan las cinco fórmulas, indicando los días en los que en función del conteo microbiano se consigue reducción logarítmica del inóculo, identificando criterios de aceptabilidad de las mismas y validando la eficacia de los conservantes utilizados en cada una de ellas.

Los resultados demuestran que la acción antibacteriana de los extractos puros, son extrapolables en mayor o menor medida cuando se combinan con otros ingredientes en la formulación, generando en algunas de las formulaciones probadas, un efecto conservante igual al del conservante de síntesis utilizado.

De las siete formulas ensayadas en las que se reemplazó el conservante comercial por ingredientes naturales, seis logran ser evaluadas dentro del Criterio A es decir son aceptables, entre ellas se diferencian en el tiempo en que logran la reducción logarítmica en el caso de las formulaciones de Cremas, los sistemas preservantes con mayor eficacia que logran la disminución en dos días son los utilizados en la fórmula 2 y fórmula 3, mezcla de extracto fluido hidroalcohólico 10 % de *Ocotea quixos* con 0,4 % de aceite esencial de *Ocotea quixos* y mezcla de extracto fluido hidroalcohólico 15 % de *Ocotea quixos* con 0,4% aceite esencial de *Ocotea quixos*, respectivamente, estas fórmulas serían consideradas como productos de BAJO RIESGO en estos casos el sistema conservante

de la formula cosmética, asegura que el producto está seguro de cualquier crecimiento microbiano y no es necesario apreciar demás factores que están fuera de la formulación (Krajewski, Malhotra & Ritzman, 2008).

Microorganismo	Fórmula 1	Fórmula 2	Fórmula 3	Fórmula 4	Fórmula 5
<i>E. coli</i> ATCC 8739	2	2	2	2	7
<i>P. aeruginosa</i> ATCC 9027	7	7	7	2	14
<i>S. aureus</i> ATCC 6538	7	2	2	7	2
<i>C. albicans</i> ATCC 10231	2	2	2	2	2
<i>A. brasiliensis</i> ATCC 16404	2	2	2	2	2
Evaluación	Criterio A Aceptable	Criterio A Aceptable	Criterio A Aceptable	Criterio A Aceptable	Criterio B Aceptable con reserva
Interpretación	Riesgo moderado	Riesgo moderado	Riesgo moderado	Riesgo moderado	Alto riesgo

Tabla 2 – Evaluación de las fórmulas en función de los días en los que se da la reducción logarítmica del crecimiento bacteriano

Es importante destacar que la formulación 1 de la Crema, que utilizó un sistema conservante de extracto fluido hidroalcohólico 7,5 % de *Ocotea quixos* y aceite esencial 0,4 % de *Ocotea quixos*, es la única en la que se produce una reducción logarítmica en los 28 días de ensayo, tiempo que determina que la fórmula no sea aceptable, indicando que el sistema conservante es inadecuado, lo que quiere decir que fue la única combinación no adecuada, y permite concluir que una mayor concentración del extracto garantiza resultados satisfactorias en el efecto conservante.

La fórmula 4 en cremas con 0,4% de aceite esencial de *Ocotea quixos* y las tres fórmulas de Champú: fórmula 2 con 1% de aceite esencial de Romero (*Rosmarinus officinalis*), fórmula 3 con 1,5% de aceite esencial de Romero (*Rosmarinus officinalis*) y la fórmula 4 con 2,5% de aceite esencial de Romero (*Rosmarinus officinalis*) también entran dentro del CRITERIO A, determinando que el sistema conservante es ACEPTABLE pero logran la reducción logarítmica en siete días lo determina que sean productos de riesgo moderado, es decir aunque se acepta el sistema preservante será necesario considerar ciertos factores de control, un análisis de riesgos de contaminación durante el proceso o durante el uso, por lo que incluso será necesario determinar factores de control fuera de la formulación, como considerar envases o presentaciones en cantidades reducidas que puedan ser utilizadas en tiempos cortos.

El resultado de la fórmula 5 en Champú, una fórmula sin conservantes, en la que también se evidencia una reducción logarítmica a los 14 días se debe a la acción tensioactiva generada dentro de los ingredientes propios de la fórmula, sin embargo estos ingredientes aunque logren reducción antibacteriana, el tiempo determina que sea un PRODUCTO DE ALTO RIESGO, una calificación con CRITERIO B identifica que para asegurar que

el producto esté libre de crecimiento microbiano no bastara el sistema conservante será absolutamente necesario el análisis de riesgos, y el control de todos los factores que no estén dentro de la formulación, es decir se aprueba el conservante sólo y únicamente si se controlan factores externos como la dosis o características del envase (Chase, Jacobs & Aquilano, 2009; Krajewski et al., 2008).

El efecto conservante del Romero encontrados en esta investigación permitirían definir que la actividad antimicrobiana del mismo que ha sido identificada en algunas investigaciones como la realizada por Hammer, Carson, & Riley (2005) que presenta como resultado que la concentración mínima inhibitoria (MIC) del aceite esencial se encuentre en un rango del 0,5 % v/v hasta 2 % v/v dependiendo del microorganismo en estudio, puede relacionarse con su acción cuando se le incorpora como ingrediente dentro de una formulación.

Otro estudio que corrobora la actividad antimicrobiana del Romero es el de Castaño, et al. (2010) donde evalúan la actividad antibacteriana del aceite esencial y extracto etanólico de *Rosmarinus officinalis*, demostrando que el extracto etanólico y el aceite esencial de hojas de *Rosmarinus officinalis* L. sobre microorganismos de interés alimentario: *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhimurium*, *Shigella sonnei*, *Listeria monocytogenes*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus cereus* y *Lactobacillus plantarum* poseen un amplio espectro de acción antimicrobiana tanto para bacterias Gram positivas como Gram negativas, el aceite esencial presenta una cantidad mínima inhibitoria de entre 512 – 4096 ppm y el extracto etanólico de 1024 ppm. La nisina, utilizada como control positivo, ocasionó una inhibición del crecimiento de todas las bacterias evaluadas con una cantidad mínima inhibitoria entre 2 y 1024 ppm, evidenciándose que los conservantes usados comúnmente en la industria presentan una actividad antimicrobiana menor que la encontrada con el aceite esencial de *R. officinalis*.

Noriega & Dacarro (2008), en su estudio sobre *Ocotea quixos*, cuyo nombre común es “Ishpingo” comprueban que el aceite foliar de *Ocotea quixos* inhibe el crecimiento de las cepas de *Streptococcus mutans*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermis*, *Candida albicans* y *Streptococcus piogenes*, donde se evidenció el amplio poder antimicrobiano del Ishpingo.

Las investigaciones realizadas sobre la actividad antimicrobiana del aceite de Ishpingo (*Ocotea quixos*) y Romero (*Rosmarinus officinalis*); demuestran que es indiscutible la actividad antibacteriana de estas dos plantas, que esta actividad permanece cuando se combina con otros ingredientes es decir que incorporada en una formulación pueden considerarse potenciales conservantes ya que ejercen el mismo poder que los conservantes comerciales.

5. Conclusiones

En base a los resultados obtenidos se puede concluir que en una formulación tipo crema la incorporación de extracto hidroalcohólico desde el 10% combinado con 0,4% aceite esencial de Ishpingo (*Ocotea quixos*) presentan eficiencia conservante igual a la que presenta el conservante comercial conformado por mezclas de parabenos incorporado al 0,8%.

En una formulación de champú en cambio el aceite esencial de Romero (*Rosmarinus officinalis*) incorporado desde una concentración del 1% al 2,5%, genera una eficiencia conservante similar a la que presentan la mezcla de parabenos conservante comercial incorporada al 0,8%.

Es decir, en ambas formulaciones los ingredientes naturales pueden ser considerados como sistemas conservantes aceptables que catalogan al producto de riesgo microbiológico bajo o de riesgo microbiológico moderado, dependiendo de los días en los que logran la reducción logarítmica del inóculo bacteriano, existen combinaciones que demostraron mayor eficiencia que otras.

Se recomienda continuar con estudios en estas fórmulas, considerando que los dos ingredientes naturales tanto el Isphingo (*Ocotea quixos*) como el Romero (*Rosmarinus officinalis*), tienen referencia bibliográfica en cuanto a su capacidad antioxidante, propiedad que podría ser aprovechada también en el producto, estudios del efecto antioxidante sobre la piel que podría determinarse mediante un aumento de la elasticidad de la misma, la cuál podría ser evaluada con el uso de equipos de bioingeniería como el cutometer, y permitirían la capacidad antioxidante del ingrediente en la formulación, en el caso del champú, la capacidad antioxidante podría determinarse en el mantenimiento del color en la hebra capilar.

Continuar con investigaciones relacionadas con la eficiencia cosmética permitirá valorar aún más este tipo de ingredientes en las formulaciones, aunque el sólo hecho que puedan ser consideradas conservantes alternativos en la industria cosmética es una gran ventaja en proceso de investigación y desarrollo.

Un aumento de este tipo de investigaciones valorará el uso de ingredientes naturales, convirtiéndose a la vez una alternativa para el crecimiento del mercado de extractos naturales, que en algunos países puede ser más desarrollado, no así en Ecuador en el que el porcentaje de producción y comercialización de extractos y aceites esenciales es bajo, los aceites más comercializados son: eucalipto, albahaca, hierba luisa, limón, naranja, siendo Ecuador un país megadiverso es indispensable reforzar este tipo de investigaciones que determinen el potencial de ingredientes vegetales que podrían ser utilizados en la industria en general: cosmética de alimentos o incluso de medicamentos, tanto en mercados nacionales como internacionales.

Referencias

- Alcalde, M. (2008). Cosmética natural y ecológica. Offarm, 27(9), 96–103. Retrieved from <http://www.doymafarma.comel21/08/2012>.
- Atti-Santos, A. C., Rossato, M., Pauletti, G. F., Rota, L. D., Rech, J. C., Pansera, M. R., ... Moyna, P. (2005). Physico-chemical evaluation of *Rosmarinus officinalis*. Essential oils. Brazilian Archives of Biology and Technology, 48(6), 1035–1039. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132005000800020>
- CAN. (2017). RESOLUCIÓN N° 1905. Lima.

- Castaño, H., Ciro, G., Zapata, J., & Jiménez, S. (2010). Actividad bactericida del extracto etanólico y del aceite esencial de hojas de *Rosmarinus officinalis* L. sobre algunas bacterias de interés alimentario. *VITAE*, 17(2), 149–154. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169815396006>
- Chase, R., Jacobs, R., & Aquilano, N. (2009). *Administración de Operaciones. Producción y cadena de suministros* (12th ed.). McGrawHill.
- Ferraro, G. I., Martino, V., & Bandoni, A. L. (2015). *Fitocosmética: fitoingredientes y otros productos naturales*. Eudeba.
- Hammer, K. A., Carson, C. F., & Riley, T. V. (2005). Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. *Journal of Applied Microbiology*, 86(6), 985–990. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.1999.00780.x>
- ISO. (2012). ISO - 11930:2012 Cosmetics Microbiology Evaluation of the antimicrobial protection of a cosmetic product. Retrieved from <https://www.iso.org/standard/51037.html>
- Janssen, A. M., Scheffer, J. J., & Baerheim, A. T. (1987). Antimicrobial activity of essential oils. In *Planta Medica* (Vol. 53). <https://doi.org/10.1055/s-2006-962755>
- Krajewski, L., Malhotra, M., & Ritzman, L. (2008). *Administración de Operaciones* (8th ed.). México: PEARSON.
- Marmol, L. G., & Lozano, M. (2012). *Manual de Tecnología Farmacéutica* Lozano. Elsevier, 155–162.
- Microbiologics. (2014). *Quality Control Microorganism Products* (Reail Catalog). Retrieved from <https://www.microbiologics.com/Documents/Microbiologics-Retail-Catalog-Web-Version.pdf>
- Navarro, C., Núñez, M., & Cebrián, J. (2012). *El libro de la cosmética natural*. Natur.
- Noriega, P., & Dacarro, C. (2008). Aceite foliar de *Ocotea quixos* (Lam.) Kosterm.: actividad antimicrobiana y antifúngica. *La Granja*, 7(1), 3. <https://doi.org/10.17163/lgr.n7.2008.01>
- Stainer, R., Ingraham, J., Wheelis, M., & Painter, P. (1992). *Microbiología*. (2nd ed.). Retrieved from <https://books.google.com.pe/>
- Vega, M. (2015). Evaluación de la eficacia del aceite esencial de *Curcuma longa* L. como conservante en una formulación cosmética orgánica (Universidad Politécnica Salesiana). Retrieved from <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/8006>

Actinomicetos con capacidad de biotransformación de sales sódicas de ácidos biliares

María Maldonado¹, Jessica Beltrán², Michelle Calvachi³, Sebastián Espinel⁴

mmaldonado@ups.edu.ec, jessisi_16@hotmail.com,
ventas3@venegasrepresentaciones.com, sebasfrancis1988@gmail.com

¹ Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

² Grunenthal Ecuador, Quito, Ecuador

³ Gustavo Venegas Representaciones, Quito, Ecuador

⁴ Agroambiente, Quito, Ecuador

Pages: 150–158

Resumen: Los ácidos biliares son compuestos de 24 átomos de carbono, dihidroxilados o trihidroxilados, que derivan del colesterol. El Ácido Ursodesoxicólico, conocido también como Ácido Quenodesoxicólico 7 β -epímero, representa un pequeño porcentaje del total de ácidos biliares presentes de forma natural en la bilis humana, este es capaz de aumentar en los seres humanos la capacidad de solubilizar el colesterol en la bilis, transformándolo de bilis litógena a bilis no litógena (Roda, Roda, & Hofman, 1999). Una de las mayores problemáticas, que presenta la síntesis del ácido Ursodesoxicólico a nivel industrial, es los contaminantes que se generan. Por tal motivo, en la presente investigación, se evaluó la capacidad de microorganismos actinomicetos, capaces de biotransformar estructuras esteroideas como: Hyodesoxicólico, Desoxicólico y Cólico obtenidos a partir de la síntesis del ácido Ursodesoxicólico.

Palabras-clave: Actinomicetos; Biotransformación; Ácidos Biliares.

Actinomicets with biotransformation capacity of sodium sales of biliars acids

Abstract: Bile acids are composed of 24 carbon atoms dihydric or trihydric, cholesterol derived. Ursodeoxycholic Acid, also known as chenodeoxycholic acid 7 β -epimer, represents a small percentage of total bile acids naturally present in human bile, this is capable of increasing in humans the ability to solubilize cholesterol in bile transforming of lithogenic bile non-lithogenic bile (Roda, Roda, & Hofman, 1999). One major problem presented by the synthesis of ursodeoxycholic acid, is industrially generated contaminants. Deoxycholic hyodeoxycholic and obtained from the synthesis of ursodeoxycholic acid: Therefore in this investigation actinomycetes capacity microorganisms capable of steroid structures biotransformed as assessed. 21 strains of actinomycetes were isolated from soil samples of the City of Quito, Sevilla Don Bosco and Sucua. Biotransformation capacity isolates, salts

of bile acids, object of the present study, using chromatographic and spectroscopic techniques were evaluated. Found that the most common reaction is the oxidation of the hydroxyl group at position 3 of the steroid structure.

Keywords: Actinomycetes; Biotransformation; Bile Acids.

1. Introdução

Los ácidos que componen la bilis, forman sales que actúan como detergentes en el intestino delgado, disminuyendo la tensión superficial de las grasas, que provocando la emulsión de las mismas, se degradarán posteriormente por la acción de las lipasas. Estos son necesarios para la absorción de las vitaminas liposolubles. Tienen una acción catártica suave, mejoran el drenaje biliar y evitan la presencia de infecciones. Con gran frecuencia aparecen conjugados a los aminoácidos glicina y taurina. Así, el ácido cólico formará los ácidos taurocólico y glicocólico (Roda, Roda, & Hofman, 1999).

La estructura básica de los esteroides es el anillo ciclopentanperidrofenantrenico, por esta razón, la molécula se define anfipática, es decir que contienen regiones polares y apolares de la misma estructura molecular, y en virtud de esta propiedad físico-química, actúan como detergentes muy efectivos (Roda, Roda, & Hofman, 1999).

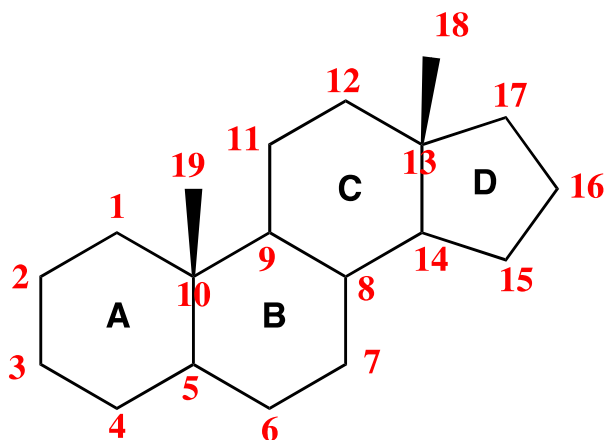


Figura 1 – Estructura del Ciclopentanperidrofenantrenico
Fuente: Roda, Roda y Hoffman (1999)

Al igual que el colesterol, las sales biliares se sintetizan en el hígado, y se depositan (acumulan y concentran) en la vesícula biliar, desde donde se segregan al intestino delgado, para el procesamiento de la fracción grasa de los alimentos. Los ácidos biliares son el constituyente fundamental de la bilis, solubilizando los lípidos de la dieta para que puedan ser absorbidos (Maldonado, 2013).

El Ácido Ursodesoxicólico es un ingrediente activo muy caro, ya que en años pasados se conocía como única fuente de obtención al del oso panda gigante (*Ailuropoda melanoleuca*), del que se extraía la bilis. Actualmente existen varios procesos de síntesis

para su obtención; y en cuanto al ácido cólico y quenodesoxicólico, que provienen de origen bovino, se obtienen a través de gran cantidad de reacciones químicas; las cuales se caracterizan por los altos costos y alto impacto ambiental (Maldonado, 2013).

El interés farmacéutico ha llevado a la necesidad de producir grandes cantidades de Ácido Ursodesoxicólico, que ha desencadenado en el desarrollo de metodologías sintéticas, utilizadas como productos de partida, conjugados de sales biliares o por taurinatos y glicinatos del ácido cólico y quenodesoxicólico de la especie bovina (Maldonado, 2013).

El Ácido Cólico es el principal constituyente de la bilis y, normalmente, es el substrato de partida principal para la síntesis de fármaco activo de interés.

Inicialmente, la bilis se somete a una hidrólisis alcalina para liberar ácidos biliares, que son fisiológicamente conjugados con taurina y glicina, esta reacción requiere el uso de grandes cantidades de Hidróxido de Sodio (NaOH), aproximadamente un 30% y, además, de altas temperaturas, llegando a 120 ° C durante tiempos extremadamente largos, aproximadamente de 8 a 12 horas (Maldonado, 2013).

Los ácidos biliares más comunes presentan como base la estructura del ácido colánico, con las posiciones 3 y 7 hidroxiladas por lo general, con orientación α , siendo el ácido ursodesoxicólico la gran excepción. Los ácidos biliares C₂₄ suelen presentar, con más o menos frecuencia, un grupo hidroxilo adicional, ya sea en el núcleo o en la cadena lateral. La hidroxilación en la cadena lateral se realiza en la posición C₂₃, generando los ácidos α -hidroxi biliares, o en la C₂₂, constituyendo los ácidos β -hidroxi biliares. Esta hidroxilación en el núcleo puede tener lugar en varios lugares: 1 α , 1 β , 2 β , 4 β , 5 β , 6 α , 6 β , 12 α , 12 β , 15 α , 16 α y 19 β .

Las hidroxilaciones representan uno de los tipos más extendidos de biotransformaciones, que se buscan en el campo de los esteroides. Son extremadamente importantes, porque permiten insertar un pequeño grupo hidroxilo reactivo en posiciones de la molécula, haciendo posible la preparación de compuestos intermedios importantes para la síntesis química o la transformación directamente del producto de partida en un bioactivo esteroides. En la literatura se ha reportado hidroxilaciones microbianas de posiciones que van desde la C-1 a C-21 y C-26 de la posición (Maldonado, 2013).

El 7 α -deshidroxilación de la bilis primaria ácidos CA y CDCA para producir los correspondientes ácidos biliares secundarios, ácido desoxicólico y ácido litocólico, se considera una de las biotransformaciones más importantes de esta clase de compuestos, siempre vista en perspectiva de una hidroxilación posterior, que conduce a epimerización de la posición C-7. También es interesante la deshidroxilación en C-12 de cólico al ácido quenodesoxicólico.

Algunos cultivos puros de bacterias se han aislado de la flora intestinal humana y se seleccionan por su capacidad para eliminar el 7-OH de la CA. Se ha informado de que sólo unas pocas cepas son capaces de deshidroxilar el CA en la posición C-7: 26. En particular, esta actividad se ha observado en *Bacteroides*, *Veillonella*, *Clostridium*, y en muchas cepas de *Streptococcus faecalis* y *Staphylococcus* pero no en *Bifidobacterium* (Maldonado, 2013).

Los procesos de epimerización, que dependen principalmente de las funciones hidroxilo, se han estudiado ampliamente, ya que permiten la producción de 3β -y, en particular, los ácidos biliares 7β -hidroxi (tal como ácido ursodesoxicólico). Las enzimas que participan en estas reacciones son, en el primer caso, 7α y 7β -hidroxiesteroide deshidrogenasa NAD (P)⁺, dependiente, mientras que en el segundo caso se trata de 7α -deshidroxilasa α -hidroxiesteroide junto con hidroxilasa 7β -hidroxiesteroide. Otras enzimas redox importantes son NADH-deshidrogenasa o NADPH-dependiente que pueden oxidar y reducir regioselectivamente la posición C-12 del ácido cólico.

Se ha informado en la literatura, que la epimerización del grupo hidroxilo, presente en la posición C-7 de los ácidos correspondientes de ácido cólico, quenodesoxicólico, ursodesoxicólico y ursocólico se produce en presencia de bajas concentraciones de oxígeno. Esta transformación es catalizada por *Xanthomonas maltophilia* CBS 827.97 (Maldonado, 2013).

2. Métodos

2.1. Fase de muestreo y análisis

2.1.1. Delimitación de lugares de estudio

Los lugares en donde se realizó nuestra investigación fueron: los camales de Macas y Sucúa (Morona Santiago), los que se dedican al faenamiento bovino, porcino y suino, y generan desechos del producto del faenamiento, contaminando los sitios aledaños: la ribera del río Machángara en el parque “Las Cuadras”, al sur de Quito (Pichincha), y la granja de la Misión Salesiana en Sevilla Don Bosco (Morona Santiago).

2.1.2. Materiales y método para el muestreo en los lugares de faenamiento

En el muestreo, se usó un hisopo con solución salina estéril, contenida en un tubo de ensayo, para tomar las muestras en las diferentes áreas de faenamiento, después se colocó de nuevo en el tubo de ensayo y cerró. Las muestras recolectadas fueron transportadas a Quito, en un refrigerador, a una temperatura de 4°C. Se tomó nota y se asignó un código a cada muestra.

2.2. Aislamiento de microorganismos

Se inició con microorganismos aislados de sitios cercanos de faenamiento, para lo cual se tomó muestras al azar de los camales de Macas y Sucúa (Morona Santiago), y en la ribera del río Machángara en el parque “Las Cuadras”, al sur de Quito (Pichincha). Se usó la siguiente metodología: con un hisopo se tomó muestras en superficies de las zonas en la cadena de faenamiento y en los desagües de productos de desecho, se transportó a los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana, posteriormente se sembró en medio Columbia Agar sólido para crecimiento de actinomicetos, añadiendo una tableta de Actinomiceto Mast Selectatab (Metronidazol y Acido nalidíxico en una concentración de 2,5 mg/L) por cada litro de agar. Estas tabletas fueron utilizadas para el aislamiento

selectivo de actinomicetos, al final se diferenció mediante morfología y color las unidades formadoras de colonia (UFC); los actinomicetos aparecen como colonias de 2 – 4 mm de diámetro, de bordes irregulares y de color blanquecino.

Se realizó un mantenimiento trimestral de las muestras, mediante una resiembra en nuevos medios de cultivo, con la ayuda de asas desechables, después se incubó aproximadamente de 28-30°C y, posteriormente, se guardó en una refrigeradora a 4°C.

2.3.Screening de la capacidad biotransformativa de los microorganismos mediante la técnica de cromatografía en capa fina

Para la evaluación de la biotransformación del ácido biliar hyodesoxicolato de sodio se utilizó la técnica de cromatografía en capa fina, se tomó una muestra preparativa en 20 ml de medio líquido ATT estéril, luego se añadió la bacteria aislada y se agitó a 150 rpm durante 48 horas a 28-30° C. Se añadió, a las 48 horas, el ácido biliar estándar, como una solución acuosa de su sal de sodio al 5% en concentración, para que sirva de fuente de carbono, y agitar durante 24 horas en las mismas condiciones citadas anteriormente. Luego, se tomó 300 µl de cada Erlenmeyer que contenía la bacteria, más el medio con el ácido biliar en un ephendorf en condiciones estériles, uno por cada bacteria, y se realizó la extracción de la fase orgánica para la cromatografía, para ello se acidificó con 100µl HCl y se extrajo la fase orgánica con 200 µl de acetato de etilo. Se tomó la fase orgánica y se sembró en las placas de cromatografía, se usó un estándar de la sal de ácido biliar para comparar el resultado de biotransformación. Se usó una fase móvil, conformada por acetato de etilo, hexano y ácido acético. Se pulverizó la placa cromatográfica con revelador de ácido fosfomolibdico ($H_3Mo_{12}O_{40}P$), se usó este tipo de revelador para hacer visibles los productos de reacción. Se realizó la misma metodología para las 48 horas después de haber añadido la sal de ácido biliar.

Para los microorganismos que tenían un potencial de biotransformación se hizo muestras preparativas que fueron utilizadas en la resonancia magnética nuclear protónica, para la identificación del compuesto resultante de su metabolismo.

3. Resultados

3.1. Ensayo de la eficacia de la conservación antimicrobiana (Challenge Test) en la formulación cosmética: Crema:

Se concluye que la zona seleccionada para el muestreo de los microorganismos Actinomycetos fue la indicada, porque presentaban las condiciones óptimas para el crecimiento y desarrollo de los microorganismos, que cuentan con la habilidad de digerir sales biliares (Espinel, 2016), (Beltrán, 2015) y (Calvachi, 2016).

A partir de los muestreos ejecutados en las provincias de Pichincha y Morona Santiago, se obtuvieron 53 cepas aisladas; 40 de ellas provenientes del camal de Sucúa y los 13 restantes del río Machángara.

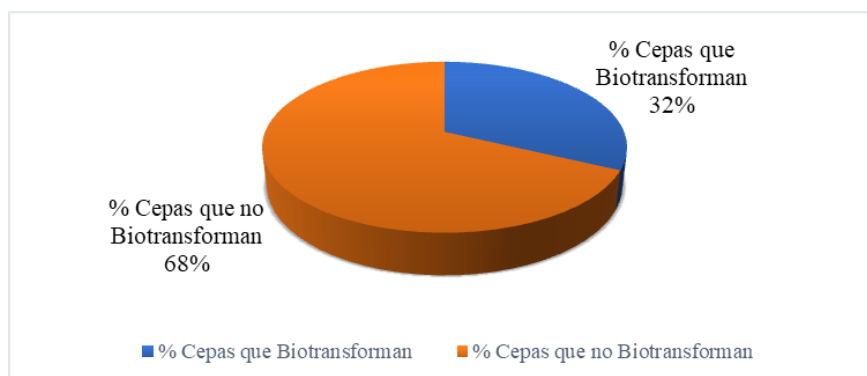


Figura 2 – Biotransformación del Ácido Hyodesoxicólico.
Fuente: Espinel (2016)

A partir de estos resultados se seleccionaron tres cepas, las cuales tuvieron la capacidad más alta de biotransformación (representada en porcentaje) para realizar el escalamiento de cultivo. Los resultados fueron los siguientes.

Código Actinomyces	Tiempo	Porcentaje de Biotransformación de la Sal del Ácido Hyodesoxicólico	Origen
<i>MMAE-17A</i>	72H	75%	Zona Sevilla-Sucúa
<i>MMAE-19A</i>	72H	75%	Zona Sevilla-Sucúa
<i>MMAE-21B</i>	72H	100%	Zona Sevilla-Sucúa

Tabla 1 – Porcentajes de biotransformación en el escalamiento del cultivo.
Fuente: Espinel (2016)

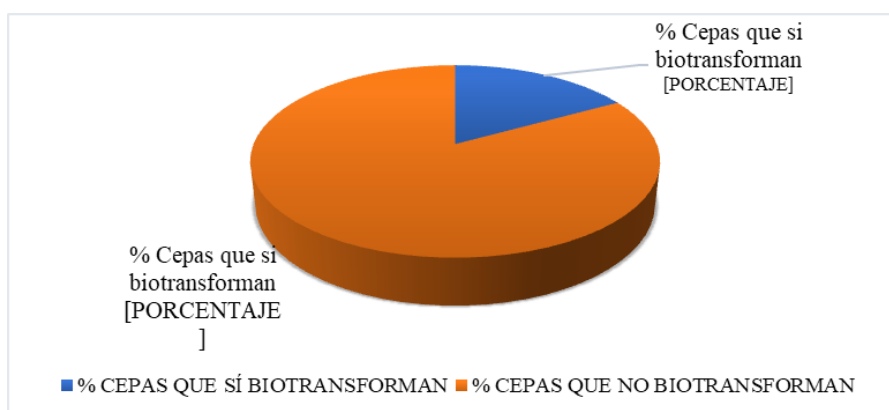


Figura 3 – Capacidad de Biotransformación de la sal sódica del ácido Desoxicólico por *Actinomyces*
Fuente: Beltrán (2015)

Se obtuvieron nueve cepas que actúan frente a la sal sódica del ácido desoxicólico, lo que representa el 17% del total.

A partir de estos resultados se seleccionaron tres cepas, las cuales tuvieron la capacidad más alta de biotransformación (representada en porcentaje) para realizar el cultivo preparativo. Los resultados fueron los siguientes:

Código Actinomyceto	Tiempo	% Biotransformación	Origen
MMAE 17A	72H	90%	Camal Sucúa
MMAE 19B	72H	100%	Camal Sucúa
MMAE 21A	72H	75%	Camal Sucúa

Tabla 2 – Porcentajes de Biotransformación en Cultivo Preparativo.
Fuente: Beltrán (2015)

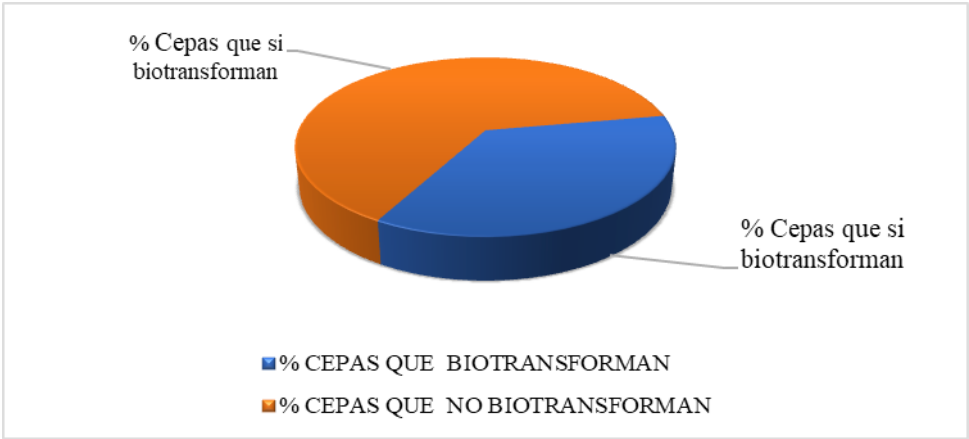


Figura 4 – Cepas que poseen la capacidad de biotransformar la sal sódica del ácido cólico, representada en porcentaje.
Fuente: Calvachi (2016)

Se observó que el 36% del total de las cepas, es decir, 19 de los 53 Actinomicetos aislados, poseen la capacidad de biotransformar la sal sódica del ácido cólico.

Nº	Código de Cepa	% Biotransformación	Origen
1	MMAE-20B	100	Camal Sucúa
2	MMAE-22C	100	
3	MMAE-1A	100	Ribera Río Machángara

Tabla 3 – Porcentaje de biotransformación de la sal sódica del ácido cólico, en la fase de escalamiento del cultivo.
Fuente: Calvachi (2016)

4. Discusión

Ácido Desoxicólico: De los camales de Sucúa y Macas, se aislaron 53 cepas, de las cuales se evaluó la capacidad de actuar sobre las sales de ácidos biliares. La técnica usada en esta evaluación fue la cromatografía en capa fina. Nueve de las cepas aisladas biotransformaron la sal sódica del ácido desoxicólico, tres cepas biotransformaron la sal en un porcentaje mayor o igual al 75% en un período de 72 horas.

Al analizar mediante resonancia magnética nuclear el metabolito producido por la cepa MMAE-17A se obtuvieron espectros claros, que permitieron determinar que éste corresponde al ácido 3-ceto-desoxicólico, producto de la oxidación en el C3.

Al caracterizar la cepa MMAE-17A se encontró que se trata de un microorganismo gran positivo, cuyo crecimiento óptimo en un medio líquido se da a una temperatura de 25°C a un pH de 5. Su caracterización permitió determinar que esta cepa corresponde al género *Streptomyces*, un grupo de actinomicetos de mucha importancia para la obtención de sustancias de interés biológico como antibióticos, antifúngicos y antitumorales.

Ácido Hyodesoxicólico: De las 53 cepas aisladas se encontraron 17 cepas con la capacidad de biotransformar el ácido hyodesoxicólico, lo que representa el 32% de los actinomicetos aislados. La cepa MMAE-17^a presenta la capacidad de biotransformación de este ácido biliar en un 75% en un período de 72h00.

La cepa MMAE-21B presentó un alto porcentaje de biotransformación de la sal sódica del ácido hyodesoxicólico, por tal motivo esta cepa fue seleccionada para realizar el análisis del metabolito resultante de su biotransformación.

El análisis, mediante la espectroscopia de resonancia magnética nuclear, indica que el metabolito producido por MMAE-21B, corresponde al ácido 3-ceto-hyodesoxicólico, producto de la oxidación del C3.

Ácido Cólico: Se determinó que, de 53 cepas aisladas de Actinomicetos, 19 de ellas, que representan el 35.8%, poseen la capacidad de biotransformar la sal sódica del ácido cólico.

De las 19 cepas aisladas de Actinomicetos que biotransforman la sal biliar, siete de ellas, que representan el 36,8%, son las de mayor interés, ya que demuestran un alto porcentaje (entre 75 y 100%), de biotransformación de la sal sódica del ácido cólico.

De las siete cepas mencionadas, tres de ellas: MMAE-17B, MMAE-29A, MMAE-29B, demostraron su capacidad de biotransformar completamente la sal sódica del ácido cólico, hasta la producción de dióxido de carbono (CO₂).

La cepa MMAE-22C fue seleccionada para el análisis de los metabolitos generados durante su biotransformación, debido a que, a diferencia de las demás cepas, se observó una mancha grande e intensa a nivel del estándar de referencia del ácido cólico oxidado en la posición del carbono 3 (C3).

5. Conclusiones

La biotransformación de sustancias xenobióticas, como los ácidos biliares, mediante microorganismos, tiene un gran impacto en cuanto a la disminución de la contaminación ambiental, ya que evitará su acumulación en zonas terrestres y acuáticas (Ziv, 2009).

A más de ser un gran aporte medioambiental, la biotransformación permite pasar de sustancias altamente tóxicas y perjudiciales, tanto para la naturaleza como para el hombre, a sustancias totalmente útiles en diferentes ámbitos industriales; por ejemplo, en el campo de la medicina la biotransformación de ácidos biliares en ácido urodesoxicólico es un gran aporte a la industria farmacéutica, con repercusión importante en la salud de las personas, sobre todo con enfermedades hepáticas (Bensky, Gamble, & Kaptchuck, 2011). Su uso también se extiende al sector agrícola (Moisés, Gómez, & Galantini, 2018), textil, de alimentos, entre otros. El gran atractivo de las biotransformaciones reside en que permite elevar el rendimiento de los productos y disminuir al mínimo los residuos (Miró, 2000).

Por lo tanto, el uso de microorganismos en biotransformación es un campo que tiene mucho por investigar, debido a su alcance y beneficios. Existen millones de microorganismos y millones de contaminantes que si los confrontamos entre sí se puede obtener resultados verdaderamente significativos en materia ambiental y económica, como se ha venido evidenciando hasta el momento.

Referencias

- Beltrán, J. (2015). Evaluación de la capacidad de biotransformación de la sal sódica del ácido desoxicólico por actinomicetos. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- Bensky, D., Gamble, A., & Kaptchuck, T. (2011). Traditional Medicine or Barbarism. *Asian Bear Bile Remedies*, 20(3), 30-40.
- Calvachi, M. (2016). Evaluación de la capacidad de biotransformar la sal sódica del ácido cólico por actinomicetos. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- Espinel, S. (2016). Evaluación de la capacidad de biotransformación de la sal sódica del ácido hyodesoxicólico por parte de actinomycetos aislados de muestras de suelos de las provincias de Pichincha y Morona Santiago. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Maldonado, M. (2013). Biotrasformazioni di Acidi Biliari. *Ph.D. Thesis*. Italy: Università degli Studi di Ferrara.
- Miró, P. (2000). Biotransformaciones. En *Centro de Investigación CEPSA* (págs. 79-90). Madrid: University of Southern California.
- Moisés, J., Gómez, M., & Galantini, J. (2018). Residuos agroindustriales biotransformados: un residuo hecho fertilizante, un problema convertido en solución. En *Siembra directa en el SO Bonaerense* (pág. 6). Argentina: Universidad Nacional del Sur.
- Roda, A., Roda, E., & Hofman, A. (1999). *Acidi biliari aggiornamento per il futuro*. Barcelona: Masson.
- Ziv, A. (2009). Biodegradación de compuestos orgánicos persistentes (COP): El caso de los Bifenilos Perclorados (PCB). *Acta Biol*, 14(1), 57-88.

Análisis temporal de mediciones de radiación no ionizante

Fernando Espinoza-Pinto¹, Álex Lema-Romero¹, José Jaime-Carriel¹,
Christopher Reyes-López¹

fespinozap@est.ups.edu.ec, alemar1@est.ups.edu.ec, jjaime@ups.edu.ec,
fespinozap@est.ups.edu.ec

¹ Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

Pages: 159–171

Resumen: Los servicios de telecomunicaciones brindan una mayor calidad de vida a la población moderna. El constante uso de radiofrecuencias permite al ser humano estar constantemente comunicado y permitirle desarrollar tareas en cualquier lugar sin estar atado a un lugar inamovible. Sin embargo, las radiofrecuencias contribuyen considerablemente al aumento de los niveles de campos electromagnéticos, causando en la población una preocupación por posibles efectos nocivos a la salud. En respuesta a esta incertidumbre, globalmente se ejecutan evaluaciones y estudios de campos electromagnéticos, mismo que han permitido establecer límites máximos permisibles y valores máximos de exposición de los humanos a tales campos. Este manuscrito presenta un estudio de exposición poblacional de los campos electromagnéticos captados en la banda de frecuencia de 850 MHz correspondientes a las tecnologías móviles 2G y 3G, y en intervalos de tiempo determinados, analizando y comparando las significativas diferencias y comportamientos que estos campos pueden tener a medida que transcurren los minutos. Los resultados indican que diferentes intervalos de tiempo no tienen variaciones significativas que demuestren la necesidad de realizar mediciones muy prolongadas, incluso las mediciones de 2 minutos podrían ser utilizadas sin afectar los resultados, reduciendo los 6 y 30 minutos recomendados por la CENELEC e IEEE, respectivamente. Adicionalmente, los valores muestran que se cumple con los límites de exposición electromagnética establecidos por ambas entidades.

Palabras-clave: Campos electromagnéticos; exposición poblacional; radiación no ionizante; tecnologías móviles; variabilidad temporal.

Temporal Analysis of Non-Ionizing Radiation Measurements

Abstract: Telecommunications services provide a better quality of life for modern population. The constant use of radio frequencies allows human beings to be constantly communicated and allow to perform tasks anywhere without being limited to an immovable place. However, radio frequencies contribute significantly to the increase of electromagnetic field levels, making people concerned for possible health effects. In response to this uncertainty, evaluations and studies

of electromagnetic fields are carried out globally, which have allowed to set basic restrictions and reference levels for human exposure to such fields. This manuscript presents a general public exposure study of electromagnetic fields in an 850 MHz frequency band, corresponding to 2G and 3G mobile technologies, and at certain time intervals, analyzing and comparing the significant differences and behaviors that these fields may have as time increases. The results indicate that different time intervals do not have significant variations, demonstrating there is no need for long-lasting measurements, even 2-minute measurements could be used without affecting the results, reducing the 6 and 30 minutes recommended by CENELEC and IEEE, respectively. Additionally, the values show that electromagnetic exposure limits set by both entities are met.

Keywords: Electromagnetic fields; general public exposure; non-ionizing radiation; mobile technologies; time variability.

1. Introducción

En los últimos años, la tecnología móvil de telecomunicaciones ha experimentado un vertiginoso incremento de fuentes radioeléctricas a nivel global, contribuyendo a niveles mayores de radiación no ionizante (RNI). Causando preocupación en la población, quienes se encuentran a la expectativa de posibles repercusiones a la salud. Entre las fuentes radioeléctricas más comunes se encuentran los sistemas de radio AM y FM, televisión, Wifi y telefonía celular, consideradas una parte indispensable en la vida del ser humano moderno. Por este motivo, se requiere de evaluaciones precisas de los niveles de campo electromagnético de radiofrecuencia (CEM-RF) (Koprivica, Petrić, Nešković, & Nešković, 2016).

Todos estos sistemas inalámbricos, aunque tienen aplicaciones diferentes utilizan los CEM-RF como principal medio de comunicación (Baltrenas, 2013). De estos, las tecnologías móviles han evolucionado constantemente debido a la necesidad de mejorar su servicio. En la actualidad se utilizan tecnologías de segunda generación o Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM), tercera generación o Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS) y cuarta generación o Evolución a Largo Plazo (LTE) (Fernández, 2012). De acuerdo con Bengt (1996), estas son fuentes de energía térmica, por lo que es necesario establecer límites de exposición como protección contra posibles daños en la salud debido a CEM-RF. La Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) se encarga de regular y controlar el uso del espectro electromagnético y los servicios de telecomunicaciones en el Ecuador. Además, la entidad cuenta con un reglamento (ARCOTEL, 2005) que especifica los límites de exposición de RNI establecidos por la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP) basado en estudios y pruebas de laboratorios realizados internacionalmente (International Commission on Non-ionizing Radiation Protection, 1998).

La comunidad científica ha llevado a cabo investigaciones sobre los efectos y riesgos de los CEM-RF hacia la salud humana, Aerts, Wiart, Martens y Joseph (2018), menciona la construcción de un modelo sustitutivo espaciotemporal que consiste en calcular y analizar gran cantidad de datos de medición a CEM-RF en tres diferentes bandas de

frecuencia (GSM900, GSM 1800 Y UMTS), con el objetivo de cuantificar los posibles errores y, además determinar la variación promedio de las señales durante un día, esto es posible por medio de una red de 36 exposímetros llamada red Smart Santander. En Sánchez-Montero et al (Sánchez-Montero, et al., 2017) presenta un estudio estadístico y espacial de medición a CEM-RF de las diferentes fuentes radioeléctricas (radio, TV, dispositivos móviles, WIFI, etc.) para la ciudad de Alcalá, España durante diez años. Logrando identificar variaciones locales y la determinación de un aumento global existente de CEM desde el 2006 al 2010 y un resultado casi invariable del 2010 al 2015.

Se identifica que en los estudios anteriores se analiza las diferentes bandas de frecuencia o las diversas fuentes radioeléctricas. Además, las mediciones de los estudios propuestos se pueden realizar en espacios interiores y exteriores. En el estudio de Mahfouz et al (2013), se analizan las variaciones temporales y la distribución del tráfico de CEM-RF y se comparan entre dos países, las mediciones se realizaron durante 7 días en 9 zonas urbanas y 7 rurales en Bélgica, y 3 zonas urbanas y 9 rurales en Francia. Se tomo un muestreo de tiempo alrededor de 2-4 min y 10 segundo por cada sitio respectivamente. Dando como resultado que el método de medición CENELEC sobreestima la exposición real mucho más en comparación con los otros métodos propuestos. Koprivica, Petrić, Nešković y Nešković (2016) analizan las mediciones de 72 ubicaciones de estaciones de base de micro células interiores (centros comerciales, grandes edificios, etc.) con una sonda de medición montada en un trípode a alturas de 1.1;1.5 y 1.7 metros sobre el piso, con un intervalo de muestreo de 1 minuto.

Las mediciones a CEM-RF pueden ser realizados por un determinado lapso, es decir a corto y largo plazo. Choi (2018) evaluó los niveles de exposición a CEM-RF de niños y adultos a través de sus actividades cotidianas tomando en consideración el efecto de sombreado del cuerpo por equipos de medición portátiles (ExpoM-RF), esto se realizó entre septiembre y diciembre del 2016. los participantes cargaron los equipos durante 48 horas con un registro de muestras de cada 4 segundos. Dando como resultado una alta exposición de CEM-RF de las estaciones de base en padres y niños. El estudio de Urbinello et al (2014) consiste en comparar los niveles de exposición a CEM-RF de cuatro ciudades europeas, con respecto a los organismos reguladores de CEM-RF situados en cada ciudad. Realizado durante el lapso de un año en 12 días diferentes. Por cada día, se tomó una muestra de 4 segundos aproximadamente en 15 a 30 minutos por área. Se deduce que todos los niveles de exposición fueron inferiores a los niveles de referencia propuestos por la ICNIRP.

Por lo tanto, existen diversos sistemas informáticos y de medición que sirven como ayuda para las pruebas de laboratorio y campo realizados para contribuir en la investigación científica. En Thielens et al (2017) se realizó un estudio en Australia por 37 días por medio de sus actividades diarias entre ellas caminar, andar en bicicleta, etc. Estos caminos fueron realizados de lunes -viernes en los diferentes horarios mañana, mediodía y tarde. El objetivo medir la intensidad de campo eléctrico en el cuerpo y la cabeza respectivamente. Utilizando tres equipos de medición dos ExpoM-RF y un PDE-Helmet. Además, esta investigación se llevó a cabo con el sistema informático MATLAB R2016a. Los resultados de medición son los primeros en presentar una validación de los dispositivos de medición comúnmente utilizados en el campo.

Guxens et al (2016) estudian la medición de la exposición a CEM-RF residencial por fuentes radioeléctricas, y la función cognitiva en niños de 5-6 años. Para la medición de la exposición residencial hacia las estaciones base se estimó utilizando el modelo de propagación de ondas de radio geoespaciales en 3D NISMap. Medidas fueron tomadas en todos los edificios de los países bajos (Ámsterdam).

En Ecuador, el estudio de Reyes-López y Vera-Rivera (2016) evalúa y compara tres diferentes sistemas de medición RNI que son: SRM3006; Field Nose (Add3D) y FieldFox. Se menciona que actualmente ARCOTEL hace uso del sistema Narda SRM 3006 y se considera que no es muy eficiente en el procesamiento de datos, la cual conlleva al consumo de mucho tiempo. Además, el sistema Field Nose presenta una adversidad en la movilidad ya que requiere mantenerlo conectado a una computadora portátil y el rotor debe colocarse en una superficie estable. Se concluye que el sistema FieldFox es la mejor opción porque es muy fácil de usar, compilar y procesar datos sin esfuerzo. También es ligero y portátil para que las mediciones se lleven a cabo sin problema alguno.

En la investigación se utiliza como referencia los intervalos de tiempo para los límites de exposición a RNI recomendados por los entes internacionales de regulación de las tecnologías de telecomunicación [(International Commission on Non-ionizing Radiation Protection, 1998); (European Committee for Electrotechnical Standardization, 2008)]. Sin embargo, se desconoce una metodología de medición actualizada y estandarizada que indique un procedimiento de medición que sirva como prevención de la radiación electromagnética (EMR, por sus siglas en inglés) hacia la población en general. El objetivo principal del tema es realizar un análisis de los diferentes intervalos de tiempos de medición de RNI de las diversas fuentes radioeléctricas. La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) considera las metodologías y tiempos de medición sugeridos por la ICNIRP (2000). Sin embargo, cada centro de investigación es libre de establecer otro tipo de metodologías y tiempos de medición. Por tal razón, el Comité Europeo de Normalización Electrotécnica (CENELEC), no establece un tiempo específico, pero recomienda realizar mediciones de largos periodos de 10 barridos por segundo (European Committee for Electrotechnical Standardization, 2008). Así también, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) de Estados Unidos de América establece una duración de las mediciones de exposición poblacional de 30 minutos (FCCOET, 1997).

El proyecto se llevará a cabo, mediante un analizador de espectros con antena isotrópica que analizará intervalos de tiempo determinados (1 – 30 min). Para esto se realizarán pruebas de laboratorio y se mantendrá en un punto fijo con un ancho de banda de 869.2 – 893.8 MHz (frecuencia de bajada). El equipo de medición indicará datos en tiempo real acerca de las fuentes radioeléctricas más cercanas al sitio de medición. Sin embargo, el estudio será realizado por el transcurso de dos semanas durante 2 horas. Para el muestreo se utilizará una recopilación de datos sobre los trazos obtenidos en cada tiempo de medición. Luego se procede con la comparación de los datos obtenidos a diario según los tiempos medidos.

2. Métodos

El proyecto se inicia con una extensa recopilación bibliográfica que hace uso de las bases de datos científicas digitales, así como ScienceDirect, web of science e IEEE,

para establecer el estado del arte. Estos manuscritos fueron filtrados en base al tipo de RF, mediciones de RF, entre otros. Para luego dar paso a la investigación exhaustiva sobre las metodologías y distintos valores de medición en intervalos de tiempo para las pruebas de CEM-RF emitidas por las diversas fuentes de tecnología de telecomunicación inalámbrica dentro del punto a medir. Los límites de exposición a RNI, ya son establecidos por diferentes entidades de regulación y control a nivel mundial. Además, se encargan de preservar la salud de los seres humanos en contra de estas emisiones.

2.1. Configuración del Analizador de Espectros

El analizador de espectros se define como un voltímetro de respuesta máxima, desde el punto de vista de la frecuencia, calibrado para mostrar el valor de la raíz media cuadrática (RMS, por sus siglas en inglés) de una onda de carácter sinusoidal. Basándose en la transformada de Fourier, las mediciones que se realizan en el dominio de tiempo permiten saber qué cantidad de energía está presente en cada frecuencia particular (Keysight Technologies, 2016). Para este proyecto se utilizó un analizador de espectros N9935A (9 GHz) FieldFox y la antena isotrópica portátil IsoLOG 3D Mobile 9060 (9 kHz – 6GHz), Figura 1.



Figura 1 – Analizador de espectros N9935A FieldFox y la antena isotrópica portátil IsoLOG 3D Mobile 9060.

La arquitectura del Analizador de espectros consiste en un mezclador y varios filtros de paso de banda como Ancho de banda de Video (VBW, por sus siglas en inglés) y el Ancho de banda de resolución (RBW, por sus siglas en inglés); que permite traducir las frecuencias, estas son las variables más importantes al momento de configurar el analizador de espectros previo a la medición (Keysight Technologies, 2016). Para los fines de medición del proyecto se establecen parámetros en el analizador de espectros como se muestra en la Tabla 1, para una correcta medición y excelente calidad de las señales de RNI.

Parámetros	Valores Establecidos
<i>RBW</i>	10 KHz
<i>VBW</i>	30 kHz
<i>DB (Atenuación)</i>	0 DB
<i>Ancho de Banda</i>	869-894 MHz

Tabla 1 – Parámetros establecidos para la medición de RNI.

2.2.Procedimiento de medición de RNI

Las mediciones en este proyecto se aplican para la exposición poblacional, es decir los niveles de emisión de RNI que se aplican al público en general es cuando las personas expuestas no pueden ejercer control o no están conscientes sobre dicha exposición (ARCOTEL, 2005), llevando a cabo que el punto de medición sea en un centro urbano, en este caso, el Bloque E del Campus Centenario de la Universidad Politécnica Salesiana - Sede Guayaquil (UPS), a causa de las diversas fuentes de RNI en el sector, tales como las antenas transceptoras de radio base (BST) que emplean diferentes tecnologías móviles, como se muestra en la Figura 3.



Figura 2 – Punto de medición de en presencia de antenas de estaciones transceptoras de radio base celulares.

Una de las variables imprescindibles de la cantidad de energía absorbida del espectro electromagnético se encuentra en la relación de la longitud de onda de radiación de radio-frecuencia y el tamaño del objeto que se encuentra expuesto a la misma (Comision

Nacional de Comunicaciones, 1992). La cobertura de servicios móviles en Ecuador es del 96% (en conjunto entre tecnologías 2G, 3G y 4G) (Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, 2016), por ello el rango de frecuencias para la posterior medición de CEM-RF se considera una pequeña parte de las bandas reservadas para servicios de sistemas IMT (por sus siglas en inglés: International Mobile Telecommunications), determinando un rango de 869 a 894 MHz (Frecuencias de bajada - Downlink), abarcando así las tecnologías GSM, GPRS, EDGE, WCDMA y LTE de las operadoras MOVISTAR y CLARO, como se muestra en la Tabla 2 (CONATEL, 2012).

Operadora	Tecnología	Frecuencia DL [MHz]
Claro	2G	869.2 - 879.8
Movistar	3G	880 - 889.8
Claro	3G	890 - 891.4
Movistar	2G	891.6 - 893.8

Tabla 2 – Bandas de frecuencia IMT Ecuador.

2.3. Contribución de diversas fuentes de distinta naturaleza EM

El punto de medición en la UPS se considera una zona central urbana; debido a esto el CEM resultante se obtiene mediante la suma vectorial de los múltiples efectos que provocan los objetos circundantes, tales como BTS, viviendas, colegios, hospitales, considerando que el punto de medición se ve afectado por diversos CEM de diferentes frecuencias provenientes de distintos servicios (Skvarca & Aguirre, 2006).

2.4. Intervalos de tiempo y estados de visualización de trazos

En el analizador de espectros se pueden visualizar diversos modos de rastreo de la señal captada por la antena isotrópica, para los cuales se les asignará un número de trazo y un color de identificación, Tabla 3. Para el proyecto se considerarán los siguientes estados:

- MaxHold - Permite visualizar los valores de respuesta máximos de la señal de entrada (Antena Isotrópica) en cada punto de datos en un barrido heterogéneo.
- Average - Permite visualizar cada punto de datos que se promedia en múltiples barridos.
- Clear/Write - Permite visualizar los datos en tiempo real del barrido.
- Blank - Permite visualizar la pantalla sin ningún tipo de trazo con modos de rastreo.

Color de la traza	Modo del detector	Tiempo de medición [Minutos]
Amarillo	Max Hold	1, 2, 3, 4, 5, 6, 10 y 30
Azul	Average	
Naranja	Clear/Write	

Tabla 3 – Trazos y modos de rastreo establecidos.

En la medición de los CEM-RF se consideraron los niveles de exposición poblacional de RNI en intervalos de tiempo de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10 y 30 minutos, obteniendo una recopilación de datos en tiempo real y con la presencia de los modos de rastreo mostrados en la Tabla 3 en una sola gráfica, como se muestra en la figura 4. De tal manera que se pueda apreciar el rango, modo de rastreo, ancho de banda para poder realizar un análisis temporal, que permita visualizar las diferencias, cambios o anomalías que presentan los valores en los diferentes tiempos; es decir si el campo eléctrico, magnético y la densidad de potencia varían según el tiempo establecido de exposición de RNI.

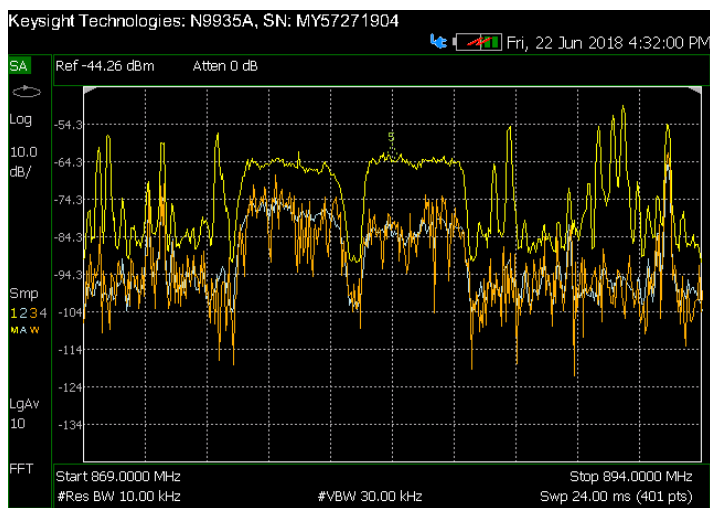


Figura 3 – Valores RNI medidos en un intervalo de tiempo de 5 minutos con los trazos de modos de rastreo correspondientes a MaxHold, Average y Clear/Write

3. Resultados

Los valores obtenidos en las mediciones de CEM en la UPS fueron medidos en un día laboral, por ende, se puede apreciar una intensa actividad de EMR y una mayor variabilidad de valores en los tiempos establecidos. Cabe resaltar que en cualquier punto de medición, respecto a la salud humana, los límites de exposición de la población en general establecidos por los entes reguladores de RNI deben ser la quinta parte de los valores límite aceptados para la exposición ocupacional (Skvarca & Aguirre, 2006); La ICNIRP define que todos los valores de la tasa de absorción específica deben ser promediados sobre cualquier período de 6 min (International Commission on Non-ionizing Radiation Protection, 1998). El tiempo de medición de exposición a RNI y la relación de los niveles de CEM-RF, como se muestra en la Tabla 4 presenta diferentes características y comportamientos en cada modo de rastreo, que se analizan de la siguiente manera:

Tiempo [Minutos]	Pages: -171	Average [dBm]	Clear/Write [dBm]	Diferencia MH-C/W [dBm]	Diferencia A-C/W [dBm]
1	-51.5	-69.5	-65.5	-14.0	-4.0
2	-58.5	-62.5	-60.5	-2.0	-2.0
3	-49.5	-65.5	-57.5	-8.0	-8.0
4	-49.9	-63.9	-59.9	-10.0	-4.0
5	-49.3	-64.3	-61.3	-14.0	-3.0
6	-51.5	-64.5	-65.5	-14.0	-1.0
10	-48.6	-66.6	-57.6	-6.0	-9.0
30	-48.1	-64.1	-61.1	-13.0	-3.0

Tabla 4 – Niveles de CEM-RF con tiempos, ancho de banda y modos de rastreo establecidos

Para medir la energía de los CEM-RF de la señal, se registrará con la unidad de DBm, es decir que el valor dB se compara a 1 mW.

Las mediciones captadas por el Analizador de espectros permiten visualizar e identificar los tipos de tecnología, ya sea GSM y UMTS con sus respectivas operadoras, Claro o Movistar, apreciando como cambia el comportamiento de la señal de energía y el ancho de banda debido al tipo de tecnología de telefonía móvil, como se muestra en la Figura 5.

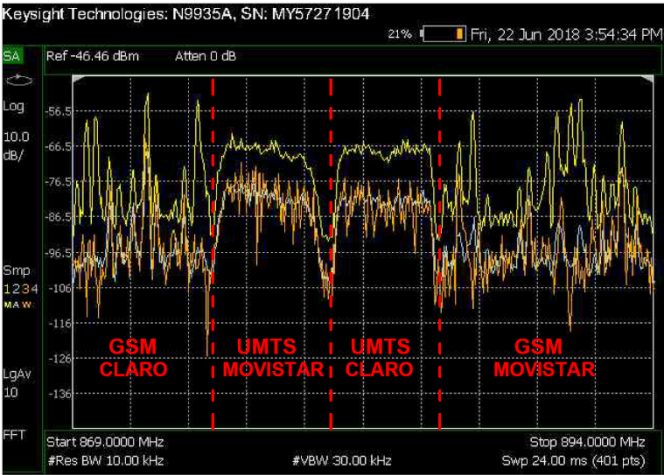


Figura 4 – Valores RNI medidos en un intervalo de tiempo de 2 minutos con los trazos de modos de rastreo correspondientes a MaxHold, Average y Clear/Write.

4. Discusión

Para la evaluación de los CEM-RF medidos en los intervalos de tiempo establecidos en el modo de rastreo MaxHold se denota una variación de la señal de energía de -3.4 dBm

desde 1 a 30 minutos como se muestra en la Figura 5-7. Además, en Figura 7 se aprecia que éste estado llega a su punto máximo de -48.1 dBm en 30 minutos deduciendo que en este tiempo existe un mayor tráfico de CEM-RF. En el modo de rastreo Average presenta una variabilidad promedio temporal de -3.4 dBm desde 1 a 30 minutos, expresando un promedio máximo de -63.9 dBm en 4 minutos.

Los datos monitoreados en el modo de rastreo Clear/Write, se adquieren en tiempo real mediante un barrido de datos, permitiendo visualizar una amplitud máxima de -57.5 dBm en el intervalo de tiempo de 2 a 3 minutos y una diferencia de -4.4 dBm desde 1 a 30 minutos. El análisis comparativo entre los estados MaxHold y Clear/Write determinan que existe un valor promedio de -14 dBm y el valor promedio comparativo entre los estados Average y Clear/Write es de -9 dBm.

Los estados MaxHold y Clear/Write entre el intervalo de tiempo de 1-6 minutos no se alteraron, conservando una diferencia de 0 dBm, de -3 con respecto al estado Average -0.95 en el nivel referencial, Figura 5.

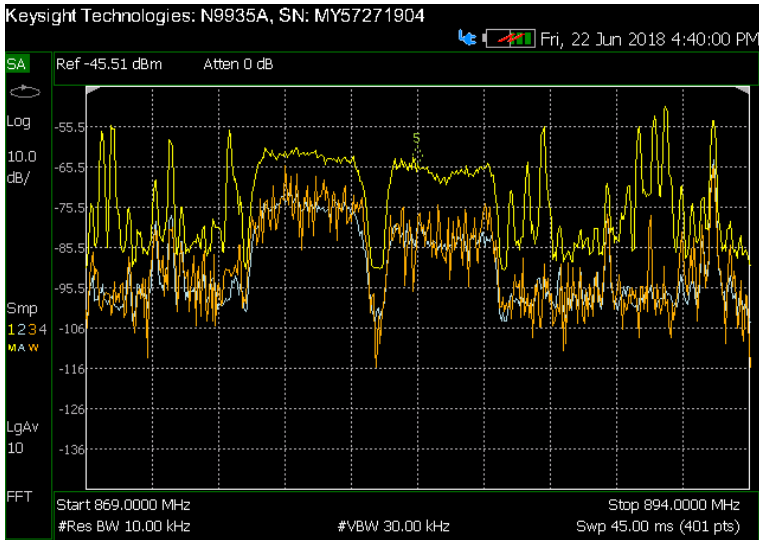


Figura 5 – Valores RNI medidos en un intervalo de tiempo de 6 minutos con los trazos de modos de rastreo correspondientes a MaxHold, Average y Clear/Write.

En el intervalo de tiempo de 30 minutos existe una variabilidad en el nivel de referencia de -2.45dBm y en los estados (MaxHold, Average y Clear/Write) de -3.4, -0.4 y -4.4 dBm respectivamente, Figura 6.

Finalmente, se puede apreciar en la tabla 4 que los valores promedio para las mediciones de 2 minutos presentan la menor variabilidad al ser comparados con el resto de las mediciones. Además, se puede observar que los valores registrados para mediciones de 2 minutos tienen similar comportamiento a aquellos de 6 y 30 minutos.

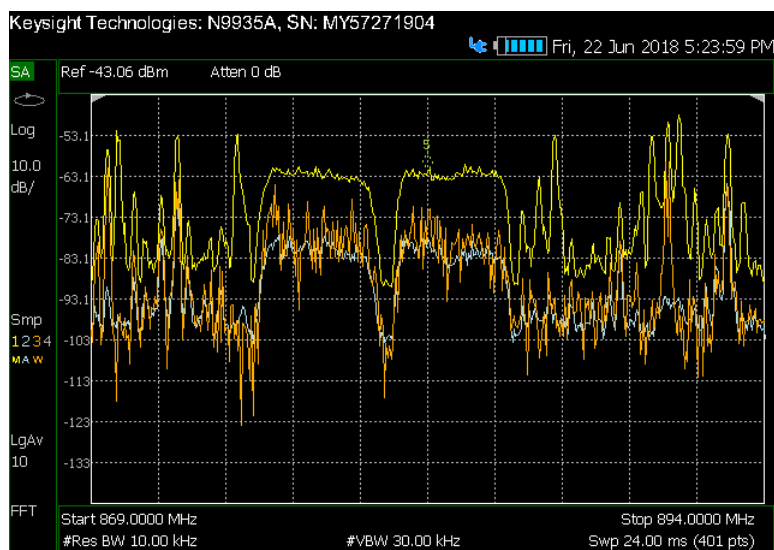


Figura 6 – Valores RNI medidos en un intervalo de tiempo de 30 minutos con los trazos de modos de rastreo correspondientes a MaxHold, Average y Clear/Write.

5. Conclusiones

Los datos recopilados y analizados revelan que las mediciones en un tiempo de exposición de 2 minutos, en los modos de rastreo MaxHold y Average, son muy similares al intervalo de tiempo de 6 minutos, lo que significaría que mediciones de 2 minutos bastarían para representar la exposición medida en intervalos de 6 minutos, como es indicado por la CENELEC. De igual manera ocurre entre tiempos de 2 y 30 minutos, lo que significaría que mediciones de 2 minutos bastarían para representar la exposición medida en intervalos de 30 minutos, como es indicado por la IEEE.

Se debe considerar que las condiciones espaciotemporales de medición son las favorables ya que está ubicado en un punto fijo expuesto a alto uso de teléfonos celulares, debido que se realiza en una institución de educación superior en horas pico, para así poder obtener mediciones de CEM-RF considerablemente significativas debido a la mayor cantidad de envío y recepción de señales.

Se determina que el valor máximo de exposición poblacional en el entorno del punto de medición es de -48.1 dBm evaluado en 30 minutos, representando un valor de energía muy por debajo de los límites internacionales, lo que no supone un riesgo hacia la salud del ser humano. Además, durante todas las mediciones, no existieron variaciones en los niveles de exposición de CEM-RF. Además, esta investigación podría ser replicada considerando otros escenarios que aporten conocimiento a la evaluación espaciotemporal de CEM-RF.

Referencias

- Aerts, S., Wiart, J., Martens, L., & Joseph, W. (2018). Assessment of long-term spatio-temporal radiofrequency electromagnetic field exposure. *Environmental Research*, 136-143.
- ARCOTEL. (2005). *Radiación no ionizante frecuencias del espectro electromagnético*. Quito: Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones.
- Baltrenas, P. (2013). Measurements and analysis of the electromagnetic fields of mobile communication antennas. *Measurement*, 46(10), 3942-3949.
- Bengt, K. (1996). Radiaciones no ionizantes. In J. Mager, *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo* (pp. 49-). Madrid: Ministerio de Trabajo y Seguridad Social.
- Choi, J. (2018). Science of the Total Environment Assessment of radiofrequency electromagnetic field exposure from personal measurements considering the body shadowing effect in Korean children and parents. *Science of The Total Environment*, 627, 1544-1551.
- Comision Nacional de Comunicaciones. (1992). *Prospeccion de radiacion electromagnetica ambiental no ionizante - Ministerio de Salud*. Quito: Ministerio de Salud.
- CONATEL. (2012). *Plan Nacional De Frecuencias*. Quito: Dirección General de Gestión del Espacio Radioeléctrico.
- European Committee for Electrotechnical Standardization. (2008). *En 50492 - Basic standard for the in-situ measurement of electromagnetic field strength related to human exposure in the vicinity of base stations*. Bruselas: European Committee for Electrotechnical Standardization.
- FCCOET. (1997). *Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields. Supplement C*. Washington D.C.: Federal Communications Commision Office of Engineering & Technology.
- Fernández, V. (2012). *Ejemplo de diseño e implementación de una estación base GSM / UMTS*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Guxens, M., Vermeulen, R. V., Beekhuizen, J., Vrijkotte, T., van Strien, R., Kromhout, H., & Huss, A. (2016). Outdoor and indoor sources of residential radiofrequency electromagnetic fields, personal cell phone and cordless phone use, and cognitive function in 5–6 years old children. *Environ Research*, 364-374.
- Internacional Telecomucation Union. (2000). *K.52 (02/2000)*. Ginebra: Internacional Telecomucation Union.
- International Commission on Non-ionizing Radiation Protection. (1998). *ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure To Time-Varying Guidelines for Limiting Exposure To Time-Varying*. *Health Physique*, 494-522.
- Keysight Technologies. (2016). *Keysight Technologies Spectrum Analysis Basics*. California: Keysight Technologies.

- Koprivica, M., Petrić, M., Nešković, N., & Nešković, A. (2016). Statistical analysis of electromagnetic radiation measurements in the vicinity of indoor microcell GSM/UMTS base stations in Serbia. *Bioelectromagnetics*, 37(1), 69-76.
- Mahfouz, Z., Verloock, L., Joseph, W., Tanghe, E., Gati, A., Wiart, J., . . . Martens, L. (2013). Comparison of temporal realistic telecommunication base station exposure with worst-case estimation in two countries. *Radiation Protection Dosimetry*, 157(3), 331-338.
- Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información. (2016). *Plan Nacional De Telecomunicaciones Y Tecnologías de Información del Ecuador 2016-2021*. Quito: Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información.
- Reyes-Lopez, C., & Vera-Rivera, A. (2016). Assessment of a non-ionizing radiation measuring system to be used by the Ecuadorian Agency for Regulation and Control of Telecommunications. *Elektrotehniski Vestnik/Electrotechnical Review*, 266-272.
- Sánchez-Montero, R., Alén-Cordero, C., López-Espí, P., Rigelsford, J., Aguilera-Benavente, F., & Alpuente-Hermosilla, J. (2017). Long term variations measurement of electromagnetic field exposures in Alcalá de Henares (Spain). *Science of The Total Environment*, 657-668.
- Skvarca, J., & Aguirre, A. (2006). Normas y estándares aplicables a los campos electromagnéticos de radiofrecuencias en América Latina: guía para los límites de exposición y los protocolos de medición. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 20(2-3), 205-212.
- Thielens, A., Van den Bossche, M., Brzozek, C., Bhatt, C., Abramson, M., Benke, G., . . . Joseph, W. (2017). Representativeness and repeatability of microenvironmental personal and head exposures to radio-frequency electromagnetic fields. *Environmental Research*, 81-96.
- Urbiniello, D., Joseph, W., Huss, A., Verloock, L., Beekhuizen, J., Vermeulen, R., . . . Rösli, M. (2014). Radio-frequency electromagnetic field (RF-EMF) exposure levels in different European outdoor urban environments in comparison with regulatory limits. *Environment international*, 49-54.

Estandarización de métricas de rendimiento para clasificadores Machine y Deep Learning

Ricardo Borja-Robalino¹, Antonio Monleón-Getino¹, José Rodellar²

ricardostalinborjar@gmail.com, amonleong@ub.edu, jose.rodellar@upc.edu

¹ University of Barcelona, 08007, Barcelona, España

² Universidad Politécnica de Cataluña, 08028 Barcelona, España

Pages: 172–184

Resumen: En el campo de la inteligencia artificial, la clasificación de fenómenos mediante algoritmos *Machine* y *Deep Learning* enfrentan problemas reales al utilizar datos con clases menos representadas que otras. Aun aplicando tratamientos de datos desbalanceados, se presentan pérdidas significativas en el rendimiento del clasificador. Impulsando, a un investigador a utilizar varios algoritmos para resolver un problema; con la principal incertidumbre de: ¿Qué métricas facilitan la comparación futura de su estudio y cuál es la mejor medida para seleccionar su clasificador? El objetivo de este estudio fue el diseño de una librería en el *software R* que permitió a investigadores estandarizar las métricas de rendimiento para comparaciones de resultados futuros. Además, de conocer la medida más discriminante; mediante el proceso automático de cotejos de varias métricas evaluadas sobre la reducción aleatoria de los datos. Se trabajó con las métricas más comunes como: *accuracy*, matriz de confusión, *recall*, curva ROC, AUC, *F1-score* e índice kappa. Se aplicó la librería a tres métodos de clasificación en células leucémicas de sangre periférica del Hospital Clínico (Barcelona). Como resultado se estandarizó y comprobó que la métrica más sensible y eficaz para evaluar un clasificador en el caso de clases desbalanceadas es el índice kappa.

Palabras-clave: Clasificadores; clases desbalanceadas; métricas de evaluación; rendimiento; células leucémicas.

Performance metric standardization for Machine and Deep Learning classifiers

Abstract: In the artificial intelligence field, the phenomena classification through Algorithms Machine and Deep Learning faces problems when using data with less represented classes than others. Even applying unbalanced data treatments, there is a significant loss in the classifier performance. It drives to a researcher using several algorithms to solve a problem with the main concern of: What are the metrics facilitating the future comparison of the study and what is the best measure to select the classifier? The objective of the present study was the library designing in the *R* software which allowed to researchers to standardized the metrics performance to compare to the future results and to know the most discriminating measures by

means of automatic process checking of several evaluated metrics on data reducing at random. It worked with the most common metrics such as: accuracy, confusion matrix, recall, ROC curve, AUC, F1-score, and Kappa index. The library was applied to three classification methods in peripheral blood leukemia cells at Clinic Hospital (Barcelona). As a result, it was standardized and proved that the most effective metric for evaluating a classifier in the case of unbalanced classes is the Kappa index.

Keywords: Classifiers; unbalanced classes; evaluation metrics; performance; leukemic cells.

1. Introduction

La disponibilidad de volúmenes masivos de datos ha impulsado el desarrollo de nuevos algoritmos de Machine y Deep Learning que buscan continuamente mejorar el rendimiento en problemas de clasificación multiclase con datos no balanceados. Para resolver un problema de clasificación es necesario seleccionar el algoritmo apropiado mediante una o varias métricas de evaluación del rendimiento en varios algoritmos candidatos (Lavesson & Davidsson, 2011).

Las métricas más frecuentes utilizadas indistintamente por investigadores en estudios de clasificación predictiva son: accuracy, recall (o sensibilidad), matriz de confusión, F1-score, curva ROC y AUC (Catal, 2012). Las dos primeras medidas son muy eficientes en el caso de trabajar con datos balanceados; sin embargo, pierden confiabilidad al trabajar con datos desequilibrados (Perotte, Pivovrov, Natarajan, Weiskopf, Wood, & Elhdad, 2014). La existencia de numerosas métricas de rendimiento y una falta de estandarización al momento de escogerlas, en muchas ocasiones dificulta la comparación de resultados en investigaciones que no se han evaluado en condiciones similares (Catal, 2012). Por ejemplo, en el área de ingeniería de software en el caso de predicción de fallas Koru y Liu (Koru & Liu, 2005), utilizan como medida óptima para conocer el rendimiento de su clasificador a la accuracy, recall y F1-score. Mientras que en la misma línea de investigación Arisholm y otros (Arisholm, Briand, & Johannessen, 2010), evalúan el desempeño de sus modelos mediante las dos primeras métricas, adicionando a ello la matriz de confusión, la curva ROC y AUC. Como se puede observar las métricas que permiten tener una visión más clara del rendimiento del algoritmo en el caso desbalanceado son totalmente distintas.

Otra métrica de evaluación muy infravalorada es el índice Kappa que ajusta el efecto del azar a la precisión observada, permitiendo conocer cuál es el mejor o peor clasificador basado en la cantidad de acuerdo entre ellos al momento de clasificar una etiqueta. Además, presenta excelentes cualidades al trabajar con datos desbalanceados (Bruckner & Yoder, 2006).

El software R es un lenguaje potente de acceso gratuito y código abierto que permite trabajar con grandes cantidades de datos. Es muy utilizado en el área estadística en los diferentes niveles de investigación: descriptivo, relacional, explicativo, predictivo y aplicativo (Ablan, Márquez, Rivas, Molina, & Querales, 2011).

En base a los antecedentes presentados, el estudio consideró los siguientes objetivos:

1. Desarrollar una librería en el software R, a través del entorno RStudio, que permita al investigador estandarizar la evaluación de clasificadores mediante

la unificación de métricas como: accuracy, recall, F1-score, matriz de confusión, índice kappa, curva ROC y AUC. Además de la comparación automática de las medidas: accuracy, F1-score e índice kappa; bajo cinco escenarios (tamaño muestral al 100%, 75%, 50%, 25% y 10%). Con resultados consolidados y almacenados en el entorno, en formato PDF y presentados en la consola; para permitir comparaciones futuras.

2. Ejecutar la librería diseñada con tres algoritmos de clasificación: Análisis Lineal Discriminante (LDA), Support Vector Machine (SVM) y Random Forest (RF) aplicados a la clasificación de células leucémicas en sangre periférica de pacientes del Hospital Clínico (Barcelona).

2. Métodos

Para el desarrollo de la librería se consideró el conocimiento claro y formulación matemática de las métricas de evaluación, el diagrama de procesos de diseño de la librería y finalmente la descripción de la base de datos utilizada para la aplicación, incluyendo la conceptualización de los algoritmos Machine Learning comparados.

2.1. Métricas de rendimiento

Las métricas de rendimiento juegan un papel muy importante en problemas de clasificación donde se busca discriminar diferentes algoritmos *Machine* y *Deep Learning*, con la finalidad de facilitar la elección del mejor algoritmo dependiendo del objetivo de investigación (Danjuma, 2015). Las métricas implementadas en la librería diseñada fueron: tabla de confusión, *accuracy*, *recall*, *F1-score*, curva ROC, AUC e índice kappa.

La primera métrica se trata de una tabla de frecuencias donde las filas pertenecen a la clase predicha y las columnas a la clase real, representando el número de predicciones de cada clase mutuamente excluyentes (ver Tabla 1).

Clasificador 2	Clasificador 1		
	Clase 1: Positivo	Clase 2: Negativo	TOTAL
	Clase 1: Positivo	f ₁₁ = Verdadero positivo f ₁₀ = Falso negativo	F _{1T}
	Clase 2: Negativo	f ₀₁ = Falso positivo f ₀₀ = Verdadero negativo	F _{0T}
	f _{1T}	f _{0T}	N

Tabla 1 – Matriz de confusión para variables dicotómicas.

La Tabla 1 ejemplifica el caso de una clasificación binaria, donde los verdaderos positivo y negativo (f_{11} y f_{00}) corresponden al número de instancias correctamente clasificadas en cada clase, mientras que los totales F y f representa las frecuencias marginales correspondientes a: $F_{1T} - F_{0T}$ es igual a la cantidad total de elementos en cada clase, $f_{1T} - f_{0T}$ es el total de instancias clasificadas por el algoritmo como positivo y negativo en el caso binario y finalmente N representa el tamaño muestral utilizado para la clasificación (Hossin & Sulaiman, A Review on Evaluation Metrics for Data Classification Evaluations, 2015).

La *accuracy* es la métrica más utilizada por investigadores en el caso dicotómico y multiclase, debido a su facilidad de cálculo y comprensión para evaluar la efectividad general del algoritmo [(Gu, Zhu, & Cai, 2009); (Hossin, Sulaiman, Mustapha, Mustapha, & Rahmat, 2011); (Japkowicz, 2007)]. Sin embargo una de sus principales desventajas es que produce menos valores discriminatorios y distintivos para el caso multiclase desbalanceado [(Hossin, Sulaiman, Mustapha, Mustapha, & Rahmat, 2011); (Japkowicz, 2007)].

Recall o sensibilidad es una medida que permite conocer la proporción de casos positivos que fueron correctamente clasificados. En un modelo perfecto el *recall* es igual a 1 para cada clase. Desde el punto de vista analítico un investigador busca aumentar el *recall* sin afectar el valor de la *accuracy* (Drzewiecki, 2017).

La medida *F1-score* fusiona las métricas *accuracy* con *recall*, presentando diferencias en el rendimiento de un clasificador que no son revelados únicamente con la *accuracy*. Es directamente proporcional al aumento de las dos medidas, por lo tanto valores altos de *F1-score* demuestra que el algoritmo de clasificación predice de mejor manera la clase positiva (Bekkar, Djemaa, & T.Alitouche, 2013).

Otra métrica utilizada a menudo para la evaluación de rendimiento en clasificadores dicotómicos es la curva ROC, que se trata de una gráfica bidimensional de la sensibilidad versus (1 – especificidad) por cada clase. La medida de comparación en esta grafica es la AUC que corresponde al área bajo la curva ROC y sus valores se encuentran entre 0 y 1, considerando que en el caso totalmente aleatorio se tiene una AUC igual a 0,5 [(Fawcett, 2006); (Hand & Till, 2001)].

El índice kappa es una métrica infravalorada y utilizada para el análisis de concordancia entre un gold standard y un clasificador o a su vez entre dos observadores humanos. Cohen kappa propuso esta métrica con la finalidad de introducir el efecto del azar obteniendo la diferencia normalizada entre la tasa de *accuracy* observado y la tasa de *accuracy* que se esperaría puramente por casualidad [(Bruckner & Yoder, 2006); (Borja, 2019); (Brennan & Prediger, 1981)].

La Tabla 2 describe las fórmulas utilizadas para el cálculo de cada métrica según los diferentes enfoques presentados [(Danjuma, 2015); (Borja, 2019), (Cardenas & Baras, 2006)] todas ellas en un intervalo [0,1] y basados en la nomenclatura de la Tabla 1. Es importante recalcar que en el área del *Machine* y *Deep Learning*, muchos investigadores utilizan las mismas métricas de rendimiento.

Métrica	Fórmula	Descripción
Accuracy	$\frac{f_{11} + f_{00}}{N}$	Proporción de clasificaciones predichas de manera correcta sobre el total de instancias.
<i>Recall</i> (sensibilidad)	$\frac{f_{11}}{f_{11} + f_{01}}$	Proporción de casos positivos bien clasificados.

Métrica	Fórmula	Descripción
Especificidad	$\frac{f_{00}}{f_{00} + f_{10}}$	Proporción de casos negativos bien clasificados.
1-especificidad	$\frac{f_{10}}{f_{10} + f_{00}}$	Proporción de casos positivos mal clasificados (error Tipo I).
$F1 - score$	$2 * \frac{accuracy * recall}{accuracy + recall}$	Media armónica de las métricas accuracy y recall.
Índice kappa	$k = \frac{Po - Pe}{1 - Pe}$	Po = proporción de accuracy observado. Por lo tanto Po = accuracy.
Pe	$\frac{F_{1T} * f_{1T} + F_{0T} * f_{0T}}{N^2}$	Proporción de accuracy esperado por puro azar.
AUC	$\frac{recall - (1 - especificidad) + 1}{2}$	Probabilidad de clasificar correctamente una clase positiva al azar más que una negativa escogida al azar.

Tabla 2 – Métricas para la evaluación del rendimiento en clasificadores *Machine* y *Deep Learning*.

2.2. Diseño de la librería

Se diseñó una librería en el *software R*, en el entorno RStudio, denominada “**EvaluaClas**” de acceso gratuito y descargable de la dirección <https://github.com/RicardoBorja>. Esta evalúa algoritmos de clasificación mediante las métricas mencionadas en el apartado anterior, utilizando las Ec. (1) – Ec. (8). Además, realiza la comparación automática de las medidas: *accuracy*, *F1 score* e índice kappa; bajo cinco escenarios creados de forma aleatoria (tamaño muestral al 100%, 75%, 50%, 25% y 10%). Los resultados consolidados y las gráficas pertinentes se presentan en formato PDF en la ubicación de trabajo, en la consola y entorno; permitiendo así al investigador darle múltiples usos. El procedimiento metodológico utilizado para el diseño se presenta en la Figura 1.

La librería **EvaluaClas** () se encuentra accesible en formato “.tar.gz”, una vez descargada únicamente debe instalarse en la opción *Packages – Install*, escogiendo “*Package Archive File (.zip; .tar.gz)*” (ver Figura 2).

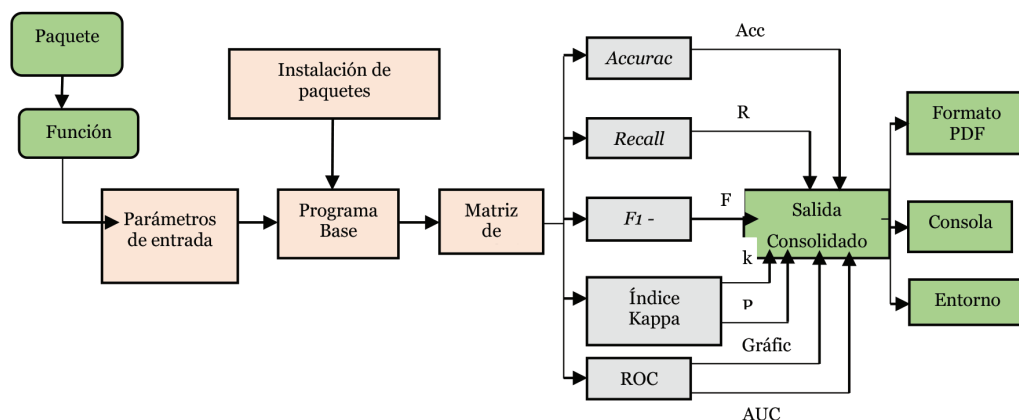


Figura 1 – Procedimiento metodológico del diseño.

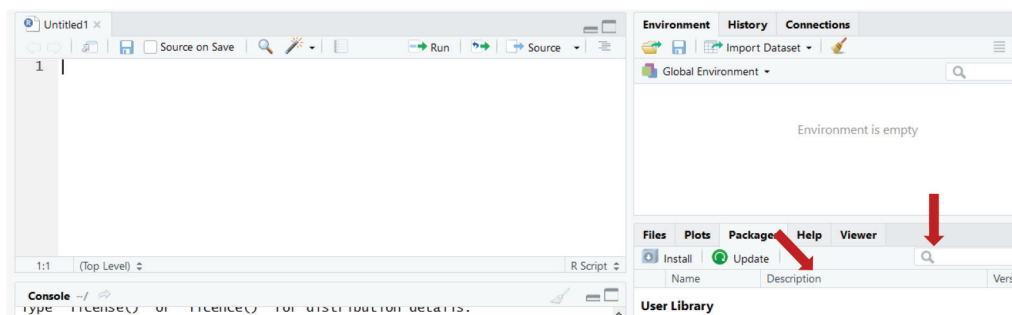


Figura 2 – Instalación de la librería EvaluaClas en el entorno RStudio.

2.3. Clasificación de células leucémicas en sangre periférica

Se aplicó la librería **EvaluaClas ()** a los resultados de clasificación de células leucémicas en sangre periférica proporcionados por el grupo Cellsilab, conformado por investigadores del laboratorio CORE del Centro de Diagnóstico Biomédico del Hospital Clínica de Barcelona (España), y del Departamento de Matemáticas de la Universidad Politécnica de Cataluña. Las clasificaciones se realizaron en lenguaje Python utilizando una base de datos de 17460 imágenes de células con 2846 características morfológicas pertenecientes a tres tipos de leucemias: leucemias agudas linfoides (LAL), leucemias agudas mieloides (LAM), LAM promielocíticas y a una clase extra perteneciente a células de pacientes con infecciones víricas o linfocitos reactivos (CLR) (ver Tabla 3).

Identidad	Frecuencia por clase
Clase 1 = CLR	325
Clase 2 = LAL	489
Clase 3 = LAM_MIELOIDE	2999
Clase 4 = LAM_PROMIELOCÍTICA	552

Tabla 3 – Frecuencia de clasificación de células leucémicas - Hospital Clínic.

A esta base de datos se aplicaron tres algoritmos Machine Learning (Análisis Lineal Discriminante, *Support Vector Machine* y *Random Forest*), se trabajó con una proporción de training del 75% y un 25% para test. LDA es un método de clasificación lineal que proyecta los datos en un espacio vectorial de menor dimensión, utiliza el teorema de Bayes para estimar la probabilidad de que una observación dado un determinado valor de predictores pertenezca a una clase específica, asignando la observación a la clase con la más alta probabilidad predicha (Ye, Janardan, & Li, 2005). Mientras que RF proviene de la generación de varios árboles condicionales no correlacionados pertenecientes a un algoritmo de partición recursiva a partir de vectores aleatorios muestreados en forma independiente. Su respuesta se obtiene mediante el promedio de las probabilidades de cada árbol (Breiman, 2001). Finalmente, SVM es un algoritmo de partición no probabilística, que permite encontrar el hiperplano que mejor separe las clases; con la ayuda de funciones kernel (Lui & Wang, 2002). Para la comparación de algoritmos mediante la librería se trabajó con el siguiente orden en la conformación de pares: 1 = *gold standard*, 2= LDA, 3= SVM y 4= RF.

3. Resultados

3.1. Estandarización de la evaluación del rendimiento en clasificadores mediante la librería EvaluaClas

Se diseñó la librería **EvaluaClas** “Comparator evaluator of *Machine Learning* and *Deep Learning classifiers*”, ejecutable con una sola función “EvaluaClas (data= FALSE)” que cumple dos procesos específicos (estandarización y comparación de métricas utilizando reducción muestral). Posee un solo parámetro interno que corresponde al nombre de la base de datos correspondiente a los resultados de los diferentes clasificadores. La base de datos puede estar en formato numérico o de tipo carácter.

En la Figura 3 se puede evidenciar dentro del diseño, la creación de un documento de ayuda al usuario para facilitar su manejo, el cual es visible mediante el código **?EvaluaClas**. Además, muestra la publicación de resultados en la consola, así como su almacenamiento en el entorno en formato lista que incluye: consolidado de métricas, comparación de medidas en cinco escenarios y las tablas de confusión. Sin olvidar que se presentan todos los resultados, incluyendo las gráficas en formato PDF almacenados automáticamente en la dirección de trabajo. De igual manera, la librería permite obtener resultados de todas las conjugaciones posibles dependiendo del número de clasificadores analizados, facilitando al investigador comparar algoritmos ya sea en base a un *gold standard* o entre ellos.

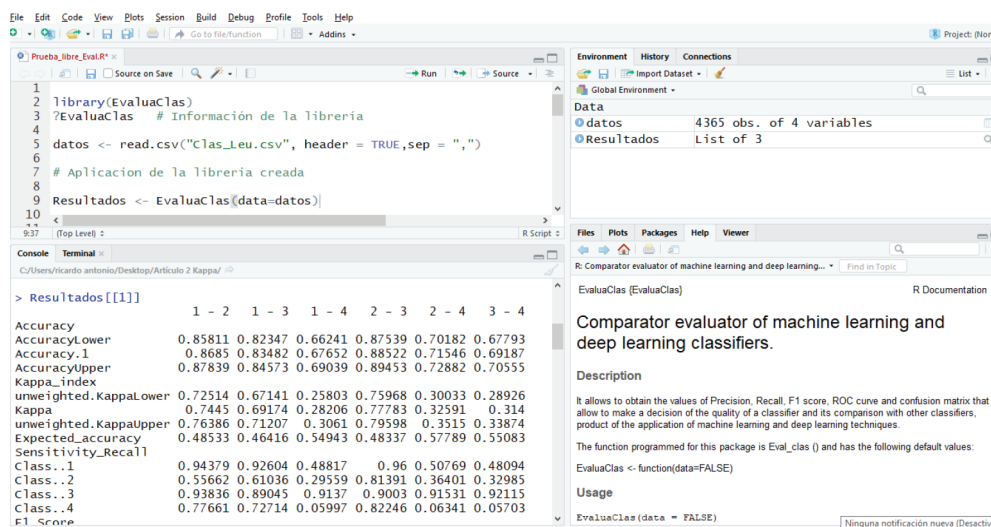


Figura 3 – Resultados en consola y entorno R de la aplicación de EvaluaClas.

3.2. Aplicación de la librería EvaluaClas en clasificaciones de células leucémicas de sangre periférica

Los tres algoritmos de clasificación (LDA, SVM y RF) se evaluaron en base a un *gold standard* obteniendo las siguientes matrices de confusión (ver Tabla 4).

	LDA					SVM					RF			
	Reference					Reference					Reference			
Predic	1	2	3	4	Predic	1	2	3	4	Predic	1	2	3	4
1	319	2	4	0	1	313	5	1	6	1	182	45	61	37
2	4	290	147	48	2	4	318	166	1	2	35	154	157	143
3	14	220	2664	101	3	15	179	2572	233	3	101	279	2456	163
4	1	9	24	518	4	7	19	149	377	4	55	43	14	440

Tabla 4 – Matrices de confusión - *Gold standard* versus LDA, SVM Y RF.

En la Tabla 4 se evidencia en la diagonal del algoritmo LDA las frecuencias de aciertos en cada clase más altas que los otros métodos. Además, en relación al total de elementos en cada clase (F_{IT} , $i=1..k$, k = número de clases) tiene una tasa de error de: clase 1 = 1,85%, clase 2 = 40,69%, clase 3 = 11,17% y clase 4 = 6,16%. Lo que permite establecer al Análisis Lineal Discriminante como el mejor algoritmo. La diferencia significativa en la tasa de la clase 2 y 3 confirma el desequilibrio de los datos. El algoritmo SVM únicamente presenta una tasa de error menor al de LDA en la clase 2 de 34,96%. Sin embargo, para tomar una decisión final es importante analizar todas las métricas exhibidas en el informe consolidado y expuesto en la Figura 4.

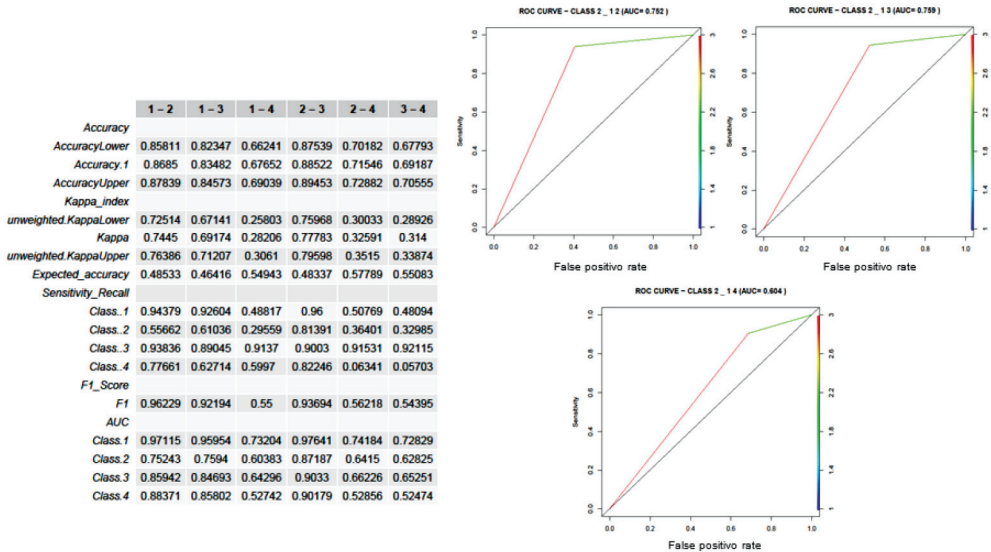


Figura 4 – Resultados consolidados de métricas y curvas ROC (clase 2) en clasificadores de células leucémicas.

La Figura 4 con los resultados consolidados y las gráficas ROC de la clase más crítica (clase 2 = LAL), evidencian que el algoritmo LDA presenta: *accuracy* = 0,86, índice kappa = 0,74 con un *Pe* = 0,48 y *F1* = 0,96. Por lo tanto, analizando y comparando todas estas métricas en relación a los resultados de los otros algoritmos se puede definir al LDA como mejor clasificador. Las medidas *AUC* y *recall* son comparables entre ellas, así como la *accuracy*, índice kappa y *F1-score*. No obstante, la principal preocupación es ¿A cuál de las tres métricas debemos confiar la decisión de elección?, considerando que para un análisis similar se puede tener una base de datos con un mayor desequilibrio o a su vez un tamaño muestral más pequeño. La Figura 5 representa el análisis grafico del segundo proceso de la librería correspondiente al análisis comparativo de estas tres métricas bajo cinco escenarios generados mediante la reducción de tamaño muestral; que permite conocer la medida más discriminatoria en el caso desbalanceado. Además, para este proceso se generó una tabla de resultados en cada instancia en el entorno y formato PDF.

La Figura 5 presenta el análisis de las tres métricas de rendimiento: índice kappa, *F1-score* y *accuracy*; bajo cinco escenarios obtenidos mediante la reducción aleatoria del tamaño muestral al 10%, 25%, 50%, 75% y 100%; generando valores de rendimiento en datos con clases desbalanceadas en niveles más críticos al real. Se aplicó en los tres algoritmos utilizados para clasificar las células leucémicas (LDA = 1-2, SVM = 1-3 y RF = 1-4).

En la Figura 5, se evidencia una variación máxima de rendimiento del 7% en la métrica índice kappa para los algoritmos LDA, SVM y RF; analizados en los cinco escenarios. Mientras que la segunda medida más discriminatoria es *F1-score* con un cambio inferior

al 5%. Finalmente, la *accuracy* muestra variaciones que no sobrepasan el 1,5%. Esto permite reconocer al índice kappa como la mejor métrica discriminatoria para evaluar clases desequilibradas, debido a su sensibilidad en cada escenario presentado en los tres algoritmos.

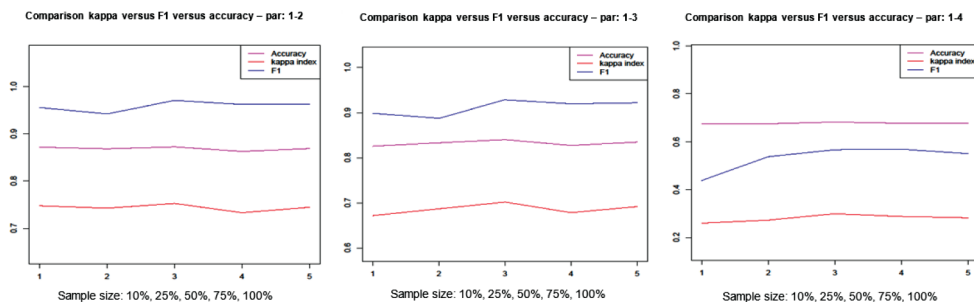


Figura 5 – Gráfica comparativa de las métricas *accuracy*, índice kappa y *F1-score* bajo cinco escenarios.

4. Discussion

La librería para R: **EvaluaClas**, en su primer proceso permitió solucionar la problemática planteada por Catagay Catal (Catal, 2012), relacionada a la falta de estandarización de métricas que impide la comparación del rendimiento de algoritmos de clasificación, para estudios con las mismas líneas de investigación. Por lo tanto, se desarrolló un paquete en el *software R*, flexible y con múltiples usos de sus resultados trabajando con métricas como: matriz de confusión, *accuracy*, *recall*, *F1-score*, índice kappa, curva ROC y AUC.

El segundo proceso de la librería permitió confirmar los resultados presentados por Brukner y Yoder [6], así como de Brennan y Prediger (Brennan & Prediger, 1981) que afirman que el índice kappa es la mejor métrica de evaluación de rendimiento en algoritmos de clasificación para el caso multiclase desbalanceado, gracias a su cualidad de introducir el efecto del azar al cálculo. Esto impulsó a implementar una métrica más dentro del informe consolidado que es la precisión esperada por azar (Pe), considerando que a menor valor mejor es el clasificador. Por ello, a la luz de los resultados se extenderá el estudio de esta métrica fusionada a la inferencia bayesiana. Con la finalidad de introducir información a prior de las clases, de tal manera que permita mejorar su robustez dependiendo de la realidad en la que se presenta el fenómeno a ser analizado.

Las gráficas comparativas de las tres métricas (Figura 5) muestra a la medida *accuracy* invariante a clases desequilibradas, ratificando el estudio de Adler Perotte [3]; que señala la efectividad de la *accuracy* únicamente en el caso balanceado.

La aplicación de la librería a células leucémicas demostró que un algoritmo sencillo podría presentar excelentes resultados, tal es el caso del Análisis Lineal Discriminante que presenta un valor kappa de 0,74; el cual al ser analizado mediante la tabla más común de Landis y Koch (Landis & Koch, 1977), concluye que se tiene un acuerdo considerable entre el *gold standard* y el algoritmo. Sin embargo a través del valor de la

precisión esperada por azar obtenida en los resultados ($LDA = 0,48$ y $SVM = 0,46$), se podría considerar la opción de optimizar el algoritmo SVM con la posibilidad de revertir el resultado de las demás métricas entre estos dos algoritmos.

Es importante considerar nuevas investigaciones a partir del diseño de **“EvaluaClas”**, extendiendo a diferentes programas tales como Python (scikit-learn), Matlab, entre otros, preferidos por algunos investigadores. Además, la existencia de otras medidas de evaluación de rendimiento abre la posibilidad de ampliar el estudio al desarrollo de una librería con nuevos aportes científicos y tecnológicos.

5. Conclusiones

Al momento no existe una librería con las características, beneficios, amigabilidad y tipo de resultados que brinda la librería diseñada EvaluaClass. La cual estandariza las métricas de evaluación de rendimiento de algoritmos Machine y Deep Learning con fines comparativos para estudios futuros. Además, facilita la elección de la medida más discriminatoria en el caso multiclase desbalanceado; permitiendo a investigadores presentar resultados más robustos y eficientes.

La aplicación de la librería a la clasificación de células leucémicas de sangre periférica, evidenció como mejor método al “Análisis Lineal Discriminante”; con valores en todas las métricas más elevados que los demás algoritmos. Los resultados concluyeron que: la métrica más sensible y confiable en el caso multinomial desbalanceado es el índice kappa, especialmente en la presencia de clases cada vez más críticas en relación a su frecuencia y tamaño muestral. Sin embargo, se observó que la medida F1 – score se presenta como una segunda opción, considerando que la accuracy se mantiene invariante ante el efecto de desequilibrio en las clases y peor aún al tamaño muestral.

Los informes consolidados y las gráficas ROC identificaron a la métrica AUC como menos discriminatoria en clases desbalanceadas que la recall. Mientras que las métricas accuracy, índice kappa y F1- score al trabajar con un solo valor de rendimiento, facilitó su comparabilidad. La incertidumbre de qué métrica se debe utilizar en una base de datos con un mayor desequilibrio o tamaño muestral más pequeño, fue solucionado a través del segundo proceso de la librería EvaluaClas; mediante su análisis automático que permitió definir la mejor métrica de evaluación para el caso desbalanceado.

La comunidad científica actualmente dispone de la herramienta EvaluaClas de acceso libre y fácil uso, que permite unificar el idioma entre investigadores; en uno de los temas de gran relevancia relacionado a la evaluación del rendimiento en algoritmos de clasificación Machine y Deep Learning. Con un valor agregado por el hecho de ser implementado en un software libre.

Referencias

Ablan, M., Márquez, R., Rivas, Y., Molina, A., & Querales, J. (2011). An R library for validation of simulation models. *Revista Ciencia e Ingeniería*, 32(2), 117-126.

- Arisholm, E., Briand, L., & Johannessen, E. (2010). A systematic and comprehensive investigation of methods to build and evaluate fault prediction models. *Journal of Systems and Software*, 83(1), 2-17.
- Bekkar, M., Djemaa, D., & T.Alitouche. (2013). Evaluation Measures for Models Assessment over Imbalanced Data Sets. *Journal of Information Engineering and Applications*, 3(10), 27-38.
- Borja, R. (2019). *Método de concordancia bayesiano y su aplicación en problemas de clasificación multiclase con categorías desequilibradas*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45(1), 5-32.
- Brennan, R., & Prediger, D. (1981). Coefficient Kappa: Some Uses, Misuses, and Alternatives. *Educational and Psychological Measurement*, 41(3), 687-699.
- Bruckner, C., & Yoder, P. (2006). Interpreting kappa in observational research: baserate matters. *American journal of mental retardation: AJMR*, 111(6), 433-441.
- Cardenas, A., & Baras, J. (2006). Evaluation of Classifiers: Practical Considerations for Security Applications. *Workshop on Evaluation Methods for Machine Learning*, 409-415.
- Catal, C. (2012). Performance Evaluation Metrics for Software Fault Prediction Studies. *Acta Polytechnica Hungarica*, 9(4), 193-206.
- Danjuma, K. (2015). Performance Evaluation of Machine Learning Algorithms in Post-operative Life Expectancy in the Lung Cancer Patients. *ArXiv:1504.04646*, 11-.
- Drzewiecki, W. (2017). Thorough statistical comparison of machine learning regression models and their ensembles for sub-pixel imperviousness and imperviousness change mapping. *Geodesy an Cartography*, 66(2), 171-209.
- Fawcett, T. (2006). An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognition Letters*, 27(8), 861-874.
- Gu, Q., Zhu, L., & Cai, y. Z. (2009). Evaluation Measures of the Classification Performance of Imbalanced Data Sets. *Computational Intelligence and Intelligent Systems*, 461-471.
- Hand, D., & Till, R. (2001). A Simple Generalisation of the Area Under the ROC Curve for Multiple Class Classification Problems. *Machine Learning*, 45(2), 171-186.
- Hossin, M., & Sulaiman, M. (2015). A Review on Evaluation Metrics for Data Classification Evaluations. *International Journal of Data Mining & Knowledge Management Process*, 5(2), 1-11.
- Hossin, M., Sulaiman, M., Mustapha, A., Mustapha, N., & Rahmat, R. (2011). A hybrid evaluation metric for optimizing classifier. *2011 3rd Conference on Data Mining and Optimization (DMO)*, (págs. 165-170). Malasya.
- Japkowicz, N. (2007). Assessment Metrics for Imbalanced Learning. *Imbalanced Learning: Foundations, Algorithms, and Applications*, 859-864.

- Koru, A., & Liu, H. (2005). An Investigation of the Effect of Module Size on Defect Prediction Using Static Measures. *Proceedings of the 2005 Workshop on Predictor Models in Software Engineering*, 1-5.
- Landis, J., & Koch, G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *International Biometric Society*, 33(1), 159-174.
- Lavesson, N., & Davidsson, P. (2011). *Evaluating learning algorithms and classifiers*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lui, C.-F., & Wang, S.-D. (2002). Fuzzy support vector machines. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 13(2), 464-471.
- Perotte, A., Pivovrov, R., Natarajan, K., Weiskopf, N., Wood, F., & Elhdad, N. (2014). Diagnosis code assignment: models and evaluation metrics. *Journal of the American Medical Informatics Association: JAMIA*, 21(2), 237-237.
- Ye, J., Janardan, R., & Li, Q. (2005). Two-Dimensional Linear Discriminant Analysis. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 1569-1576.

Conocimiento ancestral agrícola de adultas mayores aplicado a huertos urbanos Cuenca-Ecuador

David Calderón¹, Fredi Portilla²

dcalderona@est.ups.edu.ec, fportilla@ups.edu.ec

¹ EA CONSUL, Quito, Ecuador

² Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

Pages: 185–196

Resumen: El presente trabajo trata sobre el manejo de huertos urbanos a partir de prácticas tradicionales por parte de las adultas mayores del barrio La Católica ciudad de Cuenca. Se utilizó los métodos deductivo e inductivo para la recopilación de información a través de encuestas, y entrevistas. Los datos obtenidos reflejan que un 57 % conocen acerca de la agricultura urbana, califican con un 57 %, 29 % y 14 % como excelentes, muy buenas y buenas a las prácticas tradicionales. Y a la promoción de huertos urbanos califican en un 71 % de alta importancia, mientras que el 29 % la considera de mediana importancia. En cuanto al manejo de huertos urbanos, las adultas mayores simplifican las labores de campo para ser adaptadas a la ciudad en cuanto a la preparación, siembra, cuidado y riego, de sus cultivos y la utilización de plantas como la verbena, ají y ortiga en el control de plagas y enfermedades. En cuanto a la implicación social; la agricultura urbana forma parte importante en la vida de las adultas mayores que adaptaron sus prácticas tradicionales al entorno en el que se desenvuelven en la actualidad.

Palabras-clave: Adultas mayores; prácticas ancestrales; huertos urbanos.

Deep learning algorithm for detecting floating marine macro litter in aerial images

Abstract: This paper deals with the management of urban gardens based on traditional practices by older adults in the La Católica city of Cuenca. The deductive and inductive methods were used to gather information through surveys, and interviews. The data obtained reflects that 57% know about urban agriculture; qualify with 57%, 29% and 14% as excellent, very good and good traditional practices. And to the promotion of urban gardens they qualify as 71% of high importance, while 29% consider it of medium importance. Regarding the management of urban gardens, older adults simplify field work to be adapted to the city in terms of the preparation, planting, care and irrigation of their crops and the use of plants such as verbena, chili and nettle in Pest and disease control. As for the social implication; urban agriculture is an important part in the lives of older adults who adapted their traditional practices to the environment in which they operate today.

Keywords: Older adults; ancestral practices; urban gardens.

1. Introduction

Aproximadamente hace 50 años en el Ecuador al igual que el resto de la región y el mundo se produjo un proceso de desplazamiento de grandes sectores poblacionales que migran del campo a la ciudad, el objetivo fue alcanzar la modernización de la sociedad por la vía de a la industrialización, incluida la agrícola. En consecuencia las prácticas agrícolas tradicionales se vieron rezagadas por la mecanización, el uso de agroquímicos, y la excesiva dependencia de variedades mejoradas y transgénicas en la agroindustria (modelo agrícola basado en especies selectivas de comercialización masiva) (Calvet, Garnatje, & M. Parada, 2014). Que a su vez ha ocasionado el deterioro de las prácticas ancestrales y su relación armónico con los ecosistemas. En medio de estas transformaciones estructurales de la sociedad, los adultos mayores que se desplazaron a las ciudades se han visto en la necesidad de modificar sus costumbres, para adaptarlas a las ciudades. Donde, su práctica agrícola pasó de grandes extensiones de terreno trabajable a espacios reducidos como jardines, macetas, balcones, etc., para poder mantener su identidad agrícola. Y así, en parte mitigar los efectos contaminantes de la agroindustria (Rivera, y otros, 2014).

Desde un punto de vista social, existen diversas experiencias sobre agricultura urbana por parte de colectivos ciudadanos, y diferentes actores de la sociedad, que han modificado con sus cultivos el paisaje de las ciudades (Vorraber, Sebastián, Fernández, & Scófono, 2014) y ha contribuido en mejorar la seguridad alimentaria urbana (Pedraza, 2003). Y así, contar con especies libres de pesticidas, dietas balanceadas y junto a ello promover productos orgánicos propios de la ciudad (Cid Aguayo, 2011) que contribuya a la sostenibilidad urbana integra (Vallance, Perkins, & Dixon, 2011). Como, por ejemplo, en Alemania el promover jardines comunitarios en las ciudades ha permitido que las comunidades se motiven a participar en estas actividades (Rogge, Theesfeld, & Strassner, 2018).

Desde el punto de vista ecológico, el implementar prácticas tradicionales en el manejo de cultivos, favorece al fortalecimiento de la biodiversidad genética. Es decir, manejo un agroecológico permite que los cultivos sean sustentables en el tiempo (Toledo, 2012). Por lo tanto, la agroecología se sustenta en los saberes ancestrales del adulto mayor que se adaptan a las condiciones de cada localidad (N. Abeywardana, 2019). Como por ejemplo en China sus granjeros de mayor edad poseen conocimiento en el manejo hídrico de sus cultivos (Liu, Ravenscroft, Harder, & Dai, 2016). Así también, el conocimiento de plantas medicinales en comunidades del Perú por parte de sus adulto mayores les ha permite general biocidas como forma de control de plagas y enfermedades (Pauro, et al., 2011). Razón por la cual, es fundamental la recopilación de esta valiosa información que se ha mantenido a los largo de los años. Por otro lado, la promoción de espacios agrícolas en las ciudades mitiga las injusticias sociales y ambientales (Stanko & Naylor, 2018) relacionadas con el acceso a los alimentos.

En el Ecuador la inclusión del adultos y adultas mayores en la sociedad se ha enfoca al cuidado gerontológico por medio de políticas públicas del Ministerio de Inclusión Económica y Social (MIES) cuyo objetivo central ese el envejecimiento digno y activo. Sin embargo, el crear conocimiento a través de la experiencia, saberes, etc., no está definido. Por otro lado, la promoción de la agricultura familiar y urbana con grupos minoritarios en el Ecuador se enfoca en la promoción de fuentes de empleo ha mujeres jefas de

hogar, adultos mayores, personas de escasa escolaridad (Rodriguez & Proaño, 2016). Así también, el Ministerio de agricultura y ganadería, junto con el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social están dirigiendo sus esfuerzos a promocionar la agricultura familiar urbana hacia grupos minoritarios (entre los cuales destacan los adultos mayores) en el manejo de huertos urbanos como forma de inclusión social y de buenas prácticas ambientales (MAG, 2018). Cabe señalar que en el Ecuador aún no cuenta con una base sólida de información acerca del conocimiento de los adultos mayores sobre agricultura urbana, más bien los esfuerzo de las instituciones están dirigidos a la generación de espacios de capacitación de los mismos. Una experiencia paradigmática la podemos observar en los Países Bajos y Austria donde se lleva a cabo el programa green farm care en donde los adultos mayores se involucran en las actividades de granjas ecológicas (Bruin, Oosting, Zijpp, Enders-Slegers, & Schols, 2010); (Jungmair & Meixner, 2017); como parte de su cuidado gerontológico.

2. Métodos

Para el desarrollo de la librería se consideró el conocimiento claro y formulación matemática de las métricas de evaluación, el diagrama de procesos de diseño de la librería y finalmente la descripción de la base de datos utilizada para la aplicación, incluyendo la conceptualización de los algoritmos Machine Learning comparados.

2.1. Métricas de rendimiento

la fase experimental en este punto se valdrá del método deductivo, que parte de: 1) Axiomatización (1er principio) se parte de axiomas; verdades que no requieren demostración, 2) Postulación se refiere a los postulados, doctrinas asimiladas o creadas y 3) Demostración, referido al acto científico propio de los matemáticos, lógicos, filósofos. Y junto al método inductivo, que a través de 1) Observación, 2) Formulación de hipótesis, 3) Verificación, 4) Tesis, 5) Ley y 6) Teoría, en muestras reducidas Dávila (2006) se plantea la hipótesis que “las adultas mayores del barrio la católicas poseen conocimientos agrícolas aplicables a cultivos urbanos”. Dando lugar a la recopilación de la información a través de encuesta y entrevistas (Altamirano, 2019). Teniendo como resultado pruebas absolutas de la hipótesis planteada. El total de participantes que formaron parte de la investigación corresponden a una muestra de 21 adultas mayores del barrio la católica de la parroquia El Vecino de la ciudad de Cuenca. Dicho grupo fue tomado como parte del trabajo debido a la cercanía que este grupo tiene con los trabajos de inclusión del adulto mayor que maneja la universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. Así pues, el estudio se encaminó a la recopilación de información acerca de los saberes ancestrales agrícolas de las adultas mayores que practican en sus huertos urbanos

Para la validación de la encuesta, esta, fue puesta en ejecución con las dos participantes del grupo de adultas mayores a colaborar. Donde se corrigió puntuación, sintaxis y número de preguntas hacer formuladas. De esa manera la encuesta constó de 5 preguntas dirigidas al manejo de huertos urbanos.

Para las entrevistas, instrumento cualitativo, se aplicó entrevistas abierta como forma de indagar el tipo de gestión que dan a sus huertos urbanos y la aplicación de sus conocimientos a estos y su potencial uso; ya sean nutricionales, medicinales o decorativo.

Para el análisis de datos se utilizó estadística descriptiva. Que corresponde a la de tabulación de la información procedente de las encuestas.

3. Resultados

3.1. Agricultura urbana

3.1.1. Conocimiento sobre agricultura urbana

En la Figura 1 se muestra el porcentaje de adultas mayores que están familiarizadas con el término de agricultura urbana “

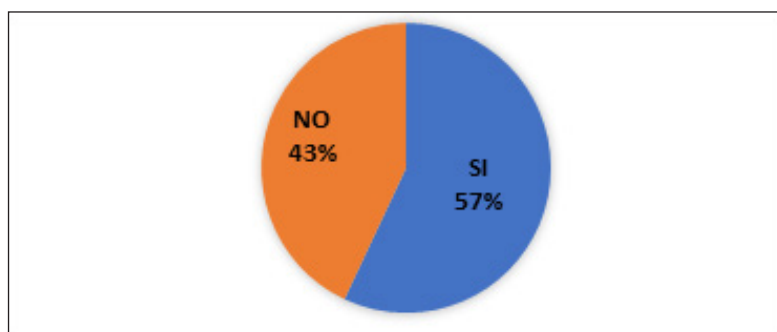


Figura 1 – Porcentaje del conocimiento del término agricultura urbana.

De esta manera, en la Figura 1. Muestra que el conocimiento acerca de agricultura se aprecia que 57 % de las encuestadas conocen el término agricultura urbana y un 43 % no están familiarizadas con la definición. Cabe señalar que el 43 % que no conoce la terminología si practica dicha actividad, ya que dan a conocer que en sus viviendas realizan actividades ligadas a la agricultura, debido a que tiene muy arraigado la cultura de trabajar la tierra por las enseñanzas adquiridas por sus madres, padres y abuelos en el transcurso de sus vidas.

3.1.2. Espacio destinado para la siembra de plantas en los hogares

En la Figura 2. Se muestra el porcentaje de adultas mayores que destinan un espacio en su vivienda para la siembra de plantas.

Así pues, la Figura 2. Muestra que, de toda la población encuesta solo un 10 % dio una respuesta negativa, esto se debe principalmente al hecho que en sus viviendas no cuentan con espacio suficiente para la presencia de plantas en terreno. Si embargo este 10 % cuenta con pequeñas plantas decorativas dispuestas en floreros o macetas.

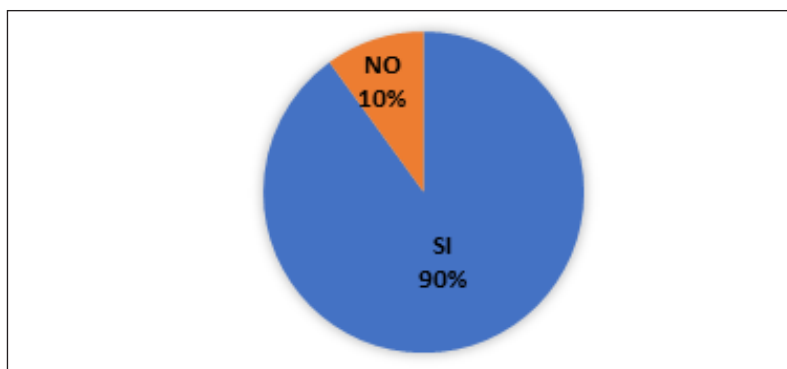


Figura 2 – Porcentaje de espacio destinado para la siembra de plantas en los hogares

3.1.3. *Temáticas en el manejo de huertos urbanos de interés por parte de las adultas mayores*

Para esta pregunta se planteó 9 temáticas correspondiente a manejo de huertos urbanos que las adultas mayores desearía fortalecer junto a sus labores tradicional en el manejo de cultivos en sus hogares. Es así que, la Figura 3. muestra los temas junto con el porcentaje de respuestas por parte del grupo encuestado. Las temáticas planteadas fueron: 1) Siembra de plantas y manejo del cultivo en la ciudad, 2) Control de plagas y enfermedades en los cultivos urbanos, 3) Como preparar sus alimentos, 4) Promover áreas verdes en las ciudades (parques, jardines, balcones floridos), 5) Recuperación de plantas nativas que se han perdido por el crecimiento de la población 6) Manejo de los residuos orgánicos e inorgánicos de los hogares (basura, papel, plástico), 7) Cultivar plantas medicinales, 8) Cultivar frutales y 9) Trabajo colectivo para la siembra de diferentes plantas. De esta manera se tiene:

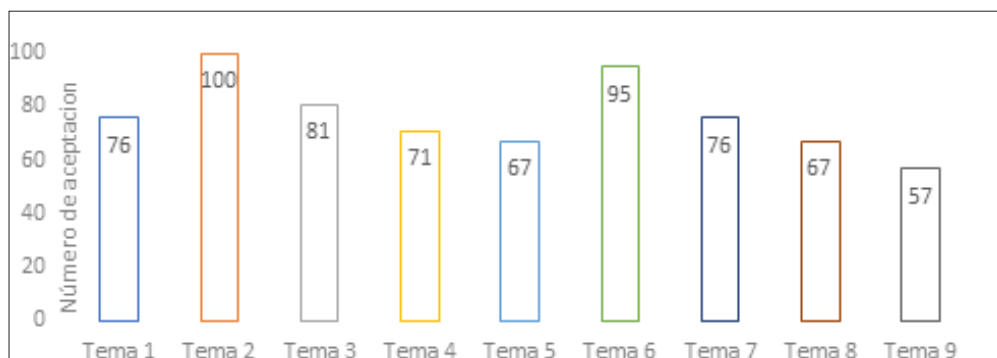


Figura 3 – Temas de interés votadas por las adultas mayores

En la Figura 3. el número de respuestas afirmativas a las 9 temáticas planteada que el tema de mayor interés corresponde al control de plagas y enfermedades en los cultivos urbanos y el de menor porcentaje el Trabajo colectivo para la siembra de diferentes plantas, seguido del manejo de los residuos orgánicos e inorgánicos de los hogares (basura, papel, plástico). Por otro lado, el tema trabajo colectivo para la siembra de diferentes plantas es de menor porcentaje. Esta se debe al hecho que se les hace difícil la movilización a las adultas mayores de un lugar a otro.

3.1.4. Importancia de promover huertos urbanos

En la Figura 4 se muestra el porcentaje de respuestas del grupo meta de como calificarían la importancia de promover huertos urbanos.

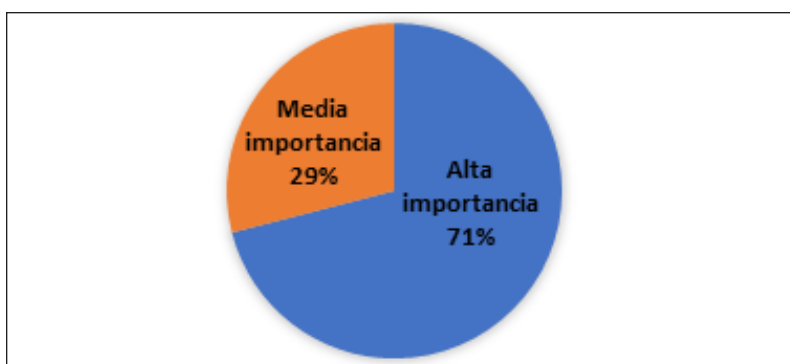


Figura 4 – Porcentaje de la importancia de promover huertos urbanos.

De esta manera, la Figura 4. muestra que, las adultas mayores consideran que el promover huertos urbanos es de alta importancia ya que, el 71 % de la población encuestada trata en la medida de sus posibilidades (espacio, tiempo, y salud) continuar con su con sus prácticas de siembra a nivel de la ciudad. Sin embargo, el 29 % considera que es de media importancia, más que todo porque la transición a la vida urbana modificó sus costumbres, dedicándose a otras actividades (preparar alimentos, trabajo, etc.) limitando su tiempo para cultivar y trabajar la tierra.

3.1.5. Importancia de la agricultura tradicional en los huertos urbanos

Para este punto se planteó a las adultas mayores que califiquen la importancia de la agricultura tradicional aplicada a huertos urbanos. La Figura 5 muestra el porcentaje que las adultas mayores califican la importancia de las prácticas tradicionales en la agricultura.

De esta manera en la Figura 5. Muestra que: 1) El porcentaje mayoritario tuvo más apego al campo y a la labores de terreno, 2) dedicaban medio tiempo a trabajar el suelo ya que no formaban parte directa a la hora de manejo de cultivos y 3) el de menor porcentaje indica que, las adultas mayores que dieron este respuestas no estuvieron familiarizadas

directamente con los cultivo ya se por ser las menores de grupo familiar o por emigrar más rápido a la ciudad, sin embargo si tuvieron apegadas a estas prácticas por parte de su nicho familiar.

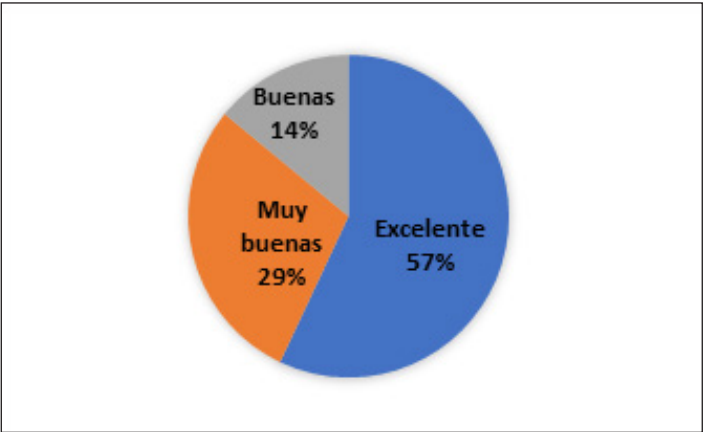


Figura 5 – Porcentaje de la importancia de la agricultura tradicional.

3.2.Experiencia del manejo de huertos urbanos llevados a cabo por las adultas mayores

3.2.1. Delimitación de espacio, preparación del sustrato y disposición de plantas

Para la Taba 1. Se presenta el lugar, uso de sustrato y disposición de las plantas en las viviendas del grupo de adultas mayores

Entrevistas	Manejo de huertos urbanos			
	Tipo de planta	Siembra	Disposición	Uso del huerto
Entrevista 1	Hortalizas, medicinales, frutales	Uso de plántulas y semillas	Macetas, cajones de madera, botellas plásticas	Preparación de alimentos, uso medicinal
Entrevista 2	Hortalizas, tubérculos, frutales, medicinales	Uso de plántulas y semillas	Patio, macetas, botellas plásticas	Preparación de alimentos, uso medicinal
Entrevista 3	Hortalizas, medicinales, ornamentales	Uso de plántulas y semillas	Terreno y macetas	Decorativo, alimenticio y medicinal
Entrevista 4	Hortalizas, medicinales	Uso de plántulas y semillas	Cajones de madera	Alimenticio y medicinal
Entrevista 5	Hortalizas, medicinales, ornamentales	Uso de plántulas y semillas	Terreno y macetas	Alimenticio, medicinal, decorativo
Entrevista 6	Ornamentales	Uso de plántulas	Macetas	Decorativo

Entrevistas	Manejo de huertos urbanos			
	Tipo de planta	Siembra	Disposición	Uso del huerto
Entrevista 7	Medicinales y frutales	Plántulas	Macetas	Alimenticio, medicinal, decorativo
Entrevista 8	Medicinales, ornamentales	Plántulas	Terreno y macetas	Medicinal, decorativo
Entrevista 9	Hortalizas, ornamentales	Plántulas	Macetas	Alimenticio y decorativo
Entrevista 10	Hortalizas, leguminosas	Plántulas	Macetas y terreno	Alimenticio
Entrevista 12	Ornamentales	Plántulas	Macetas	Decorativo
Entrevista 13	Medicinales, ornamentales	Plántulas y semilla	Macetas, balcón	Medicinal, decorativo
Entrevista 14	Ornamentales	Plántulas	Macetas	Decorativo
Entrevista 15	Ornamentales, medicinales	Plántulas	Jardín, macetas	Medicinal, decorativo

Tabla 1 – Manejo y uso del huerto urbano del grupo de adultas mayores

Como se observa en la Tabla 1. las adultas mayores optimizan el espacio en sus viviendas para dar lugar a sus cultivos urbanos. Del mismo modo, se destaca el uso de material reciclado como delimitación espacial de sus plantas. Por otro lado, las diferentes especies que siembra las adultas mayores tiene que ver con un comportamiento aprendido, donde ellas siembran las especies que más rendimiento les va producir en su huerto urbano, adaptándolos a su entorno especial. Y así elegir el tipo de planta que mejor se adapten a las condiciones de su hogar. Así también en los cultivos urbanos predominan las plantas medicinales, las cuales frecuentemente las usa como forma de remedio natural para dolencia estomacales, de cabeza, etc.

3.2.2. Siembra, cuidados y riego de las plantas

Las plantas son compradas en su primera fase de crecimiento para luego ser colocadas en los diferentes recipientes ya sean cajones, botellas, macetas o en el terreno. Para los frutales en las ciudades se los siembra en botellas de plástico lo suficiente mente grandes para que se pueden desarrollar en su crecimiento temprano, y luego los lleva a un terreno más grande para que se desarrollen por completo. Así también las adultas mayores indica que es mejor sembrar en semilla si se pretende trabajar con plantas de rábano, culantro y cebollín en los hogares por el tamaño y delicadeza que estas presentan a nivel de los hogares.

Para el cuidado de las plantas las adultas mayores las abonan con material orgánico (residuos de material orgánico de cocina). Así también, mediante regaderas rocían planta por planta o con manguera si las plantas están sembradas en el patio, este procedimiento se lo hace por las mañanas ya que al tratarse de cultivo pequeños a nivel

de la ciudad el riego no debe ser constante. Otro punto a destacar es que en sus hogares pueden simplificar las labores agrícolas al tratarse de una cantidad pequeña de plantas.

3.2.3. Control de plagas y enfermedades

Para la Tabla 2. Se presenta los diferentes controles de las adultas mayores en sus huertos urbanos para el control de plagas.

Entrevistas	Manejo del huerto urbano	
	Plaga o enfermedad	Método de control
Entrevista 1	Pulgones, mosca Blanca	Uso de agua con detergente.
Entrevista 2	Insectos, orugas	Uso de vinagre de manzana mezclado con bicarbonato. También los retira de forma manual.
Entrevista 3	Insectos	Usa agua con detergente.
Entrevista 4	Gusanos de color verde	Uso de agua con detergente.
Entrevista 5	Insectos	Preparado de ají con tabaco.
Entrevista 6	Insectos	Uso de agua con detergente.
Entrevista 7	Viñau, babosas	Uso de cenizas, sal y retirarlos de forma manual.
Entrevista 8	Insectos	Uso de agua con detergente
Entrevista 9	Insectos	Uso de agua con detergente
Entrevista 10	Insectos	Uso de agua con detergente
Entrevista 11	Insectos	Uso de agua con detergente
Entrevista 12	Insectos	Uso de agua con detergente
Entrevista 13	Mildiu	Uso de agua y ají licuado. Se aplica luego de dejarlo reposar por 24 horas.
Entrevista 14	Roya, mildiu, oídio	Uso de preparado a base de ajeno
Entrevista 15	Lancha	Preparado de apio junto con verbena

Tabla 3 – Método de control de plagas por las adultas mayores en sus huertos urbanos

Así pues, la Tabla 2. Indica que tipo de manejo tienen las adultas mayores. Donde, el uso de agua mezclado con detergente predomina para el control de diferentes plagas. Por otro lado, el uso de ají, altamisa, verbena, tabaco, ajeno como biocida también es usado para el control de plagas y enfermedades

4. Discusión

En la encuesta realizada a las adultas mayores, se notó que, los conocimientos en el manejo agrícola permanecen intactos. Debido a circunstancias puntuales, como lo que se menciona en (Liu, Ravenscroft, Harder, & Dai, 2016) el conocimiento adquirido por las personas a lo largo de sus vidas en el campo agrícola se mantiene por llevar

un manejo ecológico en los cultivos. Esto significa que, los saberes tradicionales de las adultas mayores han permanecido intactos a lo largo del tiempo por el hecho de haberlos aprendido mediante transmisión de conocimientos generacionales. Así también, la diversificación de cultivos que se menciona en (Toledo, 2012); (Abeywardana, Schütt, Wagalawatta, & Bebermeier, 2019) indican que las adultas mayores comprenden el hecho de contar con gran variedad de plantas en sus hogares adaptándose a las condiciones de la ciudad. Esto nos permite corroborar que es posible fomentar la agricultura urbana en los hogares a través de prácticas tradicionales y diversificación de cultivos como es el caso de las adultas mayores en sus viviendas.

Por otro lado, cabe señalar que las adultas mayores no están del todo exentas de cometer malas prácticas en el manejo de sus huertos, ya que, el control de plagas y enfermedades que llevan a cabo muchas de las veces usan productos que pueden causar deterioro, tanto del cuerpo vegetal como del suelo. Siendo estos el uso de agua de deja (detergente de uso comercial) y la sal. Dichos productos pueden llegar a causar contaminación del cultivo por los sulfatos (caso de detergentes) y acidificación del suelo (caso de la sal). Otro problema que ocasiona los detergentes y la sal a nivel de suelo es la pérdida de la biodiversidad microbiana, ya que la presencia de microorganismo en los ecosistemas es fundamental para el desarrollo de los mismos (Madigan, Martinko, Dunlap, & Clark, 2009).

Una de las alternativas al uso de detergentes, es el intercambiarlo por jabones potásicos, porque al ser un compuesto no invasivo y biodegradable es efectivo para el control de insectos y hongos (Gállego & Lemaître, 2012). Para la sal, como controlador de babosa el uso de trampas a base de cerveza o uso de ceniza son buenas técnicas de control (López, 2013). Por otro lado, como se menciona en (Pedraza, 2003) y (Cid Aguayo, 2011) nos permiten afirmar que las técnicas de manejo de cultivos urbanos de las adultas mayores les permite fortalecer la seguridad alimentaria de sus hogares y promover productos balanceados dietéticamente propio de las ciudades.

5. Conclusiones

De esta manera, el trabajo nos da a conocer que las prácticas tradicionales de siembra por parte de las adultas mayores se mantienen a nivel de la ciudad. Esto nos permite constatar que dichos saberes son aplicables a la agricultura urbana, donde prima la necesidad de buscar estrategias que ayuden al fomento de espacios verdes en las ciudades ya sea como fuentes de alimentos, medicinal o decorativo.

En cuanto al manejo de los huertos urbanos, las técnicas de siembra, cuidado y cosecha en pequeñas porciones de terreno (patio, macetas, balcones, etc.) se simplifican, y esto favorece al trabajo de las adultas mayores en el manejo de sus cultivos que a su vez evita que se fatiguen si se tratase de grandes extensiones de terreno. Del mismo modo, para el control de plagas y enfermedades el conocimiento en el manejo de plantas medicinales les permite combatir dichas amenazas.

En cuanto a la implicación social del trabajo nos indica que la agricultura forma parte importante en la vida de las adultas mayores que al trasladarse a la ciudad se han visto en la necesidad de adaptar sus costumbres agrícolas al lugar donde viven y no solo como

forma de mantener sus enseñanzas si no también la de sentirse rodeadas de vida (siendo esta sus cultivos urbanos). Lo que nos plantea la necesidad de trabajar y aprender los desafíos que conlleva retomar las prácticas tradicionales en las ciudades. Donde, el aporte de las adultas mayores en los huertos urbanos va desde el uso de materiales reciclados como recipientes para las plantas, uso de residuos orgánicos clasificados como abono, optimización del agua de riego, y el control de plagas, adaptados al entorno donde se desenvuelven.

Es así que, llevar a cabo una agricultura urbana a partir de prácticas tradicionales permite implementar estrategias que favorezcan un manejo más ecológico hacia las épocas venideras en la ciudad. Sin embargo, un limitante a mediano y largo plazo de construir urbes amigables con el medio ambiente viene dada por la contaminación de agua, suelo y aire que persisten en las grandes metrópolis, donde proyectos con este enfoque que rezagados.

Así también, las prácticas tradicionales de siembra enriquecen y llenan de vitalidad a las adultas mayores, donde la edad pasa a un segundo plano cuando se trata de compartir su sabiduría y enseñanza claramente reflejadas en los huertos urbanos que poseen. Esto nos permite darnos cuenta que por más expansión urbana el trabajar la tierra seguirá siendo parte de nuestra humanidad.

Finalmente, el entendimiento empírico de las adultas mayores puede ser aplicado en la sociedad actual. Y de esta manera, generar modelos encaminados a la resiliencia de los ecosistemas urbanos.

Referencias

- Abeywardana, N., Schütt, B., Wagalawatta, T., & Bebermeier, W. (2019). N. Abeywardana, B. Schütt, T. Wagalawatta, and W. Bebermeier. *Sustainability*, 11(3).
- Altamirano, J. (2019). *Rescate de los saberes tradicionales del adulto mayor a través de agricultura urbana, para determinar concentraciones de plomo y coliformes totales en hortalizas en el Vecino-Cuenca*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Bruin, S. d., Oosting, S., Zijpp, A. v., Enders-Slegers, M., & Schols, J. (2010). The concept of green care farms for older people with dementia. *Dementia*, 9(1), 79-128.
- Calvet, L., Garnatje, T., & M. Parada, J. V. (2014). Más allá de la producción de alimentos: los huertos familiares como reservorios de diversidad biocultural. *Amienta*, 107, 40-53.
- Cid Aguayo, B. (2011). Agroecología y agricultura orgánica en Chile: Entre convencionalización y ciudadanía ambiental. *Agroalimentaria*, 17(32), 15-27.
- Dávila, G. (2006). El razonamiento inductivo y deductivo dentro del proceso investigativo en ciencias experimentales y sociales. *Laurus*, 12, 180-205.
- Gállego, H., & Lemaître, J. (2012). *El huerto ecológico en macetas*. Barcelona: Integral.

- Jungmair, J., & Meixner, O. (2017). Green care day care for the elderly on Austrian farms. *Economia Agro-Alimentare*, 19(1), 151-168.
- Liu, P., Ravenscroft, N., Harder, M., & Dai, X. (2016). The knowledge cultures of changing farming practices in a water town of the Southern Yangtze Valley, China. *Agriculture an Human Values*, 33(2), 291-304.
- López, G. V. (2013). Huerto urbano sostenible. En G. V. López, *¿Qué es un huerto urbano?* (págs. 19-20). Madrid: MP.
- Madigan, M., Martinko, J., Dunlap, P., & Clark, D. (2009). Brock Biología de los microorganismos. En M. Romo, *Ecosistemas microbianos*. Madrid: Pearson.
- MAG. (2018). *Ministerio de Agricultura y Ganadería*.
- N. Abeywardana, B. S. (2019). Indigenous agricultural systems in the dry zone of Sri Lanka: Management transformation assessment and sustainability. *Sustainability*, 11(3).
- Pauro, J., Gonzáles, F., Gamarra, B., Pauro, J., Mamani, F., & Huerta, R. (2011). Plantas Alimenticias, Medicinales Y Biocidas De Las Comunidades De Muñani Y Suatia, Provincia De Lampa (Puno-Perú). *Ecología Aplicada*, 10(1), 1-9.
- Pedraza, D. (2003). Seguridad alimentaria familiar. *Salud Pública y Nutrición*, 4(2).
- Rivera, D., Concepción, C., Verdejo, A., Fajardo, J., Alcaraz, F., Carreño, E., . . . Laguna, E. (2014). El huerto familiar repositorio de cultura y recursos genéticos, tradición e innovación. *Ambienta*(107), 20-39.
- Rodriguez, A., & Proaño, I. (2016). *Quito siembra: Agricultura Urbana*. Quito: CONQUITO.
- Rogge, N., Theesfeld, I., & Strassner, C. (2018). Social sustainability through social interaction-A national survey on community gardens in Germany. *Sustainability*, 10(4), 1-18.
- Stanko, H., & Naylor, L. (2018). Facilitating (?) urban agriculture in Philadelphia: sustainability narratives in the inequitable city. *Locan Environment*, 23(4), 1-17.
- Toledo, V. (2012). La agroecología en Latinoamérica: tres revoluciones, una misma transformacion. *Agroecología*(6), 37-46.
- Vallance, S., Perkins, H., & Dixon, J. (2011). What is social sustainability? A clarification of concepts. *Geoforum*, 42(3), 342-348.
- Vorraber, L. B., Sebastián, M., Fernández, E., & Scófano, M. (2014). Ecología urbana : diseño de espacios productivos comunitarios y evaluación de condiciones del medio de crecimiento y asociación de especies Resumen. *Multequina*, 23(2), 64-74.

Borrosidad de transmisión y reflexión en un dispositivo de partículas suspendidas para niveles intermedios entre los estados ópticos claro y oscuro

David Barrios¹, Carlos Álvarez¹, José Miguitama¹

dbarrios@ups.edu.ec

¹ Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

Pages: 197–204

Resumen: Los dispositivos de partículas suspendidas (SPD) son ventanas inteligentes electroforéticas que conmutan entre dos estados de apariencia óptica, oscuro apagado y claro encendido, sin y con tensión eléctrica alterna aplicada respectivamente. El parámetro haze en inglés, definido como el porcentaje de luz transmitida o reflejada difusa con respecto al total, es referido en este trabajo como borrosidad, es decir, lo contrario de nitidez, y ha sido obtenido para niveles intermedios entre los estados oscuro y claro de la ventana SPD tanto en transmisión como en reflexión. La borrosidad de transmisión se comparó con el parámetro de camino promedio del modelo de transferencia radiactiva de cuatro flujos obtenido en recientes trabajos a fin de encontrar los coeficientes intrínsecos de dispersión y absorción de la luz.

Palabras-clave: Dispositivo de partículas suspendidas; borrosidad transmisión y reflexión; dispersión; parámetro de camino promedio.

Transmission and reflection hazes of a suspended particle device at intermediate levels between clear and dark optical states

Abstract: Suspended particle devices (SPD) are electrophoretic smart windows switching between two optical appearance states, dark off and clear on, without and with applied alternating electrical voltage respectively. Haze parameter, defined as percentage of transmitted or reflected diffuse to total light, is referred in this work as fuzziness, i.e. contrary to sharpness, and was obtained for intermediate levels between dark off and clear on states of the SPD window for both transmission and reflection. Transmission haze was compared with the average crossing parameter obtained in recently works from four flux radiative transfer model in order to find out intrinsic light scattering and absorption coefficients.

Keywords: Suspended particle device; transmission and reflection haze; scattering; average crossing parameter.

1. Introduction

Las ventanas inteligentes se clasifican dentro del área de nanotecnologías verdes debido a que suponen una disminución en la factura del consumo de la energía eléctrica en edificios modernos gracias al ahorro energético por iluminación, calefacción y aire acondicionado, el cual puede llegar a ser de un 40% (Granqvist, 2010).

Los dispositivos de partículas suspendidas (SPD) son un tipo de ventana inteligente que conmuta entre los estados oscuro apagado y aclarado encendido, cuando se aplica una señal de alto voltaje alterna en los contactos de las capas de cristal exteriores, las cuales están recubiertas en su cara interior con un conductor transparente. La capa activa de partículas suspendidas se encuentra entre medias de ambos cristales exteriores y consiste en millones de partículas de color negro azulado en forma de aguja de tamaño alrededor de 200 nm las cuales se orientan aleatoriamente sin voltaje aplicado, absorbiendo la luz en los rangos de menores longitudes de onda, causando la apariencia negra azulada de la ventana en el estado apagado. Cuando se le aplica una señal alterna de voltaje de gran amplitud, de hasta 100 V de pico a pico y 50 Hz sinusoidal, por medio del fenómeno de la electroforesis (o el movimiento relativo de las partículas dentro de un campo eléctrico) las partículas se orientan de forma perpendicular a las capas externas de cristal recubiertas con conductor transparente, provocando la apariencia grisácea de la ventana en el estado claro encendido [(Barrios, Vergaz, Sanchez-Pena, Granqvist, & Niklasson, 2013); (Barrios, Vergaz, Sanchez-Pena, Granqvist, & Niklasson, 2015); (Barrios, C. Alvarez, Miguitama, Gallego, & Niklasson, 2019)]

2. Métodos

Las medidas ópticas de transmitancia y reflectancia totales y difusas fueron llevadas a cabo en trabajos anteriores (Barrios, Vergaz, Sanchez-Pena, Granqvist, & Niklasson, 2013) sobre la ventana SPD en sus estados ópticos oscuro apagado y claro encendido (estado oscuro con 0 V aplicados y estado claro con una señal sinusoidal de 100 V de pico a pico y 50 Hz), utilizando el espectrómetro Perkin Elmer Lambda 900 disponible en el Laboratorio Angstrom de Uppsala (Suecia) para el rango solar de longitudes de onda entre 250 y 2500 nm, en intervalos de 5 nm. En el caso de la transmitancia también se midieron la componente total y difusa para niveles intermedios de voltaje aplicado, entre 0 V del estado apagado y 100 V del estado encendido, con intervalos de 10 V, es decir, para 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100. Debido a que estas medidas en niveles intermedios de voltaje aplicado no fueron llevadas a cabo para el caso de la reflectancia, las componentes total y difusa para niveles intermedios de voltaje aplicado fueron interpoladas teniendo en cuenta que el mismo cambio para cada escalón de voltaje en el cambio de transmitancia respecto al total del cambio entre 0 y 100 V debe ocurrir para cada escalón de voltaje en el cambio de la reflectancia. Asumiendo que las diferentes orientaciones de las partículas dispersas para cada nivel de voltaje es la causa los distintos valores espectrales intermedios de la transmitancia, los valores intermedios de la reflectancia debería estar relacionados con los valores intermedios de la transmitancia, y por lo tanto pueden ser estimados. La siguiente ecuación es propuesta para estimar los valores intermedios de la reflectancia total y difusa, y por tanto, de la reflectancia especular, a partir de los valores intermedios de la transmitancia

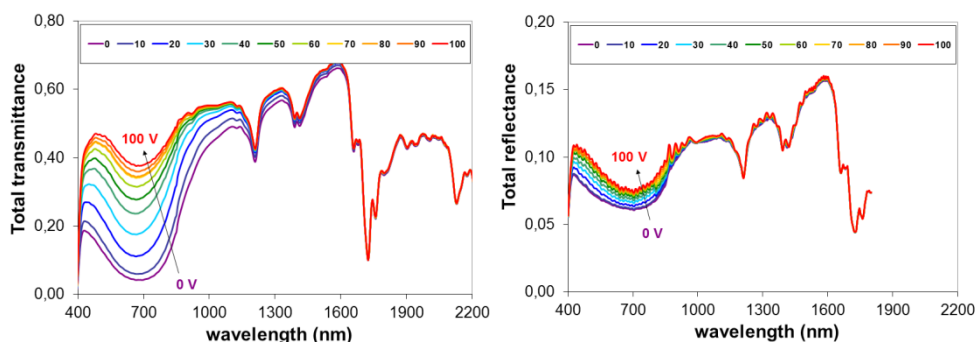
total y difusa, siendo xx en la ecuación desde 10 a 90 V aplicados en escalones de 10 V de amplitud.

$$R_{xx} = R_0 + \frac{T_{xx} - T_0}{T_{100} - T_0} \quad (1)$$

La borrosidad (parámetro “haze” en inglés) se determina dividiendo la componente difusa entre la componente total. La componente colimada de la transmitancia, es decir, la transmitancia directa o regular, es determinada a partir de las medidas de transmitancia total y difusa. De igual forma, la componente colimada de la reflectancia, es decir, la reflectancia especular, es determinada a partir de las medidas de reflectancia total y difusa, es decir, substrayendo la componente difusa de la componente total. Por tanto, la borrosidad es un parámetro contrario al concepto de nitidez. Es decir, la borrosidad será grande cuando la mayor parte de la componente total sea difusa. La nitidez, por el contrario, será grande cuando la mayor parte de la componente total sea colimada. La suma de las componentes de transmitancia y reflectancia colimadas y difusas resulta en las componentes totales. Es decir, la transmitancia total es igual a la suma de las transmitancias colimada y difusa. Así mismo, la reflectancia total es igual a la suma de las reflectancias colimada y difusa. Todas las transmitancias y reflectancias, medidas y calculadas, son de carácter espectral

3. Resultados

Las ventanas inteligentes de tipo SPD consisten en millones de nano partículas de color negro azulado con forma de aguja, dispersas en un fluido rodeado por un par de cristales exteriores, recubiertos con una capa fina de conductor transparente en sus caras interiores. Inicialmente las partículas están dispersas aleatoriamente absorbiendo luz y provocando el estado oscuro apagado, y se orientan perpendicularmente a los cristales exteriores provocando el estado aclarado por medio del fenómeno de la electroforesis o el movimiento relativo de las partículas dentro de un campo eléctrico. Los niveles intermedios entre los estados apagado y encendido. Los resultados de las transmitancias y reflectancias, colimadas, difusas y totales, para los niveles intermedios de voltaje aplicado, serán representados con un tipo de gráficos desarrollados con el software Matlab denominados contour-plots o gráficas de contorno.



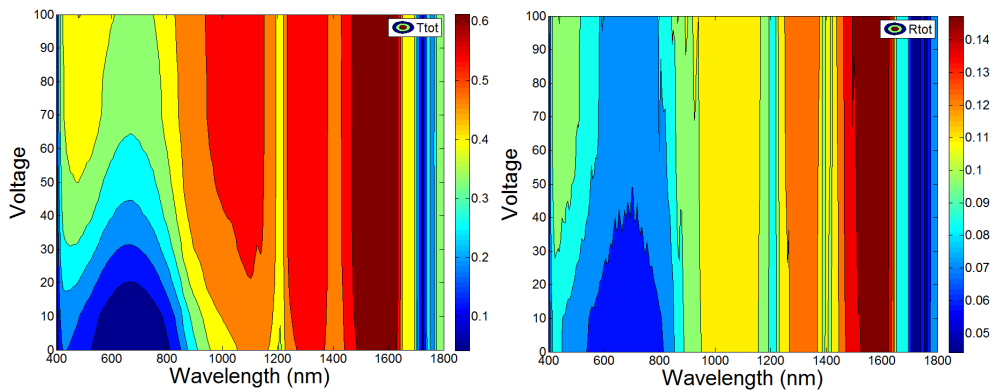


Figura 1 – Transmitancia total y reflectancia total de la ventana SPD en los estados de apariencia óptica intermedios para niveles de tensión entre 0 y 100 V con escalones de tensión de 10 V.

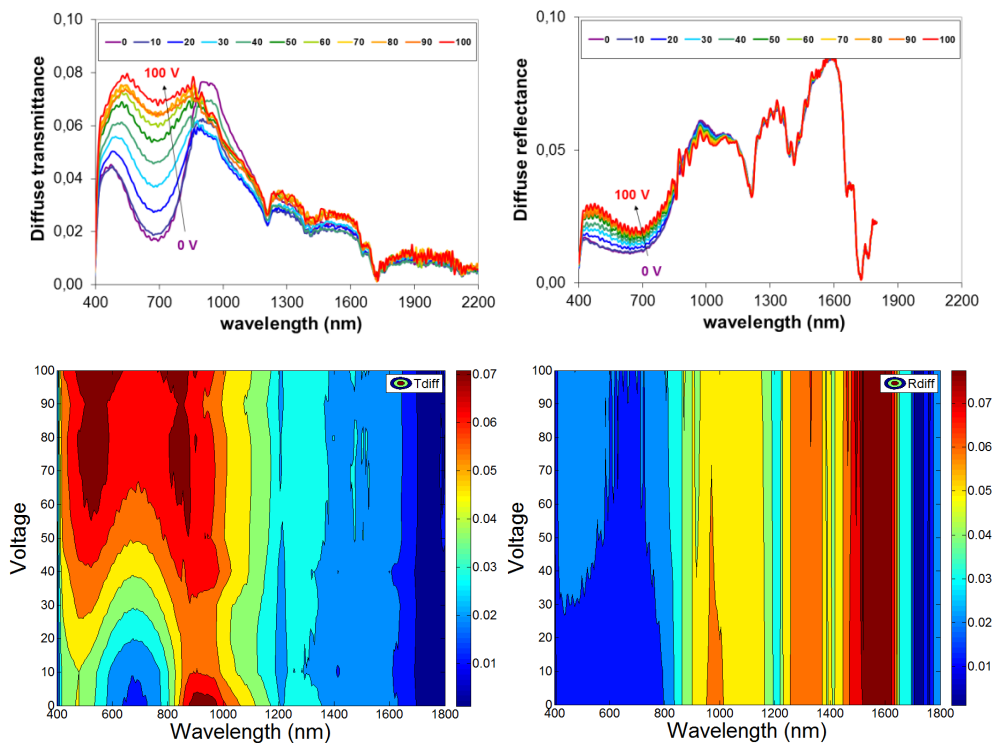


Figura 2 – Transmitancia difusa y reflectancia difusa de la ventana SPD en los estados de apariencia óptica intermedios para niveles de tensión entre 0 y 100 V con escalones de tensión de 10 V.

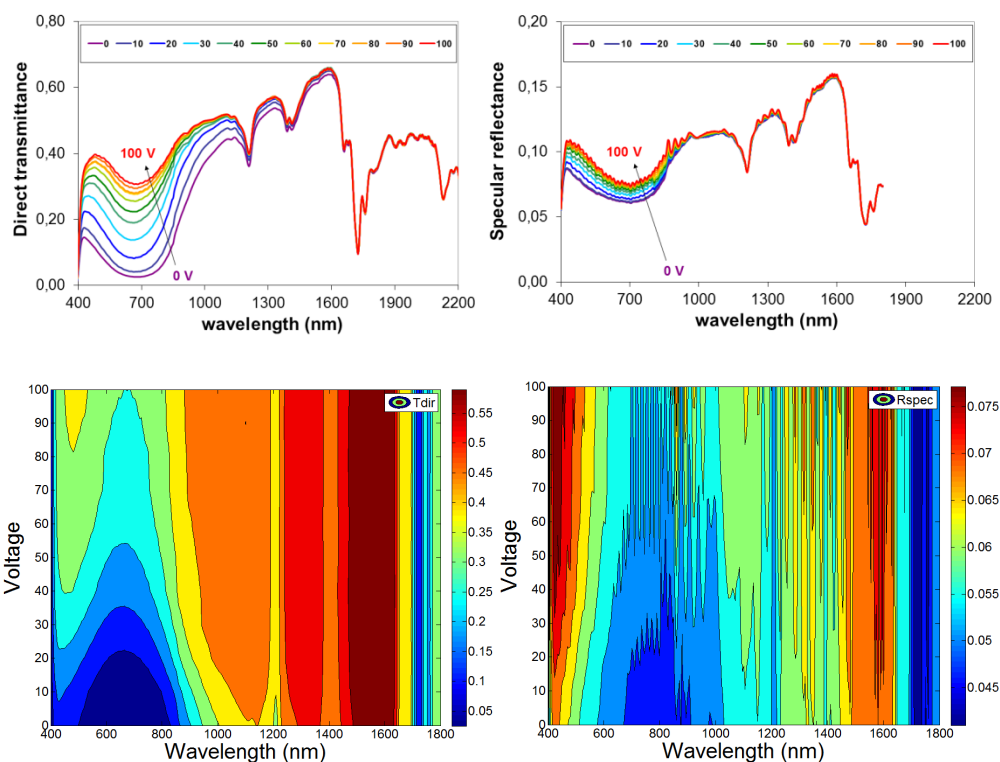


Figura 3 – Transmitancia directa y reflectancia especular de la ventana SPD en los estados de apariencia óptica intermedios para niveles de tensión entre 0 y 100 V con escalones de tensión de 10 V.

Los valores obtenidos en las gráficas contour plots pueden ser comparados con los valores obtenidos para la misma variable en donde los distintos niveles de tensión eléctrica aplicada se encuentran dentro del cajetín de la leyenda (eje vertical en gráficas contour plots).

4. Discusión

La borrosidad consiste en una nebulosidad causada por la dispersión de luz que puede ser causada por partículas suspendidas en la substancia, tal como partículas pigmentadas o contaminantes, o por una superficie imperfecta causada por suciedad, aceite o a una textura fina (HunterLab, 1997). La borrosidad es un importante atributo de apariencia el cual puede ser cuantificado y utilizado para evaluar la calidad de los objetos tales como líquidos, cristales, plásticos, paneles pintados e incluso metales. El tipo de borrosidad que se ve al visualizar un objeto es determinado principalmente por el modo el que se visualiza el objeto. Un material se visualiza transparente o parcialmente translúcido la luz transmitida a su través (borrosidad de transmisión). Un material se visualiza opaco

mirando la luz reflejada desde el (borrosidad de reflexión). Una apariencia borrosa se describe tanto por la borrosidad de transmisión o por la borrosidad de reflexión. Ambos términos son abajo descritos en mayor detalle.

La borrosidad de transmisión se define como la dispersión de la luz hacia adelante de una superficie de un espécimen cercanamente claro visualizado en transmisión. Normalmente la luz dispersada hacia atrás a través de la muestra no suele incluirse. Además, sólo la luz dispersada más de 2.5° de la luz incidente es considerada para contribuir a la borrosidad. Para obtener la borrosidad de transmisión debe reportarse el porcentaje de luz difusamente dispersada comparado con el total de luz transmitida. La borrosidad de reflexión se define como la propagación de la componente especular de la luz reflejada desde una superficie brillante. La componente especular es la luz que es reflejada desde un objeto a un ángulo igual pero opuesto a la luz incidente. La mayoría de los medidores de brillo miden a un ángulo especular más / menos varios grados y por lo tanto no puede reportar la cantidad propagada de componente especular. La luz que es propagada 0.3° de la especular es responsable de la diferencia de brillo en la imagen. La luz que se propaga 2° es responsable de una cualidad conocida como floración o borrosidad de reflexión de ángulo estrecho. La luz propagada 5° es referida como borrosidad de reflexión de ángulo ancho (HunterLab, 1997).

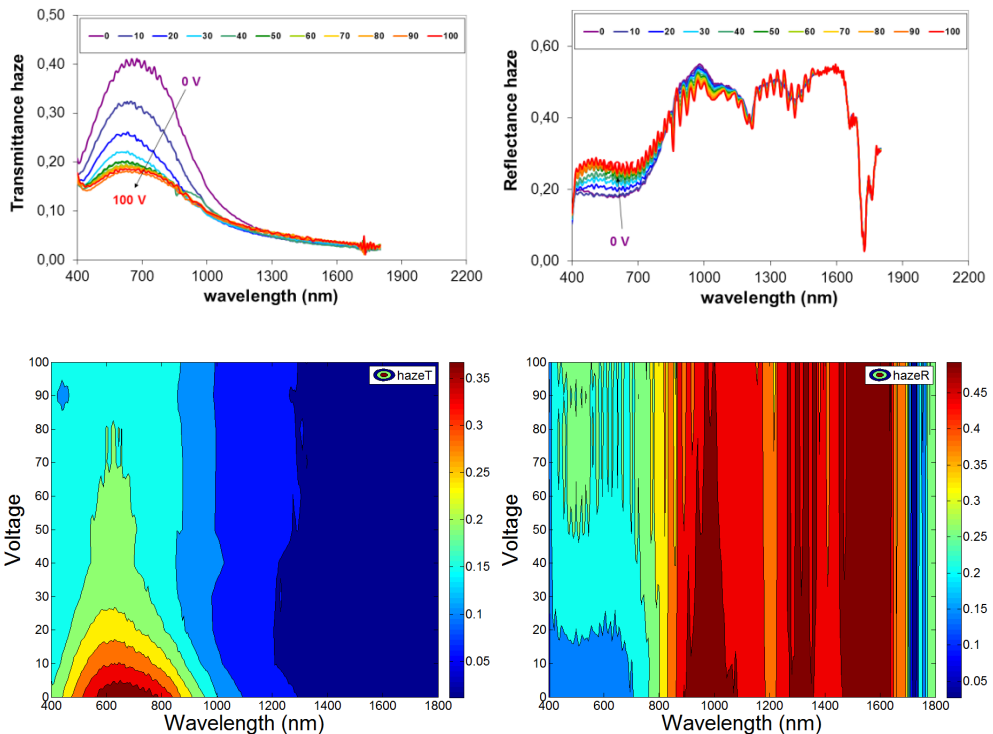


Figura 4 – Transmitancia difusa y reflectancia difusa de la ventana SPD en los estados de apariencia óptica intermedios para niveles de tensión entre 0 y 100 V con escalones de tensión de 10 V.

El nivel de borrosidad o porcentaje de luz difusa con respecto al total de la luz, ya sea transmitida o reflejada, fue calculada para los niveles intermedios de transparencia de la ventana inteligente de tipo SPD entre sus estados de apariencia óptica oscura, sin tensión eléctrica aplicada, y clara, con tensión eléctrica sinusoidal aplicada.

Las ecuaciones 2-3 son las utilizadas para calcular las borrosidades o parámetros “haze”:

$$HazeT = \frac{T_{diff}}{T_{tot}} \quad (2)$$

$$HazeR = \frac{R_{diff}}{R_{tot}} \quad (3)$$

El parámetro de camino promedio (ACP) es un parámetro cuyos valores varían entre 1 y 2. Un valor de ACP=1 se tiene cuando la luz total en el medio es igual a la luz colimada, siendo la componente difusa igual a cero. En el otro sentido, un valor de ACP=2 se tiene cuando la luz total en el medio es igual a la luz difusa, siendo la componente colimada igual a cero. El parámetro ACP propuesto para solucionar el modelo de cuatro flujos (M4F) [(Maheu, J.N. Letoulouzan, & Gouesbet, 1984); (Maheu & Gouesbet, Four-flux models to solve the scattering transfer equation: special cases, 1986)] sigue la ecuación 4 y se detalla en la figura 5 (Barrios, C. Alvarez, Miguitama, Gallego, & Niklasson, 2019).

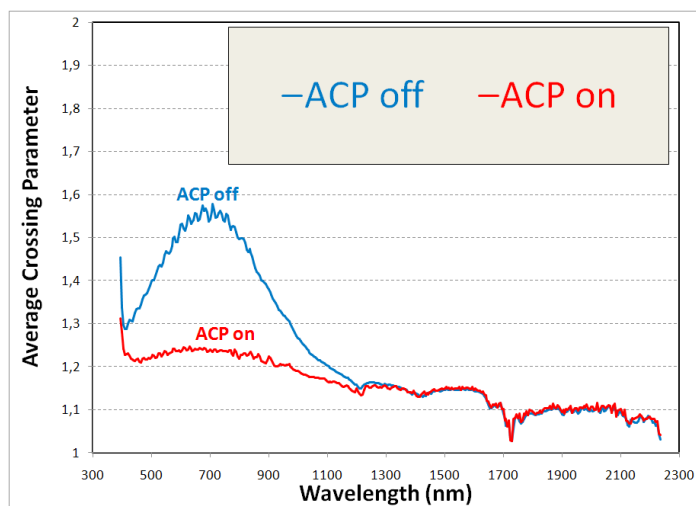


Figura 5 – Parámetro de camino promedio ACP (Average Crossing Parameter) de la ventana SPD en los estados de apariencia óptica para niveles de tensión de 0 (of) y 100 V (on).

La ecuación 4 aproxima el parámetro ACP mediante las intensidades de luz totales y difusas en sentido ascendente (j) y descendente (i) en las interfaces de la cara trasera ($z=0$) y de la cara frontal ($z=\delta$) (Barrios, C. Alvarez, Miguitama, Gallego, & Niklasson, 2019). La figura 5 puede ser comparada con la figura 4 superior izquierda para los niveles

de apariencia oscuro apagado con 0 V aplicados con ACP off y claro encendido con 100 V aplicados con ACP on.

$$ACP = 1 + \frac{i_{diff}^o + j_{diff}^\delta}{i_{tot}^o + j_{tot}^\delta} \quad (4)$$

5. Conclusiones

Mediante el estudio de la borrosidad de transmisión y reflexión de una ventana inteligente de dispositivos de partículas suspendidas en los niveles intermedios de los estados de apariencia óptica entre oscuro apagado y claro encendido, obtenidas a partir de las medidas de la transmitancias y reflectancias difusas y totales realizadas en trabajos anteriores, se ha relacionado la borrosidad de transmisión, obtenida en el presente trabajo, con el parámetro de camino promedio propuesto y validado en recientes trabajos como una posible solución del modelo de transferencia radiativa de cuatro flujos, a fin de desemparejar los coeficientes de extinción de la luz en los coeficientes intrínsecos de dispersión y de absorción (Barrios, C. Alvarez, Miguitama, Gallego, & Niklasson, 2019).

Reconocimientos

Los autores agradecen al proyecto CROMOG de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil por financiar la estancia de investigación de D. B. en Suecia en 2019.

Referencias

- Barrios, D., C. Alvarez, J., Miguitama, D., Gallego, & Niklasson, G. (2019). Inversion of two-flux and four-flux radiative transfer models for determining scattering and absorption coefficients for a suspended particle device. *Applied Optics*, 31, 8871-8881.
- Barrios, D., Vergaz, R., Sanchez-Pena, J., Granqvist, C., & Niklasson, G. (2013). Toward a quantitative model for suspended particle devices: optical scattering and absorption coefficients. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 111, 115-122.
- Barrios, D., Vergaz, R., Sanchez-Pena, J., Granqvist, C., & Niklasson, G. (2015). Simulation of the thickness dependence of the optical properties of suspended particle devices. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 143, 613-622.
- Granqvist, G. S. (2010). *Green Nanotechnology: Solutions for Sustainability and Energy in the Built Environment*. Boca Raton, Florida: CRC PRESS.
- HunterLab. (1997). Haze. Insigh of colors. *HunterLab*, 9(6), 1-.
- Maheu, B., & Gouesbet, G. (1986). Four-flux models to solve the scattering transfer equation: special cases. *Applied Optics*, 25, 1122-1128.
- Maheu, B., J.N. Letoulouzan, G., & Gouesbet. (1984). Four-flux m odels to solve the scattering transfer equation in terms of Lorenz–Mie parameters. *Applied Optics*, 23(19), 3353-3362.

Controlador de velocidad PID-2DOF-ACO para motor DC sobre plataforma ARM

Sebastián Palacios¹, Sebastián Chiriboga¹, William Montalvo¹

spalaciosl@est.ups.edu.ec, schiriboga@ups.edu.ec, wmontalvo@ups.edu.ec

¹ Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

Pages: 205–216

Resumen: El siguiente documento muestra el desarrollo de un controlador PID-2DOF sintonizado mediante Optimización por Colonia de Hormigas - ACO (Ant Colony Optimization), para controlar la velocidad de un motor DC. Un controlador PID-1DOF no tiene los mismos beneficios que un controlador PID-2DOF debido a que este último permite una buena respuesta ante cambios bruscos de punto de consigna y perturbaciones. Estas dos configuraciones de PID pueden ser sintonizadas con métodos convencionales como el de Ziegler-Nichols, pero los valores obtenidos no son los mejores comparados con la sintonización ACO. La ACO pertenece a la familia de algoritmos de inteligencia de enjambres, la empleada en el proyecto es la de Sistema de Hormigas – AS (Ant System), la misma necesita una función de costo que ajuste la optimización en base a un índice de desempeño, como la Integral del Error Absoluto en el Tiempo - ITAE (Integral Time Absolute Error). El hardware utilizado para la experimentación fue un motor DC con la tarjeta de programación STM32F4, para la obtención de valores experimentales; y el software MATLAB fue la herramienta computacional que combinó la sintonización ACO con la estructura del controlador PID-2DOF. La comparación resultados se la realizó con el método de Wilcoxon.

Palabras-clave: ACO por sus siglas en inglés (Optimización por Colonia de Hormigas); Controlador PID 2DOF por sus siglas en inglés (Proporcional Integral Derivativo 2 Grados de Libertad); ITAE por sus siglas en inglés (Integral del Error Absoluto en el Tiempo).

PID-2DOF-ACO speed controller for DC motor on ARM platform

Abstract: The following document shows the development of a PID-2DOF controller tuned by Ant Colony Optimization - ACO (Ant Colony Optimization), to control the speed of a DC motor. A PID-1DOF controller does not have the same benefits as a PID-2DOF controller because the latter allows a good response to sudden setpoint changes and disturbances. These two PID configurations can be tuned with conventional methods such as Ziegler-Nichols, but the values obtained are not the best compared to ACO tuning. The ACO belongs to the family of swarm intelligence algorithms, the one used in this project is the Ants System - AS (Ant System), it needs a cost function that adjusts the optimization based on a

performance index, as the Integral of the Absolute Error in Time - ITAE (Integral Time Absolute Error). The hardware used for the experimentation was a DC motor with the STM32F4 programming card, to obtain experimental values; and MATLAB software was the computational tool that combined ACO tuning with the PID-2DOF controller structure. The comparison results were made with the Wilcoxon method.

Keywords: ACO (Ant Colony Optimization); PID 2DOF controller (Proportional Integral Derivative 2 Degree of Freedom); ITAE (Integral Time Absolute Error).

1. Introduction

Los controladores Proporcional-Integral-Derivativo son muy comunes en las aplicaciones de control industrial, esto se debe a su simple estructura y significado de sus tres parámetros correspondientes, por lo cual el control PID es relativamente sencillo de entender por los ingenieros de control, en comparación a otras técnicas de control más complejas. Además, el desempeño de un controlador PID es satisfactorio en la mayoría de las aplicaciones de control (Alfaro, Vilanova, & Arrieta, A Single-Parameter Robust Tuning Approach for Two-Degree-of-Freedom PID Controllers, 2009). La formulación de un controlador de Dos-Grados-de-Libertad (2-GDL) tiene como objetivo tratar de satisfacer las condiciones de control regulatorio y servo control (MathWorks, 2015). El segundo grado de libertad proviene de la relativa flexibilidad obtenida a la hora de diseñar un sistema de control, en lo que se refiere a la posibilidad de procesar de manera independiente las señales de referencia y salida (Alfaro, Arrieta, & Vilanova, 2009). Por otra parte, la optimización de colonia de hormigas por sus siglas en inglés ACO es un algoritmo bioinspirado perteneciente a la familia de técnicas basadas en la inteligencia por enjambres; la optimización ACO es una técnica probabilística para solucionar problemas dinámicos en variables reales y que pueden reducir la búsqueda para encontrar los mejores caminos. El comportamiento social de insectos o enjambres son observados y modelados para un propósito computacional (Hanifah, Toha, & Ahmad, 2013).

La mayoría de los lazos de control realimentados son sintonizados para el rechazo de las perturbaciones (control regulatorio) o para un buen seguimiento del cambio en la señal consigna (servo control), siendo necesaria la elección de uno u otro modo de sintonización y obteniendo un mal rendimiento cuando se utiliza una sintonía para regulación y servo control (Araki & Taguchi, 2003).

El control PID con sintonización ACO puede ser encontrado en varios trabajos investigativos, por ejemplo, se puede destacar el trabajo de R. Singh (Joshi & Singh, 2016), donde se realiza un control PID de orden fraccional que destaca el uso del algoritmo ACO para la sintonización del controlador y que de igual manera que en el presente trabajo investigativo la planta donde se actúa es un motor (Viteckova & Vitecek, 2016), desarrollan un algoritmo de sintonización para un controlador 2DOF PID, para plantas integradoras, pese a que tiene como alcance el desarrollo del algoritmo matemático, no se expone una comparación de resultados en una planta implementada como tal Infhuya y Kamaraj (2016), sintonizan un 2DOF PID con otro algoritmo bioinspirado como es la Optimización de Cúmulos de Partículas – PSO (por sus siglas en inglés Particles Swam Optimization), para un sistema AVR (por sus siglas en inglés Automatic

Voltage Regulator), donde exponen los resultados de su comportamiento y rendimiento. Prainetr, Phurahong, Janprom y Prainetr (2019), utilizan ACO con un controlador PID de un grado de libertad para el control de temperatura, y además realiza una sintonización mediante Ziegler-Nichols para compararlo con la optimización por colonia de hormigas, Jangra y Kait (2017), utilizaron tres tipos de ACO para analizarlos y compararlos y de esta manera verificar las fortalezas y debilidades de cada método. Y cabe destacar que el método utilizado en el presente trabajo investigativo corresponde al método Sistema de Hormigas.

La aplicación de la ACO es novedosa en el control PID, incluso en un área de conocimiento tan importante como es la medicina. Se puede encontrar un trabajo investigativo en la librería de libre acceso de la revista IEEE referida en Liang (2019), donde se realiza el control PID con optimización por colonias de hormigas de la hipnosis con propofol utilizando la entropía de permutación de Renyi como variable controlada.

Una aplicación del controlador PID 2DOF puede ser encontrada en el trabajo de Dong, Li y Chen (2017), donde se realiza el control de un motor síncrono de imán permanente, y además incorpora la lógica de programación difusa con el PID de dos grados de libertad.

Al hablar de implementación de software y hardware para sistemas de control se hace referencia específicamente a los sistemas embebidos los cuales no son más que el resultado de la combinación de varios elementos tanto de software como de hardware que componen el sistema final (INCIBE, 2018). Utilizar hardware de arquitectura ARM como la tarjeta STM32F4 para el procesamiento de datos de velocidad del motor DC, puede resultar beneficioso en algunos aspectos como la eficiencia mostrada en la ejecución de códigos y el tiempo de respuesta que se obtiene en el proceso de control (Navas, 2017).

Como se evidenció en los diferentes trabajos investigativos, los dos métodos mencionados anteriormente tanto como la ACO y el PID 2DOF presentan grandes beneficios (Balaguer, Sanz, García, & Albertos, 2019); (Arito, 2010). Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es combinar la sintonización mediante ACO con el control PID 2DOF y verificar los resultados que se obtengan a partir de pruebas experimentalmente, tanto como para un PID 2DOF como para un PID de un grado de libertad

2. Métodos

La metodología de implementación para el controlador PID 2DOF sintonizado mediante el algoritmo ACO, se describe a continuación:

2.1. Metodología para la recolección de datos utilizando la tarjeta ARM STM32F4-Discovery:

Se obtuvo los datos de velocidad del motor DC mediante la conexión serial del encoder del motor a la tarjeta STM32F4-Discovery. Se tomaron 2000 muestras pseudo aleatorias, con un tiempo de muestreo de 10ms, en base al criterio de Nyquist, filtrando aquellas muestras que presentaban ruido. La Figura 1 muestra una parte de las señales de entrada y salida recolectadas.

2.2. Metodología de identificación del sistema (conjunto actuador + motor + tacómetro):

Se empleó el toolbox de identificación de Matlab, donde se tomaron el 70% de las 2000 muestras para construir un modelo ARX y se emplearon el 30% de las muestras restantes para validarlo. Uno de los criterios de validación empleados fue la comparación gráfica de la respuesta original con la simulada con el modelo, como se muestra en la Figura 2(a).

Otro criterio fue la simulación en el modelo de la respuesta del sistema ante una entrada escalón, para corroborar su comportamiento dinámico y estático, de tal manera que se asemeje al sistema real, como se muestra en la Figura 2 (b).

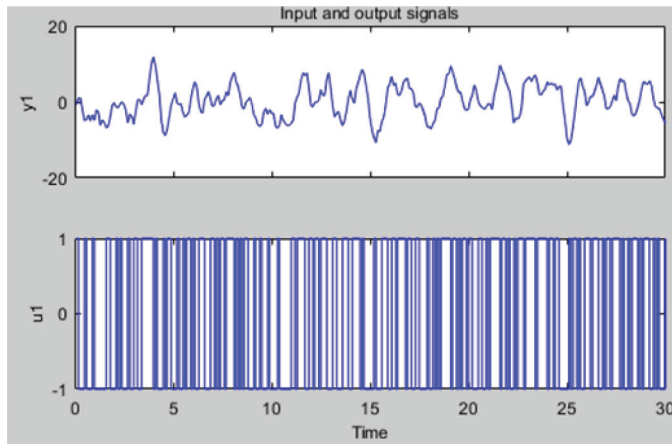


Figura 1 – Curva de estabilización del modelo matemático $G(s)$

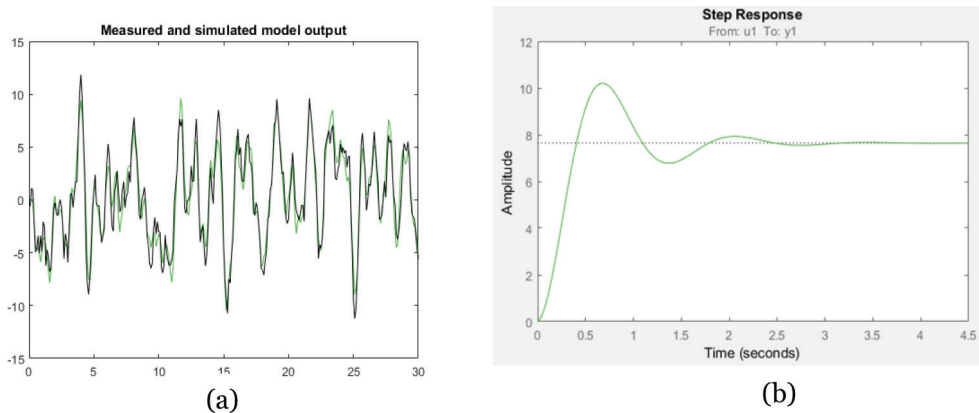


Figura 2 – (a) Comparación de señales (b) Respuesta escalón del modelo del sistema.

La función de transferencia obtenida tiene la expresión matemática de la Ec. (1):

$$G(s) = \frac{2.455s + 177}{s^2 + 3.163s + 23.16} \quad (1)$$

Posteriormente, se calculó la transformada Z con la función “c2d” de Matlab, la cual se representa en la Ec. (2)

$$G(z) = \frac{0.9861z + 0.5022}{z^2 - 1.534z + 0.7289} \quad (2)$$

Los bloques de los controladores PID 2DOF continuo y PID 2DOF discreto fueron proporcionados por la librería de Simulink de Matlab. Se instaló la librería WAIJUNG para Matlab, la cual permitió realizar la programación por bloques en el entorno de Simulink, ya que dicha librería contiene diferentes herramientas de comunicación como: ADC, UART, HOST SERIAL, etc. y herramientas que permitieron el control tales como: PWM, ENCODER, etc.

2.3. Metodología de sintonización utilizando el algoritmo ACO

La Ec. (3) presenta la estructura del algoritmo de optimización por colonia de hormigas ACO, la cual fue implementada en el sistema de control referido en Arito (2010).

$$p(c_{ij}|s^p) = \frac{\tau_{ij}^\alpha \cdot \eta(c_{ij})^\beta}{\sum_{c_{il} \in N(s^p)} \tau_{il}^\alpha \cdot \eta(c_{il})^\beta}, \forall c_{ij} \in N(s^p) \quad (3)$$

Donde:

- τ_{ij} es el valor de feromona asociado a cada componente c_{ij}
- η es una función que asigna a cada paso de la construcción un valor heurístico para el componente de solución factible $c_{ij} \in N(s^p)$ son los valores de información heurística.
- α y β son los valores que determinan la importancia de la feromona.

Se utilizó la integral del error absoluto en el tiempo (ITAE) como función de costo e índice de desempeño (Embedded Staff, 2012), en la actualización de las feromonas y en la evaluación final de los controladores. La Ec. (4) muestra su función matemática,

$$ITAE = \int_0^\infty t |e(t)| dt \quad (4)$$

El algoritmo ACO se lo desarrolló en un script en Matlab, con el cuál se obtuvo los valores correspondientes para el controlador PID 2DOF, que posteriormente se los vinculó con la función de transferencia del sistema (ver Figura 4).

En base a (The MathWorks, 2105), los parámetros del controlador PID 2DOF fueron de o en b y c, además de carecer de filtro.

La ACO se la configuró con los siguientes parámetros para lo cual fueron considerados los más importantes para desarrollar el algoritmo:

- Número de iteraciones: 2
- Número de hormigas: 30
- Valor de alfa: 0.8
- Valor de beta: 0.2
- Tasa de evaporación de feromona: 0.7
- Número de parámetros para la feromona: 3

2.4. Metodología de análisis de resultados empleando la prueba de rango con signos de Wilcoxon

Para el análisis estadístico de los resultados se empleó el método de la prueba de rango con signos de Wilcoxon, el cual permite comparar dos muestras de datos que no tienen simetría es decir que carecen de distribución normal. El procedimiento para realizar el método de Wilcoxon se encuentra referenciado en (Amata, 2016). Se consideró los datos de error obtenido tanto del control PID 1DOF como el de PID 2DOF ambos sintonizados con ACO para emplearlos en el método de Wilcoxon, y como representación de resultado se consideró el valor de p (aprobación de hipótesis) para cada escenario presentado

3. Resultados

A continuación, se presenta el esquema del lazo de control del proyecto realizado para la presentación de resultados reales:

3.1. Esquema controlador PID 2DOF sintonizado por ACO en lazo cerrado.

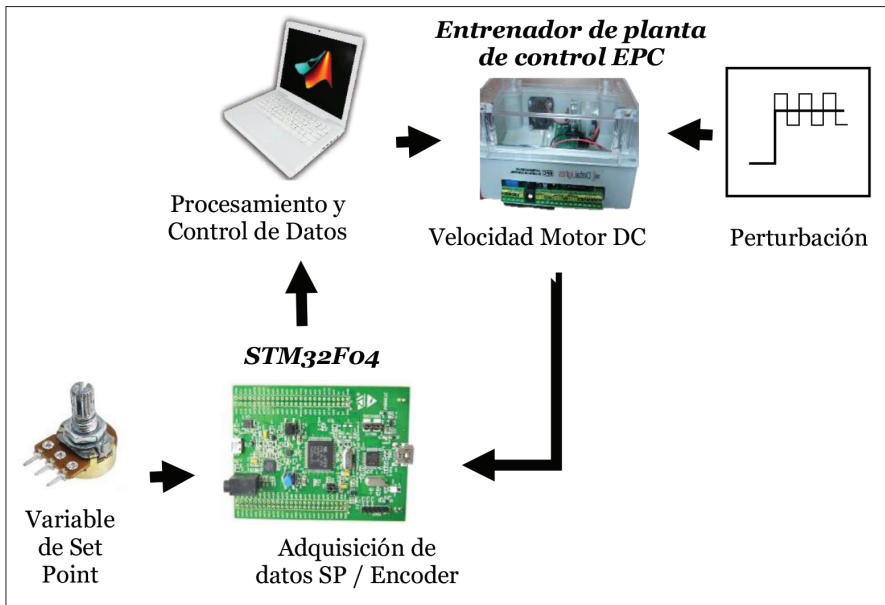


Figura 3 – Elementos en bloque para la implementación de control PID 2DOF sintonizado por ACO.

El lazo de control de la Figura 3, muestra el hardware de los elementos empleados en la estrategia de control, sobresaliendo la tarjeta STM32F04 Discovery con tecnología ARM.

3.2. Respuesta del sistema en tiempo discreto del controlador PID 2DOF para regular la velocidad del motor DC sintonizado con ACO

Los resultados óptimos para el control PID 2DOF sintonizado con ACO se obtuvieron de manera simulada, sin incluir el motor DC de manera física, como se muestra en la Figura 4. Los valores obtenidos posteriormente se emplearon en el sistema real.

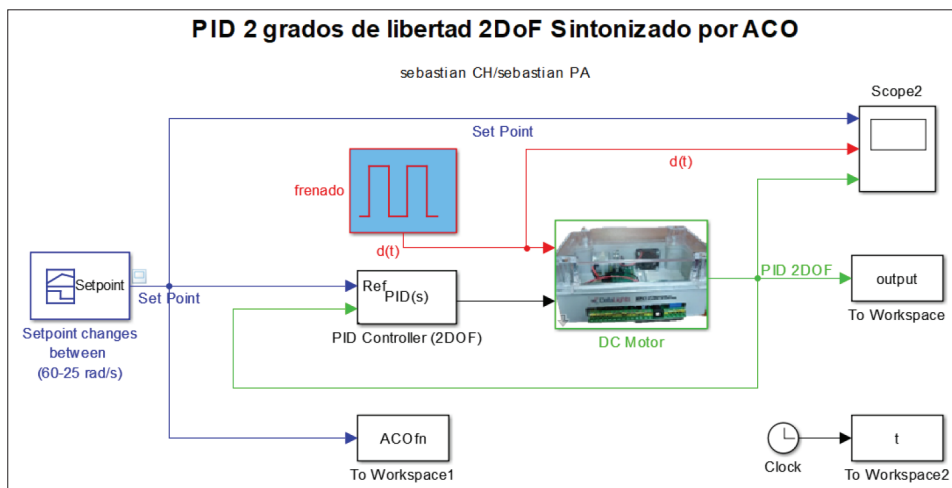


Figura 4 – Simulación del controlador sintonizado con ACO diseñada en Simulink.

Ante diferentes cambios de punto de consigna y perturbaciones, el controlador presentó una respuesta satisfactoria como se muestra en la Figura 5.

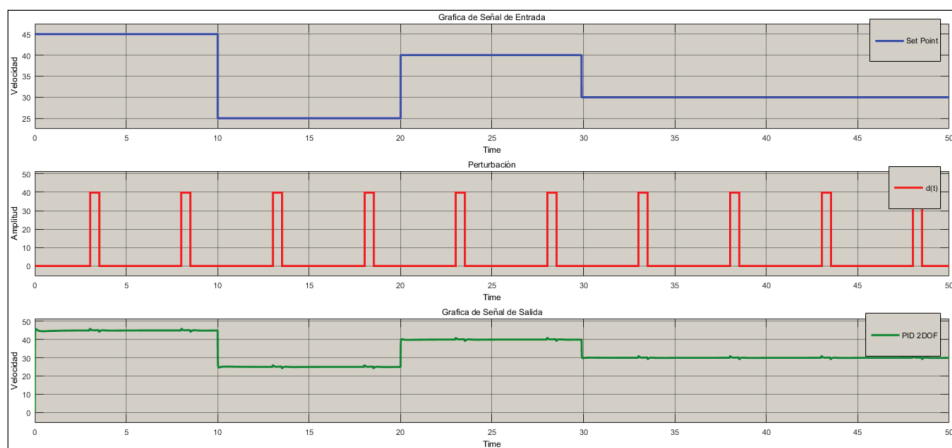


Figura 5 – Respuesta del sistema ante diferentes setpoints y perturbaciones con el control con parámetros PID 2DOF sintonizado con ACO.

3.3. Diseño experimental con el toolbox WAIJUNG en Simulink del controlador PID 2DOF para regular la velocidad del motor DC sintonizado con ACO

La tecnología de la tarjeta ARM requirió archivos especiales para la comunicación con Matlab-Simulink, por lo tanto, se empleó el toolbox Waijung que permitió una interfaz sencilla de implementar como la que se muestra en la Figura 7.

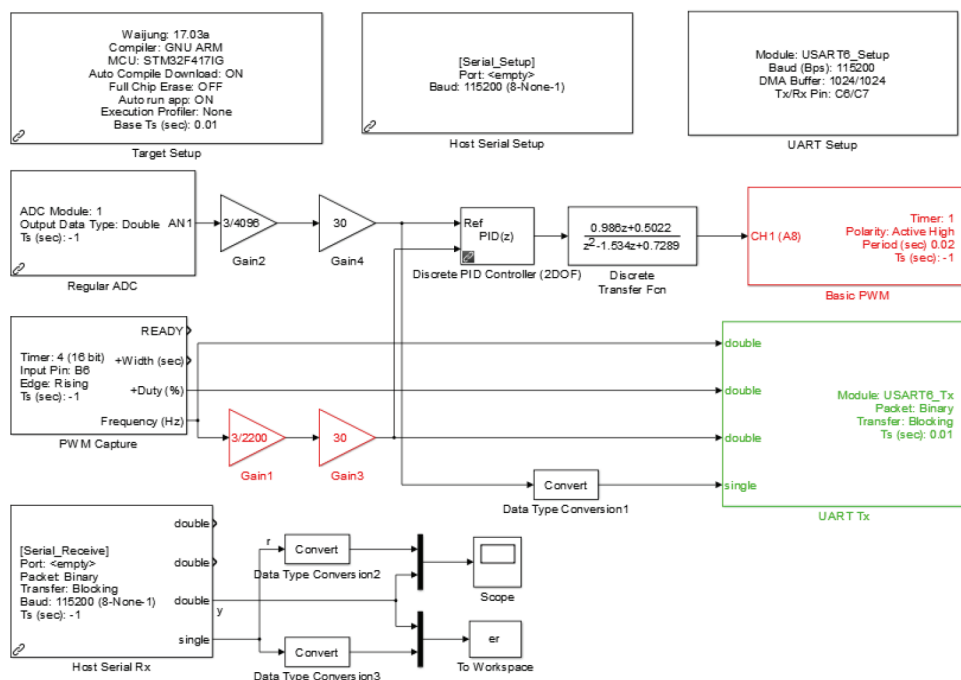


Figura 6 – Diagrama para implementación práctica del control con parámetros PID 2DOF sintonizado con ACO.

3.4. Resultados estadísticos del controlador PID 2DOF sintonizado por ACO

Se tomó experimentalmente 2000 resultados del ITAE de los dos controladores, los cuales fueron analizados mediante la prueba de rangos con signo de Wilcoxon. La herramienta computacional que se utilizó fue el programa IBM SPSS Statistics, arrojando los resultados que se muestran en la Tabla 1, con el siguiente detalle: Se planteó la hipótesis nula (H_0) como: “En un controlador PID 2DOF el error en los cambios de setpoint es muy aproximado a un controlador PID 1DOF” y como hipótesis alterna (H_a): “En un controlador PID 2DOF el error en los cambios de setpoint es mitigado de mejor manera que en un controlador PID 1DOF”

	N	Rango Promedio	Suma de Rangos
<i>Rangos Negativos</i>	1701	1677,88	2853944,00
<i>Rangos Positivos</i>	1517	1532,91	2325427,00
<i>Empates</i>	0		
<i>Total</i>	3218		
<i>Z</i>	-5,013		
<i>p</i>	^a 0,000		

^a Las cifras presentadas en la Tabla 1 tienen una aproximación decimal máxima de tres cifras.

Tabla 1 – Comparación del error de setpoint entre un PID y PID 2DOF, ambos sintonizados con ACO.

Para la Tabla 2, se planteó la hipótesis nula (H_0) como: “En un controlador PID 2DOF el error ante presencia de perturbaciones es muy aproximado a un controlador PID 1DOF” y como hipótesis alterna (H_a) se planteó: “En un controlador PID 2DOF el error ante presencia de perturbaciones es mitigado de mejor manera que en un controlador PID 1DOF”.

En la Tabla 2 se obtuvo como resultado mediante la prueba de Wilcoxon, si el valor de p es menor a 0.05 representa una solución de hipótesis alterna.

	N	Rango Promedio	Suma de Rangos
<i>Rangos Negativos</i>	2106	1885,99	3971903,00
<i>Rangos Positivos</i>	1112	1532,91	1207468,00
<i>Empates</i>	0		
<i>Total</i>	3218		
<i>Z</i>	-26,223		
<i>p</i>	^a 0,000		

^a Las cifras presentadas en la Tabla 1 tienen una aproximación decimal máxima de tres cifras

Tabla 2 – Comparación del error de perturbación entre un PID y PID 2DOF, ambos sintonizados con ACO.

4. Discusión

El diseño de la Figura 3, demuestra que es posible integrar el sistema de control PID 2DOF sintonizado con ACO en una plataforma con tecnología ARM y consecuentemente realizar la experimentación con un motor DC. Lo importante es desarrollar de manera correcta y verificar que los resultados sean los más cercanos al control deseado tanto en el cambio de setpoint como en la presencia de perturbación.

La implementación de un sistema de control moderno y optimo tanto en software como en hardware, demostró tener muy buenos resultados frente a un controlador PID 1DOF y el algoritmo de Optimización de Colonia de Hormigas presentó un gran beneficio a la hora seleccionar las ganancias PID que resolvieron la incertidumbre mediante predicción estocástica

Los datos presentados en las Tablas 1 y 2 indicaron que un controlador PID 2DOF disminuye o mitiga el error de mejor manera que un controlador PID 1DOF tanto para el caso de cambio de setpoint como para la presencia de perturbaciones. Todo esto comprobado con la prueba de rango con signo de Wilcoxon.

5. Conclusiones

Se puede destacar en este trabajo investigativo que las hipótesis que se plantean en el método de Wilcoxon son estimaciones que validan una hipótesis u otra, pero no de manera definitiva, más bien demuestran que no existen suficientes pruebas para demostrar lo contrario.

Para obtener un mejor resultado en la función de costo en la sintonización del ACO, se recomienda un número mayor de hormigas que interactúen en el método, cabe mencionar que esto tendrá una repercusión en la rutina del software de Matlab, por lo que requiere mayor uso de recursos y el tiempo de entrega será aún más elevado, pero como beneficio se obtendrán mejores valores para los parámetros del control.

La ACO necesita una función de costo que puede ser la ITAE o cualquier índice de desempeño de controladores, como puede ser el sobre impulso, tiempo de establecimiento, tiempo de subida, etc. La ventaja del ITAE es que entrega información tanto del estado estacionario como del transitorio de la respuesta del sistema, lo que conlleva a una mejor estrategia de control.

Socialmente, tomando en cuenta que, desde el punto de vista práctico, el uso de controladores eficientes permite a la industria disminuir el consumo de energía de sus procesos y en procura de mejorar la productividad, este trabajo se encontraría alineado hacia las políticas gubernamentales del proyecto nacional del buen vivir para el desarrollo económico social de la nación en su objetivo 11

Reconocimientos

A la Universidad Politécnica Salesiana, y al grupo de Investigación en Electrónica Control y Automatización – GIECA, por su contingencia y auspicio.

Referencias

Alfaro, V., Arrieta, O., & Vilanova, R. (2009). Control de Dos-Grados-de-Libertad (2-GdL) aplicados al Benchmark de Sistemas para Controladores PID. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 6(2), 59-67.

- Alfaro, V., Vilanova, R., & Arrieta, O. (2009). A Single-Parameter Robust Tuning Approach for Two-Degree-of -Freedom PID Controllers. *Proceedings of the European Control Conference, Budapest*, 1788-1793.
- Amata, J. (Enero de 2016). *Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon* . Obtenido de RPub: https://rpubs.com/Joaquin_AR/218464
- Araki, M., & Taguchi, H. (2003). Two-Degree-of-Freedom-PID-Controllers. *International Journal of Control, Automation*, 1(4), 401-411.
- Arito, F. (2010). *Algoritmos de Optimización basados en Colonia de Hormigas aplicadas al Problema de Asignación Cuadrática y otros problemas relacionados*. San Luis: Universidad Nacional de San Luis.
- Balaguer, V., Sanz, R., García, P., & Albertos, P. (2019). Two-Degree-of-Freedom PID Tuning Based on an Uncertainty and Disturbance Estimator. *Proceedings of the 7th International Conference on Systems and Control*, 424-429.
- Dong, N., Li, X., & Chen, Z. (2017). Research on Two-Degree-of-Freedom PID Controller of Permanent Magnet Synchronous Motor Based on Fuzzy Inference. *20th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)*, 1-.
- Embedded Staff. (25 de Julio de 2012). *A stepwise method for tuning PI controllers using ITAE criteria*. Obtenido de Embeed: <https://www.embedded.com/a-stepwise-method-for-tuning-pi-controllers-using-itae-criteria/>
- Hanifah, R., Toha, S., & Ahmad, S. (2013). PID-Ant colony Optimization (ACO) control for Electric Power Assist Steering system for electric vehicle. *IEEE International Conference on Smart Instrumentation Measurement and Applications (ICSIMA)*, 1-.
- INCIBE. (8 de Febrero de 2018). *Introducción a los sistemas embebidos*. Obtenido de INCIBE: <https://www.incibe-cert.es/blog/introduccion-los-sistemas-embebidos>
- Infhuja, R., & Kamaraj, N. (2016). Implementation of PSO tuned robust 2DOF PID controller for AVR system. *International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT)*, 159-163.
- Jangra, R., & Kait, R. (2017). Analysis and Comparison Among Ant System; Ant Colony System and Max-Min Ant System With Different Parameters Setting. *3rd IEEE International Conference on "Computational Intelligence and Communication Technology*, 1-4.
- Joshi, S., & Singh, A. (2016). Fractional Order PID Control using Ant Colony Optimization. *IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES)*, 1-.
- Liang, Z. (8 de Julio de 2019). *Ant Colony Optimization PID Control of Hypnosis With Propofol Using Reyni Permutation Entropy as Controlled Variable*. Obtenido de [www.ieee.org: https://ieeexplore.ieee.org/document/8756254](https://ieeexplore.ieee.org/document/8756254)

- MathWorks. (2015). *Two-Degree-of-Freedom PID Controllers*. Obtenido de MathWorks: <https://la.mathworks.com/help/control/ug/two-degree-of-freedom-2-dof-pid-controllers.html>
- Navas, M. (26 de Noviembre de 2017). *Procesadores x86 vs ARM: diferencias y ventajas principales*. Obtenido de Profesional Review: https://www.profesionalreview.com/2017/11/26/procesadores-x86-vs-arm-diferencias-ventajas-principales/#La_eficiencia_de_los_procesadores_ARM
- Prainetr, S., Phurahong, T., Janprom, K., & Prainetr, N. (2019). Design Tuning PID Controller For Temperature Control Using Ant Colony Optimization. in *2019 IEEE 2nd International Conference on Power and Energy Applications*, 124-127.
- The MathWorks. (2105). *Two Degree-of-Freedom Control for Setpoint Tracking*. Obtenido de The MathWork: https://la.mathworks.com/help/simulink/slref/two-degree-of-freedom-pid-control-for-setpoint-tracking.html?s_tid=srchtitle%20%20%20/%20info%20de%202dof#d117e583180
- Viteckova, M., & Vitecek, A. (2016). 2DOF PID controller tuning for integrating plants. *17th International Carpathian Control Conference (ICCC)*, 793-797.

Tratamiento de aguas residuales de la industria curtiembre mediante carbonización hidrotermal

Diego Flores¹, Edwin Albacura¹, Jhonny Achote¹

drflores@uce.edu.ec, ejalbacura@uce.edu.ec, jsachote@uce.edu.ec

¹ Universidad Central del Ecuador, 170109, Quito, Ecuador

Pages: 217–227

Resumen: La presente investigación plantea un método alternativo para el tratamiento de aguas residuales de la industria curtiembre, que reemplace al método tradicional, con el objetivo de disminuir el consumo de reactivos químicos. El proceso realizado es la carbonización hidrotermal (HTC), que consiste en introducir el agua residual en un reactor hermético a alta temperatura, luego de un tiempo determinado se obtiene un líquido donde precipita un lodo compuesto por materia orgánica y cromo, dejando el agua residual libre de contaminantes; a la par se realizó el método tradicional en donde se precipita el lodo con la aplicación de hidróxido de sodio. Mediante el proceso HTC se logra una reducción de la demanda química de oxígeno (DQO) del 67,7% y una reducción de la concentración de cromo total del 99,98%, resultados muy similares a los que se obtiene con el método tradicional, donde se alcanzaron valores del 68,0 % y 99,99 % respectivamente. Por lo tanto, se concluye que es factible la implementación del proceso HTC para disminuir los contaminantes del agua residual en empresas que se dedican al tratamiento de pieles.

Palabras-clave: Industria Curtiembre; Carbonización Hidrotermal; Demanda Química de Oxígeno; Cromo Total.

PID-2DOF-ACO speed controller for DC motor on ARM platform

Abstract: The present study proposes an alternative method for the treatment of wastewater of the tannery industry, which replaces the conventional method, with the objective of reducing the consumption of chemical reagents. The process carried out is called “hydrothermal carbonization” (HTC), that consists of introducing the wastewater into a hermetic reactor at a high temperature, after a certain time a liquid is obtained where a mud composed of organic matter and chromium precipitates, leaving the residual water contaminant free. Simultaneously, the traditional method was performed where the mud is precipitated with the application of sodium hydroxide. The HTC process achieves a reduction in chemical oxygen demand (COD) of 67,7% and a reduction in the total chromium concentration of 99,98%, results very similar to those obtained with the traditional method, where values of 68,0% and 99,99% respectively were achieved. Therefore, it is concluded that the

implementation of the HTC process is feasible to reduce waste water pollutants in companies engaged in leather treatment.

Keywords: Tannery Industry; Hydrothermal Carbonization; Chemical Oxygen Demand; Total Chromium.

1. Introduction

La obtención de pieles a partir del cuero de animales es una de las actividades humanas más antiguas (Grömer, Russ-Popa, & Saliari, 2017), esta actividad ha existido en América desde la época precolombina; sin embargo, se consolidó con la llegada de los españoles al continente, quienes trajeron los conocimientos de la curtición. Con el paso del tiempo el tratamiento del cuero se ha convertido en una empresa manufacturera con procesos tecnológicos que han mejorado la calidad de los productos, siendo en la actualidad una de las industrias que aporta a la economía nacional con la fabricación de zapatos, vestimenta, accesorios, entre otros productos. En Ecuador, la industria curtiembre se encuentra concentrada en: Azuay, Cotopaxi, Imbabura y Tungurahua; siendo la última provincia, donde están alrededor de 170 empresas que representan el 80% del total de las curtiembres del país (Falcón, 2017).

El proceso de fabricación de cuero consta de las siguientes etapas: pretratamiento, curado, pelambre, desencalado, descarnado, desengrasado, piquelado, curtido, secado, engrasado y planchado (Ministerio del Ambiente, 2013); en cada una se utilizan diferentes sustancias químicas y se generan diferentes tipos de desechos, entre los que están: lodos, aguas residuales y envases de los reactivos químicos. Tanto el lodo como el agua residual contienen altas concentraciones de cromo, taninos, sulfuros, resinas, biocidas, detergentes, etc., que causan problemas al medio ambiente y riesgos a la salud del ser humano. El cromo es considerado un metal pesado, puede estar en el estado oxidativo III o VI; el Cr^{6+} puede causar bronquitis, neumonía, y otros efectos respiratorios, además que es considerado como cancerígeno, mientras que el Cr^{3+} a bajas concentraciones es un elemento esencial para los humanos; sin embargo, el Cr^{3+} fácilmente puede oxidarse a Cr^{6+} , que es el elemento más tóxico (Environmental Protection Agency, 2016), por lo cual es considerado el principal contaminante en la industria curtiembre. El cromo que está presente tanto en las aguas residuales como en los lodos, provienen de la etapa de curtido, debido a que en este proceso se utilizan sales de este metal para otorgar al cuero propiedades como: elasticidad, durabilidad, resistencia, permeabilidad, apariencia, entre otras.

Entidades como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Agencia de Protección del Medioambiente (EPA) y la Unión Europea (EU) (European Commission, 2003) tienen definidas las concentraciones máximas permisibles de metales potencialmente tóxicos (incluido el cromo) que pueden ser descargadas a los efluentes, además de los riesgos que tienen para el hombre y el medio ambiente. Cada país tiene su regulación propia, en Ecuador las descargas al sistema de alcantarillado de contaminantes están sujetas a regularización de acuerdo con el Registro Oficial 387, donde se establece que el límite máximo permisible de Cr^{6+} es de 0,5 ppm (Ministerio del Ambiente, 2015). Para cumplir con la normativa ambiental, las industrias deben contar con sistemas de tratamiento eficientes, que logren disminuir los contaminantes; esto implica que se implementen

procesos químicos, físicos, y/o biológicos, qué por lo general conllevan al consumo de reactivos químicos para lograr reducir los parámetros de control a niveles permitidos.

El proceso tradicional utilizado para el tratamiento de las agua residuales de la industria curtiembre se lo realiza con óxido de calcio (Dixit, Yadav, Dwivedi, & Das, 2014), reactivo químico que se añade al agua para aumentar del pH hasta un punto donde se forma el hidróxido de cromo $\text{Cr}(\text{OH})_3$ ($K_{ps}=6 \times 10^{-31}$) (Velasco, 2015) que es un compuesto prácticamente insoluble, lo que hace que se forme un lodo que va hacia el fondo del recipiente arrastrando consigo la materia orgánica, dejando un líquido casi transparente pero que todavía contiene sólidos suspendidos y cromo. Mediante un tratamiento secundario se disminuye la concentración de estos parámetros hasta los valores permisibles para la descarga del agua al alcantarillado, dentro de estos métodos están: el proceso Fenton, tratamiento con luz ultravioleta y tratamiento con ozono [(Panizza & Cerisola, 2004); (Calheiros, Rangel, & Castro, 2007); (Mandal, Dasgupta, Mandal, & Datta, 2010); (Schrack, José, Moreira, & Schröder, 2005); (Houshyar, Khoshfetrat, & Fatehifar, 2012)].

La aplicación de los métodos mencionados anteriormente implica la utilización de productos químicos que constituyen un costo y generan residuos ambientales, por lo que se han planteado diferentes alternativas para el tratamiento de los efluentes de la industria curtiembre. Una de las primeras investigaciones fue realizada por Song, Williams y Edyvean (1999), donde se diseñó una columna de sedimentación que genera las condiciones necesarias de tiempo de residencia y flujo para que precipite la materia orgánica sin la necesidad de añadir un compuesto químico, obteniéndose los siguientes resultados, el DQO se redujo un 41,5% y la concentración de cromo un 83,2%. En el estudio de Costa, Botta, Espindola y Olivi (2007) se aplica un método electroquímico utilizando diferentes tipos de electrodos, logrando disminuir hasta un 45% de la cantidad carbono orgánico total (TOC), además de reducir los compuestos fenólicos y la toxicidad debido al cromo. Por otro lado, Santosa, Siswanta, Sudiono y Utarianingrum (Santosa, Siswanta, Sudiono, & Utarianingrum, 2008) realizó una investigación para la remoción de cromo III de aguas de las curtiembres, utilizando ácido húmico de la quitina como medio adsorbente, logró valores de remoción cercanos al 75%. (Tiravanti, Petruzzelli y Passino (1997) propuso un proceso para reducir la carga de Cr III de un agua residual utilizando un método basado en el intercambio iónico, logrando una reducción de lodos del 80% respecto al proceso convencional. Por su parte, en un estudio realizado por Sarin y Pant (2005) se utilizaron diferentes tipos de medios adsorbentes para eliminar el cromo del agua residual, siendo la corteza del eucalipto la que dio mejores resultados, logrando remover hasta el 99% de Cr (VI).

En la actualidad existen procesos más eficientes para el tratamiento de aguas residuales, que reducen tiempos y costos, uno de estos métodos es la carbonización hidrotermal [(Titirici & Antonietti, 2009); (Sevilla & Fuertes, 2009)] (HTC). Esta tecnología se basa en introducir una muestra líquida en un reactor herméticamente cerrado, el cual alcanza una temperatura en el rango de 170 °C a 350 °C, la presión dentro del reactor se autogenera y no tiene mayor influencia en el proceso. Con un tiempo de reacción determinado, se dan diferentes reacciones, siendo las más importantes la carbonización y la deshidratación, que hacen que los compuestos orgánicos que están disueltos o

dispersos en el agua formen un material sólido carbonoso, conocido como hidrochar. En el reactor se generan gases, pero con una concentración baja que va del 2% al 5%, mientras que el material carbonoso representa entre el 50% al 80% (Libra, et al., 2014), este producto puede ser aprovechado en diferentes aplicaciones como: fotocatalizador, biosensor, remediador de suelo, etc. El HTC tiene las siguientes ventajas: no utiliza reactivos químicos, el equipo es sencillo, los costos son bajos y los tiempos de tratamiento cortos, por lo que se ha empleado para el tratamiento de aguas residuales municipales (Berge, et al., 2011), de residuos agrícolas (Oliveira, Blöhse, & Ramke, 2013) y residuos industriales de diferente procedencia.

El objetivo de este trabajo es utilizar la carbonización hidrotermal como técnica para el tratamiento de los efluentes de una curtiembre, para que la materia orgánica del agua residual junto con el cromo forme un material carbonoso que precipite, disminuyendo las concentraciones de Cr y DQO sustancialmente y a la vez se obtenga un sólido carbonoso con valor agregado que puede ser aprovechado en varias aplicaciones. El proceso propuesto reemplazará al método de precipitación con cal y ofrecerá la ventaja de ser un método amigable con el medio ambiente al no utilizar ningún producto químico.

2. Métodos

2.1. Reactivos

El agua residual de la industria curtiembre fue tomada de la empresa “Taller de Terminados Alborada”, ubicada en el cantón Ambato de la Provincia de Tungurahua. El hidróxido de sodio fue obtenido de fuentes comerciales y se utilizó agua destilada para todos los experimentos.

2.2. Procedimiento

Todos los ensayos se realizaron en la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador, se realizaron dos procedimientos para el tratamiento del agua residual, el tratamiento químico y el tratamiento físico. En el tratamiento químico se trata el agua residual con hidróxido de sodio, mientras que en el tratamiento físico se realiza un proceso de carbonización hidrotermal, en ambos casos se obtiene lodo y agua residual tratada.

2.2.1. Tratamiento Químico

En un vaso de precipitación se coloca 400 mL de agua residual, con agitación continua se agrega una solución de NaOH 2,0 M hasta que el pH alcance un valor de 7. Se deja reposar por 12 horas para que precipite completamente el lodo formado. Se filtra la mezcla utilizando un filtro membrana de 0,45 μ m. Se tiene dos productos, el agua residual tratada y un sólido que se seca en una estufa a 100°C por dos horas. El procedimiento se realiza con diferentes valores de pH: 7, 8, 9 y 10.

2.2.2. Tratamiento Físico

Se coloca 400 mL de agua residual en un reactor de acero inoxidable de 500 mL de capacidad. Se calienta hasta 200 °C por un tiempo de 1 hora, se enfría y se separa el

hidrochar mediante filtración utilizando un filtro membrana de 0,45 μm . Se tiene dos productos, el agua residual tratada y un sólido que se seca en una estufa a 100°C por dos horas. Se repite el procedimiento a 250°C; para ambas temperaturas se realiza a diferentes tiempos: 1, 2 y 4 horas.

2.3. Métodos de Caracterización

Se mide la concentración de cromo en el agua residual antes y después del tratamiento en un espectrómetro de absorción atómica AAnalyst 400 de la marca PerkinElmer. El DQO se midió en un colorímetro Move 100 de la marca Merck.

3. Resultados

3.1. Caracterización agua residual

Se caracterizó el agua residual para determinar los valores iniciales de los parámetros que se van a reducir con los tratamientos, se midió la demanda química de oxígeno (DQO), el cromo total y el pH.

Parámetro	Valor	Unidades
DQO	17,6	g/L
Cr total	243000,5	mg/L
pH	4,5	---

Tabla 1 – Análisis del Agua Residual.

En la Tabla 1 se observa que la concentración de materia orgánica en el agua residual es bastante alta, esto se debe a que la piel contiene compuestos adicionales (pelo o grasa) al cuero propiamente dicho y éstos compuestos se desprenden en el proceso de curtido. La alta concentración de cromo se debe a que se coloca un exceso de la sal de cromo para el tratamiento de la piel. La muestra inicial se le simboliza como A1.

3.2. Tratamiento Químico

Se realizó la precipitación del agua residual con hidróxido de sodio a diferentes valores de pH, midiendo el DQO, la concentración de Cr total y la masa de lodo que se genera luego del proceso.

Muestra	pH	DQO [g/L]	Cr total [mg/L]	masa lodo (g)
B1	7	8,40	137,9	1,4776
B2	8	7,55	18,90	2,8540
B3	9	6,50	6,90	6,9588
B4	10	5,61	3,40	9,4220

Tabla 2 – Parámetros obtenidos del tratamiento con NaOH.

En la Tabla 2 se observa como disminuye el DQO y la concentración de cromo total a medida que el pH del medio se incrementa, esto sucede debido a que el hidróxido de cromo es menos soluble con el aumento de pH, por lo cual se genera mayor cantidad de masa de lodo.

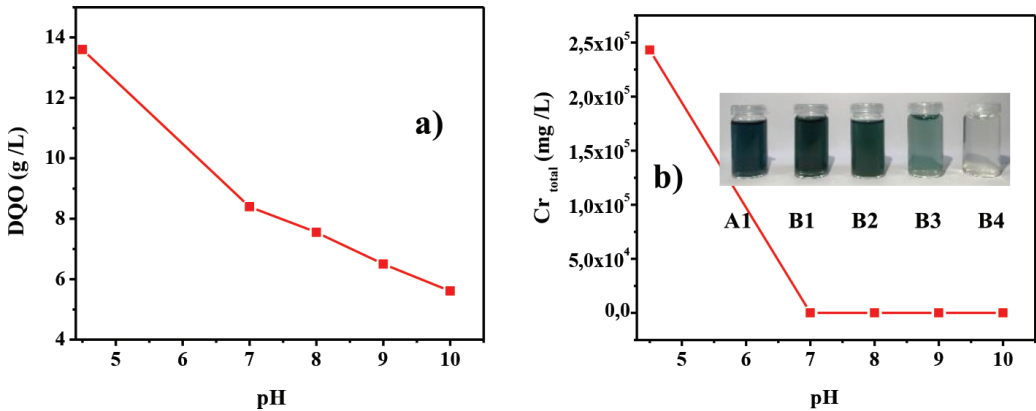


Figura 1 – a) Disminución del DQO con el aumento del pH,
b) Disminución de la concentración de cromo con el aumento de pH.

La Figura 1 muestra como disminuyen el DQO y el cromo total con los diferentes tratamientos químicos realizados, se observa cómo se reducen radicalmente estos parámetros respecto a los valores iniciales, mostrando la efectividad de los métodos aplicados. Además, se observa fotografías del agua residual inicial antes y después de los tratamientos.

3.3. Tratamiento Físico

Se realizó el proceso de carbonización hidrotérmal al agua residual variando la temperatura y el tiempo de reacción. Se midió el DQO, la concentración de Cr total y la masa de lodo que se genera luego del proceso.

Muestra	Temperatura (°C)	Tiempo (h)	DQO (g/L)	Cromo total (mg/L)	masa lodo (g)
C1	200	1	15,00	460,6	10,226
C2		2	13,60	290,7	9,958
C3		4	5,68	235,7	10,108
D1	250	1	13,20	147,7	9,818
D2		2	11,58	49,0	10,419
D3		4	5,72	34,2	9,990

Tabla 3 – Parámetros obtenidos del tratamiento mediante HTC.

La Tabla 3 muestra el proceso HTC a dos temperaturas: 200 °C y 250°C, se observa la disminución del DQO y la concentración de cromo total cuando el tiempo de reacción aumenta. Con cuatro horas la cantidad de materia orgánica y de cromo baja considerablemente. Curiosamente la cantidad de lodo que se genera es muy similar para todos los casos.

La Figura 2 muestra el cambio del DQO y el cromo total con los diferentes tratamientos de carbonización hidrotermal, se observa como disminuyen drásticamente los parámetros medidos respecto a los valores iniciales, comprobando que el método propuesto disminuye los contaminantes en el agua residual. Además, se observa fotografías del agua residual antes y después de los tratamientos.

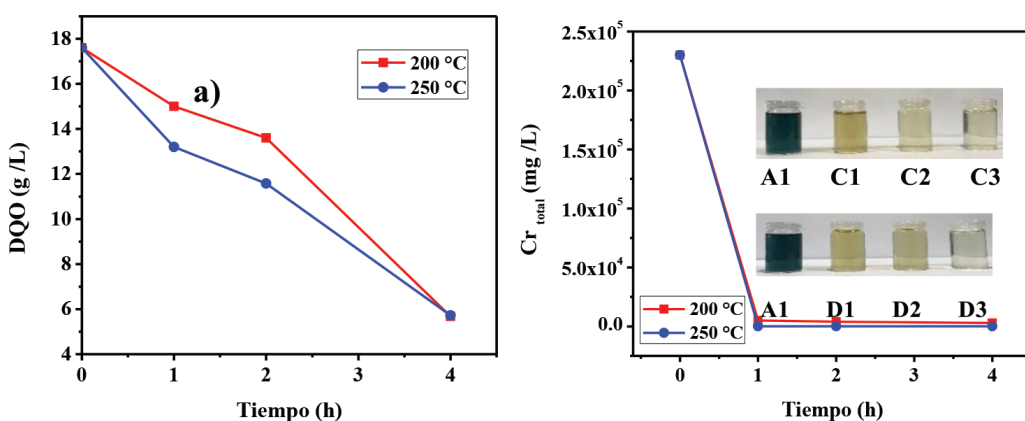


Figura 2 – a) Disminución del DQO con el aumento del tiempo de reacción a diferentes temperaturas, b) Disminución de la concentración de cromo con el aumento del tiempo de reacción a diferentes temperaturas.

4. Discusión

Se plantea dos métodos para el tratamiento de aguas residuales de la industria curtiembre, uno tradicional donde se ocupan reactivos químicos y uno alternativo donde se realiza el tratamiento con la aplicación de calor. El método tradicional, es un proceso químico con hidróxido de sodio, el cual es dependiente de la concentración de álcali, mientras mayor es el valor del pH, se elimina mayor porcentaje de contaminantes, debido a que se tiene mejores condiciones para la precipitación del hidróxido de cromo. El tratamiento alternativo es la carbonización hidrotermal (HTC), donde se utiliza un reactor a alta temperatura para precipitar un lodo que arrastra la materia orgánica y el cromo, los resultados muestran que las variables tiempo y temperatura influyen en el proceso.

De los resultados obtenidos se evidencia que el método propuesto tiene una eficiencia igual al método tradicional; sin embargo, para poder descargar el agua residual al alcantarillado, el cromo debe tener una concentración de 0,5 mg/L y el DQO de 0,5

g/L y los dos tratamientos están alejados de cumplir con estos valores, así que se debe plantear un tratamiento secundario para alcanzar a los valores máximos permisibles para la descarga.

El proceso con hidróxido de sodio es sencillo de realizar, no requiere materiales o equipos especiales, sin embargo, uno de los problemas que presenta es que el lodo que se forma tarda mucho tiempo en precipitar completamente, alrededor de 12 horas. En el caso que no se espere este tiempo y se filtre la suspensión, el floculo que se formó se rompe y el tratamiento no es efectivo. En cambio, en el proceso HTC, el lodo que se forma tiene una consistencia más compacta y luego del tratamiento no es necesario esperar para filtrar y separar los productos, lo cual representa una ventaja operativa para su implementación.

En el proceso HTC se observa que el tiempo es un factor importante, a medida que aumenta esta variable el tratamiento es mejor porque se logra mayor disminución del DQO y cromo, esto sucede también con la temperatura, un incremento de 200°C a 250°C hace que el proceso sea más efectivo. Se podrían probar tiempos y temperaturas diferentes a las analizadas y encontrar valores óptimos que reduzcan la concentración de contaminantes manteniendo el proceso energéticamente eficiente.

De los dos métodos utilizados, el HTC es el mejor porque no utiliza productos químicos para separar los sólidos y el cromo del agua residual. Sería interesante cuantificar la energía que utiliza el reactor para lograr el objetivo y con eso calcular el coste de tratamiento para compararlo con el coste de tratar agua con NaOH, ya que, a pesar de ser un proceso más limpio, el HTC podría llegar a ser un proceso más caro que el tratamiento convencional. Otra de las ventajas del método HTC es que la materia orgánica forma un material carbonoso que puede ser sujeto de investigación para darle un uso específico, por ejemplo, podría tratarse para obtener carbón activado que contenga cromo en su composición mismo que serviría para aplicaciones de catálisis o en procesos de adsorción de contaminantes líquidos o gaseosos. En el caso del tratamiento químico en donde se obtiene solamente un lodo que no se ha carbonizado no se tendría un producto aprovechable.

La mayor fortaleza del proceso aplicado es que no ocupa reactivos químicos, y que en tiempos cortos logra disminuir la concentración de cromo y de DQO a valores aceptables para ser tratados con un método secundario y de esta manera el agua residual pueda ser descargada al alcantarillado. La desventaja del método es que el equipo que se utiliza es más complejo que el empleado en el tratamiento normal, en donde solo se ocupa un tanque de agitación; por otro lado, para el HTC es necesario un reactor con un sistema de calentamiento y un control automático para la temperatura para mantenerla constante en el valor seteado.

5. Conclusiones e implicaciones sociales

En las mejores condiciones de operación, para el tratamiento químico se reduce el DQO de 17,6 g/L a 5,61g/L, es decir, se eliminó el 68,0% de la materia orgánica, mientras que, en el caso del cromo total, la concentración se redujo de 243000,5 mg/L hasta un valor de 3,4 mg/L, es decir, se reduce un 99,99 % del metal. Mientras que en el tratamiento alternativo (HTC), se alcanzó una concentración de DQO de 5,68 g/L y una concentración

de cromo total de 34,2 mg/mL, que representa un porcentaje de reducción de 67,7% y 99,98 % respectivamente. Por lo tanto, el método propuesto para el tratamiento de agua residual de la industria de la curtiembre es aplicable para disminuir la concentración de DQO y de Cr total, por lo que sería factible su aplicación en las empresas que se dedican al tratamiento de pieles.

Las mejores condiciones para el tratamiento del agua residual mediante el proceso HTC son 250°C y 4 horas de tratamiento. Sin embargo, no se alcanza los niveles permisibles para la descarga hacia el alcantarillado, por lo que se necesitaría de un tratamiento adicional para desechar este efluente.

El método HTC tiene un aporte hacia la sociedad porque reduce el consumo de productos químicos que se requieren para el tratamiento convencional. Además, que se disminuye los envases donde se almacenan dichos productos químicos.

Reconocimientos

Este proyecto ha sido llevado a cabo con el soporte financiero de la Dirección de Investigación de la Universidad Central del Ecuador, bajo el Proyecto Semilla Fase 4: cif4-ce-fi-q-4, y con la colaboración de los Laboratorios de Investigación de la Facultad de Ingeniería Química.

Referencias

- Berge, N., Ro, K., Mao, J., Flora, J., Chappell, M., & Bae, S. (2011). Hydrothermal carbonization of municipal waste streams. *Environmental Science and Technology*, 45(13), 5696-5703.
- Calheiros, C., Rangel, A., & Castro, P. (2007). Constructed wetland systems vegetated with different plants applied to the treatment of tannery wastewater. *Water Research*, 8, 1790-1798.
- Costa, C., Botta, C., Espindola, E., & Olivi, P. (2007). Electrochemical treatment of tannery wastewater using DSA® electrodes. *Journal of Hazardous Materials*, 153(1-2), 616-627.
- Dixit, S., Yadav, A., Dwivedi, P., & Das, M. (2014). Toxic hazards of leather industry and technologies to combat threat: A review. *Journal of Cleaner Production*, 87, 39-49.
- Environmental Protection Agency. (12 de Septiembre de 2016). *Chromium Compounds*. Obtenido de <http://www.epa.gov/sites/production/files/2016-09/documents/chromium-compounds.pdf>
- European Commission. (28 de Febrero de 2003). *Pollutants in urban wastewater and sewage sludge*. Obtenido de http://www.ec.europa.eu/environment/archives/waste/sludge/pdf/sludge_pollutants.pdf
- Falcón, L. (2017). *Plan de manejo de residuos sólidos para la empresa curtiembre aldas, ubicada en la parroquia de totoras*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.

- Grömer, K., Russ-Popa, G., & Saliari, K. (2017). Products of animal skin from Antiquity to the Medieval Period. *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien*, A(119), 69-93.
- Houshyar, Z., Khoshfetrat, A., & Fatehifar, E. (2012). Influence of ozonation process on characteristics of pre-alkalized tannery effluents. *Chemical Engineering Journal*, 191, 59-65.
- Libra, J., Ro, K., Kammann, C., Funke, A., Berge, N., Neubauer, Y., . . . Emmerich, K. (2014). Hydrothermal carbonization of biomass residuals: A comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis. *Biofuels*, 2(1), 71-106.
- Mandal, T., Dasgupta, D., Mandal, S., & Datta, S. (2010). Treatment of leather industry wastewater by aerobic biological and Fenton oxidation process. *Journal of Hazardous Materials*, 180(1-3), 204-211.
- Ministerio del Ambiente. (14 de 2013). *Estudio de potenciales impactos ambientales y vulnerabilidad relacionada con las sustancias químicas y tratamiento de desechos peligrosos en el sector productivo del ecuador*. Obtenido de Ministerio del Ambiente: [http://www. ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/03/PART11.pdf](http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/03/PART11.pdf)
- Ministerio del Ambiente. (4 de Noviembre de 2015). *Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente*.
- Oliveira, I., Blöhse, D., & Ramke, H. (2013). Hydrothermal carbonization of agricultural residues. *Bioresource Technology*, 142, 138-146.
- Panizza, M., & Cerisola, G. (2004). Electrochemical Oxidation as a Final Treatment of Synthetic Tannery Wastewater. *Environmental Science & Technology*, 38(20), 5470-5475.
- Santosa, S., Siswanta, D., Sudiono, S., & Utarianingrum, R. (2008). Chitin-humic acid hybrid as adsorbent for Cr(III) in effluent of tannery wastewater treatment. *Applied Surface Science*, 254(23), 7846-7850.
- Sarin, V., & Pant, K. (2005). Removal of chromium from industrial waste by using eucalyptus bark. *Bioresource Technology*, 97(1), 15-20.
- Schrank, S., José, H., Moreira, R., & Schröder, H. (2005). Applicability of Fenton and H₂O₂/UV reactions in the treatment of tannery wastewaters. *Applicability of Fenton and H₂O₂/UV reactions in the treatment of tannery wastewaters*, 60(5), 644-655.
- Sevilla, M., & Fuertes, A. (2009). Chemical and structural properties of carbonaceous products obtained by hydrothermal carbonization of saccharides. *Chemistry - A European Journal*, 15(16), 4195-4203.
- Song, Z., Williams, C., & Edyvean, R. (1999). Sedimentation of Tannery Wastewater. *Water Research*, 34(7), 2171-2176.

- Tiravanti, G., Petruzzelli, D., & Passino, R. (1997). Pretreatment of tannery wastewaters by an ion exchange process for Cr(III) removal and recovery. *Water Science and Technology*, 36(2-3), 197-207.
- Titirici, M., & Antonietti, M. (2009). Chemistry and materials options of sustainable carbon materials made by hydrothermal carbonization. *Chemical Society Reviews*, 39(1), 103-116.
- Velasco, R. (20 de Marzo de 2015). *péndice E Constantes de producto de solubilidad en disolución acuosa a 25 °C*. Obtenido de SGPWE: http://www.sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/jrvc/QA_1/Apendice_E_Kps_2014

Estudio Integral del Recurso Hídrico de la Microcuenca del Rio Guarango, Cuenca – Ecuador

Paola Duque-Sarango¹, Bolívar Hernández¹

pduque@ups.edu.ec, josebhs@hotmail.es

¹ Environmental Biotechnology Research Group (INBIAM), Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

Pages: 228–240

Resumen: El presente artículo desarrolló un diagnóstico integral del recurso hídrico de la microcuenca del Rio Guarango perteneciente a la parroquia Quingueo, ubicado en el noroeste de la provincia del Azuay, y que integra al rio Paute. En forma general el trabajo consistió en realizar una zonificación de la microcuenca mediante actividades de reconocimiento del lugar de estudio, utilización de herramientas de software como ArcGIS, Google Earth, desarrollo de un diagnóstico participativo mediante la intervención directa con la comunidad, involucrando principalmente aspectos biofísicos y socioeconómicos, enfatizando en las características propias de la cuenca. Referente a los resultados se encontró; a nivel hidrológico que del total de precipitación recibida por la cuenca, solamente el 17,5% se considera lluvia útil, generando escorrentía en la misma, el resto; 89,6 % se ocupa en procesos de evapotranspiración y el 28,6% se reserva en el suelo. A nivel de diagnóstico, esta cuenca se caracteriza por tener una problemática significativa partiendo desde el deterioro de los páramos, avance de la frontera agrícola, contaminación por la ineficiente gestión de los residuos sólidos, la carente administración de los recursos naturales, así como también un limitado manejo del recurso hídrico de la microcuenca.

Palabras-clave: Cuenca hidrográfica; diagnóstico ambiental participativo; estudio hidrológico.

Integral Study of the Water Resources in the Microcatchment of the Guarango River, Cuenca - Ecuador

Abstract: This article studies a diagnosis of the water resource of the Guarango River microcatchment into to the Quingueo river, located in the northwest of the Azuay province, belonging to the Paute River Basin. In general, the work consisted of making a zoning of the microcatchment through activities of recognition of the place of study, use of software tools such as ArcGIS, Google Earth, development of a participatory diagnosis through direct intervention with the community, mainly involving biophysical aspects and socioeconomic, emphasizing the characteristics of the basin. The main results about the hydrological level, that of the total rainfall received by the basin, only 17.5% is considered useful rain, generating runoff in it, the rest; 89.6% are involved in evapotranspiration processes and 28.6% are

reserved in the soil. At the diagnostic level, this basin is characterized by having a significant problem starting from the deterioration of the moors, advancing the agricultural frontier, contamination by the inefficient management of solid waste, the lack of administration of natural resources, as well as a limited management of the microbasin water resource.

Keywords: Watershed; Participatory environmental diagnosis; hydrological study.

1. Introduction

El problema de las cuencas hidrográficas contaminadas y mal administradas se está agudizando en todo el mundo (Puño, 2014). La falta de detalles en la información geográfica de las cuencas debe resolverse para optimizar el proceso de toma de decisiones y las tareas relacionadas (Jumbo, y otros, 2017), así mismo el intercambio de carbono atmosférico, los procesos de evapotranspiración son desatendidos, lo cual involucra directamente a los páramos, la frontera con mayor vegetación en los Andes y la principal fuente de agua (Celleri, Willems, Buytaert, & Feyen, 2007). El conocimiento del balance hídrico de una cuenca es fundamental para un manejo eficiente de los recursos hídricos y además proporciona información esencial que conduce a un mejor uso del agua almacenada, considerando los lagos, humedales y páramos las áreas más relevantes desde el punto de vista hidrológico, ya que constituye una reserva importante y contribuye a la generación de precipitaciones y la regulación del ciclo hidrológico (Córdova & Pascual, 2013); (Günter, Calvas, Lotz, Bendix, & Mosandl, 2013).

A partir del año 1995 en el Ecuador, el concepto de manejo de cuencas ha evolucionado partiendo de una acción sectorialista y con enfoques de planificación vertical, a procesos de manejo participativo y gestión integral, según menciona el informe sobre el manejo de cuencas hidrográficas en Ecuador (REDALCH-FAO, 2002).

Los Andes Tropicales son una de las regiones muy diversas del mundo, debido a la convergencia de los sistemas climáticos del pacífico Ecuatoriano y Amazónico (Crespo, Céleri, Buytaert, Feyen, & Iñiguez, 2010); (Celleri, Willems, Buytaert, & Feyen, 2007). El crecimiento poblacional y la intensificación del uso de la tierra en los Andes tropicales han causado alteraciones en el ciclo natural del agua, esta variabilidad del uso de la tierra impacta a la hidrología y características de la cuenca, intensificando las actividades como el pastoreo extensivo, cultivos, reforestación con especies exóticas, cuyas acciones repercuten en lo significativo del balance hídrico (Crespo, Céleri, Buytaert, Feyen, & Iñiguez, 2010).

Por ello es menester realizar estudios del régimen hídrico, morfología general e inventario hídrico, entendidos como las herramientas para determinar las características de las fuentes hídricas, su extensión, calidad y cantidad del agua para su utilización, satisfaciendo así las demandas identificadas (consumo multifinilarario humano, agrícola, energético, etc.). En el manejo de cuencas hidrográficas, es menester explorar las características inherentes de una cuenca, considerar de manera integral los efectos de los indicadores ecológicos de múltiples escalas, así como sus interacciones y las incertidumbres asociadas (Cai & Zhang, 2018).

Un manejo integrado de cuencas hídricas involucra dos acciones principales. Por un lado, las orientadas al aprovechamiento de los recursos naturales (usarlos, transformarlos y consumirlos) presentes en la cuenca para contribuir al crecimiento económico; por otro, las orientadas a manejarlos (conservarlos, recuperarlos y protegerlos) con la finalidad de asegurar la sustentabilidad del ambiente (Ferrer & Torrero, 2015).

La parroquia Quingueo está ubicada a 40 Km del Cantón Cuenca de la Provincia del Azuay, situado a 2762 msnm, cuya latitud es de 3°01'55,05" S y longitud 78°55'54,26" (GAD Quingueo, 2018). Los principales usos del suelo, son áreas de Bosque Natural con 3700 ha aproximadamente, y de pastizales con 3000 has, lo cual significa que la frontera agrícola avanza con gran peligro en los suelos de Quingueo (GAD Quingueo, 2014).

El presente artículo tiene como objetivo el estudio integral del recurso hídrico de la microcuenca del Río Guarango perteneciente a la parroquia Quingueo, ubicado en el noroeste de la provincia del Azuay, los afluentes de la microcuenca, forman parte de la subcuenca Jadan, desembocando en la Cuenca del río Paute (Figura 1).

2. Métodos

En forma general el trabajo consistió en realizar una zonificación de la microcuenca del Río Guarango; para ello fue necesario realizar el reconocimiento del lugar de estudio, determinando las áreas de interés de diagnóstico, como captaciones de agua para consumo, zonas de cobertura vegetal, zonas desérticas, áreas ganaderas y agrícolas.

Se utilizó herramientas de software como ArcGIS utilizando como cartografía base la información topográfica digital del Instituto Geográfico Militar a escala 1:50000, y Google Earth, cuyo fin fue de procesar capas espaciales e imágenes de satélite, digitalizando la información a través de capas vectoriales de los ríos, caminos (primarios, secundarios y terciarios), comunidad, tipo de suelo y localización de las lagunas existentes que forman parte de la microcuenca.

La información se recolectó mediante un formato de encuesta cuyos partícipes fueron los pobladores de la comunidad que se manifestaron en cuanto a los aspectos de servicios básicos, actividades productivas, el uso de recursos naturales, considerando sus respuestas como parte fundamental para plantear alternativas de solución a largo plazo.

2.1. Diagnóstico de la microcuenca

Se realizó un diagnóstico participativo en el cual existió una intervención directa de la comunidad, involucrando principalmente aspectos biofísicos y socioeconómicos, enfatizando en las características propias de la microcuenca.

2.2. Diagnóstico biofísico

Este diagnóstico nos permitió identificar el estado y la tenencia de los componentes ambientales (Tabla 1) que constituyen el sistema de la microcuenca. El éste diagnóstico se ejecutó mediante la cartografía digital en lo que respecta a: (1) Determinación del tipo de suelo, (2) Determinación de pendiente del suelo, (3) Determinación de la cobertura vegetal, (4) Determinación de áreas erosionadas.

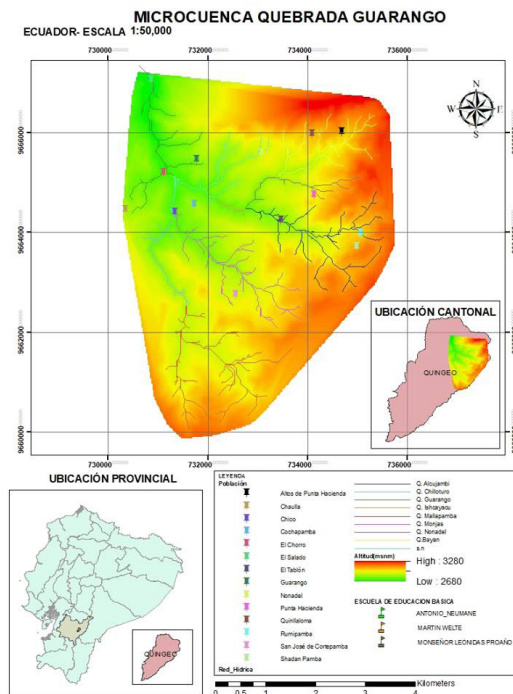


Figura 1 – Mapa de ubicación microcuenca del Río Guarango

Parámetros	Características
Localización	Límites, latitud y longitud, comunidades
Fisiografía y relieve	Cordilleras, elevaciones, paisajes
Morfometría	Superficie (ha), elevaciones (msnm), pendiente (%), longitud de los cursos de agua, perfiles de los cauces principales, pendiente de los ríos, principales, red de drenaje.
Geología	Origen, procesos formación o cambios en el suelo
Suelos	Clasificación de los Suelos de la microcuenca, Usos actuales, capacidad de uso, áreas críticas por medio del uso de la tierra.
Clima	Precipitación, temperatura, velocidad de viento y evapotranspiración
Hidrología	Calidad de agua, determinación del caudal.
Vegetación (Bosques)	Especies predominantes, zonas de explotación, deterioro, tipo de recursos, zonas potenciales (Tipos de bosques, especies, densidad, altura, diámetro, volumen, fauna silvestre.
Vida silvestre	Habitad de la microcuenca, especies

Tabla 1 – Características biofísicas: diagnóstico de microcuencas hidrográficas (Cordón, Johnson, & Cordón., 2008)

2.3. Caracterización Socioeconómica

La determinación del análisis socioeconómico fue determinada mediante: (1) Demografía, (2) Educación y (3) Servicios básicos. La población de influencia directa fue identificada en los centros poblados y como apoyo la base de datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos del Ecuador (INEC).

Parámetros	Características
<i>Población</i>	Densidad poblacional, distribución, tenencia de la tierra, presión sobre los recursos.
<i>Situación de la Población</i>	Organizaciones, servicios públicos básicos, infraestructura, vivienda
<i>Económica</i>	Actividades de trabajo, (turismo, cultivo, recursos de la microcuenca) propiedad de las tierras
<i>Situación legal</i>	Autoridades, planes, programas.

Tabla 2 – Características socioeconómicas: diagnóstico de microcuencas hidrográficas (Cordón, Johnson, & Cordón., 2008)

3. Resultados y discusión

Se obtuvieron resultados morfométricos que se exponen en la Tabla 3.

Parámetros	Valor
Área:	25, 88 Km2
<i>Longitud de la cuenca (Lc):</i>	7.71 Km
<i>Perímetro (A):</i>	24,391Km
<i>Longitud del cauce (L):</i>	8,46 Km
Cota más alta de la cuenca (HM):	3280 msnm
Cota más baja de la cuenca (Hm):	2680 msnm
Pendiente media de la cuenca:	15,8 %
Ancho (W):	3,3 Km
<i>Desnivel altitudinal (DA):</i>	600 msnm
<i>Coeficiente de Gravelius (Cg):</i>	1,7

Tabla 3 – Parámetros morfométricos de la microcuenca del Río Guarango

3.1. Balance hidrológico

El resultado del balance hidrológico que se desarrolló para la microcuenca, se muestra en la Tabla 4 y la Figura 2.

	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Total (mm)
<i>P₁</i>	20,2	64,6	42,0	63,5	84,5	34,7	124,1	74,9	88,0	42,7	19,6	13,5	672,2
<i>ETP₂</i>	49,4	54,8	54,5	57,2	55,6	53,2	55,1	53,5	54,4	47,1	45,8	47,1	627,8
<i>ETR₃</i>	20,2	54,8	51,8	57,2	55,6	53,2	55,1	53,5	54,4	47,1	45,8	13,9	562,6
<i>Déficit₄</i>	29,2	0,0	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,3	65,2
<i>Reserva₅</i>	0,0	9,8	0,0	6,3	31,0	12,5	31,0	31,0	31,0	26,6	0,4	0,0	179,6
<i>Excedentes₆</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	0,0	50,4	21,4	33,6	0,0	0,0	0,0	109,6

¹(Precipitación mensual en mm), ² ETP (Evapotranspiración potencial, calculada mediante el método de Thornthwaite, en mm), ³ETR (Evapotranspiración real), ⁴Déficit (la resta entre la ETP y ETR), ⁵Reserva (cantidad de agua acumulada en el mes en el suelo, en mm), ⁶Excedentes (Agua útil, una vez suplida las necesidades de agua para ETP y suelo).

Tabla 4 – Balance hídrico de la microcuenca del Río Guarango

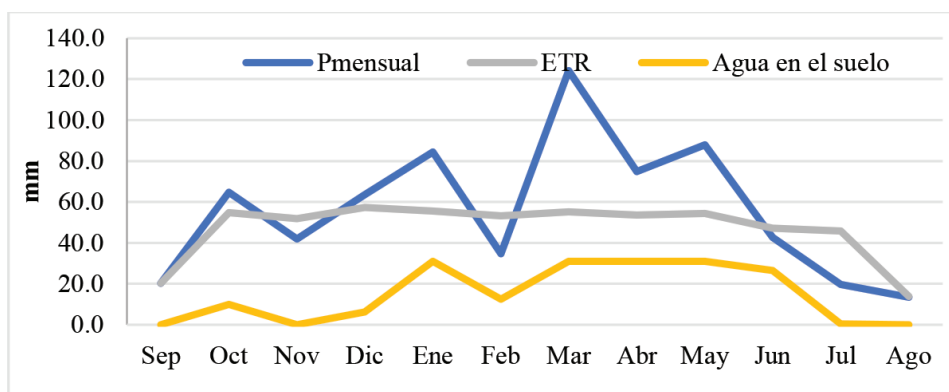


Figura 2 – Estadística del balance hídrico de la microcuenca del Ríos Guarango

El balance hídrico respectivo evidencia que en el mes de marzo existe una precipitación mayor que en los meses restantes, así mismo abril y mayo se encuentran dentro de los meses que mayor precipitación registra seguido del mes de marzo. Respectivamente en los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio, octubre y diciembre, se registra reserva de agua en el suelo de acuerdo a la capacidad de campo especificada, esto es proporcional a la cantidad de precipitación registrada durante aquellos meses. Los meses enero, marzo, abril y mayo, registran valores importantes de excedentes de agua, generando escorrentía en la microcuenca. Se puede apreciar que durante el año se evapora el 89,61 % de la precipitación total, así mismo se reporta un 28,6% de reserva de agua en el suelo con un excedente de 17,46%.

3.2. Diagnóstico ambiental

Se obtuvieron resultados del diagnóstico respecto a sus características biofísicas y socioeconómicas, distinguiendo las tres zonas de la microcuenca: Zona Alta, Zona Media, Zona baja como se expone a continuación:

3.2.1. Parte alta

En la zona alta donde nacen las vertientes hídricas se ubican dos lagunas principales, las mismas que alimentan a las quebradas de Nonadel y Alcujañambi, sistemas hídricos encargados de dar el servicio de agua a la comunidad. La zona se caracteriza por tener abundante vegetación nativa, así como también existen partes donde se localizó cráteres en el suelo por sobrepastoreo. La parte alta, cubre la comunidad de Rumipamba, área poco poblada, con construcciones de madera y concreto. La quebrada de Nonadel el principal afluente que satisface las necesidades de la comunidad, pasando por las casas, cultivos, etc. Es una zona donde predomina la agricultura, siendo los principales sembríos de: maíz, trigo, frejol, en menor proporción, la arveja, cebada, cebolla, además la actividad ganadera también se involucra especialmente el ganado vacuno.

Con respecto a la vegetación, la zona posee una vegetación bastante extensa que cubre parte alta del territorio. Predominan especies de flora y fauna nativa, por consiguiente, el bosque se encuentra distribuido de manera agrupada y asociada a lo largo de la zona alta, con especies vegetales como: *Cecropia obtusifolia* (Guáramo), *Byrsonima crasifolia* (Nancite) *Chysobalanus icaco* (Icacos) y una gran variedad de especies de la familia de las *Melastomatacias* y *gramíneas*. Todas estas especies de pastizales son un indicador de gran importancia biológica, considerando los usos y valor biológico de estas especies.

Las áreas más afectadas por intervención humana son a través de la extracción de vegetación nativa para realizar una expansión de la frontera agrícola y la compactación de suelos por el ganado ovino y bovino, constituyendo un punto con mayor indicador de degradación, además a las afuera de la zona utilizan como vertedero de basura.

3.2.2. Parte media

La Quebrada de Monjas presenta un aporte significativo para el abastecimiento de agua, ya sea para alimentación, para riego o para el ganado, para poblaciones cercanas tales como la Cooperativa Agropecuaria Concepción de Monjas. Durante el reconocimiento se identificó problemáticas dentro del recurso hídrico en la quebrada, tales como la escasez de la misma debido a épocas de poca lluvia, además de estancamientos en zonas altas donde el agua comienza a eutrofizarse y presentar sedimentos y algas. También se pudo observar contaminación del agua por residuos sólidos domiciliarios como plásticos, llantas y desechos biológicos del ganado.

La utilización del agua del río para la crianza de ganado (vacuno, porcino, bovino, avícola); están provocando gran contaminación en los lechos de río aguas arriba, donde debería existir mayor conservación debido a que dicho recurso es utilizado en la zona baja para alimentación.

Los principales cultivos dentro de la zona son el maíz, el eucalipto, legumbres; donde se identificó una sobrepoblación de árboles de eucalipto en las zonas marginales de paso del río, lo que conlleva a diagnosticar una de la posible causa de la escasez del recurso.

3.2.3. Parte baja

En la parte baja de la de la microcuenca existen áreas desértica y de deslizamientos, lugares que desde años atrás han perdido las características degeneración de especies vegetales, debido a la sobreexplotación de los recursos por los habitantes de las zonas.

La reforestación con eucaliptos y pinos en las riveras del río El Salado, son los principales causantes de la disminución de la capacidad de retención de agua en el suelo y en las napas de agua subterráneos, siendo susceptibles a verse beneficiados por los incendios forestales.

La zona de cultivos y ganadería se encuentra en la parte baja de la microcuenca el uso del suelo de la zona en la mayoría de familias son para cultivos agrícolas para autoconsumo medio de sustento económicos.

3.3. Diagnostico socioeconómico

3.3.1. Parte alta

La comunidad de Rumipamba está habitada por mestizos dedicados a su aprendizaje educacional, labores agrícolas y ganadera, cuyo principal ingreso es la comercialización de maíz, trigo, frejol y en menor proporción la arveja, cebada, cebolla, que son destinados para el mercado local.

En gran mayoría de los habitantes son creyentes de la religión católica la mayoría se destaca con su identidad cultural que a través del tiempo, todos los habitantes han ido acumulando costumbres, tradiciones, ritos y creencias.

La parroquia de Quingueo cuenta con la escuela “Gonzalo Cordero Dávila” ubicada en la cabecera parroquial, esto proporcionando un beneficio a la educación de las habitantes de la comunidad. La falta de empleo dentro de la parroquia produce una creciente tasa de migración que afecta tanto a hombres como mujeres.

Dentro de la parroquia existen diferentes organizaciones e instituciones formadas por los moradores que trabajan y participan en conjunto para el desarrollo y buen manejo de los recursos de la parroquia, entre las organizaciones más salientes se encuentran: La junta Parroquial, Directiva Comunitaria, Junta de Agua, Comité de Padres de Familia y las Organizaciones Religiosas.

3.3.2. Parte media

La mayor parte de los pobladores se dedican a las actividades como jornaleros, considerada como la principal fuente de ingresos económicos, etiquetado como un ingreso insuficiente e inestable para cubrir los gastos de sus hogares. El 81% migran a otros lugares a fin de busca empleos, principalmente a las ciudad de Cuenca esto conlleva

un gasto adicional por transporte, lo cual descendería sus ganancias, el 19% vive con ingresos generados en la misma zona.

La mayor parte de la población alcanzada el nivel primario o básico de estudios lo que revela un déficit en la implementación de nuevos centros de estudio o el mejoramiento del ya existente. Tan solo el 75% de las personas han alcanzado un estudio primario mientras el 25% restante un nivel secundario debido a su oportunidad de realizar el movimiento a instituciones secundarias de otras zonas. Un aspecto interesante es la tasa de escolaridad del sector, representando un 37% el no ingreso al sistema educativo por razones varias.

En la parroquia de Quingueo existen dos lugares de atención primaria en la que se da atención en medicina general, odontología, medicina preventiva y atención en algunas enfermedades psicológicas.

La comunidad tienen servicio de agua mediante entubamiento, vertientes o de otras fuentes como pozos el agua para su consumo, la misma que solo sufre un proceso de cloración, por lo que en épocas de invierno y en épocas de verano no dispone del agua.

La eliminación de la basura el 50% de los hogares se realiza mediante quemas, mientras que el 12% lo entierran y el 38% lo mandan al recolector el mismo que solo pasa una vez por semana. Esto debido a la falta de una conciencia ambiental, acerca de los peligros que estas prácticas representan repercutiendo muchas veces en efectos para la salud de las personas.

En cuanto a la disposición de las aguas residuales la comunidad no cuenta con sistema de alcantarillado, debido a que no existe un punto de desagüe, y su lejanía no permite que las aguas residuales sean tratadas.

3.4. Propuestas de gestión y manejo

En base a lo mencionado, se ha creído conveniente establecer lineamientos de propuestas para la gestión y manejo adecuado de la microcuenca; dichos lineamientos fueron contruidos en conjunto con la comunidad, mediante talleres de socialización y enfatizando la importancia de cada uno de las soluciones posibles. Se resumen en la siguiente tabla.

N	Problemática	Propuesta / solución	Actividades	Indicadores	Plazo de ejecución
1	Agricultura con productos transgénicos	Uso de especies que se endémicas de la zona. Uso de BIOLES a fin de contrarrestar plagas y enfermedades ocasionadas por las factores ambientales.	Realizar actividades agrícolas, fomentando la asociación de cultivos y uso de controladores naturales.	La visualización de las buenas prácticas agrícolas disminuirá la erosión del suelo siendo el problema principal en la zona.	Ejecutar a largo y corto, debido a que cada vez sufre alteraciones significativas en el suelo, estas prácticas que impulsa una buena regeneración en el suelo.

N	Problemática	Propuesta / solución	Actividades	Indicadores	Plazo de ejecución
2	Expansión de frontera agrícola	Reutilizar parcelas ya explotadas aprovechando el espacio generando un policultivo, sin necesidad de expandirse a zonas protegidas.	Ejecutar acciones encaminadas a lograr un mejor aprovechamiento del suelo con policultivos y plantaciones, recobrando las raíces ancestrales.	El manejo del policultivo será una oportunidad de mejora para los habitantes con mayor producción de alimentos y sustento para el núcleo familiar.	Se llevara a cabo a corto y largo plazo, debido a que la exploración agrícola es tan eminente hacia áreas protegidas, impulsando el desarrollo de las familias y recobrando prácticas ancestrales.
3	Erosión del suelo	El adecuado uso y trabajo del suelo por actividades agrícolas, proponiendo la construcción de terrazas para evitando el lavado del terreno en épocas invernales.	Llevar a cabo la construcción de canales para la recolección hídrica, construcción de terrazas para evitar la erosión del suelo.	El desarrollo de estas actividades permite aprovechar las aguas provenientes de las lluvias, manteniendo firme el suelo evita escurrimiento de la capa hacia zonas bajas.	Se efectuara a corto plazo, evitando las pérdidas económicas y físicas en plantaciones agrícolas.
4	Sobrepastoreo	El promover el policultivo de pastos autóctonas por parcelas a fin de fomentar esta práctica agrícola, evitando el sobrepastoreo de la fauna nativa.	Panificar la ejecución actividades de policultivos de pastos en parcelas en diferentes zonas que puedan adaptare.	El brote de especies nativas del pasto en zonas de sobrepastoreo, brindara beneficios económicos y se verá reflejada en las zonas afectadas.	Ejecución a plazo corto, evitando el sobrepastoreo, rompiendo de esta manera el equilibrio en el sistema.
5	Desorganización administrativa	Incentivar en la organización administrativa para desarrollar para planificar unos cronogramas de actividades para el beneficio y el desarrollo económico y social de la comunidad.	Realizar mingas de limpieza de aceras, canales de agua etc. Integrando los aspectos ambientales con la participación de la comunidad.	La organización se ve reflejada en mantener la calidad de vida y el equilibrio ambiental conservando los recursos dentro y fuera de la microcuenca	Se realizara a corto plazo, por lo que las condiciones de la zona existe alta vulnerabilidad por la poca atención que les da por las autoridades competentes

N	Problemática	Propuesta / solución	Actividades	Indicadores	Plazo de ejecución
6	Vulnerabilidad social	La educación ambiental, tratamiento de desechos, aspectos de salubridad, cuidado de los recursos naturales, las buenas prácticas, son propuesta de mejora la calidad de vida de la comunidad.	Capacitaciones a la comunidad, a fin de tratar temas de cuidado y protección ambiental y ocasionada por desconocimiento de los habitantes.	En la práctica todas estas actividades mejoraran la vida, impulsando a vivir en un ambiente sano libre de patógenos y enfermedades.	Se efectuara a corto plazo, debido a que existe un alto nivel de vulnerabilidad, por desconocimiento y mal manejo de residuos.
7	Ganadería	Las ganaderías provocan un impacto en las orillas de las lagunas, contaminación del efluente, por lo que se propone optar por lugares alejado de fuentes hídricas de tal manera poder evitar un alto grado de impacto.	Realizar la colocación de cerco en los ríos, canales de agua y zonas de regeneración hídrica, manteniendo un espacio delimitado, evitando así impactos al recurso.	La actividad puesta en marcha impulsa a la conservación de recursos naturales, evitando que el agua sea contaminada por heces fecales.	La ejecución a corto plazo, disminuirá el índice de probabilidad afecciones gastrointestinales y alteraciones en la salud pública.
8	Mala gestión de los desechos sólidos domiciliarios	Coordinar acciones con la administración para implantar rutas de recolección y gestión de desechos domiciliarios.	Planificar la con la organización administrativa en la recolección y gestión de desechos sólidos además los días y horas de recolección.	La gestión adecuada de los residuos sólidos contribuye a mantener en equilibrio la salud pública y evitando provocar un impacto visual y ambiental.	Se llevara a cabo a corto plazo, a fin de velar por salud de las habitantes siendo un derecho constitucional el vivir en un ambiente sano vivir en un ambiente sano.
9	Mala calidad del agua para el suministro.	Implantar un sistema de un micro planta de tratamiento por cloración para mejorar la calidad del agua para el suministro de los habitantes.	Gestionar con las autoridades competentes para la construcción de un tanque de cloración con lo cual se mejorara la calidad del agua.	El beneficio de tener agua potable de calidad mejora la calidad de vida, temiendo una mayor aceptación por parte del público.	Se realizara a mediano plazo con una visión de mejora, con resultados de menor índice de contaminación por patógenos.

N	Problemática	Propuesta / solución	Actividades	Indicadores	Plazo de ejecución
10	Aglomeración de pinos y eucaliptos	Establecer zanjas de desviación de infiltración de agua	Desbroce de vegetación en la zona/ mingas/ organización de la gente/ tala	Mantendrá en un nivel estable la cantidad de agua, para el abastecimiento en tiempos de verano.	Se efectuara a corto plazo para así mantener el recurso vital para la población.
11	Gran presencia de áreas desérticas	Recuperar las áreas degradadas por efectos de la reforestación y uso apropiado del suelo	Mingas de reforestación/ capacitaciones a la comunidad acerca del uso adecuado del suelo	La actividad puesta se obtendrá mayores beneficios tanto en la regeneración de los suelos como en la conservación de las fuentes hídricas.	Realizar a corto y largo plazo a fin de conservar las regulaciones hídricas y los ecosistemas naturales.

Tabla 5 – Propuestas para mejorar la microcuenca del Río Guarango

En base a lo mencionado, resultados; biofísico, ambiental y socioeconómicos, el presente estudio da un panorama de la problemática que se suscita en la zona referente al manejo de los recursos naturales en la microcuenca Guarango, la metodología que se ha empleado, si bien, es de tipo cualitativo se considera que es válida para establecer los resultados mostrados, y a partir de ello establecer las propuestas de gestión y manejo en la zona.

4. Discusión

Con el presente estudio se constató la problemática de la microcuenca del Río Guarango, la misma que está caracterizada por un sobre explotación de los recursos naturales, amenazas de conservación de los mismos, entre otros.

Esta microcuenca se caracteriza por tener una problemática significativa partiendo desde el deterioro de los páramos, avance de la frontera agrícola, contaminación por la ineficiente gestión de los residuos sólidos, la carente administración de los recursos naturales, así como también un limitado manejo del recurso hídrico de la microcuenca.

A nivel académico resulta de interés desarrollar este tipo de estudios puesto que permiten vincular a los estudiantes con problemáticas reales y puntuales, donde puedan poner en práctica sus conocimientos e ingenio

Referencias

- Cai, Y., & Zhang, L. (2018). Editorial: Multi-scale ecological indicators for supporting sustainable watershed management. *Ecological Indicators*, 92, 1-10.
- Celleri, R., Willems, P., Buytaert, W., & Feyen, J. (2007). Space–time rainfall variability in the Paute basin, Ecuadorian Andes. *Hydrological Processes*, 21(24), 3316-3327.
- Cordón, U., Johnson, W., & Cordón, E. (2008). Diagnóstico biofísico y socioeconómico de la cuenca Bilwi Tingni, Puerto Cabeza, RAAN. *Ciencia e interculturalidad*, 28-43.
- Córdova, W., & Pascual, J. (2013). Estimation of Water Excess in the Medium and High Basins of Yanuncay River (Cuenca-Ecuador) by Approximation of Monthly: Distributed Water Balance. *Management of Water Resources in Protected Areas*, 121-128.
- Crespo, P., Célleri, R., Buytaert, W., Feyen, J., & Iñiguez, V. (2010). *Land use change impacts on the hydrology of wet Andean páramo ecosystems*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Ferrer, V., & Torrero, M. (2015). Manejo integrado de cuencas hídricas: cuenca del río Gualjaina, Chubut, Argentina. *Boletín Mexicano de Derecho Comparado*, 48(143), 615-643.
- GAD Quingeo. (2014). *Plan de ordenamiento territorial parroquial de quingeo*. Cuenca: GAD Quingeo.
- GAD Quingeo. (2018). *Parroquia Quingeo*. Obtenido de <http://parroquiaquingeo.gob.ec/azuay/?p=97>
- Günter, S., Calvas, B., Lotz, T., Bendix, J., & Mosandl, R. (2013). Knowledge Transfer for Conservation and Sustainable Management of Natural Resources: A Case Study from Southern Ecuador. *Biodiversity and Environmental Change in a Tropical Mountain Ecosystem of South Ecuador*, 395-410.
- Jumbo, F., Zea, M., Loja, N., Morocho, R., Cartuche, J., & Loján, E. (2017). Delimitation and Codification of Hydrographic Units Through the Use of Geographic Information Systems. *Technology Trends*, 185-195.
- Puño, N. (2014). Environmental Management of the Puyango–Tumbes River Basin in Ecuador and Peru. in *Securing Water and Wastewater Systems*, Cham: Springer International Publishing, 161-187.
- REDALCH-FAO. (2002). Informe sobre la situación del manejo de cuencas hidrográficas en el Ecuador. *Tercer congreso latinoamericano de manejo de cuencas en zonas de montaña*, (págs. 1-20). Ambato.

Predicción de la Demanda Eléctrica a Corto Plazo Mediante Cadenas de Markov y Monte Carlo

Diego Carrión¹, Estuardo Correa¹, Edwin García¹

dcarrión@ups.edu.ec, ecorrea@ups.edu.ec, egarcía@ups.edu.ec

¹ Universidad Politécnica Salesiana, Rumichaca y Morán Valverde, 170702, Quito, Ecuador.

Pages: 241–257

Resumen: La predicción de la demanda eléctrica es un tema de discusión en la actualidad, pero debido a su comportamiento aleatorio y estocástico es muy complicado realizarlo. En la presente investigación se plantea una metodología para predecir el consumo eléctrico a corto plazo mediante Cadenas de Markov y Monte Carlo, y los resultados son validados con técnicas numéricas de reconstrucción de curvas como mínimos cuadrados y trazadores cúbicos, así como la verificación del comportamiento real de la demanda. Finalmente se verifica el error que tiene el modelo propuesto frente a las demás alternativas, teniendo que el mismo es reducido. Así como, la predicción de la demanda eléctrica para un periodo de 7 días.

Palabras-clave: Demanda Eléctrica; Predicción de la Demanda; Cadenas de Markov; Reconstrucción de curvas.

Forecasting Electrical Demand in Short Term Based on Markov Chains and Monte Carlo

Abstract: Forecasting electrical demand is currently a discussion subject, but due to its random and stochastic behavior it is very difficult to do. In the present research, a methodology is proposed to predict electricity consumption in the short term using Markov Chains and Monte Carlo, and the results are validated with numerical techniques of curve reconstruction such as least squares and cubic splines, as well as verification of real demand behavior. Finally, the error that the proposed model has is verified against the other alternatives, having it be reduced. As well as, the prediction of electricity demand for a period of 7 days.

Keywords: Electrical Demand; Demand Forecasting; Markov Chains; Curve Reconstruction.

1. Introducción

Los modelos de eficiencia energética inician con la predicción del comportamiento de la demanda eléctrica, así evitando tener exceso de generación; por ende disminuyendo los costos operativos del sistema de potencia y reduciendo las emisiones de gases de efecto

invernadero que se producen en las centrales de generación térmica (Aguila, Carrión, & Ortiz, 2015; Asere-Bediako, Ribeiro, & Kling, 2012; Richardson, Thomson, Infield, & Delahunty, 2009)

El consumo energético a nivel mundial se ha incrementado en los últimos años y por ello la búsqueda de la reducción del consumo ha generado numerosas investigaciones, la mayoría enfocada a la gestión de la demanda en las cuales mediante diversas técnicas matemáticas se busca aplanar los picos de la curva. Para todas estas investigaciones se hace necesario determinar y reconstruir la curva de la demanda eléctrica como punto de partida; para lo cual se ha utilizado series de tiempo, regresiones, econometría, técnicas de optimización, algoritmos genéticos y metaheurísticas (Salisu & Ayinde, 2016; Suganthi & Samuel, 2012) (Pourmousavi & Nehrir, 2011).

Las investigaciones enfocadas al modelado del consumo residencial y que permiten determinar los indicadores de progreso de las naciones, en especial de los países en vías de desarrollo han hecho que continuamente se busquen actualizar los modelos de demanda de energía (Debnath, Mourshed, & Chew, 2015; Jenkins, Patidar, & Simpson, 2014; Nan, Abeysekera, & Wu, 2015). En (Bhattacharyya & Timilsina, 2010), se presenta un análisis comparativo de los principales modelos de demanda de energía y los separa en dos tipos de aproximaciones: econométricas y contabilidad de uso final. Enfocándose en los modelos que permite realizar aproximaciones a mediano y largo plazo, excluyendo a las predicciones de corto y muy largo plazo (Correa, Inga, Inga, & Hincapié, 2018).

La influencia de las regulaciones establecidas por el modelo de mercado eléctrico afecta a las proyecciones de la demanda eléctrica y generan comportamientos propios para cada región y tipo de usuario. En el caso de mercados eléctricos desregularizados que funcionan independientemente del operador del sistema, conocidos como micro redes; la modelación de la demanda se la puede realizar mediante modelos lineales que se los puede clasificar en modelos estáticos y dinámicos; por otra parte también existen los modelos no lineales que utilizan metaheurísticas, redes neuronales y algoritmos genéticos (Hernandez et al., 2014; Kilpatrick, Banfill, & Jenkins, 2011; Shao, Chao, Yang, & Zhou, 2017; Suganthi & Samuel, 2012).

Muchas investigaciones se han enfocado a la reconstrucción de la curva de la demanda eléctrica mediante el uso de técnicas estadísticas como son las técnicas de regresión, series de tiempo y ecuaciones diferenciales estocásticas (Flett & Kelly, 2017; McKenna, Krawczynski, & Thomson, 2015; Verdejo, Awerkin, Becker, & Olguin, 2017). Por otro lado, los métodos y técnicas numéricas para la construcción de la curva de la demanda eléctrica han logrado una gran aproximación en el comportamiento de la carga eléctrica, el uso del método de Newton, interpolación lineal y polinomial y trazadores cúbicos son las técnicas más usadas (Díaz-Araujo & Mediina-Rios, 2017; Jornaz, 2016; Kobayashi, Abe, & Tanaka, 2014; Rokhman, 2017; Rubin, Mercader, Nguyen, Gutman, & Baños, 2017; Sithiravel, 2014).

Para la reconstrucción de la curva de la demanda eléctrica se requiere el despliegue de equipos de medición, ya sean PMU a nivel de Transmisión o medidores inteligentes a nivel de Distribución, con los cuales se puede obtener los diferentes parámetros eléctricos del sistema de potencia. El principal inconveniente es la cantidad de información que

se dispone, especialmente a nivel de distribución por la gran cantidad de usuarios y es allí donde se hace necesario la creación de una metodología que ayude a predecir el comportamiento de la demanda en vez de reconstruirla (Carrion, Gonzalez, Isaac, Lopez, & Cardona, 2017; Inga et al., 2016; Sánchez & Carrión, 2017).

La utilización de métodos estocásticos para la reconstrucción de la curva de la demanda de energía eléctrica se basa en la distribución de la probabilidad, que en este caso son los parámetros distribucionales, los modelos de regresión o de series de tiempo. Las estimaciones de parámetros de los modelos propuestos se calculan con la función a posteriori, que es proporcional a la verosimilitud observada multiplicada por la distribución a priori (Garcia, Aguila, Isaac, Gonzalez, & Lopez, 2016).

Existen modelos utiliza la distribución predictiva como base del valor que se va a pronosticar, que a su vez se basa en la distribución a posteriori para los parámetros involucrados en dicha estimación. Dicho modelo requiere el suministro de información del comportamiento distribucional, así como datos actualizados en el instante de tiempo previo a su estimación (D. V Lindberg & Omre, 2015; Richardson, Thomson, & Infield, 2008).

La predicción del comportamiento de la demanda eléctrica se la ha realizado por diversas técnicas, es así que en (El-Telbany & El-Karmi, 2008) se presenta un modelo que utiliza redes neuronales que son alimentadas mediante los datos generados por PSO y predicen el comportamiento de la curva de la demanda, en cambio en (Zhang & Dong, 2001) se hibrida las redes neuronales con la transformada de Wavelet y se logra tener una predicción de la demanda a corto plazo.

Las técnicas estadísticas también pueden ser usadas para predecir el comportamiento de la demanda eléctrica, estas técnicas usan la información presente, extraen ciertas características del comportamiento y las proyectan para el futuro, estas técnicas pueden ser muy útiles para proyecciones a mediano y largo plazo (Carrión, González, López, & Isaac, 2019; Pappas et al., 2010; Suganthi & Samuel, 2012).

Los modelos predictivos son la base para el despacho de centrales de generación por parte de los centros de control y operación de los sistemas de potencia y por ello la presente investigación propone una metodología para predecir la demanda eléctrica a corto plazo mediante el uso de Cadenas de Markov y el algoritmo de Monte Carlo (MCMC), dicha metodología genera la curva de la demanda eléctrica; la cual es contrastada mediante técnicas numéricas y la demanda real, para así poder cuantificar el error del modelo.

El método de las cadenas de Markov es una forma de predicción de comportamientos futuros de un sistema que dependen de valores históricos o anteriores del comportamiento del mismo, es por eso; que es muy utilizado en el análisis de la demanda ya que esta cambia constantemente en el tiempo (Esfahani & Vahidi, 2012; D. V. Lindberg & Omre, 2014). Las cadenas de Markov funciona en base a una sucesión de eventos en los que todos los posibles estados futuros dependen únicamente de los datos presentes, A este proceso se lo denomina transición que es el cambio entre las probabilidades, y se refiere a un conjunto formado por las distintas posibilidades de suceso que tiene un mismo evento (Ahmad, Murphy, Vatansever, Stamatakis, & Godsill, 2016; Zapata, Garcés, & Gomez, 2006).

En cambio Monte Carlo es un método numérico que hace uso de la estadística, el cual permite resolver problemas matemáticos mediante simulación de variables aleatorias, existen dos pasos importantes que realiza Monte Carlo antes de ejecutar la simulación, la primera es que se genera números aleatorios usando una distribución de probabilidad y el segundo es la ejecución de un alto número de repeticiones para evitar la incertidumbre probabilística y disminuir el error (Huang, Li, & Mishra, 2015).

En adelante el artículo se organiza de la siguiente manera: en la sección 2 se muestran las definiciones de demanda eléctrica y se plantean los modelos matemáticos apoyan en su cuantificación, en la sección 3 se presenta la formulación del problema, en la sección 4 se analiza los resultados obtenidos y se muestran las métricas correspondientes a la eficiencia de los algoritmos y finalmente en 5 se exponen las conclusiones de la investigación.

2. Demanda Eléctrica

La diversidad del comportamiento de la demanda eléctrica hace que sea muy complicado determinar un modelo matemático que se ajuste al 100 % a la realidad, la incertidumbre de la demanda eléctrica hace que los modelos de predicción tengan errores y por ello se trata de dividir a la demanda en residencial, comercial e industrial; con ello se minimiza el error del modelo. La demanda eléctrica es la que pone las reglas del juego en cuanto a necesidades energéticas de los sistemas de potencia y justamente dichas reglas de comportamiento son puestas por los usuarios finales, por ello el concepto de red eléctrica inteligente dedica mucho interés en el estudio del comportamiento de la demanda y mediante la infraestructura de medición inteligente (AMI) ha caracterizado el comportamiento de carga con el inconveniente de tener que procesar una gran cantidad de información (Nan et al., 2015; Wang et al., 2015). Los planes de expansión de generación, transmisión y distribución se fundamentan en los indicadores de la demanda eléctrica; esta es otra aplicación de los métodos estadísticos enfocados a la demanda eléctrica.

El perfil de demanda en la etapa de Distribución tiene una reconstrucción diez minuter, lo cual hace que se requiera mucha información para tener una mayor precisión de la curva de respuesta, sin embargo, ello no permite caracterizar el comportamiento de diferentes tipos de usuarios, como son los residenciales, comerciales e industriales. Se tiene técnicas como interpolación lineal, mínimos cuadrados y trazadores cúbicos que ayudan a determinar el comportamiento real de la demanda y obtener la ecuación que la representa; pero todos estos modelos solo permiten realizar una reconstrucción mas no una predicción (Kilpatrick et al., 2011)

2.1. Interpolación Lineal

La interpolación lineal es la técnica más usada en la modelación de la demanda eléctrica por su simplicidad de cálculo, la interpolación lineal es un caso especial de la interpolación de Newton en el cual se aplica la ecuación de la recta conociendo dos puntos y esta operación se repite para la todos los pares de puntos que se formen de los datos de estudio obteniendo ecuaciones que representan el comportamiento de la

demanda en dicho intervalo, la ecuación (1) define la interpolación lineal conocido un par de puntos (Chapra & Canale, 2015).

$$p_t = p_o + \left(\frac{p_f - p_o}{t_f - t_o} \right) * (t_t - t_o) \quad (1)$$

Donde;

p_t ; representa la función de potencia a un tiempo cualquiera t_t

p_o ; represente una potencia inicial a un tiempo inicial t_o

p_f ; represente una potencia final a un tiempo final t_f

La principal característica de la interpolación lineal es el grado del polinomio es uno, en la ecuación (1) se observa que la variable independiente representada por t_t tiene un exponente lineal. El error que se obtiene mediante este modelo de reconstrucción de la señal va a depender de la no linealidad de los datos originales.

2.2. Mínimos cuadrados

El análisis numérico basado en la teoría de los mínimos cuadrados se la puede considerar como una técnica de optimización matemática, la cual busca minimizar el error cuadrático que se obtiene de una función continua que aproxima los datos originales del análisis. Se la puede considerar como una técnica de ajuste y justamente su principal aplicación es el ajuste de curvas. Esta técnica puede encontrar soluciones lineales y no lineales, considerando modelos no lineales a todos aquellos en que la variable independiente tienen un exponente diferente a uno (Salisu & Ayinde, 2016).

La formulación matemática de la técnica de ajuste por mínimos cuadrados se la puede representar como un sistema de ecuaciones, como se aprecia en (2); para un ajuste lineal. En el caso de (2) el objetivo es determinar los coeficientes a_0 y a_1 , para posteriormente utilizar la ecuación de la recta en la cual a_1 representa la pendiente de la recta, a_0 el corte con el eje de la variable dependiente y ε representa el error.

$$\begin{aligned} d * a_0 + \left(\sum_{i=1}^d t_o \right) a_1 &= \sum_{i=1}^d p_o \\ \left(\sum_{i=1}^d t_o \right) a_0 + \left(\sum_{i=1}^d t_o^2 \right) a_1 &= \sum_{i=1}^d (t_o * p_o) \end{aligned} \quad (2)$$

$$p_t = a_1 * t_t + a_0 + \varepsilon$$

Para el caso de ajustes no lineales se utiliza (3), la cual es un modelo genérico de mínimos cuadrados; al igual que el modelo lineal mediante el sistema de ecuaciones se determina los valores de los coeficientes ($a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$) en donde n es el grado del polinomio de la ecuación de ajuste y ε representa el error.

$$\begin{aligned}
 a_0 * d + a_1 * \sum_{i=1}^d t_i + a_2 * \sum_{i=1}^d t_i^2 + \dots + a_n * \sum_{i=1}^d t_i^n &= \sum_{i=1}^d y_i \\
 a_0 * \sum_{i=1}^d t_i + a_1 * \sum_{i=1}^d t_i^2 + a_2 * \sum_{i=1}^d t_i^3 + \dots + a_n * \sum_{i=1}^d t_i^{n+1} &= \sum_{i=1}^d (t_i * p_i) \\
 a_0 * \sum_{i=1}^d t_i^2 + a_1 * \sum_{i=1}^d t_i^3 + a_2 * \sum_{i=1}^d t_i^4 + \dots + a_n * \sum_{i=1}^d t_i^{n+2} &= \sum_{i=1}^d (t_i^2 * p_i) \\
 a_0 * \sum_{i=1}^d t_i^n + a_1 * \sum_{i=1}^d t_i^{n+1} + a_2 * \sum_{i=1}^d t_i^{n+2} + \dots + a_n * \sum_{i=1}^d t_i^{2n} &= \sum_{i=1}^d (t_i^n * p_i)
 \end{aligned} \tag{3}$$

$$p_t = a_0 + a_1 * t_t + a_2 * t_t^2 + \dots + a_n * t_t^n + \varepsilon$$

2.3. Trazadores cúbicos

Los trazadores cúbicos tienen como objetivo determinar una función diferenciable a trozos mediante polinomios de grado tres, evitando oscilaciones bruscas en el ajuste de curvas. Se recomienda el uso de trazadores cuando las formas de los datos tienen una complejidad elevada. La cantidad de polinomios que se genera es $n-1$; siendo n la cantidad de datos que se tiene (Jornaz, 2016; Rokhman, 2017; Sithiravel, 2014). La ecuación (4) muestra la forma del polinomio que representa a la ecuación de ajuste entre cada intervalo.

$$p_{ti} = a_i * t_i^3 + b_i * t_i^2 + c_i * t_i + d_i; \forall i \in m_{intervals} \tag{4}$$

De (4) se puede deducir que la función final que representa al ajuste por trazadores cúbicos en cada uno de los intervalos y se genera una función a trazos que se muestra en (5).

$$p_t = \begin{cases} p_{t_1} & t_0 \leq t \leq t_1 \\ \vdots & \\ p_{t_i} & t_{i-1} \leq t \leq t_i \\ \vdots & \\ p_{t_n} & t_{n-1} \leq t \leq t_n \end{cases} \tag{5}$$

En el caso de los trazadores es importante determinar las condiciones de frontera, que corresponden a los puntos en los que cada polinomio coincide en sus valores, es decir;

los límites de sus intervalos. Las condiciones de frontera se muestran en (6) y dependen de la primera y segunda derivada, así como de los valores límites de cada intervalo.

$$\begin{aligned}
 p_{ti}(t_{i-1}) &= p_{i-1} \\
 p_{ti}(t_{i-1}) &= p_{i-1} \\
 p_{ti}'(t_i) &= p_{ti+1}'(t_i) \\
 p_{ti}''(t_i) &= p_{ti+1}''(t_i)
 \end{aligned} \tag{6}$$

Con todas las ecuaciones antes descritas se formula un sistema de ecuaciones y se determina los coeficientes a_i , b_i , c_i y d_i para cada intervalo, obteniendo las ecuaciones que representan el comportamiento de la curva por intervalo.

3. Formulación del Problema

La reconstrucción y modelación de la curva de la demanda eléctrica en los sistemas de potencia es el principal parámetro que se considera para el despacho de generación a corto plazo. En la presente investigación se presenta una formulación matemática que predice la demanda eléctrica mediante el uso de Cadenas de Markov y Monte Carlo.

Se usa como datos de origen la demanda de un extracto de los hogares de Londres y se los verifica con los del 6 de diciembre del 2013, los datos extraídos presentan información cada 30 minutos, lo que genera 48 datos para todo el día. El problema que se tiene con dicha información es que no se conoce de manera real el valor de la potencia eléctrica a cualquier instante del día. Para solucionar dicho inconveniente se plantea determinar el comportamiento de la demanda eléctrica en cualquier intervalo de tiempo mediante métodos estocásticos.

Otra de las características planteadas es la reducción de puntos de referencia para la reconstrucción de la curva, para lo cual se realiza un análisis para determinar la cantidad óptima de puntos de referencia iniciales para que la reconstrucción no tenga errores excesivos en comparación de la señal original.

Para desarrollar los perfiles de demanda de potencia eléctrica mediante cadenas de Markov, se plantea una lista de posibles estados del sistema y caminos entre ellos, con ello logrando predecir el comportamiento con la propiedad condicionalmente dependiente del pasado, las variables aleatorias de las cadenas de Markov van cambiando con el tiempo; cuyo resultado es la generación de la curva de la demanda eléctrica.

Algoritmo 1: Método Estocástico

Paso 1: Inicialización

P = Vector de potencia de referencia (Datos históricos)

N = número de estados

Salida

Cd = Curva de la Demanda

Paso 2: Cadena de Markov

$\forall i, j$ pertenece a N;

$$Pr(X_t = j \mid X_{t+1} = i)$$

$$Pr_{ij} = Pr(X_t = j \mid X_{t+1} = i)$$

$$\sum_{j=1}^m Pr_{ij} = 1$$

$$T = Pr_{ij} = \begin{bmatrix} Pr_j & \cdot & Pr_m \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & Pr_{mm} \end{bmatrix}$$

$$T = [P_j] = \left[\sum_{i=1}^m P_i(o) * X_{ij} \right]$$

Cd = P_j en su estado estable

Paso 3: Gráfica de la demanda Eléctrica

Plot(Cd);

Para determinar la curva de la demanda mediante métodos estocásticos se aplica el algoritmo 1, en cual se requiere como datos de entrada ciertos puntos de referencia de la potencia eléctrica original, que se los considera como datos semilla.

4. Análisis de resultados

Como datos para alimentar el modelo de predicción se extrajo todas las demandas diarias del año 2012 de un extracto de los hogares de Londres y con ello se proyectó la demanda del día 6 de diciembre del 2013 del mismo extracto de usuarios; para validarlo con la información disponible de ese día.

Al aplicar el algoritmo 1 se obtiene la predicción de la curva de demanda para el día en mención, dicha curva es comparada con los datos reales. Pero debido a que los mismos son solo puntos es muy complicado validar el error del modelo. Para solventar dicho inconveniente se la reconstrucción de la curva de demanda mediante métodos numéricos.

Algoritmo 2: Métodos Numéricos para reconstrucción de la demanda**Paso 1:** Ingreso

P = Vector de potencia de referencia

Salida

Cd = Curva de la Demanda

Paso 2:

Mín Pi ;

s.t.

 $\hat{a} \leq 5\%$ **Paso 3:** Selección del método numérico

Polinomial

$$p_t = p_o + \left(\frac{p_f - p_o}{t_f - t_o} \right) * (t_t - t_o)$$

Mínimos cuadrados

$$\hat{p}_t = a_0 + a_1 * t_t + a_2 * t_t^2 + \dots + a_n * t_t^n +$$

Splines cúbico

$$p_{ti} = a_i * t_i^3 + b_i * t_i^2 + c_i * t_i + d_i; \forall i \in m_{intervals}$$

Paso 4: Determinación de la curva de la demanda

$$P(t) = \begin{cases} P_1(t) \\ P_2(t) \\ \vdots \\ P_{m-1}(t) \\ P_m(t) \end{cases}; \text{ Función a trozos de la demanda}$$

Paso 5:

Plot(P(t));

Luego de verificar los resultados de las curvas de la demanda eléctrica proyectada y las reconstruidas mediante métodos numéricos finalmente se puede validar la metodología propuesta y determinar cual es la cantidad mínima de información que se requiere para que la predicción de la demanda tenga una tolerancia máxima del 5 %, valor que se toma como error máximo.

Para verificar la validez del modelo planteado se compara la señal original, la reconstrucción de la misma por diferentes métodos numéricos mediante el algoritmo 2 y la que da como resultado el modelo MCMC, lo cual se lo puede observar en la figura 1.

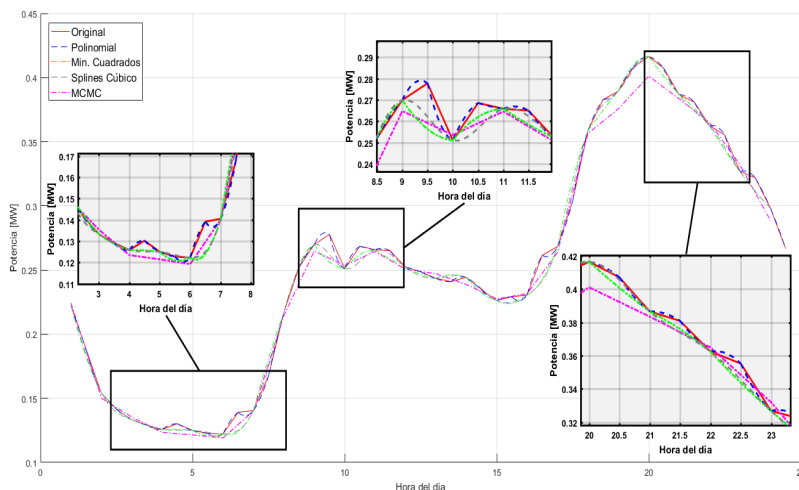


Figura 1 – Reconstrucción y predicción de la demanda eléctrica

La Figura 1 muestra que el mejor desempeño en la reconstrucción y modelado de la curva de demanda es logrado por el método numérico de interpolación polinómica; sin embargo, la predicción realizada por MCMC es muy apegada a curva original, incluso teniendo un comportamiento muy similar a la técnica de mínimos cuadrados. Se pueden distinguir tres zonas de la curva, la primera es un valle en el que se pueden apreciar diferencias entre la predicción, la reconstrucción y la señal original, con un error considerable cuando cambia la pendiente; todos los métodos exhiben un error al estimar la curva original, y la interpolación polinómica es la mejor como se mencionó con anterioridad. La segunda zona incluye uno de los picos de demanda, en el que el cambio de pendiente es mayor; de nuevo, el método polinomial logra el mejor rendimiento, pero la técnica MCMC nuevamente logra ser muy similar a la original. La tercera zona no tiene cambios abruptos de pendiente, y todos los métodos exhiben un buen comportamiento, por lo que no se puede detallar mayor error en el modelo.

La Figura 2 muestra el error promedio para cada uno de los métodos, tanto del modelo predictivo como para los de reconstrucción. Para los métodos estocásticos (MCMC), que corresponde al método predictivo, (Fig. 2a) el error promedio fue de 3.6%; en cambio, la interpolación polinomial (Fig. 2b) mostró un error promedio de 0.49%; el método basado en mínimos cuadrados (Fig. 2c) tuvo un error promedio fue 1.41% y el método basado en splines cúbicos (Fig. 2d) obtuvo un error promedio fue 1.06%, correspondiendo estos últimos tres a los modelos que efectúan la reconstrucción de la señal basado en los datos originales que son obtenidos mediante la medición. Es importante decir que, dado que el error es un promedio, habrá intervalos en que el error sea inferior al indicado y viceversa.

El modelo desarrollado para lograr la predicción tiene una buena respuesta, si consideramos que únicamente se usó como información semilla los datos de un año, si al

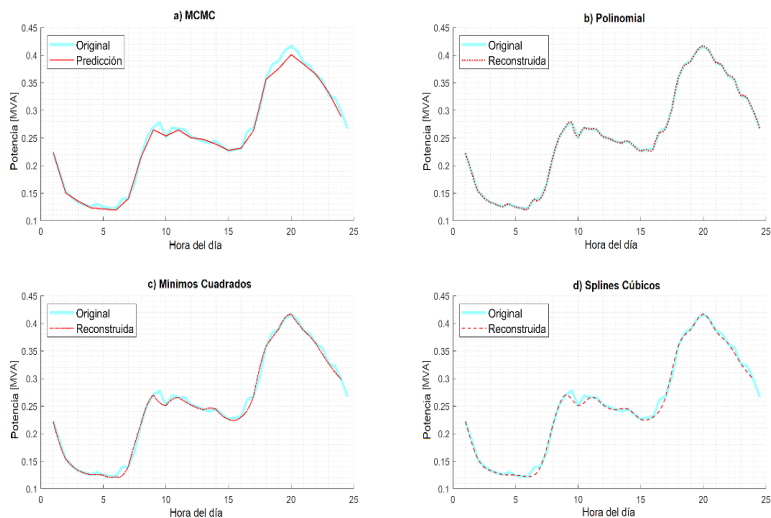


Figura 2 – Reconstrucción y predicción de la demanda eléctrica

modelo se lo alimentara con una mayor cantidad de datos, es decir, más años anteriores el error se reduciría casi a 0 %, pero ello conllevaría a un mayor gasto de tiempo de ejecución en la predicción de la curva de la demanda, dicha modelación se la realizó considerando la información de hasta 5 años, es decir, se consideró la demanda eléctrica de los años 2008, 2009, 2010, 2011 y 2012, obteniendo el error y el tiempo de ejecución del modelo propuesto, como se aprecia en la figura 3. La simulación se la efectuó en una computadora con procesador Intel(R) Xeon(R) CPU E3-1535M v5 @ 2.90 GHz con 64 GB RAM y se uso Matlab como entorno para la modelación y simulación de los comportamientos de la demanda eléctrica.

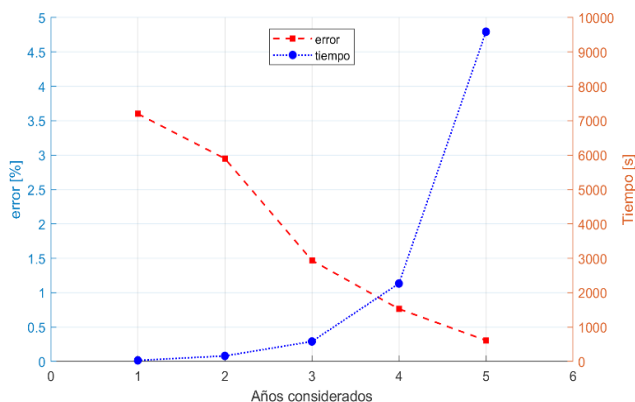


Figura 3 – Tiempo de ejecución y error del modelo de predicción

En la figura 3 se puede apreciar como el error decrementa cuando se tiene una mayor cantidad de información, pero de la misma manera el tiempo de ejecución del método propuesto se incrementa, es así, que para cuando se tiene la información de 5 años como semilla del modelo el error es del 0.3 % pero el tiempo de simulación es de 9587.8 [s]. Haciendo un balance en cuanto a la mejora del error y la exigencia en tiempo de ejecución, no se justifica el incrementar la cantidad de información que se usa como semilla del modelo de predicción.

Después de verificar el error que se tiene con el modelo MCMC para la predicción, las técnicas numéricas para la reconstrucción y la señal original del día bajo estudio, se puede concluir que la metodología desarrollada es aceptable para poder predecir el comportamiento de la demanda eléctrica a corto plazo considerando únicamente la información de un año atrás. Una vez que se verifica su utilidad, se reconstruye la curva de demanda eléctrica durante una semana; es decir, del 6 al 12 de diciembre de 2013 de una muestra de hogares en Londres, de esta manera se tiene el comportamiento de la demanda para cada día de la semana, lo cual se puede apreciar en la Figura 4.

En la Fig. 4 se muestra la reconstrucción y predicción de la curva de demanda para una semana entera, tiene errores apreciables, especialmente cuando la demanda eléctrica cambia de pendiente, es decir; va de pendiente positiva a pendiente negativa o viceversa, lo cual se acentúa en los picos de la demanda. En los intervalos correspondientes a estos cambios se encuentra el mayor error de cada uno de los modelos y es mayor cuando el cambio de la pendiente es muy pronunciado. Esto se puede asociar al comportamiento aleatorio de la demanda, lo cual es muy complicado de predecir, ya que las condiciones o exigencias de la carga dependen de factores externos ajenos a las variables eléctricas.

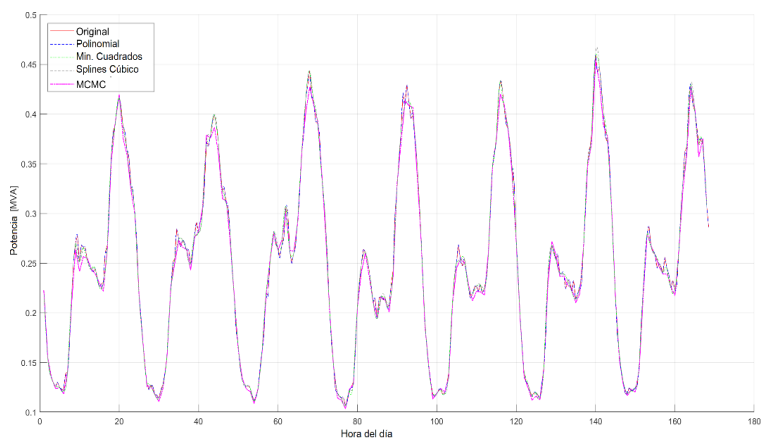


Figura 4 – Reconstrucción y predicción de la demanda eléctrica del 6 al 12 de diciembre del 2013

La utilidad de la figura 4 para los procesos de planeación del despacho de energía por parte del centro de control y monitoreo de los sistemas eléctricos de potencia es determinar cuales centrales de generación deben estar listas para entregar potencia eléctrica, cuales deben ser consideradas como reserva y cuales pueden estar en procesos de mantenimiento, todo ello ayuda a minimizar los costos operativos del sistema ya que se dispondría de un despacho económico a corto plazo con una demanda proyectada que se la puede considerar real, esto debido a su bajo error.

4. Conclusiones

Los métodos estocásticos son muy viables para pronosticar el comportamiento de la demanda eléctrica y requieren menos información inicial que los métodos numéricos. Sin embargo, el tiempo de cálculo es más largo. Como consecuencia, estos métodos se pueden utilizar para predicciones a corto plazo de la demanda, lo cual es útil para el despacho de energía en la etapa de generación.

El ajuste del error de la metodología planteada conlleva a una mejor predicción del comportamiento del sistema de potencia, desde el punto de vista operativo y permite tener una planificación del despacho de energía, junto con la planificación de mantenimiento programados de las diferentes centrales de generación.

Otra de las aplicaciones del modelo de predicción de la demanda eléctrica está enfocado a los modelos de gestión de la demanda; con lo cual se puede prever cuando existirá un pico de la misma para generar acciones de mejora y aplanar la curva.

Referencias

- Aguila, A., Carrión, D., & Ortiz, L. (2015). Analysis of power losses in the asymmetric construction of electric distribution systems. *IEEE Latin America Transactions*, 13(7), 2190–2194. <https://doi.org/10.1109/TLA.2015.7273776>
- Ahmad, M. F., Murphy, J., Vatansever, D., Stamatakis, E. A., & Godsill, S. J. (2016). Bayesian Inference of Task-Based Functional Brain Connectivity Using Markov Chain Monte Carlo Methods. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 10(7), 1150–1159. <https://doi.org/10.1109/JSTSP.2016.2599010>
- Asere-Bediako, B., Ribeiro, P. F., & Kling, W. L. (2012). Integrated Energy Optimization with Smart Home Energy Management Systems. *2012 3rd IEEE PES International Conference and Exhibition on Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Europe)*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/ISGTEurope.2012.6465696>
- Bhattacharyya, S. C., & Timilsina, G. R. (2010). Modelling energy demand of developing countries: Are the specific features adequately captures? *Energy Policy*, 38(4), 1979–1990. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.11.079>
- Carrion, D., Gonzalez, J. W., Isaac, I. A., Lopez, G. J., & Cardona, H. A. (2017). Load Characterization Based on Voltage and Current Phasorial Measurements in Micro-Grids. *2017 International Conference on Information Systems and Computer Science (INCISCOS)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/INCISCOS.2017.23>

- Carrión, D., González, J. W., López, G. J., & Isaac, I. A. (2019). Alternative fault detection method in electrical power systems based on ARMA model. *2019 FISE-IEEE/CIGRE Conference - Living the Energy Transition, FISE/CIGRE 2019*. <https://doi.org/10.1109/FISECIGRE48012.2019.8984981>
- Chapra, S. C., & Canale, R. P. (2015). Numerical methods for engineers. In *Mathematics and Computers in Simulation* (Vol. 33). [https://doi.org/10.1016/0378-4754\(91\)90127-0](https://doi.org/10.1016/0378-4754(91)90127-0)
- Correa, E., Inga, E., Inga, J., & Hincapie, R. (2018). Electrical consumption pattern base on meter data management system using big data techniques. *Proceedings - 2017 International Conference on Information Systems and Computer Science, INCISCOS 2017, 2017-Novem*, 334–339. <https://doi.org/10.1109/INCISCOS.2017.19>
- Debnath, K. B., Mourshed, M., & Chew, S. P. K. (2015). Modelling and Forecasting Energy Demand in Rural Households of Bangladesh. *Energy Procedia*, 75, 2731–2737. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.480>
- Díaz-Araujo, M. H., & Mediina-Rios, J. A. (2017). Periodic Steady State of Power Networks using the Numerical Differentiation Method and Spline Interpolation. *2017 IEEE Power & Energy Society General Meeting*, 5. <https://doi.org/10.1109/PESGM.2017.8274646>
- El-Telbany, M., & El-Karmi, F. (2008). Short-term forecasting of Jordanian electricity demand using particle swarm optimization. *Electric Power Systems Research*, 78(3), 425–433. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2007.03.011>
- Esfahani, M. T., & Vahidi, B. (2012). A New Stochastic Model of Electric Arc Furnace Based on Hidden Markov Model : A Study of Its Effects on the Power System. *Ieee Transactions on Power Systems*, 27(4), 1893–1901. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2012.2206408>
- Flett, G., & Kelly, N. (2017). A disaggregated, probabilistic, high resolution method for assessment of domestic occupancy and electrical demand. *Energy and Buildings*, 140, 171–187. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.01.069>
- Garcia, E. M., Aguila, A., Isaac, I., Gonzalez, J. W., & Lopez, G. (2016). Analysis of voltage profile to determine energy demand using Monte Carlo algorithms and Markov Chains (MCMC). *2016 51st International Universities Power Engineering Conference (UPEC), (Mcmc)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/UPEC.2016.8114092>
- Hernandez, L., Baladron, C., Aguiar, J., Carro, B., Sanchez-Esguevillas, A., Lloret, J., & Massana, J. (2014). A Survey on Electric Power Demand Forecasting: Future Trends in Smart Grids, Microgrids and Smart Buildings. *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, (99), 1–36. <https://doi.org/10.1109/SURV.2014.032014.00094>

- Huang, H., Li, F., & Mishra, Y. (2015). Modeling Dynamic Demand Response Using Monte Carlo Simulation and Interval Mathematics for Boundary Estimation. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 6(6), 2704–2713. <https://doi.org/10.1109/TSG.2015.2435011>
- Inga, E., Carrión, D., Aguila, A., García, E., Hincapié, R., & González, J. W. (2016). Minimal Deployment and Routing Geographic of PMUs on Electrical Power System based on MST Algorithm. *IEEE Latin America Transactions*, 14(5), 2264–2270. <https://doi.org/10.1109/TLA.2016.7530422>
- Jenkins, D. P., Patidar, S., & Simpson, S. A. (2014). Synthesising electrical demand profiles for UK dwellings. *Energy and Buildings*, 76, 605–614. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.03.012>
- Jornaz, A. S. (2016). *Modeling daily electricity load curve using cubic splines and functional principal components* (Missouri University of Science and Technology). Retrieved from http://scholarsmine.mst.edu/doctoral_dissertations
- Kilpatrick, R. A. R., Banfill, P. F. G., & Jenkins, D. P. (2011). Methodology for characterising domestic electrical demand by usage categories. *Applied Energy*, 88(3), 612–621. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.08.002>
- Kobayashi, Y., Abe, R., & Tanaka, K. (2014). The Study of Method of Electric Demand Prediction for Liberalized Household Electricity Market. *3rd Renewable Power Generation Conference (RPG 2014)*, 8.52–8.52. <https://doi.org/10.1049/cp.2014.0937>
- Lindberg, D. V., & Omre, H. (2014). Blind categorical deconvolution in two-level hidden Markov models. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52(11), 7435–7447. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2014.2312484>
- Lindberg, D. V., & Omre, H. (2015). Inference of the Transition Matrix in Convolved Hidden Markov Models and the Generalized Baum-Welch Algorithm. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 53(12), 6443–6456. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2015.2440415>
- McKenna, E., Krawczynski, M., & Thomson, M. (2015). Four-state domestic building occupancy model for energy demand simulations. *Energy and Buildings*, 96, 30–39. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.03.013>
- Nan, X., Abeysekera, M., & Wu, J. (2015). Modelling of Energy Demand in a Modern Domestic Dwelling. *Energy Procedia*, 75, 1803–1808. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.148>
- Pappas, S. S., Ekonomou, L., Karampelas, P., Karamousantas, D. C., Katsikas, S. K., Chatzarakis, G. E., & Skafidas, P. D. (2010). Electricity demand load forecasting of the Hellenic power system using an ARMA model. *Electric Power Systems Research*, 80(3), 256–264. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2009.09.006>

- Pourmousavi, S., & Nehrir, M. (2011). Demand response for smart microgrid: Initial results. *Innovative Smart Grid Technologies*, 0–5. <https://doi.org/10.1109/ISGT.2011.5759181>
- Richardson, I., Thomson, M., & Infield, D. (2008). A high-resolution domestic building occupancy model for energy demand simulations. *Energy and Buildings*, 40(8), 1560–1566. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.02.006>
- Richardson, I., Thomson, M., Infield, D., & Delahunty, A. (2009). Domestic lighting: A high-resolution energy demand model. *Energy and Buildings*, 41(7), 781–789. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.02.010>
- Rokhman, N. (2017). Solving Non-Linear Equations Containing Spline Interpolation Function by Relaxing The Newton Method. *2017 Second International Conference on Informatics and Computing (ICIC)*, 5. <https://doi.org/10.1109/IAC.2017.8280641>
- Rubin, D., Mercader, P., Nguyen, H. N., Gutman, P. O., & Baños, A. (2017). Improvements on Interpolation Techniques based on Linear Programming for Constrained Control. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 1403–1408. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.245>
- Salisu, A. A., & Ayinde, T. O. (2016). Modeling energy demand: Some emerging issues. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1470–1480. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.121>
- Sánchez, A., & Carrión, D. (2017). Modeling of the Behavior Power Flow on Transmission Lines Based on Voltage and Current Synchronopasors. *IEEE Latin America Transactions*, 16(4), 1142–1149. <https://doi.org/10.1109/TLA.2018.8362149>
- Shao, Z., Chao, F., Yang, S. L., & Zhou, K. Le. (2017). A review of the decomposition methodology for extracting and identifying the fluctuation characteristics in electricity demand forecasting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75(November 2016), 123–136. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.056>
- Sithiravel, R. (2014). *B-Spline Based Multitarget Tracking*. McMaster University.
- Suganthi, L., & Samuel, A. A. (2012). Energy models for demand forecasting - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(2), 1223–1240. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.08.014>
- Verdejo, H., Awerkin, A., Becker, C., & Olguin, G. (2017). Statistic linear parametric techniques for residential electric energy demand forecasting. A review and an implementation to Chile. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74(November 2016), 512–521. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.110>
- Wang, Y., Chen, Q., Kang, C., Zhang, M., Wang, K., & Zhao, Y. (2015). Load profiling and its application to demand response: A review. *Tsinghua Science and Technology*, 20(2), 117–129. <https://doi.org/10.1109/TST.2015.7085625>

- Zapata, C., Garces, L., & Gomez, O. (2006). Reliability Assessment of Energy Limited Systems Using Sequential Montecarlo Simulation. *2006 IEEE/PES Transmission & Distribution Conference and Exposition: Latin America*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/TDCLA.2006.311443>
- Zhang, B.-L., & Dong, Z.-Y. (2001). An adaptive neural-wavelet model for short term load forecasting. *Electric Power Systems Research*, 59(2), 121–129. [https://doi.org/10.1016/S0378-7796\(01\)00138-9](https://doi.org/10.1016/S0378-7796(01)00138-9)

Modelo térmico para determinar la vida útil de un transformador de distribución sumergido en aceite

David Cárdenas¹, David Paredes¹, Erwin Solano¹, Gary Ampuno¹

dcardenasv@ups.edu.ec, dparedesal@est.ups.edu.ec, esolano@ups.edu.ec,
gampuno@ups.edu.ec

¹ Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

Pages: 258–274

Resumen: El transformador es el componente fundamental de cualquier sistema de distribución eléctrica, a través de este mecanismo se genera la distribución eléctrica que alimenta las líneas eléctricas de los hogares en centros urbanos y rurales. La problemática de los transformadores envejecidos en instalaciones a nivel mundial y es el interés de las industrias y empresas que desean conocer que tiempo de vida útil les queda a los transformadores. Varias investigaciones presentan varios métodos de poder prever que tiempo de vida útil tienen los transformadores en funcionamiento. El aporte de este trabajo es la implementación de un modelo basado en la Ley de Arrhenius-Dankin, la cual, se centra como variable principal la temperatura del aceite del transformador y de las cargas conectadas en la distribución. Empleando datos de pruebas en transformadores reales, se obtienen un historial de datos para realizar las simulaciones con el modelo mediante software. Como resultado se da validación al modelo y también se entrega una tabla de consulta rápida para investigadores e ingenieros de diseños de transformadores.

Palabras-clave: Transformador; aislante; electricidad; simulación.

Thermal model to determine the service life of an oil-immersed distribution transformer

Abstract: The transformer is the fundamental component of any electrical distribution system. Through this mechanism, electrical distribution is generated that feeds the electrical lines of homes in urban and rural centers. The problem of aging transformers in installations worldwide and in the interest of industries and companies that want to know how long the life of the transformer is. Several types of research present several methods to be able to predict how long the life of transformers will be in operation. The contribution of this work is the implementation of a model based on the Arrhenius-Dankin Law, which focuses on the temperature of the transformer oil and the loads connected to the distribution as the main variable. Using test data in real transformers, data history is obtained to perform the simulations with the model by means of software. As a result, the model is validated and a quick reference table is also provided for researchers and transformer design engineers.

Keywords: Transformer; insulator; electricity; simulation.

1. Introduction

El calentamiento de un transformador de distribución es una consecuencia de su operación. Este calentamiento se encuentra asociado a la carga eléctrica que alimenta. Para controlar el fenómeno del calentamiento y evitar el daño al componente, los fabricantes han optado por la aplicación de un aceite (refrigerante y aislante) que cumpla con normas específicas a nivel internacional (Preciado & Rodas, 2015); (García & Gaspar, 2010). Esto ha permitido que se realicen normativas y clasificaciones de la refrigeración de los transformadores en función del clima y carga energética de su ubicación (García & D. Navas, 2016).

A niveles tecnológicos, el calentamiento de un equipo es regulado para prevenir su falla e incluso del sistema donde se encuentra, en el caso de los transformadores de un sistema de distribución, es de vital importancia el control de la temperatura a través del uso de su refrigerante interno.

Flores y Mombello (2007) presentan un estudio sobre la problemática de los transformadores envejecidos en instalaciones a nivel mundial. Y se centran en el interés de las industrias y empresas que desean conocer que tiempo de vida útil les queda a los transformadores. También son comparadas las guías de carga IEEE e IEC para el cálculo de la vida de aislamiento del transformador. Complementando el estudio de Flores y Mombello (2007), Carvajal (2008) en su trabajo realiza una descripción y pruebas reales empleando modelos térmicos bajo normas IEEE/IEC/ANSI validados con data obtenida de las pruebas.

En la actualidad, el ensayo de pruebas de calentamiento en transformadores, se lo realiza de forma manual mediante el registro de datos como corrientes y voltajes; para al final estimar el criterio de estabilidad de acuerdo a la experiencia del operador. Con la premisa anterior, autores como Cherres y Sarabia (2014) proponen realizar ensayos basados en las normas ANSI C57.12.90 de forma automatizada mediante equipos de National Instruments y como resultado aportan un método alternativo que disminuye el tiempo de ensayos. Otros trabajos en los que son planteados y validados modelos térmicos para estimar la temperatura y posterior envejecimiento de los transformadores han sido planteados, como en Martínez, Céspedes y García (2019) concluyendo que el desempeño más óptimo corresponde al modelo de ecuaciones diferenciales de la Comisión Electrotécnica Internacional.

Con las nuevas tecnologías, autores como Navas, Ramírez y González (2011); (D.F. Navas & Echeverría, 2013) incursionan en la instrumentación mediante fibra óptica para transformadores sumergidos en aceite. Con la llegada de las Smart-grids es necesario realizar un seguimiento en tiempo real de los transformadores y prever mantenimientos que ayuden su vida útil. Como resultado, Fuente: Elaboración propia obtuvieron los lugares críticos de mediciones dentro de un transformador sumergido en aceite.

Los trabajos descritos coinciden con la importancia del estudio y cálculo de la condición del aceite en transformadores que opera como el aislante interno y a su vez como refrigerante. Otro factor tomado en cuenta es el deterioro que sufre el transformador son por las oxidaciones del papel, todo esto por acción de la temperatura con o sin la existencia de oxígeno

La contribución del presente trabajo, es emplear la Ley de Arrhenius-Dankin (Taghikhani, 2011) para realizar un modelo de simulación que entregue cual es el tiempo de vida

útil de un transformador sumergido en aceite, mediante la toma de temperatura en varios puntos del tanque. Con estos el modelo, se pueden establecer un mantenimiento preventivo de los transformadores de distribución.

El modelo es contrastado con las pruebas en un transformador sumergido ubicado en el laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Politécnica Salesiana de Guayaquil, la toma de datos en el transformador fue realizada durante largos períodos de tiempo, de la misma forma como la obtención de datos de consumo eléctrico en transformadores en sistemas de distribución eléctrico.

Este documento se estructura de la siguiente manera. Tras la introducción, el apartado 2 presenta la modelización la Ley de Arrhenius - Dankin. El apartado 3 muestra las pruebas de efectuadas en el transformador sumergido. El apartado 4 propone la simulación del envejecimiento del aceite del transformador sumergido. Finalmente, se presentan los resultados y conclusiones del documento.

2. Materiales y métodos

La Ley de Arrhenius - Dankin corresponde a una dependencia total de la temperatura del aceite aislante y establece que, con el incremento de la temperatura durante la operación del transformador, las características técnicas del aislante se reducen paulatinamente de forma exponencial, representada en la ecuación 1.

$$t = A \cdot e^{B/T} \quad (1)$$

Donde, t corresponde con el tiempo remanente, A y B son valores constantes y resultado de análisis del aceite respectivamente, y T es la temperatura del aceite en grados absolutos (Zheng, Lui, & Y. Zhang, 2018).

A partir de la ecuación 1, se publica el documento IEEE C57.12.91-2007, donde establece el estándar para la determinación del tiempo de vida del transformador presentando una dependencia total sobre el aislante obtenido del aceite, como son, la temperatura, las características del aceite y el oxígeno contenido. Las características de aceite y oxígeno contenido, son minimizadas estableciendo a la temperatura como la variable de control de la vida del transformador (IEEE Power and Energy Society, 2017); (Shoemaker & Mack, 2009).

El envejecimiento del aislante está determinado a través de la aplicación del estudio de Taylor, Abdi, Boubakeur y Haddad (2011), con la ecuación 2.

$$t = A \cdot e^{\frac{B}{\theta_H + 273}} \quad (2)$$

Donde A y B son constantes características del aislante, θ_H es la temperatura máxima alcanzada por los bobinados en grados centígrados (Šefl, 2017).

La figura 1 muestra la curva característica de la ecuación 2. La curvatura exponencial denota que, con el incremento de la temperatura, el tiempo de vida del aislante se reduce

considerablemente. Mientras más elevada la temperatura, causaría un daño definitivo y pérdida total del equipo. El reconocimiento de la influencia del calentamiento interno del aislante debido al trabajo del transformador genera un foco de atención para el estudio de la vida útil del aceite aislante.

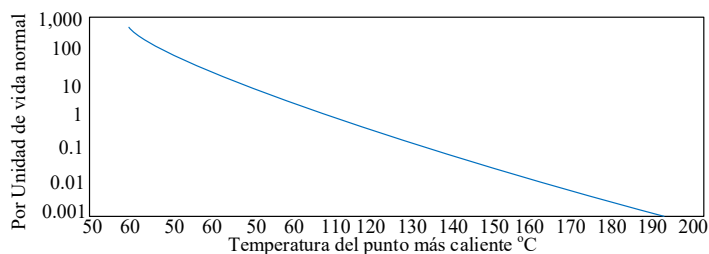


Figura 1 – Envejecimiento del aislante térmico del transformador.
(IEEE Power and Energy Society, 2017)

Para llevar a cabo las pruebas de temperatura en el transformador sumergido en aceite, fue necesario modificar la carcasa del mismo. En la figura 2, se aprécian los puntos de medición de temperatura mediante termocuplas y cableados apantallados para garantizar las coxiones requeridas. Estas señales son enviadas al módulo de captura de datos para sistemas SCADA del laboratorio (Araujo & Bayas, 2015).



Figura 2 – Equipos empleados a) Transformador tipo tanque, b) Módulo para captura de datos.
Fuente: Elaboración propia

El Controlador lógico programable (PLC), recibe mediante los módulos de señales analógicas SM los datos de temperatura captadas por las termocuplas instaladas en

el transformador (T1 a T10) y de la referencia ambiental. Posteriormente, mediante la red ProfiNet, el PLC se conecta a la laptop para descargar la información de campo y procesarla. El esquema de conexiones del PLC es presentada en la figura 3.

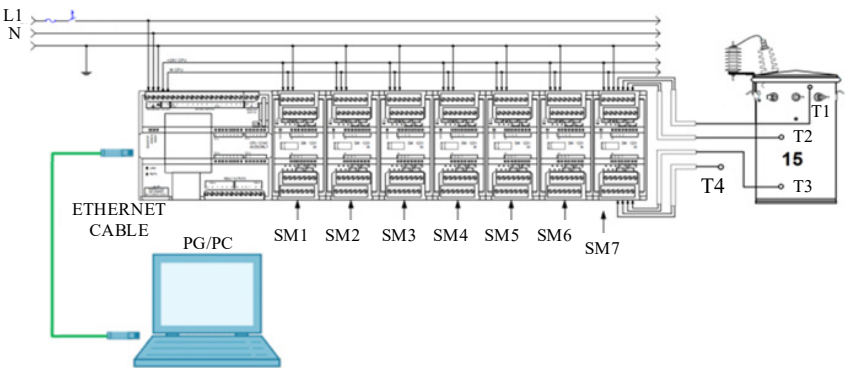


Figura 3 – Esquema de conexiones.
Fuente: Elaboración propia

2.1. Herramienta informática LabView

En la figura 3, es presentada la pantalla principal de la aplicación diseñada en el software LabView. La aplicación permite enlazar las señales de las termocuplas instaladas en el tanque y que llegan al PLC, con la base de datos que se encuentra en el computador. La visualización de la pantalla inicial del programa creado para el presente proyecto se presenta en la figura 3.

Cada dato es registrado en tiempo real y almacenado en un archivo para su posterior verificación.

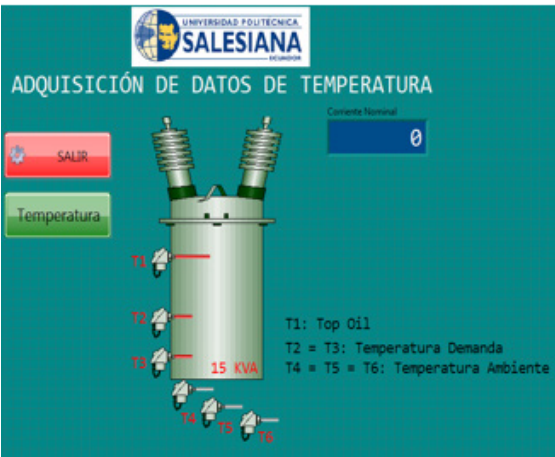


Figura 4 – Ventana principal del programa en LabView y diagrama de conexión.
Fuente: Elaboración propia

3. Desarrollo práctico

La fase preliminar de la ejecución de las pruebas se inicia con las pruebas y ensayos generales del transformador según las recomendaciones de la IEEE C57.12.00.2017 (IEEE Power and Energy Society, 2017). Las pruebas de corto circuito y circuito abierto, fueron realizadas en trabajos anteriores de Aquino y Zúñiga (2018). Las pruebas de temperatura son los aportes del presente documento. Con todos los resultados, es posible realizar los cálculos de forma manual y compararlos con las simulaciones del modelo propuesto.

3.1. Prueba de circuito cerrado

Mediante la prueba de circuito cerrado, se pueden verificar las pérdidas del cobre del transformador, estableciéndose como una referencia de ésta prueba el documento C57.12.90-2017 de la IEEE, donde se presenta una clasificación de los transformadores por categorías en función del potencial de operación.

En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos de la prueba de cortocircuito descrito por Aquino y Zúñiga (2018) en el transformador que fue objeto de estudio.

PRUEBA DE CORTOCIRCUITO		Fact. Potencia 0,42	Temp (°C) 28	Ref. a 85 °C	Garantizadas a 85 °C
		Pérdidas	134	162,38	Pérdidas (W) 192
<i>I_{cc}</i> (A)	197	<i>I_{2xR}</i> (W)	132,9	160,89	
<i>U_{cc}</i> (V)	160	Impedancia (%)	2,1	2,19	Impedancia (%) 3

Tabla 1 – Resultado de la prueba de cortocircuito.

3.2. Prueba de circuito abierto

Mediante la prueba del circuito abierto también referenciado a través del documento C57.12.90-2017 de la IEEE se obtiene la verificación de la pérdida presentada en el núcleo del transformador y del flujo magnético sumado a la histéresis. En la Tabla 2, son presentados los resultados de la prueba de circuito abierto que fue realizada por Aquino y Zúñiga.

Prueba sin carga	Voltaje (V)	<i>I_o</i> (A)	Promedio %	Garantía	Po Medido	Po (W)
	240	0,41	0,66	2,4	65	68

Tabla 2 – Resultado de la prueba de cortocircuito

3.3. Resultados de las pruebas de temperatura

Para realizar de cada una de las pruebas, se utilizó una corriente nominal de 1,5 PU, 1,8 PU y 2 PU de forma paulatina. Las pruebas 1, 2 y 3, tuvieron un tiempo de durabilidad de

3, 4.5, y 1 hora respectivamente, esto permite apreciar la variación de las temperaturas tomadas. Los resultados se muestran en la tabla 3 y la figura 4.

Fecha	Hora	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
Primer ensayo (corriente base de 1.5 PU)					
09/12/2018	11:29:56	67,11	66,26	62,11	30,89
09/12/2018	12:00:00	71,22	66,47	66,22	30,82
09/12/2018	12:30:00	73,74	67,08	68,74	30,82
09/12/2018	13:00:00	76,18	67,83	71,18	30,75
09/12/2018	13:30:00	78,36	68,51	73,36	30,68
09/12/2018	14:00:00	89,03	80,53	84,03	24,62
09/12/2018	14:30:00	90,73	81,42	85,73	24,62
Segundo ensayo (corriente base de 1.8 PU)					
05/01/2019	13:06:52	78,76	77,81	73,76	30,89
05/01/2019	13:30:00	81,42	78,08	76,42	30,82
05/01/2019	14:00:00	85,7	79,51	80,7	30,82
05/01/2019	14:30:00	89,58	81,08	84,58	30,75
05/01/2019	15:00:00	92,77	82,37	87,77	30,68
05/01/2019	15:30:00	95,9	83,52	90,9	24,62
05/01/2019	16:00:00	98,62	84,48	93,62	24,62
Tercer ensayo (corriente base de 2 PU)					
12/01/2019	15:46:56	104,69	99,75	99,69	30,89
12/01/2019	16:18:07	108,66	100,53	103,66	30,82
12/01/2019	16:48:00	112,73	102,1	107,73	30,82
12/01/2019	16:49:51	113,01	102,3	108,01	30,75
12/01/2019	16:50:20	113,1	102,3	108,1	30,68
12/01/2019	16:50:35	113,1	102,3	108,1	24,62
12/01/2019	16:51:18	113,19	102,39	108,19	24,62

Tabla 3 – Ensayos (corriente base de 1.5 PU, 1.8 PU y 2PU)

3.4.Simulación del envejecimiento del aceite

En la figura 6 se muestra el diagrama de flujo con el que el modelo cumple la simulación. Primero son ingresados los valores característicos del transformador a ser evaluado, el factor de variación de la carga se genera de forma aleatoria para así obtener una variación de la temperatura del aceite del transformador como aproximación a las lecturas de los sistemas de distribución. Las variaciones de tiempo se establecen hasta 24 horas, para cada hora se ubica el valor de la temperatura del aceite y se compara con la tabla del factor de aceleración de envejecimiento (FAA) de la norma C57.91 de la IEEE. Esta prueba se replica para 365 días para obtener la temperatura de un mes y de un año.

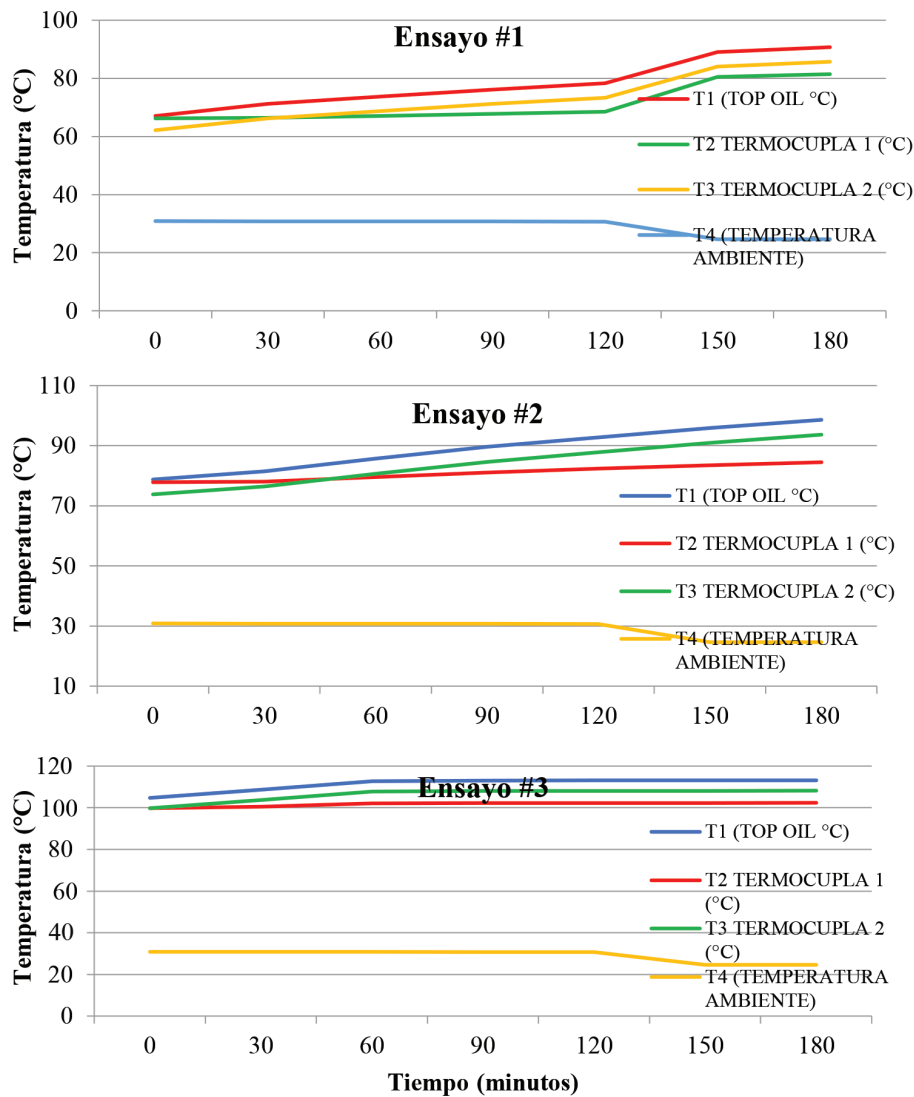


Figura 5 – Gráficas de lecturas de los ensayos.

Luego se multiplica por un valor numérico para expresar el incremento anual de un grado centígrado (1 °C) en el año, éste tipo de variable se realiza debido a que el crecimiento de las exigencias es real y se establece un valor fijo de uno. Seguidamente se busca el FAA correspondiente a cada temperatura durante el mes y el año en vectores separados.

Mediante una matriz es almacenada la variación de temperatura del aceite durante 24 horas repetidas 35 veces, una para cada año, pero con incrementos de una unidad para

expresar la demanda energética aumentada anualmente. se reúnen las 35 matrices en un solo vector denominado FAA. Para obtener la gráfica de desgaste del transformador se debe restar cada uno de los cuatro vectores al valor unitario de vida estipulada en la C57.91 correspondiente con 180.000 horas como se expresa en la ecuación 3, dichos resultados se grafican para finalizar los cálculos. En la figura 5 la gráfica que representa el tiempo de vida útil del transformador en función de un día de operación.

$$Vida(i)=180000-\sum FAA \tag{3}$$

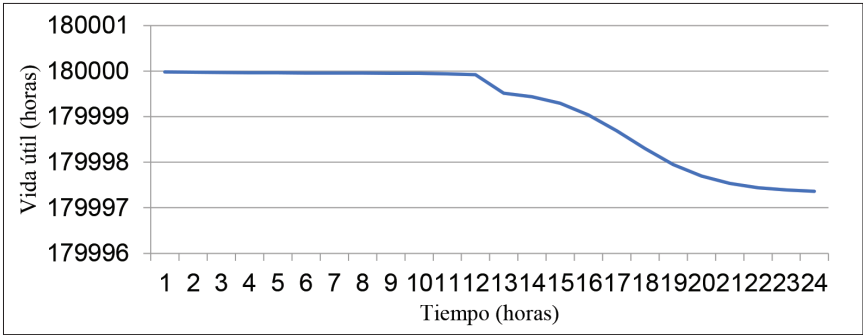


Figura 6 – Gráfico de vida útil del transformador durante un día.

3.5. Simulaciones realizadas

El diseño del simulador creado a través del software MATLAB, está conformado por los siguientes elementos: tres gráficos para representar las curvas, dos barras deslizantes para la selección de la temperatura nominal del aceite empleado; y el factor de variación de la carga, conocido como “rata de cambio de la carga”, que genera un cambio en la temperatura del aceite durante su operación.

En un grupo de texto se agregan dos casillas para presentar las constantes *A* y *B* de Arrhenius-Dakin, inicialmente se establecen los valores indicados en la norma C57.91. Posteriormente, es posible modificar los valores para características de otro aceite. Se incorporan un botón para iniciar los cálculos y representaciones gráficas, otros cuatro botones sirven para visualizar las gráficas de forma diaria, mensual, anual y también la vida útil. Finalmente, una etiqueta de texto muestra el resultado de la simulación de manera alfanumérica.

Para establecer un conjunto de pruebas reguladas que permitan evidenciar los cambios en la estimación de la vida útil de un transformador, se desarrollaron variaciones en los datos básicos del simulador. Los resultados fueron agrupados en las tablas 4 y presentadas por la figura 6 respectivamente para demostrar las tendencias gráficas en las pruebas.

En la tabla 4, son mostradas las combinaciones de temperaturas, rata de carga y constantes *A* y *B* empleados para las pruebas.

Temperatura (°C)		VIDA ÚTIL	
<i>Resultados en simulación con variación de temperatura</i>		Horas	Calendario
	60	424926	48 años, 6 meses y 3,6 días
	80	252469	28 años, 9 meses y 25,2 días
	100	110330	12 años, 7 meses y 2,4 días
	120	30826	3 años, 6 meses y 7,2 días
	140	6637	9 meses y 3,6 días
Rata de carga		Horas	Calendario
Resultados en simulación con variación de rata de carga	1	250947	28 años, 7 meses y 24 días
	2	245489	28 años, 7,2 días
	3	243112	27 años, 9 meses
	4	234960	26 años, 9 meses, 25,2 días
	5	236016	26 años, 11 meses, 8,2 días
Constante A		Horas	Calendario
Resultados en simulación con variación de la constante B	9,8e-18	242776	27 años, 8 meses y 15,6 días
	9,8e-130	242035	27 años, 7 meses y 16,8 días
	9,8e-5	243948	27 años, 10 meses y 6 días
Constante B		Horas	Calendario
Resultados en simulación con variación de la constante A	500	243601	27 años, 9 meses y 21,6 días
	1500	242682	27 años, 8 meses y 12 días
	2500	235336	26 años, 10 meses, 9,6 días

Tabla 4 – Resultados en simulación con variación en temperatura, Rata de Carga y Constantes A y B.

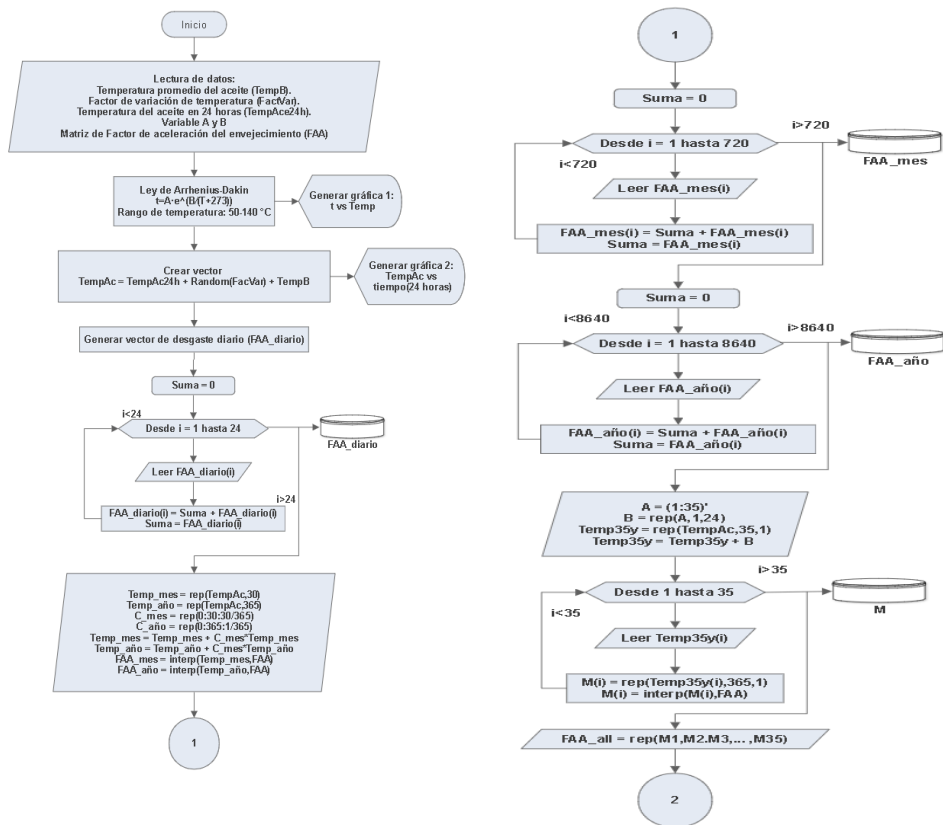


Figura 7 – Estructuración del simulador en MATLAB. Fuente: Elaboración propia.

Resistencia a la Compresión (Agregados gruesos y finos Naturales con reciclado porcelanato)				
Tipo de mezcla	Carga / Kg	Superficie en cm2	Resistencia	Kg/cm2
Muestra 1 (20 febrero 2018)	18610,00	81,71	227,748	
Muestra 2 (20 febrero 2018)	24103,00	81,71	294,971	
Muestra 3 (20 febrero 2018)	20792,00	81,71	254,452	
Muestra 1 (23 febrero 2018)	18935,00	81,71	231,726	
Muestra 2 (23 febrero 2018)	18561,00	81,71	227,149	
Muestra 3 (23 febrero 2018)	13446,00	81,71	164,552	
Muestra 1 (20 febrero 2018)	14419,00	81,71	176,459	
Muestra 2 (20 febrero 2018)	13730,00	81,71	168,027	
Muestra 3 (20 febrero 2018)	13720,00	81,71	167,905	
Promedio	17368,44	81,71	212,554	

Tabla 14 – Resistencia a la compresión de concretos con áridos reciclados (reciclado porcelanato).

4. Análisis de resultados

4.1. Sobre los ensayos

Los ensayos fueron realizados en el laboratorio de Alta Tensión de la UPS, para eso se registró tanto la fecha como la hora de los datos y así establecer una referencia cronológica adecuada. Además, los ensayos se realizaron como se estipula la IEEE C57.91; IEEE C57.12.91; IEC60076, tomando en cuenta las variaciones de la temperatura.

Respecto al laboratorio cabe resaltar que:

- Cuenta con un ambiente acondicionado.
- Los equipos, bancos y componentes permanecían en las instalaciones sin cambios ni alteraciones.
- Los datos fueron registrados a cada segundo.

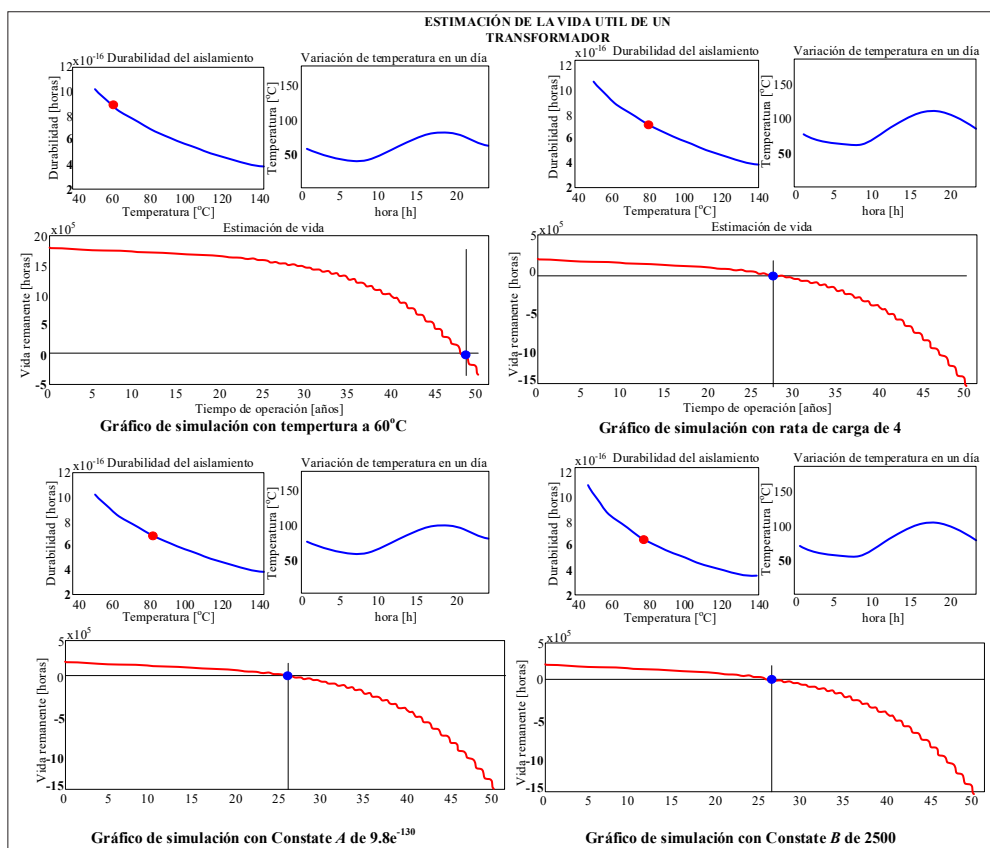


Figura 8 – Gráficos de simulación con datos de pruebas

Mediante las tablas y graficas de los resultados, se puede observar que los valores de temperatura de la termocupla #1 supera las otras dos, se destaca que, durante las primeras horas de operación de un transformador, la temperatura del aceite aislante se debe elevar hasta alcanza el valor nominal de operación, a partir de ese punto la temperatura del transformador debe oscilar en función de la demanda de energía eléctrica e inclusive de la temperatura ambiental.

Por lo tanto, se debe verificar que, para una correcta realización de pruebas y adquisición de datos de la temperatura de un transformador de distribución, la condición ideal es la de conectar un transformador que posee una operación constante y real, es decir, 24 horas de operación constante. Esto puede generar un conjunto de incertidumbre sobre la certeza del estudio, pero se puede apreciar el incremento de la temperatura y que dicho valor es significativo respecto a la temperatura ambiental sin evidenciarse una sobre temperatura, esto es debido a que el transformador es relativamente nuevo y que el aislante que posee se encuentra en buenas condiciones.

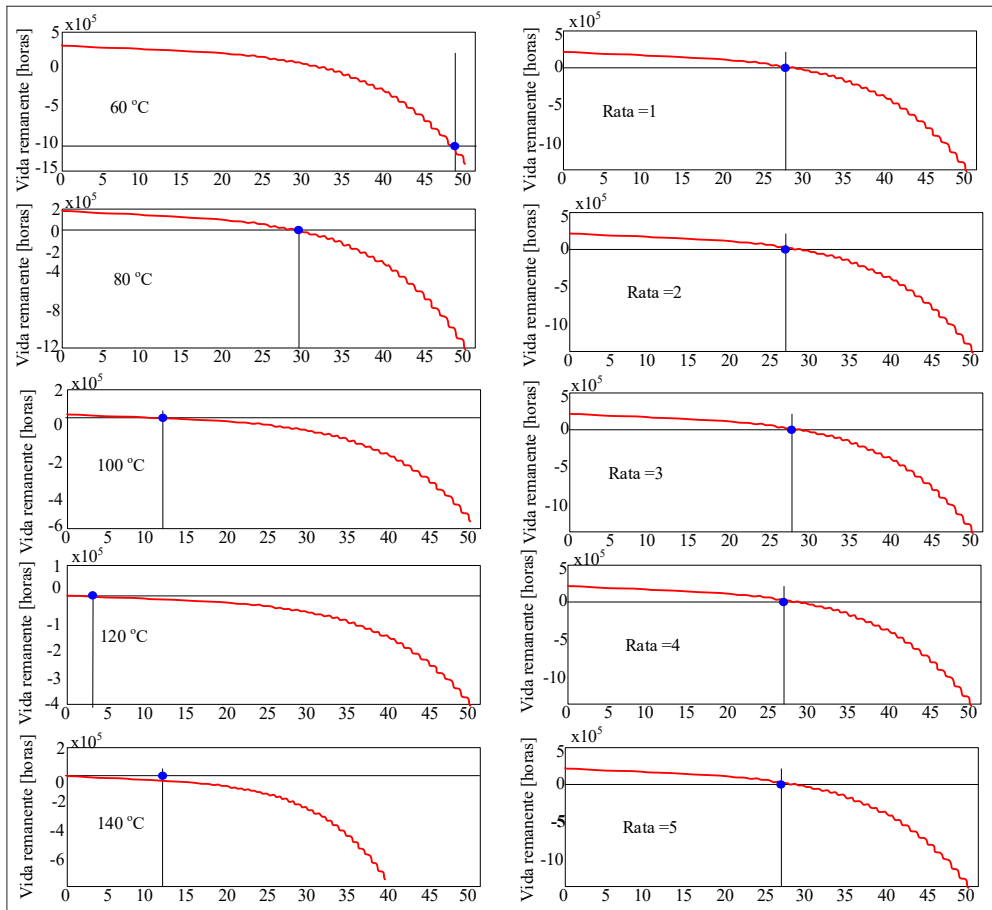


Figura 9 – Comparación de estimación de vida útil

4.2. Sobre las simulaciones

Como fue explicado anteriormente, el modelo depende de la temperatura del aceite aislante del transformador y de los cambios de carga en el transformador. Cada cambio directo del valor de la carga presente en el transformador puede reducir considerablemente la vida útil del transformador.

4.2.1. Variación de temperatura

En la figura 8 se puede apreciar cómo al producirse un incremento en la temperatura del aislante, se genera un efecto de desgaste en el transformador. En la misma figura, se de una estimación operativa de hasta 9 meses aproximadamente. Por lo tanto, para conservar el transformador la mayor parte del tiempo operativo, se debe evitar la saturación del mismo en cualquier punto de conexión del sistema de distribución.

4.2.2. Variación de la rata de carga

Al referirse a la variación de la carga en el consumo eléctrico en el sistema de distribución, se desarrolla un incremento del valor base para establecer estimaciones próximas a la realidad, éste elemento permite crear variaciones de la temperatura de referencia (Figura 8).

A pesar de no presentar un incremento pronunciado de las variaciones, el incremento de la rata de cambio genera un aumento de la carga en el transformador, debido al pequeño cambio presentado a través del FAA, la reducción de la vida del aislante es no es notoria. Quiere decir que la variación podría alcanzar dos años de vida del transformador antes de verse grandes cambios.

4.2.3. Variación de la constante A

Siendo un valor numérico perteneciente al modelo de la ecuación Arrhenius-Dakin, genera cambios en la vida útil del transformador, aunque dicho valor depende de las cualidades físicas y químicas del aceite, su aumento influye directamente la vida útil del componente permitiendo obtener mayor tiempo operativo, es decir, su relación es netamente directa, esto también produce una reducción de la vida del transformador al disminuirse considerablemente el valor de la constante.

4.2.4. Variación de la constante B

En comparación con la anterior constante, la variación de la constante B posee una relación inversa con la vida útil del transformador, esto es claramente visible a través de los resultados de la simulación que se pueden apreciar en la figura 9. La variación de la vida del transformador debido al cambio de ésta constante no es notorio, se debe plantear valores significativos del mismo para notar cambios. A pesar de ser leve, los resultados difieren en aproximadamente un año de reducción.

5. Conclusiones

La contribución del presente trabajo es el modelo de simulación que entrega el tiempo de vida útil de un transformador sumergido en aceite, mediante la toma de temperatura en varios puntos del tanque. En los anexos es entregada una tabla que muestra la vida útil de los transformadores con diferentes variaciones, para que investigadores e ingenieros de diseño puedan utilizarlo como una herramienta para ahorrar tiempos de simulación.

También se puede denotar que, durante las pruebas desarrolladas, se evidenció la tendencia hacia el equilibrio térmico del transformador tanto al aplicar la carga cíclica nominal como en corta y larga duración. Dichos ensayos demuestran la eficiencia del aceite del transformador en regular rápidamente la temperatura para evitar un corto interno o daño por sobre carga.

Otra conclusión obtenida es que mientras el transformador se conserve operando a temperaturas adecuadas, es decir, cerca del valor mínimo de 60 °C, su tiempo de operación será mucho mayor. Para ello hay que validar la existencia de otros factores como es la temperatura ambiente ya que un porcentaje de éste ingresa al aislante contenido internamente aumentando el desgaste operativo.

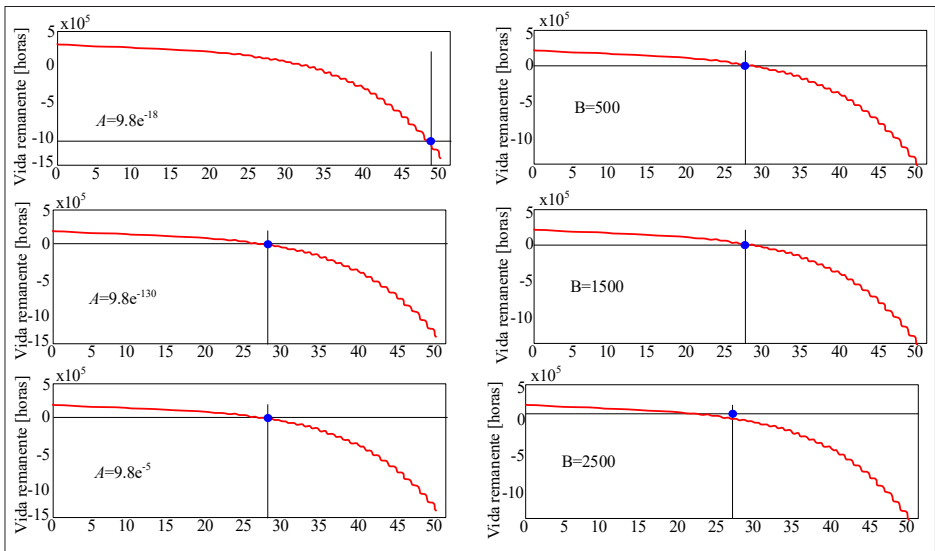


Figura 10 – Comparación de estimación de vida útil

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Carrera de Ingeniería Eléctrica de Universidad Politécnica Salesiana por permitir el uso de sus laboratorios y al grupo de investigación SMART TECH por el soporte brindado para llevar de buena manera el proyecto.

Referencias

- Aquino, D., & Zúñiga, C. (2018). *Diseño y construcción de un transformador monofásico de distribución 15kVA tipo tanque para el laboratorio de alta tensión de la UPS – GYE*. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana.
- Araujo, D., & Bayas, D. (2015). *Módulo de adquisición y procesamiento de parámetro electromecánicos para el laboratorio de motores y generadores*. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana.
- Carvajal, L. (2008). *Vida útil en transformadores de distribución y su relación con el modelo termico bajo normas ieee/iec/ansi*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Cherres, Á., & Sarabia, E. (2014). *Diseño e implementación de un sistema para automatizar la prueba de calentamiento en transformadores de distribución sumergidos en aceite bajo la norma ansi c 57.12.90 y estudio de un método alternativo para disminuir los tiempos de ejecución de la prueba*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.
- D.F. Navas, H. C., & Echeverria, D. (2013). Implementación de un sistema de medición de temperatura empleando fibra óptica para el estudio térmico de transformadores de distribución inmersos en aceite mineral y vegetal. *Revista EIA*, 10-19, 23-31.
- Flores, W., & Mombello, E. (2007). Vida de transformadores de potencia sumergidos en aceite: Situación actual. *IEEE Latin America Transactions*, 5(1), 1-5.
- García, D., & D. Navas. (2016). Enfoque técnico-económico para el dimensionamiento de transformadores de distribución. *Ingeniería y Desarrollo*, 34(2), 267-285.
- García, E., & Gaspar, C. (2010). *Diagnóstico y Mantenimiento de transformadores de Gran potencia en aceite (Aplicado a un transformador de 160MVA, 13,8kV/138kV de la Central Térmica Trinitaria)*. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana.
- IEEE Power and Energy Society. (2017). *IEEE Standard Test Code for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers*. USA: IEEE Power and Energy Society.
- Martínez, D., Céspedes, A., & García, D. (2019). Evaluación de Modelos Térmicos usados para Estimar la Temperatura del Punto Caliente en Transformadores de Distribución. *Información tecnológica*, 30(3), 295-306.
- Navas, D., Ramírez, H. C., & González, P. (2011). Experiencias en la implementación de un sistema de medición de temperatura a través de fibras ópticas en transformadores de distribución. in *X Congreso Latinoamericano y VII Iberoamericano en Alta Tensión y aislamiento Eléctrico*, 1-.
- Preciado, G., & Rodas, J. (2015). *Diseño para la construcción de los transformadores de distribución monofásicos tipo tanque*. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana.

- Šefl, O. (2017). *Aging of Insulation Materials under Non- Standard Voltage Stresses*. Praga: Czech Technical University in Prague.
- Shoemaker, T. M., & Mack, J. (2009). *The Lineman's and Cableman's Field Manual*. Nueva York: Mc Graw Hill.
- Taghikhani, M. (2011). Power Transformer Insulation Lifetime Estimation Methods. *International Journal of Energy Engineering*, 1(1), 9-11.
- Taylor, P., Abdi, S., Boubakeur, A., & Haddad, A. (2011). Influence of Artificial Thermal Aging on Transformer Oil Properties. *Electric Power Components and Systems*, 39(15), 1701-1711.
- Zheng, H., Lui, J., & Y. Zhang, Y. M. (2018). "Effectiveness Analysis and Temperature Effect Mechanism on Chemical and Electrical-Based Transformer Insulation Diagnostic Parameters Obtained from PDC Data. *Energies*, 11(1), 1-17.

Cromatografía de gases en filtros ecológicos para cigarrillos y su biodegradabilidad

Jonathan Lincango¹, Erika Mancero¹

dcardenasv@ups.edu.ec, dparedesal@est.ups.edu.ec, esolano@ups.edu.ec,
gampuno@ups.edu.ec

¹ Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

Pages: 275–286

Resumen: El estudio de filtros ecológicos para cigarrillos permite determinar la cantidad de alquitrán y nicotina, además determina el tiempo que tarda en degradarse es decir su mide su biodegradabilidad. Mediante el uso de filtros ecológicos de un startup con carbón activado, piedra pómez, caolín, entre otros componentes en menor proporción. A fin de reducir los problemas de salud de los fumadores y el medio ambiente. El método para analizar la cantidad de alquitrán está basado en el transporte de humo del cigarrillo a través de un colector hacia un matraz Erlenmeyer donde es recolectado por filtro de fibra de vidrio, la cantidad obtenida es medida en gramo; la nicotina se determina diluyendo los contaminantes del filtro y la muestra blanca (filtro sin previo uso), las muestras resultantes se llevan al cromatógrafo de gases para obtener los resultados en un ordenador. El porcentaje de biodegradación está relacionado con la composición orgánica de cada muestra. Como resultado del estudio, se determina el filtro óptimo a ser utilizado por el usuario, el medio ambiente y sociedad, además de las características óptimas para su biodegradación.

Palabras-clave: Filtros ecológicos; residuos; cromatografía de gases; biodegradabilidad.

Gas chromatography in ecological filters for cigarettes and their biodegradability

Abstract: The study of ecological filters for cigarettes makes it possible to determine the amount of tar and nicotine, and also determines the time it takes to degrade, that is, its biodegradability. Through the use of ecological filters of a startup with activated carbon, pumice, kaolin, among other components in smaller proportion. In order to reduce the health problems of smokers and the environment. The method to analyze the amount of tar is based on the transport of cigarette smoke through a collector to an Erlenmeyer flask where it is collected by fiberglass filter, the amount obtained is measured in gram; Nicotine is determined by diluting the contaminants of the filter and the white sample (filter without previous use), the resulting samples are taken to the gas chromatograph to obtain the results in a computer. The percentage of biodegradation is related to the organic composition

of each sample. As a result of the study, the optimal filter to be used by the user, the environment and society is determined, in addition to the optimal characteristics for its biodegradation.

Keywords: Filter ecology; waste; chromatography gases; biodegradability.

1. Introducción

Uno de los productos de mayor consumo es el cigarrillo, la referencia (Cain, Gao, Yuan, Gao, & Zhao, 2019) indica que en mundo existen 6 millones de fumadores que consumen un promedio de 3 cigarrillos al día generando un total de 18 millones de cigarrillos diarios arrojados en todo el mundo y solo en la ciudad de Quito se genera alrededor de 36 mil colillas cigarrillos al día (Rinland, 2015). Aumentando con ello la producción de las industrias tabacaleras y las afectaciones ambientales por la gran cantidad de agentes contaminantes que son emanados por el consumo del cigarrillo, la sociedad ha sido uno de los principales puntos críticos debido a que adultos mayores, mujeres embarazadas y especialmente niños están expuestos a los filtros de cigarrillo y sus contaminantes en parque, calles, veredas y todo tipo de espacio público. Estudios muestran que los filtros de cigarrillos contienen contaminantes tóxicos como el alquitrán, benceno, amoníaco, cadmio, entre otros (UNE, 2015). Dichas agentes tóxicos se generan porque en su proceso de producción, se utilizan aditivos azucarados para enmascarar el sabor volviéndolo menos áspero a la garganta y mejorando el sentir del fumador, aumentando la probabilidad de que el fumador vuelva a consumir el producto; los aditivos empiezan a formarse debido a reacciones endotérmicas (aproximadamente a 1000°C), en la Figura 1 se puede apreciar un esquema de un cigarrillo convencional (ABC Coke, 2017).



Figura 1 – Partes de un cigarrillo convencional

En la actualidad la cantidad de consumo de cigarrillo es masiva razón por lo que se plantean acciones, tal es el caso de Alemania en donde desde hace varios años se ha utilizado en tabaco de labio y nariz, lo que evita la emanación de humo y con ello la reducción de la contaminación aire, sin embargo, ha llegado a generar problemas como el cáncer de labio, encías, seno nasal y cavidad nasal (MSAL, 2017). Por otra parte la compañía Philip Morris ha diseñado iQOS un dispositivo que permite fumar tabaco pero no libera humo como muestra en la Figura 2, el funcionamiento básico del dispositivo es similar a un tabaco convencional, pero en lugar de quemar el tabaco lo calienta

permitiendo que la nicotina sea liberada a través del calor generado en su interior es importante recalcar que el producto no se quema en su interior sino que solo se calienta, en estudios realizados muestran que se reduce hasta en un 90% los productos dañinos para la salud (Lee., Patra., & Shin, 2020).



Figura 2 – Dispositivo iQOS

En el caso de ambas propuestas se puede identificar que la contaminación al aire durante el consumo del producto se reduce evidentemente. Sin embargo, el residuo generado al final continúa siendo un problema sin solución, pues son desechados en calles, parques, plazas de la misma manera y con la cantidad de agentes contaminantes retenidos en su interior. Algunos estudios que se han desarrollado en Europa han llegado a demostrar que tanto la composición del cigarrillo como el humo desprendido presentan toxinas cancerígenas las mismas que quedan atrapadas en el filtro (Savareear, Escobar, Brokl, Saxton, & Wright, 2019). Los filtros convencionales del mercado actual son hechos a base de acetato de celulosa que pueden tardar entre 12 a 15 años en desaparecer durante dicho lapso se liberan sustancias químicas que han sido retenidas durante la combustión del cigarrillo, para minimizar este tipo de residuos se han implementado filtros con minerales adsorbentes (carbón activado, pumita o caolín) capaces de retener hidrocarburos (Palazzolo. & Hudson, 2019), que pueden ser reinsertados al final de ciclo generando una planta vegetal. Además, permite reducir los costos que involucra un tratamiento posterior del filtro, con la finalidad de conservar el medio y sus recursos; trabajando en aspectos: sociales, económicos y ambientales.

El objetivo de la investigación es determinar la reducción de nicotina y alquitrán presentes en el filtro para obtener un filtro capaz de captar más cantidad de contaminantes del cigarrillo, a la vez la biodegradabilidad de este, conservando el medio ambiente y sus recursos.

2. Materiales y métodos

Para la determinación de alquitrán y nicotina se consideraron tres tipos de filtros: Tipo 1 con una composición de carbón activado, algodón y otros compuestos en proporciones mínimas; Tipo 2 con pumita, algodón y otros compuestos en proporciones mínimas y Tipo 3 con caolín, algodón y otros compuestos en proporciones mínimas. Para cada uno de ellos determino que se realizarían cuatro repeticiones, dentro de la Figura 3 se presenta un esquema de cigarrillo con el filtro de la startup misma que se consideraron

para realizar las pruebas respectivas de nicotina, alquitrán (cromatografía de gases) y biodegradabilidad.



Figura 3 – Esquema del startup

2.1 Determinación de Alquitrán

Para determinar el alquitrán se realizó un montaje de corriente de humo misma que alimenta desde la bomba de vacío donde la tapa cumplió la función de conectar una serie de mangueras para extraer el gas, en el matraz kitasato se añadió 250 ml de acetona lo que permitió la succión del humo a través de la conexión del matraz se instaló un nuevo conducto de columna cerrada que tuvo como punto final un extremo de la malla filtrante conectada a un filtro natural de 10 gramos previamente los dos filtros fueron pesados con el fin de considerar su peso inicial en los resultados como se observa en la Figura 4 (UNE, 2015). Para la extracción de al alquitrán se llevó a estufa por 1 horas a 100 °C, esto permitió evitar posibles errores al momento de pesar la malla debido a la humedad que podría estar presente, el peso resultante del secado se difiere del peso inicial de la malla obtenido así la cantidad de alquitrán presente en el filtro (MSAL, 2017).

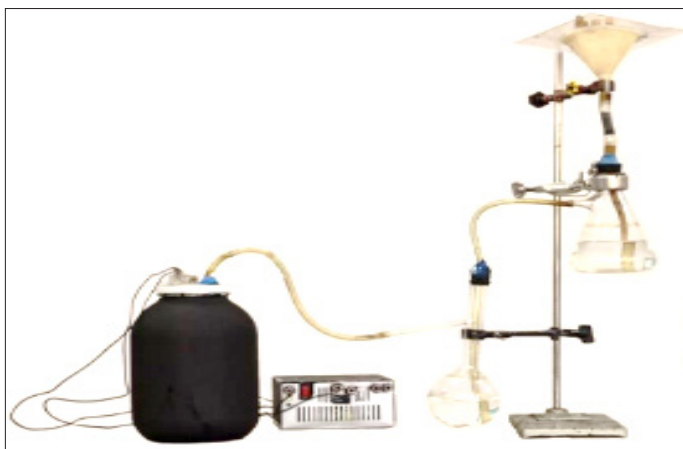


Figura 4 – Diseño extracción de alquitrán

2.2. Determinación de Nicotina

Según un estudio realizado en España acerca de los efectos tóxicos del tabaco (UNE, 2015), demostró el método más óptimo para la extracción de nicotina se basó en colocar 5 ml de agua destilada en un vaso de precipitación con la muestra del filtro en el interior, se dejó reposar por 30 minutos y se tomó una alícuota de 1.5 ml la muestra obtenida se almacenó en un tubo Eppendorf a -30°C para evitar reacciones durante la preparación de los reactivos de calibración. Previo a la calibración se debe hacer un lavado de la columna de gas mediante la solución 2 ml de agua destilada, 1 ml de ácido acético y 4 ml de acetona o cloroformo, dicha solución se preparó para cada lavado, se lavó cada vez que se utilizó el equipo.

Para la preparación del reactivo que permitió calibrar el equipo se tomó 1 ml de difenilamina (DFA) y 2 ml de buffer-acetato, la solución se pasó por una columna bond con 2 ml buffer-fosfato y 2 ml de metanol a concentración de $10\text{ ng}/\mu\text{L}$ y 4°C (Lee., Patra., & Shin, 2020). A la muestra se añadió $50\mu\text{L}$ de metanol acidificado y fue introducida en el equipo a $\leq 40^{\circ}\text{C}$ donde se evaporó el reactivo (Tang, Yang, Wang, & Liao, 2019); los analitos de la nicotina se extrajeron de los filtros muestra con el cromatógrafo de gases (Thermo Scientific DSQ™ II Series Single Quadrupole GC/MS) con inyector automática, la detección y cuantificación de analitos se realizó con detector de nitrógeno y fósforo (NPD) y detector selectivo de masa (MSD), mismo que se encuentran acoplado por una línea de transferencia y fueron separados mediante el equipo generando un diagrama de resultados directamente en el software (Jablonski, Maines, Cheetham, & Gillman, 2019).

2.3. Biodegradación

Según la referencia (Palazzolo & Hudson, 2019), la biodegradación se realiza en base a la ISO-17556. Para lo cual se utilizó compost con maduración de 5 a 6 meses como medio para la biodegradación, previo esto se pasó por un tamiz N°2, y se caracterizó el mismo midiendo pH, materia orgánica, nitrógeno, conductividad eléctrica y óxido de calcio, con el fin de acelerar el proceso y determinar la carga microbiana presente para su biodegradación. Para la estimación de la biodegradabilidad se tomó 2.5 g de filtro con 200g de compost los cuales fueron introducidos en una cámara controlada tomando en cuenta temperatura y pH (ABC Coke, 2017).

3. Resultados

3.1. Alquitrán

El análisis del alquitrán demostró la remoción de los materiales contaminantes obtenidos por cada filtro utilizado como muestra la Tabla 1.

Considerando que los valores de remoción obtenidos para los cuatro minerales el que en mayor proporción de remoción se obtienen es el carbón activado, lo cual tiene relación con las características físicas obtenida al momento de la recolección de los filtros. Pues este tipo de filtro mostro un color muy oscuro en relación al resto de filtros, además el peso del filtro antes de realizarse las pruebas fue mayor al resto, cabe mencionar que los pesos de los filtros iniciales antes de ser consumidos fueron registrados y se mantuvo un equilibrio en los pesos entre todas las muestras.

Tipo de filtro	Carbón activado	Pumita	Caolín
Prueba 1	^a 23,968	19,725	23,732
Prueba 2	24,565	18,905	24,206
Prueba 3	24,535	18,267	24,105
Prueba 4	25,006	18,985	23,892
PROMEDIO	24,519	18,971	23,984

^a Los valores obtenidos en las pruebas expresados en gramos

Tabla 1 – Pruebas de alquitrán para los filtros de tabaco

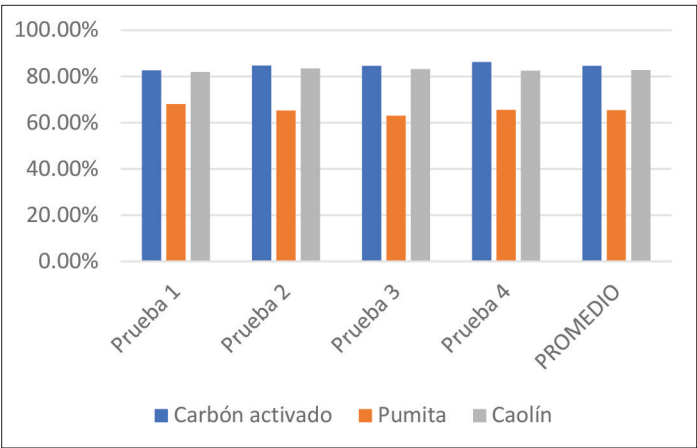


Figura 5 – Remoción del alquitrán después de su uso

En la Figura 5 se determinó un análisis de acuerdo al promedio general de cada uno de los filtros, tal es el caso del filtro con carbón activado obtuvo un 84.55 % de remoción, el filtro con caolín una remoción de 82.70 % y el filtro con pumita obtuvo un 65.42 % de remoción, de lo cual se deduce gráficamente que debido análisis realizados por bomba al vacío genera una mejor remoción el filtro con carbón activado, dicho análisis se repite durante las 4 pruebas incluyendo el promedio analizado.

3.1. Nicotina

El análisis de la nicotina llevado a cabo en cromatografía de gases demostró que la remoción de la nicotina en la pumita es favorable tales resultados generados en el ordenador permitieron obtener la Figura 6 que muestra una comparación entre los diferentes filtros.

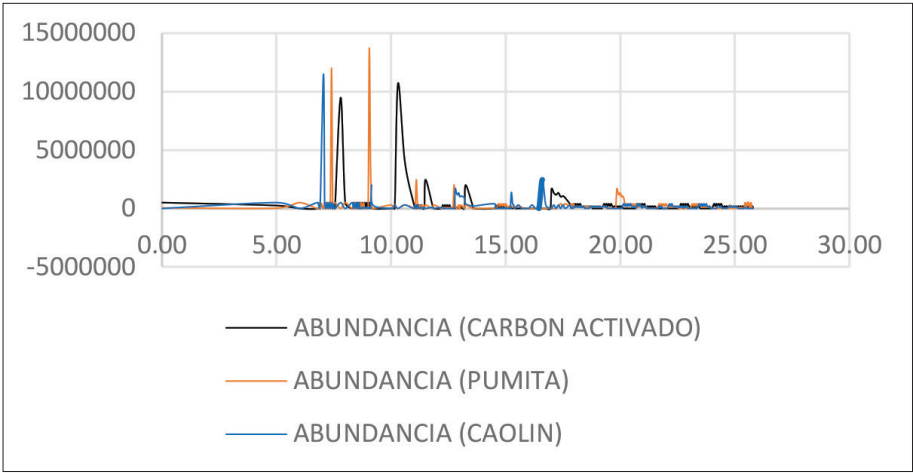


Figura 6 – Remoción de nicotina en NPD

El número picos y la longitud de los mismos permite identificar la remoción que se ha dado en el filtro pues, en base a ello se puede mencionar que el filtro que mayor nicotina retiene contiene pumita. El cromatógrafo de gases tiene como base de funcionamiento la interferencia de compuestos químicos a través un tiempo de retención conocido que fue de 30 minutos, utilizado para las 4 repeticiones y 3 tipos de filtros.

3.2. Biodegradación

Para la determinación de la biodegradación se utilizó compost al que se realizó pruebas físico químicas de laboratorio considerando los parámetros mostrados en la Tabla 2, de igual forma se realizó 4 repeticiones de las pruebas en el compost a fin de obtener resultados significativos.

	pH	Materia orgánica	Nitrógeno	Conductividad eléctrica	Oxido de calcio
PRUEBA 1	a7.2	b 29.06	c 1.28	d 3.36	e 4.69
PRUEBA 2	6.5	30.52	1.24	3.56	5.15
PRUEBA 3	6.8	29.65	1.2	3.29	4.98
PRUEBA 4	7.1	28.95	1.35	3.4	4.79
PROMEDIO	6.9	29.545	1.2675	3.4025	4.9025

^a Los valores de pH obtenidos en las pruebas son adimensionales (es el potencial de hidrogeno presente).
^b Los valores de materia orgánica obtenidos en las pruebas expresados en porcentaje
^c Los valores de nitrógeno obtenidos en las pruebas expresados en porcentaje
^d Los valores de conductividad eléctrica obtenidos en las pruebas expresados en deciSiemens por metro
^e Los valores de óxido de calcio obtenidos en las pruebas expresados en porcentaje

Tabla 2 – Características del compost

La composición del filtro permite identificar la calidad del compost obtenido, debido a que puede ser un factor de error o alteración en la biodegradabilidad del filtro, cada uno de los parámetros medidos fueron realizados con equipos de laboratorio y procedimientos óptimos. Cabe señalar que dentro los parámetros medidos están los más relativamente importantes, pues existen otros parámetros que pueden ser medidos en este tipo de compost como por ejemplo la humedad sin embargo no se ha considerado debido a que la tierra debe mantener una humedad y no será necesariamente constante.

Los resultados de la biodegradación de cada filtro fueron determinados mediante la humedad (a través de sus respectivos pesos) mismos que se detallan en promedio en la Tabla 3, considerando su peso inicial y final en gramos donde la variación de los mismo es la cantidad que ha sido degradada durante 90 días.

Muestra	Peso inicial	Peso final	Variación Peso
Carbón activado	a 577.2	554.1	23.0
Caolín	572.8	540.7	32.1
Pumita	582.5	541.4	41.1

^a Los valores obtenidos en las pruebas expresados en gramos

Tabla 3 – Peso de muestras

Como resultados de la biodegradación, el filtro que mayor cantidad de materia orgánica contiene es el carbón activado, considerándose que durante los 90 días se mantuvieron los filtros en condiciones óptimas pues el filtro de carbón activado redujo en un 64.36 % la cantidad de materia orgánica presente, mientras que el filtro con caolín redujo el 53.67 % de materia orgánica presente y la pumita redujo entre un 61.10% de materia orgánica, además la Figura 7 muestra un esquema de la biodegradación durante un cierto tiempo.

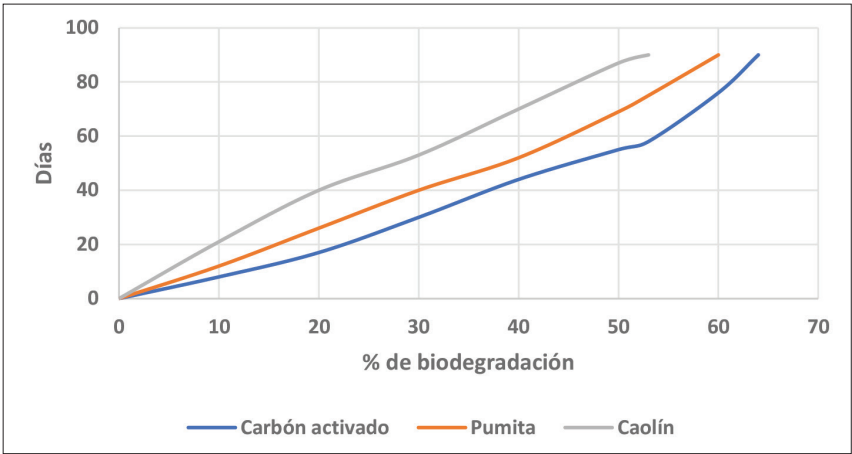


Figura 7 – Porcentaje de biodegradación

Los resultados muestran que el filtro que mayor aceleración microbiana tiene es del carbón activado donde durante un tiempo de 90 días (3 meses aproximadamente) se ha degradado un 60% - 65%; cabe mencionar que la pumita muestra una biodegradación 59% - 61% durante dicho tiempo, mientras que el filtro con caolín que tarda mayor tiempo en degradarse presenta un 50% - 55% de biodegradabilidad.

4. Discusión

Para el alquitrán mediante el procedimiento realizado con los datos obtenidos; se indica que el filtro con carbón activado de remoción 84.55 % es el filtro más óptimo para retener alquitrán. Sin embargo, la remoción del caolín que del 82.70 % es muy relevante, pero el filtro con pumita que tienen una remoción 20 % menos al resto de filtros no es tan favorable para su uso. Por lo cual se asevera que el filtro con carbón activado es el mejor para la remoción de alquitrán; datos similares fueron obtenidos en un estudio, donde se menciona que el carbón activado atrapa más alquitrán que la pumita (Matt, Mahabee, Zakarian, & Quintana, 2019), lo que se puede identificar claramente en la investigación. Según la referencia (Peña, y otros, 2015), determinó que la tasa de retención de radicales con minerales la pumita presento una baja remoción de alquitrán en relación a otros minerales utilizados, como se observa en la Tabla 1 de resultados, esto debido a que se presentó obstrucción en la columna empacada.

La Nicotina que mediante los límites de detección del método en el NPD (Detector De Nitrógeno Fosforo) para alcaloides son considerados en base a la exactitud y linealidad en el software. Sin embargo, los resultados permiten observar que más del 70% de nicotina queda atrapada con el filtro de pumita seguido por el filtro con carbón activado y caolín. Estudios han demostrado que la pumita no es un buen retenedor de contaminantes; pero, existe una excepción con la nicotina debido a su tamaño de porosidad y es por ello que para remoción de contaminantes no se ha tomado muy en cuenta (Savareear, Escobar, Brokl, Saxton, & Wright, 2019).

Para la biodegradabilidad en el caso del carbón activado obtuvo una alta degradación de la materia orgánica en un 64.36%, esto tienen una estrecha relación con el tipo de compost y sus características físico químicas, mostrando así la capacidad de degradar polímeros mediante microorganismos, actinomicetos, levaduras y mohos presentes (Zartha, Montes, Toro, & Villada., 2014). Los pesos del compost que fueron considerados para la biodegradación, no consideraron la humedad de cada filtro; es así que el estudio de la referencia (Escobar, Salas, Silvera, & Marquez, 2009) en utiliza una mufla para extraer la humedad de un producto con el fin de evitar errores dentro del proceso de biodegradación. A partir de los resultados se puede determinar que el filtro en biodegradarse en menor tiempo corresponde al de carbón activado, pues en el caso del caolín la degradación es muy lenta aproximadamente del 50.83 % durante casi 3 meses, para todos los casos se consideró un tiempo de retención de 90 días (Jablonski, Maines, Cheetham, & Gillman, 2019).

5. Conclusiones

La reducción del alquitrán mediante la serie de pruebas realizadas con diferentes compuestos y métodos estandarizados del Centro de Investigación y Control Ambiental se pudo determinar mediante porcentajes, el filtro de carbón activado contiene una remoción del 84.55% mayor a los demás compuestos realizados.

Por otra parte, la reducción de la nicotina se observó con la extracción de la fase sólida realizada por medio de columnas Bond-Elut-Certify-LRC, métodos de NPD, EM y el análisis de nicotina por medio del cromatógrafo de gases CG-NPDEM, los puntos más relevantes y detallados, pudo determinar que el filtro con pumita es la que contiene mayor remoción.

Y con un 64,36% se determinó la biodegradabilidad en el filtro de carbón activado base de la Norma ISO-17556, la cual se desarrolló la biodegradación en 90 días, eso nos permite aseverar que en un lapso de 6 meses estaría completamente degradado a diferencia de los filtros convencionales que tardan más de 10 años en degradarse, lo cual esto es un problema para el medio ambiente.

Reconocimientos

Agradecimiento al Sr. Vicerrector José Juncosa Vicerrector de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito por impulsar la investigación nacional y regional, y por auspiciar la participación en eventos científicos nacionales e internacionales, a la Carrera de Ingeniería Ambiental de la UPS sede Quito por permitirnos el uso de sus laboratorios, al Grupo de Investigación Ambiental en el Desarrollo Sustentable (GIADES) especialmente a la Ing. Patricia Gutiérrez por el apoyo ofrecido durante la realización de este trabajo; y, al Coworking Startups quienes brindaron el apoyo para la realización del mismo.

Referencias

- ABC Coke. (19 de Mayo de 2017). Obtenido de Alquitrán de hulla crudo Ficha de datos de seguridad (FDS): http://www.drummondco.com/wp-content/uploads/ABC-SDS-Crude-Coal-Tar_es.pdf
- Cain, K., Gao, W., Yuan, Y., Gao, C., & Zhao, H. (11 de 10 de 2019). *An improved in situ acetylation with dispersive liquid-liquid microextraction followed by gas chromatography–mass spectrometry for the sensitive determination of phenols in mainstream tobacco smoke*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana: <https://bibliotecas.ups.edu.ec>
- Escobar, D., Salas, A., Silvera, C., & Marquez, R. (4 de Noviembre de 2009). *Películas biodegradables y comestibles desarrolladas en base a aislado de proteínas de suero lácteo: estudio de dos métodos de elaboración y del uso de sorbato de potasio como conservador*. Obtenido de Revista del Laboratorio Tecnológico del Uruguay: <https://ojs.latu.org.uy/index.php/INNOTEC/article/view/51/42>

- Jablonski, J., Maines, J., Cheetham, A., & Gillman, I. (Noviembre de 2019). *Comparative levels of carbonyl delivery between mass-market cigars and cigarettes*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana: <https://bibliotecas.ups.edu.ec>
- Lee., J., Patra., J., & Shin, H. (1 de Enero de 2020). *Analytical methods for determination of carbonyl compounds and nicotine in electronic No-Smoking aid refill solutions*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana: <https://bibliotecas.ups.edu.ec>
- Matt, G., Mahabee, E., Zakarian, J., & Quintana, P. (Noviembre de 2019). *La nicotina en los residuos de humo de tercera mano predice una recaída por dejar de fumar: un estudio piloto*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana: <https://bibliotecas.ups.edu.ec>
- MSAL. (11 de Mayo de 2017). *Programa Nacional de Control del Tabaco*. Obtenido de Metodología que permite determinar, mediante fluorescencia molecular en fase sólida, el contenido de níquel en la corriente principal del humo de cigarrillos: <http://www.msal.gob.ar/tabaco/index.php/campanas-y-materials/archivo/233-estudio-de-la-universidad-de-san-luis-detecta-altisimas-concentraciones-de-niquel-en-los-cigarrillos>
- Palazzolo, D., & Hudson, Z. (Septiembre de 2019). *The use of HPLC-PDA in determining nicotine and nicotine-related alkaloids from E-liquids: A comparison of five E-liquid brands purchased locally*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana: <https://bibliotecas.ups.edu.ec>
- Palazzolo., D., & Hudson, Z. (Septiembre de 2019). *The use of HPLC-PDA in determining nicotine and nicotine-related alkaloids from E-liquids: A comparison of five E-liquid brands purchased locally*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana: <https://bibliotecas.ups.edu.ec>
- Peña, P., Guillen, J., Vicuña, F., Briceño, L., Carrero, P., & Peñaloza., H. (Junio de 2015). *Determination of cadmium content in samples of tobacco cigarette marketed in Venezuela*. Obtenido de Universidad de Los Andes - Mérida: <http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/39569/articulo4.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rinland, M. (2015). *Biodegradación anaeróbica del residuo de la producción de cebolla del valle bonaerense del río colorado*. Buenos Aires: Universidad Nacional del Sur.
- Savareear, B., Escobar, J., Brokl, M., Saxton, M., & Wright, C. (Septiembre de 2019). *Non-targeted analysis of the particulate phase of heated tobacco product aerosol and cigarette mainstream tobacco smoke by thermal desorption comprehensive two-dimensional gas chromatography with dual flame ionisation and mass spectrometric detection*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana: <https://bibliotecas.ups.edu.ec>
- Tang, L., Yang, .. H., Wang, M., & Liao, T. (1 de Octubre de 2019). *Direct analysis of free-base nicotine in tobacco leaf by headspace solid-phase micro-extraction combined with gas chromatography/mass spectrometry*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana: <https://bibliotecas.ups.edu.ec>

- UNE. (Septiembre de 2015). *Determinación de mentol en la corriente principal del humo de los cigarrillos , Método analítico por cromatografía de gases*. Obtenido de Normalización Española: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0053405>
- Zartha, J., Montes, J., Toro, I., & Villada., H. (2 de Octubre de 2014). *Método Delphi - Propuesta para el cálculo del número de expertos en un estudio Delphi sobre empaques biodegradables al 2032*. Obtenido de Revista Espacios: <http://www.revistaespacios.com/a14v35n13/14351310.html>

Comparando formatos de lectura basado en señales electroencefalográficas

Luiz Galarza¹, Klever Tepan¹, Ana Villa¹

lgalarzaa@est.ups.edu.ec, ktepan@est.ups.edu.ec, avilla@ups.edu.ec

¹ Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

Pages: 287–296

Resumen: La lectura es una actividad importante y en función del desarrollo tecnológico se presentan nuevas alternativas para realizarla. El presente trabajo propone un estudio piloto que aborda el análisis de señales EEG para conocer el nivel de atención durante la lectura empleando tres formatos y sugerir el más adecuado. Se consideraron tres formatos de lectura: Impreso, PDF (en PC) y dispositivo portable Kindle. Usando la lectura formativa con cinco sujetos, se adquirieron señales Electroencefalográficas (EEG) de los lóbulos Frontal, Temporal, Parietal y Occipital izquierdos del cerebro, mediante un casco de 14 electrodos (Emotiv EPOC). Las señales fueron procesadas en Matlab para obtener la onda de energía Beta de cada individuo y conocer el grado de atención (creciente o decreciente) por aproximación lineal a la energía de esta onda. Se contrastan los resultados donde se evidenció que para tres de los cinco sujetos existe una coincidencia entre el mayor índice de atención registrado con EEG y su formato predilecto. Por lo tanto no se puede considerar a un formato en específico como el más adecuado y que permita mayor atención en actividades de lectura, razón por la cual es necesario realizar un estudio con una muestra mayor.

Palabras-clave: Electroencefalograma (EEG); lectura; índice de atención; procesamiento de señales.

Comparing Reading Formats based on Electroencephalographic Signals

Abstract: Reading is an important activity and in terms of technological development presents new alternatives to realize it. This paper proposes a pilot study deals with the analysis of EEG signals to determine the level of attention while reading using three formats and suggest the most appropriate. Print, PDF (PC) and portable Kindle device: Three reading formats were considered. During the development of a formative reading with five subjects, signals electroencephalographic (EEG) were acquired from the frontal, temporal, and occipital lobes left Parietal of the brain, using a 14 electrodes helmet (Emotiv EPOC). The signals were processed using MATLAB for the wave energy of each individual Beta and determine the degree of attention (increasing or decreasing) by linear approximation to the energy of the wave. The results are contrasted

where it was evidenced that for three of the five subjects there is a coincidence between the highest index of attention registered with EEG and their preferred format. Therefore, a specific format cannot be considered as the most appropriate and allows greater attention in reading activities, why it is necessary to conduct a study with a larger sample.

Keywords: Electroencephalography (EEG); reading; attention index; signal processing.

1. Introducción

La lectura es una actividad cognitiva que representa la base de la educación y de la formación del ser humano. Entre los efectos formativos de la lectura se pueden citar el enriquecimiento y el perfeccionamiento de las estructuras cognitivas del lector, el aprendizaje y el desarrollo de la memoria comprensiva (Liceo Javier, 2013).

Actualmente, con el avance de la tecnología se ofertan formatos de lectura que han permitido hacer más accesible la información reemplazando poco a poco el uso de libros impresos [(Marmarelli & Ringle, 2011); (Mangen, Olivier, & Velay, 2019); (Milone, 2011)]. La tendencia es leer textos más cortos en formatos digitales a través de dispositivos electrónicos como computadores, tabletas y teléfonos inteligentes. Se ha publicado que gran parte de la población ha reducido la cantidad de tiempo que se dedicaba a la lectura por interés personal (Crain, 2018). Aunque las causas de este comportamiento pueden ser culturales, el conocer sobre si el cerebro puede adaptarse más fácilmente a un formato de lectura específico permitiría establecer propuestas para lograr mejores resultados en los procesos de lectura, que puedan aportar a estrategias de aprendizaje, comprensión lectora y rendimiento académico en centros educativos.

El cerebro es un sistema de unidad compleja, en el cual todas las zonas trabajan armónicamente. Durante una actividad cognitiva, como la lectura, intervienen las zonas cerebrales como: el lóbulo frontal (control inhibitorio del comportamiento y la atención, comprensión del sentido y signos de puntuación, planificación, coordinación, control y ejecución de las conductas) y el lóbulo occipital (análisis visual para el reconocimiento y discriminación de grafemas y palabras), el temporal y el parietal [(Roncero, 2015); (Monge, 2009); (Guzmán, 2015)]. Además están las áreas temporo-parieto-occipital relacionadas a la discriminación de grafemas similares y al espacio dentro de la hoja (Guzmán, 2015).

Para reconocer la actividad en estas áreas se adquieren y analizan las señales electroencefalográficas (EEG). Estas señales indirectamente dan información de las funciones del cerebro y están relacionadas con una tarea en concreto (Roncero, 2015), razón por la cual pueden brindar información de lo que sucede a nivel cerebral durante la lectura en diferentes formatos. Las señales EEG pueden ser registradas mediante sensores que se acoplan al cuero cabelludo para adquirir información de ondas cerebrales en las diferentes áreas del cerebro bajo el protocolo 10-20 (Emotiv, 2018)

Las diferentes actividades de un sujeto son procesadas y controladas en los lóbulos del cerebro, lo cual genera señales EEG que se clasifican por su frecuencia y su amplitud (Guevara, 2012) en: (a) las señales Delta, con un ritmo de 1 a 3 ondas por segundo (0,1 Hz a 3,99 Hz) de frecuencia lenta y que aparecen en un estado de sueño profundo;

(b) las señales Theta, de 4 a 7 ondas por segundo (4,00 Hz a 7,99 Hz) de frecuencia lenta que son poco frecuente en infantes y representan un estado de stress; (c) las señales Alfa, de 8 a 12 ondas por segundo (8,00 Hz a 13,99 Hz), presentes en un estado de relajación o poca actividad mental; (d) las señales Beta, que están sobre las 12 ondas por segundo (14,00 Hz a 30,00 Hz) de frecuencia rápida, asociadas con los estados de concentración mental, atención y movimiento de las extremidades. Estudios indican que la onda beta tiene un rol importante en estudios de la memoria, factor relevante en los procesos de aprendizaje (Spitzer & Blankenburg, 2001).

El estudio de la actividad cerebral basado en estas señales ha permitido el desarrollo de diversas aplicaciones como las Interfaces Cerebro Computador (BCI por sus siglas en inglés) que permiten a partir de métodos no invasivos adquirir y procesar la actividad eléctrica cerebral (Sancho, 2014). Respecto a la investigación de los efectos del uso de dispositivos electrónicos en la lectura existen trabajos que comparan la lectura de un libro con la lectura en un dispositivo electrónico con base a pruebas de comprensión [(Marmarelli & Ringle, 2011); (Mangen, Olivier, & Velay, 2019); (Ackerman & Lauterman, 2012)]; pero pocos abordan la tendencia de atención durante la lectura en diferentes formatos analizando señales EEG. En este contexto, el presente trabajo propone la adquisición y análisis de señales electroencefalográficas durante la lectura con el fin de analizar el comportamiento de la onda beta durante la lectura en tres de los formatos más empleados para este fin: documento impreso (libro), documento digital en formato PDF (formato para intercambiar documentos de forma fiable, independiente del software, el hardware o el sistema operativo) (Adobe Acrobat DC, 2018) y documento en un dispositivo Kindle (dispositivo con una pantalla de tinta electrónica) (Marmarelli & Ringle, 2011).

La adquisición y procesamiento de la actividad cerebral se realizó usando la interfaz BCI del equipo Emotiv EPOC y para la identificación del nivel de atención se emplearon en el procesamiento etapas de filtrado, eliminación de artefactos (señal cerebral mezclada con movimiento musculares de los ojos (Guzmán, 2015)), segmentación de datos, transformada Wavelet, conversión de la señal en energía y análisis de tendencias lineales. Para complementar el análisis se realizó una entrevista que consultaba el formato con el cual los participantes percibieron más atención durante la lectura. Esto con el fin de conocer su opinión y contrastar esta información con los resultados del análisis de la onda beta.

Este artículo se organiza de la siguiente manera: en la sección 2 se presenta la metodología empleada con el protocolo para la ejecución de la propuesta. En la sección 3 se presentan los resultados y en la sección 4 se encuentra la discusión de la comparación del índice de atención entre los formatos de lectura indicados por cada sujeto y el obtenido por el análisis de la onda beta. En la sección 5 se presentan las conclusiones

2. Materiales y métodos

2.1. Participantes

Cinco sujetos saludables (hombres, edad $23,2 \pm 2,13$ años) participaron en este estudio. Antes de realizar la adquisición de las señales se indicó a todos los sujetos el objetivo y naturaleza del estudio, después de lo cual cada participante firmó un consentimiento

informado. No se conoce que las mediciones sean diferentes entre hombres y mujeres, sin embargo, este grupo se seleccionó con el objetivo de tener mediciones de similares características y sobre los cuales se pueda descartar la posible incertidumbre originada en el género.

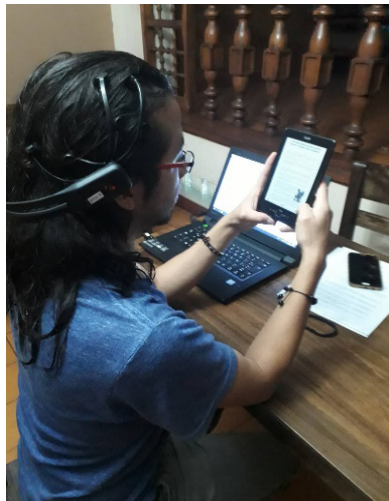


Figura 1 – Participante con el equipo EPOC durante la lectura mediante el dispositivo Kindle.

2.1. Adquisición de señales y procesamiento de datos

Para la adquisición de las señales EEG se empleó el dispositivo Emotiv EPOC que cuenta con 14 electrodos que se ubican en las diferentes áreas del cerebro. En la Figura 1 se muestra a un participante con el equipo EPOC para adquisición de señales EEG durante la lectura mediante el dispositivo Kindle. El EPOC posee dos electrodos de referencia que se ubican detrás de cada oreja, una frecuencia de captación de señal de 128Hz (muestras/segundo) aproximadamente y se comunica con el PC mediante una conexión Bluetooth (Ackerman & Lauterman, 2012).

Los datos que fueron analizados fueron los correspondientes a la adquisición de los electrodos impares del Emotiv EPOC. La información fue almacenada en un archivo de extensión (.xlsx).

Para el procesamiento, se aplicaron a las señales filtros pasa alto y pasa bajo, considerando el tiempo que cada sujeto empleó para concluir la lectura en cada formato. Con base a lo indicado en el manual del Emotiv EPOC, los picos de señal con una amplitud mayor a 200 μ V fueron considerados artefactos y fueron eliminados.

Para la segmentación de la señal se eliminaron 15 segundos del inicio de cada señal (1920 muestras). Seguidamente se segmentaron los datos para que cada señal tenga una duración de 150 segundos, y partir de ahí se eliminó el restante dejándolas a todas las señales del mismo tamaño, 19200 muestras en total.

Posteriormente se calculó el promedio de las señales de los lóbulos y se les aplicó la transformada Wavelet. Esta transformada permite un análisis multiresolución en tiempo y frecuencia, y a su vez, la transformada Wavelet de una función es una descomposición de esa función en un conjunto de funciones, que forman una base (Monge, 2009). Con esto, se obtienen los valores en función de la amplitud y frecuencia de cada onda (Delta, Theta, Alfa, Beta y Gamma) empleando la ecuación (1).

$$S(a, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi^* \left(\frac{t - \tau}{a} \right) s(t) dt, \quad (1)$$

En donde el término τ son las traslaciones y a las dilataciones de wavelet.

Para la obtención de la línea de tendencia se realizó la conversión de la señal en energía. Se tomaron 128 muestras que equivalen a un minuto, los datos se sumaron y se elevaron al cuadrado con base a la ecuación (2).

$$E = \int_{t_1}^{t_2} |f(t)|^2 dt \quad (2)$$

Finalmente, se realizó una comparación intrasujeto e intersujeto.

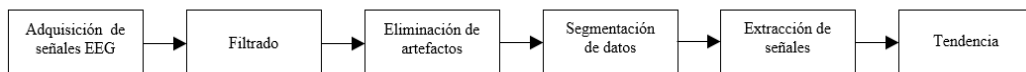


Figura 2 – Etapas de procesamiento de señales EEG.

2.2. Protocolo

Se pidió a los participantes realizar la lectura de un mismo texto (695 palabras) en tres formatos: documento impreso, documento digital PDF en un computador y en dispositivo Kindle. El orden de lectura por formato fue: impreso, PDF y kindle. La adquisición de datos para cada formato de lectura se hizo dejando un día para cada sujeto. La lectura fue de tipo formativo, que tiene por objetivo aprender sobre un tema categórico. En ésta no se considera la velocidad de la lectura sino el desarrollo de la capacidad de reflexionar sobre el tema.

Se colocó el dispositivo EPOC, el tiempo empleado en la para esto fue de dos minutos aproximadamente, para adquirir las señales de los lóbulos temporal, parietal, frontal y occipital del hemisferio izquierdo del cerebro. El dispositivo permaneció durante todo el tiempo de adquisición de datos y se les solicitó a los participantes mantener una posición estable y evitar los movimientos bruscos con sus ojos para disminuir la presencia de posibles artefactos en la señal EEG.

En la Figura 3 se muestra el diagrama de bloques de la metodología empleada en este estudio.

Al finalizar las pruebas se realizó una entrevista a cada estudiante, en la que se consultaba sobre el formato con el cual el participante percibió mayor concentración durante la lectura.

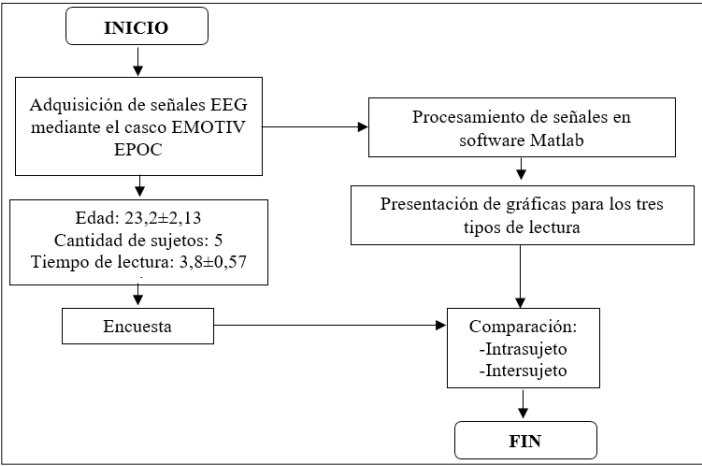


Figura 3 – Metodología del presente estudio

3. Resultados

El tiempo empleado para la lectura fue de $3,8\pm0,57$ minutos para cada formato. En la Tabla 1 se indican los tiempos con cada formato de lectura por participante.

Formatos			
Sujeto	Kindle tiempo (s)	Documento impreso Tiempo (s)	PDF Tiempo (s)
1	236,50	241,50	245,00
2	220,50	210,50	209,50
3	315,25	265,25	275,25
4	211,00	201,75	180,00
5	210,50	221,00	201,25

Tabla 1 – Tiempo de lectura en segundos

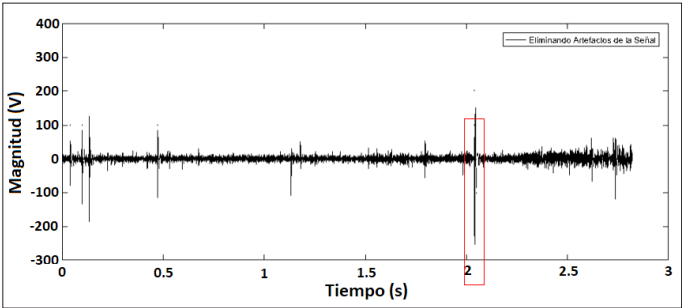


Figura 4 – Señal anterior a la eliminación de artefactos.

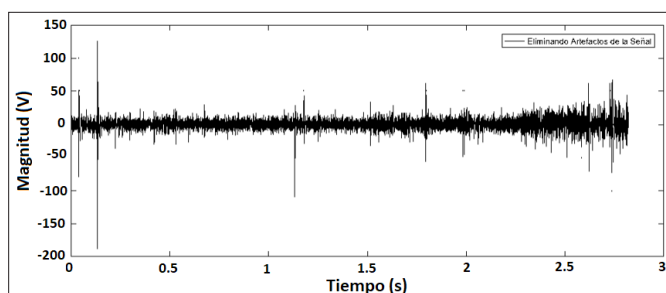


Figura 5 – Señal posterior a la eliminación de artefactos.

Las Figuras 4 y 5 muestran el resultado de la eliminación de artefactos y las Figuras 5, 6 y 7 muestran la línea de tendencia obtenida para el sujeto 1; durante la lectura en formatos: Kindle, impreso y PDF, respectivamente. Se obtuvo la ecuación y pendiente de cada recta con opciones gráficas de Matlab. Esta información se respalda en la tabla 2, la que demuestra el valor de la pendiente y con la cual es posible deducir el formato de lectura en el que se presenta mayor atención.

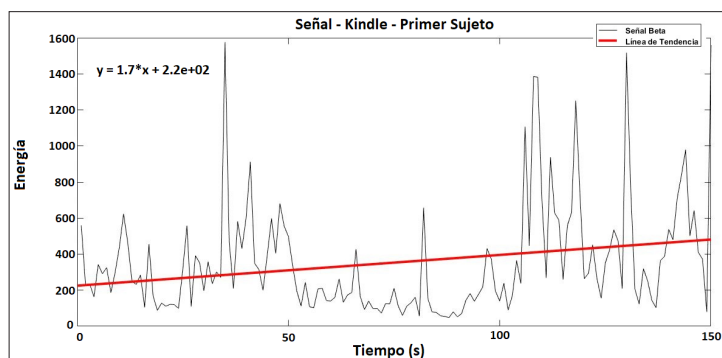


Figura 6 – Tendencia onda Beta - Primer sujeto - Formato Kindle.

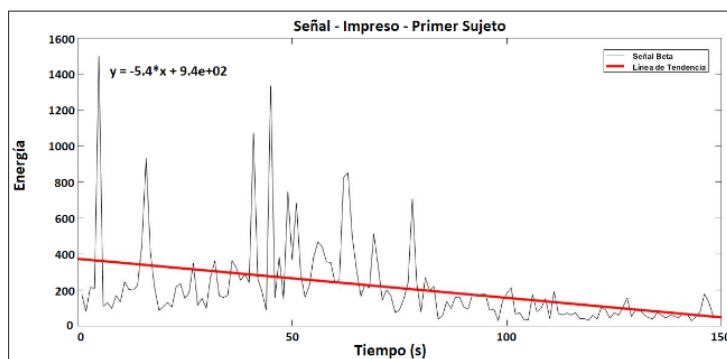


Figura 7 – Tendencia onda Beta - Primer sujeto - Formato Impreso.

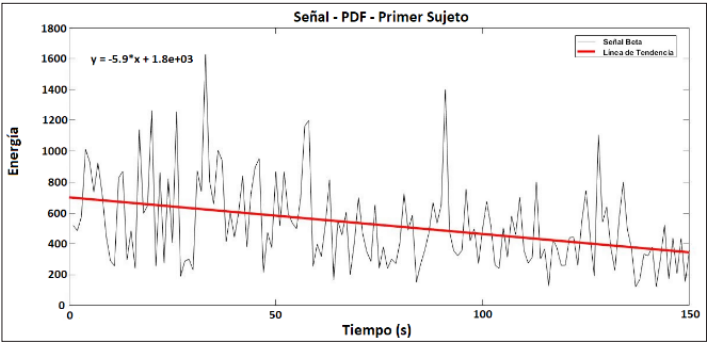


Figura 8 – Tendencia onda Beta - Primer sujeto - Formato PDF.

Formatos			
Sujeto	Impreso	Digital	Kindle
1	-5,40	-5,90	1,70
2	1,60	-0,84	1,70
3	2,40	-0,22	-3,10
4	-1,20	0,99	-0,85
5	-1,10	2,10	0,73

Tabla 2 – Tendencia de las ondas beta durante la lectura.

Sujetos	Onda Beta	Formato que prefiere según entrevista
1	Kindle	Kindle
2	Kindle	Digital (pdf)
3	Impreso (libro)	Impreso (libro)
4	Digital (pdf)	Kindle
5	Digital (pdf)	Digital (pdf)

Tabla 3 – Comparación entre la preferencia por sujetos y el propuesto por la onda.

En la tabla 2 se observa la pendiente de las ondas beta durante la lectura en los tres formatos. La tabla 3 muestra la comparación de los resultados de procesamiento de los datos EEG y el resultado de la respuesta de la entrevista realizada a cada sujeto respecto al dispositivo que se prefiere para lectura.

4. Discusión

Los datos de la Tabla 3, columna 2, correspondiente a la actividad de las ondas beta (atención), de cada sujeto se observa los resultados de los sujetos 1, 3 y 5 coinciden con

la respuesta de la consulta realizada. Para el caso de los sujetos 2 y 4, los resultados del análisis EEG difiere de las respuestas en la consulta realizada.

Sobre la muestra trabajada de cinco personas se registra mayor actividad en el formato PDF y dispositivo Kindle. Con base a esto, deducimos que estos dos formatos pueden ser recomendados para la lectura ya que tienen mayor actividad. Sin embargo, los resultados obtenidos no indican con certeza que exista un formato dominante que permita mayor atención durante la lectura de tipo formativa. Esto concuerda con los resultados del estudio (Mangen, Olivier, & Velay, 2019) en el que se comparó la lectura con el dispositivo Kindle y un documento impreso y los resultados mostraron que en la mayoría de las pruebas, los sujetos realizaron una lectura satisfactoria con cualquier medio de lectura. En Milone (2011) se publicaron resultados que indicaron que los estudiantes pueden comprender textos informativos en un lector electrónico de la misma manera que lo harían en forma impresa entendiendo lo que leen. En contraste, los resultados difieren del estudio publicado en Haddock, Foad, Saul, Brown y Thompson (2019) research is equivocal regarding their benefits for outcomes such as reader comprehension. Integrating literatures on reading medium comparisons and matching effects in persuasion, this research tested whether comprehension is maximized when the content of the material (e.g., whether it is traditional vs. modern, en el cual la comparación del nivel de comprensión de un medio impreso con un digital indicó que la comprensión del mensaje del texto fue mayor con el formato impreso. Esto implica que además del formato, la concentración y/o atención del lector están relacionadas con la relevancia del texto (Haddock, Foad, Saul, Brown, & Thompson, 2019) y los hábitos de lectura de cada sujeto. Es necesario considerar en los estudios diferentes tipos de lectura para sugerir los medios más recomendables para cada tipo y aplicar metodologías para medir el control de la comprensión lectora (Pinto, Martínez, Jiménez-Taracido, Pinto, Martínez, & Jiménez-Taracido, 2016).

5. Conclusiones

El formato PDF y Kindle son los que mejores resultados presentaron en esta investigación. Los resultados mostraron además de la atención a la lectura depende de la preferencia del usuario, factor importante y que debe ser considerado al momento de plantear técnicas de estudio.

Las limitaciones que se presentan en el estudio como muestra poblacional y su segmentación, único texto de tipo formativo para los diferentes formatos se considera que los resultados obtenidos son indicativos más no definitivos, por lo tanto como trabajo futuro se propone ampliar la muestra poblacional para determinar con mayor certeza el formato dominante o dar soporte a los resultados aquí presentados. Además considerar segmentar la muestra por generaciones y hábitos de lectura para sugerir un formato de lectura adecuado.

Referencias

- Ackerman, R., & Lauterman, T. (2012). Akin reading comprehension exams on screen or on paper? A metacognitive analysis of learning texts under time pressure. *Computers in Human Behavior*, 28(5), 1816-1828.

- Adobe Acrobat DC. (18 de Diciembre de 2018). *¿Qué es el formato PDF? Formato de documento portátil de Adobe*. Obtenido de Adobe Acrobat DC: <https://acrobat.adobe.com/la/es/acrobat/about-adobe-pdf.html>
- Crain, C. (14 de Junio de 2018). Why We Don't Read, Revisited. *The New Yorker*, págs. 1-.
- Emotiv. (18 de Diciembre de 2018). *EPOCo2 Emotiv EPOC+ Neuroheadset User Manual Manual Emotiv*. Obtenido de Emotiv: <https://fccid.io/2ADIH-EPOCo2/User-Manual/Manual-2596576>
- Guevara, S. (2012). *Adquisición de señales encefalográficas para el movimiento de un prototipo de silla de ruedas en un sistema BCI*. Cuenca: Universidad Politecnica Salesiana.
- Guzmán, J. (2015). *Electroencefalograma*. Obtenido de Neurofisiología Málaga: <http://neurofisiologiagranada.com/eeg/eeg-quees.htm>
- Haddock, G., Foad, C., Saul, V., Brown, W., & Thompson, R. (2019). The medium can influence the message: Print-based versus digital reading influences how people process different types of written information. *British Journal of Psychology*, 1-.
- Liceo Javier. (2013). *Lectura Comprensiva y sus Estrategias*. Ciudad de Guatemala: Liceo Javier.
- Mangen, A., Olivier, G., & Velay, J.-L. (2019). Comparing Comprehension of a Long Text Read in Print Book and on Kindle: Where in the Text and When in the Story? *Frontiers in Psychology*, 10, 1-.
- Marmarelli, T., & Ringle, M. (2011). *The Reed College Kindle Study*. Portland: Reed College.
- Milone, M. (2011). *Student Comprehension of Books in Kindle and Traditional Formats*. Wisconsin: Renaissance Learning; Wisconsin Rapids.
- Monge, S. (22 de Julio de 2009). *Los lóbulos del cerebro y sus funciones*. Obtenido de Neuromarca. El blog sobre neuromarketing en español: <http://neuromarca.com/blog/los-lobulos-del-cerebro-y-sus-funciones/>
- Pinto, N., Martínez, A., Jiménez-Taracido, L., Pinto, N., Martínez, A., & Jiménez-Taracido, L. (2016). estrategias de aprendizaje, comprensión lectora y rendimiento académico en Educación Secundaria. *Psicología Escolar e Educativa*, 20(3), 447-456.
- Roncero, R. (2015). *Diseño y desarrollo de un sistema de reconocimiento de comandos basado en el uso de BCI para personas con disfuncionalidad motora y del habla*. Madrid: Universidad Autonoma de Madrid.
- Sancho, F. (2014). *Procesado de señal de EEG para detección del nivel de atención mediante Wavelets*. Alcalá: Universidad de Alcalá.
- Spitzer, B., & Blankenburg, F. (2001). Stimulus-dependent EEG activity reflects internal updating of tactile working memory in humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(20), 8444-8449.

Prevención de la contaminación por la fabricación de hormigones con nanopartículas

Luis Morales¹, Farid Alvansazyazdi¹, Paúl Landázuri¹, Walter Vásconez¹

wmorales@uce.edu.ec, faridalvan@uce.edu.ec, pslandazuri@uce.edu.ec,
wmvasconez@uce.edu.ec

¹ Universidad Central del Ecuador, 170112, Quito, Ecuador

Pages: 297–312

Resumen: La presente investigación muestra una alternativa en la fabricación de hormigones de alta resistencia en base a la adición de partículas de sílice de tamaño nanométrico en variaciones de 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5% sobre el peso del cemento, que permitan mejorar tanto las propiedades físicas como mecánicas del hormigón en estado fresco y endurecido. Se sustentan los resultados obtenidos mediante la comparación entre una mezcla patrón con y sin nanopartículas de sílice por medio de ensayos a compresión, tracción indirecta, módulo de elasticidad, coeficiente de poisson y flexión en vigas. A su vez se considera la fabricación de este tipo de hormigón de carácter sostenible al crear estructuras con secciones transversales más pequeñas que permita la reducción de materiales, principalmente el cemento, siendo más seguras, durables y que garanticen su funcionalidad, esto a través de un modelo estructural de 8 y 20 pisos donde se reflejen las propiedades obtenidas.

Palabras-clave: High Strength Concrete; Silica Nanoparticles; Compression; Elasticity Module; Poisson Coefficient.

Pollution prevention by manufacturing concrete with nanoparticles

Abstract: The present investigation shows an alternative in the manufacture of high strength concretes based on the addition of silica particles of nanometric size in variations of 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5% on the weight of the cement, which allow to improve both the physical and mechanical properties of the concrete in a fresh and hardened state. The results obtained are supported by comparing a standard mixture with and without silica nanoparticles by means of compression tests, indirect traction, modulus of elasticity, poisson coefficient and bending in beams. At the same time, the manufacture of this type of concrete of a sustainable nature is considered by creating structures with smaller cross-sections that allow the reduction of materials, mainly cement, being safer, durable and that guarantee its functionality, this through a 8 and 20-story structural model where the properties obtained are reflected.

Keywords: Hormigón de Alta Resistencia; Nanopartículas de Sílice; Compresión; Módulo de Elasticidad; Coeficiente de Poisson.

1. Introducción

El constante crecimiento de las ciudades en el país provoca que cada vez se requiera desarrollar nuevas infraestructuras, esto es beneficioso ya que el sector de la construcción es la industria que más impacto social y económico genera a comparación de la ganadería, agricultura, etc. Sin embargo, genera gran contaminación ambiental, producto de los procesos de extracción de los materiales (cemento, ripio y arena) por lo que se ve necesario la búsqueda de construcciones sostenibles, desde la etapa de diseño con secciones de menor tamaño que deriven en la optimización de recursos, hasta una menor producción de desechos sólidos. Para lograr esto es necesario optimizar costos, tiempo y materiales principalmente en el hormigón el cual es el componente más importante dentro de una obra civil ya que sus propiedades influyen de manera directa en el avance y magnitud que pueda tener la infraestructura.

Se empleó el uso de nanopartículas de sílice dentro de la fabricación del hormigón, para alcanzar mejores propiedades mecánicas que permitan disminuir el uso de cemento, cuya producción ocasiona el 7% de la carga total de dióxido de carbono en la atmósfera. Esto se sustenta comparando la cantidad de hormigón y sacos de cemento que se emplearon para la elaboración de una obra civil.

En la actualidad las ciudades experimentan mayores problemas que afectan a su prosperidad como lo son la congestión vehicular, carencia de fondos para solventar la falta de servicios básicos y fundamentalmente el deterioro de la infraestructura; motivo por el cual es importante considerar el criterio de ciudades sostenibles con base al objetivo 11 de desarrollo sostenible que plantea la ONU.

Para que una infraestructura sea sostenible, no solo deben ligarse a criterios propios de sostenibilidad que abarquen el uso de agua, gestión de agua y demanda de energía, sino también al comportamiento que pueden llegar a tener bajo condiciones extremas, característica propia de la resiliencia. Por ello se exige que los materiales constituyentes del hormigón tengan un mejor desempeño en cuanto se refiere a sus propiedades físicas y mecánicas para ser utilizado en obra. Con la adición de partículas de SiO_2 de tamaño nanométrico que, debido a su composición química, reaccionan con el hidróxido de calcio de las partículas cementantes logrando que se produzca un mejor desempeño del hormigón.

Con el criterio antes expuesto se puede promover el empleo de este tipo de hormigón para desarrollar estructuras con mayor durabilidad para no verse afectadas a la acción de factores externos como lo son eventos climáticos, deslizamientos de tierras, terremotos, inundaciones, etc., y que principalmente puedan reducir el uso de recursos naturales para su fabricación que generen una menor cantidad de desechos sólidos provenientes de la construcción, por lo que es necesario construir infraestructuras que deriven en ciudades resilientes y sostenibles.

1.1. Hormigón de Alta Resistencia

El hormigón está compuesto por agua, cemento, áridos y en algunos casos aditivos que modifican ciertas propiedades de este. La combinación en cantidades convenientes

de estos materiales, otorgan una mezcla homogénea, plástica y trabajable las cuales pueden ser fundidas a cualquier forma (Zabaleta, 1988). Para elaborar hormigones de alta resistencia no influyen únicamente aspectos como la composición física y química del cemento, granulometría de los agregados o uso de aditivos químicos sino también el uso de aditivos minerales como micro y nanosílice que garantizan un adecuado comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas.

Todos los componentes del hormigón deben cumplir con los siguientes requisitos mínimos tanto de normas nacionales o internacionales:

- Cemento, según la norma NTE INEN 155, 156, 157, 158.
- Agregado Fino, según la norma ASTM-C33.
- Agregado Grueso, según la norma ACI 211 4R-93.
- Agua, según norma NTE INEN 1108.
- Aditivo mineral, según especificaciones técnicas del fabricante.
- Aditivo químico, según la dosificación establecida.

1.2. Propiedades Hormigón Fresco

El hormigón en estado fresco debe permitir una adecuada trabajabilidad que garantice un correcto manejo y posterior puesta en obra debido a que aún se caracteriza por ser un material heterogéneo. Las principales propiedades son:

- Trabajabilidad
- Consistencia
- Cohesión
- Fluidez

1.3. Propiedades Hormigón Endurecido

El hormigón endurecido comprende el paso de estado plástico a sólido una vez ha finalizado el proceso de fraguado. Este proceso deriva en la obtención de mejores características mecánicas del hormigón solo si tuvo un adecuado curado. Las principales propiedades son:

- Resistencia a compresión
- Resistencia a tracción
- Módulo de elasticidad
- Flexión

1.4. Nanopartículas de Sílice

La sílice (SiO_2), es una combinación de silicio y oxígeno cuyas partículas están en el orden nanométrico y que por sus particularidades puzolánicas mejoran las propiedades del hormigón al entrar en contacto con los demás componentes ya hidratados. La acción de las nanopartículas de sílice se traduce en una mayor resistencia mecánica con menor porosidad y permeabilidad de la pasta de cemento, mortero y hormigón. Al utilizar esta nano adición, la demanda de cemento será menor, mientras la demanda de agua de la mezcla será mayor debido a su elevado valor de superficie específica (Alcaraz, 2015).

1.4.1. Propiedades físicas y químicas

Características	Unidad	Valores
Superficie específica	m ² /g	200±25
Densidad aparente	g/l	aprox. 50
Humedad* 2h a 105°C	Peso %	< 1.5
Pérdida ignición	Peso %	< 1.0
pH		3.7 – 4.5
Contenido SiO ₂	Peso %	> 99.8

Tabla 1 – Propiedades Físicas y Químicas Nanosílice
Fuente: Ficha técnica Aerosil 200

El tamaño del sílice al ser 1000 veces más pequeño que el microsílice, varía en un rango de 3nm a 40 nm (1nm = 10⁻⁹).

La composición química del SiO₂ es determinado gravimétricamente por humeado de ácido hidrofúorico. El análisis de los óxidos metálicos se lleva a cabo por medio de absorción atómica espectrofotométrica del residuo después del humeado con ácido hidrofúorico. Los contenidos de sulfato de cloruro son determinados por medio de titulación potenciométrica (IDEAL S.A., 2006).

Componente	Porcentaje
SiO ₂	98%
Na ₂ O	1%
Fe ₂ O ₃	0.03%
SO ₃	0.8%

Tabla 2 – Composición Químicas del Nanosílice
Fuente: Ingeniería y Desarrollo Alimentario

1.4.2. Reacciones en el hormigón

El hormigón sufre una variación muy grande de sus propiedades cambiando desde su estructura tradicional por una de nivel nano, mejorando las uniones de las zonas de contacto de la pasta de cemento con los agregados fino y grueso. Además ocupa los espacios vacíos que las partículas comunes del cemento no tienen acceso, por tanto produce un efecto conocido como “filler” el cual evita pérdidas de agua por la inmovilización de esta. Al tener el hormigón un nano contenido puzolánico se puede aglutinar en los poros pequeños de la pasta de cemento saturando los mismos, aumentando su durabilidad al reducir las propiedades de transporte del hormigón frente a: erosión, resistencia frente a abrasión, carbonatación y ataque ion cloruro.

2. Métodos

2.1. Diseño de mezclas – ACI 211.4

El método de diseño detallado por el American Concrete Institute (ACI) para un hormigón de peso normal, parte de valores tabulados obtenidos en base a pruebas hechas en laboratorio y que incluyen ya dentro de su procedimiento la corrección por humedad de los agregados.

En el caso de hormigones de alta resistencia, estos deben tener una resistencia especificada mayor o igual a 42 MPa. Al seguir todos los pasos del diseño se ha obtenido la siguiente dosificación:

Agua	Cemento	Arena	Ripio
0.37	1.00	0.997	1.40

Tabla 3 – Dosificación determinada al peso por m³ de hormigón

A partir de la dosificación obtenida, se añaden las nanopartículas de sílice en variaciones de 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0%, 2,5% sobre el peso del cemento, para la cantidad de probetas que se quieran elaborar, en este caso serán 24.

% Nanosílice	Agua	Cemento	Arena	Ripio	Nanosílice (g)
0.5	9.67	29.89	29.94	42.10	150.19
1.0	9.67	29.74	29.94	42.10	300.38
1.5	9.67	29.59	29.94	42.10	450.57
2.0	9.67	29.44	29.94	42.10	600.76
2.5	9.67	29.29	29.94	42.10	672.28

Tabla 4 – Dosificación en kg por porcentaje de nanosílice

2.2. Proceso de Mezclado

Las nanopartículas de sílice poseen una superficie específica de 2000000 lo que genera un alto consumo de agua y junto con la baja relación agua/cemento que establece un hormigón de alta resistencia, el proceso de mezclado no puede ser semejante a un hormigón normal fabricado en concretera donde se adiciona en un orden específico cada uno de los agregados.

Para la mezcla con nanopartículas de sílice se determinó primeramente adicionar el 25% de agregado fino y 50% de cemento que servirán como base en la concretera para que posteriormente se añada la totalidad de nanosílice. A continuación se coloca el restante 50% de cemento para mezclar por un tiempo de 1 minuto. Luego de este tiempo se añade el 75% restante de agregado fino y la totalidad de agregado grueso para dejar mezclar por 1 minuto más. Al observar que todos los componentes se encuentren homogenizados

se adiciona el agua de la mezcla distribuyéndola sobre toda la masa y se mezcla por alrededor de 6 minutos hasta que se obtenga una adecuada trabajabilidad.

2.3. Curado de Probetas de Hormigón

La relación agua/cemento que caracteriza a los hormigones de alta resistencia requieren de un proceso de curado más directo, es decir, que el hormigón necesita estar en su totalidad en contacto con el agua para hidratar de horma permanente todas las partículas del material cementante. Para esto se implementó el uso de fundas plásticas que simulen una cámara hermética para evitar la pérdida de humedad y permita estar en contacto permanente al agua junto con la cal pura.

3. Resultados

3.1. Variación en las Propiedades del Hormigón

Para los ensayos se utilizaron 24 probetas por mezcla, ensayando las probetas a los 3, 7 y 28 días

Edad del hormigón	Ensayo		
	Compresión	Tracción	Modulo Elasticidad/ Coef. Poisson
3 días	3	-	-
7 días	3	-	-
28 días	6	6	6
Sumatoria	12	6	6
Total	24		

Tabla 5 – Número de probetas ensayadas por Mezcla

Realizados los ensayos de compresión, tracción indirecta, módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson de cada una de las mezclas elaboradas, se determinaron los siguientes resultados:

% Nanosilice	Acero As	Consistencia	Trabajabilidad	Cohesión	Fluidez
0	8.0	Plástica	Muy Buena.	Muy Buena	Media
0.5	8.0	Plástica	Buena.	Muy Buena	Media
1.0	2.0	Plástica	Buena.	Muy Buena	Baja
1.5	1.5	Plástica	Buena.	Muy Buena	Baja
2.0	1.0	Plástica	Buena.	Muy Buena	Baja
2.5	1.0	Seca	M.Mala	Buena	Muy Baja.

Tabla 6 – Resultados propiedades físicas

Se observó que existe una relación inversamente proporcional entre el porcentaje de nanopartículas de sílice añadido y cada una de las propiedades físicas en estado fresco. Esto se debe a que se obtuvo una mezcla más compacta por la unión entre cemento y nanosílice.

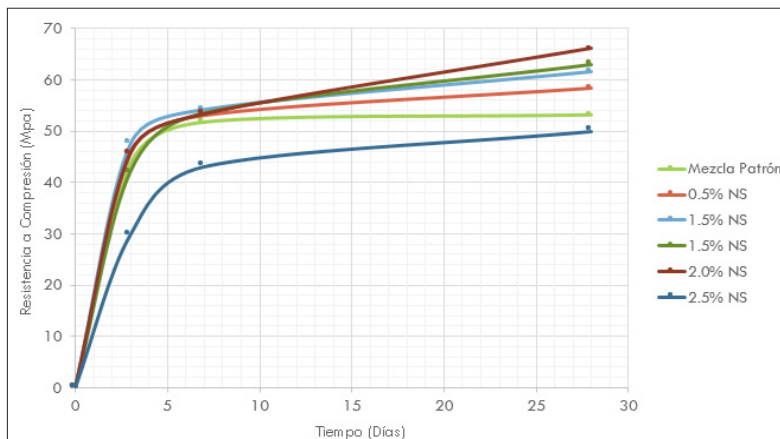


Figura 1 – Resistencia a la compresión vs tiempo

La figura 1 muestra la resistencia que alcanzó el hormigón conforme aumentó su edad, observándose que la adición de 2.0% de nanosílice fue la más alta con 66.11 MPa.

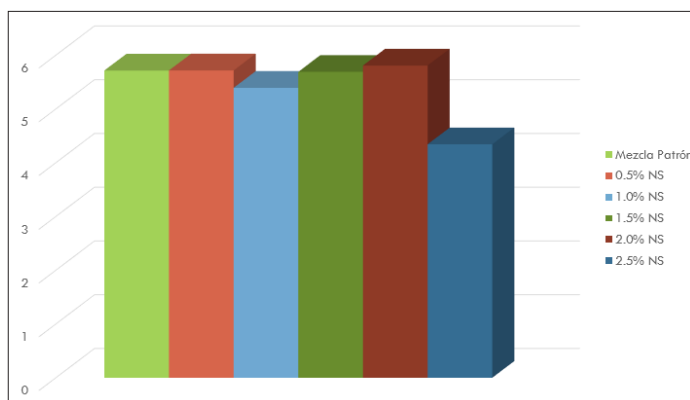


Figura 2 – Resistencia a tracción por % de nanosílice

La figura 2 muestra la resistencia a la tracción que alcanzó el hormigón respecto al porcentaje de nanopartículas de sílice añadidas, observándose que la adición de 2.0% fue la más alta con 5.81 MPa.

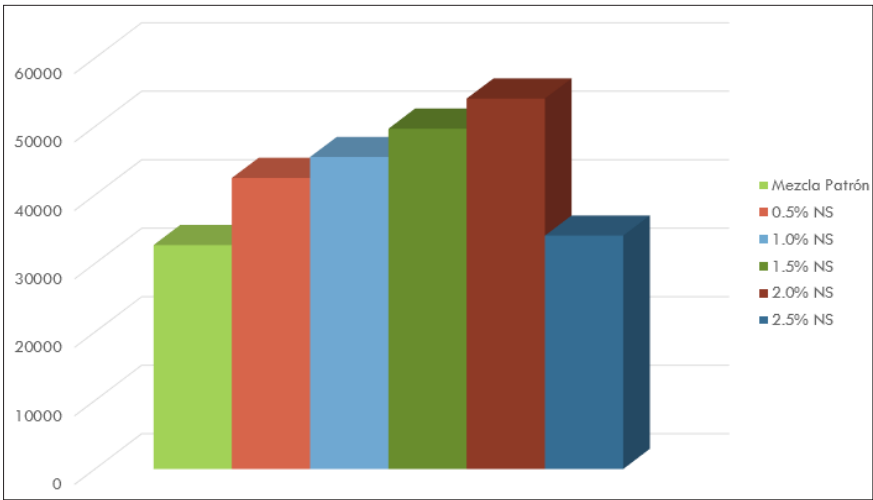


Figura 3 – Módulo de elasticidad por % de nanosílice

La figura 3 muestra el módulo de elasticidad que alcanzó el hormigón respecto al porcentaje de nanopartículas de sílice añadidas, observándose que la adición de 2.0% fue la más alta con 54080.04 MPa.

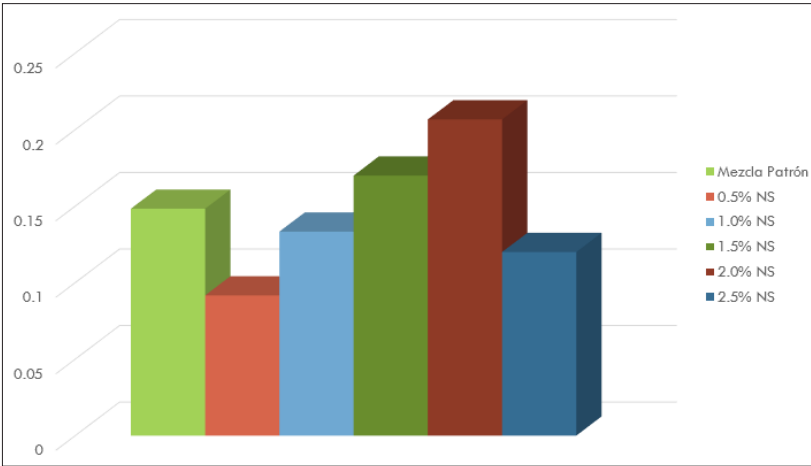


Figura 4 – Coeficiente de poisson por % de nanosílice

La figura 4 muestra el coeficiente de poisson que alcanzó el hormigón respecto al porcentaje de nanopartículas de sílice añadidas, observándose que la adición de 2.0% permitió obtener un valor de 0.21 que se encuentra dentro del rango establecido por

Perenchino y Klieger de 0.2 a 0.28 para hormigones de resistencias comprendidas entre 55 a 80 MPa.

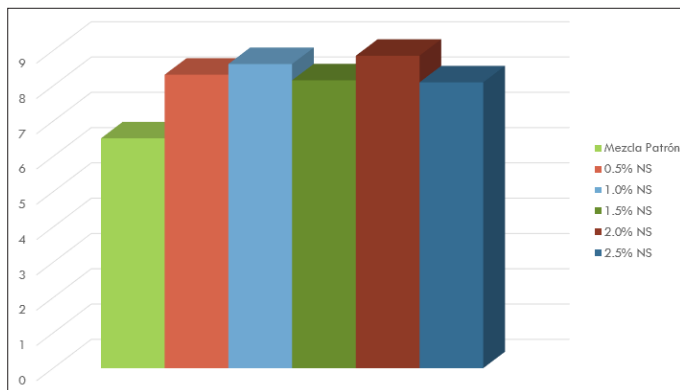


Figura 5 – Resistencia a Flexión por % de nanosílice

La figura 5 muestra el módulo de rotura que alcanzó el hormigón respecto al porcentaje de nanopartículas de sílice añadidas, observándose que la adición de 2.0% permitió obtener un valor de 8.85 MPa.

3.2. Disminución de Desechos Sólidos

En la Figura 6 se muestra el modelo estructural de 20 pisos, con el cual se comparó la cantidad de hormigón que se emplearía en su construcción, mientras que en la figura 7 se muestran el modelo estructural de 8 pisos que se utilizó para definir una relación en cuanto a la altura de estructura vs disminución de volumen de Hormigón.

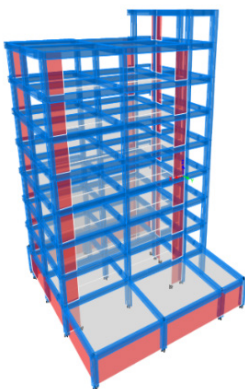


Figura 6 – Modelo Estructural de 20 Pisos

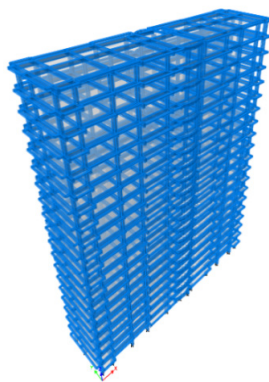


Figura 7 – Modelo Estructural de 8 Pisos

3.2.1. Disminución de desechos sólidos para una estructura de 20 pisos

Las columnas y vigas fueron diseñadas considerando una resistencia a la compresión f_c de 24 MPa por m³. A partir de esta información se determina la cantidad de hormigón:

Elemento	No.	Elevación (m)	altura (m)	base (m)	Volumen (m ³)
Columna	23	60	0.60	1.30	1076.4
Columna	10	60	0.80	1.20	576

Tabla 7 – Cantidad de de hormigón f_c = 24 MPa en Columnas

Elemento	No.	Longitud (m)	altura (m)	base (m)	Volumen (m ³)
Viga	20	14750	0.25	0.35	25812.5
Viga	20	3118.5	0.50	0.70	21829.5

Tabla 8 – Cantidad de de hormigón f_c = 24 MPa en Vigas

La cantidad de hormigón utilizado para la fabricación de vigas y columnas es de 49294.4 m³.

Una vez determinada la cantidad de hormigón, se establecen nuevas dimensiones de vigas y columnas a partir de la nueva resistencia f_c =66.11 MPa obtenida en la investigación.

Elemento	No.	Elevación (m)	altura (m)	base (m)	Volumen (m ³)
Columna	23	60	0.45	0.70	434.7
Columna	10	60	0.35	0.65	136.5

Tabla 9 – Cantidad de de hormigón f_c = 66.11 MPa en Columnas

Elemento	No.	Longitud (m)	altura (m)	base (m)	Volumen (m ³)
Viga	20	14750	0.25	0.30	22125
Viga	20	3118.5	0.40	0.60	14968.8

Tabla 10 – Cantidad de de hormigón f_c = 66.11 MPa en Vigas

La cantidad de hormigón que se utilizaría con las nuevas dimensiones se reduce a 37665 m³, es decir, un 23.59% menos. A su vez se contempla la mejoría de parámetros sismo resistentes como desplazamientos (δ), derivas de piso (Δ), periodo (T) considerando la fuerza sísmica en sentido X y sentido Y, como lo muestran las figuras 7, 8, 9, 10 y la tabla 10 y 11 respectivamente.

Modelo	δ (cm)	Δi (%)	T (s)
Original	14.92	1.77	2.268
Nuevo	17.67	1.95	2.433

Tabla 11 – Parámetros Sismo resistentes – Sentido X

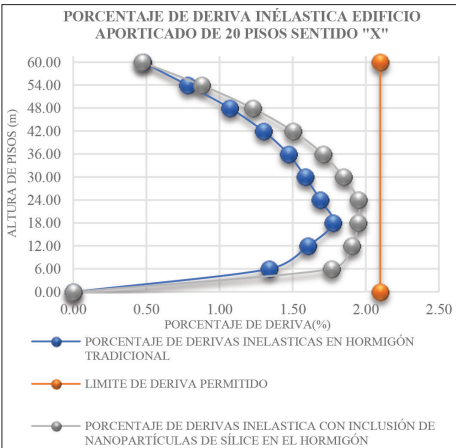


Figura 8 – Deriva de Piso-Sismo Sentido X

Modelo	δ (cm)	Δi (%)	T (s)
Original	19.34	2.00	2.268
Nuevo	21.64	2.04	2.433

Tabla 12 – Parámetros Sismo resistentes – Sentido Y



Figura 9 – Deriva de Piso-Sismo Sentido Y.

El comportamiento modal (Ux, Uy, Rz) se detalla en la tabla 12, donde muestra que los valores de los modos de vibración no varían.

Modelo Original			Modelo Nuevo		
Ux	Uy	Rz	Ux	Uy	Rz
0.000	2.77	2.435	0.000	2.77	2.435
0.997	0.37	0.891	0.997	0.37	0.891
0.002	0.009	0.989	0.002	0.009	0.989

Tabla 13 – Comportamiento Modal – 3 modos de vibración

3.2.2. Disminución de desechos sólidos para una estructura de 8 pisos

Las columnas y vigas fueron diseñadas considerando una resistencia a la compresión f_c de 28 MPa por m3. A partir de esta información se determina la cantidad de hormigón:

Elemento	#Pie.	Elevación (m)	Altura (m)	Base (m)	Volumen (m3)
Columna 1	102	308.4	0.45	0.70	95.378
Columna 2	8	24.32	0.45	0.55	5.909

Tabla 14 – Cantidad de m3 de hormigón $f_c = 28$ MPa en Columnas

Elemento	No.	Longitud (m)	Altura (m)	Base (m)	Volumen (m3)
Viga1	212	826.7	0.40	0.60	172,246
Viga2	15	71,95	0.25	0.25	4,415

Tabla 15 – Cantidad de m3 de hormigón $f_c = 28$ MPa en Vigas

La cantidad de hormigón utilizado para la fabricación de vigas y columnas es de 277,9487 m3.

Una vez determinada la cantidad de hormigón, se establecen nuevas dimensiones de vigas y columnas a partir de la nueva resistencia $f_c=66.11$ MPa obtenida en la investigación.

Elemento	#Pie.	Elevación (m)	Altura (m)	Base (m)	Volumen (m3)
Columna 1	102	308.4	0.35	0.60	63,585
Columna 2	8	24.32	0.35	0.45	3,761

Tabla 16 – Cantidad de m3 de hormigón $f_c = 66.11$ MPa en Columnas

Elemento	No.	Longitud (m)	Altura (m)	Base (m)	Volumen (m3)
Viga1	212	826.7	0.30	0.50	110,055
Viga2	15	71,95	0.25	0.25	4,415

Tabla 17 – Cantidad de m3 de hormigón f’c = 66.11 MPa en Vigas

La cantidad de hormigón que se utilizaría con las nuevas dimensiones se reduce a 181,815 m3, es decir, un 34.59% menos. A su vez se contempla la mejoría de parámetros sismo resistentes como desplazamientos (δ), derivas de piso (Δ), periodo (T) considerando la fuerza sísmica en sentido X y sentido Y, como lo muestran las figuras 7, 8, 9, 10 y la tabla 10 y 11 respectivamente.

Modelo	δ (cm)	Δi (%)	T (s)
Original	3.95	1.23	1.15
Nuevo	3.74	1.13	1.151

Tabla 18 – Parámetros Sismo resistentes – Sentido X

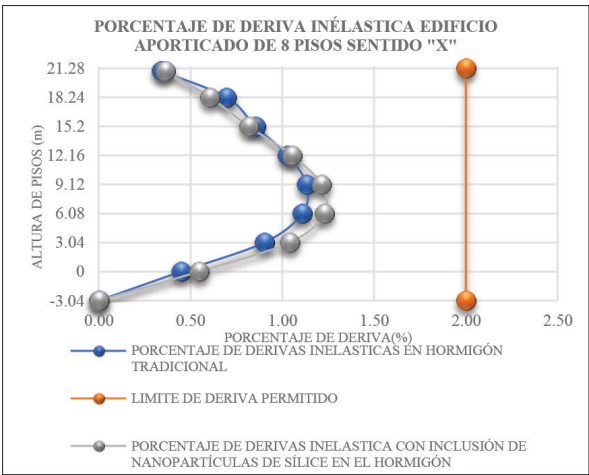


Figura 10 – Deriva de Piso-Sismo Sentido X

Modelo	δ (cm)	Δi (%)	T (s)
Original	4.84	1.73	1.15
Nuevo	4.97	1.76	1.151449

Tabla 19 – Parámetros Sismo resistentes – Sentido Y

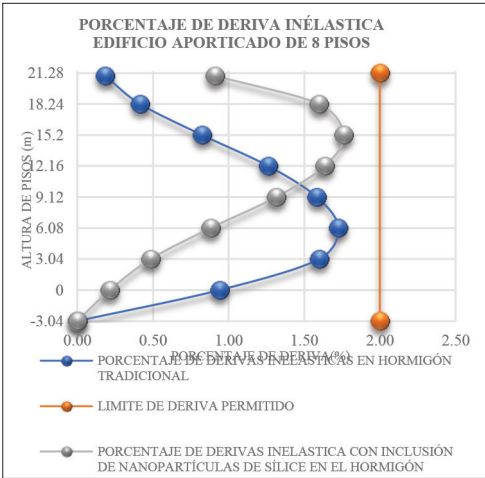


Figura 11 – Deriva de Piso-Sismo Sentido Y

El comportamiento modal (U_x , U_y , R_z) se detalla en la tabla 12, donde muestra que los valores de los modos de vibración no varían.

Modelo Original			Modelo Nuevo		
U_x	U_y	R_z	U_x	U_y	R_z
0.000	2.77	2.435	0.000	2.77	2.435
0.997	0.37	0.891	0.997	0.37	0.891
0.002	0.009	0.989	0.002	0.009	0.989

Tabla 20 – Comportamiento Modal – 3 modos de vibración

4. Discusión

En conformidad con lo establecido en el Marco de Sendai del Riesgo de Desastres 2015-2030 punto 3, es necesario que a nivel nacional o local se de una mejora de la construcción considerando siempre el principio de resistir las amenazas mediante la aplicación de nuevos materiales o técnicas tanto para el diseño como para la construcción que se encuentren debidamente normalizadas. Esto se puede lograr con la adición de nanopartículas de sílice a la mezcla de concreto.

Los datos obtenidos indican que con adición del 2.0% de nanopartículas de sílice al hormigón tradicional sus propiedades mecánicas mejoran notablemente, permitiendo edificaciones más altas, seguras y con mayor tiempo de vida útil, construcciones que justifican el crecimiento vertical y ordenado de las ciudades, y evitan el crecimiento de barrios marginales dejando zonas verdes seguras para el esparcimiento de la población en general.

También permite una reducción en las dimensiones de las secciones, sin afectar en gran manera a las derivas de piso. El reducir las secciones de los elementos en estructuras, se traduce como menor material de construcción es decir menor pérdida de ecosistemas naturales en la extracción de materiales, uso de agua más eficiente en construcción y curado, disminución de desechos sólidos, uso de maquinaria y tiempos de construcción más cortos, en general menor contaminación ambiental.

Se demuestra así que, la cantidad de nanopartículas de sílice utilizadas en la mezcla no es directamente proporcional a los incrementos de las propiedades del hormigón, por el contrario, una cantidad deficiente o excesiva generan detrimento en el material, lo que es corroborado en por Tobón, Restrepo y Payá en su artículo “Adición de nanopartículas al cemento Portland” nos indican que existe un porcentaje óptimo de adición (Tobón, Restrepo, & Payá, 2006).

La principal fortaleza del estudio radica en una investigación experimental y detallada realizada con los materiales y marcas presentes en nuestro medio, con resultados reales y aplicables para los interesados, sin embargo, se recomienda para futuros trabajos investigativos profundizar en los efectos que causan las adiciones de nanopartículas de sílice en la mezcla de hormigón al acero de refuerzo.

5. Conclusiones e implicaciones sociales

Se logra alcanzar en un tiempo de 0 a 3 días el 93.40% (43.62 MPa) de resistencia requerida $f'_{cr} = 46.7$ MPa con la mezcla patrón pero al adicionar el 2.0% de partículas de nanosílice se obtiene un crecimiento de hasta 141.57% a los 28 días, es decir, 66.11 MPa de resistencia a la compresión, superando lo establecido por el ACI 363.2R-11 de resistencia mínima de 55 MPa para un hormigón de alta resistencia.

Determinadas todas las propiedades del hormigón con sus variaciones de las nanopartículas de sílice, se comprueba que el 2.0% de adición obtiene el mejor comportamiento de sus propiedades mecánicas, llegando a ser considerado para usar en cualquier tipo de elemento estructural.

En nuestro país, la infraestructura tiende a ser más vulnerable a la actividad sísmica debido a su ubicación geográfica, por lo que se debe emplear materiales que garanticen la durabilidad, siendo en este caso el hormigón con adición de nanosílice, del cual es necesario cuidar su calidad mediante la mejora de procesos constructivos ya que un producto mal aplicado tiene como consecuencias un mal resultado; llegando a ser necesario la inversión para cuidar dichos procesos considerando que el costo puede ser mínimo comparado con los beneficios que se pueden obtener.

Este hormigón en la actualidad ayudaría a las edificaciones que están innovando el medio constructivo, con modelos cada vez más vanguardistas, con mejores diseños estéticamente, pensando en la mitigación de riesgos en el entorno cumpliendo una serie de normativa nacional e internacional y que cumplan con la inducción de entornos para niños, mujeres embarazadas, personas de la tercera edad y con alguna discapacidad. Además, pueden aportar en la construcción de edificaciones autosustentables de gran altura que aprovechen los recursos naturales como son la energía solar y las aguas lluvia en la construcción de jardines verticales en estos.

La innovación de materiales que permitan reducir una considerable cantidad de residuos sólidos en el ámbito de la construcción debe ir ligada a un plan de gestión de residuos por parte de las autoridades y específicamente del constructor.

Referencias

- Alcaraz, J. (Mayo de 2015). *Microestructura del hormigón con adición de nanosílice*. Obtenido de Universidad Politécnica de Cartagena: <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/4671/tfg438.pdf?sequence=1&isAllo>
- IDEAL S.A. (Enero de 2006). *Ingeniería y desarrollo*. Obtenido de IDEAL S.A.: <http://www.ideal-sa.com/literaturas/Aerosil%20200%20LIT.doc>
- Tobón, J., Restrepo, O., & Payá, J. (28 de Septiembre de 2006). *Adición de nanopartículas al cemento Portland*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/930/1364>
- Zabaleta, H. (1988). *Compendio de tecnología del hormigón*,. Santiago de Chile: Instituto Chileno del Cemento y del Hoirmigón.

Diseño de órtesis activa para autorehabilitación de codo

José Segnini¹, Daniel Vaca¹, Mary Vergara¹

jmsegnini@pucesi.edu.ec, gdvaca@pucesi.edu.ec, mvergarap@ups.edu.ec

¹ Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ibarra, Ecuador

² Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

Pages: 313–328

Resumen: Para el año 2017, Ecuador registró 11.678 personas con algún tipo de trauma en el codo y antebrazo. Si bien existen dispositivos rehabilitadores de codos disponibles en el mercado nacional, distribuidos por casas comerciales, todas son productos de importación con altos costos de adquisición y mantenimiento. En esta investigación, se presenta un diseño conceptual de un rehabilitador de codo dinámico con entrada motriz ejecutada por el usuario para lograr una progresiva rehabilitación sin supervisión médica. En este, se incluyen primero la captura de imágenes para la obtención de dimensiones, acompañadas de topologías geométricas únicas que posee el individuo, además de las restricciones clásicas para el diseño de dispositivos biomecánicos como lo son: mecanismos, cargas, forma, costo, y material. Posteriormente, en el diseño se realiza un análisis cinemático y de resistencia de materiales utilizando programas CAD-CAE que sirven para simular y definir la geometría y materiales del dispositivo en base a un mecanismo. Así, se obtiene un dispositivo único que permite realizar movimientos de flexo-extensión de 0° a 90° que cubre todas las fases de rehabilitación del codo.

Palabras-clave: Dispositivo; codo; rehabilitación dinámica; modelado; CAD-CAE.

Active orthosis design for elbow self-rehabilitation

Abstract: For 2017, Ecuador registered 11,678 people with some type of trauma in their elbows and forearms. Although there are elbow rehabilitation devices available in the national market distributed by commercial houses, all are import products with high purchases and maintenance costs. This investigation presents a conceptual design of a dynamic elbow rehabilitator (motor input given by the user), with restrictions associated to the use of simple geometry, available material in the zone and of low cost, that contributes with the progressive rehabilitation without medical supervision. For this, it proposed a process of design where it presents alternative mechanisms and forms to select the most adequate according to the plant requirements. Later, using CAD-CAE programs that does valid numerical simulations to define an elbow rehabilitator with a degree of freedom, able to

support maximum loads given by the patient without permanently deforming. The obtained results, shows that it can be materialized by a design that can do a cinematic analysis and material resistance using CAD-CAE programs that serves to define totally the geometry and materials of the device in base of a mechanism, in which it allows movements of flex-extension of 0° a 90° that corresponds to the elbow rehabilitation phase.

Keywords: Device; elbow; dynamic rehabilitation; modeling; CAD-CAE.

1. Introducción

La articulación del codo es una de las más importantes en el cuerpo humano para mover y deslizar cuerpos en posiciones determinadas por ser el puente de unión entre los movimientos realizados por el antebrazo y el brazo (Cardozo, 2013). La autorehabilitación es cada vez más importante a medida que el ser humano evoluciona ante la recuperación propia, basado en sus posibilidades de alcanzar nuevamente los movimientos perdidos provisionalmente.

En el mercado internacional y nacional, existen rehabilitadores de codo, estos dispositivos pueden utilizar resortes lineales, de torsión, neumática, electrónica, hidráulica y mecatrónica para controlar los movimientos de la articulación del codo, tal como se muestra en algunas referencias [(Pérez, 2012); (Mio, 2014); (Barrios, y otros, 2017); (Ospina, 2017)], donde, además muestra la necesidad de realizar investigaciones direccionadas a dispositivos que sean portátiles que permita la rehabilitación del movimiento de extremidades superiores a un bajo costo.

Bajo la luz de lo anterior, se han desarrollado investigaciones direccionadas a simular el movimiento natural del codo mediante diferentes mecanismos, tal como se detalla en algunos trabajos referenciados [(Mavroidis, et al., 2005); (Gallucci, Boretto, Alfie, A.G. Donndorff, & Carli, 2008); (Martínez, 2011); (Ayala-Lozano, y otros, 2015); (Lima, 2016); (Escuder, 2017); (Wang, Song, Wang, & Liu, 2008)]. En los últimos cinco años universidades ecuatorianas han participado en el desarrollo de dispositivos rehabilitadores de codo (Moya & Vásquez, 2014); (Macao & Nacipucha, 2016), todas, direccionadas a crear dispositivos exoesqueléticos electrónicos para la rehabilitación de codo.

En este mismo contexto, desde hace varias décadas, se han desarrollado patentes que muestran la evolución de los rehabilitadores con distintas configuraciones geométricas que van desde sistemas netamente mecánicos hasta sistemas mecatrónicos avanzados; ver, por ejemplo los autores citados [(Mauldin & Jones, 1984), (Hepburn, 1987); (Brown, 1987); (Hensley & Kielman, 1989); (Mitchell, Muir, & DeLorenzo, 1991); (Kipnis & Belman, 1995); (Clemens, Rembold, & Ashford, 1999); (Beny & Oster, 1999); (Simmons, 2008); (Jianbin, Xiaofeng, Zhong, Zhongyi, & C. Weihai, 2017)]. Por esto, se observa que los movimientos de rehabilitación pueden ser realizados de manera autónoma por el paciente, Varias de estas patentes presentan un sistema con entrada motriz dada por el usuario, que posee un cierto grado de movilidad. Sin embargo, algunos pacientes pueden requerir diferentes extensiones y flexiones debido al grado de inmovilización que sufre el codo y por lo tanto es importante desarrollar mecanismos que sean capaces de cubrir esta necesidad.

En esta investigación, se presenta un diseño conceptual de un rehabilitador de codo dinámico, con restricciones asociadas al uso de geometrías sencillas, material disponible

en la zona y de bajo costo, que contribuye con la progresiva rehabilitación sin supervisión médica. Para esto, se utilizará la propuesta de Segnini, Chagna y Vergara (2018), donde plantean un proceso de diseño, en donde, presentan las alternativas de mecanismos, formas y materiales para seleccionar las más adecuadas según los requerimientos planteados. Posteriormente, utilizando programas CAD-CAE se realizan simulaciones numéricas validadas para definir la geometría del rehabilitador de codo con un grado de libertad, capaz de soportar cargas máximas dadas por el paciente sin deformarse permanentemente.

Los resultados muestran que se puede materializar un diseño en el que se realiza un análisis cinemático y de resistencia de materiales utilizando programas CAD-CAE que sirven para definir la geometría y materiales del dispositivo rehabilitador en base a un mecanismo, el cual permite realizar movimientos de flexo-extensión de 0° a 90° correspondiente a las fases de rehabilitación del codo.

2. Métodos

Para desarrollar el diseño del rehabilitador de codo, es importante definir los requerimientos que están asociados a varios aspectos de la información aportada por expertos en el área de rehabilitación, donde se despliegan los datos necesarios y suficientes para la conceptualización y proceso de diseño, que se lleva a cabo en varias etapas considerando el uso de herramientas computacionales que introduce en este proceso no sólo la estética, si no, el cálculo en ingeniería para validar los materiales y formas utilizadas para el dispositivo (Segnini, Chagna, & Vergara, 2018). De esta forma, se desarrolla un proceso de diseño que es una modificación a la propuesta desarrollada por el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), titulada Proceso de Diseño: fases para el desarrollo de productos (2009), incluyendo el comportamiento estructural del dispositivo, considerando, además el entorno del dispositivo rehabilitador de codo, que debe incluir restricciones asociadas a los costos. Adicionalmente, se utiliza una herramienta de medición biométrica propuesta por Mei (Mei, 2015), en donde se capturan imágenes fotográficas de la extremidad, estas imágenes son procesadas y vectorizadas para poder obtener silueta de dicha extremidad (ver figura 1a) y así con las siluetas en varios perfiles poder realizar el modelado 3D (ver figura 1b). Y de esta manera obtener un dispositivo completamente adaptable a las medidas del brazo lesionado.

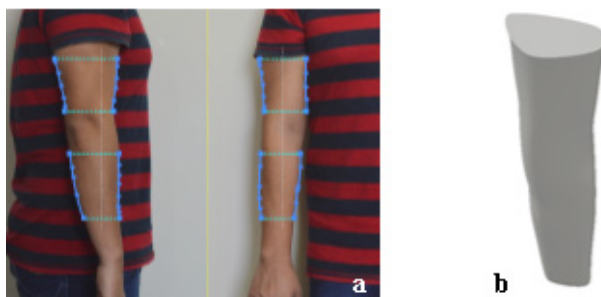


Figura 1 – a) Vectorización de la silueta de la extremidad
b) Modelado 3D de la extremidad completa

2.1. Requerimientos de Diseño

Para la identificación de las necesidades es básico crear un canal de información de alta calidad directamente con el usuario final del producto. La recopilación de datos involucra el contacto con los usuarios y con su experiencia con el ambiente de uso del producto, siendo el método primario de recopilación de datos para lograr este objetivo las entrevistas.

Los usuarios están representados por las personas que requieren rehabilitación de los miembros superiores. Se trabajó con los pacientes de la Unidad de Rehabilitación y Terapia Física del Hospital San Vicente de Paúl, ubicado en la ciudad de Ibarra, Ecuador. Se trabajó con diecisiete (17) pacientes que estaban realizando la rehabilitación en el periodo comprendido entre abril y junio del año en curso.

Esta información es sintetizada, comparada y analizada con la bibliografía pertinente, para finalmente con el asesoramiento de un especialista fisioterapeuta, generar

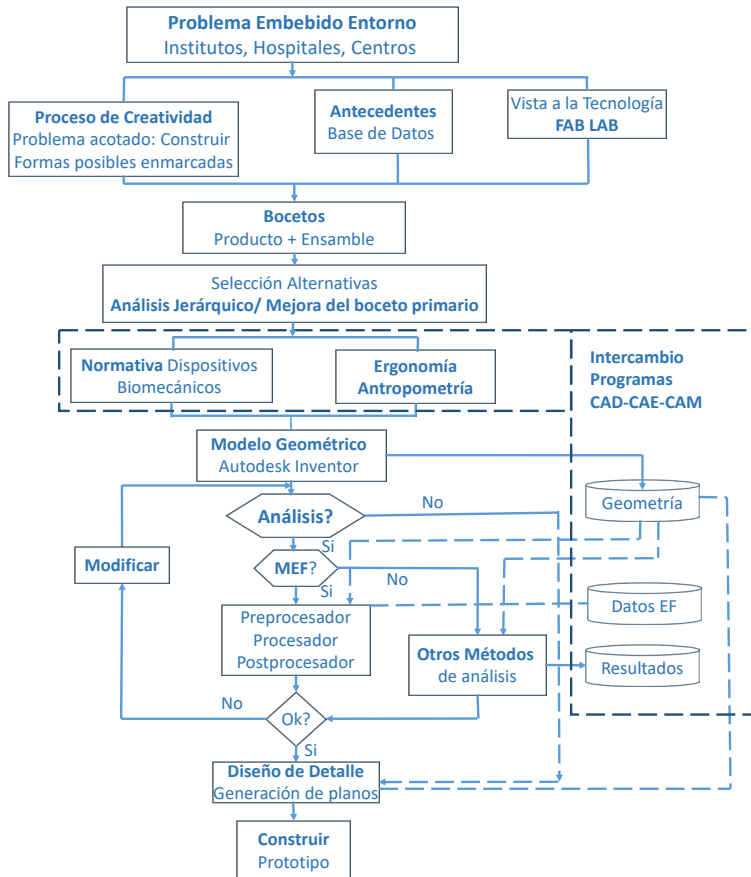


Figura 2 – Algoritmo de solución para realizar la simulación numérica, extraído de Segnini, Chagna y Vergara (2018).

alternativas de diseño acorde con los requerimientos. Y así establecer las variables fundamentales que se deben considerar en el diseño de un rehabilitador de codo.

Para establecer el grado de movilidad del paciente se emplea como referencia lo reportado por Gallucci et al (2008). Después se acude a distintas visitas con especialistas, con el fin de consolidar información y establecer perspectivas generales sobre los aspectos asociados a la rehabilitación del paciente, visto desde la visión del terapeuta.

Al igual que la investigación realizada por Chagna (2017), el objetivo de las entrevistas fue conocer el criterio de expertos en el tema de rehabilitación y tomar nota sobre los beneficios que se adquieren al desarrollar un dispositivo de rehabilitación de codo dinámico de bajo costo, considerando movimientos de flexión y extensión, también se especifican los rangos de movilidad, posturas y dar carta abierta a recomendaciones mediante la experiencia de los participantes, obteniendo así un compendio de datos más completo y significativo.

Las preguntas elaboradas a los especialistas fueron abiertas y espontaneas, ellos tuvieron la intención manifiesta de establecer cada detalle, tales como: la importancia del dispositivo, la síntesis de gravedad del paciente y los grados de rehabilitación de acuerdo a la recuperación del codo.

2.2. Análisis del diseño

Una parte importante a estudiar una vez que se ha definido y seleccionado de varias alternativas del mecanismo, la forma y el material, se añaden las restricciones y el estado de carga, para realizar la simulación numérica considerando la posición crítica del mecanismo. Dicha simulación para el análisis estructural está hecha con el método de elementos finitos y se sigue un algoritmo simple dentro del proceso del diseño modificado de Vergara et al, [25] como se muestra en la figura 2 y en el cual se contemplan los pasos desde la concepción del problema embebido en el entorno hasta la construcción del prototipo. Así, el primer paso consiste en reconocer el problema desde su propio entorno, pasando por una etapa de solución que considera el proceso de creatividad, investigación preliminar, soluciones similares existentes, junto con las herramientas tecnológicas disponibles para presentar bocetos y seleccionar alguno hasta pasar a la simulación del rehabilitador considerando normativa para dispositivos biomecánicos con su respectiva antropometría y ergonomía (Segnini, Chagna, & Vergara, 2018).

Para la obtención de la geometría final, se utiliza el programa Autodesk Inventor y su plataforma de simulación que involucra el preproceso donde se definen: la geometría y las condiciones de carga, sujeción y material, el proceso para determinar esfuerzos, desplazamiento, deformaciones y factor de seguridad y postproceso para visualizar los resultados que sirven para verificar que el sistema es capaz de soportar las cargas máximas sin deformarse permanentemente y así pasar al diseño de detalle (Segnini, Chagna, & Vergara, 2018).

3. Resultados

Se evalúa las alternativas jerárquicamente, donde se consideran los factores asociados a: mecanismos y formas. Se han utilizado programas CAD y CAE para desarrollar el

rehabilitador de codo. Así mismo, el paquete computacional Expert Choice Comparion™ es la herramienta encargada de realizar la selección de alternativa.

Adicionalmente, se presenta el análisis estructural que establece las condiciones de fuerza para la posición crítica del modelo, y una vez obtenida son simuladas para conseguir la geometría adecuada para finalmente validar numéricamente con la convergencia hacia la solución y disponer de los datos necesarios para la fabricación del dispositivo rehabilitador.

3.1. Características del rehabilitador

En la figura 3 se presentan los resultados obtenidos en las entrevistas realizadas a los pacientes con relación a las características de la ortesis.

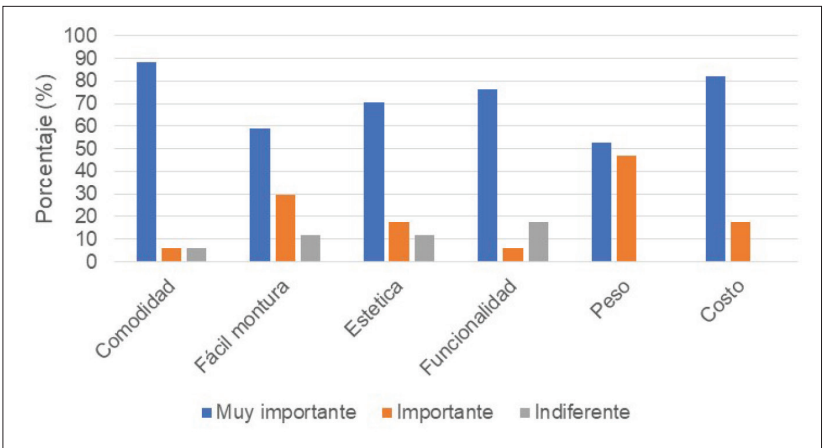


Figura 3 – Resultados de encuestas con respecto a las características de la prótesis

Para el 88% de los pacientes la comodidad es muy importante, debido a que estas terapias son ejercicios repetitivos, un equipo cómodo les proporciona una sensación de confort y bienestar. De igual manera, para el 82% de los pacientes el costo es muy importante. Es recurrente el comentario sobre los costoso que resultan la adquisición de estos equipos rehabilitadores y del poco tiempo de uso que tienen. La funcionalidad (76%) es un tema sensible para los usuarios, puesto que ellos asocian la función con el recuperación acelerado de la extremidad. Para los pacientes a los cuales la estética es muy importante (71%), la órtesis debe incorporar formas modernas y atractivas, que visualmente no reflejen sensación de dolor y enfermedad.

A pesar que solo al 53% de los pacientes consideran imprescindible el factor peso, el otro 47% lo considera “importante”, en otras palabras, para ningún paciente es “indiferente” una órtesis pesada. Otro dato a tomar en cuenta, es que ningún paciente considero el costo como “indiferente”, esto tiene relación directa con el centro de rehabilitación estudiado, ya que es una institución pública que brinda servicios gratuitos, y las personas que recurren a este centro son personas con poder adquisitivo moderado y bajo.

3.2. Análisis jerárquico para selección de Alternativas

El esquema de proceso de diseño propuesto establece alternativas para: mecanismo a desarrollar y forma externa del rehabilitador de codo. De esta manera, se presentan diferentes alternativas dirigidas a la órtesis de rehabilitación, las cuales son sometidas a evaluación y selección por la herramienta Expert Choice ComparionTM, que se detallan a continuación.

El proceso parte con el planteamiento de alternativas y configuración de criterios para la selección de mecanismos que cumplen con los movimientos de flexión y extensión del codo. De los cinco mecanismos planteados (ver figura 4) se escoge uno para la estructuración interna del dispositivo, para lo cual se considera como objetivo el tipo de mecanismo y sistema de actuación, los criterios que sirven para seleccionar la alternativa son: fácil apertura del sistema, estabilidad, costos del mecanismo, número de elementos y complejidad del sistema mecánico.



Figura 4 – Propuestas de diseño desarrolladas.

El mecanismo 1 está compuesto por dos elementos (Soporte de brazo y soporte del antebrazo) los cuales, se unen a través de una articulación tipo bisagra, el sistema dinámico de fuerza está compuesto por un elemento elástico sujetado a los soportes del brazo y antebrazo. El mecanismo 2 está compuesto por dos elementos (Soporte de brazo y soporte del antebrazo) los cuales, se unen a través de una articulación tipo bisagra, el sistema dinámico de fuerza está compuesto por un elemento neumático (pistón) sujetado a los soportes del brazo y antebrazo. Mientras que el mecanismo 3 está compuesto por dos elementos (Soporte de brazo y soporte del antebrazo) los cuales, se unen a través de una articulación tipo bisagra, el sistema dinámico de fuerza está compuesto por un resorte de torsión ubicado en la articulación. Por su parte, el mecanismo 4 está compuesto por dos elementos (Soporte de brazo y soporte del antebrazo) los cuales, se unen a través de una articulación tipo bisagra, el sistema dinámico de fuerza está compuesto por un resorte lineal, un cable mecánico y un sistema de poleas ubicado en la estructura central de los soportes. Por último, el mecanismo 5 está compuesto por dos elementos (Soporte de brazo y soporte del antebrazo) los cuales, se unen a través de una articulación tipo bisagra ubicada en la parte inferior de los soportes, el sistema dinámico de fuerza está compuesto por un elemento elástico sujetado a los soportes del brazo y antebrazo.

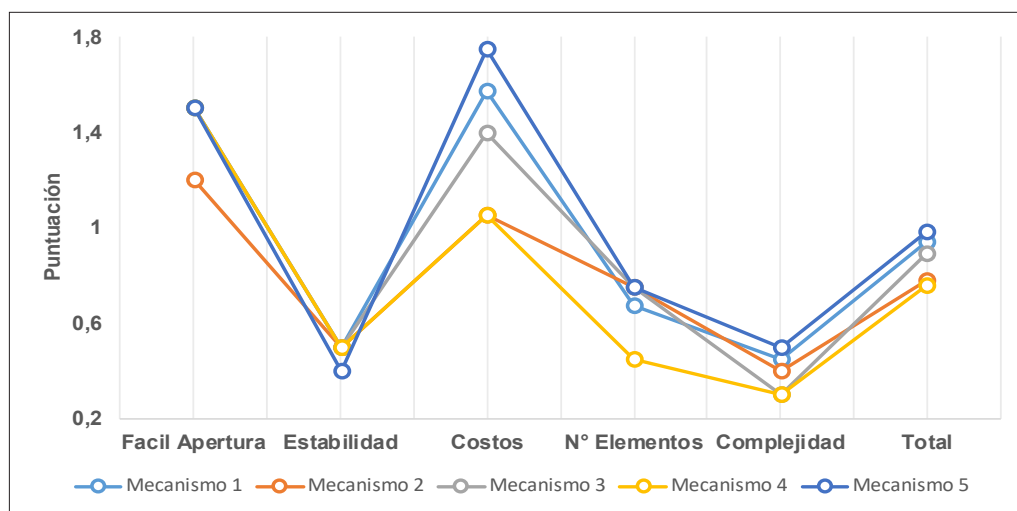


Figura 5 – Resultados para la síntesis de tipo y sistema de mecanismo.

Los criterios se plantean según el grado de importancia, donde se busca la facilidad de apertura de la órtesis para poder describir el movimiento de flexión y extensión, considerando además que éstos estén disponibles al menor costo, que cuenten con una estabilidad considerable, que utilice la menor cantidad de elementos posible y con piezas sencillas de ensamblar.

Una vez que se evalúan las alternativas de acuerdo a los criterios y su ponderación se obtiene que el más apropiado es el mecanismo cinco (5) según se aprecia en la figura 5.

De igual manera, se observa que el mecanismo 1 presenta una puntuación buena, pero al ser un dispositivo con dos articulaciones, eleva el presupuesto en comparación al mecanismo 1, motivo por el cual se descarta. Así mismo, el mecanismo 3 (resorte de torsión) tiene una excelente estabilidad y apertura para el movimiento flexo-extensión, pero tiene un nivel de complejidad de armado mayor que la propuesta seleccionada.

3.3. Selección de la forma exterior

Se presentaron tres propuestas (ver figura 6) en cuanto a la forma exterior, las cuales fueron proyectadas bajo la condición de acoplarse a los diferentes mecanismos para que se puedan armonizar y obtener la órtesis de rehabilitación deseada. Estas, se desarrollaron siguiendo el método de medición personalizado planteada por Mei [27], tomando en cuenta el cuadro de determinantes y requerimientos. Se involucró un proceso creativo apoyado del concepto de formas orgánicas y minimalistas para mejorar la estética del producto.

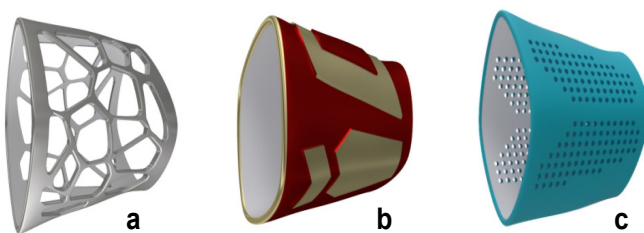


Figura 6 – Propuestas desarrolladas. a) Modelo 1 b) Modelo 2 c) Modelo 3

Los criterios considerados por orden de importancia son: estética del producto, la ligereza, la dificultad de fabricación, y la resistencia mecánica. Cabe destacar, que las variables “ligereza del producto” y “resistencia mecánica” fueron calculados en el software Autodesk Inventor®.

Después de desarrollar, ejecutar y sintetizar los datos en el programa se obtiene que el modelo “a” es la propuesta con mejores resultados, como lo muestra la figura 7.

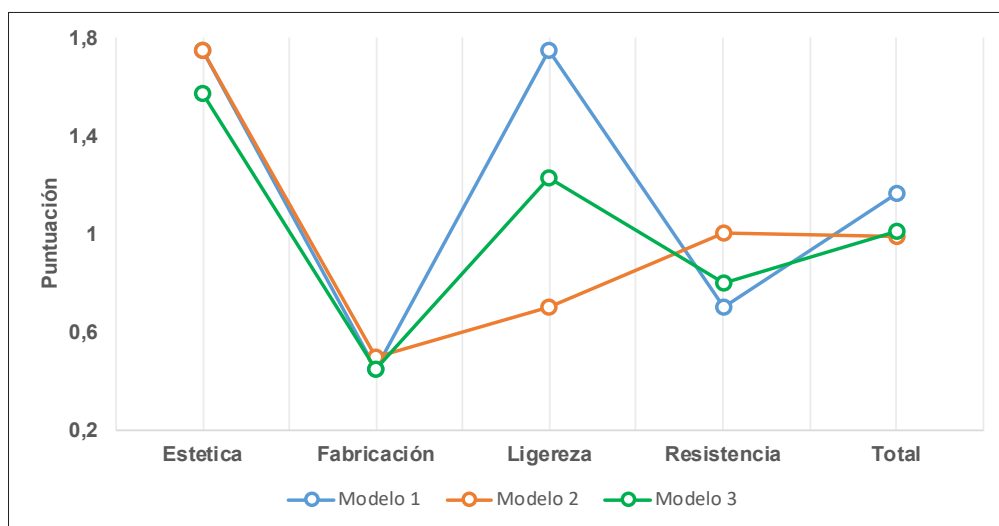


Figura 7 – Resultados para la síntesis de forma exterior.

Como se observa en la figura 7, los tres modelos tienen comportamientos estéticos similares al igual que en dificultad de fabricación, las diferencias más significativas se presentan en ligereza del producto, en donde el modelo 1 se destacó por encima de las demás propuestas. A pesar de presentar diferencias en la resistencia mecánica, todas las propuestas resisten las cargas de diseño.

3.4. Generación de la geometría. Propuesta con Autodesk Inventor®

Una vez seleccionado mediante el análisis jerárquico el mecanismo y la forma (ver figura 8), se fusionan en un solo producto.

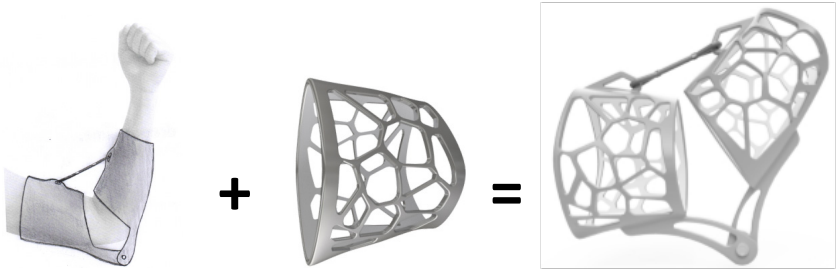


Figura 8 – Fusión del mecanismo y la forma seleccionada.

El Rehabilitador de codo presentado, tiene un grado de libertad. El rehabilitador, se compone de 6 elementos que corresponden: órtesis inferior (antebrazo), órtesis superior (brazo), brazo articular, articulación (tornillo regulador), elástica y oreja de sujeción, como se muestran en la figura 9.

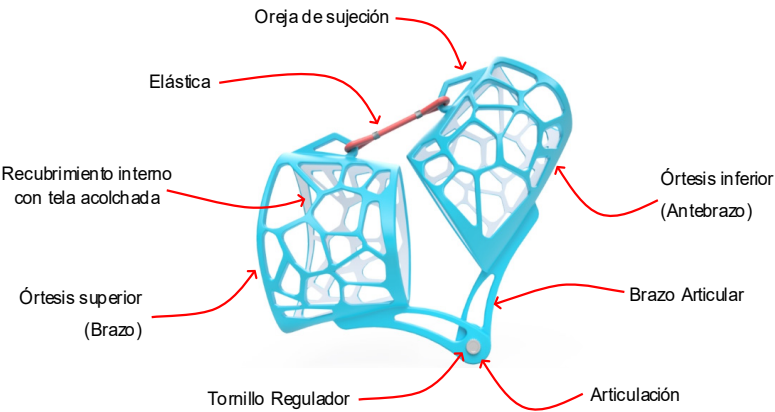


Figura 9 – Geometría propuesta para el rehabilitador de codo y sus partes.

El ensamble global permite que el mecanismo tenga una variación de ángulos entre el brazo y el antebrazo que van de 0° a 90°. Por lo tanto, el movimiento de flexión y extensión en el codo se desarrolla de manera natural.

3.5. Análisis estructural

El análisis de esfuerzos fue hecho utilizando el método de elementos finitos (MEF), a través del software ANSYS®. De acuerdo con el diseño mostrado en la figura 9, las

piezas involucradas en éstos, con sus respectivos materiales, son las siguientes: las órtesis superior e inferior en ABS y el tornillo regulador y componentes de acero, la elástica será el elemento productor de fuerza, dicha fuerza será de 50N (Elástica comercial de 5Kg). Las propiedades mecánicas de los materiales se muestran en la tabla 1.

Material	Módulo de Poisson	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	Esfuerzo último de Tensión (Mpa)	Módulo Young (Gpa)	Densidad (g/cm³)
ABS	0,38	20	29,6	2,240	1,060
Acero	0,29	350	420,0	200,000	7,850

Tabla 1 – Propiedades mecánicas del acero y ABS.
Nota: Tabla extraída de Autodesk Inventor®

El análisis de esfuerzo utilizado fue estático, debido a que la variación de carga con respecto al tiempo es poca. La fuerza ejercida (ver figura 10) será de 50N correspondiente al valor máximo de las elásticas utilizada (conocidas comercialmente como banda elástica de 5 Kg). En este tipo de análisis, los materiales se consideran lineales e isotrópicos.

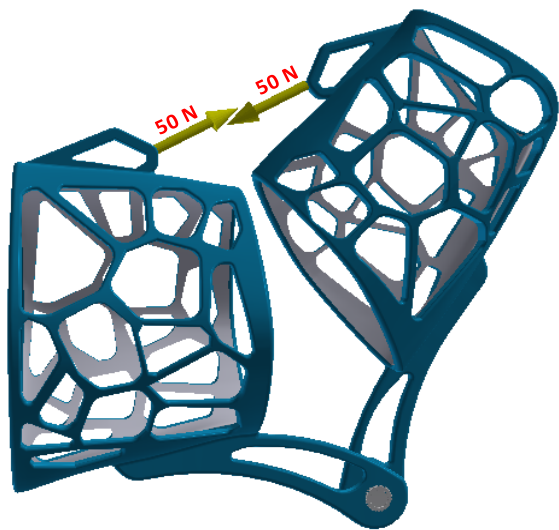


Figura 10 – Fuerza ejercida por la banda elástica.

Al igual que lo mostrado en [28], para la simulación de análisis estructural estático, se utiliza la plataforma de ANSYS® con mallas refinadas de topologías tetraédricas (ver figura 11) que convergen hacia la solución con relación de convergencia menor al 3%.

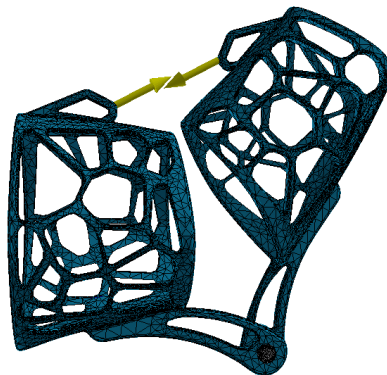


Figura 11 – Malla última en el refinamiento de las dos piezas críticas.

Al obtener resultados donde la geometría y material del sistema son capaces de soportar las cargas máximas sin deformarse permanentemente, se precisa la geometría final para pasar al diseño de detalle.

En la figura 12a y 12b se muestran el esfuerzo equivalente de Von Misses en el último refinamiento de malla y el factor de seguridad estático, respectivamente. En estas, puede observarse que el esfuerzo producido por la carga de impulso (50N) es menor que la resistencia del material, ya que, éste no sobrepasa los 10.1 MPa; mientras que la resistencia a la fluencia del ABS es de 20 MPa. Por lo anterior, se puede verificar que el factor de seguridad, es superior a la unidad y por lo tanto el rehabilitador no se deforma permanentemente y está lejos del límite de rotura del material.

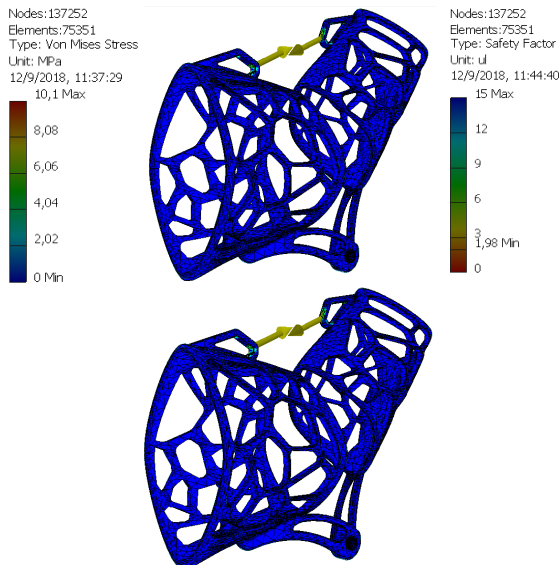


Figura 12 – a) Distribución de los esfuerzos de Von Misses en las dos piezas críticas del rehabilitador. b) Factor de seguridad en las dos piezas críticas.

Por lo anterior, es fácil visualizar que, con estas magnitudes de trabajo, el rehabilitador no fallará y tendrá deformaciones pequeñas (ver figura 13).

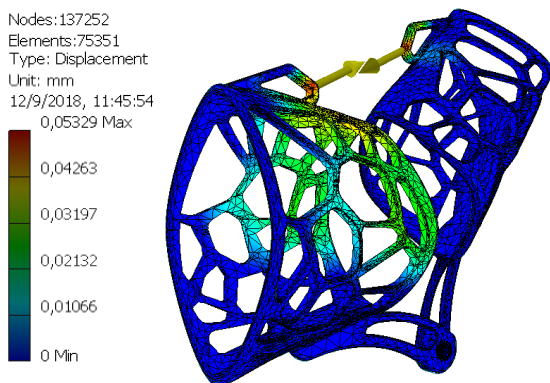


Figura 13 – Desplazamiento máximo del rehabilitador esforzado.

3.6. Verificación numérica del dispositivo. Convergencia

Para la verificación de la simulación realizada se analiza la curva de convergencia de esfuerzos de Von-Mises hacia la solución.

En la figura 14, se muestra que se realizaron 9 refinamientos, de los cuales, a partir del cuarto paso, converge hacia el esfuerzo máximo de 10.10 MPa, lo que define que este es el valor esperado según las cargas introducidas para la rehabilitación del usuario, con una tasa de convergencia inferior al 0,003%.

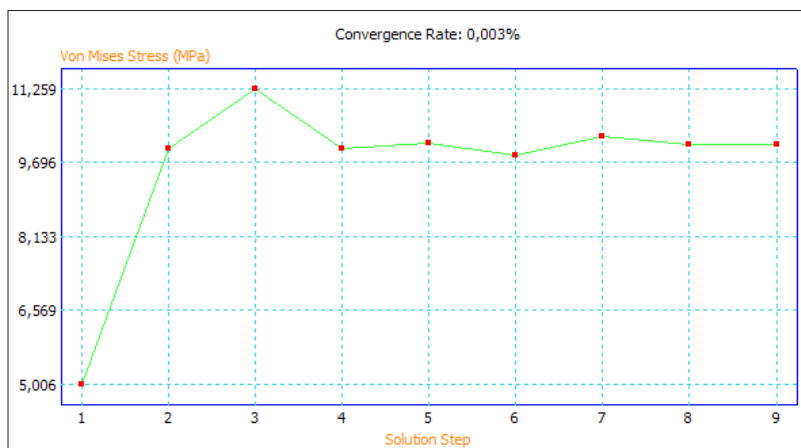


Figura 14 – Convergencia de los esfuerzos máximos del rehabilitador.

4. Discusión

Los resultados demuestran que es posible desarrollar un dispositivo de rehabilitación dinámica de codo que sea liviano, funcional, visualmente estético y de fácil ensamblaje, que además sea fabricado con materiales disponibles en Ecuador. Capaz de soportar aproximadamente el doble de las cargas a las cuales serán sometidas sin deformarse permanentemente.

Por otro lado, el diseño propuesto pretende cubrir una necesidad: dar más autonomía a personas en proceso de rehabilitación a un coste relativamente bajo. No obstante, es cierto que todavía existe un cierto margen de mejora en el producto, pues sería necesario ensayarlo para comprobar su correcto funcionamiento y realizar las mejoras pertinentes.

5. Conclusiones

Se ha desarrollado una propuesta de diseño que corresponde a un dispositivo de rehabilitación dinámico de codo, que cumple con movimientos de flexión y extensión del brazo, basado en un mecanismo sencillo con un grado de libertad y con materiales disponibles en el mercado nacional.

Los resultados de análisis estructural obtenidos para la distribución del esfuerzo y el factor de seguridad muestran que la geometría planteada, cumplen con los requisitos preestablecidos donde el rehabilitador no se deformara permanentemente y los desplazamientos son menores a 0.1 mm. Por lo tanto, el dispositivo de rehabilitación de codo no fallará desde el punto de vista de resistencia y deflexión del material.

Se realizó un estudio de convergencia y error, encontrándose que los valores convergen y representan un porcentaje de error menor al 1%, lo cual refleja la precisión del estudio realizado y a la vez hace válida la simulación para el análisis con carga estática.

Se ha introducido dentro del proceso de diseño el uso de CAD, CAE y CAM proponiendo una metodología de diseño combinada que considerando factores estéticos y funcionales pueden llevar a corto plazo a la innovación de productos en el mercado nacional, ya que antes de construir el prototipo puede realizarse simulaciones que sirvan para visualizar el comportamiento en servicio en el menor tiempo posible.

Reconocimientos

La presente investigación agradece al Grupo de Investigación en Diseño Sustentable (GIDISUS) de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra por su aporte al desarrollo de la misma.

Referencias

Ayala-Lozano, J., Urriolagoitia-Sosa, G., Romero-Angeles, B., Miguel, C. T.-S., Aguilar-Pérez, L., & Urriolagoitia-Calderón, G. (2015). Diseño mecánico de un exoesqueleto para rehabilitación de miembro superior. *Revista Colombiana de Biotecnología*, XVII(1), 79-90.

- Barrios, L., Minguillón, J., Perales, F., Ron-Angevin, R., Solé-Casals, J., & Mañanas, M. (2017). Arte en Neurotecnologías para la Asistencia y la Rehabilitación en España: Tecnologías Auxiliares, Trasferencia Tecnológica y Aplicación Clínica. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 14(4), 355-361.
- Beny, L., & Oster, L. (1999). *EEUU Patente US6676612B1*. USA.
- Brown, C. (1987). *Dynamic elbow and knee extension brace*. USA: EEUU Patente US4665905.
- Cardozo, D. (2013). *La importancia del codo*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/DaNiElHeRrAn/la-importancia-del-codo>.
- Chagna, A. (2017). *Diseño conceptual de un dispositivo para rehabilitación de rodilla*. Ibarra: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Clemens, M., Rembold, W., & Ashford, D. (1999). *EEUU Patente US006001075A*. USA.
- Escuder, E. (2017). *Diseño de órtesis de miembro superior aplicable a rehabilitaciones y como exoesqueletos*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (UPM).
- Gallucci, G., Boretto, J., Alfie, V., A.G. Donndorff, M. D., & Carli, P. D. (2008). Ortesis dinámicas para el tratamiento de la rigidez del codo. *Revista de la Asociación Argentina de Ortopedia y Traumatología*(73), 171-176.
- Hensley, D., & Kielman, B. (1989). *EEUU Patente US4865024*. USA.
- Hepburn, G. (1987). *Adjustable splint and securing means therefor*. USA: EEUU Patente US4657000.
- Instituto Nacional de Tecnología Industrial [INTI]. (2009). *Proceso de diseño: fases para el desarrollo de productos*. Obtenido de https://www.inti.gob.ar/prodiseno/pdf/n141_proceso.pdf
- Jianbin, Z., Xiaofeng, L., Zhong, L., Zhongyi, L., & C. Weihai. (2017). *Anthropomorphic arm skeleton for wearable rope-driven upper limb exoskeleton rehabilitation robot*. USA: China Patente CN107260488A.
- Kipnis, A., & Belman, Y. (1995). *EEUU Patente US005399154A*. USA.
- Lima, H. D. (2016). *Análisis cinemático de un exoesqueleto para rehabilitación del miembro superior*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Macao, C., & Nacipucha, J. (2006). *Diseño e implementación de un prototipo de exoesqueleto destinado a la rehabilitación de codo*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Martínez, M. (2011). *Diseño de un banco de pruebas para un exoesqueleto de miembro superior*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
- Mauldin, D., & Jones, R. (1984). *Knee and elbow brace*. USA: EEUU Patente US4433679.
- Mavroidis, C., Nikitzuk, J., Weinberg, B., Danaher, G., Jensen, K., Pelletier, P., ... Yasevac, D. (2005). Smart portable rehabilitation devices. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2-18.

- Mei, Z. (2015). *An Approach For The Development of Low Cost Prosthetic Limbs With 3D Printing Technology*. Alabama: Auburn University.
- Mio, R. (2014). *Diseño de un exoesqueleto para rehabilitación de miembro superior accionado por una interfaz cerebro-máquina*. Lima: Pontificia Universidad Católica de Perú.
- Mitchell, A., Muir, W. L., & DeLorenzo, R. (1991). *EEUU Patente US5036837*. USA.
- Moya, P., & Vásquez, S. (2014). *iseño y construcción de un prototipo funcional controlado por computadora para la rehabilitación de codo y muñeca*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Ospina, P. (2017). *Diseño e implementación de un prototipo funcional a escala de exoesqueleto, para rehabilitación de miembro superior, con dos grados de libertad en el plano sagital*. Bogotá: Universidad Santo Tomás.
- Pérez, N. (2012). *Diseño de órtesis activa de codo para rehabilitación de pacientes espásticos*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma De México.
- Segnini, J., Chagna, A., & Vergara, M. (2018). Diseño de un dispositivo para autorehabilitación pasiva de rodilla. *Axioma*, XIV(18), 76-92.
- Simmons, R. (2008). *Upper extremity muscle therapy system*. USA: EEUU Patente US20100160986A1.
- Wang, X., Song, Q., Wang, X., & Liu, P. (2008). Kinematics and Dynamics Analysis of a 3-DOF Upper-Limb Exoskeleton with an Internally Rotated Elbow Joint. *Applied Sciences*, 8(3), 464-483.

Análisis de consumo energético en laboratorios por economía circular utilizando baterías NiHm

Efrén Fernández¹

efernandez@uazuay.edu.ec

¹ Universidad del Azuay, 010107, Cuenca, Ecuador

Pages: 329–338

Resumen: Este artículo presenta un análisis de consumo de energía para laboratorios de electrónica mediante el uso de economía circular. La economía circular es una estrategia que tiene como objetivo reducir el uso de materiales nuevos y en donde se aprovecha la mayor cantidad de materiales ya sean reciclados o no, para generar factores económicos a favor. En este caso el recurso a utilizar son las baterías de níquel-hidruro-metal (NiHm) presentes en vehículos híbridos y que muchas veces no son reutilizadas. Estas baterías mediante un proceso de carga sencillo se pueden ajustar nuevamente para ser utilizadas como generadores estáticos y suministrar energía necesaria para el consumo dentro de un laboratorio de electrónica. Esto permitirá reducir el consumo y gastos eléctricos.

Palabras-clave: Baterías NiHm; convertidor DC-AC; economía circular; eficiencia energética.

Analysis of Energy Consumption in Laboratories by Circular Economy Using NiHm Batteries

Abstract: This paper presents an analysis of the consumption for electronics laboratories through the use of circular economy. The circular economy is a strategy that aims to reduce the use of new materials and where the most materials are used, whether recycled or not, to generate economic factors in favor. In this case, the resource to be used is the nickel-hydride-metal batteries (NiHm) present in hybrid vehicles and which are often not reused. These batteries by means of a simple charging process can be adjusted again to be used as external generators and supply energy necessary for consumption within a technological laboratory. This will allow to improve the energy efficiency in consumption and reduce the expenses of electrical consumption.

Keywords: NiHm batteries; DC-AC converter; circular economy; energy efficiency.

1. Introducción

Los vehículos híbridos son considerados como una tecnología que ayuda a mitigar los niveles de contaminación en el aire. En nuestro país este tipo de vehículos

fueron introducidos a partir del año 2009 (Diario El Universo, 2019), de momento se mantiene como una alternativa a la movilidad en diferentes ciudades. Según las estadísticas mostradas en la figura 1, se observa que las ventas han sido mayores en el 2010 y 2017.

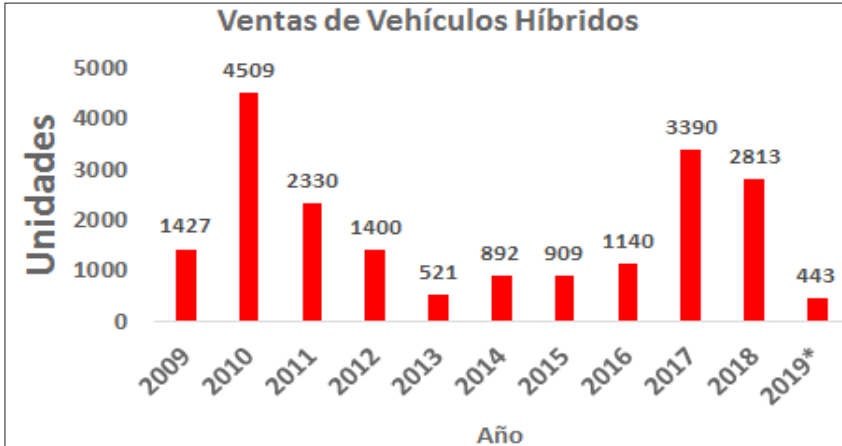


Figura 1 – Ventas de vehículos híbridos en el Ecuador [1]

Estos vehículos incorporan un tipo de baterías de hidruro níquel metal que cumplen con un papel importante para su funcionamiento (Renken & Wolf, 2007); (S. Aso, 2007); (Mesbahi, Rizoug, Bartholomeüs, & Moigne, 2014); (Sánchez & Nazari, 2016). Estas baterías al estar continuamente en operación sufren cargas y descargas constantes, como consecuencia generan ciertos problemas que muchas veces el fabricante procede al cambio de todo el conjunto de la batería. Pero la mayor parte de ocasiones las fallas las presentan una o dos celdas, las restantes se pueden volver a reutilizarlas, mediante un proceso de carga sencillo se puede establecer las características y funcionalidad de las celdas (Wu & Chen, 2014).

La economía circular en la actualidad ha generado gran interés en empresas de tecnología. El hecho de poder generar soluciones y mejoras en la eficiencia energética mediante el uso de estas baterías como suministro de carga para laboratorios de electrónica en ámbitos privados o universitarios genera mucho interés en nuestro medio. Además, el uso de estas propuestas generaría una reducción de gastos en pagos de servicios de electricidad.

El uso de baterías de vehículos eléctricos en edificios de departamentos es una realidad (Laurent, 2019). Muchas marcas automotrices apuestan por este tipo de proyectos en función de que con sus propios productos que son reciclados nuevamente son utilizados para generar ingresos adicionales (Figura.2).



Figura 2 – Baterías de Renault Zoe eléctrico en carga para edificio.

Otros autores, adscritos a la European Commission (2019) presentan un estudio sobre la sostenibilidad de una economía circular y el impacto de administrar la gran cantidad de baterías de iones de litio para vehículos eléctricos que ingresan al mercado y llegarán al final de su vida útil en los próximos años. Los resultados son prometedores y positivos, pero se centran en un estudio a nivel macro y no detallan el área en donde se puede implementar este tipo de negocio.

En Hoppmann, Volland, Schmidt y Hoffmann (2014), se presenta un estudio de economía circular sobre la reutilización y el reciclaje de baterías de iones de litio. El estudio analiza características técnicas, químicas, económicas y condiciona a aplicaciones en edificios.

En el Ecuador los desarrollos y estudios de energía circular con este tipo de baterías son nulos. El presente artículo contribuye con el estudio y análisis para la implementación de un sistema estacionario de suministro de energía para laboratorios de electrónica basado en el uso de baterías de NiHm de vehículos híbridos generando una economía circular mediante el reciclaje de este tipo de celdas y con ello lograr una mejora en la eficiencia y reducción de consumo eléctrico.

2. Materiales y métodos

Las baterías de NiHm (Figura.3), son dispositivos que permiten acumular energía y son recargables. En un vehículo híbrido se colocan en serie para llegar a obtener altos voltajes que oscilan entre 170 a 330 voltios. Generalmente se conoce como módulo NP2.5, tiene una capacidad nominal de 9.5V y con una capacidad nominal de 6.5 Ah.

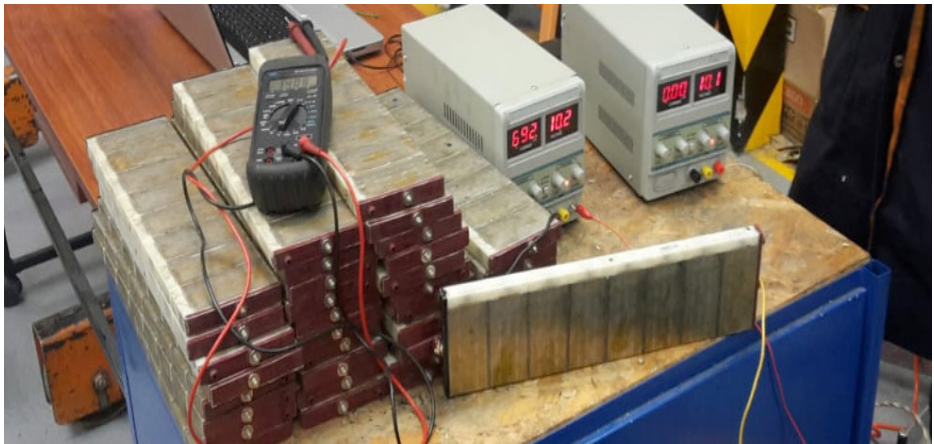


Figura 3 – Baterías de NiHm utilizadas en vehículos eléctricos.

Las etapas para la propuesta de implementación son presentadas en el Figura. 4. La primera parte está compuesta por un panel solar de 60V y un cargador solar que servirá para recargar las baterías durante el día. La segunda parte esta compuestas por un conjunto de convertidores un DC-DC para elevar el voltaje que proviene de las baterías y finalmente un convertidor DC-AC para realizar la conversión a 110 Vac para suministrar al sistema de distribución de carga del laboratorio.

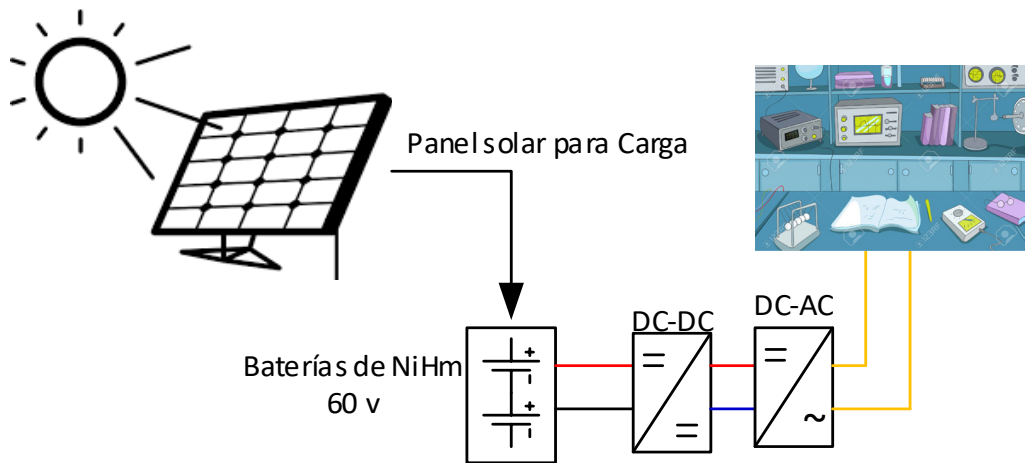


Figura 4 – Etapas para la implementación.

3. Análisis de costos

Esta sección presenta un análisis de costos de la implementación del sistema. Se analizan diferentes aspectos como el transporte de las baterías el valor del panel solar y la implementación de los convertidores. En función de estos elementos se estima un valor aproximado que tendría la implementación del sistema propuesto. Para ello se especifica los valores en la Tabla 1.

Especificación	Valor
<i>Panel Solar</i>	\$200
<i>Modulo de Control carga solar</i>	\$25
<i>Transporte de Baterías</i>	\$5
<i>Diseño de Convertidores</i>	\$60
<i>Implementación de Convertidores</i>	\$120
<i>Tarjeta de Control</i>	\$20
<i>Total</i>	\$430

Tabla 1 – Valores en dólares

Se evalúa las alternativas jerárquicamente, donde se consideran los factores asociados a: mecanismos y formas. Se han utilizado programas CAD y CAE para desarrollar el rehabilitador de codo. Así mismo, el paquete computacional Expert Choice Comparion™ es la herramienta encargada de realizar la selección de alternativa.

Adicionalmente, se presenta el análisis estructural que establece las condiciones de fuerza para la posición crítica del modelo, y una vez obtenida son simuladas para conseguir la geometría adecuada para finalmente validar numéricamente con la convergencia hacia la solución y disponer de los datos necesarios para la fabricación del dispositivo rehabilitador.

4. Resultados y discusión

Se realizan algunas simulaciones en PSIM del sistema propuesto (Figura.5) y se puede analizar el comportamiento en cada una de las etapas. La primera etapa incluye la representación del panel solar de 60 voltios y la conexión a las baterías entre estos existe un controlador de carga. La segunda etapa está constituida por un convertidor DC-DC que toma el voltaje de la batería y lo eleva a 120 voltios aproximadamente. La tercera etapa es un convertidor DC-AC que se encarga de convertir el bus de datos DC a un voltaje alterno de 120 voltios el cual se conecta a la red de alimentación del laboratorio. Para efectos de simulación se coloca una carga RL para analizar el comportamiento en simulación del sistema de potencia propuesto

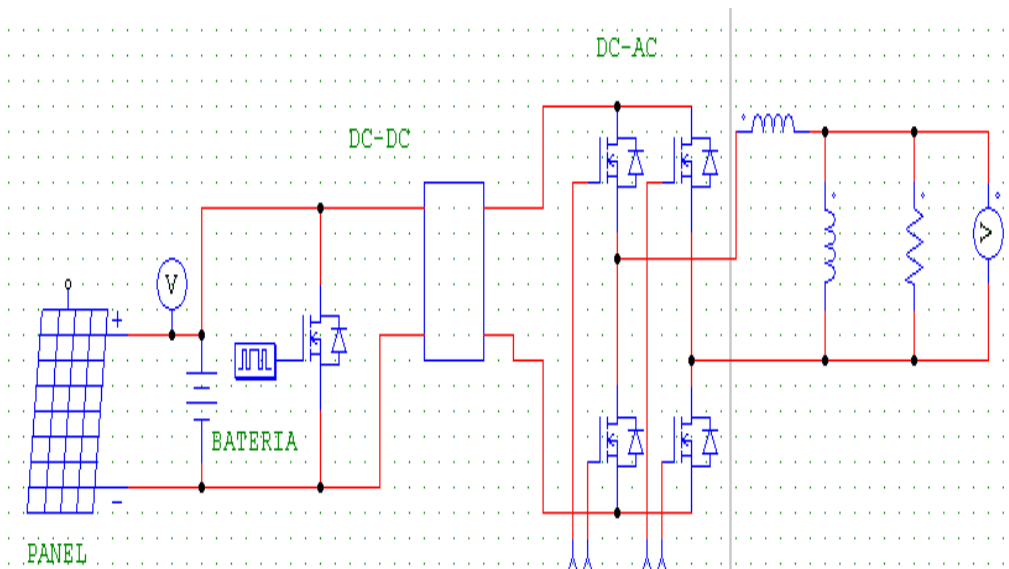
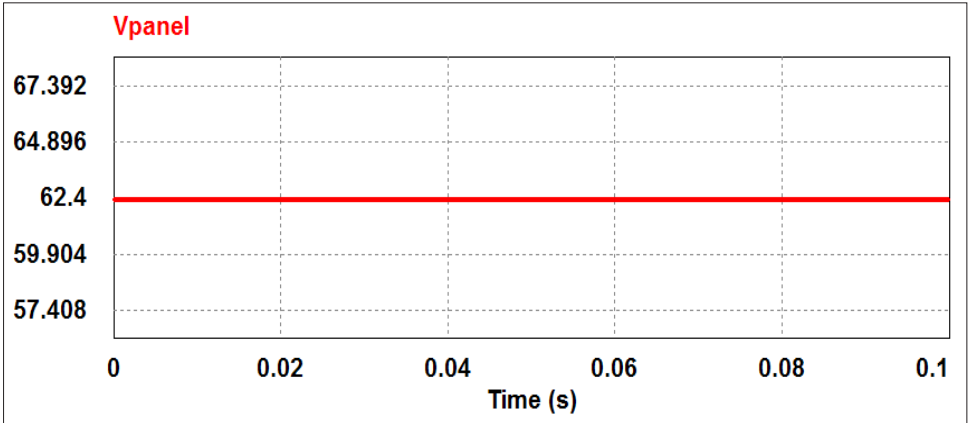
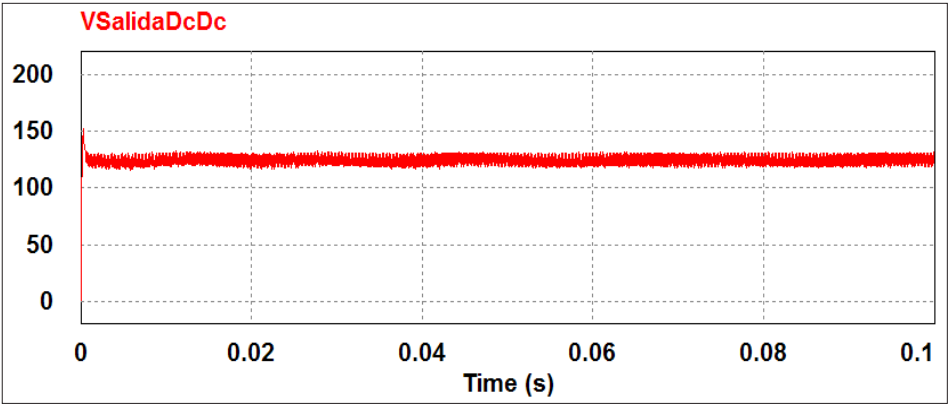


Figura 5 – Modelo de sistema propuesto en PSIM.

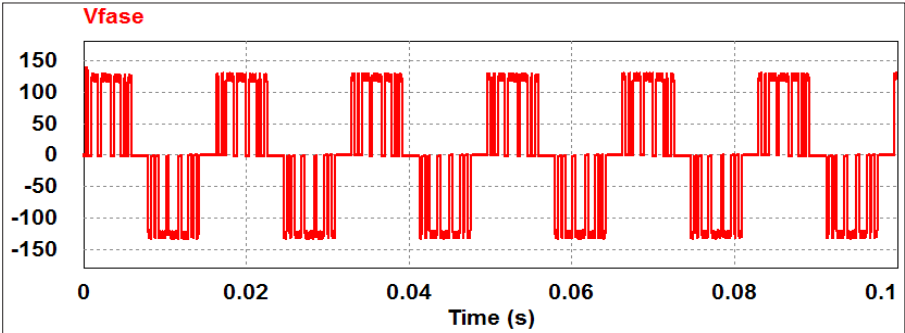
Los resultados obtenidos en las simulaciones se muestran en la Figura.6. Donde se observa en la Fig.6a la salida de voltaje del panel solar. La Fig.6b muestra la salida de voltaje del convertidor DC-DC en donde se eleva el voltaje que ingresa al convertidor DC-AC monofásico. La Fig. 6c y 6d representa el voltaje y corriente a la salida del convertidor DC-AC.



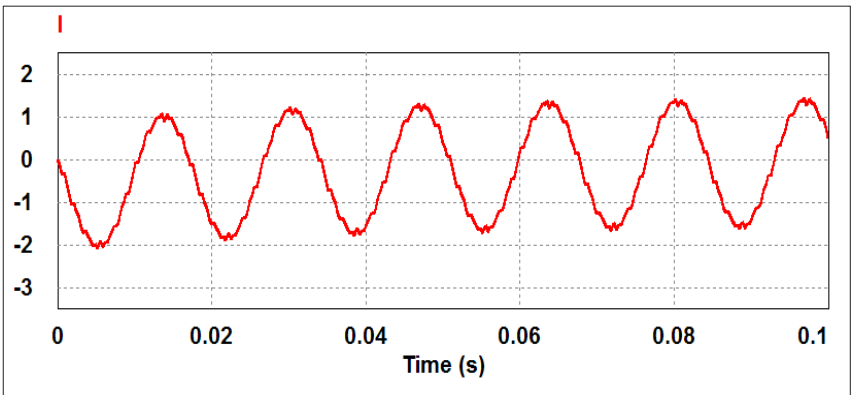
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 6 – Resultados de simulación.

El segundo análisis consiste en un estudio de costos, en donde se consideran dos situaciones. La primera presenta los resultados para un laboratorio de electrónica utilizado para la Remanufacturación de partes electrónicas y la segunda situación se analiza para un laboratorio de electrónica universitario con 15 puestos de trabajo.

Para la primera situación en el laboratorio de partes electrónicas se utiliza una batería de NiHm de 63 voltios compuesta por 7 celdas de 9 voltios cada una. Esto suministra una potencia de salida de aproximadamente 240 W. Para este estudio consideramos los equipos de trabajo presentados en la tabla 2 con sus respectivos datos de operación.

Equipos	Potencia
2 fuentes de alimentación	120 W
1 Trasdata equipo de lectura de memorias	48 W
2 Estaciones de Soldadura de estaño	36W
Lampara ahorradora	20W
Computador Portatil	40 W
Total	264W

Tabla 2 – Equipos presentes en laboratorio caso I

Para realizar el cálculo de consumo de energía en kilo watts hora (KWH) se utiliza la expresión (1).

$$Consumo = \frac{potencia \times horas\ diarias \times dias\ de\ uso}{1000} \tag{1}$$

Según la expresión (1) y considerando que se trabaja 8 horas diarias y 24 días del mes se tiene una estimación de 50KWH de consumo en estos dispositivos. De acuerdo al valor del costo del KWH de 0,10 centavos de dólar se tiene un ahorro de \$5.30 dólares mensuales que al año representan unos 60 dólares de ahorros.

Si aplicamos el mismo criterio para ahora un laboratorio de electrónica con 15 puestos de trabajo en cada puesto están los equipos que se describen en la tabla 3, pero ahora se utiliza una batería de NiHm de 125 Voltios compuesta por 14 celdas se obtiene una potencia de salida aproximada de 950 W.

Equipos	Potencia
15 fuentes de alimentación	450 W
15 Generadores de funciones	162W
15 Osciloscopios	180W
Total	792W

Tabla 3 – Equipos presentes en Laboratorio caso II

Se tiene como resultado considerando el análisis anterior y con los mismos datos de trabajo que se llega a obtener un consumo de 152 KWH de consumo lo que resulta un valor de consumo por \$15,20 que al año representan un ahorro de 182, 50 dólares. Esto implica por ejemplo si se tienen más laboratorios y con la implementación de esta propuesto el ahorro se puede incrementar. En la Figura. 7 se presentan los resultados de este análisis.

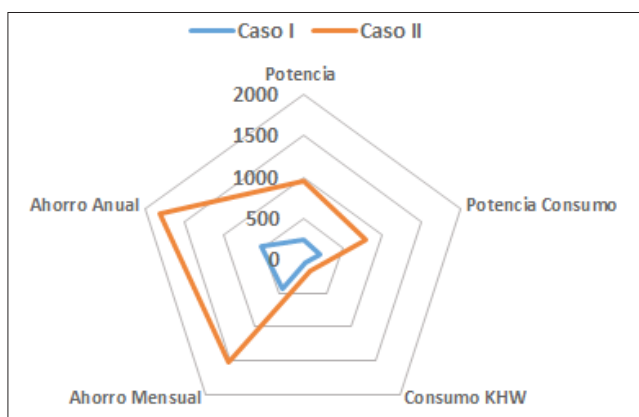


Figura. 7 – Análisis de resultados para los dos casos de estudio.

El uso de este tipo de baterías que muchas de las veces son desechadas por los fabricantes a sus procesos de reciclaje, podría generar una alta expectativa para su uso como acumuladores estáticos, mediante un esquema de reciclaje se puede generar un modelo de economía circular en donde el uso de materiales reciclados puede contribuir a reducir costos y por otro lado también generar ganancias como es el tema de los laboratorios privados.

5. Conclusiones

En el artículo presenta la reducción de consumo energético en laboratorios de electrónica. Para efectuarlo se presenta una propuesta en base a la implementación de paquetes de batería de NiHm que sirven como acumuladores estáticos. Mediante el uso de convertidores llegar a establecer el voltaje y la corriente requerido para suministrar a un laboratorio de electrónica.

Se efectúan dos análisis considerando dos escenarios un laboratorio con una necesidad de baja potencia y otro con una necesidad de alta potencia. En el análisis desarrollado se puede observar claramente que en las dos situaciones se puede llegar a economizar y reducir el consumo. Los KWH horas calculados para los dos casos se deben restar del consumo total y en el momento de la facturación no se consideran. Esto genera una reducción en el consumo, si se analiza para mayores potencias esto podría generar una expectativa en función de la relación consumo/ahorro.

El presente proyecto constituye una propuesta que a futuro puede ser implementada y se pueden obtener datos reales que servirán para garantizar el efecto de una economía circular y que beneficiará a instituciones públicas y privadas.

Reconocimientos

Este proyecto es financiado y auspiciado por el Decanato de Investigación de la Universidad el Azuay en el proyecto 2018-0187.

Referencias

- Diario El Universo. (Mayo de 2019). Vehículos híbridos. *El Universo*, págs. 1-.
- European Commission. (2019). *European Commission Implementation of the Strategic Action Plan on Batteries: Building a Strategic Battery Value Chain in Europe 2019*. Bruselas: European Commission.
- Hoppmann, J., Volland, J., Schmidt, T., & Hoffmann, V. (2014). The economic viability of battery storage for residential solar photovoltaic systems – A review and a simulation model. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 1101-1118.
- Laurent, A. (30 de Agosto de 2019). *The circular economy of the electric vehicle battery*. Obtenido de Groupe Renault: <https://easyelectriclife.groupe.renault.com/en/outlook/technology/the-circular-economy-of-the-electric-vehicle-battery/>
- Mesbahi, T., Rizoug, N., Bartholomeüs, P., & Moigne, P. L. (2014). Improved model of Battery/Supercapacitor hybrid energy storage system based on thermo-electrical and aging behaviors. *7th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives* (págs. 1-8). Manchester: (PEMD 2014).
- Renken, F., & Wolf, J. (2007). Power electronics for hybrid-drive systems. *2007 European Conference on Power Electronics and Applications*, (págs. 1-10). Aalborg.
- S. Aso, M. K. (2007). Development of Fuel Cell Hybrid Vehicles in TOYOTA. *2007 Power Conversion Conference*, (págs. 1606-1611). Nagoya.
- Sánchez, E., & Nazari, M. (2016). Component validation process for high performance hybrid electric race vehicle. *2016 IEEE Green Energy and Systems Conference* (págs. 1-8). Long Beach, CA: (IGSEC).
- Wu, B., & Chen, B. (2014). Study the performance of battery models for hybrid electric vehicles. *2014 IEEE/ASME 10th International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications* (págs. 1-6). Senigallia: (MESA).

Predicción de gases de escape en motores Otto mediante la PME empleando RNA

Wilmer Contreras¹, Yasmany Aguilar¹, Pablo Le n¹, Daniel Pi a¹

rcontreras@ups.edu.ec, aaguilar@ups.edu.ec, pleon@ups.edu.ec, dpina@ups.edu.ec

¹ Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

Pages: 339–353

Resumen: El presente documento trata sobre la predicción de gases de escape de un motor de encendido provocado (MEP), a través de su presión media efectiva (PME), mediante el uso de redes neuronales artificiales (RNA). La metodología aplicada consiste en adquirir señales de la PME, carga, revoluciones por minuto (RPM) y el sensor de presión absoluta del múltiple (MAP por su nombre en inglés Manifold Absolute Pressure) del motor del banco dinamométrico Armfield CM11, de la cual se obtiene una base de datos y que a través del análisis estadístico se determina que para predecir emisiones contaminantes es necesario aplicar RNA en cascada, es decir, primero se predice la carga del motor y por consiguiente los gases de escape, con lo cual se obtiene un error de calificación inferior a $10e-4$. Para la validación de este proyecto se realiza un análisis experimental, que consiste en adquirir nuevos datos del motor para comprobar el porcentaje de error entre los valores simulados por las RNA y los valores reales, donde se tiene un error inferior al 2% y 3% para la predicción de la carga y los gases de escape respectivamente.

Palabras-clave: Banco dinamométrico; gases de escape; PME; porcentaje de carga; predicción.

Exhaust gas prediction in Otto engines using PME and RNA

Abstract: This document deals with the prediction of exhaust gases from a provoked ignition engine (MEP), through its mean effective pressure (PME), through the use of artificial neural networks (ANN). The methodology applied consists of acquiring signals from the PME, load, revolutions per minute (rpm) and the manifold absolute pressure sensor (MAP) of the engine of the armfield dynamometric bench cm11, of which it obtains a database and that through statistical analysis it is determined that to predict polluting emissions it is necessary to apply cascade RNA, that is, first the engine load is predicted and therefore the exhaust gases, with which a rating error less than $10e-4$. For the validation of this project an experimental analysis is carried out, which consists in acquiring new engine data to check the percentage of error between the values simulated by the RNAs and the actual values, where there is an error of less than 2% and 3% for the prediction of the load and the exhaust gases respectively.

Keywords: Dynamometer bench; exhaust gases; PME; load percentage; prediction.

1. Introducción

La contaminación ambiental es uno de los problemas más grandes que enfrenta actualmente el planeta y una de las causas de mayor impacto es la contaminación por fuentes móviles, ya que genera más del 60 % de la contaminación a nivel mundial por la cantidad de gases que emanan (Gaona & Garzon, 2011), conscientes de esta problemática, las Naciones Unidas desarrollaron en París en el año 2016 un convenio sobre el cambio climático, donde se exige la cooperación y participación lo más amplia posible de todos los países con miras a reducir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (Naciones Unidas, 2015).

El Ecuador al formar parte de este convenio y ser un país en vías de desarrollo se ve fuertemente comprometido a implementar nuevas estrategias y tecnologías con la finalidad de reducir las emisiones contaminantes, debido a esto el Ecuador dispone las normativas NTE INEN 2003 y 2004 que establecen parámetros de control y procesos de medición de emisiones contaminantes de fuentes móviles a gasolina (NTE INEN 2203, 2000); [(NTE INEN 2204, 2016). De acuerdo con estudios realizados en (F. Narváez & Montenegro, 2012); (López, 2006); (Kiani, Ghobadian, Tavakoli, Nikbakht, & Najafi, 2010); (Balki, 2018)], se verifica que existen nuevos métodos para la medición y control de emisiones contaminantes producidas por fuentes móviles a nivel mundial, que todavía no se han aplicado en el país, entre ellos están, las redes neuronales artificiales (RNA) usadas para predecir gases de escape.

1.1. Redes Neuronales Artificiales y predicción de gases de escape

Las redes neuronales artificiales es un método que se utiliza como un clasificador de datos para la predicción de eventos que puede suscitarse bajo ciertas circunstancias, en el campo automotriz es usado para la predicción de posibles fallas en el motor, al tener en cuenta ciertos parámetros que se obtienen de forma experimental, en base a datos reales de entrada y salida de los sistemas (F. Narváez & Montenegro, 2012).

Las redes neuronales artificiales se han constituido en una de las áreas de la inteligencia artificial que ha despertado mayor interés en los últimos años y en una herramienta general para abordar una amplia clase de problemas de identificación de sistemas dinámicos, sobre todo cuando se trata de identificar sistemas no lineales (F. Narváez & Montenegro, 2012).

1.2. Modelos de RNA para la predicción de emisiones contaminantes

En el año 2006 se desarrolla un modelo de RNA para determinar el rendimiento y las emisiones en un motor a gasolina, donde emplean los datos recopilados en pruebas de estado estacionario. En el modelo, el 70% del conjunto de datos se asigna aleatoriamente como el conjunto de entrenamiento, mientras que el 30% restante se emplea para probar el rendimiento de las predicciones de la RNA (F. Narváez & Montenegro, 2012)], mientras que una actualización del método en el 2018 aplica un 15% del conjunto de datos para probar el rendimiento y la validación de los resultados (Thakur, Mer, & Kaviti, 2018).

La RNA que se muestra en la Figura 1, está conformada por 3 capas, una capa de entrada, una capa oculta y una capa de salida, donde las entradas son el valor de calentamiento más bajo (LHV por su nombre en inglés lower heating value) de la gasolina probada, el par del motor (T), la velocidad del motor (n) y temperatura de entrada del aire (T_{in}). Las salidas de la RNA son el consumo de combustible específico del freno (BSFC por su nombre en inglés Brake-specific fuel consumption), rendimiento térmico de freno (BTE por su nombre en inglés brake thermal efficiency), las emisiones de monóxido de carbono CO e hidrocarburos no combustionados HC, y la temperatura del gas de escape (T_{exh}). Las predicciones de la RNA para el rendimiento y las emisiones de escape del motor de gasolina probado, arrojaran un buen rendimiento estadístico con coeficientes de correlación en el rango de 0.983-0.996, error medio relativo (MRE por su nombre en inglés Mean Relative Error) en el rango de 1.41-6.66% y valores del error cuadrático medio (RMSE por su nombre en inglés Root Mean Squared Error) bastante bajos (Sayin, Ertunc, Hosoz, Kilicaslan, & Canakci, 2007).

De igual forma en el año 2012 se realiza un estudio en el que se utiliza un modelo basado en redes neuronales para predecir emisiones en un motor diésel que opera con biodiesel de higuera, donde emplean una matriz de datos de entrada y salida que se obtiene de forma experimental (F. Narváez & Montenegro, 2012).

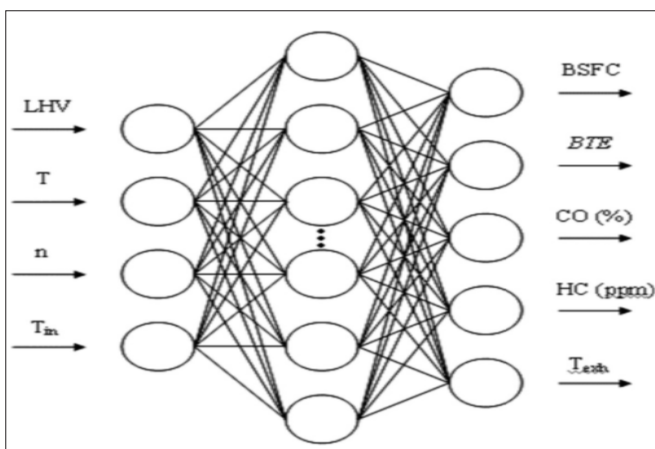


Figura 1 – Estructura de la RNA (Sayin, Ertunc, Hosoz, Kilicaslan, & Canakci, 2007)

En la Figura 2, se muestra una RNA que está conformada por 3 capas: una capa de entrada, una capa oculta y una capa de salida, donde las entradas son la mezcla de biodiesel y la carga del motor, las salidas de la RNA son el oxígeno (O_2), dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no combustionados (HC), óxido de nitrógeno (NO), Opacidad, dióxido de nitrógeno (NO_2).; los resultados de la red neuronal demuestran que este modelo, es el más adecuado para determinar los valores de emisiones de gases en el motor de combustión para mezclas no medidas experimentalmente con un error mínimo de correlación (F. Narváez & Montenegro, 2012).

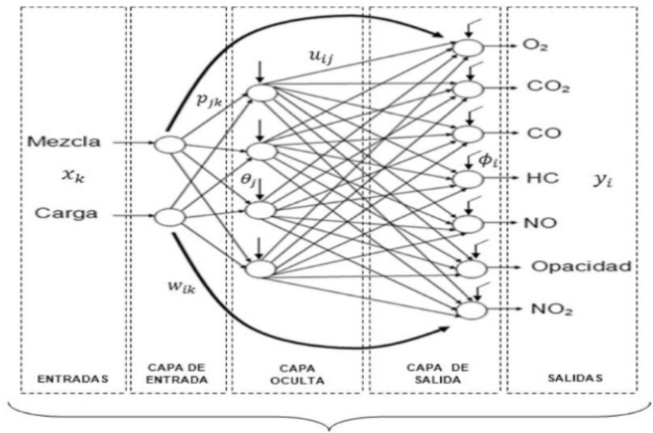


Figura 2 – Arquitectura de la RNA (F. Narváez & Montenegro, 2012)

2. Métodos

En esta sección se presenta un diagrama de flujo que se observa en la Figura 3, la cual contiene el proceso a seguir para el desarrollo del proyecto.

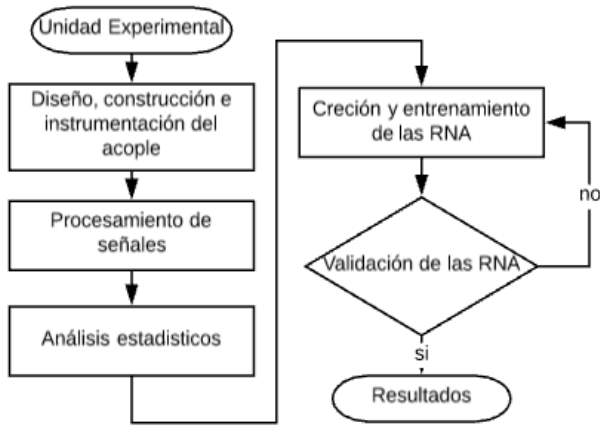


Figura 3 – Diagrama de flujo para el desarrollo del proyecto.

2.1. Equipos y materiales

En la tabla 1 se presentan las características de los equipos y materiales que se emplean para el proyecto como son: la unidad experimental, sensores y analizador de gases.

Gráfica	Características																		
	Hyundai Accent 4 cilindros DOCH Inyección electrónica Cilindrada 1599 cc Encendido por chispa																		
	Sensor de presión BOSCH 0261545000 Rango de presión = 250 Bar Vol. Funcionamiento = 5 V Dimensiones = 0.7x0.8x1 pulg.																		
	<table><tr><th>Símbolo</th><th>Rango</th><th>Unidad</th></tr><tr><td>CO</td><td>0-0.99</td><td>%</td></tr><tr><td>CO2</td><td>0-9999</td><td>%</td></tr><tr><td>HC</td><td>0.0-20</td><td>ppm</td></tr><tr><td>O2</td><td>0.0-25</td><td>%</td></tr><tr><td>NOx</td><td>0-5000</td><td>ppm</td></tr></table>	Símbolo	Rango	Unidad	CO	0-0.99	%	CO2	0-9999	%	HC	0.0-20	ppm	O2	0.0-25	%	NOx	0-5000	ppm
Símbolo	Rango	Unidad																	
CO	0-0.99	%																	
CO2	0-9999	%																	
HC	0.0-20	ppm																	
O2	0.0-25	%																	
NOx	0-5000	ppm																	

Tabla 1 – Equipos y materiales.

2.2. Diseño, construcción e instrumentación de los acoples al motor

Para el diseño del acople, tal como se muestra en la Figura 4, es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Diámetro del conducto donde se coloca y asienta la bujía.
- Materiales disponibles en el mercado.
- Altura del acople.

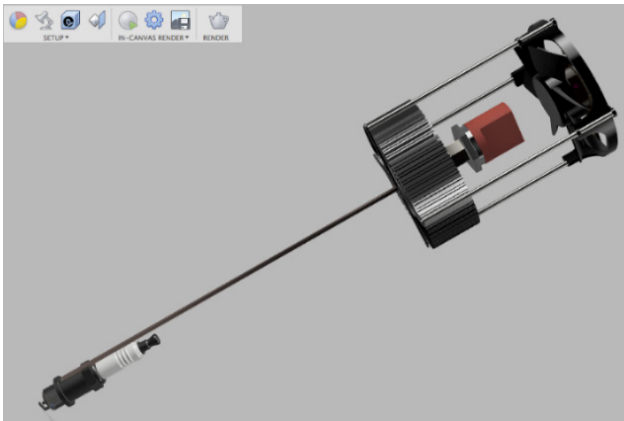


Figura 4 – Diseño del acople.

Los materiales que se utilizan para la construcción de los acoples son:

- Bujías de rosca corta 5/8".
- Cañería de cobre 1/8".
- Disipadores de calor.

El ensamble de estos elementos, que se presenta en la Figura 5, se lo realiza mediante soldadura oxiacetilénica de acuerdo al diseño presentado. Luego se procede con la instrumentación, en la que se adaptan los acoples al motor con sus respectivas conexiones.

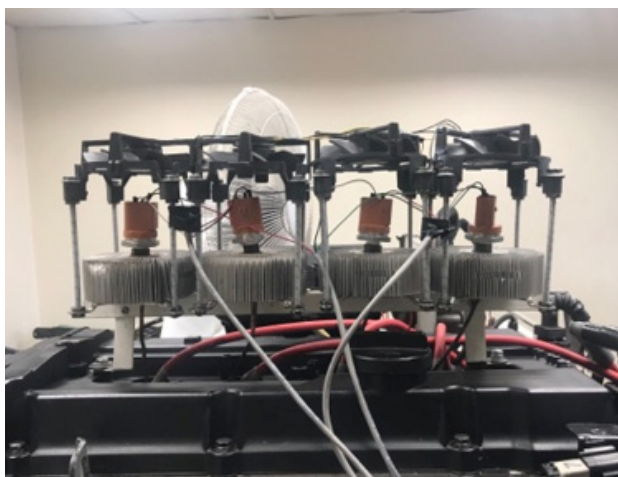


Figura 5 – Instrumentación de los acoples.

2.3. Procesamiento de señales

El procesamiento de las señales parte de la elaboración de un algoritmo en el software LabView® para la adquisición de datos con una frecuencia de muestreo de 12 KHz durante 10 segundos. En la Figura 6, se presenta el algoritmo para la adquisición de datos; también, se realiza el filtrado de la señal de la PME, para ello se utiliza un filtro paso cero, con lo que se obtiene una señal libre de ruido y de fácil interpretación como se muestra en la Figura 7 (W. Contreras, 2019).

Además, es conveniente realizar la caracterización de las señales para facilitar el tratamiento de las mismas, en la tabla 2 se presentan los atributos empleados para la caracterización de cada una de las señales.

2.4. Análisis estadístico

Con el fin de optimizar la base de datos general obtenida del procesamiento de las señales, y reducir el tiempo computacional en el proceso de cada señal, se realizan varios análisis estadísticos de manera que reduzca los datos de entrada para que la RNA procese los datos con mayor eficiencia y simplicidad.

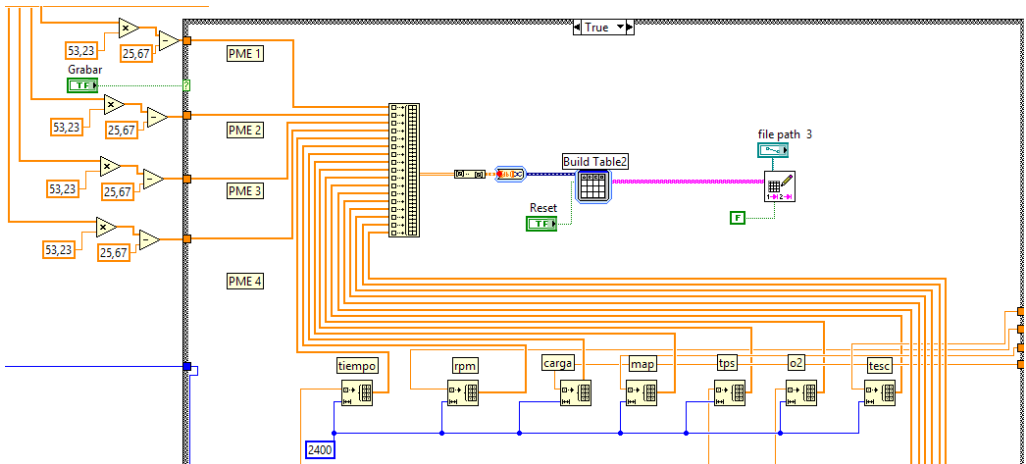


Figura 6 – Algoritmo para la adquisición de datos.

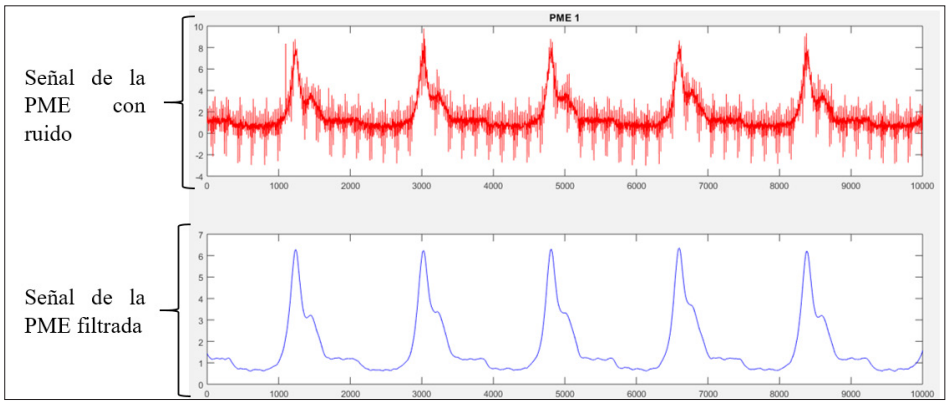


Figura 7 – Filtrado de la señal de la PME.

Variable	Atributos
PME	RMS, Kurtosis, Media, Desviación estandar, Mediana
	Máximo, Mínimo, Asimetria
	Moda, Entropía,
	Coefficiente de variación
	Factor de cresta
	Varianza, Área, Energía
	Potencia, Covarianza, Rango
	Energía, Potencia
	Máximo, Mínimo
Carga, RPM, MAP	RMS, Media
	Mediana, Moda

Tabla 2 – Atributos seleccionados para la caracterización de las señales.

2.4.1. Análisis de varianza (ANOVA por su nombre en inglés analysis of variance) de los datos característicos de la PME

Del análisis ANOVA al aplicar el método de Tukey (Pulido, De la Vara Salazar, González, Martínez, & Pérez, 2012), se comprueba la hipótesis nula, es decir que los valores de las medias de los datos de los cuatro cilindros no son diferentes, por lo tanto, se clasifican en un mismo grupo y además los valores de las medias se encuentran cercanas a la línea cero. De acuerdo con los resultados del análisis ANOVA aplicado a 4 atributos seleccionados aleatoriamente se verifica que los valores de la PME de los 4 cilindros son semejantes, por lo que se puede utilizar la señal de un cilindro, tal como se muestra en la Figura 8.

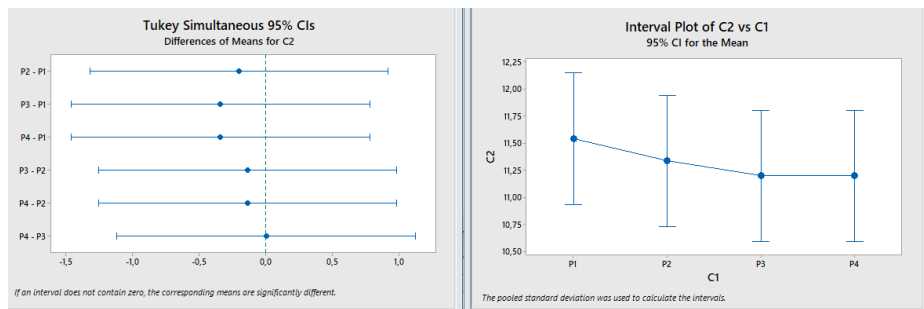


Figura 8 – ANOVA de PME.

2.4.2. Regresión múltiple para determinar la influencia de las variables

Para conocer los parámetros más influyentes de la predicción de gases de escape, se emplea la regresión lineal múltiple, donde se obtiene un modelo con una validación de $R^2=100\%$ y se determina que la carga es la variable más influyente en la predicción de emisiones contaminantes, en la Figura 9 se presenta en un diagrama de barras el resumen de la importancia de las variables.

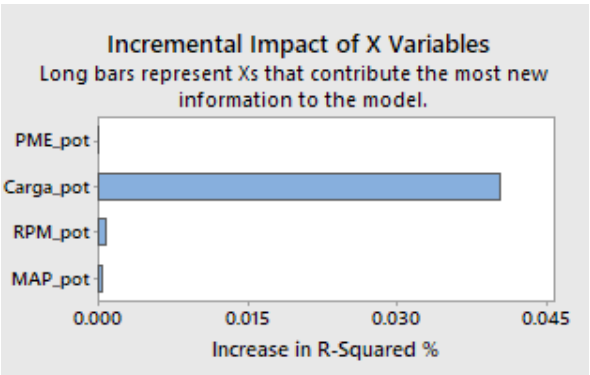


Figura 9 – Variables más influyentes en la predicción de gases de escape.

Debido a que la medición del porcentaje de carga depende en gran parte de la disposición de bancos dinamométricos, se realiza un nuevo análisis por regresión múltiple donde se identifica que la variable con mayor influencia en la obtención del valor de la carga es la PME, como se indica en la Figura 10.

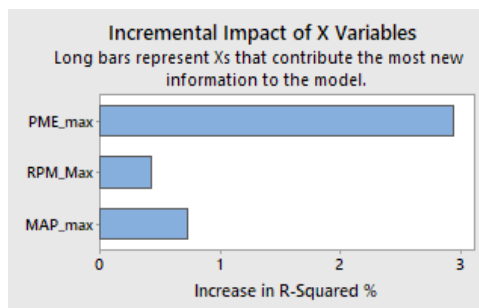


Figura 10 – Variable más influyente en predicción de la carga.

2.4.3. Random Forest para la reducción de atributos

Al aplicar el análisis estadístico Random Forest se reduce de 18 a 10 atributos más significativos de la PME, mientras que para las señales de RPM y MAP se reduce de 8 a 2 atributos más influyentes, los atributos con mayor importancia para cada variable se presentan en la tabla 3.

Variable	Atributos más significativos
<i>PME</i>	RMS, Potencia Media, Moda Máximo, Mínimo Mediana, Área Energía, Varianza
<i>RPM</i>	Potencia RMS
<i>MAP</i>	Potencia Máximo

Tabla 3 – Atributos más significativos según Random Forest.

Posterior a los análisis estadísticos se elabora una base de datos simplificada, que está estructurada por 14 atributos, de los cuales 10 pertenecen a la PME y se emplean para la predicción de la carga, mientras que los 4 atributos restantes junto con el valor de la predicción de la carga forman la matriz de entrada para la predicción de gases de escape.

2.5. Creación y entrenamiento de las RNA

Para la creación y entrenamiento de las RNA se sigue el diagrama de flujo detallado en la Figura 11.

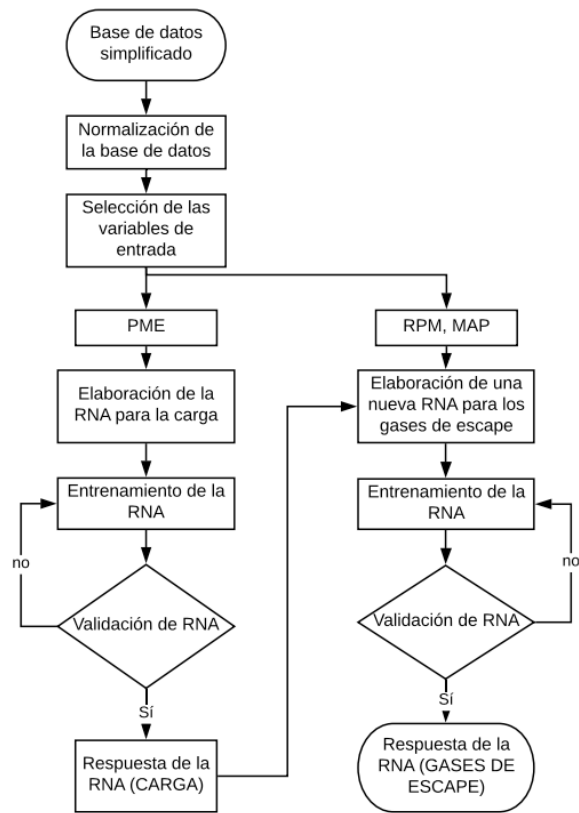


Figura 11 – Diagrama de flujo para la elaboración de las RNA.

En la creación y entrenamiento de las RNA es se debe tener en cuenta ciertos parámetros como el tipo de red, número de neuronas, etc., con el objetivo de reducir el gasto computacional (Contreras, Arichávala, & Jérez, 2007). Los parámetros elegidos para la creación y entrenamiento de las RNA se presentan en la siguiente tabla.

Parámetros de la rna	Carga	Gases de escape
<i>Tipo de red</i>	Red de propagación hacia atrás en cascada (cascade-forward backpropagation network)	Red de propagación hacia delante(feed-forward)
<i>Tipo de entrenamiento</i>	Método graduado de gradiente conjugado (trainscg).	Método graduado de gradiente conjugado (trainrp).
<i>Funciones de transferencia entre capas</i>	(‘tansig’, ‘elliotsig’, ‘elliotsig’, ‘tansig’)	(‘tansig’, ‘elliotsig’, ‘elliotsig’, ‘tansig’)
<i>Número de entradas</i>	10	5

Parámetros de la rna	Carga	Gases de escape
Número de salidas	1	5
Número de capas ocultas	3	3
Número de neuronas	14	20
Número de épocas	5000	500

Tabla 4 – Parámetros de diseño de las RNA.

Con los parámetros establecidos en la tabla 4, se obtiene un error de entrenamiento, prueba y validación por debajo de $10e-4$ para las RNA como se visualizan en las Figuras 12 y 13.

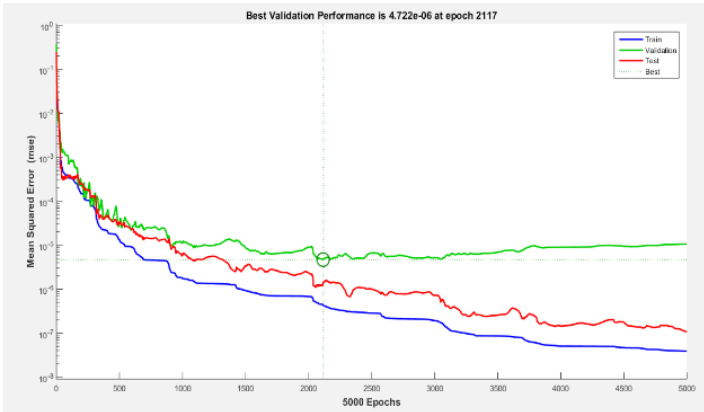


Figura 12 – Gradiente de error de la RNA para predecir la carga.

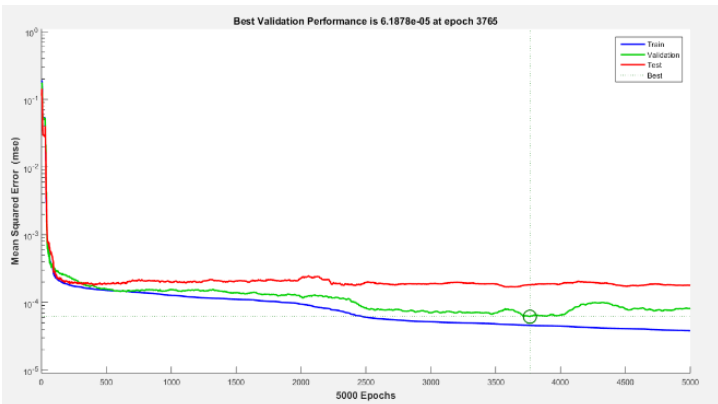


Figura 13 – Gradiente de error de la RNA para predecir gases de escape.

Además, con el fin de comparar los valores de la predicción de la RNA con respecto a los valores reales, se grafica la matriz de salida de la red neuronal junto con la matriz que contiene los valores reales para predecir la carga y los gases de escape, donde se obtiene que el error de predicción de la RNA de la carga es de 0.22%, mientras que de los gases de escape el error es: para el CO (1.20%), CO₂ (0.12%), HC (2.20%), O₂(1.21%) y NO_x (2.33%). En las Figuras 14 y 15, se determina que el comportamiento de los valores reales frente a los valores simulados tiene gran similitud.

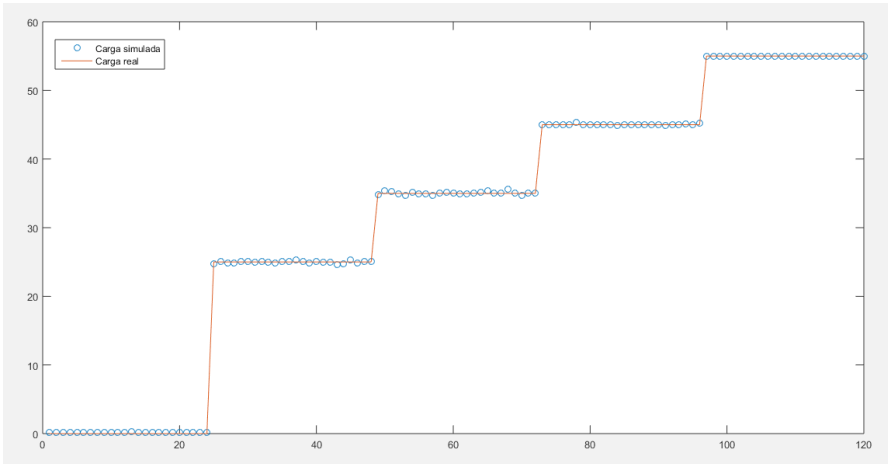


Figura 14 – Comportamiento de la carga simulada frente a la carga real.

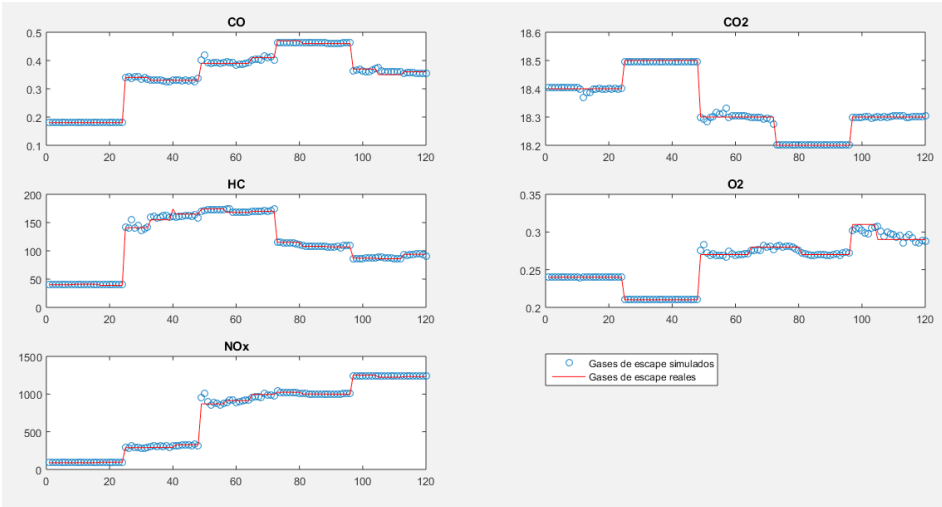


Figura 15 – Comportamiento de los gases de escape simulados frente a los gases de escape reales.

3. Resultados

Con el objetivo de validar los resultados, se adquieren nuevas muestras a las siguientes condiciones: Ralentí (850 rpm), 1700, 2000 y 2300 rpm, mismas que son ingresadas al software de predicción para obtener los valores simulados tanto de la carga como de los gases de escape y de esta manera determinar el porcentaje de error existente frente a los valores reales.

En la Figura 16 se visualiza los a valores proporcionados por el software de predicción y los valores obtenidos del analizador de gases de una prueba ralentí (850 rpm).



Figura 16 – Valores simulados vs valores reales de los gases de escape a ralentí.

Para calcular el porcentaje de error se emplea la siguiente ecuación (University of Iowa, 2017):

$$Error = \frac{Valor_{real} - Valor_{RNA}}{Valor_{real}} * 100(\%) \quad (1)$$

Para las pruebas de ralentí (850 rpm) y 2000 rpm, el porcentaje de error promedio de predicción de la carga es inferior al 2%, y para los gases de escape no supera el 3 %, mientras que para las pruebas a 1700 y 2300 rpm el error promedio es inferior a 1,5% y 3% en la predicción de la carga y los gases de escape respectivamente.

Además, para conocer el comportamiento de los resultados obtenidos del software de simulación frente a los valores reales de los gases de escape, se realiza un análisis ANOVA, donde se comprueba la hipótesis nula (Minitab Inc, 2017), es decir que los valores de las medias de los gases simulados y los gases de escape son parcialmente semejantes y se encuentran cercanos a la línea cero, por tanto se clasifican en un solo grupo, con esto se demuestra que los valores de predicción son aceptables ya que no existe una gran diferencia entre ellos. A continuación, en la Figura 17 se muestran los resultados del ANOVA de gas HC de una prueba a ralentí (850 rpm).

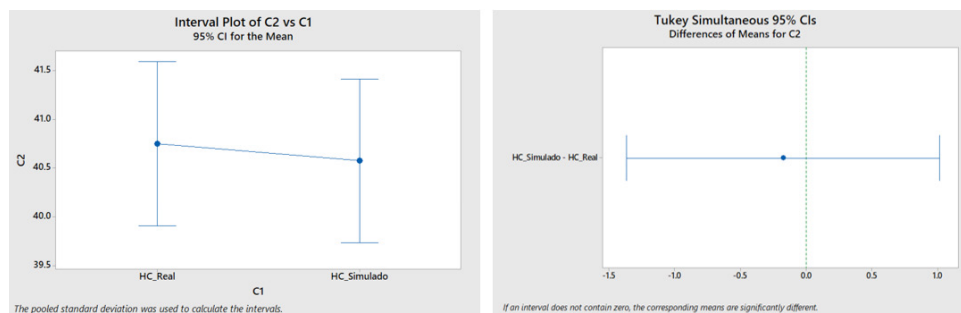


Figura 17 – Comparación de las medias de los resultados de los HC reales vs HC simulados por el método de Tukey.

4. Conclusiones

El proyecto es válido para predecir los valores de las emisiones contaminantes de escape a través de la PME al aplicar RNA en cascada, es decir, se predice la carga y por consiguiente los gases de escape, donde se obtiene un error promedio por debajo del 2% en la predicción de la carga e inferior al 3% para cada uno de los gases de escape.

Al realizar la revisión del estado del arte, se comprueba que existen estudios previos sobre la predicción de gases de escape de MEP con el uso de redes neuronales artificiales, sin embargo, ninguno de estos estudios ha sido aplicado en el país, por lo que este proyecto representa una base para futuras investigaciones referentes al tema.

Al aplicar la metodología prueba y error se confirma que de los parámetros seleccionados para la creación y entrenamiento de las RNA son los óptimos para este tipo de estudio, debido a que el comportamiento de la matriz de respuesta de las redes neuronales es similar a la matriz de valores reales, con un error del 0.22% para la carga, y 1.20%, 0.12%, 2.20%, 1.21% y 2.33% para los gases: CO, CO₂, HC, O₂, NO_x respectivamente.

Mediante el análisis estadístico ANOVA se comprueba que, con un motor en óptimas condiciones de funcionamiento, los valores de la PME son similares en los 4 cilindros, por lo que es suficiente trabajar con la señal de un cilindro con lo que se reduce el tamaño de la matriz de entrada.

De acuerdo a los resultados del análisis ANOVA, los valores proporcionados por el software de predicción y los valores reales son significativamente parecidos, lo que justifica que los porcentajes de error para la predicción de la carga y los gases de escape sean inferiores al 5%.

Referencias

Balki, M. K. (2018). Experimental study and prediction of performance and emission in an SI engine using alternative fuel with artificial neural network. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 1-.

- Contreras, W., Arichávala, M., & Jérez, C. (2007). Determinación de la presión máxima de compresión de un motor de encendido provocado basado en una red neuronal artificial recurrente. *Ingenius*, 27(1), 46-54.
- F. Narváez, F. S., & Montenegro, M. (2012). Modelo basado en redes neuronales para predecir las emisiones en un motor diésel que opera con mezclas de biodiésel de higuera. *Informador técnico*(76), 46-61.
- Gaona, J., & Garzon, J. (2011). *Contaminación atmosférica generada por fuentes móviles en Bogotá*. Bogotá: Universidad Santo Tomás.
- Kiani, M., Ghobadian, B., Tavakoli, T., Nikbakht, A. M., & Najafi, G. (2010). Application of artificial neural networks for the prediction of performance and exhaust emissions in SI engine using ethanol-gasoline blends. *Energy*, 35(1), 65-569.
- López, L. (2006). *Predicción y optimización de emisores y consumo mediante redes neuronales en motores diésel*. Barcelona: Reverté.
- Minitab Inc. (2017). Copyright © 2017 Minitab Inc. Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/supporting-topics/basics/what-is-anova/>.
- Naciones Unidas. (2015). *Convención Marco Sobre el Cambio Climático (Aprobación del acuerdo de París)*. París: Organización de las Naciones Unidas.
- NTE INEN 2203. (2000). *Determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o ralentí*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 2204. (2016). *Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres que utilizan gasolina*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Pulido, H., De la Vara Salazar, R., González, P., Martínez, C., & Pérez, M. (2012). *Análisis y diseño de experimentos*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Sayin, C., Ertunc, M., Hosoz, M., Kilicaslan, I., & Canakci, M. (2007). Performance and exhaust emissions of a gasoline engine using artificial neural network. *Applied Thermal Engineering*, 27(1), 46-54.
- Thakur, A., Mer, K., & Kaviti, A. (2018). An artificial neural network approach to predict the performance and exhaust emissions of a gasoline engine using ethanol-gasoline blended fuels. *Biofuels*, 9(3), 379-393.
- University of Iowa. (2017). *Imagine the Universe*. Obtenido de <http://astro.physics.uiowa.edu/ITU/glossary/percent-error-formula/>.
- W. Contreras, C. S. (2019). Metodología para obtener la cartografía de ignición de la Unidad de Control del Motor. *CTIS*, V, 413-426.

Modelo matemático para la estimación de contaminantes de vehículos categoría M1 en etapas de funcionamiento en frío y caliente en la ciudad de Cuenca

Edisson Cabrera¹, Daniel Patiño¹

ecabrerag1@est.ups.edu.ec, dpatinom@est.ups.edu.ec

¹ Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

Pages: 354–363

Resumen: La presente investigación muestra el desarrollo de un modelo matemático aplicado a la estimación de índices contaminantes en dos diferentes fases de operación del motor de combustión interna (MCI) mediante redes neuronales artificiales (RNA). Para la toma de datos se realizan pruebas de carretera y de ralentí las cuales son registradas por el dispositivo programable freematics one+ y el analizador de gases mismos que son usados para entrenar las redes neuronales y generar una base de datos con la cual es posible determinar en qué condición de funcionamiento los vehículos de categoría M1 producen los índices más altos de contaminación. Los resultados de las RNA muestran un alto índice de similitud en relación al comportamiento de los vehículos, obteniendo un modelo eficaz que se ajusta a las características del parque automotor de la ciudad. Además, se determina que durante los primeros doce minutos los niveles de gases contaminantes alcanzan valores extremadamente altos.

Palabras-clave: Arranque en frío; arranquen en caliente; emisiones contaminantes; modelo matemático; redes neuronales.

Mathematical model for the estimation of pollutants from category M1 vehicles in cold and hot operation stages in the city of Cuenca

Abstract: This research shows the development of a mathematical model applied to the estimation of pollutant indices in two different phases of operation of the internal combustion engine (ICM) by means of artificial neural networks (ANN). For data collection road and idle tests are performed which are recorded by the freematics one+ programmable device and the gas analyzer itself which are used to train the neural networks and generate a database with which it is possible to determine in which operating condition M1 category vehicles produce the highest pollution rates. The ANN results show a high similarity index in relation to the behavior of vehicles, obtaining an effective model that fits the characteristics of the

city's vehicle fleet. In addition, it is determined that during the first twelve minutes the levels of polluting gases reach extremely high values.

Keywords: Cold start; hot start; pollutant emissions; mathematical model; neural networks.

1. Introducción

En la actualidad la tasa promedio de crecimiento vehicular anual es del 11%, lo que implica que en los próximos diez años la cantidad de vehículos será igual al número de habitantes de la ciudad, incrementando con ello, el nivel de gases contaminantes (EMOV, 2016). Por todo lo antes mencionado, es necesario adoptar nuevos métodos de cálculos de emisiones que se ajusten a las características del parque automotor de la ciudad, esto se debe a que la metodología utilizada en la actualidad se basa en el Programa Europeo de Seguimiento y Evaluación sobre el Inventario de Emisiones del Aire (EMEP CORINAIR, por sus siglas en inglés) que utiliza el modelo computacional COPERT, mismo que está diseñado de manera específica para estimar emisiones de vehículos fabricados de acuerdo con la legislación europea (Echániz, 2007). En el inventario de emisiones de la ciudad de Cuenca 2014 la Empresa Pública Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte (EMOV EP), realiza el análisis de los gases contaminantes en base a un factor de emisión medio. Este método determina el total de emisiones, multiplicando la cantidad de contaminación que emite un vehículo por el total de vehículos, lo que implica que los datos carecen de fiabilidad (Parra, 2016). La contaminación ambiental en la ciudad se debe principalmente al tráfico vehicular, seguido de la vegetación y las emisiones de combustión y de procesos industriales (EMOV EP, 2014). Desde el año 2008 operaba en la ciudad la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire (Cuencaire) que proporcionaba información sobre los niveles de contaminación atmosférica, que posteriormente fue liquidada en 2010 transfiriendo sus funciones a la Empresa de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca EMOV EP, donde hace referencia que el 91.9% de monóxido de carbono (CO) presente en la ciudad es ocasionado por tráfico vehicular; en referencia a compuestos orgánicos volátiles (COV) el tráfico vehicular obtiene el 34.4% mientras que la vegetación un 21.4%; un 76.4% de óxidos de nitrógeno (NOx) se debe principalmente al tráfico vehicular; en cuanto al material particulado (MP) responsable de generar cáncer a las vías respiratorias el 42.7% corresponde al tráfico vehicular y el 40.9% a las ladrilleras; únicamente en los valores del dióxido de carbono (CO₂) el tráfico vehicular obtiene el segundo lugar con un 30.2% por debajo de las industrias con un 48.2% (EMOPV EP, 2015).

La contaminación ambiental por parte de los vehículos automotores es uno de los problemas mundiales más severos en la actualidad, esto se debe a que producen, en general, dos tipos de emisiones de gases contaminantes, el primero denominado, emisiones evaporativas, que ocurren cuando el vehículo se encuentra estacionado o en circulación, donde la magnitud de contaminación depende de las características del vehículo, factores geográficos, temperatura del ambiente y la presión del vapor del

combustible; y el segundo, emisiones por el tubo de escape, mismas que depende de las características del vehículo, tecnología y su sistema de control de emisiones (Gómez & Rogers, 2008).

El enriquecimiento de la mezcla aire - combustible durante el funcionamiento del motor de arranque en frío, para compensar la reducida vaporización del combustible y la elevada fricción de los componentes del motor, conduce a una combustión incompleta, contribuyendo estos dos factores a elevar las emisiones durante la operación de arranque en frío (Christos, Giorgio, Alessandro, & Urbano, 2013).

Con un calentamiento previo del motor durante quince minutos se obtiene que los valores de emisiones de gases contaminantes tales como el CO, SO₂ y HC, se encuentran por debajo de los límites mínimos establecidos en la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2204 independientemente del tipo de combustible utilizado (Pérez, 2018).

Las emisiones de gases contaminantes producidas por el arranque en frío es uno de los problemas más comunes para motores de inyección directa de gasolina (Tiechen, Chonglin, & F. Jiarui, 2008), por ello, la investigación de Li y Liu (2011) muestra que mediante la combinación de la forma superior especial del pistón con el sistema de inyección de combustible compuesto, es capaz de reducir en un 50% las emisiones de HC durante las condiciones de arranque en frío, debido a que la nueva forma del pistón optimiza la formación y distribución del flujo de aire en el cilindro mejorando la relación aire-combustible.

De igual forma, Yuan, Hong, Su, Xie y Xu (2015) indican que durante el arranque del motor la mezcla aire-combustible debe ser enriquecida, puesto que la temperatura baja del refrigerante no es beneficiosa para la evaporación y mezcla de gotas de combustible, por lo tanto, es necesario aumentar la mezcla, con ello, el gas mezclado en el cilindro se vuelve más espeso convirtiéndose en un estado hipóxico debido a la oxidación incompleta de las partículas, esto explica que en arranque en frío existe un mayor índice de gases contaminantes, aproximadamente cuatro veces más que la condición en ralentí.

El 80% de las emisiones de CO y HC se generan en los primeros minutos del arranque en frío, debido a que la temperatura de la gasolina en el motor es baja generando una evaporación del combustible y estabilidad de combustión ineficiente (Shengqin, 2010).

El presente trabajo propone un nuevo método para el desarrollo de un modelo matemático en función del CO, HC y NO_x mediante el entrenamiento de redes neuronales artificiales.

2. Métodos

Para el desarrollo del estudio se toman muestras tanto de las señales de los sensores como de los gases contaminantes de los cuatro vehículos más comercializados en la ciudad de Cuenca (Escobar & Gordillo, 2018), para posteriormente generar una base de datos con la cual sea posible entrenar la RNA para obtener los modelos matemáticos deseados.

2.1. Vehículo de pruebas

Los vehículos que se utilizan para realizar las pruebas respectivas son de categoría M1 que se muestra en la Figura 1.

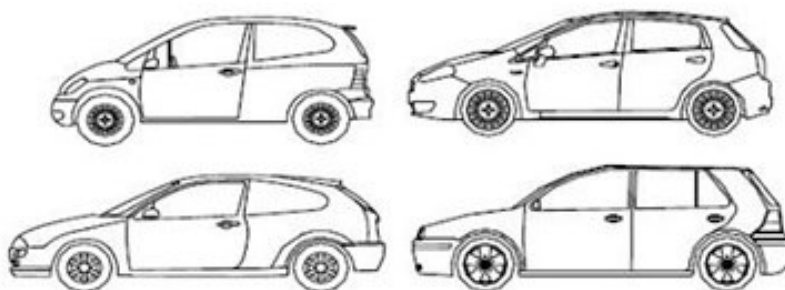


Figura 1 – Vehículos categoría M1 (Ministerio de Industrias y Productividad, 2656).

Las características de los vehículos de prueba se muestran en la Tabla 1.

Vehículo	Modelo	Potencia maxima	Cilindrada	Peso
<i>Chevrolet</i>	Aveo activo	83 Hp	1.6cc	940kg
<i>Hyundai</i>	Tucson IX	113Hp	2.0cc	1600 kg
<i>KIA</i>	Picanto	82 Hp	1.1cc	900 Kg

Tabla 1 – Características de los vehículos de prueba [(Chevrolet, 2018); (Hyundai, 2010); (KIA, 2009)].

2.2. Determinación de las rutas

El cantón Cuenca se ubica al sur del Ecuador, su capital, Cuenca se encuentra a 2.538 metros sobre el nivel del mar (msnm), su clima tiene temperaturas que oscilan entre 14 y 18 grados Celsius.

En la ciudad existen trayectos específicos que son los más usados por la ciudadanía para trasladarse de un lugar a otro, conocido como líneas de deseo, como se muestra en la Figura 2 las zonas del centro Histórico, el Ejido y Totoracocha son las zonas de mayor destino de viaje.

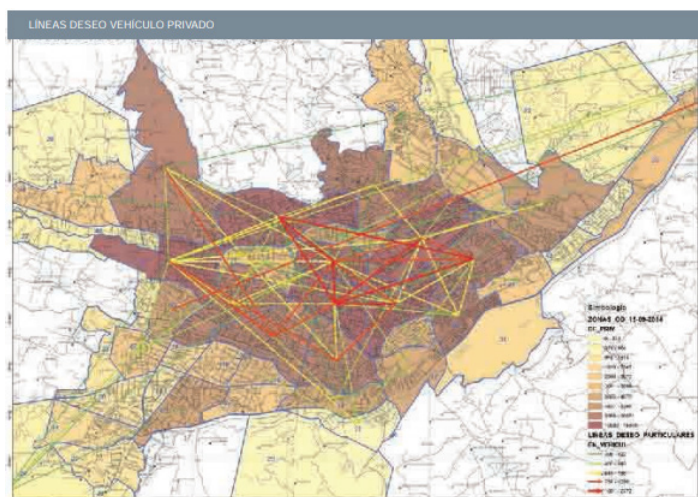


Figura 2 – Líneas de deseo usadas por vehículos privados en la ciudad de Cuenca (Ilustre Municipalidad de Cuenca, 2005).

En la Figura 3 se muestra la ruta del sistema viario urbano para la toma de datos donde la misma es parte de las zonas con mayor porcentaje de viaje (Arias & Ludeña, 2018), la ruta comienza en la Universidad Politécnica Salesiana hasta el Centro Comercial el Arenal, pasando por la Av. Héroes de Verdeloma, Centro Histórico y Av. de las Américas, esta sección de ruta tiene una longitud de 7,8 km.

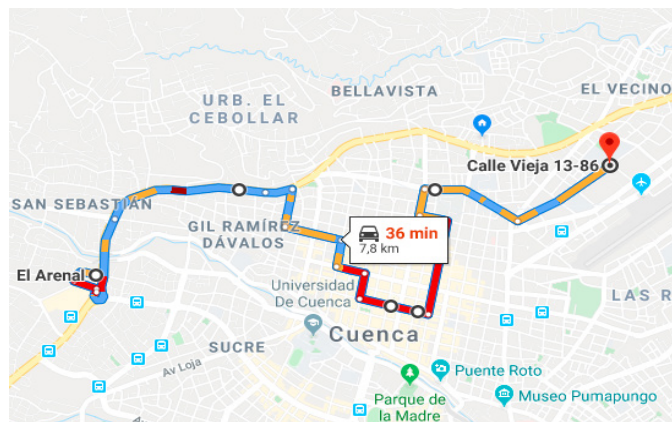


Figura 3 – Sección de ruta para la toma de datos. (Google Maps, 2019)

2.3. Adquisición de datos

En la Figura 4 se presenta la metodología para el muestreo de señales en tiempo real en condiciones dinámicas (carretera) y estacionarias del automóvil.

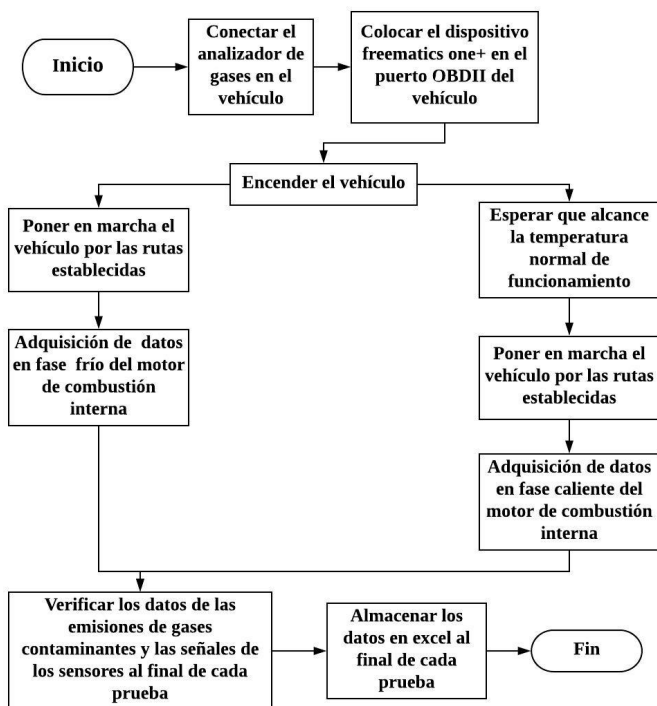


Figura 4 – Metodología de proceso para la adquisición de muestras.

Para la toma de muestras de los vehículos se consideran dos tipos de escenarios en la generación de emisiones contaminantes (Ntziachristos & Samaras, 2000).

1. *Emisiones en caliente*

Cuando el motor ha alcanzado la temperatura normal de funcionamiento; es decir, la temperatura del refrigerante es superior a 70 grados centígrados.

2. *Emisiones en frío*

Son las emisiones obtenidas en el periodo de calentamiento del sistema, es decir, cuando la temperatura del refrigerante asciende de manera progresiva hasta los 70 grados centígrados.

2.4. Generación de la red neuronal

Para establecer los atributos que constarán en la entrada de la red neuronal artificial (RNA) se estableció una lista que se muestra en la Tabla 2, misma que considera los datos recolectados del dispositivo freematics one+.

Atributos	Acrónimo
<i>Revoluciones por minuto</i>	RPM
<i>Throttle position sensor</i>	TPS
<i>Manifold absolute pressure</i>	MAP
<i>Intake air temperatura</i>	IAT
<i>Engine coolant temperatura</i>	ECT
<i>Vehicle speed sensor</i>	VSS

Tabla 2 – Atributos para la RNA.

Mediante el software Matlab se diseña las redes neuronales para que la salida se comporte a las características de las señales de entrada. En la Figura 5 se muestra la estructura de la RNA establecida para el entrenamiento.

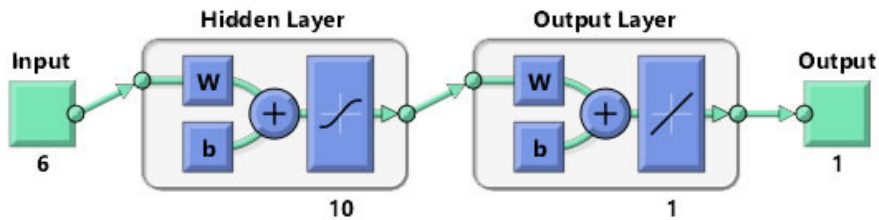


Figura 5 – Estructura de la RNA

3. Resultados

Con el objetivo de validar los resultados, se adquieren nuevas muestras a las siguientes condiciones: Ralentí (850 rpm), 1700, 2000 y 2300 rpm, mismas que son ingresadas al software de predicción para obtener los valores simulados tanto de la carga como de los gases de escape y de esta manera determinar el porcentaje de error existente frente a los valores reales.

En la Figura 16 se visualiza los a valores proporcionados por el software de predicción y los valores obtenidos del analizador de gases de una prueba ralentí (850 rpm).



Figura 6 – Valores simulados vs valores reales de los gases de escape a ralentí.

Para calcular el porcentaje de error se emplea la siguiente ecuación (University of Iowa, 2017):

$$Error = \frac{Valor_{real} - Valor_{RNA}}{Valor_{real}} * 100(\%) \quad (1)$$

Para las pruebas de ralentí (850 rpm) y 2000 rpm, el porcentaje de error promedio de predicción de la carga es inferior al 2%, y para los gases de escape no supera el 3 %, mientras que para las pruebas a 1700 y 2300 rpm el error promedio es inferior a 1,5% y 3% en la predicción de la carga y los gases de escape respectivamente.

Además, para conocer el comportamiento de los resultados obtenidos del software de simulación frente a los valores reales de los gases de escape, se realiza un análisis ANOVA, donde se comprueba la hipótesis nula (Minitab Inc, 2017), es decir que los valores de las medias de los gases simulados y los gases de escape son parcialmente semejantes y se encuentran cercanos a la línea cero, por tanto se clasifican en un solo grupo, con esto se demuestra que los valores de predicción son aceptables ya que no existe una gran diferencia entre ellos. A continuación, en la Figura 17 se muestran los resultados del ANOVA de gas HC de una prueba a ralentí (850 rpm).

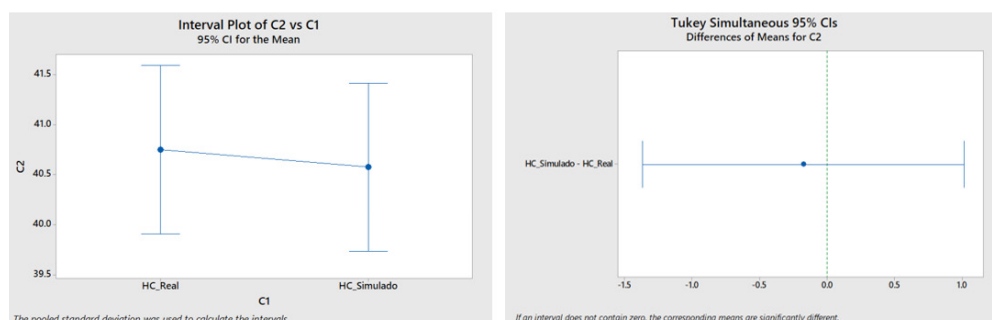


Figura 7 – Comparación de las medias de los resultados de los HC reales vs HC simulados por el método de Tukey.

4. Conclusiones

El modelo neuronal desarrollado se ajusta a los valores de los diferentes gases contaminantes lo que demuestra que los modelos matemáticos obtenidos son precisos y fiables, por lo cual, se establece como una alternativa eficiente para ser integrada en el análisis de índices contaminantes del parque automotor de la ciudad.

El estudio demuestra que durante los primeros 3 a 12 minutos los niveles de gases contaminantes alcanzan valores extremadamente altos, esto se debe a que el combustible no se encuentra en un estado de vaporización eficiente y además los componentes internos del MCI poseen una elevada fricción.

En referencia a las emisiones de CO durante la fase en frío, los máximos valores se generan durante los primeros seis minutos de recorrido produciendo un valor límite de 2,21% y un valor mínimo de 1,87%, y en la fase en caliente el valor máximo es 0,84% lo que representa que la fase en frío contamina 263 % más que la fase en caliente debido a la inadecuada oxidación de los combustibles.

En cuanto a emisiones de HC en arranque en frío, los máximos valores se producen en los cuatros primeros minutos con un valor límite de 257 ppm y un valor mínimo de 121 ppm, y en la fase en caliente el valor máximo es 15,94 ppm lo que representa que la fase en frío contamina 1000% más que la fase en caliente

En referencia a los NOx en la fase en frío, el máximo valor se da en los primeros dos minutos de recorrido con un valor de 1812 ppm, y en la fase en caliente el valor máximo 336,78 ppm lo que implica que la fase en frío contamina 538% más que la fase en caliente, este gas mantiene su elevado índice de contaminación hasta que el motor alcance su temperatura óptima de funcionamiento, aproximadamente doce minutos, esto se debe a que durante el arranque en frío el motor esta enriquecido con mezcla aire-combustible, lo que provoca una excesiva combustión.

Referencias

- Arias, E., & Ludeña, J. (2018). *Estimación del consumo de combustible y niveles de emisiones contaminantes de un vehiculo de categoría M1 en rutas con mayor grado de saturación en la ciudad de Cuenca*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Chevrolet. (2018). *Chevrolet Aveo, Manual del propietario*. Quito: Chevrolet Ecuador.
- Christos, D., Giorgio, M., Alessandro, M., & Urbano, M. (2013). Low-temperature cold-start gaseous emissions of late technology passenger cars. *Applied Energy*, 111, 468-478.
- Echániz, G. (2007). *Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades mexicanas*. Ciudad de México: Instituto Nacional de Ecología.
- EMOPV EP. (2015). *Informe de calidad de aire en Cuenca 2015*. Cuenca: EMOV EP.
- EMOV. (2016). *Informe de calidad de aire en Cuenca*. Cuenca: EMOV.
- EMOV EP. (2014). *Inventario de emisiones atmosféricas del canton Cuenca 2014*. Cuenca: EMOV EP.

- Escobar, C., & Gordillo, J. (2018). *Caracterización del parque automotor perteneciente a la categoría M1 del cantón Cuenca en función a sus propiedades constructivas y niveles de emisión*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Gómez, R., & Rogers, H. (2008). *Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades mexicanas*. Ciudad de México: Instituto Nacional de Ecología.
- Google Maps. (11 de Noviembre de 2019). [Mapa de Cuenca, Ecuador en Google Maps]. Obtenido de Google Maps: <https://www.google.com/maps/@-2.8894979,-79.0010024,18z>
- Hyundai. (2010). *Manual del propietario*. Quito: Hyundai Ecuador.
- Ilustre Municipalidad de Cuenca. (2005). *Plan de movilidad y espacios públicos*. Cuenca: Ilustre Municipalidad de Cuenca.
- KIA. (2009). *KIA Picanto, Ficha técnica*. Quito: KIA Ecuador.
- Li, Y., & Liu, D. (2011). Study on the HC Emissions during Cold-Start Conditions of Gasoline Direct Injection Engine. *2011 Fourth International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, (págs. 1210-1213). Shenzhen, Guangdong.
- Ministerio de Industrias y Productividad. (2656). *Norma INEN 2656*. Quito: Subsecretaría de la Calidad del Ministerio de Industrias y Productividad.
- Minitab Inc. (2017). *Copyright © 2017 Minitab Inc*. Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/supporting-topics/basics/what-is-anova/>.
- Ntziachristos, L., & Samaras, Z. (2000). *COPERT III Computer programme to calculate emissions from road transport*. Copenhagen: European Environment Agency.
- Parra, R. (2016). *Inventario de Emisiones del cantón Cuenca 2014*. EMOV EP: Cuenca.
- Pérez, D. (2018). Estudio de emisiones contaminantes utilizando combustibles locales. *INNOVA Research Journal*, 3, 23-34.
- Shengqin, L. (2010). Study of oxygen-enriched combustion character on gasoline engine at cold-start. *2010 International Conference On Computer Design and Applications*, (págs. 110-113). Qinhuaangdao.
- Tiechen, Z., Chonglin, S., & F. Jiarui, L. W. (2008). Study on the emission characteristics of volatile organic compounds from a gasoline passenger car. *Journal of Engineering Thermophysics*, 29, 703-706.
- University of Iowa. (2017). *Imagine the Universe*. Obtenido de <http://astro.physics.uiowa.edu/ITU/glossary/percent-error-formula/>.
- Yuan, C., Hong, W., Su, Y., Xie, F., & Xu, Q. (2015). Research on exhaust particle emissions of two direct injection gasoline engines during cold start. *2015 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, (págs. 561-565). Beijing.

Análisis de emisiones contaminantes originados por el parque automotor en Cuenca

Néstor Rivera¹, Chris Mata¹, José Lalangui¹, Andrea Bermeo¹, Luis Valdez¹, Jhon Morochó¹

nrivera@ups.edu.ec, cmatai@est.ups.edu.ec, jlalanguig1@est.ups.edu.ec,
abermeeon@ups.edu.ec, lpilataxp@ups.edu.ec, jmorochog@est.ups.edu.ec

¹ Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

Pages: 364–380

Resumen: En el presente estudio se detalla el análisis de la matriz de movilidad en el Centro Histórico de la ciudad de Cuenca y su relación con la calidad del aire, con el fin de establecer un análisis concluyente y válido acerca de la influencia del tráfico vehicular sobre la calidad del aire. La obtención de datos de las variables meteorológicas se da a partir de las estaciones de la Universidad Politécnica Salesiana y de los gases contaminantes a través de la Empresa de movilidad EMOV-EP, y se realiza mediante la estación automática localizada en el Centro Histórico de la ciudad, dichos datos son: CO, O₃, NO, NO₂, NOX, SO₂ y PM_{2,5}; además de datos meteorológicos tales como: la presión atmosférica, la temperatura ambiente, humedad relativa, la velocidad del viento y la radiación solar. Como último paso, para la validación de los datos se realiza un análisis estadístico inferencial mediante los valores estadísticos p del ANOVA, también se realiza un Análisis de Componentes Principales (PCA) para verificar las variables que aportan más información al estudio. Los resultados obtenidos mostraron que la concentración del CO es mayor que los otros gases analizados, mientras que en el ANOVA se verificó que existe una variación en el tráfico en diferentes meses lo que de igual forma influye en las emisiones de gases contaminantes.

Palabras-clave: Matriz de movilidad; correlación ANOVA; tráfico vehicular; estadística inferencial; análisis de componentes principales.

Mathematical model for the estimation of pollutants from category M1 vehicles in cold and hot operation stages in the city of Cuenca

Abstract: In the present study, the analysis of the mobility matrix in the Historic Center of the city of Cuenca and its relation with air quality is detailed, with the aim of establishing a conclusive and valid analysis about the influence of vehicular traffic on the air quality. The data collection of the weather variables was taken from the Universidad Politécnica Salesiana's station and for the polluting gases, the data gathering was carried out through the Enterprise of Mobility (EMOV-EP), and it is done in the automatic station located in the Historic Center. These data are: CO, O₃, NO, NO₂, NOX, SO₂ and PM_{2.5}. In addition, meteorological data was also

recollected such as: atmospheric pressure, room temperature, relative humidity, wind speed and solar radiation. Finally, data collection of vehicular traffic indexes was done using Google Maps, then the hours of greatest emission of polluting gases were determined. Subsequently, an analysis was carried out between the work week and weekend in order to verify the difference in emissions. As a last step, for the validation of the data, an inferential statistical analysis was carried out using the ANOVA p- value, a Principal Components Analysis (PCA) was also performed to verify the variables that provide more information to the study.

Keywords: Mobility matrix; ANOVA correlation; vehicular traffic; inferential statistics; principal component analysis.

1. Introducción

Actualmente, la contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud, bien sea en los países desarrollados o en los países en desarrollo (Organización Mundial de la Salud, 2018). En ciudades con un alto índice de población vehicular cuya fuente de energía son los hidrocarburos, los vehículos emiten gases contaminantes, debido a una combustión incompleta (Rovira, 2015) y esto afecta directamente en la salud de los pobladores de la ciudad. El problema principal radica en la falta de un análisis concluyente que permita conocer el aporte real y exacto de las emisiones contaminantes que genera el flujo vehicular sobre la calidad de aire en el Centro de Cuenca, cabe recalcar que la movilidad vehicular está conformada por los vehículos de turismo, motos y buses, por otra parte, los documentos emitidos por la EMOV (Empresa de Movilidad Tránsito y transporte) como “El informe de la calidad del aire” y “El inventario de emisiones del cantón Cuenca” (Empresa Pública de Movilidad, 2016) son desarrollados en base a un factor de emisión, dado que, esta metodología proporciona el total de emisiones producidas por los vehículos, multiplicando el total de vehículos por un factor de emisión estimado en base a un modelo no adecuado a la realidad de la urbe cuencana, donde no se considera el flujo vehicular en la ciudad.

Por otra parte, el “Informe de Plan de Movilidad de la ciudad de Cuenca” indica que el 33% de las calles soportan intensidades de 10000 a 40000 vehículos por día y más aún el 59% presentan cifras superiores a 40000 vehículos por día en toda el área del Centro de Cuenca (Empresa Pública de Movilidad, 2016). La contaminación ambiental en el Centro Histórico de la ciudad de Cuenca depende de algunos factores como: la distancia de las principales fuentes de emisión, el parque automotor, meteorología y topografía (Moscoso-Vanegas, Vázquez-Frerire, & Astudillo-Alemán, 2015). Una estación de monitoreo de la calidad del aire ubicada en el Centro Histórico entre las calles Simón Bolívar y presidente Borrero, monitorea los gases contaminantes más importantes: Monóxido de Carbono (CO), Ozono troposférico (O₃), Óxido de Nítrico (NO), Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Óxido de Nitrógeno (NO_x), Dióxido de Azufre (SO₂) y Material particulado menor a 2.5 micras (MP_{2.5}) (Empresa Pública de Movilidad, 2016)- (Limas, 2016)- (Rodríguez, 2010). Los medios de transporte y la matriz de movilidad son los puntos fundamentales para este análisis sobre la incidencia del flujo vehicular en la calidad de aire en las zonas de tráfico lento que ocasionó gran congestionamiento vehicular en el Centro Histórico de la ciudad de Cuenca (Jerves & Armijos–Arcos, 2014). Este estudio demuestra el aporte real y exacto de las emisiones contaminantes que genera el flujo vehicular sobre la calidad de aire en el Centro de Cuenca. La concentración de

emisiones de gases contaminantes en el aire disminuye en el periodo de vacaciones escolares, debido a que existe una menor movilidad de la ciudad.

2. Métodos

2.1. Red de monitoreo de la calidad del aire en Cuenca

Actualmente, esta red cuenta con 20 estaciones de monitoreo pasivo que registran la cantidad de emisiones de gases contaminantes generadas cada minuto, estos datos son registrados por sensores instalados en las mismas. Esto permite que se genere la información necesaria para caracterizar la distribución espacial de la contaminación atmosférica, debido a la medición permanente de la calidad del aire en las distintas áreas de la ciudad (Empresa Pública de Movilidad, 2016).

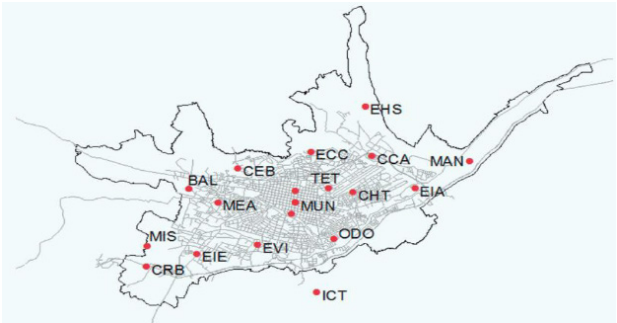


Figura 1 – Distribución de estaciones de monitoreo.

En la Tabla 1 se presenta los métodos de medición y sensores de la red automática de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Cuenca (Jerves & Armijos–Arcos, 2014), ubicado entre las calles Simón Bolívar y presidente Borrero esto se encuentra en el Centro Histórico.

Contaminante	Método	Marca/Modelo
Monóxido de carbono (CO).	Absorción de radiación infrarroja no dispersiva USEPA Método de referencia EQOA-0992-087	Teledyne. M300E
Dióxido de azufre (SO ₂).	Fluorescencia por radiación ultravioleta USEPA Método de referencia EQSA-0495-100	Teledyne. M100E
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	Quimioluminiscencia USEPA Método de referencia EQOA-0992-87	Teledyne. M200E
Material Particulado fino (MP2.5)	Atenuación de rayos beta USEPA Método equivalente EQPM-0308-170	MetOne BAM-1020
Ozono (O ₃)	Absorción de radiación ultravioleta USEPA Método equivalente EQOA-0992-087	Teledyne. M400E

Tabla 1 – Sensores utilizados para la monitorización de los gases contaminantes (Empresa Pública de Movilidad, 2016).

2.2. Redes de tráfico vehicular en el Centro Histórico

En la Figura 2 se presenta la estructura de la red de calles en el Centro Histórico de la ciudad de Cuenca, cuyos nodos son conocidos también como intersecciones y son las conexiones de transporte, rutas o calles.

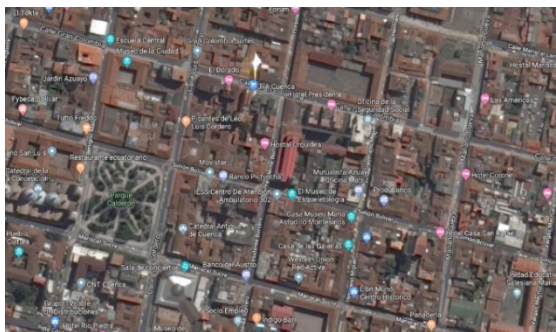


Figura 2 – Representación gráfica de la red de calles.

La totalidad de viajes al Centro Histórico es el 8%, el cual, es un rango aceptable de circulación vehicular considerando sus secciones de vía. Por eso es preocupante para la población los resultados del informe del Plan de Movilidad cuyo resultado explica que el 33% de las calles soportan intensidades de 10.000 a 40.000 vehículos por día y el 59% restante presenta cifras superiores a 40.000, afectando la calidad ambiental del Centro Histórico de la ciudad de Cuenca (Empresa Pública de Movilidad, 2016).

2.3. Adquisición de la base de datos de la Empresa de Movilidad EMOV

La adquisición de los datos se procede a realizar en una hoja de cálculo en formato .csv y posteriormente exportar al software matemático MATLAB® para la visualización del comportamiento que obtienen cada una de las variables.

2.4. Ubicación el área del estudio: zona del Centro Histórico

La zona de aplicación de esta investigación se sitúa en el Centro Histórico de la ciudad de Cuenca, debido a que cuenta con una estación automática que mide las concentraciones de gases contaminantes en tiempo real. A continuación, se detalla la ubicación de la estación, la cual se encuentra localizada en la parte superior del edificio de la Alcaldía de Cuenca con las siguientes coordenadas: 2° 53' 50.45" S, 79° 0' 11.15" O (Google Maps, s.f.), y utiliza el acrónimo MUN. La selección de este punto se basa por el grado de saturación vehicular y peatonal considerable, según el informe emitido por la EMOV (Empresa Pública de Movilidad, 2016).

2.5. Variables que intervienen en el estudio

La calidad del aire en el Centro Histórico se ve afectada por diferentes variables, tales como: el tráfico vehicular que se genera en distintas horas del día y las condiciones meteorológicas. Las variables que intervienen en el análisis se clasifican en: variable de entrada, variables de salida y variables meteorológicas, el proceso se detalla en la siguiente Figura 3.

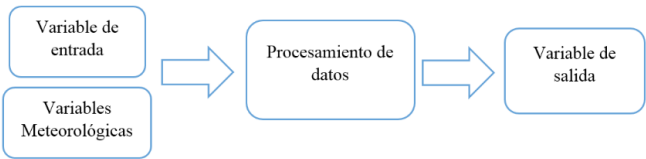


Figura 3 – Proceso de análisis de datos.

2.6. Adquisición de datos de los gases contaminantes

La adquisición de datos de los gases contaminantes se inicia a partir del desarrollo de una matriz para cada uno de los gases y posteriormente exportar la base de datos al software matemático de Ingeniería MATLAB®, para su respectivo análisis (MathWorks®, 2018). Cabe destacar, que los datos adquiridos son de alrededor de un año, es decir, se obtienen desde el mes de agosto del 2017 hasta el mes de Julio del 2018.

El modelo de la matriz se usa para cada gas contaminante: (CO), (O₃), (NO), (NO₂), (NO_x), (SO₂) y (MP_{2.5}). En las Figuras 4 y 5 se presenta el comportamiento diario del CO durante los meses de agosto del 2017 y Julio del 2018. Donde cada línea de diferente color representa un día.

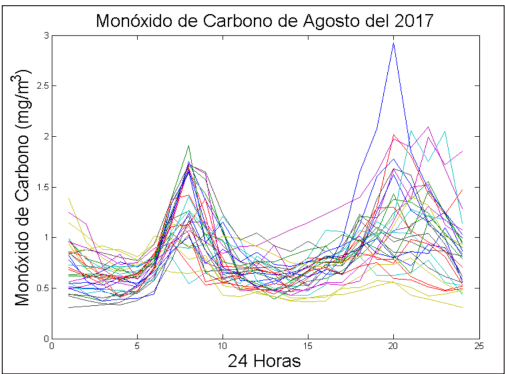


Figura 4 – Concentraciones de CO durante el mes de agosto del 2017.

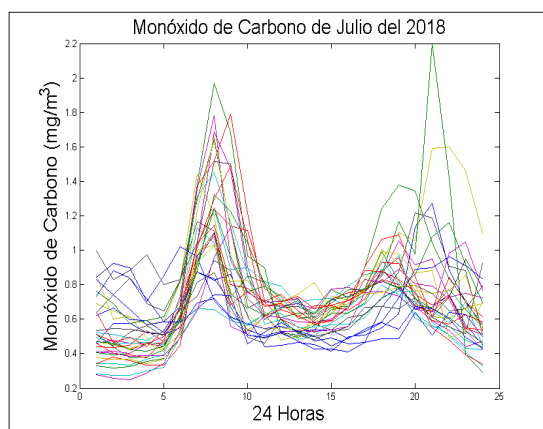


Figura 5 – Concentraciones de CO durante el mes de Julio de 2018.

2.7. Adquisición de datos de la estación meteorológica

Las condiciones meteorológicas son fenómenos atmosféricos que intervienen en el estudio de la calidad del aire, por lo tanto, para la adquisición de datos se desarrolla una matriz de datos de cada fenómeno en el software Excel y posteriormente exportar la base de datos al software matemático de Ingeniería MATLAB®. Los datos adquiridos de la estación meteorológica se obtienen desde el mes de agosto del 2017 hasta el mes de Julio del 2018.

El modelo de la matriz se usa para los cinco fenómenos atmosféricos: humedad relativa (H.R), presión atmosférica (P.A), radiación solar (R.S), temperatura ambiente (T.A), velocidad del viento (V.V) (Jolliffe, 2012).

2.8. Adquisición de datos del tráfico de vehicular

Los datos que se registran del tráfico vehicular en el Centro Histórico de la ciudad de Cuenca se adquieren con la ayuda de Google Maps, para la visualización del comportamiento del tráfico en tiempo real en distintas matrices viales.

2.9. Índice del tráfico vehicular

El procedimiento para la recolección de una base de datos del tráfico vehicular se evalúa de acuerdo con el color del tráfico que presenta Google Maps en tiempo real, por lo tanto, en la Tabla 2 se presenta una codificación y cada color corresponde a un número que determina la intensidad del tráfico. Además, se presenta en Figura 6 la enumeración de cada nodo o intersección de las calles donde se realiza el estudio.



Figura 6 – Tráfico vehicular presente en Google Maps.

Color de trafico	Código de colores	Índice de trafico de colores
Verde	Trafico normal	1
Naranja	Trafico condicionado	2
Rojo	Trafico discontinuo	3
Rojo oscuro	Trafico saturado	4

Tabla 2 – Codificación de la intensidad del tráfico

En la Figura 7 se presenta el comportamiento del tráfico vehicular durante una semana, donde se puede observar los horarios de mayor tráfico: 6:00 a 8:00 horas, 12:00 a 14:00 horas y 17:00 a 19:00 horas.

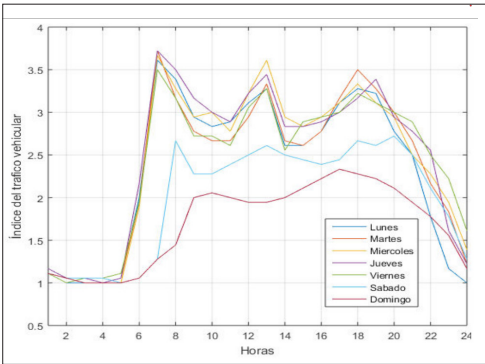


Figura 7 – Comportamiento del tráfico vehicular.

2.10. Análisis estadístico

Mediante un análisis estadístico descriptivo se determina un horario de mayor emisión de gases contaminantes, además, la elaboración del diagrama de cajas de todas las variables, caracterización de emisiones contaminantes sea semana laboral o fin de semana, y finalmente, la caracterización de todos los días de la semana durante un año.

2.11. Promedio mensual y diagrama de cajas del CO

El análisis estadístico descriptivo se usa para la obtención de gráficas del comportamiento mensual de los contaminantes (Jolliffe, 2012).

El promedio mensual del Monóxido de Carbono desde el mes de agosto de 2017 hasta Julio de 2018 se presenta en la Figura 6, con concentraciones máximas de CO en los horarios de 6:00 a 10:00 horas y el horario de 18:00 a 20:00 horas.

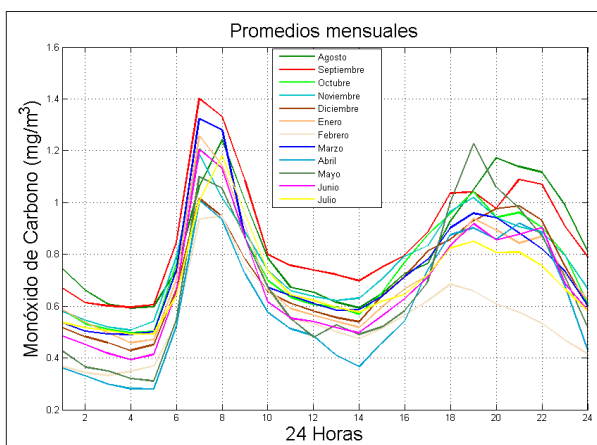


Figura 8 – Promedios mensuales del Monóxido de Carbono.

La Figura 9 se muestra el comportamiento mensual del CO mediante el uso del diagrama de cajas (Pabón, 2010), dando como resultado que en el mes de septiembre del 2017 existe un incremento de CO debido al inicio el año escolar y en el mes de Febrero del 2018 existe una disminución de CO por la finalización del mismo, se puede afirmar que en el diagrama de cajas el mes que tiene los valores más valores atípicos es diciembre debido al aumento del comercio por la navidad y a la movilización que esto genera, incrementando la emisión de contaminantes. Este efecto se puede verificar en fechas anteriores a navidad y fin de año, en donde el tráfico vehicular aumenta y en el día posterior a este disminuye.

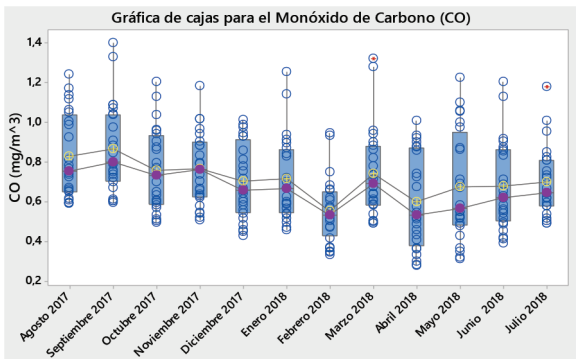
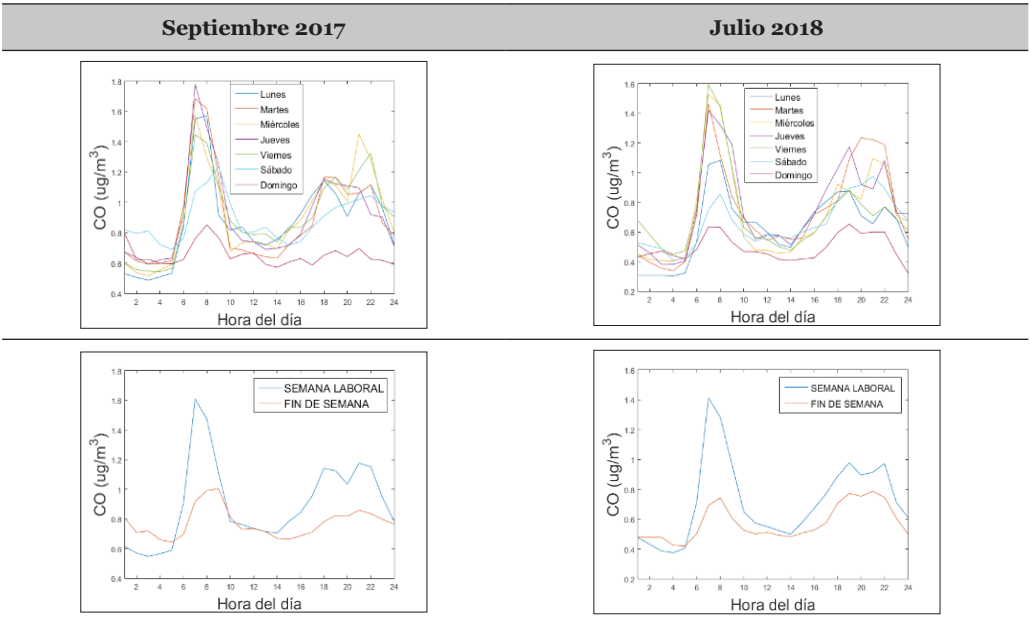


Figura 9 – Grafica de cajas para el Monóxido de Carbono.

2.12. Caracterización de las emisiones según los días de la semana

En la Tabla 3 se muestra el comportamiento del CO en función de la hora para cada uno de los días hábiles de la semana (Jolliffe, 2012), el comportamiento de la semana laboral y fin de semana, donde cada grafica muestra la variación de concentración del CO en el horario típico durante los meses de septiembre y julio. Por otra parte, las concentraciones máximas tienen lugar entre semana laboral y un descenso de emisiones en el fin de semana.



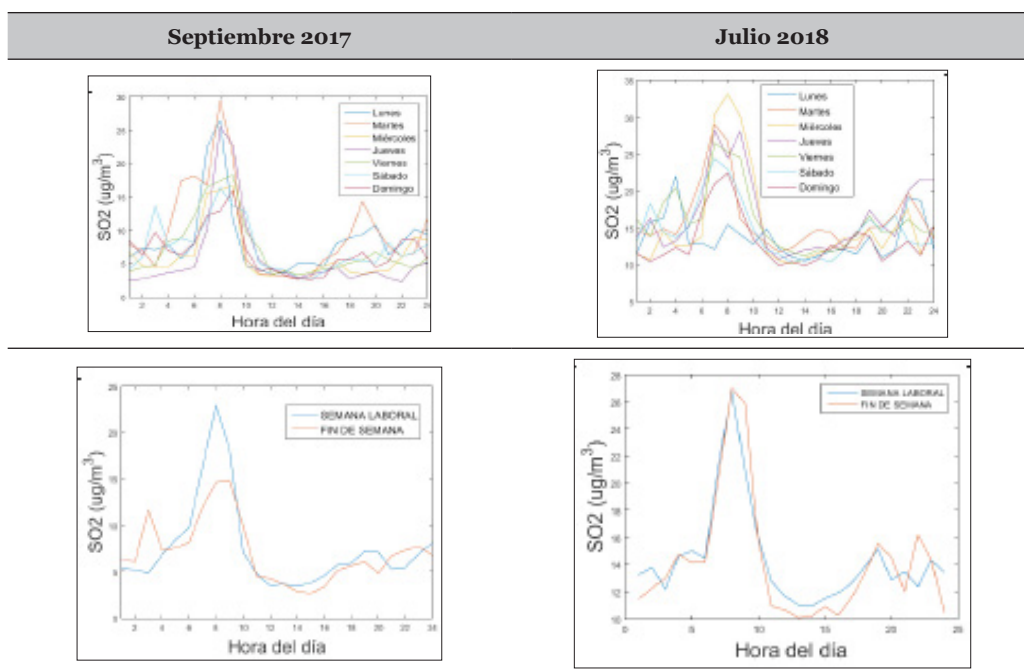


Tabla 3 – Caracterización de la emisión de CO.

3. Resultados

3.1. Análisis unidireccionales de varianza

En este apartado se realiza un análisis estadístico inferencial mediante el uso del ANOVA unidireccional y un análisis Multivariante aplicando Componentes Principales (Jolliffe, 2012).

3.2. ANOVA de un solo factor para el CO

El resultado del ANOVA unidireccional se presenta en la Tabla 4 cuyo dato importante en el análisis de varianza es el **p value**, con este valor se determina si las medias de los 12 meses son significativamente diferentes entre sí o sus medias son iguales. Se plantean dos hipótesis: hipótesis nula (todas las medias de meses de emisión del CO son iguales) e hipótesis alternativa (todas las medias de los meses de emisión del Monóxido de Carbono son diferentes). El valor de **p** para ANOVA es cero, entonces, es menor al nivel de significancia ($\alpha=0,05$); por lo tanto, hay diferencia significativa entre uno o más meses de las emisiones contaminantes del CO (Jolliffe, 2012).

Fuente	GL	SC Ajuste.	MC Ajuste.	Valor F	Valor p
Meses	11	2.019	0.18357	4.04	0.000
Error	276	12.533	0.04541		
Total	287	14.552			

Tabla 4 – Análisis ANOVA del CO.

En la Figura 7 se muestra las gráficas de residuos del CO, mediante la gráfica de probabilidad normal se determina que los datos se encuentran correctamente distribuidos, además, siguen la tendencia a la línea de regresión y se acepta la normalidad de los datos (Jolliffe, 2012). En la gráfica de residuo vs ajuste se distribuyen de forma aleatoria vertical según el valor ajustado, la cual se acepta una varianza constante. Finalmente, en la gráfica de orden vs residuo los datos están distribuidos de manera aleatoria sin acumulaciones de puntos y se encuentran sobre la línea de cero, garantizando que las muestras son válidas de modo que se acepta la independencia correcta de los resultados.

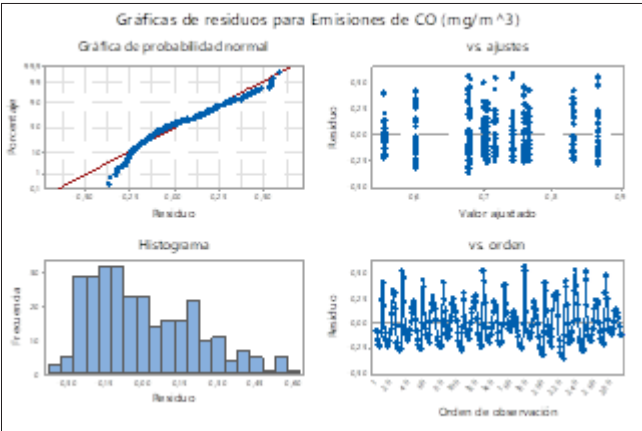


Figura 7 – Gráfica de cajas del CO.

3.3.Análisis de la relación entre gases contaminantes y el tráfico vehicular

Se utiliza el coeficiente de correlación de Pearson para lograr resultados lo más precisos posibles de la influencia del tráfico vehicular sobre la calidad del aire, también, uno de los métodos más conocidos para determinar las relaciones bivariantes es el gráfico de dispersión. En la Figura 8 contiene los siete gases contaminantes: CO, O3, NO, NO2, NOX, SO2 y MP2,5 y el tráfico vehicular. Si los puntos en la gráfica de dispersión se

forman a lo largo de la línea de regresión se considera una correlación positiva (+1) o negativa (-1) perfecta, como es el caso de la relación entre el NOx y el NO existe una relación de 0,95 y con un valor de relación entre el CO y el NOx de 0,82. Por otra parte, existe una ausencia de relación entre el SO2 y el NO2 con un valor de relación igual a cero. En la Tabla 5 se presenta la relación que existe entre el tráfico vehicular y los gases contaminantes.

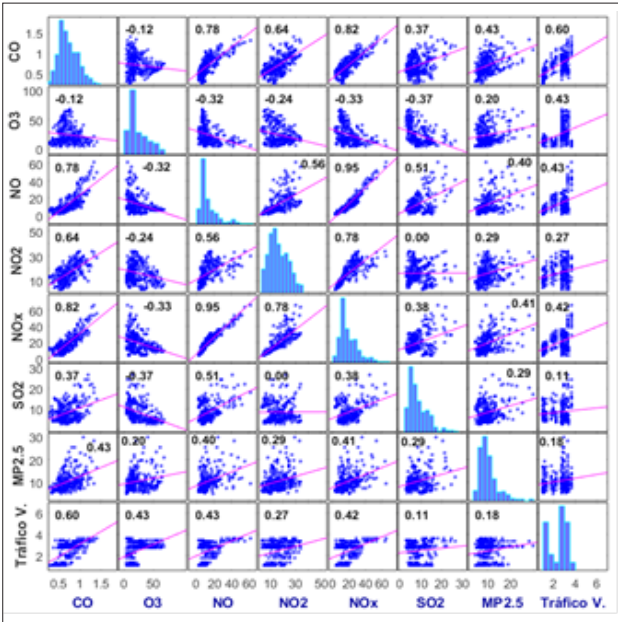


Figura 8 – Correlación de las variables de entrada vs salida.

Correlación muy débil (0.00 a 0.19)	Trafico V. vs SO2 (0.11) y Trafico V. vs MP2.5 (0.18)
Correlación débil (0.20 a 0.39)	Trafico V. vs NO2 (0.27)
Correlación moderada (0.40 a 0.69)	Trafico V. vs CO (0.60) Trafico V. vs NO (0.43) Trafico V. vs NOx (0.42) y Trafico V. vs O3 (0.11)

Tabla 5 – Correlación de las variables de entrada vs. Salida.

3.4.Análisis de la relación entre variables meteorológicas y emisiones contaminantes

En la Tabla 6 se presenta el resultado de la relación que existe entre las variables meteorológicas y los gases contaminantes.

Correlación muy débil (0,00 a 0,19)	T.A vs CO (-0.10), PA vs CO (0.07), H.R vs CO (0.04), V.V vs CO (0.07), P.A vs O₃ (-0.13), T.A vs NO₂ (-0.14), P.A vs NO₂ (-0.15), V.V vs NO₂ (-0.08), P.A vs NOX (0.09), V.V vs NOX (-0.19), T.A vs MP2.5 (-0.16), H.R vs MP2.5 (0.06), R.S vs MP2.5 (0.12), V.V vs MP2.5 (-0.15)
<i>Correlación débil (0.20 a 0.39)</i>	R.S vs CO (-0.21), T.A vs NO (-0.36), P.A vs NO (0.20), H.R vs NO (0.39), R.S vs NO (-0.25), V.V vs NO (-0.22), H.R vs NO ₂ (0.21), R.S vs NO ₂ (-0.36), T.A vs NOX (-0.32), H.R vs NOX (0.37), R.S vs NOX (-0.31), H.R vs SO ₂ (0.39), R.S vs SO ₂ (-0.25), V.V vs SO ₂ (-0.38).
<i>Correlación moderada (0.40 a 0.69)</i>	V.V vs O ₃ (0.49), T.A vs SO ₂ (-0.53), P.A vs SO ₂ (0.54), P.A vs MP2.5 (0.40)
<i>Correlación fuerte (0.70 a 0.89)</i>	T.A vs O ₃ (0.78), H.R vs O ₃ (-0.83)
<i>Correlación muy fuerte (0.90 a 1.00)</i>	R.S vs O ₃ (0.90)

Tabla 6 – Matriz de correlación entre variables meteorológicas y gases contaminantes.

3.5. Análisis de componentes principales

El objetivo principal del PCA es reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos que consiste en un gran número de variables Inter correlacionadas, mientras retiene la mayor cantidad posible de la variación presente en el conjunto de datos sin la mayor pérdida de información

El PCA se realiza en el software matemático MATLAB® y cada variable contiene 288 muestras, con un total de 3744 datos en conjunto con las 13 variables.

3.6. Gráfica de sedimentación

En la Figura 9 se presenta específicamente los primeros 7 componentes principales (en lugar de 13), debido a que explican aproximadamente el 96,50% de la varianza total.

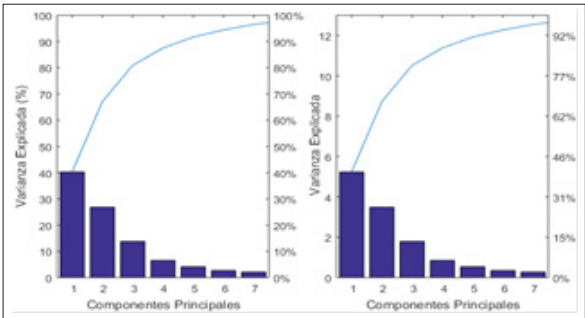


Figura 9 – Gráfica de los datos expresadas de sedimentación. Fuente. Autores

En la Tabla 7 el primer componente explica el 40.25% de la varianza, el segundo componente principal explica el 26,85% de la varianza y el tercer componente explica el 13.80% de la varianza, por lo tanto, los primeros tres componentes explican aproximadamente el 81% de la variabilidad total y es equivalente a pasar de 13 variables a solamente 3 CP.

Nº	Valor propio	% Proporción	% Acumulada
1	5,233053506	40,2542577	40,30
2	3,491244513	26,855727	67,00
3	1,794389365	13,8029951	80,90
4	0,858382298	6,60294076	87,50
5	0,541593009	4,16610007	91,70
6	0,352314876	2,71011443	94,40
7	0,274106258	2,10850968	96,50
8	0,188376876	1,44905289	97,90
9	0,118352864	0,91040665	98,90
10	0,082081031	0,63139255	99,50
11	0,038764345	0,29818727	99,80
12	0,026640005	0,20492311	100,00
13	0,000701054	0,00539272	100,00

Tabla 7 – Resultados de los valores de sedimentación.

Además, las variables que tienen más correlación con el primer CP son (ver Tabla 8): la temperatura del aire (0,379), humedad relativa (-0,374), radiación solar (0,33), ozono (0,342), y óxido nítrico (-0,309), cabe recalcar que el primer componente se correlaciona positivamente con la temperatura del aire, radiación solar y el ozono. Por último, es importante mencionar que mientras mayor es el valor absoluto del coeficiente, más importante es dicha variable en el cálculo de las CP.

3.7. Análisis de la gráfica de doble proyección de los dos primeros componentes

En las Figuras 10 y 11 muestran la conglomeración de las variables de ruido, variable de entrada y variables de respuesta en 2D (CP1 y CP2) Y 3D (CP1, CP2 y CP3). El alcance de cada una de las variables que se muestran, es directamente proporcional a su longitud vectorial a partir de su punto de origen, y así mismo el ángulo entre dos variables es inversamente proporcional a la correlación entre ellas (a menor ángulo existe una mayor relación y a mayor ángulo menor relación), por ejemplo, el ángulo entre las variables (NO vs NOX) y (RS vs O₃) es muy pequeño, mostrando una alta correlación, mientras que las variables como (PA, HR, VV) no están nada relacionados con el tráfico vehicular.

Variables	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11	PC12	PC13
T.A	0,379	0,222	-0,054	-0,025	0,196	-0,11	-0,07	-0,068	0,3	0,433	0,516	-0,446	-0,024
P.A	-0,193	-0,073	0,584	0,015	0,105	-0,42	0,584	0,22	0,163	0,068	-0,016	-0,09	0,001
H.R	-0,374	-0,223	-0,062	0,072	0,02	0,351	0,13	0,107	0,171	-0,401	0,677	-0,029	-0,034
R.S	0,33	0,189	0,334	0,029	0,231	0,368	0,002	0,253	0,04	0,163	0,148	0,663	-0,013
V.V	0,278	0,194	-0,24	-0,181	-0,701	0,08	0,365	0,35	0,196	-0,051	-0,01	0,004	0,001
CO	-0,211	0,423	-0,068	-0,105	-0,187	-0,357	0,136	-0,359	-0,407	0,065	0,404	0,343	-0,017
O3	0,342	0,208	0,264	0,224	0,014	0,095	0,025	0,183	-0,61	-0,385	0,084	-0,386	0,008
NO	-0,309	0,328	0,002	-0,135	0,104	0,466	0,246	-0,076	-0,094	0,239	-0,2	-0,221	-0,574
NO2	-0,21	0,291	-0,334	0,413	0,17	-0,334	-0,197	0,571	0,062	-0,03	-0,023	0,085	-0,267
NOX	-0,307	0,354	-0,119	0,052	0,142	0,242	0,125	0,13	-0,03	0,17	-0,103	-0,126	0,772
SO2	-0,271	0,056	0,356	-0,53	-0,219	-0,036	-0,551	0,355	-0,071	0,091	0,101	-0,114	0,01
MP2.5	-0,132	0,239	0,393	0,57	-0,441	0,106	-0,254	-0,279	0,307	0,014	-0,039	-0,036	-0,007
Trafico V.	0,081	0,472	0,049	-0,319	0,258	-0,098	-0,048	-0,185	0,404	-0,608	-0,142	0,006	-0,001

Tabla 8 – Resultados de los componentes principales.

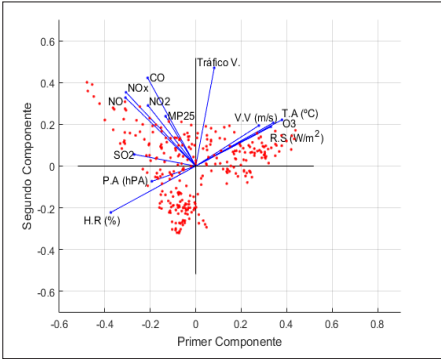


Figura 10 – Grafica de doble proyección CP.

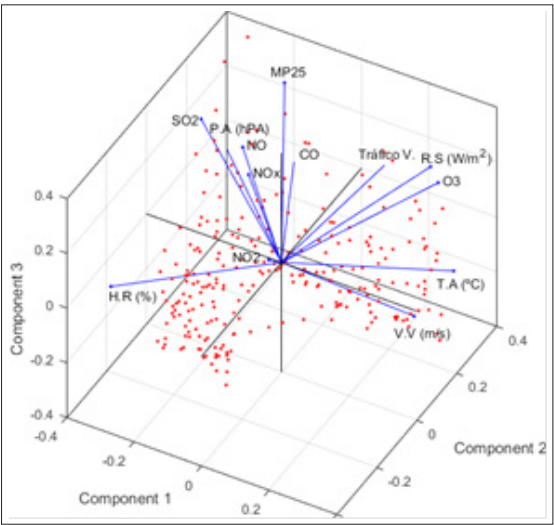


Figura 11 – Grafica de doble proyección CP 3D.

4. Conclusiones

En este proyecto se analizó la incidencia del tráfico vehicular y su relación con la calidad del aire en el Centro Histórico. La contaminación causada por los vehículos en el Centro Histórico aporta al nivel del cantón Cuenca los siguientes resultados: CO (60%), NO (43%), NO₂ (27%), NOX (42%), SO₂ (11%) y MP_{2.5} (18%).

Acorde al ANOVA el nivel de emisiones contiene diferencias significativas entre meses debido a las actividades económicas que generan variaciones en el tráfico en diferentes meses.

Los horarios con mayores emisiones de gases contaminantes emitidas a la atmosfera proporcionaron resultados relevantes, el horario de mayor emisión tiene lugar entre las 6:00 a 9:00 horas con valores picos registrados a las 7:00 horas para todos los meses de análisis a excepción de los meses de agosto del 2017 y julio del 2018 que muestra valores picos a las 8:00 horas, el motivo del desfase horario se debe a la finalización de las actividades académicas. Además, a las 14:00 horas las concentraciones de gases son menores, por otra parte, hay un incremento de emisiones entre las 17:00 a 19:00 horas debido a la finalización de las actividades laborales.

Se verificó mediante los índices de tráfico vehicular que existe gran variación del flujo vehicular en el sector del Centro Histórico, en la cual se concluye que las horas pico son a las 7:00 a 8:00 horas, 12:00 a 13:00 horas y de 18:00 a 19:00 horas, por lo que coincide con el inicio y final de la jornada laboral.

Con respecto a la incidencia de las variables meteorológicas se obtuvo que la radiación solar y la temperatura ambiente tienen mayor influencia sobre la generación de O₃ con valores del 90% y 78% respectivamente.

5. Reconocimientos

Se agradece de manera especial a la empresa EMOV por la disponibilidad de los datos del informe de la “Calidad del aire en Cuenca” y a la Universidad Politécnica Salesiana (Empresa Pública de Movilidad, 2016) por la base de datos de sus estaciones meteorológicas, a los Ingenieros Jhon Morocho y Luis Valdez por la recopilación de la información.

Referencias

- Empresa Pública de Movilidad. (2016). *Informe de Calidad del aire en la ciudad de Cuenca durante el año 2016*. CUENCA: EMOV.
- Google Maps. (s.f.). *Google Maps*. (Google) Recuperado el 13 de 10 de 2019, de <https://www.google.com/maps/search/gran+colombia/@-2.8874942,-78.9681608,15z>
- Jerves, R., & Armijos–Arcos, F. (2014). Análisis y revisión de la red de monitoreo de calidad del aire de la ciudad de Cuenca, Ecuador. *La granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 7-10.

- Jolliffe, I. (2012). *Principal Component Analysis, Second Edition*. Nueva York: Springer.
- Limas, D. (2016). *Incidencia del flujo vehicular en la calidad del aire por NO₂ y SO₂*. Lima: Universidad Nacional Federico Villarreal.
- MathWorks®. (13 de 10 de 2018). *Análisis de Componentes Principales (PCA)*. Recuperado el Domingo de Octubre de 2019, de <https://la.mathworks.com/help/stats/principal-component-analysispca>.
- Moscoso-Vanegas, D., Vázquez-Frerire, V., & Astudillo-Alemán, A. (2015). *Modelamiento de la calidad del aire en la ciudad de Cuenca-Ecuador*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-17982015000200010&lng=en&nrm=iso>
- Organización Mundial de la Salud. (2 de Mayo de 2018). *Calidad del aire y salud*. Obtenido de OMS: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Pabón, H. J. (2010). *Probabilidad y estadística con MATLAB*. Fusagasugá: Universidad de Cundinamarca.
- Rodríguez, L. Z. (2010). Determinación de los niveles de concentración de dióxido de azufre en los puntos críticos de la congestión vehicular en el centro histórico de la ciudad de Trujillo. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo.
- Rovira, A. M. (2015). *Motores de combustión interna*. Madrid: UNED.

Caracterización del Parque Automotor Perteneciente a la Categoría M1 del Cantón Cuenca en Función a sus Propiedades Constructivas y Niveles de Emisión

Joselyn Morales¹, Gabriel Rodríguez¹, Néstor Rivera¹, Karina Bermeo¹

jmoralese1@est.ups.edu.ec, grodriguezgf@est.ups.edu.ec, nrivera@ups.edu.ec, abermeon@ups.edu.ec

¹ Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

Pages: 381–390

Resumen: La mayor fuente de contaminación en la ciudad de Cuenca es ocasionada por el parque automotor, los datos registrados por la EMOV EP (Empresa Pública Municipal De Movilidad, Tránsito Y Transporte De Cuenca) documentos del "Inventario de emisiones"; presentan una metodología no adecuada para el cálculo de emisiones contaminantes, debido a que no se ajustan a la realidad de la ciudad de Cuenca para obtener sus resultados, pues existen métodos utilizados en el extranjero que tienen en cuenta características propias de vehículos europeos y estadounidense. La presente investigación señala las distintas metodologías utilizadas en diferentes países para la conjetura de emisiones contaminantes proponiendo una caracterización correspondiente a Cuenca, con las cifras reales de vehículos de la ciudad, con todas sus propiedades y niveles de emisión de gases contaminantes. Finalmente se presenta un análisis estadístico para determinar el factor de emisión existente en los vehículos analizados y de esta manera los índices de contaminación dependiendo de las distintas marcas y modelos pues en el factor de emisión adquirido no representa a todo el parque automotor de Cuenca por que calcula para un vehículo y se multiplica para el número de automóviles existentes dentro de la base de datos, sin tomar en cuenta las marcas, modelos y año de fabricación del vehículo.

Palabras-clave: Fuentes móviles de contaminación; inventario de emisiones; parque automotor.

Characterization of the Vehicles Fleet Which Belong to the M1 Category of the Canton Cuenca According to its Constructive Properties and Levels of Emission

Abstract: The largest source of pollution in the city of Cuenca is caused by the car fleet, the data recorded by the EMOV EP (Municipal Public Company of Mobility, Transit and Transportation of Cuenca) documents of the "Inventory of emissions"; they present an unsuitable methodology for the calculation of polluting emissions, because they do not conform to the reality of the city of Cuenca to obtain their results, as there are methods used abroad that take into account characteristics of

European and American vehicles. The present investigation points out the different methodologies used in different countries for the conjecture of polluting emissions, proposing a characterization corresponding to Cuenca, with the real figures of vehicles in the city, with all their properties and emission levels of polluting gases. Finally, a statistical analysis is presented to determine the emission factor existing in the vehicles analyzed and in this way the pollution indices depending on the different brands and models because in the acquired emission factor it does not represent the entire automotive park of Cuenca because Calculates for a vehicle and multiplies for the number of existing cars within the database, without taking into account the makes, models and year of manufacture of the vehicle.

Keywords: Statistical Analysis; Source of Pollution; Emissions Inventory; Vehicles Fleet.

1. Introducción

A través de los años la necesidad de movilidad ha aumentado, por lo tanto, también un crecimiento exponencial del parque automotriz, coadyuvando el aumento la contaminación ambiental, por la emisión de gases contaminantes que producen los vehículos dotados de motor de combustión interna. La concentración de gases contaminantes en la ciudad, se da a conocer mediante el Inventario de Emisiones Atmosféricas del Cantón Cuenca (EMOV, 2014) e Informe de calidad de aire de Cuenca (EMOV, 2014); (EMOVEP, 2014), cuyos datos son recolectados por la EMOVEP mediante metodologías (IPCC, 2015); (Davis, Lents, Osses, Nikkila, & Barth, 2015), desarrolladas para otras ciudades y países (INECC, 2015); (IBOCA, 2018), aplicando los factores de emisión utilizados para el Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México del año 2004 (EMOV, 2014), cuyo parque automotor posee características diferentes al de la ciudad de Cuenca (Ntziachristos & Samaras, 2000); (Guenther, et al., 1995); (Michigan Department of Environment Quality, 2007).

Este método determina el total de emisiones, multiplicando el factor de emisión de un vehículo por la actividad vehicular y el número total de vehículos (INEN, 2016), esto quiere decir que no diferencian las características constructivas de los vehículos y por ende su diferente comportamiento en cuanto a emisiones contaminantes (INEN, 2019). El método planteado, considera características de cada vehículo, diferenciado sus patrones de conducción, generalizando por marcas, proyectando una mejora en la recopilación de los datos de los gases contaminantes. Finalmente, el resultado total arrojado con este método distaría de los datos reales teniendo en cuenta las características de cada vehículo (INEN, 2016) y sus niveles de emisión de contaminantes.

2. Métodos

En el ámbito de la calidad del aire, el parque automotriz es un contribuyente significativo, siendo este un objeto de análisis debido a su rápido crecimiento sobre todo en los países en desarrollo. Para poder estimar los impactos capaces de predecir dichas emisiones dependiendo de los tipos de vehículos, comportamiento de manejo, combustible local, etc., muchas naciones como Estados Unidos y Europa han desarrollado modelos de

emisiones sumamente complejos, algunos de los modelos usados en los países del mundo son: MOBILE, MOVES, IVE y COPERT.

2.1. Modelo MOBILE

El modelo desarrollado por la EPA es un software utilizado para calcular los factores de emisiones contaminantes en vehículos con motor a gasolina y diésel en Estados Unidos. Cabe mencionar que este software recibe actualizaciones a tal punto que su versión MOBILE 6.2 ofrece una herramienta analítica con la que se puede considerar condiciones geográficas y características del parque automotor, aparte de otras variables como temperatura ambiente, calidad del combustible, entre otras. Permite calcular (Monóxido de carbono), (Óxidos nitrosos), (Óxidos de azufre) e (Hidrocarburos) (Gómez, 2009). El modelo MOBILE 6 tiene la posibilidad de asumir factores de emisión para 28 categorías vehiculares (Environmental Protection Agency, 2001).

2.2. Modelo MOVES

Realizado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, es un modelo que trabaja con distintas plataformas, el sistema da cabida a estimar emisiones para distintos tipos de contaminantes, basándose en la metodología de PSV (Potencia Específica Vehicular)), la cual da una mejor estimación en función de patrones de conducción. La EPA (Environmental Protection Agency) propone que cuando el modelo MOVES este muy bien finalizado, va a reemplazar a los modelos MOBILE y NONROAD, este modelo clasifica 13 categorías vehiculares (Gómez, 2009).

2.3. Modelo IVE

El presente modelo fue desarrollado para naciones en vías de desarrollo, el cual es un modelo de computadora independiente que estima las emisiones de los vehículos para cualquier área, dando tres tipos de entradas. Estas entradas consisten en: 1) la tecnología del motor y el control de distribución complementario en la flota de vehículos; 2) comportamiento de manejo de los diferentes tipos de vehículos que viajan en carreteras locales; y 3) factores específicos de emisiones de los vehículos locales (Davis, Lents, Osses, Nikkila, & Barth, 2015). Cabe recalcar que genera resultados que difieren en un $\pm 10\%$ con respecto a los factores de emisión generados con el modelo MOBILE6.

2.4. Modelo COPERT

El modelo COPERT es utilizado en algunos países europeos para recolectar información oficial de emisiones y se utiliza para calcular emisiones de los medios de transporte locales. Contiene factores de emisiones para más de 240 tipos de vehículos de la Unión Europea, incluyendo: vehículos de pasajeros, vehículos de baja carga, vehículos de elevada carga (incluye buses) y motocicletas. Los contaminantes que puede analizar son (Dióxido de Carbono), (Dióxido de azufre), (Plomo), (Cadmio), Cr (Cromo), (Cobre), (Níquel), (Selenio) y (Zinc) (Incluye todos los contaminantes principales).

En la ciudad de Cuenca la EMOV EP al publicar su Inventario de Emisiones Atmosféricas del Cantón Cuenca se puede notar como es referenciado al modelo COPERT III (Versión

2.1). Razón por la cual se da a entender que fue la metodología escogida para la clasificación del parque automotor, además que es el único modelo mencionado en dicho documento. Cabe recalcar que este modelo tiene una desviación de la realidad debido a que es basado para flotas vehiculares de la Unión Europea. En esta región los vehículos difieren en características técnicas de construcción y funcionamiento con el parque automotor de vehículos que circulan en la ciudad. Esta es la razón por la que se plantea una metodología propia para caracterizar el parque automotor existente en Cuenca.

2.5. Metodología aplicada

Los vehículos por tomar en cuenta para este estudio fueron todos los que pertenecen a la categoría M1, las cuales son clasificados en la NTE INEN 2656. La base de datos de la cual se partió fue otorgada por la EMOV EP en la cual consta todos los vehículos que asistieron a la RTV (Revisión técnica vehicular) en la ciudad de Cuenca en el año 2014.

En la base de datos de la EMOV EP constan 66317 vehículos que acudieron a la revisión técnica vehicular del 2014. En esta revisión se recolecta datos de pruebas mecátrónicas y de emisiones de los vehículos. Cabe notar que el proceso de adquisición de los datos se recolectan valores atípicos que aparecen reflejados en las gráficas realizadas. Esto se da debido a los defectos en el proceso de medición, por falta de mantenimiento del equipo, vehículo frío, tiempo de espera y eliminación de los gases del equipo para las siguientes mediciones; y claro está también, por vehículos de malas condiciones de funcionamiento.

Para filtrar los vehículos se procedió a codificarlos en intervalos de años de fabricación y según su marca. Por parte de la marca se codifica de tal manera que de las 30 marcas que asistieron a la revisión técnica vehicular se muestra las 6 más frecuentes y las demás se muestran bajo el nombre de otras. Por parte de la codificación en función del año de fabricación se procede a agrupar intervalos de tal manera que en los primeros años se abarca un rango de mayor amplitud ya que los modelos antiguos son escasos en comparación con modelos más actuales que tienen mayor densidad poblacional.

Finalmente se aplicó una metodología de clasificación basada en el año de fabricación de los vehículos debido a que es la raíz del problema por el cual no se puede acoger modelos desarrollados en países de primer mundo. Esto se da debido a que en dichos países se cuentan con vehículos cuyos sistemas de anticontaminación son de última tecnología además que sus modelos tienden a ser renovados con mayor frecuencia. Mientras que en Cuenca se tiene en circulación aun a vehículos de años inferiores al 2000, razón por la cual sus sistemas de alimentación no presentan una eficiencia acorde al tiempo actual, sin considerar claro que en esa época gran cantidad de vehículos no presentaban sistemas de anticontaminación.

3. Resultados

Natoria, la marca Chevrolet (1) la cual se encontraba para ese año con un total de 30731 unidades (46.36% del parque automotor) seguida de Hyundai (2) con 7182 unidades (10.83% del parque automotor) y finalmente en tercer puesto estaba Toyota (3) con 6056 unidades (9.13% del parque automotor). Debido a que se contaba con una amplia

diversidad de marcas, en la última categoría se agrupo a 24 marcas que no presentaban mayor número de unidades individualmente. También se puede notar la cantidad de vehículos por año de fabricación, en esta grafica se muestra como en el año 2014 asistieron a la RTV mayor cantidad de vehículos entre el año 2006 al 2010.

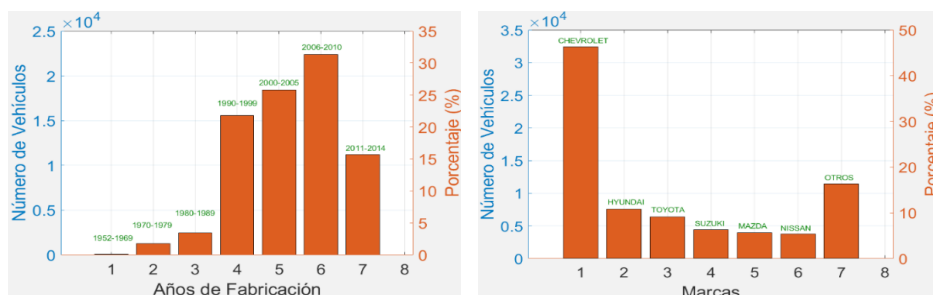


Figura 1 – Presencia de las marcas en la ciudad de Cuenca, en el año 2014 según el año de fabricación.

Se puede observar en la Figura 2 como en el intervalo de 1952 a 1969 se da la mayor emisión de HC a Ralentí con una mediana ubicada en 715ppm. En cuanto a la menor emisión fue dada en el intervalo de 2011 al 2014 con una mediana de 23 ppm de HC a Ralentí. Se puede observar cómo redujo el nivel de emisiones de HC a Ralentí con respecto al aumento del año del vehículo. También se puede apreciar como la marca que más HC aporta es la numero 6 con una mediana de 251 ppm.

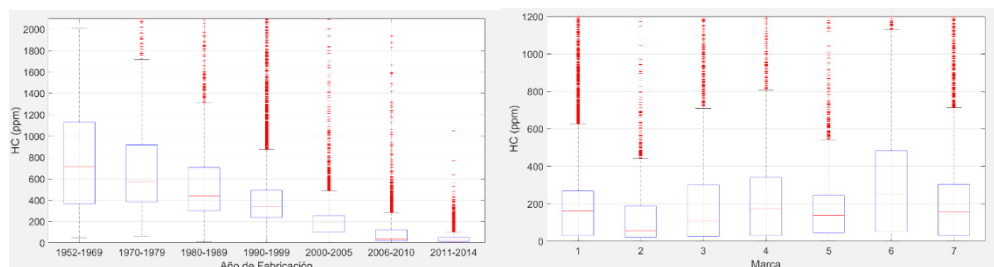


Figura 2 – Emisión de HC a Ralentí según el año de fabricación y marca.

Como se muestra en la Figura 3 el intervalo que va desde el 2011 al 2014 es el que menor emisión de HC a 2500 RPM posee, con apenas una mediana de 27 ppm, al contrario del intervalo de 1952 a 1969 el cual fue el que más cantidad de HC no combustionado emitió a 2500 RPM, con una mediana de 309 ppm de HC. Seguidamente se puede apreciar la relación entre las marcas y la cantidad de HC emitidos. La marca 6 mantiene con una mediana de 132 ppm la mayor cantidad de emisiones de HC.

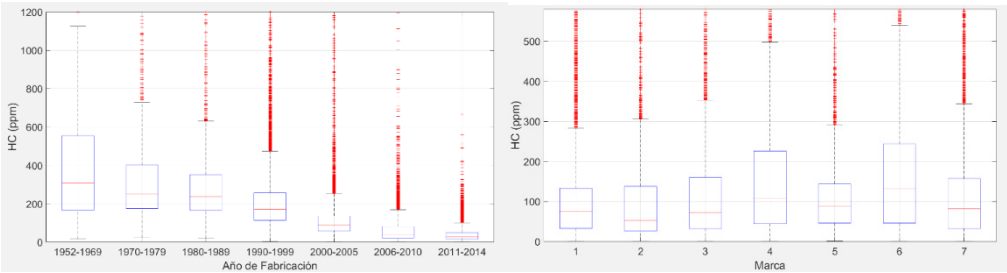


Figura 3 – Emisión de HC a 2500 RPM, según el año de fabricación y marca.

Con ayuda de la Figura 4 se puede notar claramente que el intervalo que mayor aportación de CO a Ralentí tuvo es de 1952 a 1969 con una mediana de 4.9%, por el contrario, el intervalo que menos CO a Ralentí marco fue del 2011 al 2014 con apenas 0.01% respectivamente. Análogamente la marca 3 fue la que tuvo menos emisiones con apenas una mediana de 0.09% en comparación con la marca 6 que tuvo la mediana de 0.42% de CO a Ralentí.

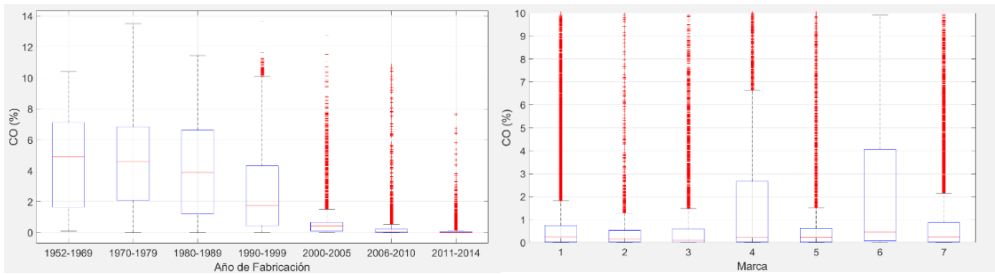


Figura 4 – Emisión de CO a Ralentí, según el año de fabricación y marca.

En la Figura 5, el intervalo de 2011 al 2014 fue quien menos CO a 2500 RPM emitió, con una mediana muy baja de 0.02% de CO, de manera contraria, el intervalo de 1952 a 1969 tuvo un valor excesivo de emisión comparado con el anterior, este intervalo marco una mediana de 4.3% de CO a 2500 RPM, notando como a medida que el año del vehículo era más antiguo se generaba mayores emisiones. Simultáneamente la marca con mayores emisiones de CO fue la numero 6 con 0.84%.

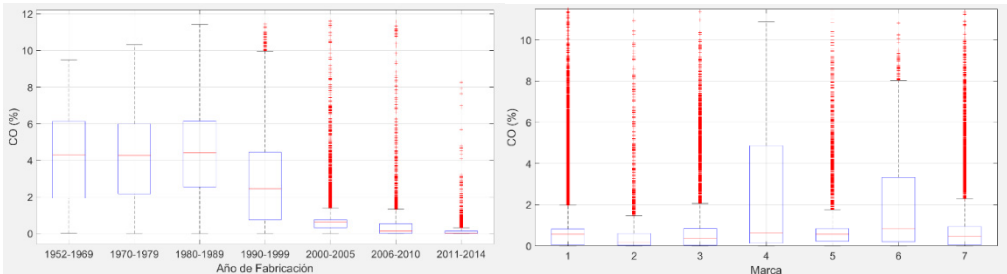


Figura 5 – Emisión de CO a 2500 RPM, según el año de fabricación y marca.

Como se observa en la Figura 6, el intervalo de 1952 a 1969 tuvo lugar a la menor emisión de CO2 a altas RPM con una mediana de 10.88%. En cuanto a la mayor emisión de CO2 fue registrada en el intervalo de 2011 al 2014 con una mediana de 14.72%. Se puede apreciar de igual manera como la marca 4 es la que emite menos CO2 a altas RPM con una mediana de 13.37%.

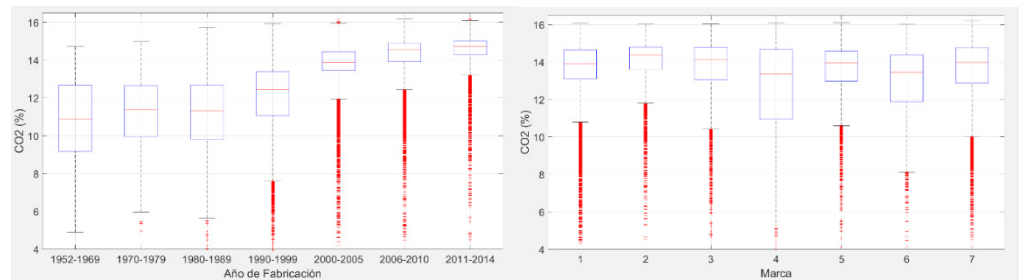


Figura 6 – Emisión de CO2 a altas RPM, según el año de fabricación y marca.

En la Tabla 1, se plasma un resumen de las medianas calculadas del CO2, CO y HC, tanto en ralentí como a 2500 RPM, las cuales fueron calculadas según los años de fabricación de los vehículos dentro del parque automotor, obteniendo valores reales del factor de emisión acorde a las características de la ciudad de Cuenca. Siendo el HC a Ralentí el gas más perjudicial para la calidad del aire de la ciudad.

		Emisiones contaminantes				
		HC a 2500 RPM (ppm)	HC a Ralentí (ppm)	CO a Ralentí (%)	CO a 2500 RPM (%)	CO2 a ALTAS RPM (%)
Periodo de años	1952-1969	309.00	715.00	4.90	4.30	10.88
	1970-1979	252.00	576.00	4.59	4.26	11.39
	1980-1989	237.00	441.50	3.90	4.42	11.32
	1990-1999	172.00	337.00	1.76	2.45	12.44
	2000-2005	89.00	191.00	0.43	0.63	13.89
	2006-2010	40.00	37.00	0.04	0.13	14.54
	2011-2014	27.00	23.00	0.01	0.02	14.72
Desviación estándar		110.95	264.77	2.19	2.04	1.63

Tabla 1 – Emisiones contaminantes en función al año de fabricación de los vehículos.

En la Tabla 2, se puede observar el CO2, CO y HC, tanto en ralentí como a 2500 RPM, según las marcas de vehículos presentes en el parque automotor de Cuenca. De esta manera se obtiene valores reales del factor de emisión acorde a las características de la ciudad. Siendo el CO a Ralentí la emisión menos perjudicial para la calidad del aire de Cuenca.

		Emisiones contaminantes				
		HC a 2500 RPM (ppm)	HC a Ralentí (ppm)	CO a Ralentí (%)	CO a 2500 RPM (%)	CO2 a ALTAS RPM (%)
Marcas de Vehículos	1	75.00	163.00	0.25	0.57	13.92
	2	0.17	53.00	0.16	0.50	99.00
	3	0.09	72.00	0.36	0.53	99.00
	4	109.00	175.00	0.21	0.64	13.37
	5	88.00	139.00	0.22	0.57	13.95
	6	132.00	251.00	0.45	0.84	13.44
	7	82.00	157.00	0.24	0.46	13.98
Desviación estándar		51.02	66.37	0.10	0.13	41.61

Tabla 2 – Emisiones contaminantes en función a la marca de los vehículos.

4. Conclusiones e implicaciones sociales

Los altos costos han impedido el desarrollo de un modelo propio, ajustado a la realidad del parque automotor de la ciudad de Cuenca, obligando a utilizar modelos extranjeros como el COPERT, el cual no ofrece resultados que se apeguen a la situación actual del parque automotor de la ciudad.

Una de las principales razones del alto nivel de contaminación ambiental proveniente de fuentes móviles se debe a que el parque automotor de la ciudad de Cuenca y del país en general es antiguo, con una gran cantidad de vehículos mayores a 25 años, vehículos que no cuentan con sistema de inyección eficiente ni sistemas de control de emisiones.

Con el análisis de los datos obtenidos, se pudo comprobar que el modelo de vehículo con más presencia en el parque automotor local no es el mejor tecnológicamente ya que no cuenta con un sistema de inyección eficiente, ni con ningún sistema de control de emisiones, además de ser modelo de más de 25 años, siendo quien más gases contaminantes emite en el análisis del año 2014, por el contrario, el modelo de vehículo con el nivel de emisiones más bajo cuenta con una presencia relativamente baja. Esto nos da a entender que para menguar el problema de contaminación proveniente de fuentes móviles debemos renovar el parque automotor.

En la ciudad de Cuenca existen vehículos desde el año 1952 los cuales tienen altos niveles de contaminación debido a su falta de tecnologías, aunque debido a que estos vehículos tienen menos presencia, son los vehículos que a la final contaminan menos, en cambio los vehículos más actuales han mejorado exponencialmente sus tecnologías, ayudando a reducir la contaminación ambiental por vehículo, pero si se toma en cuenta la cantidad de vehículos nuevos que hay en la ciudad se puede decir que son estos los que emiten un mayor volumen de emisiones contaminante hacia el medio ambiente.

Los promedios mínimos medidos se encuentra la marca 2, quien aparece en la mayor cantidad de los ítems analizados, además de encontrarse también en un ítem de promedio máximo, tal como $[(CO)]_2$, el alto nivel de emanación de $[(CO)]_2$ se relaciona

directamente con los bajos niveles de emanación de HC y CO; esto nos dice que la combustión de marca es eficiente, por lo tanto cuenta con un sistema de inyección moderno además de sistemas de control de emisiones. La marca 2 representa un 10.83% de los vehículos analizados, siendo el segundo con mayor presencia en el parque automotor analizado.

El factor de emisión determinado, demuestra que las emisiones obtenidas según el modelo de caracterización planteado, verifica que el gas contaminante con mayor impacto en la calidad del aire de la ciudad de Cuenca, es el HC con 110.95 ppm a 2500 RPM 264.77 ppm en ralentí, según el año de fabricación de vehículos. Y según las marcas presente en el parque automotor el HC es el gas contaminante predominante con 51.02 ppm a 2500 RPM y 66.37 ppm en ralentí.

5. Reconocimientos

Agradecimientos a la EMOV (Empresa Pública Municipal De Movilidad, Tránsito Y Transporte De Cuenca) por brindarnos su colaboración con la información de la base de datos las revisiones técnicas vehicular en la ciudad de Cuenca, en los años 2008 a 2017 y a Cristian Vinicio Escobar Torres y Jhoe Bladimir Gordillo Ochoa por su cooperación en el estudio.

Referencias

- Davis, N., Lents, J., Osses, M., Nikkila, N., & Barth, M. (2015). Development and Application of an International Vehicle Emission Model. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 156-165.
- EMOV. (2014). *Informe de calidad de aire Cuenca 2014*. Cuenca: EMOV.
- EMOV. (2014). *Inventario de Emisiones Atmosféricas del Cantón Cuenca 2014*. Cuenca: EMOV.
- EMOV EP. (2014). *Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Cuenca de la EMOV EP. 2014*. Cuenca: EMOV.
- Environmental Protection Agency. (2001). *Draft User's Guide to MOBILE*. USA: EPA.
- Gómez, R. (2009). *Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades mexicanas*. Ciudad de México: Instituto Nacional de Ecología.
- Guenther, A., Hewitt, C., Erickson, D., Fall, R., Geron, C., Graedel, T., . . . Zimmerman, P. (1995). A global model of natural volatile organic compound emissions. *Journal of Geophysical Research*, 8873-8892.
- IBOCA. (2018). *Calidad del aire en Bogotá*. Obtenido de Índice Bogotano de Calidad de Aire: <http://ambientebogota.gov.co/calidad->
- INECC. (2015). *Informe Nacional de Calidad del Aire 2014, México. Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental, Dirección de Investigación sobre la Calidad del Aire y los Contaminantes Climáticos*. Ciudad de México: INECC.

- INEN. (2016). *NTE INEN 2656. Clasificación vehicular*. Quito: INEN.
- INEN. (2019). *NTE INEN 2204. Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotres. Límites Permitidos de Emisiones Producidas por Fuentes Móviles Terrestres que Utilizan Gasolina.* . Quito: INEN.
- IPCC. (2015). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory. Revised 1996*. Obtenido de IPCC: Disponible en: <http://www.ipcc.nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm>
- Michigan Department of Environment Quality. (2007). *Emission Calculation Fact Sheet. Municipal Solid Waste Landfills*. Michigan: Michigan Department of Environment Quality.
- Ntziachristos, L., & Samaras, Z. (2000). *COPERTIII Computer programme to calculate emissions from road transport. Methodology and emission factors (Version 2.1)*. Copenhagen: European Environment Agency.

Análisis de una Red con Protocolo CAN para Detección de Fallas

Héctor García¹, Efrén Fernández¹

hega@es.uazuay.edu.ec, efernandez@es.uazuay.edu.ec

¹ Universidad del Azuay, 010107, Cuenca, Ecuador

Pages: 391–404

Resumen: En décadas pasadas los vehículos con sistema de inyección electrónica incorporaban un único módulo de control electrónico (ECU). Sin embargo, dado la complejidad de los mismos ha sido necesaria la implementación de varias ECU's y sensores para los diferentes sistemas electrónicos. El presente documento pretende la implementación de un método de diagnosis mediante la verificación de elementos que varían en la trama de información o data frames del protocolo CAN (Controller Area Network) de un vehículo Volkswagen Jetta 2009 para reducir el tiempo de diagnóstico. La información de la red de comunicación recolectada en bases de datos, mediante una tarjeta de adquisición de National Instruments (NI), permitió observar y analizar la data frames en tiempo real, mientras el módulo PCM (Power-Train Control Module) era manipulado. Los datos que se obtuvieron en función de generar fallas intencionales se compararon con los estados en funcionamiento normal, lo que permitió reconocer los bytes que cambiaban en el momento en el cual el vehículo se encontraba en situación de falla. Además, se utilizó el software Matlab para desarrollar un modelo de red de comunicación mediante su plataforma Vehicle Network Toolbox (VNT) para verificar el comportamiento de la información en tiempo real y cuyos resultados se validaron mediante el prototipo de red CAN.

Palabras-clave: CAN bus; Matlab; Simulación; Módulo de Control Electrónico.

Analysis of a Network with CAN Protocol for Detection of Failures

Abstract: In past decades, vehicles with an electronic injection system incorporated a single electronic control module (ECU). However, given their complexity, it has been necessary to implement several ECUs and sensors for the different electronic systems. This document aims to implement a diagnostic method by verifying elements that vary in the information frame or data frames of the CAN (Controller Area Network) protocol of a 2009 Volkswagen Jetta vehicle to reduce the diagnostic time. The information of the communication network collected in databases, by means of a National Instruments (NI) acquisition card, allowed to observe and analyze the data frames in real time, while the PCM (Power-Train Control Module) module was manipulated. The data obtained based on generating intentional failures were compared with the normal operating states, which allowed recognizing the bytes that changed at the time the vehicle was in a fault situation. In addition,

Matlab software was used to develop a communication network model through its Vehicle Network Toolbox (VNT) platform to verify the behavior of information in real time and whose results were validated using the CAN network prototype.

Keywords: CAN bus; Matlab; Simulation; Electronic Control Module.

1. Introducción

El avance de la tecnología automotriz ha permitido la implementación de ECU's en el automóvil, siendo necesario su análisis cuando el vehículo falla (Christopher, 2013). Los dispositivos de diagnóstico se centran en el diagnóstico de la ECU del motor, desarrollado para el control de emisiones producidas por la combustión (Freiberger, Albrecht, & Käufl, 2011). No obstante, la cantidad de ECU's se han incrementado dependiendo de los sistemas que el vehículo posee (PCM, IPC, ABS, etc.) (Caro, 2017). Además, diversos sensores se han incorporado al vehículo para generar la información necesaria para regular el funcionamiento del vehículo. En la década de los 80's Robert Bosch creó el CAN bus (Volkswagen, 2001), que hace referencia a la transmisión serial de información, ver Figura 1.

CAN bus es un protocolo de comunicación en el cual una trama de datos digitales es enviada a cada ECU, los cuales analizan si la información es de utilidad o no (Teodoro, 2013); (Happily Embedded, 2015), siendo capaces de detectar la falta de alguna señal del vehículo, reenviando de esta manera el módulo principal la información donde no se detectó la señal respectiva para ser evaluada nuevamente (Martínez, 2017). Los métodos de diagnóstico para CAN bus se basan en el uso de osciloscopios, escáneres automotrices, cajas de pruebas, softwares especializados e interfaces computacionales con conexión al Diagnostic Link Connector (DLC) como CANoe o Kvaser (Kvaser, 2014) para monitorear la transmisión de datos en tiempo real. Sin embargo, estos métodos de análisis no permiten saber específicamente donde se genera una falla (Christopher, 2013), lo cual sí se puede lograr con el análisis del bus de datos (Jernández, 2017) del vehículo (Volkswagen, 2004).

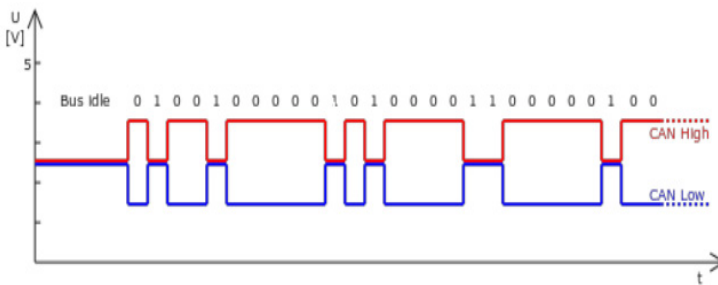


Figura 1 – Protocolo CAN

Debido a que el protocolo de comunicación CAN es ampliamente utilizado en la industria a nivel mundial (Corrigan, 2016), se han desarrollado varios estudios respecto al mismo,

entre los cuales resaltan aquellos relacionados al proceso de ingeniería inversa en sistemas mecatrónicos (Freiberger, Albrecht, & Käufel, 2011), dicho proyecto desarrollado en 2011 se centró en analizar y reproducir las señales que ingresaban al módulo original del vehículo para la programación de una nueva ECU usando tales parámetros. En el siguiente trabajo llevado a cabo en 2019, se diseñó un panel de instrumentos virtual (Kubis, Gutten, Korenciak, & Danko, 2019), el cual ocupaba las señales en tiempo real del panel físico para validarlo mediante el funcionamiento en simultaneo con el virtual. En este último proyecto elaborado en 2009, en el cual se establecieron varios pasos para decodificar las señales presentes en el CAN bus (Hermans, Denil, Meulenaere, & Anthonis, 2020), para llegar al reconocimiento de la información que se transmitía hacia los diferentes módulos del vehículo se desarrolló en base a la dificultad para identificar información específica en los módulos electrónicos, dando como resultado una metodología que permite determinar tal información de forma adecuada. Los trabajos mencionados anteriormente se centran en la lectura, identificación e interpretación de las señales en las tramas de datos de la red de comunicación del vehículo para distintos propósitos. No obstante, en ninguno de los artículos mencionados se ha tenido en cuenta el estudio de los bytes de los data frames y su aplicación para diagnóstico en tiempo real.

El presente documento da a conocer como a través del análisis de las tramas de datos de las señales que ingresan al módulo electrónico principal, y mediante la distinción en la variación de su información se pueden detectar errores en la comunicación del vehículo. El presente documento se encuentra organizado de tal manera que abordan cuestiones generales de los módulos de controles electrónicos analizados, pertenecientes al vehículo de prueba, así como el análisis del estado de las señales CAN y la adquisición de la información de las ECU's; se detallan los tipos de sensores y señales que ingresan a la PCM, sus líneas de conexión, emulación y análisis de los data frames respectivos; se presenta el desarrollo de la base de datos y simulación de la red de comunicación del vehículo en Matlab, utilizando la plataforma VNT, teniendo en cuenta los parámetros de las señales y su acondicionamiento mediante un cluster generado en LabView para decodificar la información de las tramas de datos, obteniendo como respuesta el accionamiento de lámparas testigo para cada señal en el instante que se produce la falla en la comunicación del vehículo; y por último, se sintetizan las conclusiones, validando la metodología llevada a cabo que permite detectar las situaciones de falla en el CAN bus para los sensores estudiados.

2. Métodos

Las ECU's como el Power-Train Control Module J220 e Instrument Panel Cluster J285 transmiten información a una velocidad de 500 kbit/s por medio de un par de cables trenzados. Si bien estos dos módulos comparten información a través del bus de datos, la IPC es alimentada adicionalmente con información de otros sensores (Volkswagen, 2004).

Los módulos electrónicos pertenecientes al vehículo Volkswagen Jetta 2009 cuentan con líneas de conexión específicos para el suministro de energía, señal, etc., ver Tabla 1, que fueron necesarios ubicar mediante la lectura de sus diagramas eléctricos o a partir del análisis de sus circuitos electrónicos, esencial para llevar a cabo la adquisición de datos cuando la información sea transmitida a través de la red de comunicación.

Línea de conexión	Pcm me 17.5.6	Airbag 5wk44285	Ipc 5c692o851b
Positivo	3,5	26	32
Ignición (+)	87,92	-	-
Pantalla (+)	-	-	31
Negativo	1	28	16
Can high	68	49	28
Can low	67	50	29

Tabla 1 – ECU`s Volkswagen.

Después de haber realizado las conexiones entre los módulos y la fuente de poder, se enlazó un osciloscopio para visualizar las señales de CAN Low y CAN High, las cuales mostraron los mismos patrones de onda, pero invertidos invertidos; ver Figura 2.

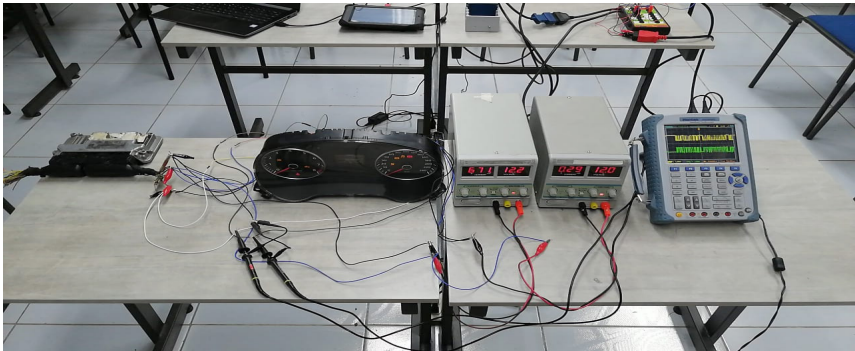


Figura 2 – Señales CAN en módulos Volkswagen.

Una vez validada la transmisión de señales en la red de comunicación, se conectó el sistema con un escáner automotriz, verificando así que se puede acceder a la información de cada uno de los módulos presentes en el sistema como se observa en la Figura 3.



Figura 3 – Acceso al módulo PCM, ICP e Airbag.

Para determinar los identificadores de las señales y los bytes que cambiaban en los data frames de la red de comunicación, se enlazó la tarjeta de adquisición de NI para recolectar datos del conjunto de módulos a través de un probador-conector OBD2 - CAN BUS para analizar toda la información que viajaba a través del bus.

En la Figura 4 se puede observar que el sistema cuenta con 20 identificadores, de los cuales algunos de ellos presentaban tramas cuyos valores permanecían estáticos, mientras que otros variaban sin la necesidad de aplicar ninguna señal de entrada.

ID	Time Stamp	Length	Signal	Type	Dir	Byte (Hex)	No. of Frame	Frame Name	Comment
0x200	1461.877	8	00 00 00 00 FF 07 00	Rx	06.6	13866			
0x200	1461.888	8	49 FF 03 00 00 78 1A AC	Sx	10.3	7933			
0x200	1461.888	8	12 01 FF FF FF C3 FF 06	Sx	10.0	7933			
0x200	1461.877	8	00 18 FF 00 00 30 FF	Sx	06.6	13866			
0x200	1461.768	8	03 FF FF 00 00 7F FF 04	Sx	1.0	792			
0x400	1461.869	8	13 2C 00 00 E1 01 10 8F	Sx	10.3	7933			
0x400	1461.877	8	17 00 00 14 00 1F 00 10	Sx	06.6	13866			
0x404	1461.869	8	12 00 00 02 00 00 30	Sx	10.3	7933			
0x100	1461.869	8	11 03 00 00 00 00 00	Sx	1.0	793			
0x124	1461.769	8	00 00 00 00 00 00 00	Sx	1.0	159			
0x100	1461.379	8	87 00 00 00 0F 70 0C 43	Sx	1.0	159			
0x100	1461.869	8	18 00 18 00 20 10 06	Sx	49.7	7933			
0x50C	1461.797	8	80 00 00 00 00 00 00	Sx	10.0	1599			
0x100	1461.878	8	00 FF FF 00 00 00 1A	Sx	2.0	324			
0x102	1461.770	8	01 47 17 18 4A 33 4A	Sx	1.0	792			
0x173	1461.770	8	08 00 FF 00 00 00 00	Sx	2.0	327			
0x40E	1461.770	2	08 00	Sx	1.0	159			
0x40E	1461.870	8	00 00 89 15 99 79 91	Sx	10.1	1590			
0x40E	1461.771	7	08 41 21 75 15 9A 19	Sx	1.0	159			
0x127	1461.739	7	04 01 01 00 02 00 00	Sx	5.0	792			

Figura 4 – Identificadores del módulo PCM e IPC y tramas de datos CAN.

Para emular las señales que alimentaban al módulo, se identificaron inicialmente las líneas de conexión a través de las cuales la información ingresaba, utilizando el diagrama eléctrico del vehículo.

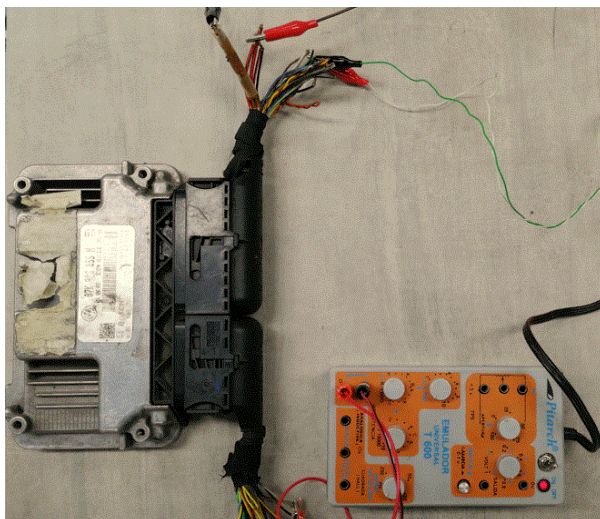


Figura 5 – Emulación de las señales de revoluciones del motor y temperatura del refrigerante.

La Tabla. 2 presenta en resumen las entradas y salidas de las señales de los sensores de estudio que excitan a la ECU principal, las cuales fueron emuladas en los procesos que se detallaran más adelante.

Ecu	Pcm		
Sensor/ cable	Engine Speed	Coolant Temperature	Air Pressure
Amarillo/ celeste	51	-	-
Amarillo/negro	59	-	-
Amarillo (entrelazado)	-	14	-
Celeste (entrelazado)	-	57	-
Negro	-	-	13
Gris (cable delgado)	-	-	42
Marrón/blanco	-	-	56

Tabla 2 – Entrada de señales al módulo PCM.

Las señales que se emularon pertenecen al sensor de revoluciones del motor y de temperatura del refrigerante del motor, ver Figura 6, que de acuerdo al diagrama del vehículo corresponden a una resistencia variable y un sensor de efecto hall.

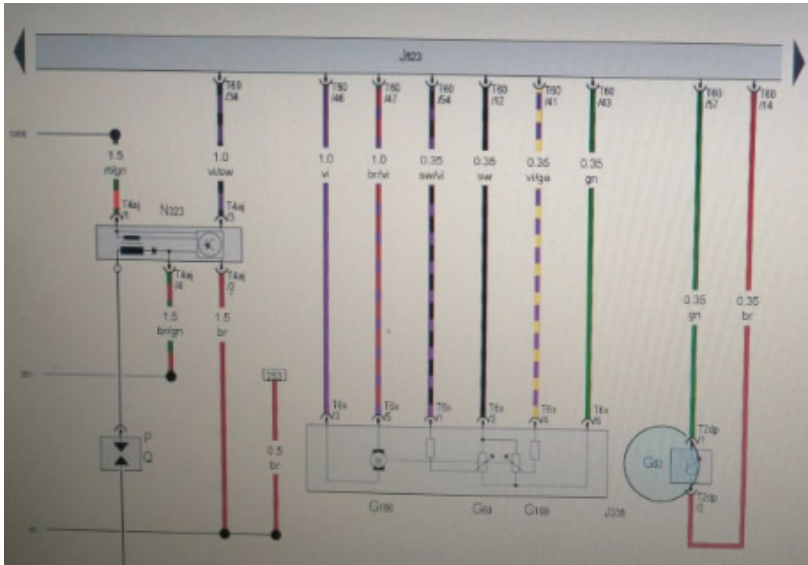


Figura 6 – Diagrama eléctrico del sensor de temperatura del refrigerante.

Mediante un emulador universal se introdujeron las señales a la PCM, cuyo comportamiento se analizó directamente utilizando un escáner enlazado al sistema

para visualizar las curvas de revoluciones y temperatura que se generaban, ver Figura 7, asegurando así que las líneas de conexión del módulo fuesen los correctos.

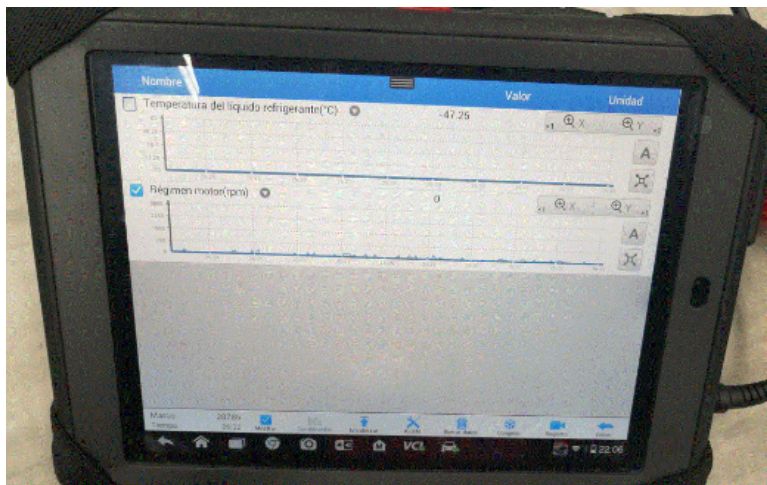


Figura 7 – Emulación y grafica de señales de revolución del motor y temperatura del refrigerante.

Después de haber determinado los valores iniciales que el módulo PCM enviaba a la red de comunicación cuando los sensores no alimentaban a la ECU principal, se procedió a configurar la interfaz de simulación VNT, ver Figura 8, utilizando la base de datos generada en los procesos anteriores.

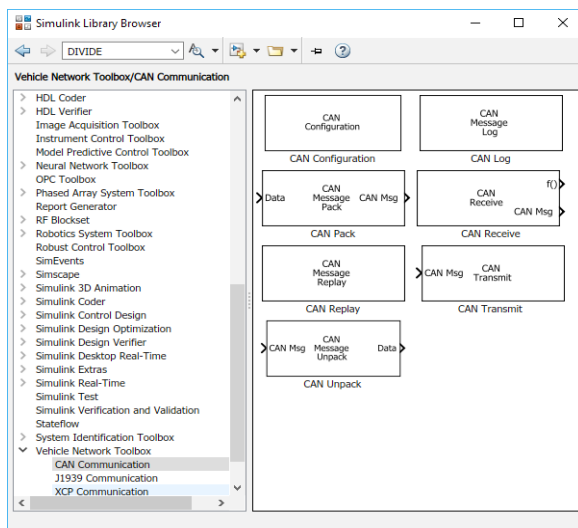


Figura 8 – Comunicación CAN Matlab - Simulink.

La interfaz VNT cuenta con varios bloques CAN, los cuales junto con la tarjeta de adquisición NI se utilizaron para generar las bases de datos. En cada una de ellas se especificó la variable guardada para la simulación correspondiente.

En la Figura 9 se observan las configuraciones usadas para la adquisición de datos, simulación y lectura de información en tiempo real del vehículo; además de los archivos con la información de las variables almacenadas con extensión .mat, que es propia del software Matlab.

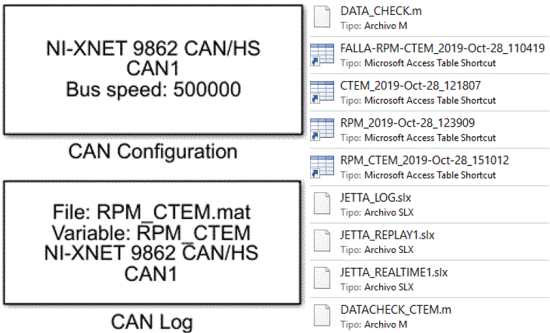


Figura 9 – Base de datos .mat

A pesar de contar con las bases de datos de los sensores emulados, para poder decodificar la información recolectada durante la simulación y en tiempo real, fue necesario crear un archivo .dbc con características específicas de la trama de datos del bus de comunicación, para lo cual se utilizó el software LabView, creando así las señales que serían interpretadas en la simulación. Sin embargo, aunque era necesario proveer el archivo con información de factor de escala y offset, ver Figura 10, este inconveniente se resolvió utilizando algoritmos para las señales de revoluciones del motor y la temperatura del refrigerante.

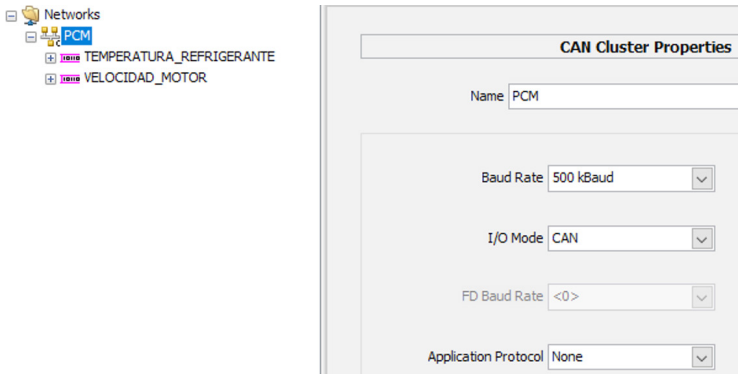


Figura 10 – Archivo .dbc

En la Figura 13 del modelo de simulación se aprecian bloques Matlab - FCN que requerían de scripts para analizar las señales de los sensores y activar los testigos en el momento que se produjera la falla en los dispositivos.

Al programar los scripts, ver Figura 11, se tomaron en cuenta los valores obtenidos al momento en el cual el módulo PCM no registraba ninguna señal de entrada que lo estuviese estimulando, asumiendo dicha información como los estados de falla de los sensores estudiados.

```
function y = temperatura(u)
for i=1:1000;
    j(i)=u;
end

k=length(j);
l=find(j==64);
m=find(j==63);
n=length(l);
o=length(m);

if n == k || o==k ;
    y = 0;
else y = 1;
end
end
```

Figura 11 – Identificador de fallas.

3. Resultados

Debido a la cantidad de identificadores que presentaba el sistema, fue necesario filtrar aquellos que pertenecían a la PCM para analizarlos cuando el módulo estuviese excitado con señales de entrada. Por consiguiente, para identificar las señales que correspondían al módulo principal se optó por desconectar en orden el módulo AIRBAG e IPC, los cuales suspendieron la emisión de ciertos datos a la red de comunicación cuando ya no se encontraban enlazados al sistema.

En la Figura 12 se visualiza que las tramas de datos en color pertenecen a la ECU principal, con lo cual se generó una base de datos.

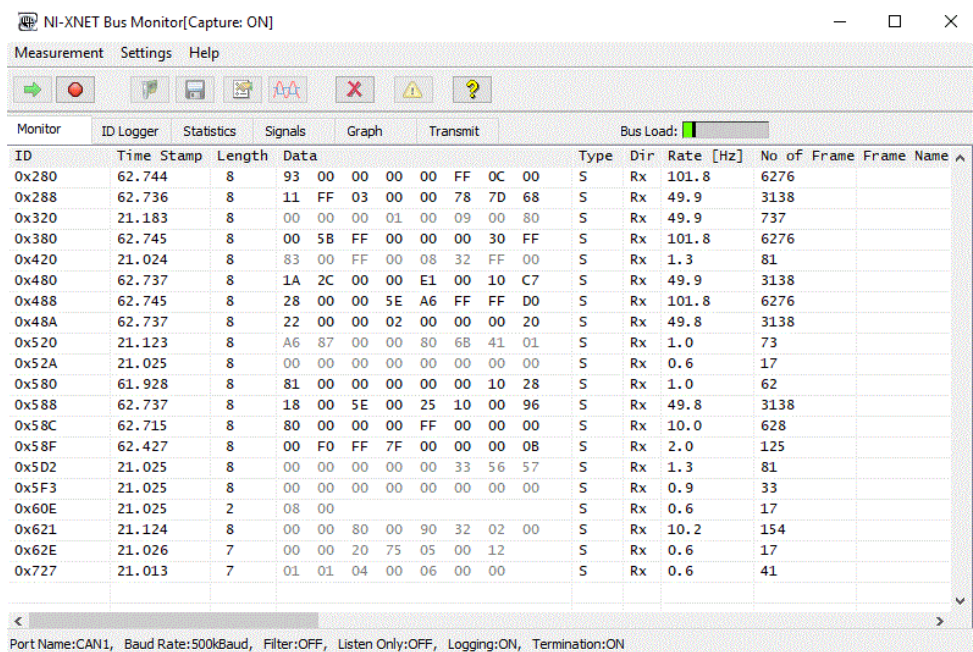


Figura 12 – Identificadores de los módulos PCM e IPC.

Las señales con las cuales se estimuló a la PCM fueron registradas mediante la tarjeta de adquisición de datos que, mediante el análisis en tiempo real de la variación de la información, permitió consolidar en primer lugar los identificadores de cada una de las señales que alimentaban al módulo principal a más de cuáles eran los bytes y la posición en la que variaban.

En la Tabla. 3 se sintetiza la información perteneciente a los identificadores de las dos señales que estimularon al módulo PCM, observándose diferentes posiciones y valores para cada uno de los datos que variaron dependiendo su estado y que son presentados en sistema hexadecimal.

Pcm			Trama de datos							
Id	Señal	Sensor/estado	1	2	3	4	5	6	7	8
0x280	Engine Speed				X	X				
		Sin señal/reposo			00	00				
		Contacto/min			1A	00				

0x288	Coolant Temperature		X	X
			7D	67
		Sin señal/reposo	7D	68
		Contacto/min	68	57

Tabla 3 – Estado de señales del módulo PCM.

Las señales que se obtuvieron a la salida del bloque Sub – System, ver Figura 13, al no haber sido manipuladas, se hallaban fuera de rango. Debido a esto se recurrió a un algoritmo [15] para cada una de las señales, las cuales permitieron en el caso de las revoluciones del motor y la temperatura del refrigerante, acércalas a los valores reales.

$$RPM = \frac{(256xA) + B}{4} \tag{1}$$

$$CTEM = A - 40 \tag{2}$$

Donde A y B representan los valores de los bytes que cambian dentro del conjunto de datos de cada una de las señales respectivamente.

Al finalizar los procesos en los bloques de fórmula se graficaron las magnitudes de las dos señales para visualizar su comportamiento durante la simulación y en tiempo real.

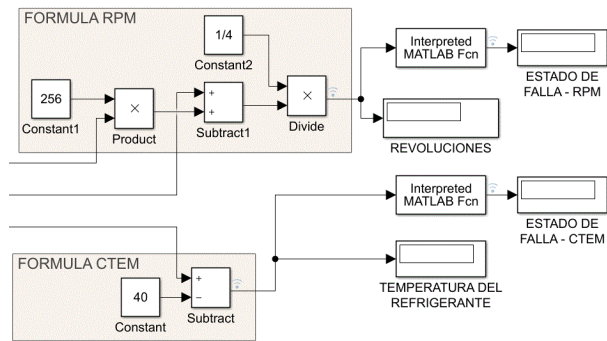


Figura 13 – Modelo para simulación de protocolo CAN.

La simulación se realizó en dos partes, debido a que una de ellas utilizaba la base de datos de las señales emuladas y la otra la información que era enviada en tiempo real desde la red de comunicación del vehículo mediante el uso de la interfaz NI que interpreta el protocolo CAN.

El objetivo de la simulación se centró en la visualización de un testigo, ver Figura 14, en el instante en el cual la PCM enviaba las señales iniciales de reposo de los sensores, dando a entender que se había producido una falla en el vehículo. Además, se añadió un gráfico en tiempo real para observar la evolución de los parámetros de acuerdo con las señales registradas.

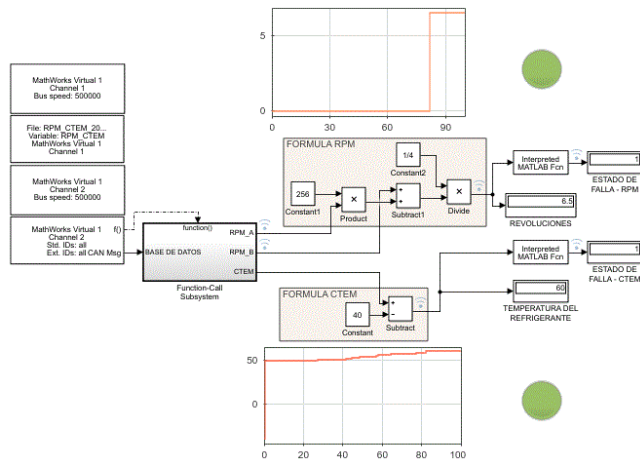


Figura 14 – Simulación de revoluciones del motor y temperatura del refrigerante en Simulink utilizando bloques VNT.

4. Discusión

La información que se ha sido caracterizada para la base de datos indica los estados en los cuales la falla se encuentra presente en el vehículo, siendo visible mediante la simulación de una lámpara testigo.

Como método de análisis del CAN bus se ha utilizado la plataforma Vehicule Network Toolbox, cuya información generada al final de los bloques muestran el comportamiento en tiempo real del vehículo.

De acuerdo con [12], el cual concluyó que la trama de datos de las ECU's se puede usar tanto para manipular, verificar y simular el funcionamiento del panel de instrumentos de un vehículo, este proyecto establece la factibilidad del uso de los mismo para el diagnóstico en base a la lectura de los datos en la red de comunicación.

Si bien el presente estudio permite diagnosticar el vehículo en tiempo real, es necesario realizar un análisis exhaustivo en cuanto a los identificadores restantes para contar con una base de datos robusta que involucre todas las situaciones de falla posibles.

5. Conclusiones e implicaciones sociales

De acuerdo a la información recolectada durante todos los procesos del proyecto se concluyó que:

1. Las fallas de la red de comunicación se presentaron con un valor estático para las señales de revoluciones del motor mientras que para la señal de temperatura del refrigerante los valores cambiaban en un rango específico, esto debido al estado de funcionamiento del módulo. Se recomienda trabajar en un ambiente más controlado para determinar valores constantes para la base de datos correspondiente.
2. Como resultado del análisis de las tramas de datos pertenecientes a los identificadores de las revoluciones del motor y temperatura del refrigerante, se pudo determinar de manera fidedigna cuando la red de comunicación sufría un desperfecto en tiempo real sin la necesidad de utilizar dispositivos adicionales como escáneres u osciloscopios. El proceso de reconocimiento de los identificadores se puede replicar para la información no analizada en el bus de datos, tomando en consideración las líneas de conexión de alimentación de las señales.
3. Durante el proceso de análisis y experimentación se pudieron visualizar identificadores que no se mostraban si no se producía una conexión errónea, por lo que se dedujo que para eventos tales existían tramas de datos específicos que no eran visibles en todo momento.
4. El modelo de simulación desarrollado para el vehículo VW JETTA 2009 puede ser aplicable para vehículos que cuenten con los mismos módulos o cuyos valores iniciales al igual que los identificadores cuando la PCM se encuentre sin señales de entrada sean los mismos para los sensores respectivos.

Reconocimientos

Este proyecto es financiado y auspiciado por el Decanato de Investigación de la Universidad el Azuay en el proyecto 2018-0186.

Referencias

- Caro, S. (2017). Interfaz Gráfica De Usuario Para El Monitoreo De Tramas Can Por Medio De Un Soc Cyclone V. *Pistas Educativas*, 39(127), 354-372.
- Christopher, P. (2013). *Manual De Procedimientos Para Interactuar Entre Protocolos De Comunicación Automotriz*. Cuenca: Universidad del Azuay.
- Corrigan, S. (2016). *Introduction To The Controller Area Network (Can)*. Texas: Texas Instruments.
- Freiberger, S., Albrecht, M., & Käufl, J. (2011). Reverse Engineering Technologies For Remanufacturing Of Automotive Systems Communicating Via Can Bus. *Journal of Remanufacturing*, 1(6), 1-.

- Happily Embedded. (23 de Julio de 2015). *Thirst For Knowledge – Sae J1979 Protocol*. Obtenido de Happily Embedded: <https://Happilyembedded.Wordpress.Com/2015/07/23/Thirst-For-Knowledge-Sae-J1979-Protocol/>.
- Hermans, T., Denil, J., Meulenaere, P. D., & Anthonis, J. (2020). Decoding Of Data On A Can Powertrain Network. *Semantic Scholar*(1), 1-6.
- Jernández, J. (2017). *Software Analizador De Can Para Avt-852*. Ciudad de México: Centro de Tecnología Avanzada.
- Kubis, M., Gutten, M., Korenciak, D., & Danko, M. (2019). Communication Of Cluster Using Can Bus. *Komunikacie Communications*, 21, 69-74.
- Kvaser. (21 de Noviembre de 2014). *Updated CAN Protocol Video Tutorial*. Obtenido de Our original text-only tutorial has been viewed by over half a million engineers. Our updated 8-part video course sets a new standard in CAN training.: <https://www.kvaser.com/about-can/the-can-protocol/>.
- Martínez, A. (2017). *Introducción A Can Bus: Descripción, Ejemplos Y Aplicaciones De Tiempo Real*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Teodoro, P. (2013). *Estudio Para Simular Una Red Can Con Aplicación En Comunicación De Dispositivos Electrónicos En El Automóvil*. Cuenca: Universidad del Azuay.
- Volkswagen. (2001). *Data Exchange On The Can Bus I*. Volkswagen.
- Volkswagen. (2004). *The New Jetta Electrical System Design And Function*. I Volkswagen Of America.

Critérios Editoriais

A RISTI (Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação) é um periódico científico, propriedade da AISTI (Associação Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação), que foca a investigação e a aplicação prática inovadora no domínio dos sistemas e tecnologias de informação.

O Conselho Editorial da RISTI incentiva potenciais autores a submeterem artigos originais e inovadores para avaliação pelo Conselho Científico.

A submissão de artigos para publicação na RISTI deve realizar-se de acordo com as chamadas de artigos e as instruções e normas disponibilizadas no sítio Web da revista (<http://www.risti.xyz>).

Todos os artigos submetidos são avaliados por um conjunto de membros do Conselho Científico, não inferior a três elementos.

Em cada número da revista são publicados entre cinco a oito dos melhores artigos submetidos.

Criterios Editoriales

La RISTI (Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de la Información) es un periódico científico, propiedad de la AISTI (Asociación Ibérica de Sistemas y Tecnologías de la Información), centrado en la investigación y en la aplicación práctica innovadora en el dominio de los sistemas y tecnologías de la información.

El Consejo Editorial de la RISTI incentiva autores potenciales a enviar sus artículos originales e innovadores para evaluación por el Consejo Científico.

Lo envío de artículos para publicación en la RISTI debe hacerse de conformidad con las llamadas de los artículos y las instrucciones y normas establecidas en el sitio Web de la revista (<http://www.risti.xyz>).

Todos los trabajos enviados son evaluados por un número de miembros del Consejo Científico de no menos de tres elementos.

En cada número de la revista se publican cinco a ocho de los mejores artículos enviados.

Os asociados da AISTI recebem a RISTI gratuitamente, por correio postal. Torne-se associado da AISTI. Preencha o formulário abaixo e envie-o para o e-mail aistic@gmail.com

Los asociados de la AISTI reciben la RISTI por correo, sin costo alguno. Hazte miembro de la AISTI. Rellena el siguiente formulario y remítelo al e-mail aistic@gmail.com



Formulário de Associado / Formulario de Asociado

Nome/Nombre: _____

Instituição/Institución: _____

Departamento: _____

Morada/Dirección: _____

Código Postal: _____ Localidade/Localidad: _____

País: _____

Telefone/Teléfono: _____

E-mail: _____ Web: _____

Tipo de Associado e valor da anuidade:

☐ Individual - 35€

☐ Instituição de Ensino ou I&D/Institución de Educación o I&D - 250€

☐ Outro (Empresa, etc.) - 500€

NIF/CIF: _____

Data/Fecha: ____/____/____ Assinatura/Firma: _____



Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

©AISTI 2020 <http://www.aisti.eu>

