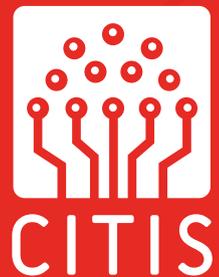


ISSN impreso: 2631-2697 / ISSN electrónico: 2631-2719

Pablo Pérez Gosende/ Pablo Parra Rosero
Andrea Vázquez Martínez / Nicolás Sumba Nacipucha
(*Coordinadores*)

5to | Congreso Internacional de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Sociedad

Memoria Académica



Universidad Politécnica Salesiana

**5to. Congreso Internacional
de Ciencia, Tecnología e Innovación
para la Sociedad**

Memoria académica

Pablo Pérez Gosende, Pablo Parra Rosero,
Andrea Vázquez Martínez y Nicolás Sumba Nacipucha
(Coordinadores)

5to. Congreso Internacional de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Sociedad

Memoria académica



2019

**5TO. CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIA, TECNOLOGÍA
E INNOVACIÓN PARA LA SOCIEDAD. MEMORIA ACADÉMICA**

*Pablo Pérez Gosende, Pablo Parra Rosero, Andrea Vázquez Martínez y Nicolás Sumba Nacipucha
(Coordinadores)*

Ira Edición: © Universidad Politécnica Salesiana
Av. Turuhuayco 3-69 y Calle Vieja
Casilla: 2074
P.B.X.: (+593 7) 2050000
Fax: (+593 7) 4088958
e-mail: rpublicas@ups.edu.ec
www.ups.edu.ec
Cuenca-Ecuador

COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN UPS,
sede Guayaquil

Diseño, diagramación
e impresión: Editorial Universitaria Abya-Yala
Quito Ecuador

Derechos de autor: 057197

Depósito legal: 006430

ISBN: 978-9978-10-388-3

Tiraje: 300 ejemplares

Impreso en Quito-Ecuador, agosto 2019

Publicación arbitrada de la Universidad Politécnica Salesiana

Comité de Honor

P. Francisco Sánchez, sdb. Canciller de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
P. Javier Herrán Gómez, sdb. PhD. Rector de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Vicente Parra Vega, PhD. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (Cinvestav), México
Humberto Michinel, PhD. Secretario General de la Comisión Internacional de Óptica (ICO), España
Carlos Lozano Garzón, MSc. Director IEEE ComSoc, Región Latinoamérica, Colombia
Salvatore Patera, PhD. Presidente de la Asociación de Spinoffs y Startups de la región de Apulia, Italia
Pedro Fernández de Córdoba, PhD. Coordinador del Grupo de Modelización Interdisciplinar (InterTech) de la Universidad Politécnica de Valencia, España
Catalina Vélez Verdugo, Dra. Presidenta del Consejo de Educación Superior
Gabriel Galarza López, PhD. Presidente del Consejo de Aseguramiento de la calidad de la Educación Superior
Adrián Bonilla Soria, Dr. Secretario de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación

Comité Organizador

Juan Pablo Salgado, PhD. Vicerrector de Investigación, Universidad Politécnica Salesiana
Andrés Bayolo Garay, Eco. Vicerrector de Sede Guayaquil, Universidad Politécnica Salesiana
Pablo Pérez Gosende, MSc. Coordinador de Investigación de Sede Guayaquil, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Luis Álvarez Rodas, PhD. Editor General, Universidad Politécnica Salesiana
Pablo Parra Rosero, PhD. Coordinador del Grupo de Investigación en Procesos Industriales (GIPI) y miembro del Consejo de Investigación de Sede Guayaquil, Universidad Politécnica Salesiana
Andrea Vázquez Martínez, PhD. Miembro del Consejo de Investigación de Sede Guayaquil, Universidad Politécnica Salesiana
Nicolás Sumba Nacipucha, MBA. Miembro del Consejo de Investigación de Sede Guayaquil, Universidad Politécnica Salesiana
César Andrade Martínez, MSc. Director Técnico de Comunicación, Sede Guayaquil, Universidad Politécnica Salesiana

Comité Científico

Humberto Michinel, PhD. Secretario General de la Comisión Internacional de Óptica, Universidad de Vigo, España
Vicente Parra Vega, PhD. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (Cinvestav), México
Carlos Lozano Garzón, PhD. Director IEEE ComSoc, Latin American Region, Colombia
Pedro Fernández de Córdoba, PhD. Universidad Politécnica de Valencia, España
Nervo Xavier Verdezoto, PhD. University of Leicester, Reino Unido
Daniel Gamermann, PhD. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil
Gilberto Reynoso Meza, PhD. Pontificia Universidade Católica do Paraná, Brasil
José Ignacio Huertas Cardozo PhD. Tecnológico de Monterrey, México
Higinio Sánchez, PhD. Universidad de Cádiz, España
Francisco Jurado, PhD. Universidad de Jaén, España
Alfredo Güemes, PhD. Universidad Politécnica de Madrid, España
Salvatore Patera, PhD. Universidad de Salento, Italia
Ricardo Silva, PhD. Foundation for Living, Wellness and Health, EUA
Cristina Jenaro Río, PhD. Universidad de Salamanca, España
Miguel Ángel Díaz Rodríguez, PhD. Universidad de los Andes, Venezuela
Ignacio Castillo Velázquez, PhD. Universidad Autónoma de Ciudad de México
Noelia Flores Robaina, PhD. Universidad de Salamanca, España
Joan Vázquez Molina, PhD. Research Engineer, Tenneco, Bélgica
Simón Jesús Fygueroa Salgado, PhD. Universidad de Pamplona, Colombia
Efrén Esteban Fernández Palomeque, PhD. Universidad del Azuay, Ecuador

Zulay Niño Ruiz, PhD. Universidad Regional Amazónica Ikiam, Ecuador
Rodolfo Gordillo Orquera, PhD. Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), Ecuador
Miguel A. García Bereguaián, PhD. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
Federico Domínguez Bonini, PhD. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
Carlos Monsalve Artega, PhD. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
Carla Marcela Hermida Palacios, PhD. Universidad del Azuay, Ecuador
Pablo Parra Rosero, PhD. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Andrea Vázquez Martínez, PhD. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Mariela Cerrada Lozada, PhD. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Mónica Karel Huerta, PhD. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
José Manuel Aller Castro, PhD. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Vladimir Robles Bykbaev, PhD. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Fredí Portilla, PhD. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Manuel Ernesto Delgado, PhD. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
María Elena Maldonado, PhD. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Yoandris Sierra, PhD. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Eddy Conde Lorenzo, PhD. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Pedro González, PhD. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Julio Viola, PhD. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Pablo Pérez Gosende, MSc. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Moisés Toapanta, PhD. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Diego Cabrera Mendieta, PhD. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Tony Viloría Ávila, PhD. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Shirley Coque Villegas, MSc. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Tatiana Mosquera Tayupanta, MSc. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Joe Llerena Izquierdo, MSc. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Juan Diego Valladolid Quitoisaca, MSc. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

Índice

PRESENTACIÓN	13
WORKSHOPS	15
CONFERENCIAS MAGISTRALES	23
SESIÓN TÉCNICA DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN PARA LA INDUSTRIA	33
RESPONSE SPECTRUM OF LIQUEFIABLE LOOSE SANDS-F1 PROFILE (SEISMIC HAZARD) Espectro de respuesta de arenas sueltas licuables-perfil F1 (peligro sísmico)	35
<i>J. Alviar</i>	
ANALYSIS OF A LIVESTOCK COMPANY USING SYSTEMS DYNAMICS Análisis de una empresa ganadera utilizando dinámica de sistemas	53
<i>H. Samaniego</i>	
TRAINING DATA SET SUBSAMPLING FOR MULTI-OBJECTIVE FEATURE SELECTION Muestreo en conjuntos de datos de entrenamiento para selección de atributos multi-objetivo	65
<i>V. Alves, G. Reynoso</i>	
IMPLEMENTATION OF A FUZZY SPEED CONTROL THROUGH A WIRELESS NETWORK SYSTEM (WNCS) Implementación de un control de velocidad Fuzzy mediante un sistema de control en red inalámbrico (WNCS)	75
<i>S. Chuquin, P. Pachacama, C. Pillajo</i>	
COMPARISON OF THE EFFICIENCY LEFT-HANDED OPERATORS IN MODIFIED DRILL, USING MSA-SPC Comparación de la eficiencia de operarios zurdos en taladro modificado, utilizando MSA-SPC	87
<i>F. Obando, C. Obando, J. Bustillos</i>	
WIRELESS MONITORING OF A GASOLINE INJECTION SYSTEM Monitoreo inalámbrico de un sistema de inyección de gasolina	95
<i>S. Quinsasamin, J. Sañacela, C. Pillajo</i>	
FUZZY AND SELF-TUNING PID CONTROL FOR TWIN ROTOR MIMO SYSTEM Control PID difuso y autoajutable para sistema MIMO de doble rotor	109
<i>M. Miranda, J. Solis, O. Barcia</i>	
ORIENTATION OF 3D PRINTING FIBERS WITH ROBOTIC PLATFORM Orientación de las fibras de impresión 3D mediante una plataforma robotizada	121
<i>H. Lasluisa, F. Acuña</i>	
IMPLEMENTATION OF A TEMPERATURE MAPPING IN A HEXAPOD ROBOT FOR EXPLORATION Implementación de un mapeo de temperatura en un robot hexápodo para exploración	135
<i>M. Alvarado, E. Velarde, O. Barcia</i>	
ELEVATOR CONTROL SYSTEM DESIGN AND TEST USING HARDWARE IN THE LOOP AS A SIMULATION TECHNIQUE Diseño y prueba del sistema de control de un ascensor usando la técnica de simulación Hardware in the Loop	147
<i>V. Uguna, B. Pinos, G. Vintimilla</i>	

ANALYSIS OF TOUCH AND STEP VOLTAGES IN GROUNDING GRID BY THE USING AN ELECTROLYTIC FLUID TANK AS A MEAN Análisis de voltajes de paso y toque en mallas de puesta a tierra empleando como medio un tanque fluidos electrolíticos	163
<i>D. Cárdenas, C. Chávez, V. Castillo, E. Márquez, G. Ampuño</i>	
RHEOLOGICAL BEHAVIOR OF BIO-BASED COMPOSITE: NATURAL FIBER/POLYPROPYLENE Comportamiento reológico de un material compuesto bio-basado: polipropileno reforzado con fibras naturales.....	179
<i>C. Paltán, J. Fajardo</i>	
CHAIN AGRIFOOD OF COCOA IN THE CONTEXT OF THE ECUADORIAN AMAZON Cadena agroalimentaria de cacao en el contexto de la Amazonía ecuatoriana	191
<i>I. Cañadas, N. Sablón</i>	
SESIÓN TÉCNICA DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN PARA LA INFORMACIÓN Y LAS TELECOMUNICACIONES	201
MATLAB DEMO DETECTION SYSTEM OF SINUS TACHYCARDIA AND BRADYCARDIA USING COHERENCE FUNCTION, MSC AND CROSS SPECTRUM Prototipo de un sistema de detección de taquicardia y bradicardia sinusal usando Coherence Function, MSC y Cross Spectrum en Matlab	203
<i>G. Alvarado, G. Fernández, F. Gordillo</i>	
COMMUNICATIONS SYSTEM MODEL FOR WIRELESS NETWORK CONTROL SYSTEMS (WNCS) Modelo de sistema de comunicaciones para sistemas de control en red inalámbrico (WNCS)....	215
<i>C. Pillajo, D. Zapata, R. Hincapié</i>	
SIGN LANGUAGE RECOGNITION SYSTEM USING MYO ARMBAND AND NEURAL NETWORK Sistema de reconocimiento de señas usando el MYO Armband y redes neuronales	227
<i>S. Luna, L. Serpa</i>	
APPLICATION FOR MOBILE DEVICES APPLIED IN LANGUAGE THERAPY TO IMPROVE ATTENTION AND MOTIVATION Aplicación para dispositivos móviles aplicada en terapia de lenguaje para mejorar la atención y la motivación.....	235
<i>L. Serpa, D. Lima, M. Zúñiga, V. Robles, M. Orellana, B. Vintimilla</i>	
HARDWARE IN THE LOOP AS A TOOL FOR DESIGNING CONTROL SYSTEMS Hardware in the Loop como herramienta para diseñar sistemas de control	249
<i>D. Barrera, P. Gómez, E. Pinos</i>	
PROPOSAL OF A SYSTEM FOR THE EXTRACTION OF PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS THROUGH A SENSORIZED PENCIL AS A SUPPORT FOR THE DETECTION OF STRESS AND ANXIETY Propuesta de un sistema para la extracción de características fisiológicas mediante un lápiz sensorizado como soporte para la detección de estrés y ansiedad	265
<i>L. Serpa, I. Ojeda, E. Mesa, V. Robles, S. Huiracocha, J. Padilla, B. Zhagñay</i>	
SESIÓN TÉCNICA DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN PARA LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL.....	277
AUTOMATED SYSTEM OF PUBLIC LIGHTING USING PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY AND SAVING POWER Sistema automatizado de alumbrado público utilizando energía solar fotovoltaica y ahorro energético.....	279
<i>L. Lema, M. Herrera, K. Valladares, J. Pantoja</i>	

CHARACTERIZATION OF BIODEGRADABLE MATERIALS FOR INCREMENTAL FORMING Caracterización de materiales biodegradables para conformado incremental.....	289
<i>E. Calderón, A. Ortega, S. Torres</i>	
TECHNICAL, ECONOMIC AND REGULATORY ANALYSIS FOR THE IMPLEMENTATION OF MONITORING SYSTEMS THROUGH SOLAR PANELS IN A SHRIMP BREEDING COMPANY Análisis técnico, económico y regulatorio para la implementación de sistemas de monitoreo a través de paneles solares para una empresa camaronera	299
<i>P. Quijije, C. Landacay</i>	
VALUATION AND POTENTIAL MARKET OF MEDICINAL PLANTS IN ECUADOR Valoración y mercado potencial de las plantas medicinales en el Ecuador.....	311
<i>N. Campos, M. Espadero, T. Mosquera</i>	
VISUAL APPEARANCE SIMULATION OF POLYMER DISPERSED LIQUID CRYSTAL SMART WINDOWS Simulación visual de la apariencia de ventanas inteligentes de cristal líquido disperso en polímero....	321
<i>D. Barrios, C. Álvarez, J. Miguítama</i>	
ECUADOR'S ENERGY SECURITY INDEX: A SYSTEMS DYNAMICS APPROACH Índice de seguridad energética del Ecuador: un enfoque de dinámica de sistemas.....	337
<i>F. Reinoso, N. Jara, C. Nieto, L. Gallón, F. Vivar</i>	
LEAD CONTAMINATION, E. COLI-COLIFORMES AND CARBON IN URBAN AGRICULTURE IN CUENCA-SUR Contaminación por plomo, E. coli-coliformes y carbono en agricultura urbana en Cuenca sur....	349
<i>J. Zhindon, C. Calle, F. Portilla</i>	
ECOTOXICOLOGICAL EVALUATION IN SUNFLOWER (<i>HELIANTHUS ANNUUS L.</i>) TO BIO-ACCUMULATE AND TRANSLOCATE HEXAVALENT CHROMIUM Evaluación ecotoxicológica en el girasol (<i>Helianthus annuus L.</i>) para bioacumular y translocar cromo hexavalente	359
<i>A. Beltrán, F. Yaulema, G. León, S. Godoy</i>	
NUTRIENTS THAT DETERMINE THE PROCESSES OF EUTROPHY IN LAGUNA VALLE HERMOSO OF GUANO CANTON Nutrientes determinantes en los procesos de eutrofia en la laguna Valle Hermoso del cantón Guano	371
<i>A. Beltrán, D. Pilco, Y. Díaz, S. Godoy</i>	
COMPARISON OF THE DEVELOPMENT OF LETTUCE WITH THE USE OF ORGANIC FERTILIZERS VS. CHEMICAL FERTILIZERS Comparación del desarrollo de la lechuga con la utilización de abonos orgánicos (gallinaza) y abonos químicos (nitrofoska) para autoconsumo a nivel urbano	383
<i>A. Zea, T. Vilorio, J. Cabrera, K. Ponce</i>	
SESIÓN TÉCNICA DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN PARA LA MOVILIDAD	395
ANALYSIS OF EFFICIENCY IN SiC-CSI INVERTER TOPOLOGY IN ELECTRIC TRACTION SYSTEMS Análisis de eficiencia en la topología de inversor CSI-SiC para sistema de tracción eléctrica.....	397
<i>E. Fernández, M. Coello, R. Rockwood</i>	
METHODOLOGY TO OBTAIN THE IGNITION CARTOGRAPHY OF THE ENGINE CONTROL UNIT Metodología para obtener la cartografía de ignición de una unidad de control del motor.....	413
<i>W. Contreras, C. Sánchez, Y. Aguilar</i>	
ANALYSIS OF CYLINDER-PISTON SEALING THROUGH MAP SENSOR ANALYSIS Análisis de la estanqueidad del cilindro-pistón mediante el análisis del sensor MAP.....	427
<i>A. Bermeo, N. Rivera, C. Vizhco, C. Peñaranda</i>	

INTELLIGENT METHOD FOR SPARK IGNITION ENGINE INJECTION SYSTEM MAINTENANCE Método inteligente para el mantenimiento del sistema de inyección de un motor de encendido provocado.....	443
<i>N. Rivera, A. Bermeo, K. Pugo, J. Idrovo</i>	
ICE DIAGNOSIS FOR CONTAMINATION TEST APPROVAL IN VEHICULAR TECHNICAL REVIEW Diagnóstico de MCI para la aprobación de pruebas contaminantes en Revisión Técnica Vehicular	459
<i>D. Gárate, N. Rivera, B. Molina, J. Haro</i>	
RESÚMENES DE POSTERS.....	471
NUMERICAL STUDY OF THE PROCESS OF NUCLEAR BOILING OF REFRIGERANT 134A IN HORIZONTAL PIPELINES Estudio numérico del proceso de ebullición nucleada del refrigerante 134a en tuberías horizontales ..	473
<i>L. Toapanta, C. Nieto, W. Quitiaquez</i>	
BIODEGRADATION IN FRESH AND SALT WATER OF OXO-BIODEGRADABLE BAGS, SIMULATING ENVIRONMENTAL CONDITIONS OF THE ECUADORIAN COSTA, SIERRA AND ORIENTE Biodegradación en agua dulce y salada de bolsas oxobiodegradables, simulando condiciones ambientales de Costa, Sierra y Oriente ecuatoriano	474
<i>E. Coyago, N. Escobar, C. Ushiña</i>	
IMMUNOGLOBULIN CONCENTRATION OF BOVINE COLOSTRUM USING MEMBRANE TECHNOLOGY Concentración de inmunoglobulinas de calostro bovino utilizando tecnología de membranas.....	476
<i>E. Coyago, A. Páez, M. Villacís, J. Simbaña, M. Coronel, E. Beltrán</i>	
EXTRACTION AND QUANTIFICATION OF CAROTENOIDS FROM THE CULTURE OF THE MICROALGAE COENOCHELORIS SP. Extracción y cuantificación de carotenoides del cultivo de la microalga Coenochloris sp.....	478
<i>E. Coyago, L. Valdés, G. Méndez, A. Soto, A. Guachamín</i>	
EVALUATION OF THE GROWTH OF BACILLUS MEGATERIUM IN LIQUID BIOPREPARATES Evaluación del crecimiento de Bacillus megaterium en biopreparados líquidos	480
<i>R. Acurio, M. Tenorio, L. Collaguazo</i>	
IN VITRO ADAPTATION OF CYPHOMANDRA BETACEA: EFFECT OF INORGANIC SALTS AND NITROGEN Adaptación in vitro de Cyphomandra betacea: efecto de sales inorgánicas y nitrógeno.....	481
<i>I. Vaca, J. Meneses, E. Masache, J. Ramírez</i>	
MOLECULAR DETECTION BY REAL-TIME PCR OF STENOTROPHOMONA MALTOPHILIA: BACTERIA OF BIOTECHNOLOGICAL INTEREST Detección molecular mediante PCR en tiempo real de Stenotrophomona maltophilia: bacteria de interés biotecnológico	482
<i>V. Chiluisa, C. Sánchez, M. Maldonado</i>	
BIODEGRADATION OF OXO-BIODEGRADABLES BAGS SIMULATING ENVIRONMENTAL CONDITIONS OF QUITO AND MANTA Biodegradación de bolsas oxobiodegradables simulando condiciones ambientales de Quito y Manta	484
<i>E. Coyago, D. Cadena, M. Sandoval, A. Yumiseba, P. Gualoto, G. Méndez</i>	
PHENOL REMOVAL USING RADISH PEROXIDASES (RAPHANUS SATIVUS VAR SATIVUS) Remoción de fenoles utilizando peroxidasas de rábano (Raphanus sativus var sativus)	486
<i>P. Gutiérrez</i>	
RESEARCH OF HORMETIC EFFECT OF INORGANIC SALTS IN THE IN VITRO CULTURE OF BRASSICA OLERACEA VAR. ITALICA Estudio del efecto hormético de las sales inorgánicas en el cultivo in vitro de Brassica oleracea var. italica	487
<i>J. Meneses, E. Masache, I. Vaca</i>	

IDENTIFICATION OF CRITICAL NOISE POINTS IN LA DELICIA-QUITO USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS Identificación de puntos críticos de ruido en la administración zonal La Delicia-Quito utilizando sistemas de información geográfica	488
<i>C. Álvarez, L. Cahusquí, K. Herrera, M. Pazmiño, L. Ramírez</i>	
INTEGRAL MANAGEMENT OF SOLID WASTE, APPLIED IN THE QUITO METRO Sistema de gestión integral de residuos sólidos, aplicado en el metro del Distrito Metropolitano de Quito	489
<i>B. Carrera, D. Espinoza, T. Simba</i>	
EMISSION FACTORS OF VEHICLES IN A CITY TYPE METROPOLITAN DISTRICT OF QUITO Factores de emisión de vehículos en una ciudad tipo Distrito Metropolitano de Quito.....	490
<i>C. Ulloa, F. Letamendi, A. Pazmiño</i>	
ENERGY HARVESTING SYSTEM WITH PIEZOELECTRICITY Sistema de energía harvesting utilizando piezo-electricidad	491
<i>H. Santillán, A. Suárez, E. Macías</i>	
DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A NEURAL CONTROL FOR A TERTIARY WATER DISINFECTION PILOT PLANT USING POROUS TECHNOLOGY Diseño e implementación de un control neuronal para una planta piloto de desinfección de aguas terciarias utilizando tecnología porosa	492
<i>M. Miranda, J. Guzmán, J. Matailo</i>	
RECONOCIMIENTOS ESPECIALES	493

Presentación

El V Congreso Internacional de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Sociedad, CITIS 2019, realizado del 6 al 8 de febrero de 2019 y organizado por la Universidad Politécnica Salesiana, ofreció a la comunidad académica nacional e internacional una plataforma de comunicación unificada, dirigida a cubrir los problemas teóricos y prácticos de mayor impacto en la sociedad moderna desde la ingeniería.

En esta edición, dedicada a los 25 años de vida de la UPS, los ejes temáticos estuvieron relacionados con la aplicación de la ciencia, el desarrollo tecnológico y la innovación en cinco pilares fundamentales de nuestra sociedad: la industria, la movilidad, la sostenibilidad ambiental, la información y las telecomunicaciones.

El comité científico estuvo conformado formado por 48 investigadores procedentes de diez países: España, Reino Unido, Italia, Bélgica, México, Venezuela, Colombia, Brasil, Estados Unidos y Ecuador.

Fueron recibidas un centenar de contribuciones, de las cuales 39 fueron aprobadas en forma de ponencias y 15 en formato *poster*. Estas contribuciones fueron presentadas de forma oral ante toda la comunidad académica que se dio cita en el Congreso, quienes desde el aula magna, el auditorio y la sala de usos múltiples de la Universidad Politécnica Salesiana, cumplieron respetuosamente la responsabilidad de representar a toda la sociedad en la revisión, aceptación y validación del conocimiento nuevo que fue presentado en cada exposición por los investigadores.

Paralelo a las sesiones técnicas, el Congreso contó con espacios de presentación de *posters* científicos y cinco *workshops* en temáticas de vanguardia que cautivaron la atención de nuestros docentes y estudiantes. También en el marco del evento se impartieron un total de ocho conferencias magistrales en temas tan actuales como la gestión del conocimiento en la universidad-ecosistema, los retos y oportunidades de la industria 4.0, los avances de la investigación básica y aplicada en mecatrónica para el estudio de robots de nueva generación, la optimización en ingeniería con técnicas multi-objetivo, el desarrollo de las redes avanzadas en Latinoamérica y los mundos, la contaminación del aire debido al tránsito vehicular, el radón y los riesgos que representa este gas radiactivo para la salud humana, entre otros.

Pero CITIS 2019 no fue solo ciencia e investigación, pues los *workshops*, conferencias magistrales y sesiones técnicas desarrolladas fueron complementadas con actividades artísticas, culturales y de recreación. Vale resaltar entre ellas: la tarde cultural guayaquileña, la exposición fotográfica con animación en realidad aumentada “France in motion” y la exhibición del Club de Robótica de la UPS sede Guayaquil con prototipos mecatrónicos desarrollados por nuestros estudiantes que han sido multipremiados en eventos nacionales e internacionales.

Querido lector, esperamos que esta memoria académica no sea solo un volumen más en su biblioteca personal, sino un libro de consulta cotidiana durante 2019 en donde pueda encontrar ideas frescas para futuros proyectos de investigación e inspiración para seguir aportando en este proceso de transformación del entorno próximo que realizamos desde la academia a través de la investigación.

Estamos seguros de que lo estaremos viendo nuevamente en CITIS 2020, para seguir dando nuestro grano de arena al avance de la ciencia, la tecnología y la innovación en el Ecuador, orientados a una sociedad más justa, equitativa y solidaria.

¡Los esperamos!

MSc. Pablo Pérez Gosende
Coordinador de Investigación de la sede Guayaquil
Universidad Politécnica Salesiana

PhD. Pablo Parra Rosero
Coordinador del Grupo de Investigación en Procesos Industriales (GIPI)
Universidad Politécnica Salesiana

PhD. Andrea Vázquez Martínez
Miembro del Consejo de Investigación de la sede Guayaquil
Universidad Politécnica Salesiana

MAE. Nicolás Sumba Nacipucha
Miembro del Consejo de Investigación de la sede Guayaquil
Universidad Politécnica Salesiana

WORKSHOPS

Workshop 1. Ajuste de controladores del tipo PID mediante técnicas multi-objetivo

Es posible plantear la tarea de ajuste de controladores del tipo PID como un problema de optimización. Típicamente, esto se realiza llevando a cabo la optimización de un índice de desempeño (conocido también como función de coste u objetivo de diseño). Sin embargo, podría suceder que la solución óptima encontrada no satisfaga el intercambio de prestaciones de todos los requerimientos de control. En este *workshop* se aborda dicho problema de optimización desde un enfoque multi-objetivo, donde un conjunto de soluciones pareto-óptimas son calculadas. Lo anterior brinda al ingeniero alternativas para la selección de la solución más acorde a sus necesidades, tras un proceso de análisis multi-criterio del intercambio de prestaciones entre objetivos en conflicto.

Objetivos: el participante entenderá el proceso de diseño mediante optimización multi-objetivo como una técnica de diseño holística para la ingeniería, donde convergen la definición del problema multi-objetivo, la fase de optimización multi-objetivo y la toma de decisiones. Dicha técnica será empleada para el ajuste de controladores del tipo PID.

Habilidades requeridas: manejo y programación de Matlab (elemental).

Conocimientos requeridos: optimización (elemental), controladores PID (elemental).

*Instructor: PhD. Gilberto Reynoso Meza
Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), Brasil*



Gilberto Reynoso Meza recibió su doctorado (2014) en Automática, Robótica e Informática Industrial en la Universitat Politècnica de València (España), y los títulos de maestro en ciencias con especialidad en automatización (2005) e ingeniero mecánico administrador (2001) del Tecnológico de Monterrey, campus Monterrey y Querétaro (México) respectivamente. Se encuentra afiliado al Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas (PPGEPS) de la Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), Brasil.

Actualmente realiza su investigación en el desarrollo de técnicas de optimización multi-objetivo para el diseño en ingeniería y de aprendizaje de máquina para procesos industriales. Sus principales intereses de investigación son la inteligencia computacional, el control inteligente, la optimización multi-objetivo, la toma de decisiones multi-criterio, algoritmos evolutivos y aprendizaje de máquina.

Fecha: 6 de febrero de 2019

Horario: 09h00 a 13h00

Lugar: laboratorio IPT, UPS-Guayaquil (edificio E, piso 1)

Workshop 2. Cloud computing y datacenters

Los participantes en este taller obtendrán una vista panorámica respecto de los centros de datos, es decir, la infraestructura tecnológica que soporta a la computación de la nube. La computación en la nube se define como un modelo que ofrece servicios de computación bajo demanda, tales como:

- a. SaaS (software como un servicio), modelo que provee las aplicaciones de software para usuarios finales vía internet: e-mail, ofimático, almacenamiento, etc.
- b. PaaS (plataforma como un servicio), modelo que provee las plataformas para el desarrollo de software vía internet como lenguajes de programación y bibliotecas.
- c. IaaS (infraestructura como servicio), modelo que provee la infraestructura física que permita a su vez soportar PaaS y SaaS, como servidores, redes y laboratorios de computadoras vía internet, soportado en Data Centers.

Finalmente, se aborda la iniciativa IEEE Cloud Computing, así como las tendencias de la industria de los centros de datos y los principales estándares de la industria. En la actualidad, los egresados de las TIC encuentran en las empresas proveedoras de telecomunicaciones empleo en centros de datos y centros de operaciones de red.

Instructor: Prof. José Ignacio Castillo Velázquez

Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM), México



El profesor José Ignacio Castillo cuenta con 21 años de experiencia en el área de tecnologías de la información y las comunicaciones, y ha participado en más de 70 proyectos nacionales e internacionales como director o miembro de equipo, en posiciones técnicas o de gestión. En la industria, ha laborado en las empresas RedUno-TELMEX, IFE, DICINET y actualmente es consultor en Datacenter Dynamics. En la academia, ha laborado en tres universidades a tiempo completo (UACM, UPAEP y UTM) y ha sido

profesor visitante en otras tres universidades (UAM, UDEFA, BUAP). Desde 2008 es profesor de Telecomunicaciones en la Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM), donde dirige el laboratorio de redes avanzadas ADVNETLAB. Ha escrito 33 artículos en revistas y congresos internacionales arbitrados, cuatro libros y más de cien artículos de divulgación. Ha impartido más de 120 cursos de grado y posgrado y más de 130 conferencias magistrales. En organismos internacionales es conferencista distinguido por IEEE Computer Society y participa en comités ISO/IEC 27000 e ISO/IEC 38500. Obtuvo la maestría en Dispositivos Electrónicos y la licenciatura en Ciencias de la Electrónica con mención honorífica por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.

Fecha: 6 de febrero de 2019

Horario: 14h00 a 18h00

Lugar: auditorio de la UPS-Guayaquil (edificio D, piso 1)

Workshop 3. Movilidad sustentable: evaluación energética y ambiental de vehículos

Actualmente existe una gran preocupación por las diferencias entre el consumo de combustible y las emisiones reales que muestran los vehículos y las reportadas por los fabricantes. Estas diferencias generan errores importantes en los inventarios de emisiones y en la formulación de políticas públicas de control de las emisiones vehiculares.

En este taller se ilustrará la forma como se evalúa el desempeño energético y ambiental de los vehículos para propósitos regulatorios. Posteriormente, se mostrarán las herramientas existentes para estimar el consumo energético y las emisiones de los vehículos bajo condiciones particulares de una región de interés. Finalmente, se usarán estas herramientas para estimar el número de baterías requeridas en vehículos eléctricos.

*Instructor: PhD. José Ignacio Huertas Cardozo
Tecnológico de Monterrey, México*



José Ignacio Huertas es profesor titular del Tecnológico de Monterrey e investigador del Grupo de Investigación en Energía y Cambio Climático. Se graduó de ingeniero mecánico en la Universidad de los Andes, Colombia (1988). Obtuvo una maestría en Ingeniería Mecánica por la Universidad de los Andes (1990) y por la Universidad de Washington, St. Louis, EUA (1994). Es doctor en Ciencias por la Universidad de Washington (1997). Pertenece

al Sistema Nacional de Investigadores CONACYT, nivel 1, en México, y es investigador senior de COLCIENCIAS, Colombia. Es miembro de la Academia Mexicana de Ciencias. Lideró el Grupo de Investigación en Energía (GICOM) de la Universidad de los Andes, Colombia (1998-2002). En 2004 fundó el Centro de Investigación en Mecatrónica Automotriz (CIMA) del Tecnológico de Monterrey y lo lideró hasta 2015. Ha publicado tres libros, seis capítulos de libro y más de cincuenta artículos en revistas indexadas relacionadas con energía y contaminación del aire. Posee una patente y un derecho de autor otorgado. Ha completado más de noventa proyectos de investigación y desarrollo tecnológico financiados por empresas y entidades de gobierno en Colombia, México, España, Francia y EUA. Ha graduado a 89 magísteres y 6 doctores.

Fecha: 6 de febrero de 2019

Horario: 09h00 a 13h00

Lugar: sala de usos múltiples, UPS-Guayaquil (edificio D, piso 1)

Workshop 4. Generación de concepto y diseño de productos mecatrónicos

¿Qué hace que nuevos productos tecnológicos presenten mejores prestaciones, sean más competitivos y aun así continúen siendo atractivos y vigentes en el mercado? Los nuevos productos son generalmente planeados desde la generación del concepto y las especificaciones paramétricas y funcionales se definen en función del comportamiento y madurez del nicho de mercado objetivo, así como de la segmentación y base del cliente objetivo. Estos son ciertos problemas que se abordan a nivel gerencial y de ingeniería industrial, pero que hoy están en manos de la ingeniería mecatrónica, es decir, si estudiamos estas problemáticas desde el paradigma de la mecatrónica, donde concurren en el mismo *layer* de decisión los elementos y conceptos de diversas áreas del conocimiento, tenemos entonces herramientas de mecatrónica para el estudio de diseño de nuevos productos. En este *workshop* abordaremos los aspectos esenciales que influyen en la definición, generación y selección de concepto como base de nuevos productos competitivos, en particular desde el paradigma de diseño mecatrónico de lazo cerrado. Este paradigma busca establecer la causalidad de todos y cada uno de los elementos de diseño y de funcionalidad que definen y priorizan prestaciones del prototipo, y cómo evolucionan hacia un producto competitivo en el mercado. Profundizaremos en aspectos técnicos de definición funcional del producto, así como en las técnicas de concepto, modelado, diseño, sensores y actuadores (y su control), pruebas protocolarias, gestión del proyecto, hasta el ciclo de producto. Presentamos diversos casos de estudio y, organizados en equipos, desarrollaremos propuestas de diseño de un producto mecatrónico en un entorno hipotético pero realista.

Instructor: Dr. Vicente Parra Vega

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (Cinvestav), México



El Dr. Parra-Vega ha desarrollado una amplia experiencia en investigación y docencia a nivel de posgrado en el campo de la robótica, la mecatrónica y el control. Es fundador y cofundador de dos programas de posgrado, todos en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (Cinvestav). Después de graduarse de doctor en Ciencias por la Universidad de Tokio (1995), recibió una amplia capacitación internacional, incluida una estancia

de investigación en el Laboratorio Nacional de Ingeniería Mecánica de Japón y el Laboratorio de Robótica de la Universidad Ritsumeikan, ambos en 1998. Realizó sus estudios posdoctorales en el Instituto de Robótica y Mecatrónica del Centro

Aeroespacial Alemán (2000) y una licencia sabática en el laboratorio de Sistemas Robóticos Autónomos de la Universidad de Texas (2011), así como otras diez estancias de investigación internacionales adicionales. Ha asesorado a 36 tesis de posgrado, entre ellas diez PhD, y ha publicado más de 230 artículos originales de investigación revisada por pares en revistas, capítulos de libros y en prestigiosas conferencias internacionales (recolectando +1800 citas). Parra ha atraído fondos para 15 proyectos de investigación con agencias nacionales e internacionales, 11 como investigador principal. Sus áreas de investigación son la teoría de control de robots (basada en pasividad, adaptativa, modos deslizantes, fraccional y neurofuzzy), sistemas multirobot (teleoperación, cooperativas y manos robóticas), interacción física humana (interfaces cerebro robot, interfaces hápticas y evaluación de carga cognitiva), robots no inerciales (aéreo, submarino y móvil) y mecatrónica de circuitos cerrados. A lo largo de los años ha dirigido la investigación y el desarrollo de más de treinta prototipos robóticos experimentales y es miembro de SNI de México desde 1990, así como miembro regular de la Academia Nacional de Ciencias de México desde 2003.

Fecha: 6 de febrero de 2019

Horario: 14h00 a 18h00

Lugar: laboratorio IPT, UPS-Guayaquil (edificio E, piso 1)

Workshop 5. Optimización de topologías de convertidores con dispositivos de carburo de silicio para sistemas de tracción eléctrica

El *workshop* propuesto permite el estudio y análisis de diferentes topologías de convertidores trifásicos utilizados en sistemas de tracción eléctrica. La primera parte contempla una revisión completa de las topologías de convertidores con fuente de voltaje VSI, de corriente CSI y con redes de impedancia (Z , $Qzsi$). Todas estas topologías son contempladas para su implementación en sistemas de tracción eléctrica. La segunda parte del taller trata sobre el uso de dispositivos de carburo de silicio (SiC) en las topologías nombradas anteriormente. El uso de dispositivos SiC permite trabajar a mayor frecuencia de conmutación, mayor rango de temperatura de operación y reducen las pérdidas de potencia, esto significa obtener un incremento en la eficiencia en la parte del sistema inversor. El objetivo principal en este segundo punto consiste en mostrar las ventajas y desventajas del uso de esta tecnología en este tipo de convertidores y de cómo se puede llegar a obtener una optimización en tamaño, peso y eficiencia. Sin duda esto ha generado expectativa en los diferentes fabricantes y grupos de investigación dedicados a tracción eléctrica. Dentro de toda la temática se analizan diferentes técnicas de

modulación utilizadas en la actualidad y además se comentan temas específicos de control utilizados para estas topologías de inversores y motores eléctricos.

Instructor: PhD. Efrén Fernández Palomeque
Universidad del Azuay, Ecuador



Es especialista en sistemas de tracción eléctrica para vehículos híbridos y eléctricos e ingeniero electrónico por la Universidad del Azuay. Tiene una especialización en Autotrónica por la Universidad de Buenos Aires. Es máster en Control Industrial y Automatización de la ESPOL, PhD en Ingeniería Electrónica en el área de sistemas de tracción eléctrica por la Universidad Politécnica de Cataluña. Se ha desempeñado como profesor en la Universidad Espíritu Santo, Universidad Internacional del Ecuador y Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. En la actualidad es profesor de la Universidad del Azuay y colaborador del Grupo de Investigación MCIA Motion Control and Industrial Applications adjunto a la Universidad Politécnica de Cataluña, en donde colabora con proyectos de transferencia de tecnología. Además, es *technical trainer* de la empresa Cise Electronics (EUA), *technical advisor* de la empresa EAATA (Barcelona, España) y fundador de la marca ecuatoriana Dr. Ecus Solutions. Ha representado al Ecuador en diferentes congresos internacionales y tiene varias publicaciones en revistas relacionadas con el área de la movilidad eléctrica y la optimización de topologías de convertidores en tracción eléctrica. Cuenta con diez años de experiencia en el desarrollo e implementación de proyectos enfocados en sistemas electrónicos en automóviles y optimización en la conversión de sistemas de automoción convencionales a eléctricos.

Fecha: 6 de febrero de 2019

Horario: 14h00 a 18h00

Lugar: sala de usos múltiples, UPS-Guayaquil (edificio D, piso 1)

CONFERENCIAS MAGISTRALES

Conferencia 1. “Gestión del conocimiento en la universidad-ecosistema”

Las tendencias modernas, provenientes de las exigencias del mercado, demandan de la universidad eficiencia y eficacia, y parece ser que el modelo organizacional heredado de la era industrial impera en las universidades. Por esta razón surge el cuestionamiento sobre si la universidad tiene la capacidad de dotar de sentido (dirección y razón de ser) crítico a lo que le rodea o simplemente se ha subordinado a la razón instrumental. Bajo esta premisa, en esta conferencia se introduce la noción de “universidad-ecosistema” que nos lleva a entenderla como un organismo vivo en donde la producción del conocimiento es fin, medio y fundamento para el desarrollo de la persona. La biomimética de los ecosistemas se conjuga desde la perspectiva de la complejidad de los elementos que conforman la universidad y permite entender las relaciones cíclicas no lineales, las interdependencias, las sinergias, la capacidad de autoorganización y la necesidad de la redundancia para producir resiliencia. Bajo esta perspectiva, en la universidad-ecosistema la única certeza es la incertidumbre. La capacidad de asombro y de producir novedad constituye la base para cuestionar y modificar las creencias justificadas y verdaderas. El proyecto es el eje catalizador de este proceso, tiene el poder de transformar; un proyecto de vida socialmente responsable que haga a la persona ser el actor principal, capaz de plantearse preguntas y problemáticas, dando soluciones críticas fundamentadas en ideas y conocimientos, reconociendo en la comunidad nuevos proyectos que anuncian vida y articulan los saberes con prácticas transformadoras. De esta forma la universidad-ecosistema puede cumplir su función de ser productora de sociedad y producto de sociedad.

*Expositor: PhD. Juan Pablo Salgado Guerrero
Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador*



Doctor en Economía y Gestión de la Innovación y la Sostenibilidad por la Università degli Studi di Ferrara, Italia, donde obtuvo un reconocimiento a la mejor tesis doctoral de su ciclo. Fue asesor del ministro de Electricidad y Energía Renovable, coordinando y monitoreando el avance de los proyectos emblemáticos necesarios para el cambio de la matriz productiva y energética del Ecuador. Fungió como secretario de Desarrollo Humano y Economía de la municipalidad de Cuenca, encontrándose entre sus responsabilidades la gerencia de la ciudad de las ciencias, la coordinación y política pública del ayuntamiento en las áreas de desarrollo social y económico, cultura, educación, salud, turismo, así como la representación ejecutiva del alcalde, la presidencia de los directorios de algunas empresas públicas, colaborador del

Programa Mejora tu Barrio de la municipalidad de Cuenca y tutor de CIFOPE, entre otras responsabilidades. Desde 2003 y como parte de la Universidad Politécnica Salesiana, ha desempeñado diferentes funciones, entre ellas la de catedrático universitario, director de Relaciones Internacionales y secretario de la Vinculación con la Sociedad, con una gestión conjunta de la mano y en favor de la comunidad salesiana a través del relacionamiento nacional e internacional. Desde mayo de 2015 es el vicerrector de Investigación de la Universidad Politécnica Salesiana y mentor del Ecosistema de Innovación y Emprendimiento StartUPS.

Conferencia 2. “Investigación básica y aplicada en mecatrónica para el estudio de robots de nueva generación”

Hace décadas se materializó la tecnología de los robots manipuladores, primero como prueba de concepto en laboratorios de investigación y posteriormente en la industria de manufactura y de servicios de alto valor agregado, a tal punto que inclusive el sector de la robótica industrial constituye un indicador económico internacional. Sin embargo, fue en esta última década cuando una nueva clase de robots irrumpió en el mercado internacional, en particular en las industrias emergentes. ¿Qué hizo posible esto, qué tipo de conocimientos y tecnologías posibilitaron tal revolución tecnológica? En esta breve charla discutimos algunos fundamentos y aspectos esenciales de la robótica y el beneficio de abordar sus problemáticas desde la mecatrónica. En particular, se ahondarán algunos problemas de investigación básica y aplicada de robots emergentes (que a diferencia de robots industriales no cumplen con ISO) que ya se encuentran en el mercado. Discutiremos brevemente recientes problemas y resultados de investigación de ingeniería concurrente y mecatrónica, que han contribuido sustancialmente al advenimiento de esta generación de robots. Finalmente, señalaremos algunos problemas abiertos que trascienden el estado del arte y definen el devenir de esta tecnología.

Expositor: Dr. Vicente Parra Vega

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (Cinvestav), México



Conferencia 3. “Una introducción a la optimización en ingeniería con técnicas multi-objetivo”

Muchos de los problemas de ingeniería se plantean como un problema de optimización, típicamente de un índice de desempeño (función de coste u objetivo). Sin embargo, puede acontecer que la solución óptima encontrada no satisfaga al ingeniero o diseñador a cargo. ¿Qué hacer cuando una solución “óptima” no es suficiente? En esta charla se aborda este problema desde un enfoque multi-objetivo, donde un conjunto de soluciones pareto-óptimas son calculadas. Lo anterior significa que dados dos (o más) objetivos de diseño en conflicto, se calcula un conjunto de soluciones óptimas con diferente grado de compromiso entre los objetivos de diseño. Dicha estrategia brinda al diseñador alternativas para la selección de la solución más acorde a sus necesidades, tras un proceso de análisis multi-criterio. Se brindará una perspectiva general del proceso de diseño mediante optimización multi-objetivo, presentándola como una técnica de diseño holística, donde convergen la definición del problema, la fase de optimización y la toma de decisiones.

*Expositor: PhD. Gilberto Reynoso Meza
Pontificia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), Brasil*



Conferencia 4. “Redes avanzadas en Latinoamérica y los mundos”

La conferencia ofrece una vista panorámica respecto de las redes avanzadas o lo que conocemos como Internet 2, tanto en la tierra como en el internet interplanetario. Por un lado, Internet 2 se interconecta mundialmente bajo la denominación de redes académicas, cuyos requerimientos son una velocidad y una infraestructura de *backbone* de *switches* y *routers* de alto rendimiento, y por otro lado el internet interplanetario se desarrolla como parte de la colonización de Marte y otros planetas. Hoy todas las empresas proveedoras de internet comercial emplean IPV4 tunelada con IPV6 o directamente implementaciones con IPV6, y de hecho IPV6 se desarrolló en el ambiente de las redes avanzadas, así como

una variedad de protocolos y servicios que posteriormente se implementan en el internet comercial. Las redes avanzadas deben ser estratégicas para todo país, Alemania, por ejemplo, ya inicio con la construcción de su Internet 3.

*Expositor: Prof. José Ignacio Castillo Velázquez
Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM), México*



Conferencia 5. “Polución del aire cerca de vías: un estudio experimental y de simulación numérica mediante CFD”

Buscando avanzar en el entendimiento de la dispersión de contaminantes cerca de vías vehiculares, la conferencia abordará los resultados de un estudio experimental que midió el tráfico vehicular, parámetros meteorológicos relevantes y la concentración de material particulado (TSP, PM10 y PM2.5), simultáneamente, en diferentes lugares vientos abajo de dos vías no pavimentadas, localizadas sobre terreno plano y en una región sin ninguna fuente adicional relevante de contaminantes. Con estos datos, a través de un software comercial de mecánica de fluidos computacionales (CFD) se implementó un modelo de calidad del aire que simula la dispersión de material particulado y contaminantes gaseosos emitidos. Los resultados de esta investigación pueden ser usados para determinar el tamaño de las áreas impactadas por las vías vehiculares, identificar medidas de mitigación, adaptación y mejorar la exactitud de los factores de emisión.

*Expositor: PhD. José Ignacio Huertas Cardozo
Tecnológico de Monterrey, México*



Conferencia 6. “El radón, un riesgo real”

La conferencia abordará el tema de la contaminación ambiental de carácter radiológico y muy específicamente la debida al radón-222; este es un elemento catalogado por la OMS como carcinogénico y es la primera causa de cáncer de pulmón a nivel mundial entre los no fumadores. Se estima que en los Estados Unidos mueren anualmente un promedio de 21 000 personas por cáncer de pulmón inducido por este gas, mientras que en España mueren anualmente cerca de 2 000 personas. En Latinoamérica, los estudios sobre el tema todavía son muy escasos. En esta charla se mostrarán algunos resultados de estudios llevados a cabo en el laboratorio R&T de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, en los que se ha calculado el riesgo radiológico al cual se exponen los habitantes de la ciudad de Cuenca.

Expositor: PhD. Tony Jesús Vilorio Ávila
Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador



Físico, máster en Física y doctor en Ciencias Físico-Matemáticas por la Universidad Estatal de Bielorrusia, en Minsk. Fue docente-investigador en la Universidad del Zulia, Venezuela (1993-2015). Entre las cátedras que ha impartido destacan: Física Nuclear, Física Atómica, Mecánica Cuántica, Métodos Matemáticos para Físicos, Cálculo Diferencial, Cálculo Integral, Álgebra Lineal y Estadística Aplicada. Es parte de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca desde 2015 hasta el presente. Ha publicado sus contribuciones científicas en numerosos congresos y revistas de alto impacto científico. Entre sus intereses de investigación figuran la simulación numérica de detección de las radiaciones ionizantes y los materiales radiactivos de origen natural.

Conferencia 7. “Industria 4.0: retos y oportunidades”

Desde la primera revolución industrial, los avances tecnológicos han generado el crecimiento pronunciado de la productividad industrial hasta llegar a la industria automatizada en los años 70. En las últimas décadas, los avances en la comunicación móvil y en las TIC nos han colocado en el medio de una cuarta ola de avance tecnológico, que ha propiciado la transformación digital de la industria: la industria conectada o también llamada la Industria 4.0, donde los sensores, las máquinas y los sistemas de información pueden estar conectados a lo largo de toda la cadena de valor, para lograr una industria inteligente, centrada en el producto y el cliente. Sin embargo, la mera conexión no es suficiente, la

digitalización de la industria es solo un habilitador de otros procesos analíticos y de razonamiento que conducen a una industria integrada, eficiente y flexible para producir bienes de alta calidad a costos reducidos. En este sentido, el paradigma de la Industria 4.0 propone retos sobre cómo aplicar e implementar tales procesos a lo largo de la cadena de valor. De igual manera, el desarrollo de la Industria 4.0 ofrece oportunidades para alcanzar una manufactura sostenible en diferentes áreas del proceso productivo: en los modelos de negocios, redes de creación de valor, en el modelo de la organización, en los recursos humanos y también en los procesos y productos. Entonces, se presentan retos y oportunidades que deben entenderse en cada contexto, lo que permite incluso que pequeñas y medianas industrias puedan empezar a transitar el camino hacia la Industria 4.0.

Expositora: PhD. Mariela Cerrada Lozada-Venezuela



Ingeniera de Sistemas y máster en Ingeniería de Control por la Universidad de Los Andes, Venezuela. PhD en Sistemas Automáticos por el Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas de Toulouse, Francia. Posee más de 23 años de experiencia académica y de investigación, reportados en más de cien artículos científicos en congresos, capítulos de libros y revistas de alto impacto en el campo de la supervisión industrial basada en sistemas inteligentes. Fue profesora del Departamento de Sistemas de Control de la Universidad de Los Andes, donde alcanzó el más alto escalafón académico de profesora titular. En los años 2014-2015 y 2016-2017 fue investigadora Prometeo en el Grupo de Investigación y Desarrollo en Tecnologías Industriales (GIDTEC) de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca y actualmente es docente de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica de esta misma universidad.

Conferencia 8. “Internet de las cosas: una mirada en investigación, innovación y desarrollo”

El crecimiento del Internet de las Cosas (IoT) cada año supera los pronósticos establecidos por los entes reguladores y los fabricantes de dispositivos. Durante el último año, IoT ha pasado de ser una visión futurista, a veces con un cierto grado de exageración, a una realidad que va en crecimiento. Este aumento generará cambios en los negocios tradicionales y consecuentemente una reducción de la intervención humana. El IoT es la idea de que todo puede ser conectado en cualquier parte y en todo momento. Este concepto puede aplicarse a todos los sectores que involucran la vida cotidiana del ser humano como cuidado per-

sonal, hogar, transporte, salud, agricultura, cibergobierno, educación, industria automotriz, comercio electrónico, negocios, etc. Esta charla presenta un resumen en investigación, innovación y desarrollo de los proyectos existentes de IoT, así como sus principales retos y obstáculos.

*Expositora: PhD. Mónica Huerta
Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador*



Ingeniera electrónica y máster en Ingeniería Biomédica, ambos títulos obtenidos en la Universidad Simón Bolívar, Venezuela. En 2006 obtuvo el título de doctor en Ingeniería Telemática por la Universidad Politécnica de Cataluña, España, con la distinción de Cum-laude. Entre 2008 y 2010 realizó dos postdoctorados en la Universidad Politécnica de Cataluña y uno en la Universidad de Veracruzana, México. En 2010 fue acreedora de una beca

Erasmus Mundus de la Comunidad Europea para realizar actividades de investigación en la Universidad de Barcelona. Fue profesora titular, decana de Estudios de Postgrado y coordinadora del Doctorado en Ingeniería de la Universidad Simón Bolívar. Fue fundadora del Grupo de Redes y Telemática Aplicada (GRE-TA-USB). Es miembro senior de la IEEE de las sociedades: Mujeres en Ingeniería, Comunicaciones e Ingeniería en Medicina y Biología (EMBS) y presidenta del capítulo de la EMBS de Ecuador. Entre 2014 y 2017 se desempeñó como investigadora bajo el Programa Prometeo de la SENESCYT, Ecuador. Actualmente es profesora titular principal de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. Su investigación se centra en redes inalámbricas, redes de sensores, telemedicina y monitoreo remoto. Ha dirigido y participado en más de 25 proyectos de investigación. Tiene publicados más de 160 artículos en revistas y congresos nacionales e internacionales.

**SESIÓN TÉCNICA DE CIENCIA,
TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN
PARA LA INDUSTRIA**

Response spectrum of liquefiable loose sands-F1 profile (seismic hazard)

Espectro de respuesta de arenas sueltas licuables-perfil F1 (peligro sísmico)

J. Alviar¹

Abstract: *one of the problems facing the civil engineer is the proper design of structures. In the Ecuadorian standard NEC-SE-DS where the seismic hazard is quantified, there is a typology of soil identified as F1 in which it is established that when in the geotechnical profile there are soils that under the seismic action are susceptible to liquefy, they must be made particular studies to evaluate the dynamic response of the profile and establish the spectral shape and the horizontal acceleration coefficient to be used in the design. The present research will analyze the dynamic response of potentially liquefiable loose sands using the Cyclic 1-D program, which allows to consider the increase in pore pressure under seismic action, the decrease in effective efforts in the soil and consequently the reduction of the shear strength, as well as the change of rigidity and damping with the deformation. To do this, lithological profiles of liquefiable loose sands were defined, varying in thickness from 5 m to 30 m, which were subjected at their base to instrumental earthquakes of varying intensity, frequency and duration, which defined the design spectra based on the level of seismic acceleration.*

Keywords: *profile F1, loose sand, response spectrum, liquefaction, dynamic response.*

Resumen: uno de los problemas con que se enfrenta el ingeniero civil es el diseño adecuado de estructuras. En la norma ecuatoriana NEC-SE-DS donde se cuantifica el peligro sísmico, existe una tipología de suelo identificada como F1 en la que se establece que cuando en el perfil geotécnico existan suelos que bajo la acción sísmica sean susceptibles de licuar, se deberán realizar estudios particulares para evaluar la respuesta dinámica del perfil y establecer la forma espectral y el coeficiente de aceleración horizontal a utilizar en el diseño. El presente trabajo de investigación analizará la respuesta dinámica de arenas sueltas potencialmente licuables utilizando el programa Cyclic 1-D, que permite considerar el incremento de la presión de poros bajo la acción sísmica, la disminución de los esfuerzos efectivos en el suelo, la disminución de la resistencia al corte, así como el cambio de rigidez y amortiguamiento con la deformación. Para ello, se definieron perfiles litológicos de arenas sueltas licuables de espesor variable entre 5 m y 30 m, los cuales fueron sometidos en su base a sismos instrumentales de variada intensidad, frecuencia y duración, de los cuales se han definido los espectros de diseño atendiendo al nivel de aceleración sísmica.

Palabras clave: perfil F1, arena suelta, espectro de respuesta, licuación, respuesta dinámica.

¹ José Domingo Alviar Malabet, PhD en Ingeniería Estructural, MSc en Geotecnia, ingeniero civil, docente de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Ecuador (jalviar@ups.edu.ec).

1. Introducción

Existen en el país depósitos de suelos potencialmente licuables [1] [3], es decir, arenas sueltas, superficiales, ubicadas por debajo del nivel freático, con número de golpes del ensayo de penetración normal SPT bajos [4], comprendidos entre 0 y 10 golpes. Terrenos en los que se construyen edificaciones o viviendas unifamiliares, que en algunos casos más graves no se llevan a cabo adecuados estudios geotécnicos, sin prever el peligro asociado a este tipo de suelos, o en otros casos, aunque se conoce el potencial de licuación [5] y se prevé en el diseño geotécnico de la fundación un sistema que garantice asentamientos tolerables por la estructura y adecuada capacidad de soporte, se desconoce en este tipo de suelos (arenas sueltas licuables) cuáles son los efectos de la acción sísmica sobre la estructura.

De la revisión bibliográfica existen algunos trabajos que tratan el problema de arenas licuables, pero restringidas al estudio de sitios particulares como el caso de Punta Arenas en Chile [6] y Tumaco en Colombia [7]. Un buen estudio de los espectros de respuesta de los suelos que existen en la ciudad de Quito indica que los suelos tipo F requieren

de un estudio particular de sitio, como se muestran en las referencias [8].

En ese sentido, el presente estudio permitirá evaluar la respuesta dinámica de suelos potencialmente licuables, tipificados como F1 en la norma ecuatoriana NEC-SE-DS [9], suelos que requieren la realización de un estudio particular de sitio y el análisis de propagación de ondas sísmicas. La tarea es compleja porque el análisis dinámico es del tipo no lineal, donde existe degradación de rigidez y cambios del amortiguamiento con la deformación, a su vez está presente la evolución o cambios en las presiones de poros asociados a los cambios volumétricos que tratan de producirse en los suelos granulares por la acción sísmica [10].

El presente trabajo constituye una investigación cuantitativa del tipo cuasi-experimental [11], por cuanto se estudia la relación causa-efecto de fenómenos naturales como los sismos sobre depósitos de suelos sueltos saturados, donde no existe un control riguroso de la variable independiente que es la historia de aceleraciones sísmicas, los mismos que provienen de registros instrumentales disponibles en la red sismológica mundial [12].

2. Métodos

De acuerdo con la definición operacional de variables, en este estudio se presentan:

- Variables independientes. Comprende los registros sísmicos medidos en roca y los perfiles litológicos de arenas sueltas saturadas, caracterizados por su espesor, peso unitario y velocidad de ondas de corte.
- Variables intervinientes. Comprende la herramienta o algoritmo de

cálculo [13] que permite cuantificar los efectos que produce el sismo en el comportamiento dinámico del perfil del suelo. Esta variable no será sometida a investigación, por cuanto se parte de la premisa de que el algoritmo de cálculo ha sido desarrollado y validado por personal altamente especializado [14] [15].

- Variables dependientes. Comprende la historia de aceleraciones en superficie, espectros de respuesta, lazos de histéresis, trayectoria de esfuerzos, incremento en presión de poros, entre otros.

La muestra de estudio se circunscribe a depósitos de arenas, sueltas, saturadas, susceptibles a experimentar el fenómeno de licuación.

La metodología a seguir para cumplir con el objetivo propuesto en este estudio se presenta continuación:

Recopilación bibliográfica de trabajos realizados que tienen relación con el tema objeto de estudio, destacándose entre ellos: generación de espectros de respuesta [10], evaluación del potencial de licuación [16], modelos constitutivos que consideren degradación de resistencia, cambio en rigidez y amortiguamiento en los suelos con la deformación y aumento de presión de poros [10] [17] [18] [19], entre otros.

Ubicación y selección de código de cálculo o programa que permita evaluar la respuesta dinámica de suelos, y particularmente considere los cambios de rigidez y amortiguamiento con el

aumento de presión de poros, así como su disipación en el tiempo.

Construir perfiles de suelo de arenas sueltas potencialmente licuables de espesores 5, 15 y 30 m.

Seleccionar sismos instrumentales registrados en roca que posean variabilidad en duración, contenido frecuencial y aceleración sísmica.

Aplicar en la base de cada uno de los perfiles geotécnicos los acelerogramas de entrada definidos anteriormente.

Obtener la historia de aceleraciones en superficie, lazos de histéresis, historia de aumento de presión de poros, entre otros.

A partir de la historia de aceleraciones en superficie construir los espectros de respuesta para una estructura elástica de 1 grado de libertad (gdl).

Realizar el análisis de las respuestas obtenidas cuantificando la aceleración máxima en superficie, la amplificación y la generación de espectros de respuesta. Proponer espectros de diseño en suelos potencialmente licuables.

2.1. Perfiles litológicos

En este estudio se seleccionó como perfiles litológicos los correspondientes a arenas sueltas en el menú de opciones del programa Cyclic 1-D [13], con propiedades de velocidad de ondas de corte de 185 m/s, ángulo de fricción 29° , permeabilidad $6,6 \times 10^{-5}$ m/s, densidad 1700 kg/m^3 y coeficiente de poisson de 0,4.

Los valores indicados anteriormente se mantuvieron constantes a todo lo alto del perfil, variando el espesor del depósito de suelo en 5 m, 15 m y 30 m, por cuanto las evidencias históricas indican que el fenómeno de licuación ha ocurrido en un rango de profundidades comprendido entre 0 y 20 m [10].

Dicha condición litológica constituye las peores condiciones desde el punto de vista de susceptibilidad a licuar, por cuanto se trata de una arena en estado suelto, con propiedades que se mantienen iguales a todo lo alto del perfil, el cual será la base para predecir los espectros de respuesta y de diseño en arenas sueltas licuables.

2.2. Selección de sismos instrumentales

Uno de los aspectos de gran importancia para la realización del estudio es la selección de sismos instrumentales que puedan ser aplicados en la base del depósito, sin estar sujetos al efecto de condición local o influencia de estructuras cercanas al sitio de medición. Para ello, se requiere, que los sismos seleccionados hayan sido medidos en estratos duros, competentes o rocas

(*outcropping*), sin la influencia de estructuras cercanas (*freefield*).

Existen numerosas páginas en la web donde se dispone de registros instrumentales que han sido corregidos por efecto del instrumento de medición, en organismos acreditados y de reconocido prestigio. Particularmente para la realización del presente estudio se ha utilizado la base de datos de la Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) [12].

Adicionalmente a ello, debe existir variabilidad en los valores de aceleración, duración, contenido frecuencial predominante en la señal sísmica y magnitud de sismo.

Los sismos seleccionados en total son 16, los cuales han sido agrupados por intensidad cercana a 0.1 g, 0.2 g, 0.3 g y 0.4 g, parámetros adicionales como contenido frecuencial predominante, magnitud del sismo, fecha, ubicación, distancia epicentral y duración del registro se indican en la Tabla 1. La combinación entre los espesores de suelos analizados y los sismos instrumentales han generado un total de 96 archivos o salidas de los programas cuya discusión y análisis de resultados se presentan a continuación.

Tabla 1. Sismos instrumentales

Id.	Sismo	Fecha	Magnitud	A (g)	Distancia (km)	Registro (s)	Frecuencia (hz)
S1	Landers	28/06/92	7,5	0,04	52	80	0-10
S2	Apel	18/10/89	7,1	0,08	47,7	40	0-4
S3	Mexunam	30/01/73	7,5	0,04	300	60	0-2
S4	Northridge	17/01/94	6,7	0,13	361	60	4-8
S5	Coyote	18/10/89	7,1	0,15	22	60	1-6
S6	Apel	30/01/73	7,5	0,15	300	60	0-5

S7	San Fernando	09/02/71	6,6	0,18	24,2	37	0-10
S8	Valparaiso	03/03/85	7,8	0,18	25	80	0-8
S9	Mammoth	25/05/80	6,1	0,27	15,5	30	1-2
S10	Loma Pietra	18/10/89	7,1	0,28	68	60	0-2
S11	Coalinga	09/05/83	6,6	0,3	3,8	10	7-10
S12	Coalinga	07/09/83	4,9	0,32	11	20	0-6
S13	Coyote	18/10/89	7,1	0,4	22	40	1-3
S14	Gilroy	18/10/89	7,1	0,43	11,2	40	2-4
S15	Mammoth	25/05/80	6,1	0,43	15,5	30	0-8
S16	Canada	23/12/85	6,9	0,48	8	20	0-3

Fuente: el autor

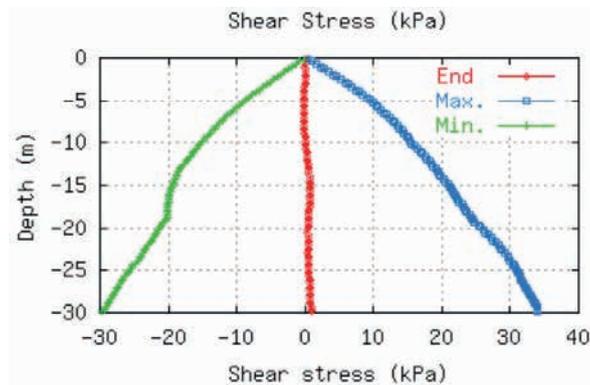
3. Resultados

Una vez realizadas las corridas y procesada la información correspondiente, de los resultados obtenidos se observa el siguiente comportamiento generalizado:

El esfuerzo de corte impuesto por el sismo tiende a aumentar linealmente con profundidad, como se muestra en la Figura 1, al igual que el esfuerzo confinante, al cual está asociada una mayor resistencia al corte, pero en algún punto del perfil, el esfuerzo de corte impuesto por el sismo iguala al esfuerzo ceden-

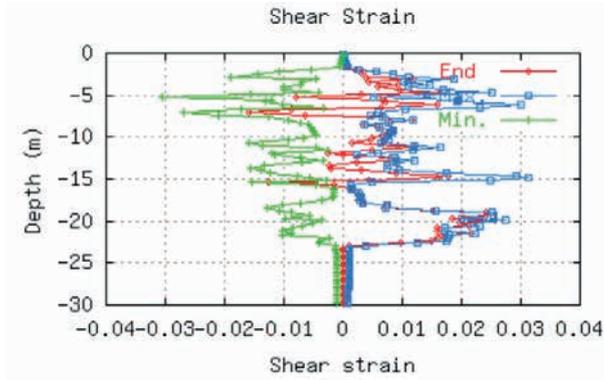
te, haciendo que el material entre en cedencia y se produzcan los mayores valores de deformación (Figura 2). Simultáneamente ocurre el aumento en presión de poros que hace que los esfuerzos efectivos disminuyan, al igual que la resistencia al corte del material, y en caso de que se iguale el esfuerzo confinante con la presión de poros, el esfuerzo confinante efectivo se anula, produciéndose lo que se denomina licuación (Figura 3).

Figura 1. Esfuerzo de corte impuesto por el sismo vs. profundidad



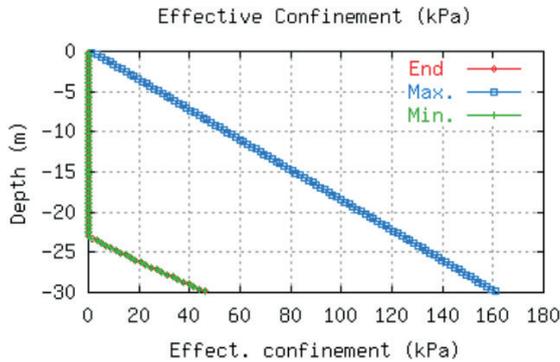
Fuente: el autor

Figura 2. Deformaciones de corte vs. profundidad



Fuente: el autor

Figura 3. Esfuerzo de confinamiento efectivo vs. profundidad



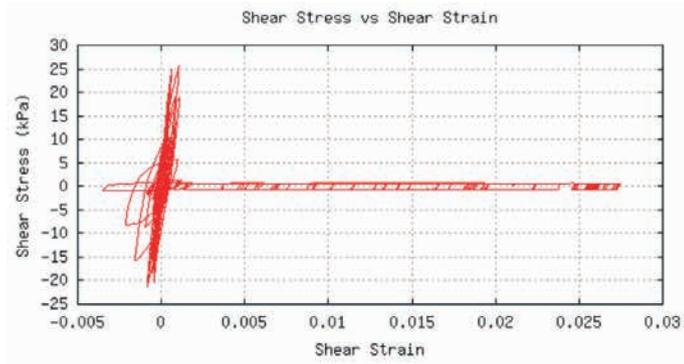
Fuente: el autor

Los resultados anteriormente mostrados se corresponden con la salida obtenida con el programa Cyclic 1-D para el perfil de 30 m de espesor, al aplicar en la base del depósito el sismo ocurrido en Chile (S8). En este caso, se produjo licuación inicial desde los 0 m hasta los 23 m, dado que el esfuerzo confinante efectivo se anuló para este rango de profundidades (Figura 3).

Para observar si se produjo licuación en el sentido estricto, es decir

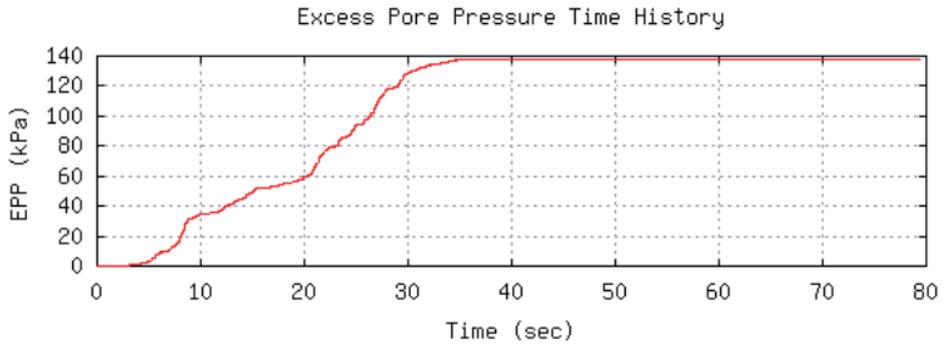
si el suelo experimentó grandes deformaciones bajo estado residual de resistencia al corte, con disminución de rigidez y escasa variabilidad en la presión de poros en el estado licuado (comportamiento contractivo), se presenta a continuación los lazos de histéresis a 20 m de profundidad (Figura 4), la historia de incrementos de presión de poros (Figura 5) y la trayectoria de esfuerzos correspondiente (Figura 6).

Figura 4. Lazo de histéresis a 20 m de profundidad (S8)



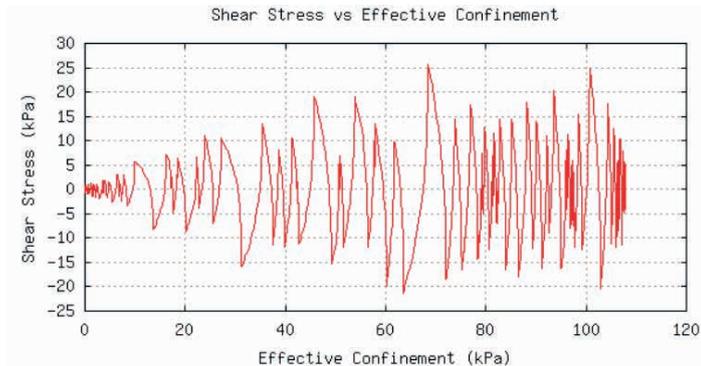
Fuente: el autor

Figura 5. Aumento de presión de poros a 20 m de profundidad (S8)



Fuente: el autor

Figura 6. Trayectoria de esfuerzos a 20 m de profundidad (S8)



Fuente: el autor

Se destaca de las figuras anteriores que después de ocurrida la licuación inicial, se mantuvo la presión de poros igual al esfuerzo confinante, se produjo a los 20 m de profundidad una caída brusca en resistencia y rigidez, alcanzando el suelo su estado residual con altas deformaciones.

En las trayectorias de esfuerzos se observa el comportamiento típico de arenas contractivas, es decir la trayectoria de esfuerzos tiende a acostarse hacia la izquierda, no mostrando comportamiento parcialmente contractivo o dilatante.

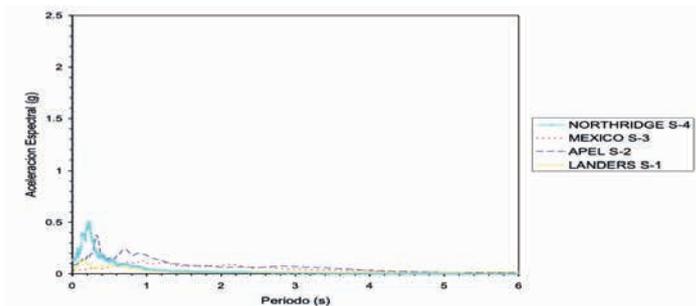
Una vez analizado el comportamiento dinámico del suelo a lo alto del perfil,

se presenta a continuación, los espectros de respuesta que se obtendrían para la estructura de 1 gdl colocada directamente sobre la roca, sin influencia de condición local por suelo licuable. Para ello, los espectros se agruparon en cuatro grupos atendiendo a la aceleración máxima medida en roca, los cuales comprenden:

- Grupo 1: sismos 1, 2, 3 y 4 (Tabla 1)
- Grupo 2: sismos 5, 6, 7 y 8
- Grupo 3: sismos 9, 10, 11 y 12
- Grupo 4: sismos 13, 14, 15 y 16

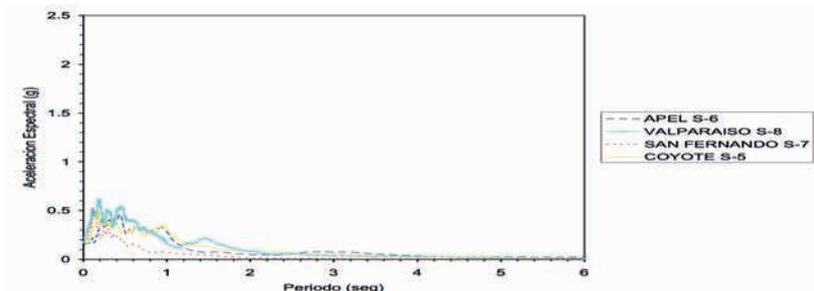
Los espectros obtenidos en roca para cada uno de los grupos anteriores se muestran en las figuras 7, 8, 9 y 10.

Figura 7. Espectros de respuesta en roca (Grupo 1)



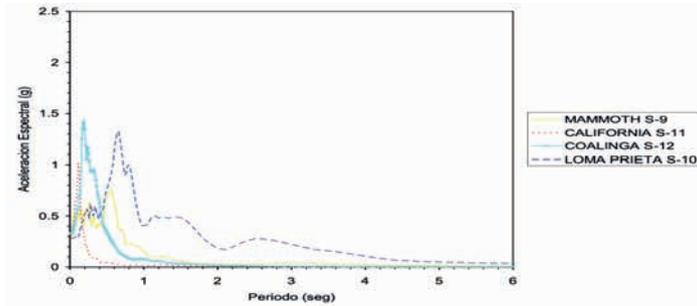
Fuente: el autor

Figura 8. Espectros de respuesta en roca (Grupo 2)



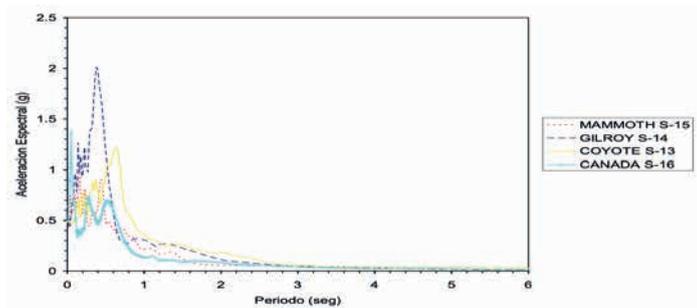
Fuente: el autor

Figura 9. Espectros de respuesta en roca (Grupo 3)



Fuente: el autor

Figura 10. Espectros de respuesta en roca (Grupo 4)



Fuente: el autor

Se observa de las figuras 7, 8, 9 y 10 que los valores de aceleración espectral para periodo cero, se corresponden con los valores de aceleración máxima en roca, que para el caso del Grupo 1 es en promedio 0,074 g, para el caso del Grupo 2 es en promedio 0,16 g, para el caso del Grupo 3 es en promedio 0,30 g, y para el caso del Grupo 4 es en promedio 0,46 g.

En general, se destaca para todos los casos anteriores que los mayores valores de amplificación en los espectros en roca se obtienen para los contenidos frecuenciales predominantes de sismos.

Por ejemplo, el sismo de Northridge (S4) posee un contenido frecuencial predominante cercano a 5 Hz, cuyo valor inverso proporciona un periodo predominante de 0,2 s, lo cual se corresponde con el periodo para el cual se alcanza el mayor valor de amplificación de 0,5 g en la Figura 7. Para el caso del sismo de México, la frecuencia predominante es próxima a 1 Hz, con periodo predominante de 1 s, donde se observa el mayor valor de amplificación con valor próximo a 0,1 g.

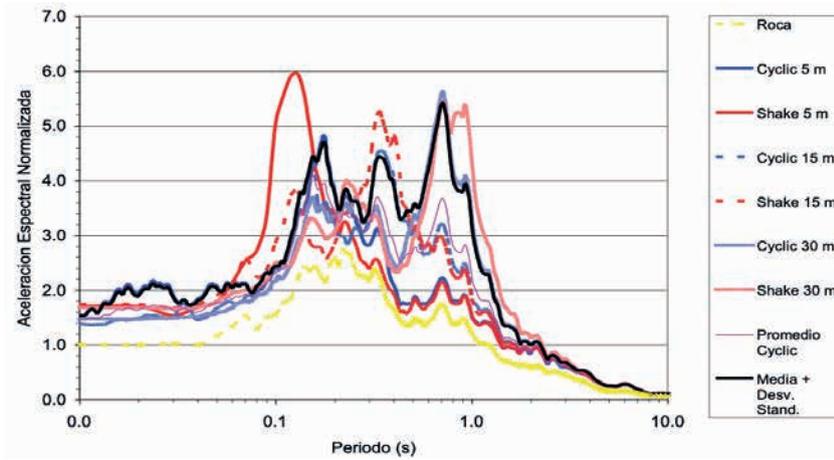
Adicionalmente, se destaca que en la medida en que las aceleraciones en

roca son mayores, mayores son los valores de amplificación, es decir, a mayor intensidad sísmica, mayores son las aceleraciones que experimenta la masa (m) de 1 grado de libertad (gdl).

En las figuras 11, 12, 13 y 14 se muestran los espectros normalizados

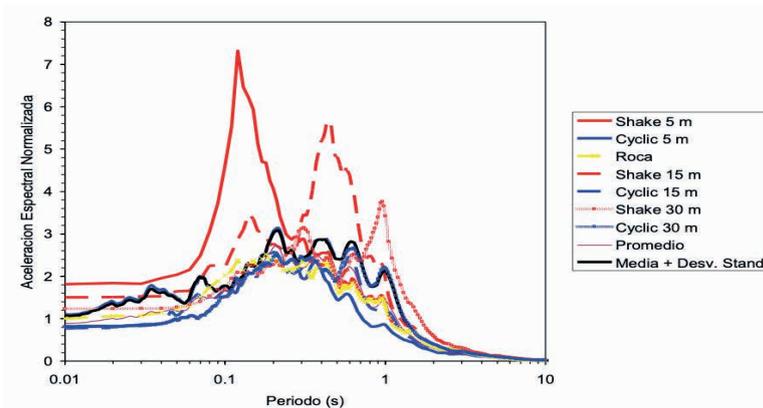
con respecto a la aceleración en roca. Este tipo de normalización permite cuantificar cuánto es la amplificación de la aceleración espectral por condición local, es decir, presencia de suelos licuables.

Figura 11. Superposición de espectros normalizados con respecto a la roca para arenas sueltas de 5 m, 15 m y 30 m de espesor (Grupo 1)



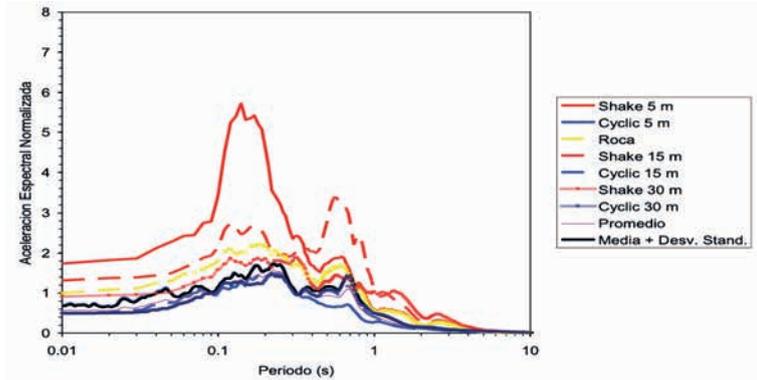
Fuente: el autor

Figura 12. Superposición de espectros normalizados con respecto a la roca para arenas sueltas de 5 m, 15 m y 30 m de espesor (Grupo 2)



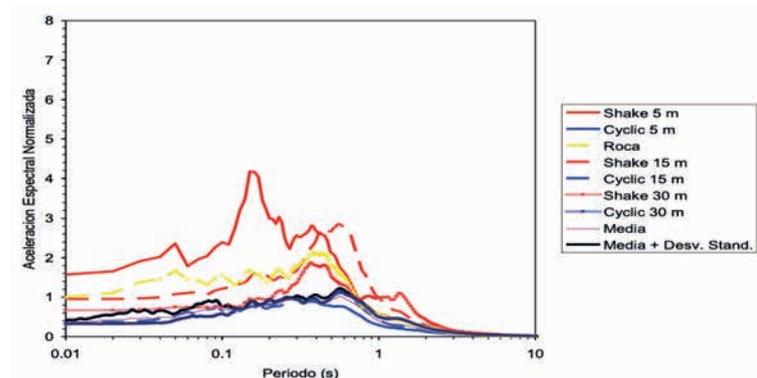
Fuente: el autor

Figura 13. Superposición de espectros normalizados con respecto a la roca para arenas sueltas de 5 m, 15 m y 30 m de espesor (Grupo 3)



Fuente: el autor

Figura 14. Superposición de espectros normalizados con respecto a la roca para arenas sueltas de 5 m, 15 m y 30 m de espesor (Grupo 4)



Fuente: el autor

Adicionalmente, se ha incluido como herramienta de cálculo un programa desarrollado en los años 70 por Seed y sus colaboradores conocido como Shake [20], este es un programa que evalúa la respuesta dinámica de suelos utilizando un modelo equivalente lineal, ampliamente utilizado, por su sencillez, para la generación de espectros de respuesta.

En general, en las figuras 11, 12, 13 y 14 los valores de amplificación obtenidos por Shake son sustancialmente mayores que los obtenidos con el programa Cyclic, lo cual es sustentado por varios estudios [10] [16] [18] [19]. La diferencia se atribuye a que el modelo equivalente lineal, aunque degrada rigidez y aumenta el amortiguamiento, no contempla cual es el esfuerzo ceden-

te del material, como es la evolución de presión de poros y los cambios en esfuerzos efectivos y resistencia, así como la resistencia residual que puede alcanzar el material. Los valores mostrados indican que la combinación de rigidez y amortiguamiento que alcanza el suelo, al usar el programa Shake, sobrestima las ordenadas espectrales con respecto al programa Cyclic.

En la Figura 11 se destaca que para el grupo de sismos con aceleración próxima a 0,1 g se producen valores de amplificación comprendidos entre 1,2 y 1,6 (periodo 0) con respecto a la roca. Para el rango de periodos intermedios se obtienen valores que pueden alcanzar hasta 4,5 veces (Cyclic) las aceleraciones máximas esperadas en roca.

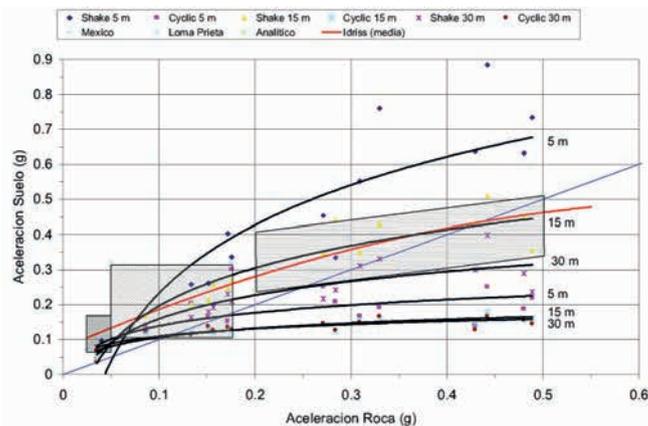
En el caso del grupo de sismos con aceleración próxima a 0,2 g (Figura 12), en promedio, la aceleración en superficie es igual a la obtenida en roca (Cyclic), a diferencia del programa

Shake, donde los valores de amplificación están comprendidos entre 1,3 y 1,8 (periodo 0). En este caso, los espectros obtenidos en suelos licuables se asemejan al que ha de esperarse en roca.

En las figuras 13 y 14, al aumentar la aceleración esperada en roca a 0,3 g y 0,4 g, se produce deamplificación de la respuesta en los suelos licuables con respecto al de la roca. A diferencia del programa Shake donde se alcanzan valores de amplificación muy por encima de los obtenidos con el programa Cyclic.

Para cuantificar el efecto de amplificación o deamplificación de la aceleración máxima en roca al pasar a través de la arena suelta, se han ubicado los datos de salida al utilizar los programas Shake y Cyclic, diferenciándose por profundidades de 5 m, 15 m y 30 m, conjuntamente con los datos de casos históricos [10] en que se ha correlacionado la aceleración máxima en superficie con la aceleración máxima en roca:

Figura 15. Aceleración en roca vs. aceleración superficial en arenas sueltas al utilizar los programas Shake y Cyclic



En general, se observa que los valores en superficie obtenidos por Shake son apreciablemente mayores que los obtenidos con el programa Cyclic. Los valores de amplificación obtenidos por Shake para la profundidad de 5 m son incluso mayores a las reportadas en los casos históricos, los cuales van disminuyendo en la medida en que aumenta el espesor del estrato.

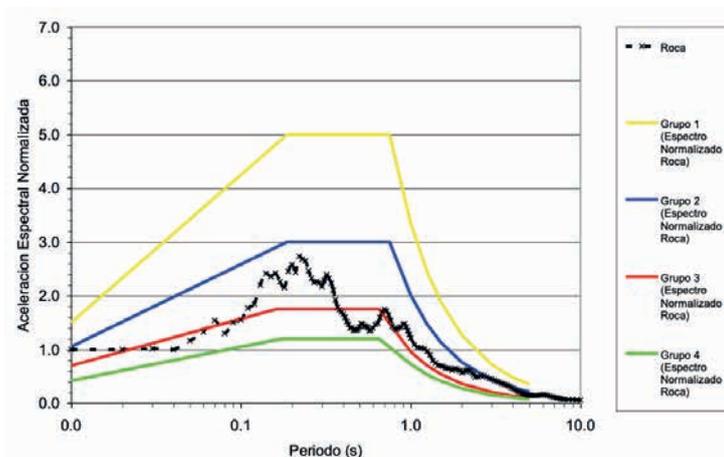
Con el programa Cyclic, para todos los perfiles estudiados, las aceleraciones en roca menores a 0,2 g producen aceleraciones en superficie que se corresponden con los datos históricos. A mayor aceleración en roca (0,3 g y 0,4 g) los valores de aceleración en superficie calculados con Cyclic, son menores a los medidos en roca (obsérvese que se ubican por debajo de la recta

a 45°), lo cual sustenta el efecto de deamplificación observado para aceleraciones mayores a 0,3 g.

El hecho de que exista variabilidad de la amplificación en función del espesor del estrato, sugiere que es apropiado tener los valores de aceleración o amenaza esperados en roca, a fin de cuantificar en futuras investigaciones cual es el efecto por condición local de suelo.

Una vez obtenidos los espectros normalizados con respecto a la roca (figuras 11, 12, 13 y 14), se trazaron espectros de respuesta suavizados, omitiendo los picos y los valles, que más se aproximen al registro de la media más una desviación estándar. De dichos espectros suavizados se ha construido el gráfico donde se superponen los mismos, como se muestra en la Figura 16.

Figura 16. Espectros normalizados roca para los grupos 1, 2, 3 y 4



Fuente: el autor

Una vez obtenidos los espectros normalizados en roca, los mismos se

convertirán a valores absolutos de aceleración, asignando valores de acele-

ración esperados en roca de 0,1 g, 0,2 g, 0,3 g y 0,4 g utilizando valores de interpolación lineal en los valores de F_a (amplificación de la aceleración espectral suelo/roca para periodo 0) y

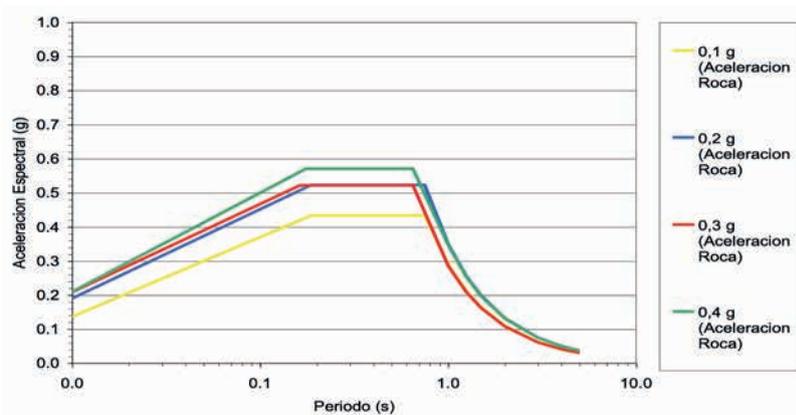
n (relación entre la aceleración espectral entre la meseta y el periodo 0) que caracterizan al espectro de respuesta, como se muestra en la Tabla 2 y la Figura 17.

Tabla 2. Parámetros de caracterización de formas espectrales normalizados en roca para aceleraciones de 0,1 g, 0,2 g, 0,3 g y 0,4 g

Grupo	Aceleración en roca (g)	F_a	n	T_c	T_o	r
1	0,1	1,36	3,18	0,75	0,19	1,4
2	0,2	0,95	2,75	0,75	0,19	1,4
3	0,3	0,70	2,50	0,65	0,16	1,4
4	0,4	0,52	2,72	0,70	0,18	1,4

Fuente: el autor

Figura 17. Espectros de diseño para aceleraciones esperadas en roca de 0,1 g, 0,2 g, 0,3 g y 0,4 g

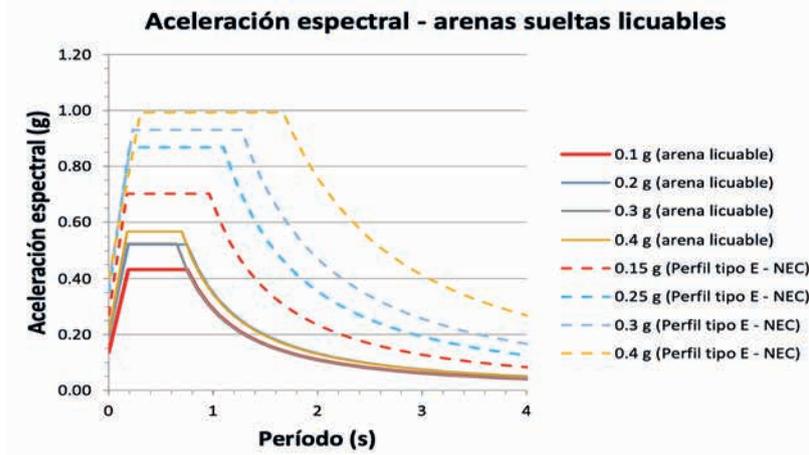


Fuente: el autor

Con la elaboración de la Figura 17 se ha dado respuesta al comportamiento de las arenas licuables bajo acciones sísmicas y complementa a la norma ecuatoriana (Peligro Sísmico) en la determinación del espectro de respuesta de los perfiles F1 que ameritan realizar un estudio particular de sitio. Con fines

de comparación se muestra en la Figura 18, los espectros que mediante la NEC se obtendrían para un perfil tipo E, una arena suelta, sin experimentar licuación, con aceleraciones en roca de 0,15 g, 0,25 g, 0,3 g y 0,4 g, atendiendo al mapa de amenaza sísmica de Ecuador [9].

Figura 18. Aceleraciones espectrales en arenas licuables (tipo F) y espectros de respuesta de arenas sueltas (tipo E)



Fuente: el autor

De la figura anterior se destaca que las aceleraciones espectrales obtenidas para las arenas licuables bajo excitaciones en roca comprendidas entre 0,1 g y 0,4 g presentan valores menores de aceleración en comparación con la zona de Ecuador que presenta menor amenaza sísmica (zona oriental del país) con aceleración esperada en roca de 0,15 g para un periodo de retorno de 475 años.

La implicación de lo anterior es que una estructura colocada sobre arena suelta, potencialmente licuable, sujeta a movimientos sísmicos de moderados a altos, pueden experimentar fuerzas menores a las correspondientes a un mismo suelo, no sujeto a licuación, de acuerdo con la norma ecuatoriana para diseño por efectos sísmicos.

4. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos y de las referencias consultadas se puede concluir lo siguiente:

- Con el uso del programa Shake se ha obtenido una sobrestimación de la respuesta dinámica de los suelos al comparar con el programa Cyclic 1-D. Se atribuye la diferencia a que el primero no es rigurosamente un modelo histerético no lineal.
- Los valores de amplificación o deamplificación de las aceleraciones del suelo con respecto a la roca atienden a los niveles de aceleración actuantes. En general a mayor aceleración, mayores son los niveles de deamplificación.
- Al comparar con los casos históricos de medición de aceleraciones se ha obtenido que para aceleraciones en roca menores a 0,2 g,

las aceleraciones en superficie son similares a las reportados en los casos históricos, mientras que para aceleraciones próximas o mayores a 0,3 g, las aceleraciones en superficie son menores a las reportadas en roca, lo cual sustenta el fenómeno de deamplificación observado en suelos licuables sujetos a altos niveles de aceleración.

- Se han obtenido los parámetros que caracterizan las aceleraciones espectrales en arenas sueltas licuables correspondientes a aceleraciones máximas esperadas en roca de 0,1 g a 0,4 g.
- La comparación de las aceleraciones espectrales obtenidas en suelos potencialmente licuables y el indicado en la Norma Ecuatoriana, para una arena suelta de propiedades similares, que no experimente licuación, indica que para aceleraciones en roca comprendidas entre 0,1 g y 0,4 g las aceleraciones espectrales en suelos licuables son incluso menores a las aceleraciones espectrales que se esperan en el país para la zona de menor amenaza sísmica (zona oriental con aceleración en roca de 0,15 g para un periodo de retorno de 475 años).
- Se recomienda ampliar la base de datos sísmicos con variada intensidad, duración y frecuencia, así como, sistemas lejanos y cercanos, etc.
- Los resultados obtenidos servirán como guía a la hora de definir aceleraciones espectrales en suelos potencialmente licuables.

5. Referencias

- [1] Esmeraldas News, Historia de los terremotos en Ecuador. Recuperado de <https://bit.ly/2yfGzLb/>
- [2] Levantamiento geológico de los efectos del sismo del 16 de abril en la zona entre Esmeraldas y Manta. Recuperado de <https://bit.ly/2MjHpik/>
- [3] 16 de abril de 2016: lecciones aprendidas-Dra. Alexandra Alvarado. Recuperado de <https://bit.ly/2K7MjMG/>
- [4] ASTM D-1586, "Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils", *Soils and Rocks*, American Society for Testing and Materials.
- [5] R. Seed, K. Cetin, R. Moss, A. Kammerer, J. Wu, J. Pestana y M. Riemer, "Recent Advances in Soil Liquefaction Engineering and Seismic Site Response Evaluation", *IV International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*, California, marzo, 2001.
- [6] E. Ruggery, "Respuesta sísmica de suelos Tipo F según NCH 433 OF. 1966 modificada en 2012 tratados con técnica soil mixing" (Tesis de ingeniería), Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile, 2017.
- [7] J. García, "Análisis comparativo del fenómeno de licuación en arenas. Aplicación a Tumaco (Colombia)" (Tesis doctoral), Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España, 2007.
- [8] P. Villalba, "Comparación del Análisis Modal Espectral, lineal y no lineal" (Tesis de maestría), Universidad Central de Ecuador, Quito, 2015.
- [9] NEC-SE-DS, Norma Ecuatoriana de la Construcción. Peligro Sísmico y Diseño Sismo Resistente. Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, Ecuador, 2014.

- [10] S. Kramer, *Geotechnical Earthquake Engineering*, University of Washington, Prentice-Hall International, pp. 184-417, 1996.
- [11] M. Tamayo, "El proceso de la investigación científica", Limusa, pp. 37-90, 1998.
- [12] Base de datos sísmológicos de California, Pacific Earthquake Engineering Center (PEER). Recuperado de <https://bit.ly/2yno33n/>
- [13] Z. Yang, E. Parra y A. Ragheb, *Software Cyclic 1-D*. A. Elgamal, 2013. Recuperado de <https://bit.ly/2Y9f3P0/>
- [14] E. Parra, "Numerical Modeling of Liquefaction and Lateral Ground Deformation Including Cyclic Mobility and Dilation Response in Soil Systems" (Tesis doctoral), Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York, 1996.
- [15] A. Elgamal, Z. Yang y E. Parra, "Computational Modeling of Cyclic mobility and Post-Liquefaction Site Response", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 22, pp. 259-271, enero, 2002.
- [16] ASCE, "Soil Dynamics and Liquefaction 2000", *Geo-Denver 2000, Geotechnical Special Publication*, n° 107, Denver, Colorado, agosto, 2000.
- [17] A. Vásquez, "The Behavior of Undrained Contractive Sand and its effect of Earth Structures" (Tesis doctoral), Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York, 1988.
- [18] W. Finn, P. Byrne y G. Martin, "Seismic Response and Liquefaction of Sands", *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, pp. 841- 856, agosto, 1976.
- [19] W. Finn, K. Lee y G. Martin, "An Effective Stress Model for Liquefaction", *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, pp. 517-533, junio, 1977.
- [20] P. B. Schnabel, J. Lysmer y H. B. Seed, *SHAKE 2: A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites*, Report n° EERC 72-12, Nacional Science Foundation, 1972.

Analysis of a livestock company using systems dynamics

Análisis de una empresa ganadera utilizando dinámica de sistemas

H. Samaniego¹

Abstract: *by performing the analysis of a livestock company using the methodology of systems dynamics as a basis for applying it in accordance with the specific needs of the organization under study, specific variables were determined according to its line of business and other variables of general applicability. It is important to mention that when studying this system, it was necessary to analyze its habitual behavior without considering data in extreme situations. The technique of unstructured interviews with the managerial part was used in order to collect relevant, reliable, and correct information. After the interviews, the determined variables were subjected to a process of validation by experts and a correlational statistical analysis, which gave rise to the model to be applied. Once this model was designed, it was possible to simulate results according to the specific needs of the organization, which allowed a visualization of the impact that these results would have on this company. The conjunction of the systems dynamics methodology, interviews, collection of historical data, market data as well as the involvement of the laws that govern these businesses in Ecuador, allowed to obtain the model.*

Keywords: *livestock company analysis, systems dynamics, models.*

Resumen: al realizar el análisis de una empresa ganadera utilizando la metodología de la dinámica de sistemas como base para aplicarlo en función de las necesidades específicas de la organización objeto de estudio, se determinaron variables concretas conforme a su giro de negocio y otras variables de aplicabilidad general. Es importante enunciar que al estudiar este sistema fue necesario analizar su comportamiento habitual y no considerando datos en situaciones extremas. Se utilizó la técnica de entrevistas no estructuradas con la parte gerencial con la finalidad de recopilar información relevante, confiable y correcta. Posterior a las entrevistas, las variables determinadas fueron sometidas a un proceso de validación por parte de expertos y un análisis correlacional estadístico, lo que dio origen a la obtención del modelo a ser aplicado. Una vez diseñado este modelo, fue posible simular resultados en función de las necesidades específicas de la organización, lo que permitió visualizar el impacto que dichos resultados tendrían en esta empresa. La conjunción de la metodología de la dinámica de sistemas, las entrevistas, la recopilación de datos históricos del mercado, así como el involucramiento de las leyes que rigen estos negocios en el Ecuador permitieron obtener el modelo.

Palabras clave: análisis empresa ganadera, dinámica de sistemas, modelos.

1 Hernán Samaniego, doctor en Proyectos, ingeniero en Procesos, consultor independiente y docente de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito (hsamaniego@ups.edu.ec).

1. Introducción

El sector pecuario es considerado de alta importancia dentro de la economía del Ecuador. Estudios realizados por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), en conjunto con el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), dan a conocer que en el año 2013, a nivel nacional, existían alrededor de 5,5 millones de cabezas de bovinos [1]. Estos valores representan a nivel mundial el 0,33% de la producción de carne pecuaria. Es importante anotar que los principales productores de carne bovina en el mundo son Estados Unidos (20,13%), Brasil (12,66%), China (10,43%), Argentina (4,65%), Australia (3,54%) y según datos de Food and Agriculture Organization (FAO), entre 2000 y 2007 contribuyeron con el 51,41% de la producción mundial de carne [2].

A partir del año 2015, el sector pecuario adquiere una mayor importancia estratégica en varios aspectos productivos y sociales, estimándose que en el país existen 5,2 millones de bovinos que generan unas 900 000 plazas de empleos directos, lo que constituye un valor cercano al 8% de la población económicamente activa [3]. Las reses de ganado vacuno existentes generaron en el año indicado una producción de 300 millones de libras de carne, según la Federación Nacional de Ganaderos (FENAGAN) [4]. Además, se puede indicar que la actividad bovina se distingue por sus características agroclimáticas y, por lo tanto, de acuerdo a los resultados ob-

tenidos en el censo realizado en el año 2015, la Sierra produce un 50,6% del total de la carne bovina en el Ecuador, la Costa se ubica en el segundo lugar con un 36,3% y el Oriente cuenta con un 13,1% [2].

Del total de ganado existente en la Sierra, la provincia de Pichincha concentra el 10,9% de cabezas de ganado, pero, es la provincia del Azuay la que representa el mayor porcentaje, con un 24,67% [5]. Los datos especificados sirven de base para realizar un estudio, midiendo la producción y comercialización de la carne bovina en una empresa ganadera, ubicada en la provincia de Pichincha, para lo cual se utiliza la metodología de la dinámica de sistemas, que permite visualizar las cantidades de carne bovina producida y comercializada en la actualidad, y comparar estos resultados con los que se podría obtener en un futuro. Estudios realizados por Domínguez y Guamán, así como por Caminos y colaboradores, abordaron principalmente proyecciones estadísticas a futuro sin demostrar como los valores obtenidos por ellos podrían modificarse si alguna variable cambiara de manera imprevista. Ante esto, el presente estudio se enfoca en las variaciones de producción, comercialización, venta y consumo de la carne de ganado vacuno; diseñando un modelo que a través de la utilización de simulaciones muestre las variaciones de sus resultados en función de los escenarios que podrían presentarse.

2. Métodos

En la actualidad, los negocios, áreas de trabajo, sectores productivos pueden ser analizados desde diversas perspectivas. Kim Warren, en el año 2002, desarrolló la dinámica de la estrategia, cuyo objetivo principal fue mejorar la enseñanza y la práctica del gerenciamiento estratégico. Los principios y el marco conceptual de esta metodología están contruidos sobre bases teóricas que tienen fuertes implicaciones en el campo de la administración. Esta dinámica de la estrategia está relacionada con la comprensión y la administración a través del tiempo y, si bien muchas empresas se concentran en las utilidades, esta metodología responsabiliza a los gerentes y equipos estratégicos para construir y sostener un desempeño sólido en el futuro [6]. Otra manera de analizar los negocios es expuesta por Camine Bianchi, quien en su estudio denominado *Dynamic Performance Management* señala que: el uso de un enfoque de gestión dinámica del rendimiento permite mejorar la capacidad de una organización para comprender y gestionar las fuerzas que impulsan dicho rendimiento a lo largo del tiempo, así como para establecer metas y objetivos que puedan medir los resultados de forma adecuada, selectiva y relacionarlos con las áreas de responsabilidad, claves en el proceso de planificación. Los enfoques de gestión dinámica del rendimiento son beneficiosos para los analistas encargados de esta área, ya que les faculta encuadrar su campo profesional den-

tro del contexto más amplio del sistema [7].

Por lo tanto, las organizaciones deben analizarse desde una perspectiva sistémica, para lo cual el modelado basado en dinámica de sistemas permite a las empresas alcanzar una base aplicada a especificaciones más detalladas, que otras metodologías podrían pasar por alto, olvidándose de analizar variables que afectan directamente a un sistema de negocio.

En tal virtud, la metodología de la dinámica de sistemas permite realizar modelos de simulación, mediante los cuales es posible analizar escenarios de cualquier campo organizativo, por cuanto un modelo de simulación es la representación conceptual, numérica o gráfica de un objeto, sistema, proceso, actividad o pensamiento; destaca, además, las características que el modelador considera más importantes del fenómeno en cuestión, por lo cual se lo emplea para analizar exhaustivamente cada una de sus relaciones e interacciones, y con base en su análisis, predecir posibles escenarios futuros para dicho fenómeno [8]. Por lo tanto, la dinámica de sistemas ayuda a realizar estudios referentes a diversos campos, entre estos, en este caso, la producción de carne. Así, por ejemplo, se ha ejecutado el estudio o modelado denominado “dinámica de sistemas y ciclos ganaderos” en Colombia, estudio que expuso un modelo referente a ciclos ganaderos, considerando variables

como: nacimientos, muertes y extracción histórica de ganado bovino en el vecino país del norte, cuya finalidad es demostrar que la utilización de un modelo basado en dinámica de sistemas permite evidenciar que los ciclos ganaderos pueden clasificarse desde dos perspectivas: los que plantean el ciclo ganadero desde el punto de vista de la relación entre los precios y el sacrificio de hembras y los que plantean el ciclo ganadero, considerando el desarrollo biológico del ganado y la relación de los precios del mismo [9]. Otro estudio realizado en el año 2015, denominado “modelado y simulación de la producción ganadera a corral”, facilitó visualizar un modelo basado en dinámica de sistemas que permitió simular la producción ganadera intensiva a corral. Además, se realiza una valoración económica de proyectos de inversión, utilizando un análisis multivariado, lo que permitió tomar decisiones acordes a los resultados alcanzados [10].

Por consiguiente, para la generación del modelo que se presenta más adelante se utiliza la dinámica de sistemas. Esta metodología se aplicó específicamente en una empresa ganadera, considerando para esto los datos provinciales e históricos que afectan a la empresa y al sector al que pertenece. Para la obtención de los datos fue necesario, inicialmente, realizar entrevistas no estructuradas a manera de conversatorio, lo que permitió al investigador definir la profundidad del contenido y recopilar información, proporcionan-

do factores o variables que intervinieron en la generación del modelo. Las entrevistas no estructuradas se llevaron a cabo con personas pertenecientes a los niveles directivos, supervisión y de operaciones de la empresa, lo que permitió encontrar las variables que afectan a este tipo de organización. Además, se utilizó como uno de los insumos el estudio realizado para el análisis de la problemática ganadera en España [11], adaptándolo de acuerdo con los requerimientos encontrados en esta investigación. Posteriormente, las variables determinadas se sometieron a un proceso de depuración, mediante un análisis de validación en el que colaboraron siete expertos, quienes las calificaron en función de su claridad, pertinencia e importancia. Por último, conforme a la validación realizada por los expertos y mediante un análisis de correlaciones efectuado en el sistema informático SPSS, se determinaron las variables específicas que forman parte del modelo de gestión. Así, por ejemplo, la relación existente entre el precio normal de la res y el efecto del precio en la cría (Relación de Pearson = 0,158 y un valor $p = 0,000 < 0,01$). Las variables cobertura y el efecto de la cobertura en el precio (Relación de Pearson = 0,137 y un valor $p = 0,013 < 0,05$), confirmando que estas variables y el resto de ellas que forman el modelo están correlacionadas entre sí, ratificando que las mismas fueron correctamente seleccionadas, depuradas y evaluadas para formar parte del modelo a aplicarse.

Del mismo modo, es necesario indicar que la información inicial la proporcionó la empresa, partiendo de la revisión de los estados financieros, balances contables, estadísticos de venta y cranzas de reses. En tal virtud, en

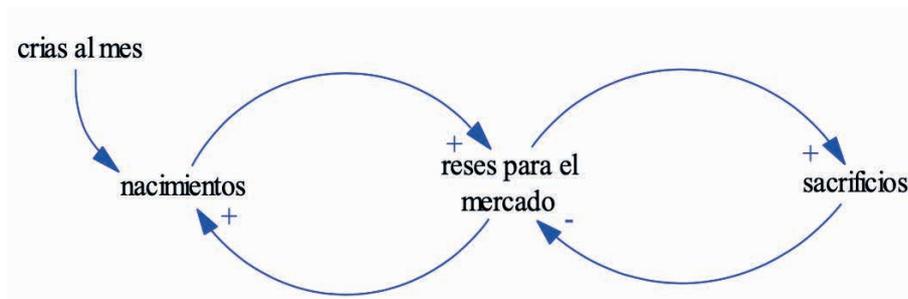
el apartado de resultados se puede visualizar los diagramas causales, el diagrama de Forrester, la validación del modelo y algunos de los escenarios que podrían presentarse a través de las simulaciones respectivas.

Resultados

El modelo generado consta fundamentalmente de dos partes: la primera, especifica las reses de cría y las reses para el sacrificio, estos niveles puntualizados en el modelo se analizan conforme a los datos de la empresa; la segunda parte del modelo está diseñada en función del consumo de la población, la misma que puede adquirirse en la planta de producción, en los

locales de existencia de carne de res de la empresa, en los supermercados, bodegas y en las tiendas de la provincia de Pichincha. El modelo diseñado está gobernado por bucles en función de las variables que actúan como niveles, por ejemplo, el bucle perteneciente a la variable reses para el mercado se detalla en la siguiente figura:

Figura 1. Diagrama causal reses del mercado



Fuente: el autor

Al analizar el diagrama causal correspondiente a reses del mercado, se puede determinar la existencia de un bucle positivo (reses de mercado-nacimientos) el cual permite obtener las típicas trayectorias de crecimiento o colapso. Además, se forma un bucle ne-

gativo (reses de mercado-sacrificios), el mismo que posibilita la obtención de trayectorias estabilizadoras, con lo cual este diagrama causal adquiere equilibrio. El segundo diagrama causal o bucle se detalla a continuación:

Figura 2. Diagrama causal reses de cría



Fuente: el autor

El sistema representado en esta figura busca el ajuste de la variable reses de cría, la cual se genera en función de la variable de ajustes que estabiliza el sistema, y puede ser tanto positiva como negativa, con lo cual este diagrama causal siempre demostrará estabilidad. En este sentido, la expresión matemática utilizada para el cálculo del aumento o disminución de la variable ajustes será:

$$A = \frac{Q_f^{[\frac{1}{f-i}]} - 1}{Q_i} \quad (1)$$

Donde:

- A = ajuste positivo o negativo de la variable reses de cría
- Q_f = cantidad en el periodo final, f
- Q_i = cantidad en el periodo inicial, i

Esta ecuación permite calcular y analizar como la variable denominada ajustes afecta al resto de componentes o variables del sistema en diversos periodos, por cuanto la cantidad y calidad de información disponible en cada una de las variables es diferente. Por último, la Figura 3 establece el diagrama causal siguiente:

Figura 3. Diagrama causal existencia de carne de res en supermercados

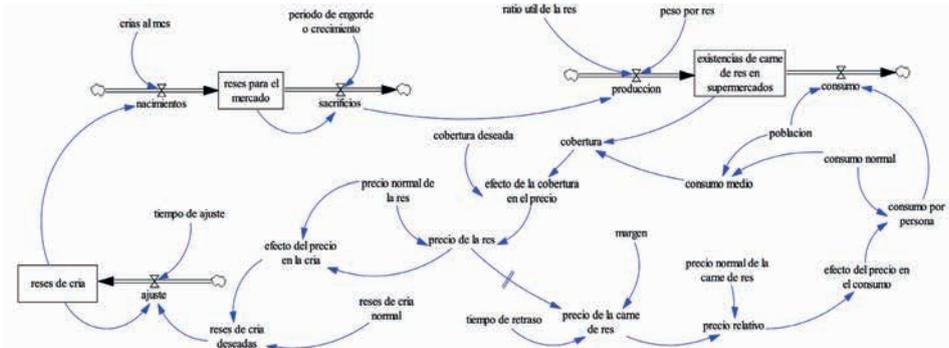


Fuente: el autor

Este diagrama causal administra el mismo principio del detallado en la Figura 1: posee un bucle positivo (producción-existencia de carne de res en supermercados) y un bucle negativo formado por las variables existencia de carne de res en supermercados y consumo, lo cual permite lograr una estabilidad en el sistema que conforman dichas variables. El conjunto de estos diagrama-

mas causales y demás variables que conforman el sistema permiten presentar el respectivo diagrama de Forrester. Este diagrama de flujos y niveles permite ejecutar simulaciones, análisis de resultados y otros requerimientos que el diseñador del modelo y la empresa en conjunto así lo requieran. Es importante anotar que el modelo se lo realizó utilizando el sistema informático Vensim.

Figura 4. Diagrama de flujos y niveles



Fuente: el autor

Validación del modelo

Una de las características que presentan los modelos de simulación es que los mismos, en la mayoría de casos, son considerados como actividades cognitivas que permiten conocer sistemas del mundo práctico y analítico; lo que conlleva al modelador a enfrentar inconvenientes de tipo epistemológico y computacional, por cuanto en muchas ocasiones estos sistemas carecen de teorías científicas que los sustenten [12]. Con esta pequeña introducción, el modelo desarrollado refleja la recolección de información y

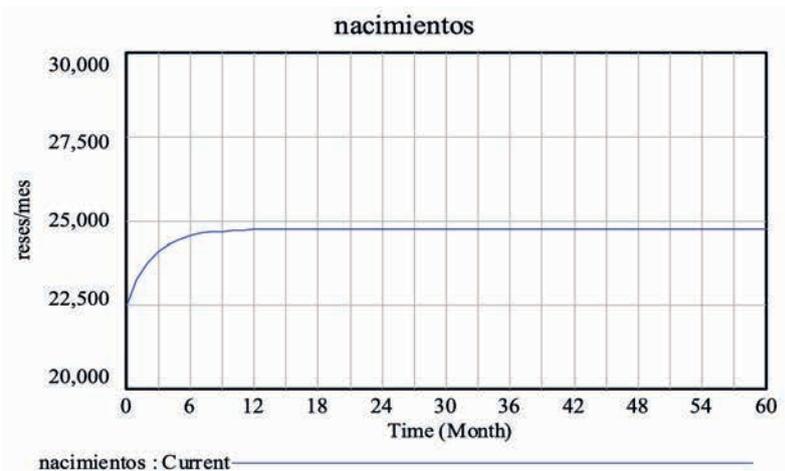
los modelos mentales de los principales autores. Por lo tanto, la metodología de la dinámica de sistemas, al igual que en otros campos, no reflejará en su totalidad los comportamientos reales, pero sí una aproximación válida para considerar que el modelo diseñado es viable y aceptable de ser utilizado. Por lo tanto, para validar el modelo detallado en esta sección se utilizó una de las metodologías especificadas por Sterman [13], quien señala que el arte de construir modelos es la descripción causal de la operación real de un sistema en diversos aspectos, asegurando la efectividad de las políticas o estra-

tegrías diseñadas para mejorar el comportamiento de dicho sistema.

Por lo dicho, la Figura 5 muestra el comportamiento de la variable nacimientos durante un lapso de tiempo equivalente a doce meses. Esta variable se la analizó considerando que es la principal variante para que la empresa inicie sus actividades en lo con-

cerniente a la producción de carne y para que pueda seguir manteniendo su presencia en el mercado. Al analizar el comportamiento de esta variable se puede observar que su incremento y estabilización es acorde al comportamiento que dicha variable muestra en la realidad, lo cual refleja que el modelo diseñado y generado es válido para su utilización o aplicación.

Figura 5. Validación: comportamiento variable nacimientos



Fuente: el autor

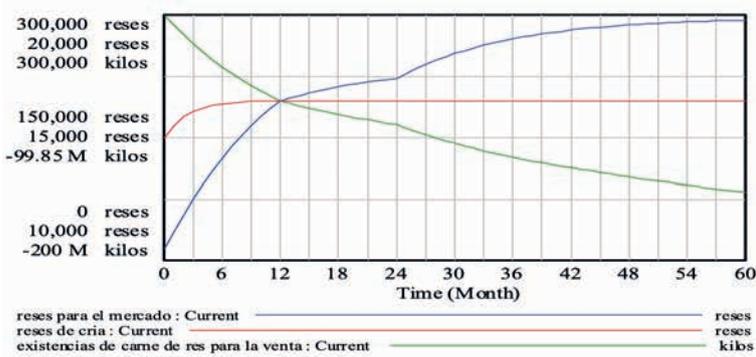
Discusión

Análisis de resultados alcanzados

El modelo diseñado de acuerdo a la metodología de la dinámica de sistemas permite simular resultados en periodos de tiempo que el diseñador del modelo y la empresa lo necesiten.

En este caso se ejecutan simulaciones para un periodo de sesenta meses; tiempo considerado como idóneo para el análisis respectivo de los resultados que se encontraron. En la Figura 6 se analizan las variables que actúan como niveles:

Figura 6. Simulación: variables que actúan en función de niveles

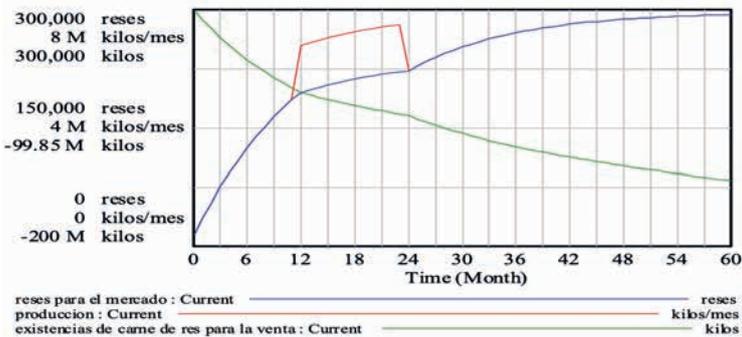


Fuente: el autor

Los resultados encontrados en la Figura 6 especifican que la empresa encuentra su punto de equilibrio en un período de 12 meses. A partir de ese lapso de tiempo se observa que la existencia de carne de res para la venta disminuye, con lo cual la presencia de la empresa en el mercado decrece, pero su campo de acción para captar un mayor mercado es amplio, lo que da origen a la implementación de estrategias que la organización podría ponerlas en marcha si así lo decide.

Por lo expuesto hasta el momento, la Figura 7 muestra que existe una concordancia muy cercana entre la oferta de reses en el mercado y su producción, pero, de la misma manera que en el caso anterior, existe la posibilidad cierta de buscar un mayor ingreso del producto al mercado que la empresa no lo aprovecha, por cuanto la variable existencia de carne de res para la venta decrece conforme avanza el tiempo.

Figura 7. Simulación: variables reses para el mercado, producción y existencia de carne de res para la venta



Fuente: el autor

Acorde al análisis efectuado, la empresa objeto de estudio debe tomar decisiones en el sentido de confirmar o no su ingreso al mercado con mayor

fuerza, por cuanto los datos simulados evidencian que la empresa podría captar un mayor mercado, posibilitando un incrementando real en sus ingresos.

Conclusiones

El presente trabajo analiza una empresa a partir de la utilización de una herramienta no convencional como la dinámica de sistemas la cual puede ser aplicada, principalmente, por la visión de resultados que permite alcanzar. Esto facilita que la organización analice las estrategias que podrían implementarse a futuro, ya que la naturaleza dinámica del proceso de modelado determina, en este caso, la posible captación de un mayor mercado, lo que favorece a la empresa y permite analizar los vínculos causales entre los diversos componentes del sistema, así como la retroalimentación que los mismos generan. El modelo generado facilita el desarrollo empresarial, considerando aspectos como la relación existente entre la producción y el consumo, lo que permite enfocarse en un posible incremento de su capacidad organizacional si las decisiones empresariales lo requieren, logrando la conjugación práctica entre la administración empresarial teórica y lo cuantitativo administrativo. El modelo de simulación realizado permite la planeación organizacional a futuro, examinando las variables que directamente intervienen en la empresa, lográndose de una manera concreta planificar a presente y futuro los insumos requeridos para

el incremento de la producción, en la búsqueda de lograr un mayor mercado acorde a lo que el entorno empresarial requiere. El modelo diseñado muestra una visión holística de las situaciones empresariales; por ello, en un momento determinado, la toma de decisiones se ejecuta de manera real y concreta, logrando un balance sistémico entre las variables que la conforman.

El análisis del modelo diseñado explica razonablemente la influencia de los factores o las variables principales que afectan a la empresa, por cuanto el mismo considera la influencia de las variables que si se las analizara de manera individual no tendrían el efecto deseado como en el caso de su análisis de manera conjunta. Por ello, es necesario puntualizar que el trabajo ejecutado en el presente modelo facilitará a futuro analizar el comportamiento dinámico del sistema si se requiere incrementar otras variables que lo fortalezcan en función de sus operaciones administrativas y financieras, lo que permitiría obtener un modelo de negocios robusto al abarcar variables que en esta primera investigación no se considera. Finalmente, se espera que el presente estudio sirva como fuente de consulta para empresarios, docentes, estudiantes y personas en general,

ya que permite visualizar que es posible realizar un análisis administrativo, utilizando la metodología de la dinámica de sistemas.

Referencias

- [1] MAGAP e INEC, Estudio de cadenas pecuarias en Ecuador, 25 de octubre de 2013. Recuperado de <https://bit.ly/2SGno6w/>
- [2] J. Domínguez y S. Guamán, “Análisis de sensibilidad del sector pecuario ecuatoriano: precios y esquema impositivo”, *Revista Mexicana de Agro-Negocios*, vol. 34, pp. 655-664, enero-junio, 2014.
- [3] Y. Torres, A. García, J. Rivas, J. Perea, E. Angón y C. de Pablos, “Caracterización socioeconómico y productiva de las granjas doble propósito orientadas a la producción de leche en una región tropical del Ecuador. Caso de la provincia de Manabí”. *Revista Científica*, vol. 25, n° 24, pp. 330-337, julio 2015.
- [4] *Revista Líderes*. En ocho provincias se concentra el mayor consumo de cárnicos, 15 de marzo de 2015. Recuperado de <https://bit.ly/2Mh8tyu/>
- [5] INEC, Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua ESPAC, 12 de mayo de 2016. Recuperado en <https://bit.ly/311djuU/>
- [6] K. Warren, *Competitive Strategy Dynamics*, New York, John Wiley and Sons, 2002.
- [7] C. Bianchi, *Dynamic Performance Management*, Switzerland, Springer International Publishing, 2016.
- [8] O. Bernardino, F. Gallardo, A. Ponciano y L. Vargas, “Aplicación de modelos de simulación en el estudio y planificación de la agricultura, una revisión”, *Revista Tropical and Subtropical Agroecosystems*, vol. 14, n° 3, pp. 999-1010, septiembre, 2011.
- [9] R. Echeverri y L. Franco, “La dinámica de sistemas y ciclos ganaderos en Colombia”, *XIV Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas*, Medellín, Colombia, 2016, pp. 59-64.
- [10] A. Caminos, N. Romera, V. Forchino y E. González, “Modelado y simulación de la producción ganadera a corral”, *VIII Congreso Argentino de Ingeniería Industrial*, Santa Cruz, Argentina, 2015, pp. 1-12.
- [11] J. García, *Dinámica de sistemas conceptos y modelación*, Barcelona, Innova, 2016.
- [12] L. Godoy y C. Bartó, “Validación y valoración de modelos en la dinámica de sistemas”, *Revista Argentina de Enseñanza de la Ingeniería*, vol. 3, n° 5, pp. 31-47, 2002.
- [13] J. Sterman, *Business Dynamics*, McGraw-Hill, 2000.

Training data set subsampling for multi-objective feature selection

Muestreo en conjuntos de datos de entrenamiento para selección de atributos multi-objetivo¹

V. Alves,² G. Reynoso³

Abstract: *due to the famous curse of dimensionality, machine learning problems that deal with many features can become very hard to train. A solution for such problem is the feature selection procedure, where a small subset containing only the most important features is found and used. One of the methodologies for such task is called evolutionary feature selection, where evolutionary computation search algorithms are used to select the best features for a problem. However, such algorithms perform the search by training models with many different features' combinations, and the resulting computational time can limit its application. In order to reduce the computational time of such methodology, this paper proposes the study of subsampling the training data set. To do so, statistical tests are performed on five different scenarios, using 20%, 40%, 60%, 80% and 100% of the data set. Such scenarios are tested on a real-world water anomaly detection problem, where multi-objective feature selection is performed for decision trees. The results show that, despite the reduction in computational time, there is also a reduction in the predictive performance of the models.*

Keywords: *multi-objective optimization, machine learning, feature selection, water distribution systems, anomaly detection.*

Resumen: debido a la tan conocida maldición de la dimensionalidad, los problemas de aprendizaje de máquinas que tratan de muchos atributos se pueden tornar muy difíciles de entrenar. Una solución para tal problema es la selección de atributos, donde un subconjunto pequeño conteniendo los atributos más importantes es encontrado y utilizado. Una de las metodologías para tal proceso es la selección evolutiva de atributos, donde algoritmos de búsqueda evolutivos o bio-inspirados son utilizados para seleccionar los atributos más importantes. Sin embargo, tales algoritmos ejecutan la búsqueda entrenando modelos con muchas combinaciones diferentes de atributos y el tiempo computacional resultante puede limitar sus aplicaciones. Para reducir el tiempo computacional de tal metodología, se propone el estudio del sub-muestreo en conjuntos de datos de entrenamiento. Para esto, testes estadísticos son realizados en cinco escenarios diferentes, utilizando 20%, 40%, 60%, 80% y 100% del conjunto de datos. Tales escenarios son evaluados en un problema real de detección de anomalías en agua, donde la selección de atributos multi-objetivo es realizada para árboles de decisión. Los resultados muestran que, aunque el tiempo computacional es reducido, hay también una reducción en el desempeño predictivo de los modelos.

Palabras clave: optimización multi-objetivo, aprendizaje de máquinas, selección de atributos, sistemas de distribución de agua, detección de anomalías.

1 Este estudio fue financiado parcialmente por la Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-Brasil (CAPES)-PROSUC/159063/2017-0 y está bajo de la iniciativa de investigación Multi-objective optimisation design (MOOD) procedures for engineering systems, soportada por el Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento-Brasil (CNPq)-PQ2/304066/2016-8.

2 Víctor Henrique Alves Ribeiro, máster en Ingeniería de Producción y Sistemas, ingeniero en Computación, estudiante de doctorado en la Pontificia Universidade Católica do Paraná, Brasil (victor.henrique@puccpr.edu.br).

3 Gilberto Reynoso Mesa, PhD en Automación y Robótica, ingeniero mecánico, profesor asociado de la Pontificia Universidade Católica do Paraná, Brasil (g.reynosomeza@puccpr.br).

1. Introducción

Un problema muy conocido en el área de inteligencia computacional es la “maldición de la dimensionalidad” [1]. Esto es, los algoritmos de aprendizaje de máquinas no consiguen crear un buen modelo cuando se usa un conjunto de datos con muchos atributos. Tal problema es relevante y son necesarias técnicas para tratar dicha situación.

Una de las posibilidades para tratar este problema es la selección de atributos o selección de variables [2]. Tal proceso es responsable por la selección de un subconjunto de los atributos más importantes para la tarea de predicción. Para esto existen dos posibles métodos: el método de filtro, donde la importancia de los atributos es calculada sin las informaciones de los modelos predictivos, y el método de envoltura, donde el desempeño de los modelos es utilizado para calcular la importancia de los atributos.

Una línea de investigación reciente es la selección de atributos evolutiva, donde algoritmos de búsqueda evolutiva pueden ser utilizados con el método de envoltura para encontrar los atributos más importantes [3]. Sin embargo, tales algoritmos ejecutan la búsqueda entrenando modelos con muchas combinaciones diferentes de atributos y el tiempo computacional resultante puede limitar sus aplicaciones. Con esto, es necesario encontrar maneras de reducir

el tiempo computacional para encontrar un buen subconjunto de atributos.

En este trabajo se propone el estudio del sub-muestreo en el conjunto de datos de entrenamiento, con la finalidad de reducir el tiempo computacional de la optimización. Para esto, son creados cinco escenarios diferentes, utilizando sub-muestréos con 20%, 40%, 60%, 80% y 100% del conjunto de datos. En todos los escenarios se emplea un algoritmo de optimización evolutiva multi-objetivo. Dicho algoritmo es ejecutado en 30 ocasiones para obtener un resultado estadísticamente confiable. El conjunto de datos utilizado consiste en un problema real relacionado a la detección de anomalías en la cualidad de agua.

Las pruebas estadísticas son realizadas para analizar la relación entre la reducción de tiempo de optimización y la capacidad predictiva de los modelos resultantes, que también es reducida. El resto de este trabajo está organizado de la siguiente forma: primero, se propone el método para el estudio del sub-muestreo en conjuntos de datos de entrenamiento, así como los datos utilizados y las pruebas estadísticas para la validación de la experimentación; luego, se informan los resultados que son discutidos en la Sección 4; finalmente, se presentan las conclusiones de este trabajo.

2. Métodos

En esta sección se describen los métodos para el estudio del sub-muestreo en conjuntos de datos de entrenamiento para selección de atributos utilizando optimización multi-objetivo. Para esto se describe: el conjunto de datos del problema seleccionado, la metodología para selección de atributos multi-objetivo y las evaluaciones estadísticas para validación de la experimentación.

2.1. Detección de anomalías en calidad de agua

Una competición relacionada a la detección de anomalías en la calidad del agua ya fue propuesta [4]. Para esto, un conjunto de datos con 122 344 observaciones con nueve atributos ha sido puesto a disposición para entrenamiento de modelos de clasificación. Después, un segundo conjunto de datos es utilizado para la valoración de los modelos, con 244 668 nuevas observaciones.

Los datos son adquiridos a cada minuto y están asociados a: temperatura de agua ($^{\circ}\text{C}$), cantidad de dióxido de cloro en dos puntos diferentes (mg/L), valor PH del agua, el potencial *redox* (mV), la conductividad eléctrica ($\mu\text{S/cm}$), la turbiedad del agua (NTU) y el flujo del agua en dos puntos diferentes (m^3/h).

Una etapa de pre procesamiento es realizada para tratar los datos antes del entrenamiento de los modelos, donde técnicas de procesamiento de señales e ingeniería de atributos son utilizadas de la siguiente manera:

1. Datos faltantes son ajustados con inclusión de valores medios para treinta muestras pasadas;
2. Son removidas las tendencias lineares de las señales para mil muestras pasadas;
3. Son creados nuevos atributos, utilizando informaciones estadísticas para treinta muestras pasadas, como:
 - Medias, para filtrar las frecuencias altas de las series temporales;
 - Desvíos padrones, para tener la varianza de las señales y
 - Valores mínimos y máximos, para tener los límites o *outliers* de las señales.
4. También son creados nuevos atributos con procesamiento de señales, como:
 - Atrasos de señal, para tener informaciones de la dinámica de las series temporales y
 - Picos de frecuencia, calculados como los valores máximos de la transformada de Fourier, para tener informaciones del dominio de frecuencia.
5. Finalmente, los valores cuadráticos de cada observación son calculados para tener informaciones polinomiales.

2.2. Selección de atributos multi-objetivo

En este estudio, se realiza la selección de atributos evolutiva para árboles de decisión [5]. Para esto, es formulado matemáticamente un pro-

blema de optimización multi-objetivo, es realizada la optimización con un algoritmo metaheurístico, y es seleccionada una de las posibles soluciones de la frontera de Pareto resultante.

El problema multi-objetivo de selección de atributos es formulado como la optimización de dos objetivos: la maximización del valor F ($J_1(x)$); y la minimización de la complejidad del modelo ($J_2(x)$), calculado como la cantidad total de atributos seleccionados. Las variables de decisión (x_i) son formadas por un vector binario de tamaño n , que indica la presencia del atributo i en el modelo. El problema de optimización se formula de la siguiente manera:

$$\min_{\mathbf{x}} J(\mathbf{x}) = [-J_1(\mathbf{x}), J_2(\mathbf{x})] \quad (1)$$

Sujeto a:

$$x_i \in \{0, 1\}, \quad i = [1, \dots, n] \quad (2)$$

Donde:

$$J_1(\mathbf{x}) = F_1 = 2 \cdot \frac{\text{precisión} \cdot \text{exhaustividad}}{\text{precisión} + \text{exhaustividad}} \quad (3)$$

$$J_2(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^n x_i \quad (4)$$

Para realizar la optimización, es utilizada la segunda versión del algoritmo de evolución diferencial multi-objetivo con poda esférica (spMode-II), ya propuesto [6]. Tal algoritmo hace uso de la evolución diferencial para producir sus soluciones, aplica poda esférica para crear diversidad, y utiliza regiones de preferencias para aumentar la pertinencia de la frontera de Pareto resultante. El algoritmo es configurado con una población de veinte individuos, cien generaciones, tasa de *crossover* de 0,5 y factor de escala de 0,5.

Después de la optimización, es importante seleccionar una de las posibles soluciones presentes en la frontera de Pareto. Para esto, son calculados los índices de *physical programming* [6] global, basados en la matriz de preferencias de la Tabla 1. Entonces, la solución con el mejor índice es seleccionada para crear el modelo final.

Tabla 1. Matriz de preferencia para el problema de selección de atributos: altamente deseable (AD), deseable (D), tolerable (T), indeseable (I) y altamente indeseable (AI)

Matriz de preferencias						
Objetivo		AD	D	T	I	AI
		←	←	←	↔	↔
		→	→	→		
	J_i^0	J_i^1	J_i^2	J_i^3	J_i^4	J_i^5
$J_1(\mathbf{x})$	0,00	0,01	0,05	0,10	0,20	0,50
$J_2(\mathbf{x})$	0,00	0,01	0,05	0,10	0,20	0,50

Fuente: los autores

Finalmente, el modelo es entrenado con el primer conjunto de datos y validado con el conjunto de datos de teste. El tiempo de optimización y el valor F son adquiridos y guardados para los análisis y pruebas estadísticas.

2.3. Experimento y pruebas estadísticas

El experimento es realizado de la siguiente manera:

1. Se realizan treinta iteraciones de selección de atributos
2. Se entrena un modelo con los mejores atributos
3. Se calcula el tiempo computacional y el valor F
4. Se realiza la prueba de Kolmogórov-Smirnov
5. Se realiza la prueba de Kruskal-Wallis
6. Si hay diferencias entre las poblaciones, realiza la prueba de suma de rangos de Wilcoxon para cada combinación de dos escenarios

La prueba de Kolmogórov-Smirnov [7] es una prueba no paramétrica, utilizada para determinar la bondad entre dos distribuciones de probabilidad.

Tal prueba es utilizada en este estudio para analizar la hipótesis nula de que los submuestreos de 20%, 40%, 60% y 80% provienen de la misma distribución que los datos originales (100%). Cómo esta prueba es unidimensional, son realizadas pruebas para todas las 99 dimensiones del problema y solamente los valores p mínimos son analizados.

La prueba de Kruskal-Wallis [7] es otra prueba no paramétrica, pero es utilizada para probar si un grupo con más de dos muestras independientes proviene de una misma población. En este estudio, tal prueba es utilizada para analizar la hipótesis nula de que los cinco sub-muestreos de valor F provienen de la misma distribución. Si el valor p resultante es menor que 0,05 debe ser realizada la prueba de suma de rangos de Wilcoxon para encontrar las diferencias entre los grupos.

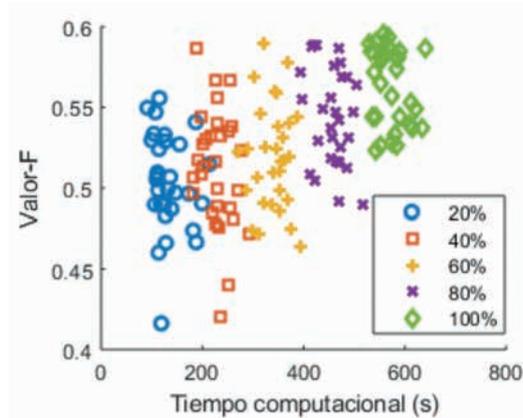
La prueba de suma de rangos de Wilcoxon [7] es utilizada para probar si un grupo de dos muestras independientes proviene de una misma población. Con esto, este estudio consigue analizar cuáles sub-muestreos presentan los mejores valores medianos para el valor F.

3. Resultados

Aquí presentamos los resultados del estudio de sub-muestreo de conjuntos de datos de entrenamiento para selección de atributos multi-objetivo. La Figura 1 presenta un gráfico de dispersión entre el valor F resultante y el tiempo computacional para cada iteración de los cinco

escenarios. Es visible la diferencia entre los tiempos computacionales de cada escenario, donde muestras mayores consumen más tiempo. Sin embargo, los resultados para el valor F presentan una gran variancia y no es claro si las diferencias son significativas.

Figura 1. Gráfico de dispersión de valor F y tiempo computacional para las 30 iteraciones de cada uno de los cinco escenarios



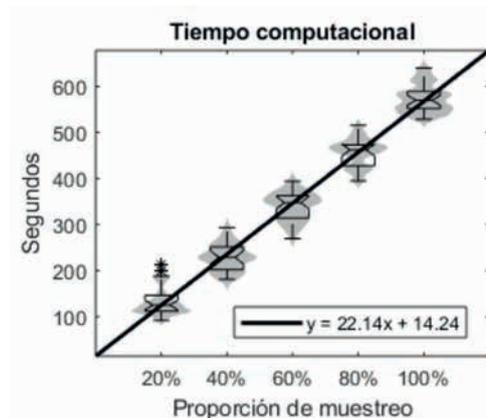
Fuente: los autores

El tiempo computacional para los cinco escenarios es presentado en diagramas de violín y cajas en la Figura 2. Como se dijo anteriormente, la diferencia entre los escenarios es visible. Mientras un sub-muestreo con 20% de los datos resulta en un tiempo mediano de aproximadamente 125 segundos,

el uso de todos los datos consume un tiempo mediano de aproximadamente 570 segundos. Además, los test fueron ejecutados en una computadora con:

- Procesador: Intel-Core i7-7500U
- Memoria RAM: 8GB
- Sistema operacional: Windows 10
- Herramienta: Matlab 2017b

Figura 2. Diagramas de violín y caja para el tiempo computacional en cada uno de los cinco escenarios y la línea de referencia

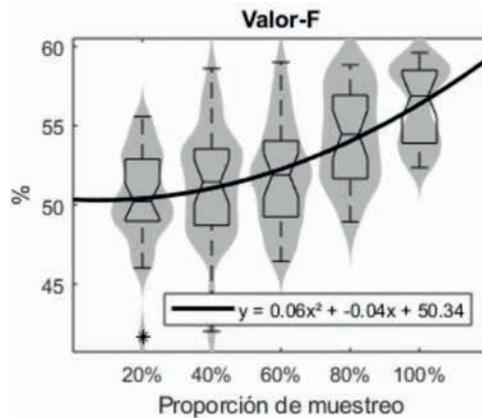


Fuente: los autores

El valor F también es presentado para cada escenario en diagramas de violín y cajas en la Figura 3. A pesar de haber una pequeña diferencia entre los escenarios, donde un mayor tamaño de sub-muestreo trae un valor F mediano también mayor,

no es posible confirmar sin pruebas estadísticas. La gran variancia presente en todos los escenarios trae una incerteza sobre los resultados. Una regresión polinomial de según grado consigue aproximar los valores medianos del valor F.

Figura 3. Diagramas de violín y caja para el valor F en cada uno de los cinco escenarios y la curva de referencia



Fuente: los autores

Realizando la prueba de Kruskal-Wallis para verificar la hipótesis nula de que los cinco escenarios vienen de una misma población, se determina el rechazo de esta hipótesis con un valor p de $3,08 e^{-10}$. Con esto, es realizada la prueba de suma de rangos de Wilcoxon para cada combinación de dos escenarios. La Tabla 2 trae

los resultados donde es posible verificar que hay diferencias entre el escenario con 100% de los datos y los demás. También hay diferencias entre el escenario con 80% dos datos y los demás. Sin embargo, no se puede rechazar la hipótesis que los escenarios de 20%, 40% y 60% vienen de una misma población.

Tabla 2. Resultados para la prueba de suma de rangos Wilcoxon entre cada combinación de sub-muestréos

Sub-muestreo 1		Sub-muestreo 2		Valor p
Tamaño	Mediana valor F	Tamaño	Mediana valor F	
20%	0,5023	40%	0,5145	> 0,05
20%	0,5023	60%	0,5188	> 0,05
20%	0,5023	80%	0,5446	< 0,05

20%	0,5023	100%	0,5687	< 0,05
40%	0,5145	60%	0,5188	> 0,05
40%	0,5145	80%	0,5446	< 0,05
40%	0,5145	100%	0,5687	< 0,05
60%	0,5188	80%	0,5446	< 0,05
60%	0,5188	100%	0,5687	< 0,05
80%	0,5446	100%	0,5687	< 0,05

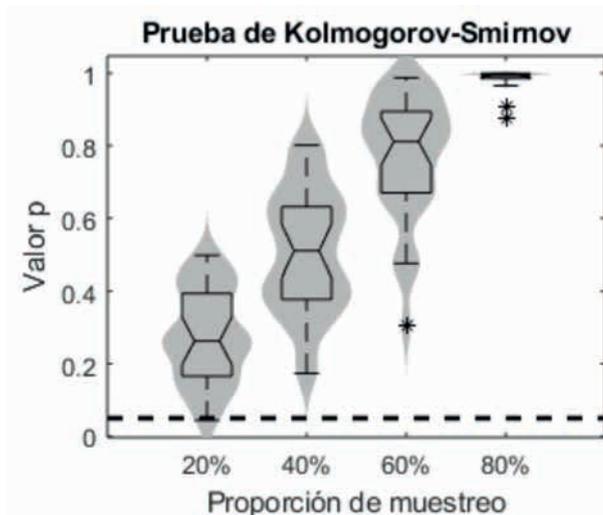
Nota: los sub-muestras con valor mediano estadísticamente significativo se han resaltado en letra cursiva.

Fuente: los autores

Además, también fue realizada la prueba de Kolmogorov-Smirnov para cada iteración en todos los escenarios. La Figura 4 muestra los diagramas de violín y cajas para tales resultados, donde es posible verificar que los sub-muestras de 40%, 60% y 80% re-

sultan en gran valores p para la hipótesis nula de que los sub-muestras vienen de la misma población con 100% de los datos. Sin embargo, en una de las iteraciones con 20% de los datos hay el rechazo de la hipótesis nula.

Figura 4. Diagramas de violín y caja para el valor p mínimo de la prueba de Kolmogórov-Smirnov en cada uno de los cinco escenarios, así como el límite para el nivel de confianza (línea entrecortada)



Fuente: los autores

Discusión

Con los resultados obtenidos, es posible sacar algunas informaciones importantes. Primero, el sub-muestreo reduce el tiempo computacional de la optimización. Sin embargo, las pruebas estadísticas comprueban que también hay una reducción en la capacidad predictiva de los modelos resultantes. Con esto, se puede confirmar que el simple sub-muestreo de los conjuntos de datos de entrenamiento no es una técnica recomendable para reducir el tiempo computacional sin perder rendimiento en la tarea de selección de atributos.

Así, se confirma la información de que más datos son necesarios para crear modelos mejores [1]. Todavía, mientras el tiempo computacional tiene una relación lineal con la proporción de sub-muestreo, donde cada 1% a más en el sub-muestreo resulta en 22 segundos adicionales, la capacidad predictiva tiene una relación polinomial de segundo grado, donde existe una diferencia de 6,64% entre los sub-muestreos de 100% y 20%. Con esto, es importante para el especialista elegir cuál es el parámetro más importante para optimizar.

5. Conclusiones

Se realizó el estudio del sub-muestreo en la selección de atributos evolutiva, con algoritmos de optimización multi-objetivo. En total, fueron realizados estudios estadísticos en cinco escenarios diferentes, con 20%, 40%, 60%, 80% y 100% de los datos de entrenamiento. Los resultados comprueban que, aunque la reducción de tiempo computacional al utilizar sub-muestreos

con menos datos, hay también una reducción en la capacidad predictiva del modelo final. Por tanto, aún es necesario encontrar maneras diferentes de reducir el tiempo computacional para la selección de atributos evolutiva. Estudios futuros pueden tratar de nuevas técnicas de sub-muestreo, o la combinación de técnicas de aprendizaje no supervisados con la tarea de aprendizaje supervisada.

6. Referencias

- [1] P. Domingos, "A few useful things to know about machine learning", *Communications of the ACM*, vol. 55, n° 10, pp. 78-87, octubre, 2012.
- [2] I. Guyon y A. Elisseeff, "An introduction to variable and feature selection", *Journal of Machine Learning Research*, vol. 3, pp. 1157-1182, marzo, 2003.
- [3] B. Xue *et al.* "A Survey on Evolutionary Computation Approaches to Feature Selection", *Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 20, n° 4, pp. 606-626, noviembre, 2016.
- [4] SPOT Seven Lab., GECCO Challenge 2017: Monitoring of drinking-water quality, 22 de octubre de 2018. Recuperado de <https://bit.ly/32U7Hxn/>
- [5] L. Breiman, *Classification and regression trees*. New York, Taylor & Francis, 1984.

- [6] G. Reynoso-Meza *et al.* "Physical programming for preference driven evolutionary multi-objective optimization", *Applied Soft Computing*, vol. 24, pp. 241-362, noviembre, 2014.
- [7] W. Gregory y D. Foreman, *Nonparametric statistics for non-statisticians*, Hoboken, John Wiley and Sons, 2009.

Implementation of a Fuzzy speed control through a wireless network system (WNCS)

Implementación de un control de velocidad Fuzzy mediante un sistema de control en red inalámbrico (WNCS)

S. Chuquin,¹ P. Pachacama,² C. Pillajo³

Abstract: *Wireless Network Control Systems is a system that contains intelligent agents, which addresses issues of control theory; Combined with communication theory, there are two theories that practically form an ecosystem in which sensors, actuators and controllers interact through a wireless network. One of the main advantages is the reduction of cost both in the implementation and in the maintenance, the wiring is reduced and there is more flexibility, on the other hand, there are limitations since the medium is not ideal, thus having the so-called latencies that they are delays in the transmission of data. Due to the fact that nowadays everything is happening to the internet of things and taking into account the lack of practical applications in this area, in the present work we developed a Fuzzy speed control system of an AC motor, which is hosted on a Raspberry Pi 3 card. By interweaving programming languages such as HTML, PHP and JSCRIPT for managing the flow of data between the client and the server, we have a closed loop system. In the plant the sensor like the actuator are connected to an Arduino Mega 2560 card and a wireless Dragino module. A Fuzzy speed controller will be implemented, demonstrating its usefulness and the limitations that can be given to having a wireless control (WNCS) in this type of plant.*

Keywords: *Arduino, Fuzzy control, Raspberry Pi, speed control, WNCS.*

Resumen: *Wireless Network Control Systems es un sistema que contiene agentes inteligentes, que aborda temas de teoría de control; combinados estos con teoría de comunicación se tiene dos teorías que prácticamente forman un ecosistema en el cual interactúan sensores, actuadores y controladores, a través de una red inalámbrica. Una de las ventajas principales es la reducción de costo tanto en la implementación como en el mantenimiento, se reduce el cableado y se tiene mayor flexibilidad, por otro lado, se presentan limitaciones ya que el medio no es ideal, teniendo así las llamadas latencias que son retardos en la transmisión de datos. Debido a que en la actualidad todo se está pasando al internet de las cosas y teniendo en cuenta de la carencia de aplicaciones prácticas en esta área, en el presente trabajo se desarrolló un sistema de control de velocidad Fuzzy de un motor AC, el cual está alojado en una tarjeta Raspberry Pi 3. Entrelazando lenguajes de programación tales como HTML, PHP y JSCRIPT para la administración del flujo de datos entre el cliente y el servidor, se tiene un sistema en lazo cerrado. En la planta el sensor como el actuador están conectados a una tarjeta Arduino Mega 2560 y un módulo Dragino inalámbrico. Se va a implementar un controlador Fuzzy de velocidad, demostrando su utilidad y las limitaciones que se pueden dar al tener un control inalámbrico (WNCS) en este tipo de plantas.*

Palabras clave: *Arduino, control Fuzzy, control de velocidad, Raspberry Pi, WNCS.*

1 Silvia Lorena Chuquin Balseca, estudiante en proceso de titulación de la Carrera de Ingeniería Electrónica, Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Ecuador (schuquin@est.ups.edu.ec).

2 Edwin Paul Pachacama Durán, estudiante en proceso de titulación de la Carrera de Ingeniería Electrónica, Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Ecuador (epachamad@est.ups.edu.ec).

3 Carlos Pillajo Angos, máster, docente de la Carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Ecuador (epillajo@ups.edu.ec).

1. Introducción

La proliferación de plataformas hardware y las incontables aplicaciones que se pueden desarrollar en ellas han incursionado en sistemas *cyberfísicos* (CPS), los cuales poseen idéntica estructura que IoT (Internet de las Cosas), además de ofrecer servicios por internet, interactúan en el mundo físico (sensores, actuadores), presentando un desafío importante en el diseño de software en aplicaciones de tiempo real [1] [2].

Los NCS (sistemas de control en red) a través de una red de comunicación que realiza controles de lazo cerrado en tiempo real, al estar interconectados sensores y actuadores en una red, se refleja varias ventajas tales como: flexibilidad, reducción de cableado, reducción de costos y fácil mantenimiento. También presenta algunas imperfecciones como: retrasos en la transmisión, intervalos variables de muestreo, restricciones de comunicación. Se debe tener en cuenta que no todos los sensores-actuadores pueden ser transmitidos al mismo tiempo [3].

El presente trabajo trata de la implementación de un controlador robusto

Fuzzy, basado en conjuntos difusos que son aplicados a un sistema de control de velocidad. En la segunda sección revisamos conceptos de sistemas WNCS, en la tercera revisamos el modelo de velocidad de un motor AC en el cual se implementó el control Fuzzy y por último presentamos los resultados obtenidos.

Los sistemas Cloud para automatización se pueden definir de la siguiente manera: cualquier sistema de automatización que se base en datos o código de una red para soportar su operación, es decir, un sistema donde no estén todos sus elementos integrados en uno solo es aptos o factibles para acceder a la red donde dispone de un conjunto compartido de recursos configurables que pueden ser rápidamente provisionados y liberados [4]. Esta definición implica tele operación en red o grupos en red de robots móviles tales como UAV [5] [6] o robots de almacén [7] [8], así como líneas de ensamblaje avanzadas, procesamiento plantas y sistemas de domótica, y sistemas con computación realizada por humanos [9] [10].

2. Sistemas de control en red

Los WNCS, al utilizar un canal de comunicación imperfecto, requieren de un desarrollo de algoritmos que garanticen estabilidad, tales como el predictivo.

En la industria, por lo general, se requiere una gran distribución de senso-

res y actuadores, que garanticen el funcionamiento óptimo del sistema; esto conlleva a grandes costos en cableado, ya que se necesita suficiente capacidad para el manejo de datos y control de los diferentes actuadores de una mane-

ra eficaz, por estas razones surgen las WNCS cuyas aplicaciones no son explotada en su totalidad [11] [12].

Una de las aplicaciones que refleja la viabilidad de los WNCS en el campo industrial es “Monitoreo y Control Remoto Inalámbrico de una Instalación Solar Fotovoltaica”, en el cual mediante controladores y sensores que interactúan en una WAN (Wireless Area Network), voltaje, corriente y potencia son monitoreados y controlados [13].

La Universidad Estatal de Sao Paulo desarrolló un módulo didáctico para el estudio de WNCS compuesta por un módulo controlador de motores DC (velocidad y posición) y una planta de proceso (Festo) en la cual se controla temperatura, flujo, presión y nivel [14].

En un artículo del 28 de mayo de 2011, en Colombia, se presentó el aprovechamiento de la lógica difusa en el área de la electrónica de potencia, y *drivers* de motores de inducción [15], en la actualidad no se tiene este tipo de controles aplicados en las redes WNCS.

La validez de la conexión en red de máquinas en sistemas de automatización de fabricación fue reconocida hace más de treinta años. En la década de 1980, General Motors desarrolló el Manufacturing Automation Protocol (MAP) [16], a pesar de la validez de este sistema en la industria quedó atrás debido a la falta de tecnología y robustez de la época. Se vio un cambio a principios de los 90 cuando la World Wide Web popularizó los protocolos HTTP sobre IP [17].

3. Estructura y modelo

El sistema de control de velocidad presentado se comunica dentro de una red WAN. El cliente (sensor-actuador) está localizado en la planta y en este

nodo se usa un Arduino Mega más un Dragino. En el servidor se encuentra el controlador Fuzzy, implementado en el Raspberry Pi 3.

Figura 1. Dispositivos utilizados en la implementación del WNCS

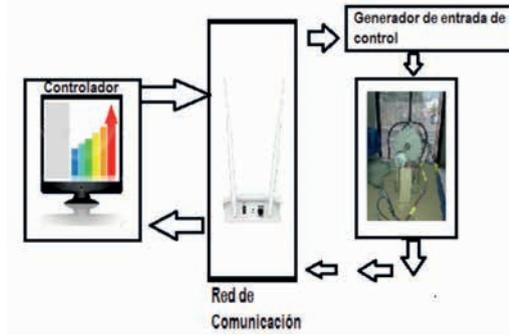


3.1. Controlador (servidor web local) y servidor

El controlador Fuzzy (servidor web: recepción y presentación de datos, servidor PHP: procesa y almacena los datos de la planta) está albergado

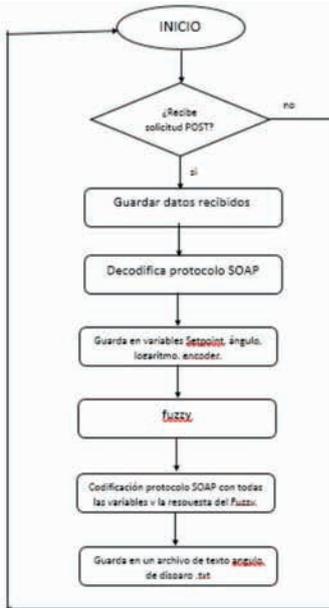
en una tarjeta Raspberry Pi 3, a este servidor se puede acceder desde cualquier computador o dispositivo móvil que estén conectados en la misma red de comunicación WAN y que cuente con los permisos necesarios.

Figura 2. Estructura del sistema



Fuente: los autores

Figura 3. Flujograma del servidor WNCs del sistema implementado



Fuente: los autores

3.2. Generador de entrada de control

Se constituye de la siguiente manera:

- Dragino: se enlaza a una WAN para acceder e interactuar con el servidor; de esta manera puede recibir la respuesta discreta del controlador y se la presenta al procesador (Arduino Mega 2560).
- Arduino Mega 2560: los datos presentados por el Dragino son recibidos, descomprimidos y decodificados mediante el protocolo SOAP, obteniendo de esta forma la respuesta del sistema el cual es el ángulo de disparo para el motor AC. En caso de perder la comunicación con el servidor debido a diversos factores el Arduino cuenta con un algoritmo de control predictivo por

modelo (CPM), el cual utilizando la función de transferencia le permite funcionar bajo pérdidas de comunicación, de esta forma se compensan tanto los retardos que existen cuando los paquetes de datos pasan por la red, así como también acortar el tiempo de respuesta del sistema a un cambio de *set point*.

3.3. Cliente sensor-actuador

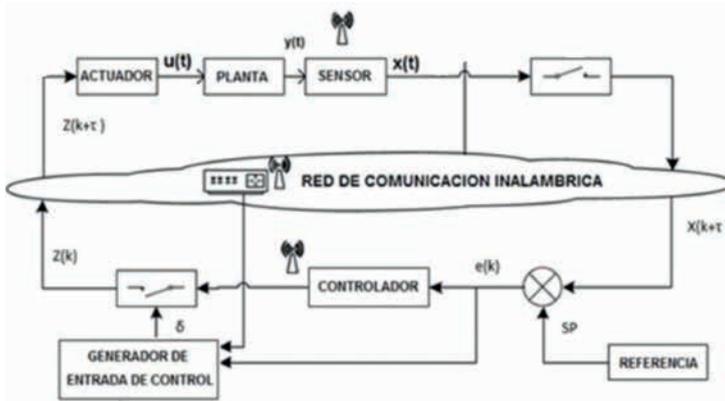
El sensor tiene tres ranuras, las cuales, al cortar el haz, la luz del sensor genera una interrupción, al contar

las interrupciones durante un segundo; el tiempo entre una y otra interrupción se puede hallar las rpm del motor con un error de 1,11%.

3.4. Diagrama de bloque de la planta

Es importante que el sistema se encuentre en lazo cerrado para que el control exista, ya que el Fuzzy estará recibiendo datos y enviando datos a la planta para el control de velocidad del motor AC 110 VAC.

Figura 4. Estructura del sistema WNCS implementado



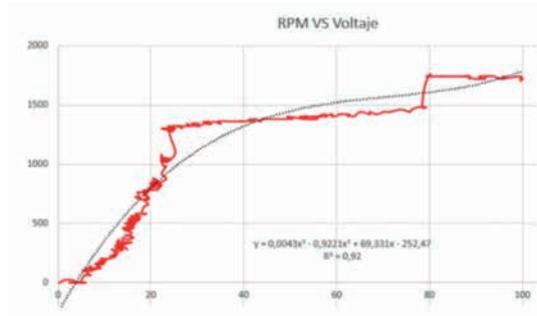
Fuente: los autores

3.5. Metodología para la simulación e implementación

Se toma muestras de entrada y salida de la planta. En la Figura 5 se ob-

servan los datos obtenidos de la planta, los cuales varían el voltaje suministrado a la misma.

Figura 5. Gráfica de rpm vs. voltaje



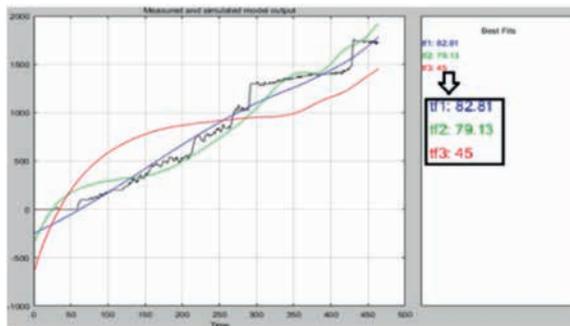
Fuente: los autores

3.6. Obtención del modelo matemático

Los datos adquiridos mediante Arduino se trasladan a Excel y se exportan a Matlab para la obtención del modelo matemático. En este caso se exportó

tres grupos de muestras. Se inicia la herramienta Ident, se realiza un estimado de función de transferencia (TF), comparándolas con la opción Model Output, se escoge la que presente mejor aproximación.

Figura 6. Diagrama del sistema controlador de velocidad del motor AC



Fuente: los autores

La mejor TF con mayor aproximación fue *tf1* con el 82,81%, la cual es presentada a continuación:

$$tf1 = \frac{0.04059s + 0.001236}{s^2 + 3.46e-07s + 4.57e-05} \quad (1)$$

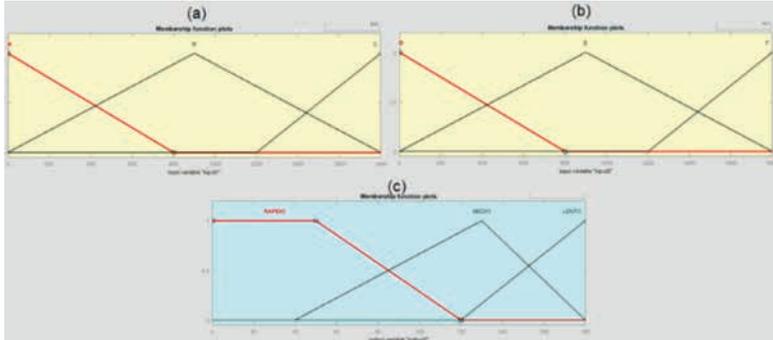
Con esta TF se puede observar el comportamiento de la planta ante una

variación en el voltaje suministrado, con lo cual se puede plantear el comportamiento deseado por el algoritmo de control; además de tener un modelo matemático del comportamiento matemático de la planta para implementar el algoritmo predictivo.

En la Figura 7 se puede apreciar el diseño del algoritmo, el cual considera la entrada difusa 1 como el *set point* de la planta, entrada difusa 2 como las

rpm y la salida difusa como un nivel de voltaje el cual se irá variando mediante el control por fase.

Figura 7. Diseño entrada difusa 1 (a); diseño entrada difusa 2 (b); salida difusa (c)

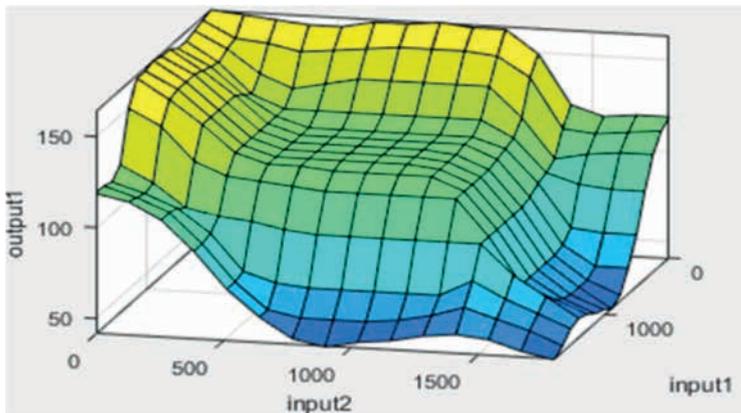


Fuente: los autores

En la Figura 8 se puede observar el comportamiento de la salida difusa, en

donde se muestra el cambio en la salida dependiendo de las entradas difusas.

Figura 8. Superficie del algoritmo difuso

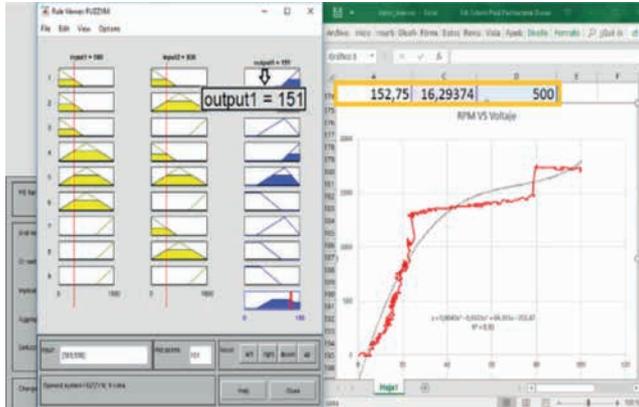


Fuente: los autores

En la Figura 9, en la parte izquierda, se observa el valor teórico del algoritmo, y a la derecha se puede observar

el valor real de la planta, obteniéndose así un error de 1,14%.

Figura 9. Resultado del algoritmo con 500 rpm en cada entrada difusa (a); resultado real de la planta con 500 rpm (b)



Fuente: los autores

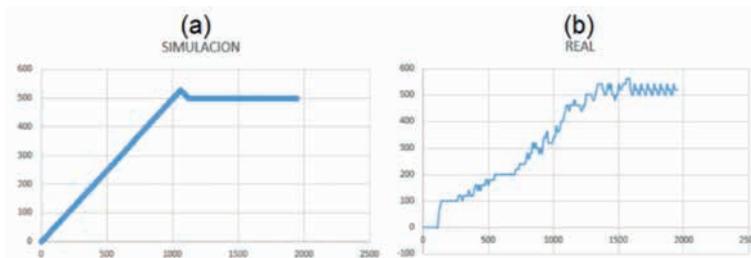
4. Resultados

A continuación, se muestran los resultados del sistema implementado centrándonos en el controlador alojado en la Raspberry Pi 3. Se podrán apreciar gráficas del comportamiento del sistema en diferentes condiciones:

- Enlazado con el servidor (controlador Fuzzy)
- Al existir latencias en la red (perturbaciones) y cambios de *set point*
- Al activarse el control predictivo

En la Figura 10, el sistema parte del reposo al enviar un *set point* de 500 rpm. Se presenta una curva suavizada hasta alcanzar la estabilidad, ciertas latencias que se presentan en la comunicación hacen que el control varíe, al reanudarse la comunicación se vuelve a estabilizar en el *set point* establecido, posterior a esto se presentan varios cambios de *set point* en lo que se puede ver, el sistema responde de manera adecuada.

Figura 10. Muestra simulada con SP = 500 (a); muestra real con SP = 500 (b)



Fuente: los autores

La Figura 11 muestra el comportamiento del sistema, al existir latencias en la comunicación de la planta,

el servidor realiza varios cambios de *set point*.

Figura 11. Cambios de *set point* rpm vs. tiempo (s)

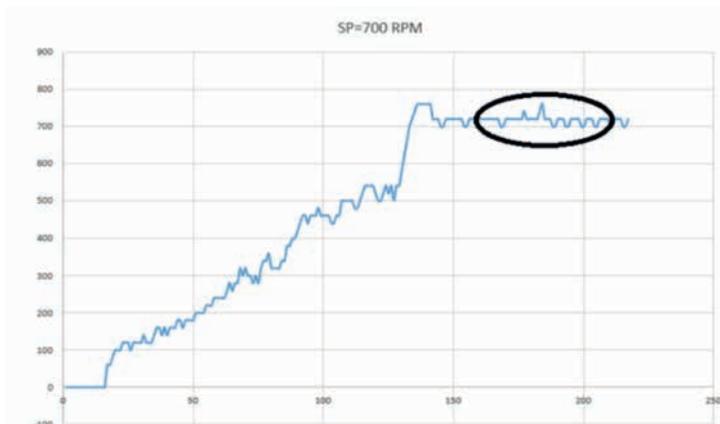


Fuente: los autores

Como se presenta en la Figura 12, se muestra una respuesta del controlador con latencias y se nota que a medida que el *set point* es mayor, el pico de velocidad también es mayor, pero de menor duración. El algoritmo predictivo, al conocer la respuesta del

sistema ante una entrada, nos permite mantener el control de la planta aun si se pierde por completo la comunicación con el servidor; además, le da una mayor estabilidad al sistema y mejora el comportamiento de la planta semejante a un control local.

Figura 12. Comportamiento del sistema con el algoritmo predictivo



Fuente: los autores

5. Conclusiones

Para mejorar las condiciones de estabilidad se implementó un algoritmo predictivo el cual permite que la planta siga funcionando en caso de que la comunicación con el servidor se pierda o tenga retardos debido al paso de los datos por la red.

Para la comunicación cliente-servidor el protocolo utilizado fue SOAP. Este es un protocolo estándar que define cómo dos objetos en diferentes procesos pueden comunicarse por medio de intercambio de datos XML.

A pesar de que en la sección de resultados se presentó una solución para compensar las latencias de la red, esta no es una solución definitiva debido a que los retardos de la red no tienen una duración fija, sino que varían en función a diferentes variables por lo que no se puede tener un comportamiento completamente controlable lo cual representa una desventaja en este tipo de sistemas en comparación a sistemas de control con medios guiados; además, si se pierde por completo la comunicación con el servidor durante mucho tiempo el algoritmo predictivo únicamente hace que el sistema alcance la estabilidad.

El algoritmo predictivo es una estrategia de control que utiliza un modelo matemático interno de la planta, que tiene un límite de operación llamado “horizonte de predicción”, el cual nos permite predecir el comportamiento futuro de la salida de la planta en un determinado tiempo, para este caso el comportamiento se puede predecir a un tiempo máximo de 250 ms. Este tiempo puede variar dependiendo de la exactitud con la que se haya obtenido el modelo matemático de la planta.

A pesar de las limitaciones por latencias el desempeño del controlador es apropiado para procesos de baja, media precisión y de tiempos de respuesta no críticos ya que debido a pérdida de datos o la comunicación genera desestabilización del sistema y por ende aumenta el tiempo de estabilización.

Si se garantizan condiciones óptimas, el sistema puede tener un desempeño similar a un control local, disminuyendo de esta forma el cableado, los conectores, los controladores locales y mejorando la detección de fallas en los procesos. Estas son las principales ventajas encontradas en la aplicación de esta tecnología.

6. Referencias

- [1] J. Ting, “Arquitectura de software para los actuales sistemas ciber-físicos”, *Ingenierías USB-med.*, vol. 2, pp. 29-32, enero-junio, 2011.
- [2] E. de la Fuente, R. Mazaeda, “Industria 4.0”, *Universidad de Valladolid. Escuela de Ingenierías Industriales*, Valladolid, 2016.
- [3] D. Zapata, A. López y C. Pillaño “Diseño e implementación de un sistema de control inalámbrico para control de voltaje DC” (Tesis de ingeniería), Departamento de Ingeniería, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador, 2017.

- [4] P. Mell y T. Grance, La definición del NIST de la computación en la nube, Instituto Nacional de Estándares y Tecnología, 2009.
- [5] V. Kumar y N. Michael, “Opportunities and challenges with autonomous micro aerial vehicles”, *Int. J. Robot. Res. (IJRR)*, vol. 31, n° 11, pp. 1279-1291, 2012.
- [6] N. Michael, D. Mellinger, Q. Lindsey y V. Kumar, “The GRASP multiple micro UAV testbed”, *Robot. Autom. Mag.*, vol. 17, n° 3, pp. 56-65, 2010.
- [7] R. D’Andrea, “Guest editorial: A revolution in the warehouse: A retrospective on KIVA systems and the grand challenges ahead”, *Trans. Autom. Sci. Eng. (T-ASE)*, vol. 9, n° 4, pp. 638-639, Oct. 2012.
- [8] Anónimo, “KIVA Systems”, 2014.
- [9] A. Quinn y B. Bederson, “Human computation: A survey and taxonomy of a growing field”, *SIGCHI Conf. Human Factors Comput. Syst.*, pp. 1403-1412, 2011.
- [10] L. von Ahn, Human computation, Carnegie Mellon University, 2009.
- [11] J. Hespanha, P. Naghshtabrizi y Y. Xu, “A Survey of Recent Results in Networked Control Systems”, vol. 95, marzo, 2007, p. 138.
- [12] M. Guinaldo, J. Sánchez y S. Dormido, “Diseño de un sistema de control anticipativo basado en paquetes para control en red”. *IX Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática (CISCI’10)*, Orlando, EUA, 2010.
- [13] M. Molina, M. Andreoni y F. Galdeano, “Monitoreo y control remoto inalámbrico de una instalación solar fotovoltaica”. *XV Encuentro Regional Iberoamericano del CIGRE (ERAC)*, Foz de Iguazú, Brasil, 2013.
- [14] E. Godoy, T. de Almeida Oliveira, I. Diniz y J. Porto, “Development of a Testbed for Hybrid Networked Control Systems”. *Symposium Series in Mechatronics (ABCM)*, vol. 6, agosto, 2014, pp. 29-32.
- [15] Z. Juan, “Arranque de un motor de inducción usando control difuso”, *Tecnura*, vol. 15, pp. 1-12, 2011.
- [16] J. Irwin. *The Industrial Electronics Handbook*, Florida, USA, Boca Ratón: CRC Press, 1997.
- [17] M. Narita, S. Okabe, Y. Kato, Y. Murakwa, K. Okabayashi y S. Kanda, “Reliable cloud-based robot services”, *Ind. Electron. Soc.*, pp. 8317-8322, 2013.

Comparison of the efficiency left-handed operators in modified drill, using MSA-SPC

Comparación de la eficiencia de operarios zurdos en taladro modificado, utilizando MSA-SPC

F. Obando,¹ C. Obando,² J. Bustillos³

Abstract: *the present investigation is a study aimed at comparing the production efficiency of a complete left-handed operator when handling a modified pedestal drill, with the force controls on the left side of the machine versus a right-handed operator operating a pedestal drill without modifications. Through a descriptive study of ten male people, of five small metal-mechanic companies located in the north of Quito, Ecuador, with average age $19,5 \pm 1,4$ years and average experience in the use of the drill of $5,7 \pm 2,7$ months, productivity was assessed with SPC (Statistical Process Control) and drilling quality using MSA (Measurement System Analysis). As a first step, the operators were evaluated and categorized through the Edinburgh protocol (quantitative analysis of laterality), obtaining a population of 100% “consistently left-handed”. Later a comparative analysis between the theoretical and experimental forces that the operator needs to make a complete perforation was made, Force that serves as input for SPC and MSA. Finally, a study of the times of a left-handed person was carried out in the drilling process in the modified machines and without modification. Concluding that the efficiency of the left-handed operator decreases according to its degree of laterality when operating a drill without modifications.*

Keywords: *laterality, productivity, MSA, SPC.*

Resumen: *la presente investigación es un estudio destinado a comparar la eficiencia en producción de un operador zurdo completo al manejar un taladro de pedestal modificado, con los mandos de fuerza en el lado izquierdo de la máquina versus un operador diestro manejando un taladro de pedestal sin modificaciones. Mediante un estudio descriptivo de diez personas de sexo masculino, de cinco pequeñas empresas metalmecánicas ubicadas en el norte de Quito, Ecuador, con edad promedio $19,5 \pm 1,4$ años y experiencia promedio en el uso del taladro de $5,7 \pm 2,7$ meses, se valoró la productividad con SPC (control estadístico de procesos) y la calidad de perforación utilizando MSA (análisis del sistema de medición). Como primer paso se evaluó y categorizó a los operarios mediante el protocolo de Edimburgo (análisis cuantitativo de la lateralidad), obteniendo una población del 100% “consistentemente zurdos”. Posteriormente, se realizó un análisis comparativo entre las fuerzas teórica y experimental que necesita el operador para hacer una perforación completa, fuerza que sirve de entrada para SPC y MSA. Finalmente, se realizó un estudio de tiempos de una persona zurda en el proceso de taladrado en las máquinas modificadas y sin modificación, concluyendo que la eficiencia del operador zurdo disminuye según su grado de lateralidad al operar un taladro sin modificaciones.*

Palabras clave: *lateralidad, productividad, MSA, SPC.*

1 Fabio Eduardo Obando Herrera, máster en Educación, máster en Gestión de Energías y PhD (c) en Ingeniería Industrial. Ingeniero mecánico y docente investigador de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Ecuador (fobando@ups.edu.ec).

2 Carolina Obando, estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Ecuador (carolina_obando93@hotmail.com).

3 Janio Bustillos, estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Ecuador (jbustillosa@est.ups.edu.ec).

1. Introducción

Entre los principales objetivos del diseño y construcción de maquinaria industrial tenemos: optimizar y facilitar las tareas de los operarios en las diferentes empresas a nivel nacional y mundial. Dentro de las máquinas herramientas más utilizadas en la industria está el taladro de pedestal. Esta máquina, como la gran mayoría está, diseñada para operarios diestros, es decir, aparece aquí un problema con las personas cuya lateralidad es izquierda (zurdos).

Alrededor de un 10% de la población es zurda [1] [2], existiendo distintos grados de lateralidad, desde diestros, ambidiestros y zurdos completos. El grado de lateralidad, para la mayoría de los zurdos, constituye una dificultad ya que la gran mayoría, por no decir todas las máquinas y dispositivos, son diseñados para diestros [3]. Al tener dificultades en el manejo de máquinas [4], los zurdos adoptan posiciones ergonómicas inadecuadas,

lo que provoca lesiones músculo-esqueléticas (LME) [5] o baja eficiencia en lo que a producción se refiere [6].

Una solución rápida sería contar con máquinas automáticas o semiautomáticas que sean de fácil manipulación por cualquier persona, pero en nuestro país existen muy pocas empresas con la capacidad económica para tener una planta automatizada, lo que se hace difícil para pequeñas y medianas empresas del área metalmeccánica. Estas empresas, al no contar con taladros automatizados, hacen que sus trabajadores zurdos realicen un mayor esfuerzo al momento de trabajar, y una consecuencia directa de esto es imprecisiones, pérdidas de tiempo y mala calidad en el producto final.

Otro inconveniente que se presenta el momento en que un operador zurdo trabaja en el taladro de pedestal son los accidentes laborales, provocados por la incomodidad durante la operación [4].

2. Métodos

Se realizó un estudio observacional, correlacional, a diez operarios de cinco pequeñas empresas metalmeccánicas ubicadas en el norte de Quito - Ecuador, todos zurdos de sexo masculino, cuyo trabajo es operar otras máquinas herramientas a más del taladro de pedestal, con edades entre 18 a 23 años, con una experiencia laboral entre dos y diez meses, quienes por voluntad propia y por escrito aceptaron participar en la investigación.

2.1. Medición de la lateralidad

Para medir el grado de lateralidad se utiliza el inventario de Edimburgo [8] [9], cuyo resultado se expresa en la Tabla 1. Entre los diez operarios, se seleccionaron para el análisis aquellos tres con mayor grado de lateralidad, es decir, los operarios identificados la Tabla 1 con el número 3, el 6 y el 8.

Tabla 1. Resultados del test de Edimburgo

Operario	Test de Edimburgo	
	Puntaje	Lateralidad
1	46	Consistentemente zurdo
2	46	Consistentemente zurdo
3	49	Consistentemente zurdo
4	44	Consistentemente zurdo
5	46	Consistentemente zurdo
6	49	Consistentemente zurdo
7	45	Consistentemente zurdo
8	49	Consistentemente zurdo
9	43	Consistentemente zurdo
10	45	Consistentemente zurdo

Fuente: los autores

2.2. Estudio de tiempos, fuerzas y calidad de perforación utilizando MSA y SPC

2.2.1. Estudio de estimación de fuerza del operario

Una de las variables de entrada para aplicar MSA y SPC es proceso de perforado propiamente dicho y este varía con otras variables que son: el material a perforar, el diámetro de bro-

ca y el avance que lo da el operario al manipular el control.

La fuerza ejercida por el operario experimentalmente se la midió con un dinamómetro digital HT Direct SF-500N, en-ganchando el dinamómetro a una de las palancas de aplicación de la fuerza, obteniendo así la fuerza “real-experimental”, la misma que se la comparó con la fuerza teórica, mediante una hoja de cálculo Excel, tal como lo muestra la Figura 1.

Figura 1. Hoja de cálculo de la fuerza teórica

Material	Tipo	Diametro broca	Avance	Profundidad de perforación (mm)	Nº agujeros	Energia especifica (W.s/mm ³)	Numero de fillos	Angulo de afilado
Acero	SAE 1010	18	Máximo	20	1	3	2	118
	Búsqueda	SAE 101018						
Velocidad de corte	Vc (m/min)	26		Esfuerzo especifico de corte	Ks (Kg/mm)	120		
Avance	f (mm/rev)	0,27		Fuerza De Penetracion	Fp (N)	143,59		
Velocidad de avance	Vf (mm/min)	124,141						
Area transversal	At (mm ²)	254,469						
Velocidad de remoción	MMR (mm ³ /s)	526,500		DATOS TEÓRICOS				
Potencia	P (W)	1579,50		Escala	Fuerza (N)	Masa a colocar (kg)		
Fuerza de corte	Fc (N)	3645		Escala 1:2	71,80	7,32		
Torque	T (N.m)	32,81		Escala 1:3	47,86	4,88		
Tiempo mecanizado	tm (min)	0,1611						
Revoluciones	n1 (rpm)	459,781						
Revoluciones	n2 (rad/s)	48,148						

Fuente: los autores

3. Resultados

3.1. Fuerzas: teórica vs. experimental

mas que se resumen en la siguiente tabla:

Se comparan las fuerzas experimentales con las teóricas, las mis-

Tabla 2. Comparación de las fuerzas experimental y teórica

Variables de entrada		Masa a colocar (kg)		Fuerza (N)		Error (%)
Acero	Broca (mm)	Experimental	Teórica	Experimental	Teórica	
SAE 1010	6,35	0,90	0,78	8,83	7,65	13%
	18	5,00	4,88	49,05	47,87	2%

Fuente: los autores

Con los datos obtenidos se ingresa a la hoja de cálculo de control de pro-

medios y rangos [10]. Los resultados se expresan en la siguiente tabla:

Tabla 3. Resultados de control promedios-rangos

Broca (mm)	Carga operador (kg)	Índice proceso
6,38	2	no capaz
	3	no capaz
	4	no capaz
	5	no capaz
18,00	2	no capaz
	3	no capaz
	4	no capaz
	5	capaz

Fuente: los autores

3.2. Análisis del sistema de medición (MSA) por atributos

El estudio expuesto a continuación se lo hizo para validar el sistema de medición. Mediante el instrumento calibrador pie de rey Mitutoyo 500-753-10, se toma diez placas de 20 mm de espesor de acero SAE 1010 y se tra-

baja con los tres individuos de prueba en una jornada laboral completa en el proceso de taladrado. La verificación del perforado lo realizan tres inspectores calificados quienes compararán la calidad del producto, para aceptar o rechazar el proceso de taladrado. Se analiza repetitividad (treinta medicio-

nes) y reproducibilidad (coincidencia de inspectores) [10]. En la Figura 2 se expresan los resultados de la hoja de cálculo MSA.

Figura 2. Resultado de la hoja de cálculo MSA

Variación del Equipo:	0,0285	R & R	0,03	%VE	21,2%	R-Bar	0,0093
Variación del Operador:	0,0062	Part Var:	0,13	%VO	4,6%	X-Dif	0,0030
σ repetitividad (VE)	0,00553	Total Var:	0,13	%GRR	21,6%	UCLr	0,024
σ reproducibilidad (VO)	0,0012	$\sigma_{R\&R}$ (GRR)	0,01	%VP	97,6%	LCLr	0,000
		σ_{TV} (VT)	0,03			Max Rango	0,040
		Criterio <	30%			Estable?	No
				Pasa/Falla		Acceptable	
				ndc =	6	Acceptable	

Fuente: los autores

El estudio de tiempos y producción de una persona zurda operando un taladro de pedestal para diestros (taladro sin modificaciones) y operando un taladro para zurdos (taladro mo-

dificado), se basó en la modificación principal realizada al taladro: cambiar el mando de fuerza del lado derecho al lado izquierdo [10]. Así, se obtuvo como resultado la Tabla 4.

Tabla 4. Perforaciones-operario-jornada de trabajo

Operador zurdo-taladro sin modificaciones						
Operador	Día	Broca (mm)	Acero	Espesor (mm)	Número de perforaciones	Tiempo (h)
1	1	6,4	ASTM A36	20	250	8
	2	18			229	8
Operador zurdo-taladro con modificaciones						
1	1	6,4	ASTM A36	20	363	8
	2	18			357	8
Operador diestro-taladro sin modificaciones						
2	1	6,4	ASTM A36	20	463	8
	2	18			451	8

Fuente: los autores

Mediremos la producción media hora/hombre, mediante la fórmula planteada en [11] y cuyo resultado se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Comparación de la productividad de los operarios

Operador	Día	Broca (mm)	Horas/hombre trabajadas	Producción (perforaciones)	Producción media hora/hombre	Producción media hora/hombre	Aumento en producción
OpD-TSM	1	6,4	8	463	57,88	100%	Ref.
OpZ-TSM				250	31,25	54%	24%
OpZ-TCM				363	45,38	78%	
OpD-TSM	2	18		451	56,38	100%	Ref.
OpZ-TSM				229	28,63	51%	28%
OpZ-TCM				357	44,63	79%	

OpD-TSM: operador diestro en taladro sin modificaciones
 OpZ-TSM: operador zurdo en taladro sin modificaciones
 OpZ-TCM: operador zurdo en taladro con modificaciones

Fuente: los autores

4. Discusión

El estudio presentado manifiesta que una persona con lateralidad izquierda (consistentemente zurdo) operador de un taladro de pedestal, máquina cuyos mandos de fuerza están en el lado derecho, disminuye ostensiblemente su eficiencia productiva, esto debido al hecho que opera la máquina con su brazo menos fuerte. Dichos operarios, aparte de demorarse más tiempo, realizan el trabajo con molestia, ya que también adoptan posiciones ergonómicamente inadecuadas, lo que a corto plazo puede ocasionar lesiones (LME).

Se comparó el trabajo de un operario en un taladro “normal”, con mandos en la derecha, con el trabajo de un operario en un taladro modificado con mandos a la izquierda [10].

En nuestro país, las empresas metal-mecánicas pequeñas o medianas no tienen los recursos económicos para tener una planta automatizada, por lo que si existen personas zurdas en su sistema laboral, ellas están expuestas a sobrecargas de trabajo y la consiguiente baja productividad [12], llegando hasta la inhabilidad para el cumplimiento de un trabajo asignado [13] [14] [15].

Una persona zurda trabajando en condiciones satisfactorias para su condición, es decir, con una máquina con mandos en su lado más fuerte, iguala o supera en algunos casos a operarios diestros trabajando en condiciones normales.

5. Conclusiones

La eficiencia del operador disminuye según su lateralidad al operar un

taladro sin modificaciones, en el caso de usar una broca de 6,4 mm de diá-

metro disminuye un 46% ($p < 0,05$) y al usar una broca de 18 mm disminuye un 49% ($p < 0,05$).

Comparando la eficiencia del mismo operador manejando taladros sin modificaciones y con modificaciones, observamos que su eficiencia aumenta para brocas de 6,5 mm en un 24% ($p < 0,05$) y para brocas de 18 mm en un 28% ($p < 0,05$).

La experiencia en el manejo de pedestal es un parámetro fundamental. Con la experiencia, un operador entrenado adecuadamente mejorará su eficiencia productiva.

Investigaciones futuras deberían proponer un programa de pausas activas para disminuir las molestias en los trabajadores zurdos y establecer un modelo en el tiempo para mantener la eficiencia estable.

6. Referencias

- [1] M. Brusasca, M. Labiano y J. Portellano, "Neuropsicología de la lateralidad evaluación de preferencia y desempeño manual", *Revista Mexicana de Neurociencia*, vol. 8, n° 1, pp. 500-505, 2007.
- [2] P. Pérez, Introducción a la neuropsicología, Madrid, España: McGraw Hill, 2005.
- [3] D. González, Ergonomía y psicopsicología, Madrid, España, Editorial FC, 2008.
- [4] C. Pellicer, Los dibujos de los zurdos: percepción y lateralidad, Castello, Publicaciones de la Universitat Jaume, 2000.
- [5] L. Merlino, J. Rosecrance, D. Antón y T. Cook, "Symptoms of muskuloskeletal disorders among apprentice construction workers", *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, vol. 18, n° 1, pp. 57-64, 2003.
- [6] T. Torres y M. Rodríguez, "Evaluación ergonómica de puestos de trabajo de la industria pesquera del Ecuador", *Revista Tecnológica ESPOL*, vol. 20, n° 1, pp. 139-142, 2007.
- [7] L. Arenas-Ortiz y O. Cantú-Gómez, "Factores de riesgo de trastornos músculo-esqueléticos crónicos laborales", *Medicina Interna de México*, vol. 29, n° 4, pp. 370-379, 2013.
- [8] Zurita-Ortega *et al.*, "Factores predictores de escoliosis en la población escolar", *Gaceta Médica de México*, pp. 533 - 539, 2014.
- [9] Fernández-Sánchez *et al.*, *Apunts. Medicila del Esports*, pp. 243 - 249, 2012.
- [10] G. Duque, J. Vela y F. Obando, "Diseño y construcción de un taladro de pedestal acoplado a personas zurdas, para la perforación en placa de acero a-36 hasta 20mm de espesor y 18mm de diámetro considerando el análisis ergonómico" (Tesis de pregrado), Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador, 2017.
- [11] L. Palacios, Ingeniería de métodos-movimientos y tiempos, México, ECOE, 2009.
- [12] C. Mutual, Métodos de evaluación de la carga física de trabajo, Madrid, McGraw-Hill, 2001.
- [13] J. Piqueras, V. Ramos, A. Martínez y L. Oblitas, "Emociones negativas y su impacto en la salud mental y física", *Suma Psicológica*, vol. 16, n° 2, pp. 85-112, 2009.
- [14] Quevedo, A. Lubo y M. Montiel, "Fatiga laboral y condiciones ambientales en una planta de envasado de una industria cervecera", *Salud de los Trabajadores*, vol. 13, n° 1, pp. 37-44, 2005.
- [15] F. Seguel y S. Valenzuela, "Relación entre la fatiga laboral y el síndrome burnout en personal de enfermería de centros hospitalarios", *Enfermería Universitaria*, vol. 11, n° 4, pp. 119-127, 2014.
- [16] AIAG, Control estadístico de procesos-manual de referencia, USA, AIAG, 2005.
- [17] M. Mayolas, A. Villaroya y J. Reverter, "Relación entre la lateralidad y los aprendizajes escolares", *Educación Física y Deportes*, vol. 101, n° 3, pp. 32-42, 2010.
- [18] C. Mayolas, "Un nuevo test de valoración de la lateralidad para los profesionales de la educación física", *Educación Física y Deportes*, pp. 14-22, 2014.

Wireless monitoring of a gasoline injection system

Monitoreo inalámbrico de un sistema de inyección de gasolina

S. Quinsasamin,¹ J. Sañaicela,² C. Pillajo³

Abstract: *the present work will explain the process of monitoring a gasoline injection system by means of an evaluation and cleaning equipment of engine injectors, said evaluation equipment simulates the work done by an injector in an internal combustion engine by means of operation tests at each one of the injectors. In addition, a cleaning equipment was developed for the corrective maintenance of the injectors, by means of a half-bridge inverter circuit that produces the power and frequency required for the process of cleaning the injectors by ultrasound, which is the most widely used cleaning process industrial and more efficient, this cleaning process uses oscillating inverter circuits as the operating principle. For the construction of the evaluation team, a PWM control was used through the Raspberry Pi 3 card, which simulates the working conditions of an injector in an internal combustion engine and verifies them by artificial vision. To control and monitor the different tests of the injectors, a SCADA system was implemented, and the results that the injectors show are stored in a web page, where the client will be able to monitor the results of the injection process and in this way have certainty of the system operation.*

Keywords: *injectors, PWM, SCADA, ultrasound.*

Resumen: el presente trabajo explicará el proceso de monitoreo de un sistema de inyección de gasolina mediante un equipo de evaluación y limpieza de inyectores de motores, dicho equipo de evaluación simula el trabajo que hace un inyector en un motor de combustión interna mediante pruebas de operación a cada uno de los inyectores. Además, se desarrolló un equipo de limpieza para el mantenimiento correctivo de los inyectores, mediante un circuito inversor medio puente que produce la potencia y frecuencia requerida para el proceso de limpieza de inyectores por ultrasonido, el cual es el proceso de limpieza más usado a nivel industrial y más eficiente, este proceso de limpieza usa como principio de funcionamiento circuitos inversores oscilantes. Para la construcción del equipo de evaluación se utilizó un control PWM mediante la tarjeta Raspberry Pi 3 la cual simula las condiciones de trabajo que tiene un inyector en un motor de combustión interna y las verifica mediante visión artificial. Para controlar y monitorear las diferentes pruebas de los inyectores, se implementó un sistema SCADA, y los resultados que arrojan los inyectores se almacenan en una página web, en donde el cliente podrá monitorear los resultados del proceso de inyección y de esta manera tener certeza del funcionamiento del sistema.

Palabras clave: inyectores, PWM, SCADA, ultrasonido.

1 Santiago David Quinsasamin Pillalaza, estudiante de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Ecuador (squinsasamin@est.ups.edu.ec).

2 Jorge Ariel Sañaicela Cueva, estudiante de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Ecuador (jsanaicela@est.ups.edu.ec).

3 Carlos Pillajo Angos, máster, docente de la Carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Ecuador (cpillajo@ups.edu.ec).

1. Introducción

La industria automotriz ha tenido un crecimiento notorio en el transcurso de los años, en gran parte ese crecimiento se debe al desarrollo que tiene la electrónica en el campo de los automóviles, mejorando sus sistemas, brindando ayuda y seguridad a los pasajeros o desarrollando máquinas y herramientas para el diagnóstico de fallas y mantenimiento de sus sistemas. Una de las máquinas más comunes y usadas es el banco probador y limpiador de inyectores. Esta máquina es indispensable en cualquier establecimiento del sector automotriz, ya que comprueba el estado de cada inyector mediante pruebas de operación y simulación en condiciones reales de trabajo [1].

Los inyectores son importantes porque entregan el combustible exacto al motor y pulverizan la gasolina correctamente [2], por ello es necesario que los inyectores no presenten fallos y estén limpios, pero debido a la calidad de la gasolina o al tiempo de uso, las impurezas llegan al inyector causando efectos negativos al motor como pérdidas elevadas de combustible, pérdida de potencia en el motor o mayor emisión de gases contaminantes. Por estas

razones es recomendable lavarlos cada 50 000 kilómetros de recorrido [1] [2].

El sistema de limpieza que se usa en este proyecto es por ondas de ultrasonido. Se sumergen los actuadores en una tina cubierta de un agente especial de limpieza y mediante un circuito inversor se genera una frecuencia de 40 kHz [3], la cual produce un proceso físico llamado “cavitación”, en el que se crean miles de burbujas las cuales estallan y entran en contacto con el elemento a limpiar permitiendo eliminar la capa de suciedad que contiene. Esta técnica penetra agujeros, grietas, huecos y quita fuertemente adherencias y agentes contaminantes incrustados en las superficies de los inyectores [4].

En el mercado nacional existen bancos limpiadores y probadores de inyectores, pero debido al precio no son accesibles para negocios pequeños, por esta razón, el proyecto está enfocado en los pequeños negocios y pequeñas empresas. Además, se implementan mejoras como la visión artificial, sistema SCADA, bases de datos y monitoreo en la nube, las cuales permitirán que este proyecto mejore la calidad de trabajo y genere un mejor servicio hacia sus clientes.

2. Métodos

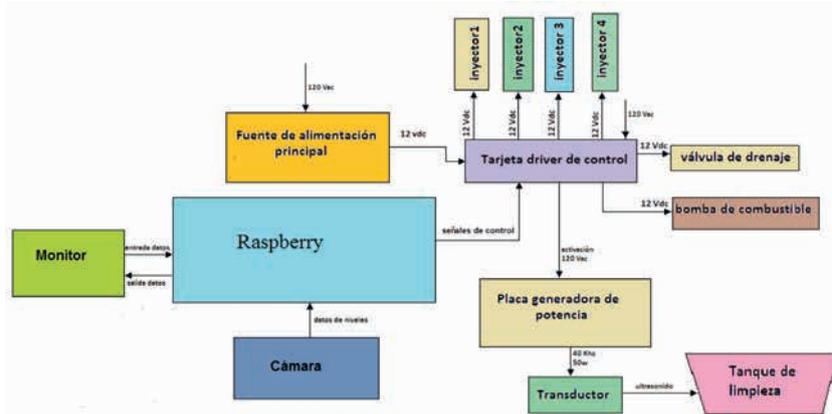
Este proyecto se compone de dos partes fundamentales: el banco de pruebas de inyectores y la lavadora por ultrasonido. En la primera se comprobará el esta-

do de cada uno de los inyectores aplicando cinco pruebas diferentes para verificar su estado de operación y si estos necesitan ser lavados o no. En la segunda par-

te, la lavadora por ultrasonido, una vez determinado el estado de los inyectores, realizará o no una limpieza profunda por medio de dicho sistema. Tales procesos se realizan desde una interfaz programada en una tarjeta Raspberry Pi.

Para el correcto funcionamiento, tanto del banco de pruebas como de la lavadora por ultrasonido, se requirió de los componentes y sistemas que se detallan en la Figura 1.

Figura 1. Diagrama de bloques de los sistemas



Fuente: los autores

La tarjeta Raspberry Pi 3 es la unidad de control principal y se encarga de enviar señales hacia la tarjeta driver de control la cual permite controlar el sistema y manejar actuadores como: inyectores de gasolina, válvulas de drenaje, bomba de presión, los cuales necesitan 12 Vdc para su funcionamiento.

Las cinco pruebas para los inyectores fueron programadas generando modulación por ancho de pulso o PWM mediante el software Python, dichas pruebas simulan el funcionamiento que tienen los inyectores en un motor de combustión interna. En la Tabla 1 se realiza la descripción de las cinco pruebas aplicadas al inyector.

Tabla 1. Descripción de las pruebas aplicadas al inyector

Pruebas de operación	
Prueba 1	Prueba de estanqueidad o goteo (realizada por visión artificial)
Prueba 2	Duty cycle variable = 19,92 ms a 2,28 ms, velocidad variable 1 500 rpm a 4000 rpm
Prueba 3	Duty cycle = 19,92 ms, 1 500 rpm
Prueba 4	Duty cycle = 2,05 ms, 2 500 rpm
Prueba 5	Duty cycle = 2,28 ms, 4 000 rpm

Fuente: los autores

En un motor de combustión interna de cuatro tiempos, por cada dos vueltas o revoluciones que entrega el cigüeñal se produce un ciclo completo de cuatro tiempos (admisión, compresión, explosión y escape) [5].

Se tomaron valores referenciales de 1 500, 2 500 y 4 000 rpm con sus respectivos anchos de pulso o *duty cycle* de 19,92 ms, 2,05 ms y 2,28 ms para aplicarlas en las pruebas de operación [6], en donde, para determinar el periodo de pulso de inyección, se usó el siguiente procedimiento:

$$\text{Periodo de pulso para 1 500 RPM} = \frac{2 \text{ RPM} * 60 \text{ seg.}}{1500}$$

$$\text{Periodo de pulso para 1 500 RPM} = 0.08 \text{ seg}$$

$$\text{Periodo de pulso para 2 500 RPM} = \frac{2 \text{ RPM} * 60 \text{ seg.}}{2500}$$

$$\text{Periodo de pulso para 2 500 RPM} = 0.048 \text{ seg}$$

$$\text{Periodo de pulso para 4 000 RPM} = \frac{2 \text{ RPM} * 60 \text{ seg.}}{4000}$$

$$\text{Periodo de pulso para 4 000 RPM} = 0.03 \text{ seg}$$

En cada prueba se requiere verificar y observar el estado y cantidad de líquido de banco de pruebas que arrojan los inyectores, para eso se utilizó el sistema de visión artificial el cual mide la cantidad de líquido presente en cada probeta.

Para la prueba de goteo se envía el líquido a presión con los inyectores cerrados y se verifica si existe presencia de goteo mediante un análisis de perturbaciones en las probetas.

En la Figura 2 se aprecia el sistema de visión artificial, el cual capta la cantidad de líquido presente en las cuatro probetas. Todos los valores y resultados de las pruebas que capta el sistema de visión artificial los guarda en una base de datos creada en la tarjeta Raspberry con el nombre del cliente, la fecha, kilometraje y los resultados de las pruebas aplicadas a los inyectores.

Figura 2. Niveles de líquido presente en las cuatro probetas



En la adquisición de imágenes se utilizó una cámara web, la misma que se conectará a uno de los puertos USB de la Raspberry Pi 3. Con el lenguaje de programación Python se logra la adquisición de imágenes mediante la librería OpenCV [7]. Como se trabaja con cuatro probetas es necesario que todo el campo de visión de la cámara se divida en cuatro regiones para tratarlas una a una.

En la Figura 3 se observa el diagrama de bloques de la visión artificial, en donde en la etapa de pre-procesado se mejora la imagen, se emplea técnicas como mejorar el contraste y eliminar el ruido. Creado los cuatro *frame*, se aplica un filtro Gaussian Blur para cada región, esto permite eliminar el ruido [7].

Figura 3. Diagrama de bloques de la visión artificial



Fuente: los autores

En la etapa de segmentación, que es un proceso donde se extrae información para su posterior uso, cada *frame* se convierte a formato HSV, que es una representación del color basado en el matiz, la saturación y el brillo; además, es un modelo más cercano a la forma en que los humanos perciben los colores. Después se crean dos rangos o vectores con la librería Numpy, uno inferior y otro superior, del color a ser detectado para así mostrar una máscara de la imagen [8].

La etapa de representación básicamente consiste en mostrar una región en términos de sus características externas como son sus contornos. Una vez creada la máscara se puede encontrar los contornos del nivel del líquido que en ese instante posee cada probeta. La importancia de encontrar el número de contornos es que se puede suprimir los objetos que no correspondan a la imagen tratada.

En la etapa de interpretación, una vez encontrado los contornos, se extrae la coordenada máxima de todo el contorno de la imagen tratada, dicha coordenada se interpretará como el nivel del líquido de cada probeta.

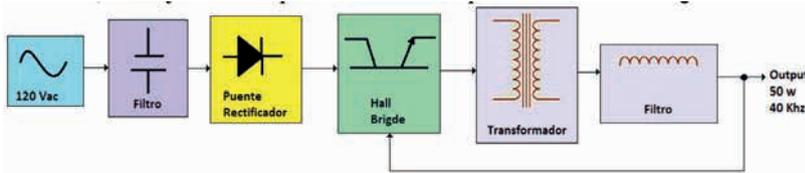
Para la presentación de los niveles de las cuatro probetas se hace uso del comando `Imshow` provista por la librería Tkinter [9].

El sistema de ultrasonido está compuesto por un circuito electrónico de alta frecuencia, un transductor piezoeléctrico tipo sándwich y una tina de ultrasonido. La placa de alta frecuencia mencionada genera una potencia de 50 W y una frecuencia de 40 kHz, mediante un circuito Hall Bridge o medio puente el cual se usó para el diseño de la placa generadora de alta frecuencia, como se puede apreciar en el diagrama de bloques de la Figura 4. Se aplica corriente alterna de 120 VAC 60

Hz a la entrada de la placa, los capacitores que eliminan el ruido de altas frecuencias,

el voltaje rectificado pasa a los transistores que conforman el hall bridge.

Figura 4. Diagrama de bloques del circuito de alta frecuencia

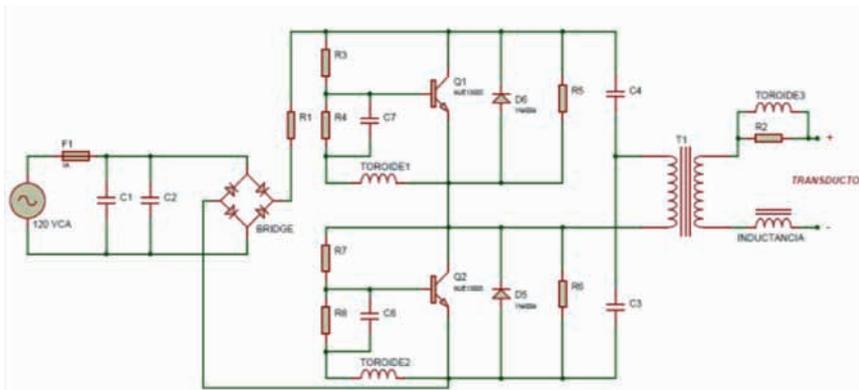


Fuente: los autores

Como se puede ver en la Figura 5, para lograr un cambio de fase en la corriente de polarización de los transistores, se conmutan cíclicamente de tal manera que cuando conduce el transistor Q1, el transistor Q2 no conduce,

y cuando el transistor Q2 conduce, el transistor Q1 no conduce; a las salidas del transformador de alta frecuencia T1 se conectan en serie un inductor de potencia conjuntamente con el transductor ultrasónico.

Figura 5. Circuito generador de alta frecuencia



Fuente: los autores

La activación del transistor 1 se logra mediante una red de realimentación formada por uno de los secundarios del toroide y un divisor de voltaje creado con resistencias [10].

Según los fabricantes de transductores y sistemas de limpieza por ultra-

sonido, se debe tener en cuenta el nivel del líquido de ultrasonido para tener un aproximado de la potencia que va a requerir el transductor piezoeléctrico, dichos fabricantes sugieren una medida referencial de 70-100 W por galón de líquido [4]. Partiendo de este concepto se deduce la siguiente fórmula:

$$P_{req} = \frac{(L \cdot A + (A I - 0.025) \cdot 1000)}{3.78} \cdot 85$$

Teniendo en cuenta las consideraciones y los datos ya mencionados de la tina de ultrasonido, se tienen los siguientes cálculos:

$$P_{req} = \frac{(0.16 \cdot 0.25 \cdot (0.10 - 0.025) \cdot 1000)}{3.78} \cdot 85$$

$$V_{in} = 120 \text{ VCA}$$

$$V_{out} = 650 \text{ VCA}$$

$$I_{out} = 1.5 \text{ A}$$

$$f_1 = 60 \text{ Hz}$$

$$f_{osc} = 40 \text{ KHz}$$

$$P_{out} = 50 \text{ w}$$

$$D_{max} = \text{razón de trabajo}$$

$$V_{min} = \text{Voltaje de la fuente} - 10 = 110 \text{ Vca}$$

$$V_{max} = \text{Voltaje de la fuente} + 10 = 130 \text{ Vca}$$

$$I_{rms} = \sqrt{D_{max} \left(\frac{2.8^2}{3} - 2.8 + 1 \right)}$$

$$I_{rms} = 1.32 ; \text{ corriente eficaz}$$

$$LP = \frac{V_{min \text{ rms}} \cdot D_{max}}{I_{rms} \cdot f_{osc}}$$

$$LP = \frac{155.56 \cdot 0.26}{1.32 \cdot 40000}$$

$$LP = 766 \text{ } \mu\text{H} ; \text{ Inductancia}$$

$$I_{pk} = \frac{I_{out} \cdot I_{avr}}{D_{max}}$$

$$I_{pk} = \frac{1.5 \cdot 0.5}{0.26}$$

$$I_{pk} = 2.88 ; \text{ corriente pico}$$

$$I_{rms} = \sqrt{D_{max} \left(\frac{2.8^2}{3} - 2.8 + 1 \right)}$$

$$P_{req} = \frac{1.8}{3.78} \cdot 85$$

$$P_{req} = 40.47 \text{ w}$$

Los cálculos sobre el diseño del circuito electrónico de alta frecuencia se detallan a continuación [11]:

Datos:

$I_{rms} = 1.32$; corriente eficaz

$$L_P = \frac{V_{min\ rms} * D_{max}}{I_{rms} * f_{osc}}$$

$$L_P = \frac{155.56 * 0.26}{1.32 * 40000}$$

$$L_P = 766 \mu H$$

Inductancia:

$$N_p = \frac{L_p * I_{rms}}{0.18cm^2 * 2200G}$$

$$N_p = \frac{766 * 1.32}{0.18cm^2 * 2200G}$$

$N_p = 14.18$; número de vueltas en el primario

$$N_{s(+650)} = \frac{V_{out} + 0.9 * N_p}{0.26 * V_{min\ rms}}$$

$$N_{s(+650)} = 16.38$$

Corrientes de salida:

$$I_{rms2} = 2.3 \sqrt{(1 - 0.26) \left(\frac{2.8^2}{3} - 2.8 + 1 \right)}$$

$$I_{rms2} = 1.78 A$$

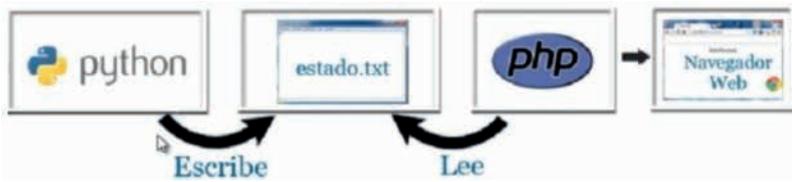
$$I_{ripple} = \sqrt{I_{rms2}^2 - I_{out}^2}$$

$$I_{ripple} = \sqrt{1.78^2 - 1.5^2}$$

$$I_{ripple} = 0.99 \text{ (corriente directa en el secundario)}$$

En la Figura 6 se muestra el diagrama de bloques de la conexión entre Python y PHP a través de una base de datos, si el cliente necesita realizar una consulta sobre el estado de los inyectores, esta consulta lo realizará desde

cualquier navegador que a través de lenguaje de programación PHP realiza una consulta a la base de datos MySQL y que por medio del servidor Apache permite visualizar los resultados en la página web.

Figura 6. Diagrama de bloques de conexión Python y PHP mediante MySQL

Fuente: los autores

De la misma forma, si el operador necesita averiguar el estado de los inyectores en fechas anteriores, solo tie-

ne que recurrir a la base de datos instalada en la Raspberry Pi 3.

3. Resultados

La máquina realiza una comparación entre los cuatro niveles de líquido presentes en las probetas, determina la probeta que contiene mayor líquido, y para las tres restantes, el equipo realiza un cálculo para ver el porcentaje de desviación que presentan con respecto al mayor, dicho porcentaje no debe sobrepasar el 10% [2].

A continuación, de la Tabla 2 a la Tabla 6, se presentan los resultados de la limpieza de inyectores obtenidos en un vehículo Chevrolet Aveo Family 2014, el cual presenta pérdidas de potencia en el motor y consumo excesivo de combustible. Como se puede observar en las tablas mencionadas, se tiene como resultado que los inyectores 1 y 2 no aprueban, pues sobrepasan el rango de desviación del 10%.

Tabla 2. Resultado de la prueba de estanqueidad

	Inyector 1	Inyector 2	Inyector 3	Inyector 4
Presión	45 psi	45 psi	45 psi	45 psi
Tiempo de prueba	60 s	60 s	60 s	60 s
Observación de goteo	No	No	No	No
Resultado de la prueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba

Fuente: los autores

Tabla 3. Resultado de la prueba de velocidad variable

	Inyector 1	Inyector 2	Inyector 3	Inyector 4
Volumen	43 ml	48 ml	52 ml	41 ml
Desviación	18%	8%	0%	22%
Resultado	No aprueba	Aprueba	Aprueba	No aprueba

Fuente: los autores

Tabla 4. Resultado de la prueba de velocidad baja

	Inyector 1	Inyector 2	Inyector 3	Inyector 4
Volumen	35 ml	45 ml	48 ml	37 ml
Desviación	28%	6%	0%	23%
Resultado	No aprueba	Aprueba	Aprueba	No aprueba

Fuente: los autores

Tabla 5. Resultado de la prueba de velocidad media

	Inyector 1	Inyector 2	Inyector 3	Inyector 4
Volumen	41 ml	43 ml	51 ml	39 ml
Desviación	22%	16%	0%	25%
Resultado	No aprueba	No aprueba	Aprueba	No aprueba

Fuente: los autores

Tabla 6. Resultado de la prueba de velocidad alta

	Inyector 1	Inyector 2	Inyector 3	Inyector 4
Volumen	49 ml	51 ml	55 ml	41 ml
Desviación	11%	8%	0%	16%
Resultado	No aprueba	No aprueba	Aprueba	No aprueba

Fuente: los autores

En contraposición, las tablas de la 7 a la 11 muestran los resultados de los inyectores después de ser limpiados por ultrasonido.

Tabla 7. Resultado de la prueba de estanqueidad

	Inyector 1	Inyector 2	Inyector 3	Inyector 4
Presión	45 psi	45 psi	45 psi	45 psi
Tiempo de prueba	60 s	60 s	60 s	60 s
Observación de goteo	No	No	No	No
Resultado de la prueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba

Fuente: los autores

Tabla 8. Resultado de la velocidad variable

	Inyector 1	Inyector 2	Inyector 3	Inyector 4
Volumen	48 ml	48 ml	52 ml	46 ml
Desviación	8%	8%	0%	12%
Resultado	Aprueba	Aprueba	Aprueba	No aprueba

Fuente: los autores

Tabla 9. Resultado de la velocidad baja

	Inyector 1	Inyector 2	Inyector 3	Inyector 4
Volumen	45 ml	45 ml	48 ml	43 ml
Desviación	6%	6%	0%	11%
Resultado	Aprueba	Aprueba	Aprueba	No aprueba

Fuente: los autores

Tabla 10. Resultado de la velocidad media

	Inyector 1	Inyector 2	Inyector 3	Inyector 4
Volumen	49 ml	49 ml	51 ml	43 ml
Desviación	4%	4%	0%	16%
Resultado	Aprueba	Aprueba	Aprueba	No aprueba

Fuente: los autores

Tabla 11. Resultado de la velocidad alta

	Inyector 1	Inyector 2	Inyector 3	Inyector 4
Volumen	51 ml	52 ml	55 ml	9 ml
Desviación	8%	6%	0%	11%
Resultado	Aprueba	Aprueba	Aprueba	No aprueba

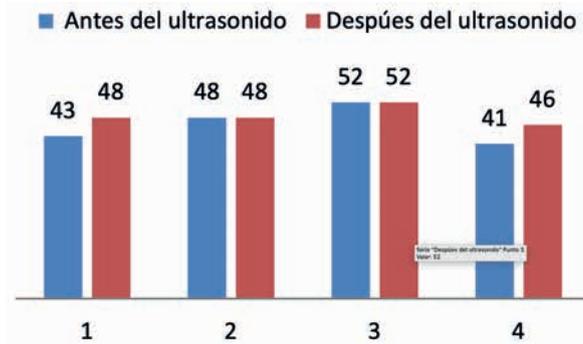
Fuente: los autores

4. Discusión

En un vehículo que consuma en exceso combustible, que presente pérdidas de potencia en el motor o presente mayor emisión de gases contaminantes, la causa puede ser inyectores sucios y obstruidos debido a impurezas, para ello es necesario desmontar dichos actuadores, comprobarlos en un banco de pruebas y proceder a lavarlos.

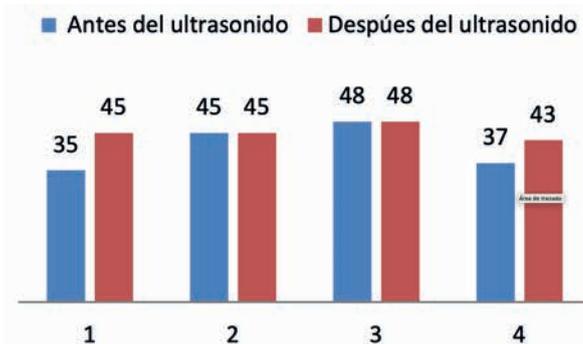
El vehículo Chevrolet Aveo Family 2014 es un claro ejemplo de inyectores obstruidos debido a suciedad en su interior. En las figuras 7, 8, 9 y 10, se puede observar que el porcentaje de desviación después del ultrasonido se ha reducido considerablemente, luego después de ser sometidos a limpieza por ultrasonido.

Figura 7. Comparación del porcentaje de desviación en la prueba de velocidad variable 1 500-4 000 rpm



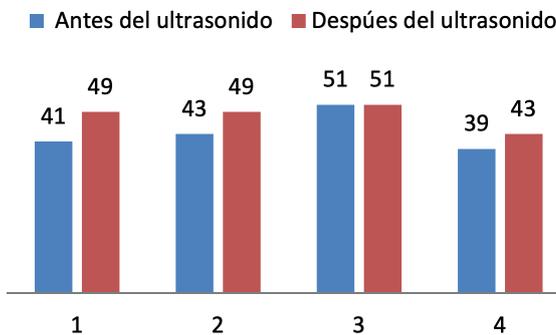
Fuente: los autores

Figura 8. Comparación del porcentaje de desviación en la prueba de velocidad baja 1 500 rpm



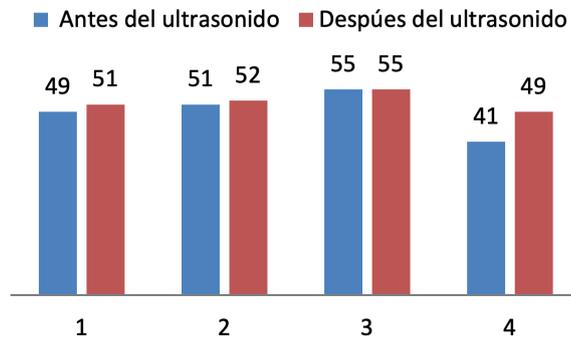
Fuente: los autores

Figura 9. Comparación del porcentaje de desviación en la prueba de velocidad media 2 500 rpm



Fuente: los autores

Figura 10. Comparación del porcentaje de desviación en la prueba de velocidad alta 4 000 rpm



Fuente: los autores

Estos datos indican que un mantenimiento correctivo en los inyectores ayuda a disminuir fallas presentes en el motor de combustión interna. Dichos inyectores son elementos importantes y deben estar en sus óptimas condiciones para pulverizar la gasolina correctamente. En las figuras 7 a 10 se aprecia que existen valores como del inyector 4, que después del ultrasonido todavía sobrepasa el

10% de desviación, esto quiere decir que el motor seguirá consumiendo gasolina más de lo normal, pero el consumo de combustible ya no sería en exceso.

Lo que se recomienda es realizar un mantenimiento preventivo de los inyectores tal como dicen los manuales de fabricantes cada 50 000 km [2] y evitar así posibles fallas como la citada en este ejemplo.

5. Conclusiones

Se construyó un sistema automático de lavado por ultrasonido con un banco de pruebas de operación similar a los existentes en el mercado nacional, pero con sus distintas mejoras y características que la hace única y distinta otros equipos de evaluación y limpieza.

Se pudo confirmar la efectividad del mantenimiento correctivo de los inyectores por medio de la limpieza por ultrasonido, teniendo en cuenta los

valores de volumen en las probetas y los rangos de desviación antes y después de ser lavados por ultrasonido.

Tanto en el diseño y construcción de la placa generadora de alta frecuencia, como en el sistema de visión artificial se realizaron pruebas teóricas y prácticas de mediciones dando como resultado valores similares ya sea en los valores de salida de la placa de alta frecuencia como en la medición de los niveles presentes en las probetas.

Como resultado de la investigación se concluye que el fenómeno de cavitación producido por las ondas de ultrasonido es la mejor opción en cuanto a limpieza, no solo de inyectores a gasolina sino, en general de elementos que requieran una limpieza de alta eficiencia

6. Referencias

- [1] P. Villavicencio, Diseño y construcción de un banco electrónico de pruebas y limpieza de inyectores a gasolina, Riobamba, 2012.
- [2] M. Pérez, Sistemas auxiliares del motor, Editorial Paraninfo, 2011.
- [3] Launch, Manual de usuario equipo de limpieza y prueba de inyectores CNC-602a, 2017. Recuperado de <https://bit.ly/2LLkAoh/>
- [4] F. Gutiérrez, Principios de piezoelectricidad, New York, Cambridge University, 2010.
- [5] W. Soto, Especificación, diseño y montaje de un sistema de lavado por ultrasonido: Especificación, diseño y montaje de un sistema de lavado por ultrasonido, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, San José de Caldas.
- [6] J. Ramírez, Elaboración de material didáctico en un motor de combustión interna de 4 tiempos en corte con caja de cambios, Quito, 2013.
- [7] J. Jiménez, Comprobación de las señales emitidas por los inyectores en determinados regímenes del motor utilizando el osciloscopio en un vehículo Chevrolet Sail 1,4 L, Guayaquil, 2016.
- [8] E. Mullo López, M. Molina y C. Andrés, Diseño e implementación de un sistema para la contabilización de la cantidad de objetos que circulan por el espacio captado por una cámara utilizando librerías de OPENCV, 2016.
- [9] N. Cajas Idrovo y P. Viri Ávila, Diseño e implementación de un sistema de seguridad vehicular mediante reconocimiento facial a través de visión artificial, 2017.
- [10] E. Bahit, Python para principiantes, Buenos Aires, Safe Creative, 2012.
- [11] W. L. Puskas, Oscillatory circuit for ultrasonic cleaning apparatus, 1972. Recuperado de <https://bit.ly/2Oq91ox/>
- [12] J. Núñez y E. Villamar, Diseño e implementación de un prototipo de limpieza por medio de ultrasonido, Guayaquil, 2017.

Fuzzy and self-tuning PID control for twin rotor MIMO system

Control PID difuso y autoajustable para sistema MIMO de doble rotor¹

M. Miranda,² J. Solis,³ O. Barcia⁴

Abstract: *this paper has as general objective, the implementation of fuzzy and adaptive STR PID control algorithms for the twin rotor MIMO system 33-220 (TRMS) of Feedback Instrument Ltd. developed through the program Matlab/Simulink. This research helps to understand the different types of control, the classic, modern, robust and intelligent control associated with industrial computing. The TRMS is a complex system since both inputs intervene in each of its outputs and therefore requires robust control actions that have the ability to react to disturbances experienced by the system. A comparison is made between the Fuzzy PID and Adaptive PID controllers by analyzing them in order to determine which of these robust controllers has the best response based on their main characteristics. Research determines that the STR controller is more effective than the fuzzy controller outperforming the STR controller in setup time and in the fidelity of the stability in the system.*

Keywords: *adaptive control, STR, fuzzy control, system identification, decentralized control.*

Resumen: esta publicación tiene como objetivo general, la implementación de algoritmos de control PID difuso y adaptativo STR para el sistema MIMO de doble rotor 33-220 (TRMS) de Feedback Instrumente Ltd., desarrollado mediante el programa Matlab/Simulink. Esta investigación ayuda a la comprensión de los diferentes tipos de control, el control clásico, moderno, robusto e inteligente asociado a la informática industrial. El TRMS es un sistema complejo ya que ambas entradas intervienen en cada una de sus salidas por lo que exige acciones de control robusto que tengan la capacidad de reaccionar a las perturbaciones que experimenta el sistema. Se efectúa la comparación entre los controladores PID difuso y PID Adaptativo realizando un análisis de los mismos con el fin de determinar cuál de estos controladores robustos tiene mejor respuesta en función de sus características principales. La investigación determina que el controlador STR es más eficaz que el difuso, aventajando el STR en el tiempo de establecimiento y en la fidelidad de la estabilidad en el sistema.

Palabras clave: control adaptativo, STR, control difuso, identificación de sistemas, MIMO, control descentralizado

-
- 1 Los autores agradecen a la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil y a la Carrera de Ingeniería Electrónica por facilitar el acceso a las instalaciones y al módulo TRMS.
 - 2 Marcos Enrique Miranda Orellana, egresado de la Carrera de Ingeniería Electrónica y Automatización de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (mmiranda@est.ups.edu.ec).
 - 3 Jaime Edison Solís Delgado, egresado de la Carrera de Ingeniería Electrónica y Automatización de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (jsolisde@est.ups.edu.ec).
 - 4 Orlando Giovanni Barcia Ayala, máster, ingeniero, docente de la Carrera de Ingeniería Electrónica y Automatización de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (obarcia@ups.edu.ec).

1. Introducción

El módulo (Twin Rotor MIMO System o TRMS) de la empresa Feedback [1], es un sistema de alta complejidad, debido a la no linealidad, acoplamiento cruzado entre sus dos ejes y aerodinámica compleja, lo cual lo convierte en un problema para análisis.

Este tipo de sistemas son de interés didáctico, aunque tiene varias diferencias a su semejante en la industria. La formulación del modelo matemático es basada en ecuaciones diferenciales, con lo que este estudio tiene como ventaja la analogía con procesos reales que son aún de mayor complejidad.

El módulo al adquirirlo de fábrica expone el control PID (proporcional integral y derivativo) ya diseñado por el desarrollador, este regulador ya ha sido rediseñado y evaluado anteriormente en este módulo, con un PID no lineal [2].

Al presentarse el incremento de la innovación tecnológica, se generan sistemas cada vez más complejos donde el uso de controladores requiere más precisión con la finalidad de lograr una propuesta más eficaz ante un problema más complejo [2].

En la propuesta planteada del proyecto evalúa dos modelos para el control del TRMS: PID adaptativo tipo regulador autoajustable STR (Self Tuning Regulator) y el PID difuso (Fuzzy) ambos por medio del uso de controladores descentralizados, con lo que no se diseñan desacopladores. Los movimientos principales de cada uno de los rotores

(Pitch y Yaw) son el objeto de control en este proyecto. La implementación se la realizó en la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, en el Laboratorio de Automatización y Control.

Utilizando el método de Mamdani para el control Fuzzy con dos entradas en este, el error y la derivada del error, añadiendo la acción integral con lo que se obtiene el Fuzzy PID [3].

El diseño del regulador autoajustable STR utiliza la estructura explícita por lo que requiere la estimación de la planta, método recursivo de mínimos cuadrados con olvido adaptativo direccional RLS-adf (Recursive Least Squares-adaptive directional forgetting), mientras es controlado con un PID con filtro en la acción derivativa, para su diseño se acude a la asignación de polos [4].

El planteamiento y la elaboración de ambos controladores son con la finalidad de elaborar una comparación de ambos y demostrar cuál de ellos es más eficaz a este tipo de sistemas, se observó la tensión de los controladores, el tiempo de establecimiento, la estabilidad y el sobreimpulso para su evaluación, otros indicadores de performance no forman parte de este trabajo.

El documento describe los métodos que se realizaron para el desarrollo de los controladores y los resultados, como se explica en el diagrama mostrado en la sección 2 de esta publicación, en los resultados se muestra el modelo matemático seguido de la

identificación experimental, el desarrollo del control Fuzzy PID, el con-

trolador PID STR culminando con la conclusión del proyecto.

2. Métodos

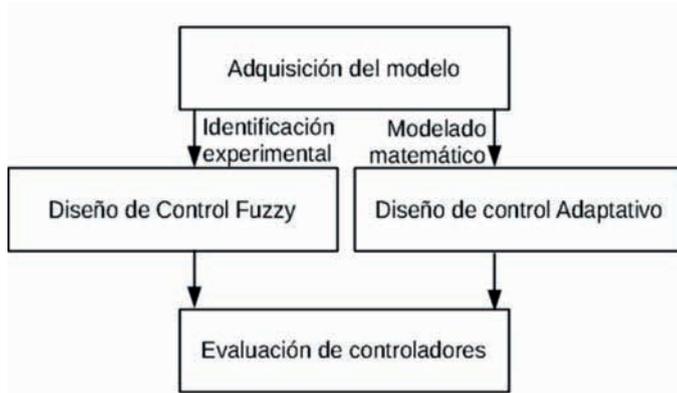
Se procedió a utilizar el método deductivo, estudiando casos similares en los que se implementaron en el módulo TRMS, se realizaron pruebas con algoritmos de control semejantes a los propuestos con lo cual se establecieron las bases de diseño de los controladores PID difuso y adaptativo.

El método analítico se aplicó para descomponer y observar el comporta-

miento del sistema para el desarrollo de las reglas, funciones de membresía (FM) del controlador difuso y para la estimación de la planta del controlador autoajutable con lo que se diseñó el controlador PID adaptativo.

La metodología efectuada se puede apreciar en la Figura 1.

Figura 1. Metodología del proyecto



Fuente: los autores

En la adquisición del modelo se procedió a utilizar los momentos de fuerza que rigen el movimiento del sistema, que sirve como datos iniciales que requiere el método recursivo para la identificación del controlador adaptativo. Paralelo a esto, con la identificación experimental y con una señal binaria pseudo aleatoria (PRBS Pseu-

doRandom Binary Sequence), se obtuvo el modelo lineal que es útil para el diseño del controlador Fuzzy.

Al diseño del control Fuzzy clásico con el método de Mamdani, utilizando el método heurístico en el desarrollo de las FM y las reglas, se incorporó el control PID utilizando la parte proporcional y derivativa del error para el

diseño del control Fuzzy clásico. Aplicando Matlab y el modelo lineal se adquirió los valores de las ganancias del controlador PID.

En el diseño del controlador adaptativo que es un regulador de tipo autoajutable, utiliza un PID como controlador que se implementó con el algoritmo de asignación de polos. Por lo que se utilizó un sistema de segundo orden como base para que realice el control [5]. Con base al modelo ma-

temático del sistema se obtuvieron los valores iniciales para implementar el método de identificación de RLS-adf; del sistema de segundo orden, se utiliza ξ como amortiguamiento (*damping*) y w_n como frecuencia de oscilación para desarrollar el control.

Para la evaluación de los controladores se consideró el tiempo de establecimiento al 5%, además de la eficiencia que mostró la señal de control de cada controlador.

3. Resultados

Se obtuvo los modelos que rigen el TRMS mediante el análisis matemático y la identificación experimental del sistema.

3.1. Modelo matemático

La suma de momentos de cada movimiento, ángulo Pitch y Yaw, genera las ecuaciones diferenciales que representan el sistema [5]. Son tres ecuaciones por cada ángulo entre ellas se representa la acción cruzada.

$$\begin{aligned}
 \frac{d}{dt} \theta_p &= \dot{\theta}_p \\
 \frac{d}{dt} \dot{\theta}_p &= \frac{a_1}{I_p} \tau_1^2 + \frac{b_1}{I_p} \tau_1 - \frac{M_g}{I_p} \sin(\theta_p) + \frac{0.0326}{2I_p} \sin(2\theta_p) \dot{\theta}_y^2 - \frac{B_{1p}}{I_p} \dot{\theta}_p - \frac{k_{gy}}{I_p} a_1 \cos(\theta_p) \dot{\theta}_y \tau_1^2 - \frac{k_{gy}}{I_p} b_1 \cos(\theta_p) \dot{\theta}_y \tau_1 \\
 \frac{d}{dt} \theta_y &= \dot{\theta}_y \\
 \frac{d}{dt} \dot{\theta}_y &= \frac{a_2}{I_y} \tau_2^2 + \frac{b_2}{I_y} \tau_2 - \frac{B_{1y}}{I_y} \dot{\theta}_y - \frac{1.75}{I_y} k_c a_1 \tau_1^2 - \frac{1.75}{I_y} k_c b_1 \tau_1 \\
 \frac{d}{dt} \tau_1 &= -\frac{T_{10}}{T_{11}} \tau_1 + \frac{k_1}{T_{11}} u_p \\
 \frac{d}{dt} \tau_2 &= -\frac{T_{20}}{T_{21}} \tau_2 + \frac{k_2}{T_{21}} u_y
 \end{aligned} \tag{1}$$

3.2. Identificación experimental

Con una señal PRBS de once registros y cuatro divisiones [6], se obtuvo los datos del sistema. Utilizando los modelos polinomiales y con la herra-

mienta Ident de Matlab, con parámetros Error de Salida y Autorregresivo, de media móvil con entrada exógena (Armax). Los resultados se obtienen para los caminos principales mediante

el uso de Armax. Para los caminos cruzados se utiliza el error de salida. Se expresen en las siguientes ecuaciones:

Camino principal de Pitch:

$$\frac{0.01009s^2+0.04488s+2.116}{s^3+1.194s^2+4.508s+4.973} \quad (2)$$

Camino cruzado desde Pitch:

$$\frac{0.1003s+0.2129}{s^2+0.3164s+0.7567} \quad (3)$$

Camino principal de Yaw:

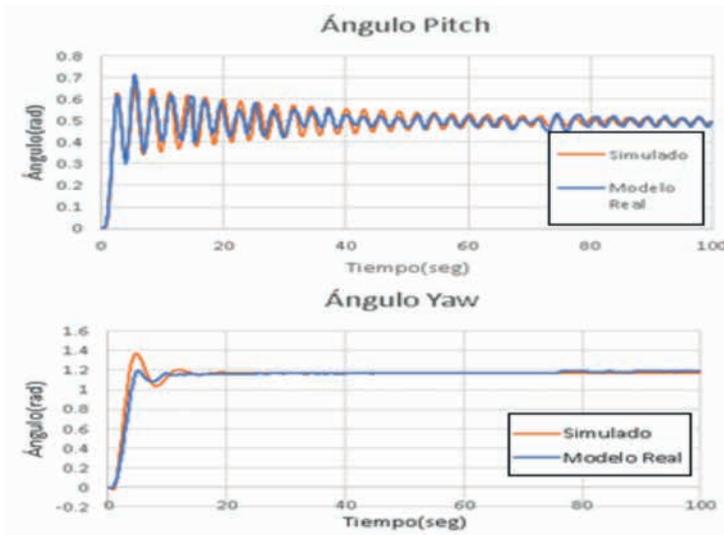
$$\frac{0.0009585s^2+0.05354s+0.6662}{s^3+2.261s^2+1.802s+1.219} \quad (4)$$

Camino cruzado desde Yaw:

$$\frac{0.04027s+0.1465}{s^2+0.1156s+4.826} \quad (5)$$

En la Figura 2 se aprecia la fidelidad del modelo obtenido con la identificación experimental en re-referencia de una entrada paso unitario al modelo, la misma señal al sistema real.

Figura 2. Respuesta a paso unitario de la identificación experimental y el modelo real



Fuente: los autores

3.3. Diseño del controlador

Para el diseño del controlador difuso se debe tener en cuenta la cantidad de entradas y salidas a utilizar. El control de cada ángulo se desarrolla a par-

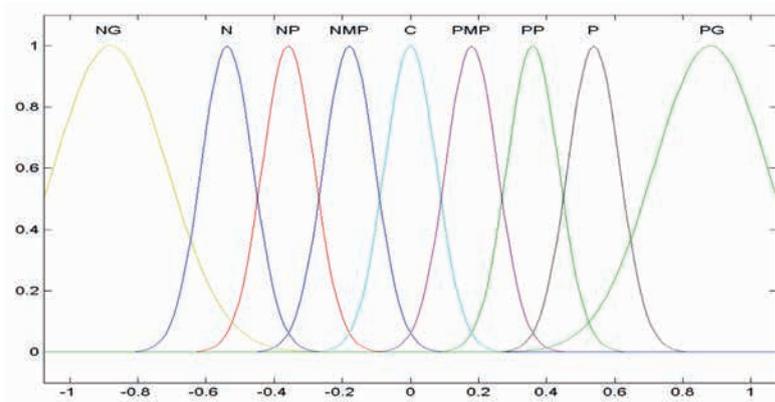
tir de dos entradas que corresponden a la entrada del error (e_{Pitch} y e_{Yaw}) y la segunda que corresponde a la derivada del error (de_{Pitch} y de_{Yaw}) y a su respectiva salida ($main-rotor-signal$ y $tail-rotor-signal$).

3.3.1. Controlador para el ángulo Pitch

Se utilizaron en el diseño las funciones de membresía FM tipo gaussiana. Se diseñó 9 FM para el error como muestra

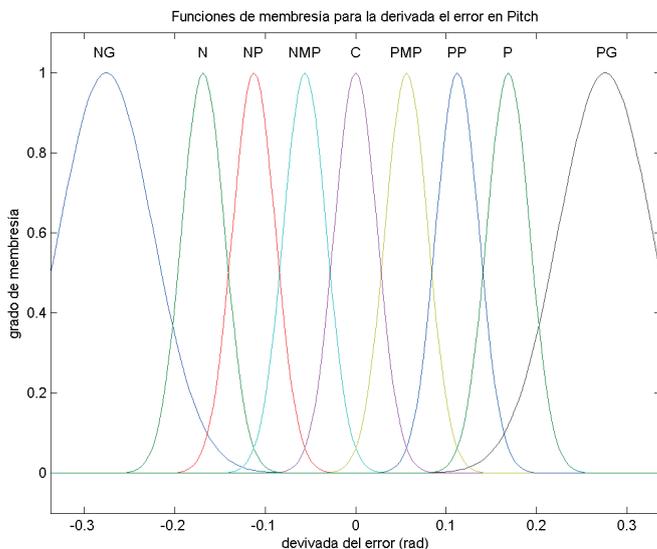
la Figura 3. En la Figura 4, la derivada del error tiene similarmente 9 FM. La Figura 5 indica las 11 FM de la salida del controlado. La Figura 6 muestra el comportamiento de las reglas que se asignaron.

Figura 3. Funciones de membresía para el error en Pitch



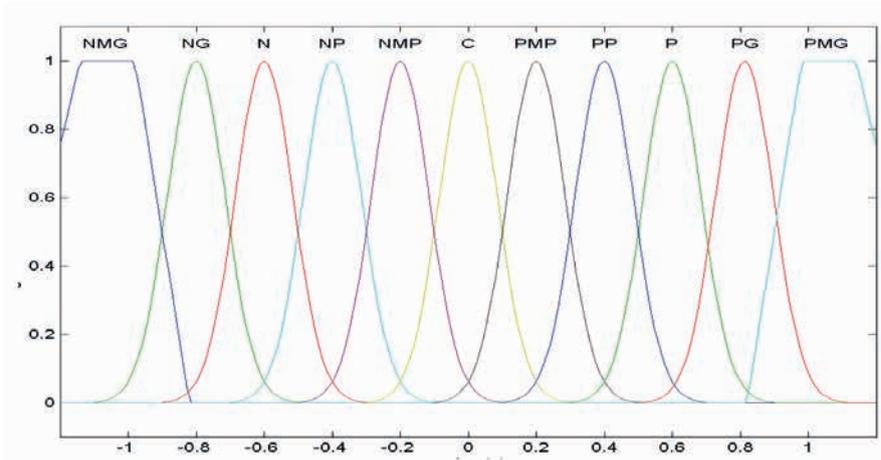
Fuente: los autores

Figura 4. Funciones de membresía para la derivada del error en Pitch



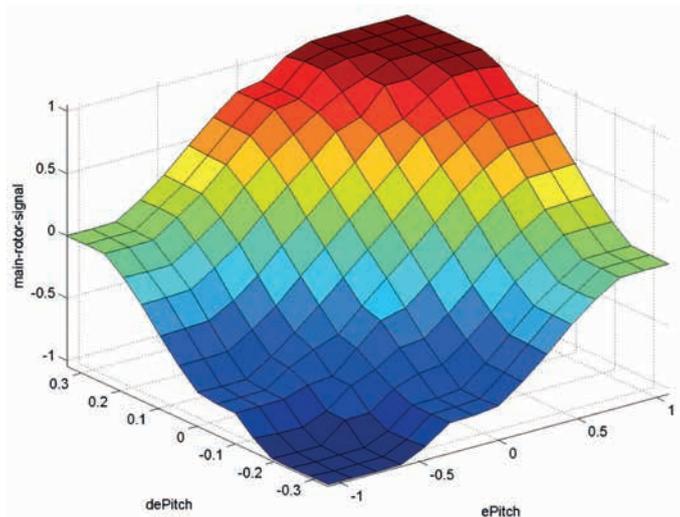
Fuente: los autores

Figura 5. Funciones de membresía para el motor en Pitch



Fuente: los autores

Figura 6. Comportamiento del controlador Fuzzy para Pitch



Fuente: los autores

Los parámetros del PID que se muestra en la ecuación (6) son obtenidos mediante la herramienta Sisotool

de Matlab con base en el modelo obtenido expresado en la ecuación (2).

$$K_p = 0.0664; K_i = 0.8; K_d = 0.0161; K_u = 0.827$$

(6)

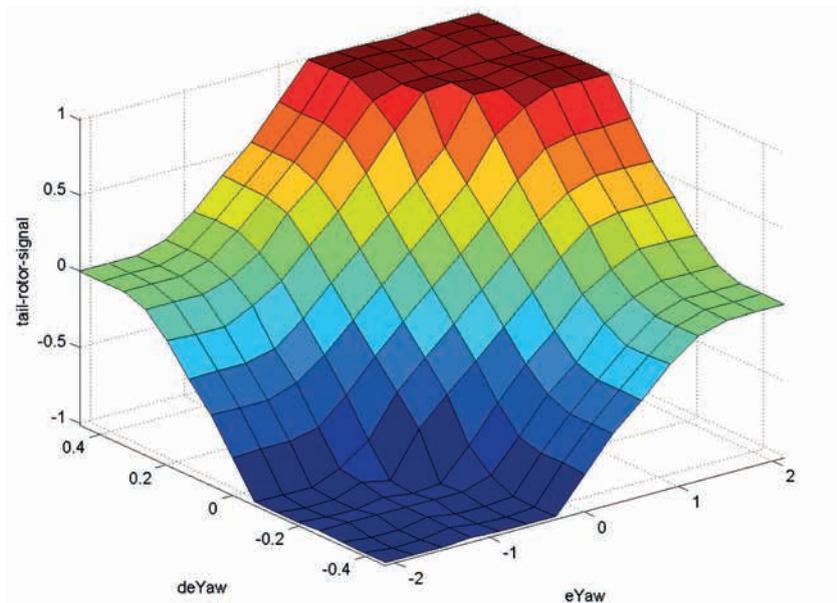
En donde K_p es la ganancia de la acción proporcional, K_i la ganancia de la acción integral y K_{de} la ganancia de la acción derivativa. Siendo K_p y K_{de} las entradas del controlador Fuzzy; K_u es una ganancia auxiliar utilizada después del control PID, diseño efectuado en referencia al expuesto por Jantzen [7].

3.3.2. Controlador para el ángulo Yaw

Las FM para este ángulo son similares a las utilizadas para el controlador

en pitch. En el caso del error en Yaw se utilizó 13 FM con un universo discurso de entre -2 y 2. Para la derivada del error se utilizó 13 FM con un rango de -0,5 a 0,5. La señal de salida tiene 15 FM y mantiene el mismo rango de universo discurso que el control Pitch. La Figura 7 muestra el comportamiento del controlador con las reglas diseñadas.

Figura 7. Comportamiento del controlador Fuzzy para Yaw



Fuente: los autores

Los parámetros del PID que se muestra en la ecuación (7) son obtenidos mediante la herramienta Sisotool

de Matlab con base en el modelo obtenido expresado en la ecuación (4).

$$K_p = 1.693; K_i = 1; K_{de} = 1.2286; K_u = 0.4 \quad (7)$$

En donde K_p , K_i , K_d y K_u son ganancias que siguen el mismo modelo que se utilizó en el anterior ángulo.

3.4. Diseño del controlador STR

Con base al modelo matemático se obtiene la linealización extendida [8], luego se reduce el orden mediante la observación de los polos dominantes y se discretiza para obtener los valores iniciales para RLS-adf. La función de transferencia de Pitch discretizada es:

$$\frac{0.2027z+0.1996}{z^2-1.048z+0.9568} \quad (8)$$

El modelado matemático no fue capaz de reproducir el sistema real con lo que se partió de la identificación experimental. La función de transferencia de Yaw discretizada es:

$$\frac{0.004489z+0.004341}{z^2-1.9z+0.9041} \quad (9)$$

El diseño de los polos para el algoritmo de asignación de polos tomando como referencia $t_s = 4,5$ como tiempo de establecimiento y $M = 0,1$ como sobreimpulso. Basándose en sus ecuaciones respectivas se obtiene:

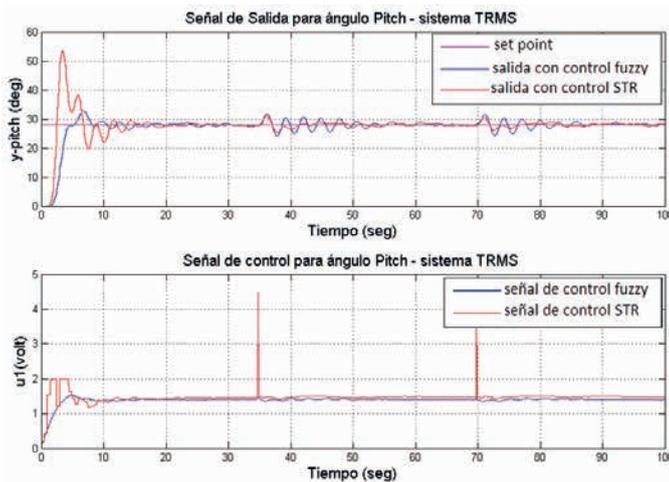
$$\xi = 0.9382; w_n = 0.9474 \quad (10)$$

3.5. Evaluación de controladores

Para comparar la eficiencia de los algoritmos de control propuestos se procedió a realizar pruebas con perturbaciones cada 35 segundos en un tiempo de simulación de cien segundos. La prueba es realizada en ambos ejes.

Se muestran las gráficas obtenidas del ángulo Pitch en la Figura 8. Estas muestran un tiempo de establecimiento de 14 s para el controlador STR y 13 para el control Fuzzy, el sobreimpulso es del 89% para el controlador STR y 14% para el control Fuzzy.

Figura 8. Respuesta con perturbaciones del ángulo Pitch con la señal de control

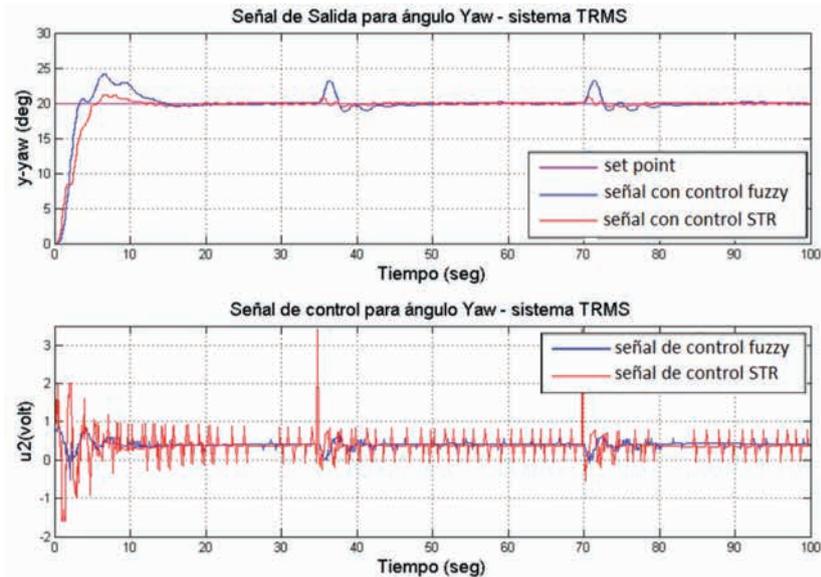


Fuente: los autores

Se muestran las gráficas obtenidas del ángulo Yaw en la Figura 9. El tiempo de establecimiento para STR es de

8 s y para Fuzzy es de 12 s, mientras que el sobreimpulso es de 10% para el STR y 22% para el control Fuzzy.

Figura 9. Respuesta con perturbaciones del ángulo Yaw con la señal de control



Fuente: los autores

La Tabla 1 muestra los valores utilizados de tensión por los controladores.

Tabla 1. Promedio de voltaje de los controladores con perturbación

Ángulo	Voltaje empleado	
	Fuzzy PD+I	PID STR
Pitch	1,3876a	1,4661
Yaw	0,4173	0,3759

Fuente: los autores

4. Discusión

Este artículo expone las FM de los reguladores difusos con funciones gaussianas. Al comparar el sistema

difuso con el sistema STR, el sistema difuso no mantiene la estabilidad de su señal de referencia respecto al adapta-

tivo, tal como se observa en la Figura 7 y en la Figura 8. Dado la referencia y al aplicar perturbaciones el sistema STR es mejor que el Fuzzy.

Se puede apreciar que el controlador STR tiene una demanda mayor de

tensión con respecto al regulador difuso, esta podría ser un factor probable para descartar a este regulador, pero en la Tabla 1 se denota una escasa diferencia de voltaje entre ambos, por lo cual, a pesar de esta variación, el STR se considera mejor que el Fuzzy.

5. Conclusiones

El proyecto muestra como el módulo TRMS responde a los controladores propuestos en el que el regulador STR supo responder de mejor manera las perturbaciones y obtiene un mejor tiempo de establecimiento por lo que

resulta más eficaz en este sistema. Esto beneficia a la comunidad científica y las empresas ya que la investigación contribuye con una propuesta de alternativa sustentable a los controladores existentes.

6. Referencias

- [1] Feedback Instruments, Twin Rotor MIMO System Control Experiments 33-949S, Crowborough, Feedback Instruments Ltd., 2006.
- [2] R. Cajo, Evaluación de los algoritmos de control PID lineal y no lineal, aplicados al sistema MIMO de doble rotor tipo helicóptero, Guayaquil, ESPOL, 2015.
- [3] P. Ponce, Inteligencia artificial con aplicaciones a la ingeniería, México, Alfa-Omega Grupo Editor, 2010.
- [4] V. Bobál, J. Böhm, J. Fessl y J. Macháček, Digital Self-tuning Controllers Algorithms, Implementation and Applications, London, Springer, 2005.
- [5] M. Tajjudin, N. Ishak, M. H. Rahiman, N. Arshad, R. Adnan y H. Ismail, "Steam temperature regulation with self-tuning PID based on pole-assignment method", *VIII International Colloquium on Signal Processing and its Applications*, pp. 174-177, 2012.
- [6] B. Pratap y S. Purwar, "Sliding mode state observer for 2-DOF twin rotor MIMO system," *International Conference on Power, Control and Embedded Systems*, 2010.
- [7] D. Landau y G. Zito, Digital Control Systems Design, London, Springer, 2006.
- [8] J. Jantzen, "Tuning Of Fuzzy PID Controllers", *Lyngby*, 1998.
- [9] H. Sira, Control de sistemas no lineales: linealización aproximada, extendida, exacta, Madrid, Prentice Hall, 2005.
- [10] R. J. y N. A. Richard Chase, Administración de operaciones: producción y cadena de suministros, McGraw-Hill, 2009.
- [11] L. R. y M. M. Lee Krajewski, Administración de operaciones: procesos y cadena de valor, México, Pearson Education, 2008.

Orientation of 3D printing fibers with robotic platform

Orientación de las fibras de impresión 3D mediante una plataforma robotizada¹

H. Lasluisa,² F. Acuña³

Abstract: *this research explores an innovative method of additive manufacturing (orientation of printing fibers according to the part profile) the objective is optimize the mechanical characteristics of the created objects, for it we have studied the operating principles and parameters that govern the 3D printing technology of two materials specific: ABS and PLA. The hardware used consists of an assembly of the industrial robotic arm Kuka KR16 with a conventional system of thermoplastic extrusion, getting a robotic structure that executes the movements in X, Y and Z axis for the deposition of molten material. This system is composed by some parts: mechanical components, electronic components and programming software, each with its own particularities and characteristics that are linked to form a new printing platform. The products manufactured for this system have been subject to tensile tests and by the stress strain curves resulting it is possible the quantification of the new mechanical characteristics obtained.*

Keywords: *3D printing, robotic arm, thermoplastic.*

Resumen: esta investigación explora un método de manufactura aditiva innovador (orientación de las fibras de impresión de acuerdo al perfil de pieza), el propósito es optimizar las características mecánicas de los productos obtenidos, para lo cual se han estudiado los principios de funcionamiento y parámetros que rigen la impresión 3D de dos materiales termoplásticos específicos, el ABS y el PLA. El hardware empleado consiste en un acoplamiento de un brazo robótico industrial Kuka KR16 con un sistema de extrusión de termoplástico convencional, obteniendo así una estructura robotizada que ejecuta los movimientos en los ejes X, Y, Z para la deposición de material fundido. Este sistema está estructurado por varios componentes: de tipo mecánico, electrónico y software de programación, cada uno con sus particularidades y características propias, las cuales se integran para obtener una nueva plataforma de impresión. Los productos manufacturados con este sistema han sido sometidos a ensayos de tracción y gracias a las curvas de esfuerzo y deformación resultantes, es posible cuantificar las nuevas características mecánicas obtenidas.

Palabras clave: impresión 3D, brazo robótico, termoplástico.

1 El presente trabajo de investigación fue desarrollado gracias al apoyo de la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), a la cual extendemos nuestra gratitud por la facilidad para la utilización de los laboratorios en su sede de la ciudad de Latacunga.

2 Héctor Geovanny Lasluisa Naranjo, magíster en Manufactura y Diseño Asistidos por Computador, ingeniero electrónico en Control y Automatización, Ecuador (hglasluisan@ejercito.mil.ec).

3 Fausto Vinicio Acuña Coello, magíster en Gestión de Energías, ingeniero en Electromecánica, docente de la ESPE, Ecuador (fvacunia@espe.edu.ec).

1. Introducción

En los últimos años la impresión 3D se ha venido abriendo paso para ofrecer soluciones prácticas en la creación de objetos de múltiples formas, y en la actualidad ya es empleada en varios campos de la industria. Sin embargo, las impresoras 3D convencionales no admiten variar la orientación de las fibras de impresión, ya que únicamente permiten trayectorias lineales, lo cual da como resultado una baja resistencia mecánica del material ante determinados esfuerzos [1].

La importancia de esta investigación radica en que orientando las fibras de impresión 3D se lograría optimizar ciertas propiedades mecánicas [2], produciendo objetos con mejores características como: mayor resistencia a esfuerzos de tracción, compresión, a impactos, con mayor durabilidad y menor peso.

Las limitaciones existentes son en el campo del hardware (estructura con movimientos de solo 2,5 grados de libertad) y de software (inexistencia de un pos-procesador comercial que realice un rebanado curvo) [3].

Para el caso del hardware es necesario incrementar los grados de libertad en el movimiento del sistema de deposición de material, lo cual se solucionará con el empleo del brazo robótico Kuka KR16 que tiene 6 grados de libertad. El desarrollo de un pos-procesador para el rebanado curvo es una gran limitante, por lo que se utilizarán

alternativas que generen trayectorias no lineales.

La impresión 3D mediante robots tiene un inicio reciente a principios de la presente década y está todavía en desarrollo, el único proyecto relacionado y tangible es el patentado por los laboratorios Arevo Labs de Silicon Valley denominado RAMP Robot Based Additive Manufacturing Platform, el cual emplea un robot ABB IRB120 y un pos-procesador de su propia autoría para el rebanado curvo [4].

Debido a la complejidad para el desarrollo de este pos-procesador varias empresas emplean un software que genera trayectorias libres utilizables solo para los contornos, por lo que pueden crear únicamente objetos con el centro hueco. Es así como las empresas 3D Robotprinting y Dirk Vander Kooij producen mesas, sillas y objetos decorativos de uso doméstico [5]. En aplicaciones arquitectónicas el IAAC, la Universidad de Tsinghua, Branch Technology, Gramazio & Kohler, AI-Build, MX3D y Apis Cor, crean contornos con impresión 3D robotizada en el área de la construcción [6].

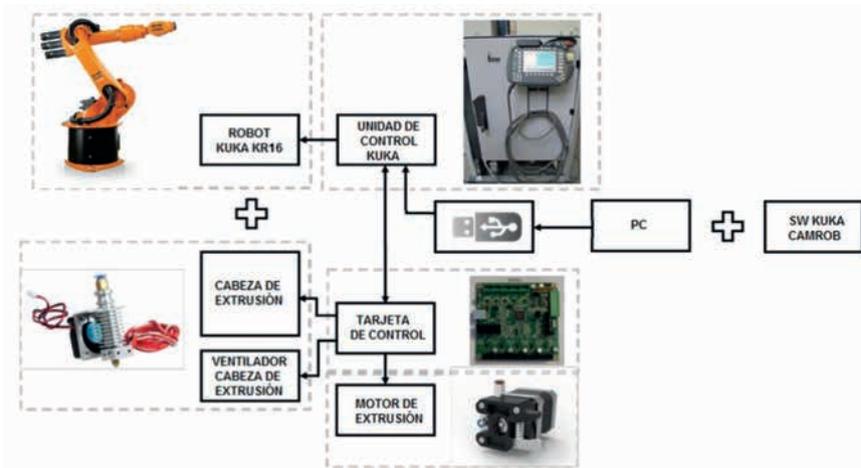
Por lo tanto, este trabajo de investigación tiene como objetivo crear objetos sólidos con impresión 3D curva empleando un brazo robótico Kuka y mediante ensayos de tracción comparar sus características mecánicas frente a objetos sólidos creados mediante la impresión 3D convencional.

2. Métodos

Para el funcionamiento del sistema robotizado de impresión 3D se debe establecer la comunicación y maniobra del efector final (extrusor

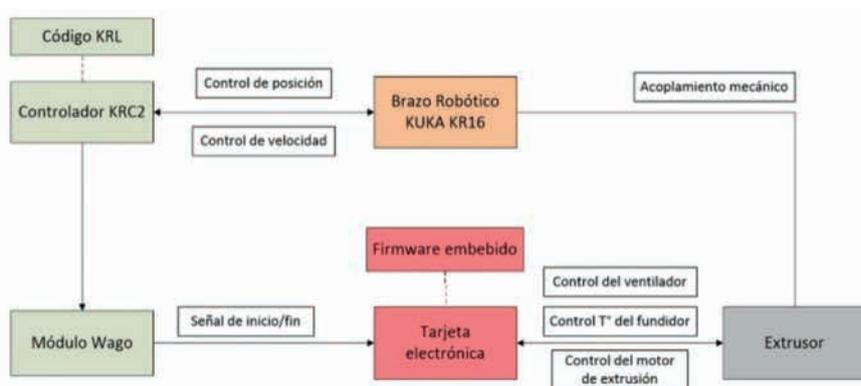
de termoplástico) desde el controlador KRC2 mediante acoplamientos mecánicos y componentes electrónicos.

Figura 1. Diagrama de bloques de la integración robot-extrusor



Fuente: los autores adaptado de [7]

Figura 2. Diseño del sistema de prototipado rápido con el robot Kuka



Fuente: los autores adaptado de [8]

Los materiales más empleados en impresión 3D y que fueron utilizados

en la presente investigación son el ABS y PLA.

Tabla 1. Principales características del ABS y PLA

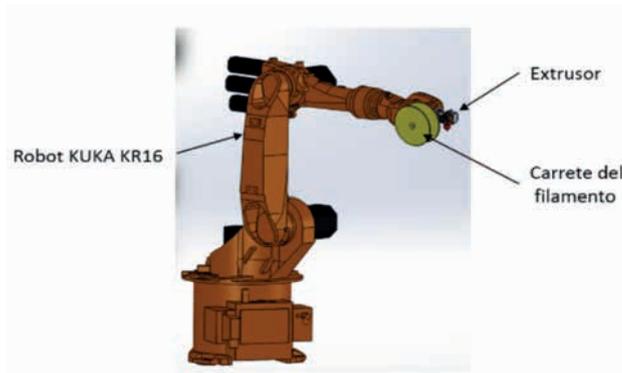
Característica	ABS	PLA
Diámetro del filamento comercial	1,75-3 mm	1,75-3 mm
Temperatura de extrusión	200° C-240° C	180° C-200° C
Temperaturas de trabajo	Melt (177-274)° C, Nozzle (215-274)° C, Die (200-250)° C	Melt (45-120)° C, Nozzle (171-220)° C, Die 190° C
Velocidad de fundido	1,0-36 g/10 min	6,0-7,8 g/10 min
Velocidad de impresión	50 mm/s	20-60 mm/s
Velocidad de la primera capa	20 mm/s	20 mm/s
Altura de la primera capa	> 0,2 mm	0,3 mm
Requiere cama caliente	80° C-110° C	20° C-60° C

Fuente: los autores adaptado de [9]

El robot industrial empleado es el robot Kuka KR-16 de 6 grados de libertad, con una carga útil nominal de 16 kg, tiene un alcance de 1 610 mm y combina una velocidad máxima de 2 100 mm/s con una repetibilidad de $\pm 0,05$ mm; dispone del controlador KRC2 habilitado con salidas digitales mediante un módulo WAGO [10].

2.1. Integración de los componentes

Las partes del sistema deben acoplarse de tal forma que permitan el libre movimiento del robot, la configuración de la Figura 3, integra los elementos principales de una manera sencilla y funcional.

Figura 3. Diseño de los componentes mecánicos

Fuente: los autores adaptado de [11]

El sistema de extrusión empleado es el Sintron 3D Printer Prusa i3, que está compuesto por los siguientes elementos:

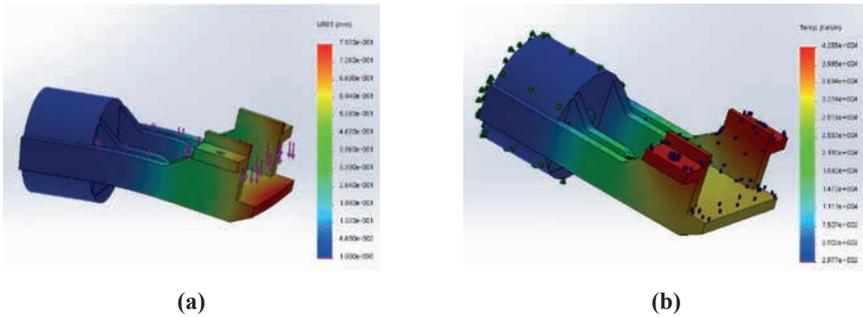
- Boquilla de extrusión Reprap MK8 (0,4 mm-0,6 mm)
- Calefactor de tipo alambre de cromo-níquel

- Termistor 100 K NTC
- Unidad de arrastre Greeetech MK8
- Motor a pasos nema 17
- Tarjeta electrónica Arduino Mega 2560
- Tarjeta electrónica Ramps 1.4
- Driver Pololu A4988
- Cama caliente MK2B [12]

Para acoplar el sistema de extrusión al brazo robótico se emplea una estructura fabricada en polímero me-

dante impresión 3D por su rápida manufactura y bajo nivel de propagación térmica. Durante el diseño CAD del soporte se realizó la simulación de esfuerzos, obteniendo un desplazamiento máximo de 0,0079 m ante una fuerza de 100 kg/mm², y en el análisis térmico, a una temperatura de 80° C no existe mayor propagación de calor, logrando un factor de seguridad de 3 (Figura 4).

Figura 4. Simulación de esfuerzos (a); simulación térmica (b)

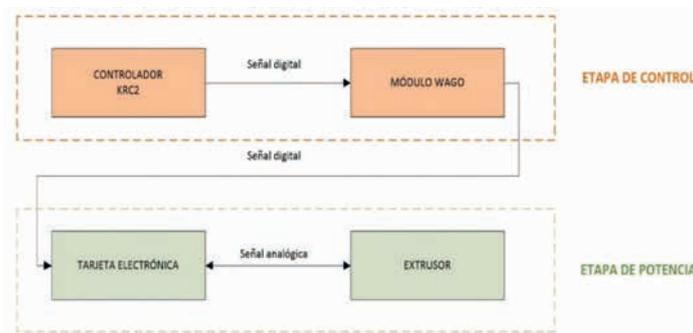


Fuente: los autores

Los componentes electrónicos permitirán comunicar los diferentes elementos con el controlador del robot,

en donde se ejecutarán las etapas de control y potencia (Figura 5).

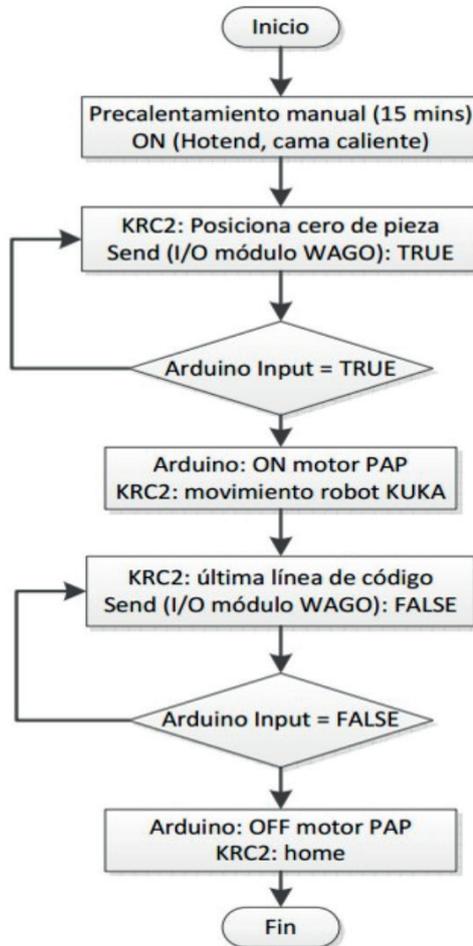
Figura 5. Etapas de los circuitos electrónicos



Fuente: los autores

A continuación, se estructura el funcionamiento del sistema mediante la programación en lenguaje KRL (Kuka Robot Language) [13] y Arduino [14] (Figura 6).

Figura 6. Algoritmo para el sistema de prototipado rápido con el robot Kuka



Fuente: los autores

Para programar en el lenguaje KRL es necesario contar con un software de pos-procesado que cumpla con dos funciones específicas: realizar el rebanado curvo del sólido y convertir las trayectorias a código

KRL. Al no existir un software comercial con estas características, se realiza una evaluación y selección del software más idóneo, que cumpla con los requerimientos del prototipado rápido robotizado (Tabla 2).

Tabla 2. Selección del software de pos-procesado

Requerimiento	Robotmaster	Kuka/prc	HAL
Rebanado curvo	No	No	No
Generación de trayectorias libres	Sí	Sí	Sí
Importación de códigos G	Sí	Sí	No
Generación de lenguaje KRL	Sí	Sí	No
Soporte para robots Kuka	Sí	Sí	No
Tipo de programación	CAD/CAM	Paramétrica CAD	Paramétrica CAD
Aplicaciones extra	No	Sí	Sí
Precio (USD)	4 500,00	432,00	459,00

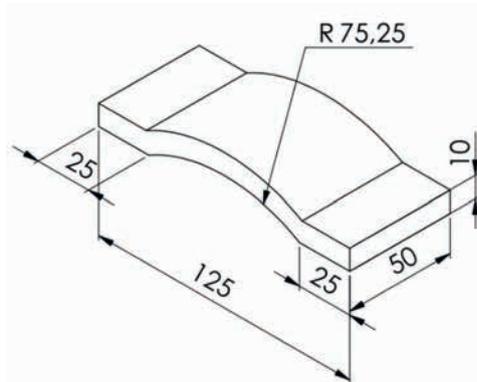
Fuente: los autores

Se determina que la opción más viable es el software Kuka/prc por cumplir con la mayor cantidad de requerimientos y por su bajo costo.

El Kuka/prc es un componente agregado al *plug-in* Grasshooper [15] de Rhinoceros, que proporciona el control paramétrico para robots Kuka. Es un lenguaje de programación visual basado en el modelado de algoritmos que no requiere de amplios conocimientos de programación o secuencias de comandos, pero permite la construcción de generadores de código, de

forma que dan lugar a múltiples posibilidades de aplicación [16].

Para iniciar con la programación y dirigir nuestros esfuerzos hacia un objetivo en particular, es necesario determinar el sólido a ser manufacturado mediante la impresión 3D curva con el robot Kuka, y al no existir una normativa establecida para este propósito se ha tomado como referencia los trabajos de investigación de los autores Huang [8] y Singamneni [17], para seleccionar al sólido de la Figura 7, el mismo que es un modelo optimizado para ejecutar pruebas con la técnica de impresión 3D curva.

Figura 7. Probeta seleccionada para la impresión curva

Fuente: los autores

Para el pos-procesado se emplearán las trayectorias en zigzag por ser la estrategia más sencilla de ejecutar, además, el acabado superficial debe ser de nivel medio, con un ancho de capa de 0,5 mm, para el soporte y 0,3 mm para el sólido.

Los objetos manufacturados serán sometidos a ensayos de tensión

mediante la máquina Metrotec serie MTE50, aplicando la norma ASTM D638 (norma para materiales poliméricos obtenidos por manufactura aditiva) [18]. Y empleando la ecuación (1) es posible cuantificar y comparar los valores obtenidos en los ensayos [19].

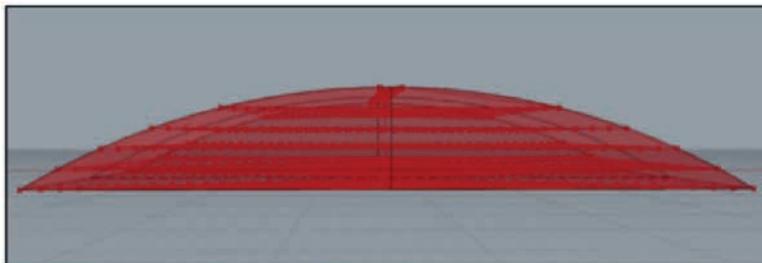
$$\text{Diferencia porcentual}(\%) = \frac{\text{Valor mayor} - \text{valor menor}}{\text{valor menor}} * 100 \quad (1)$$

3. Resultados

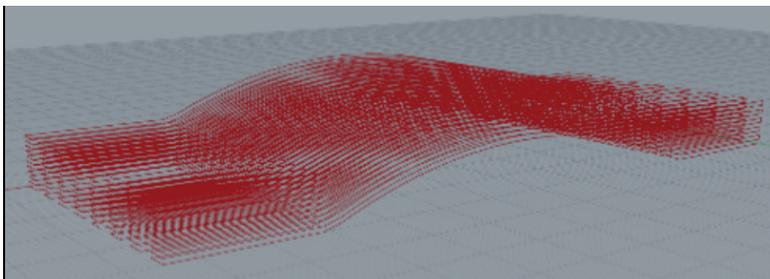
Mediante el software Kuka/prc se obtuvieron las trayectorias indicadas

en la Figura 8, que constan de dos partes: base o soporte y probeta.

Figura 8. Trayectorias obtenidas mediante la programación paramétrica: base (a) y probeta (b)



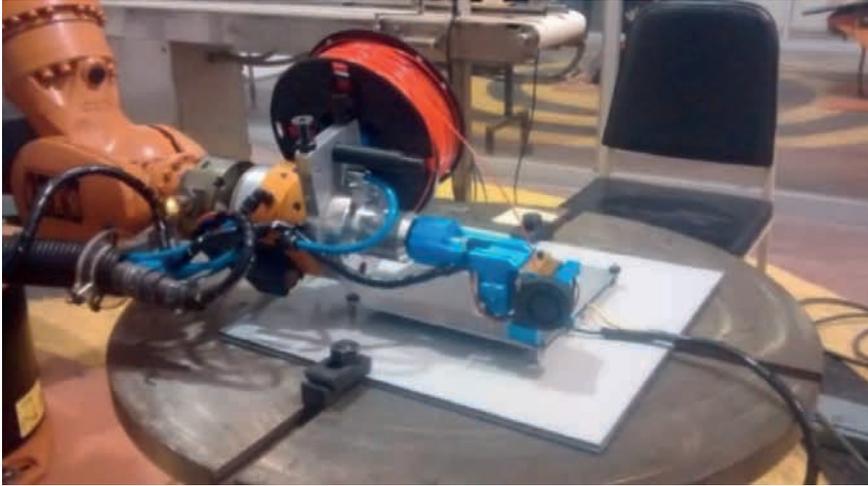
(a)



(b)

Tras la integración de los componentes mecánicos y electrónicos, la materialización del proyecto se puede visualizar en la Figura 9.

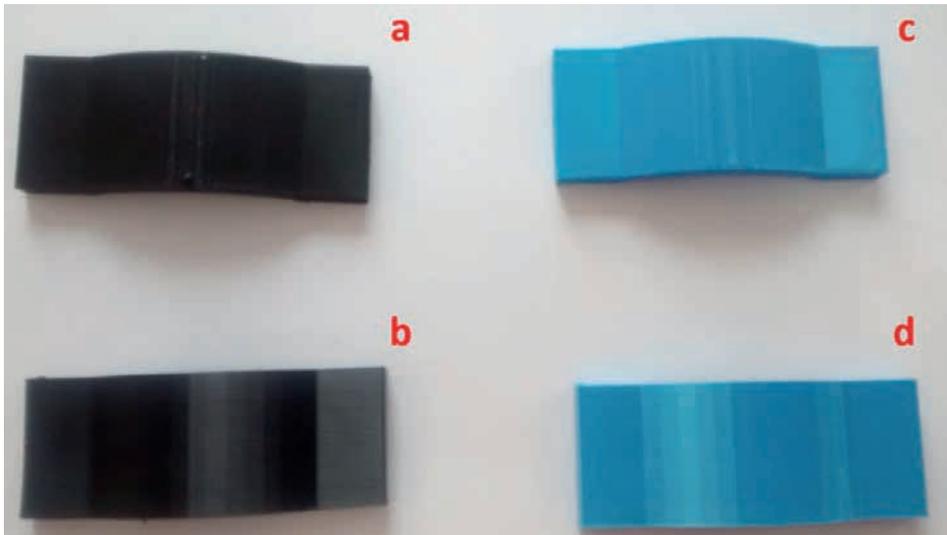
Figura 9. Sistema de impresión 3D adaptado al robot Kuka KR16



Fuente: los autores

Como producto final se logró obtener cuatro modelos de probetas con fibras de impresión plana y curva en material ABS y PLA (Figura 10).

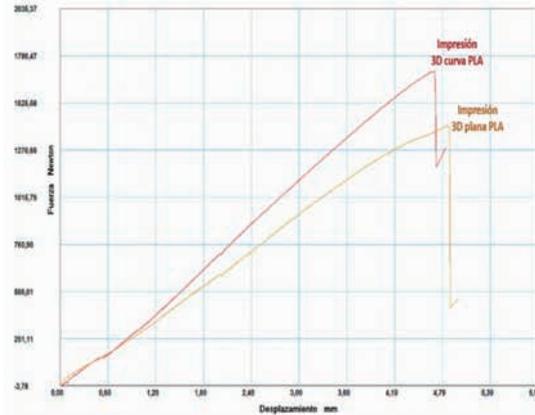
Figura 10. PLA plano (a); PLA curvo (b); ABS plano (c); ABS curvo (d)



Fuente: los autores

Tras los ensayos de tracción se obtuvieron las siguientes curvas de esfuerzo deformación (figuras 11 y 12):

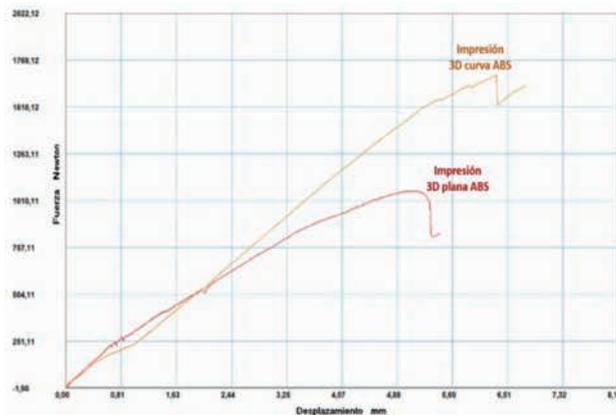
Figura 11. Curvas de esfuerzo deformación de las probetas de PLA



Fuente: los autores

Como se puede observar en la Figura 11, la probeta de impresión 3D curva en PLA presenta una mayor resistencia a la tracción ($F_{\text{máx.}}$) respecto a la probeta de impresión 3D plana en PLA: $1696,14 \text{ N} > 1401,09 \text{ N}$.

Figura 12. Curvas de esfuerzo deformación de las probetas de ABS



Fuente: los autores

De forma similar, en la Figura 12 se muestra una mayor resistencia a la tracción ($F_{\text{máx.}}$) de la probeta de impresión 3D curva en ABS frente a la probeta de impresión 3D plana en ABS: $1685,10 \text{ N} > 1061,86 \text{ N}$.

4. Discusión

Con los valores obtenidos en los ensayos de tracción y aplicando la ecuación (1), se calcula la diferencia porcentual entre las fuerzas máximas soportables ($F_{\text{máx.}}$ [Newton]) de los sólidos con impresión curva y plana. Por lo tanto:

$$\text{Diferencia porcentual}(\%) = \frac{F_{\text{max}}(\text{curva}) - F_{\text{max}}(\text{plana})}{F_{\text{max}}(\text{plana})} * 100$$

$$\text{Diferencia porcentual PLA} = \frac{1696,14 - 1401,09}{1401,09} * 100$$

$$\text{Diferencia porcentual PLA} = \mathbf{21,05\%}$$

$$\text{Diferencia porcentual ABS} = \frac{1685,10 - 1061,86}{1061,86} * 100$$

$$\text{Diferencia porcentual ABS} = \mathbf{58,69\%}$$

Con estos resultados se puede determinar que los sólidos en PLA y ABS con impresión curva presentan un 21,05% y 58,69% mayor resistencia mecánica al esfuerzo de tensión respecto a los objetos con capas planas, respectivamente.

La investigación académica de Zhang [2], relacionada con el presente trabajo, muestra una correcta integración de los componentes y un funcionamiento adecuado, sin embargo, no se cuantifican los resultados obtenidos, por lo que no es posible realizar una comparación de resultados.

Los trabajos de desarrollo del pos-procesador para laminado curvo

por Huang [3], se centran en el software y persiguen objetivos distintos como son analizar el comportamiento al variar el grosor de las capas de impresión.

Por lo tanto, al no existir antecedentes de trabajos similares se puede afirmar que el presente estudio constituye como una referencia inicial para la investigación dentro de la temática de la manufactura aditiva y optimización de las propiedades mecánicas de sus productos. Y para lograr avances significativos en este campo se requiere del desarrollo de un software de pos-procesado para el laminado curvo compatible con estructuras antropomórficas.

5. Conclusiones

- La investigación de la impresión 3D de piezas con orientación de fibras según su perfil mediante el robot Kuka KR16, evidenció que es un proyecto viable, pero que se trata de un tema todavía en desa-

- rollo y con limitada información; las opciones de hardware y software que fueron seleccionadas son las más adecuadas en la actualidad.
- Las características mecánicas de los materiales ABS y PLA, que definen los parámetros requeridos para la manufactura aditiva son: temperatura de fundición, velocidad de deposición y altura de capa.
 - El Kuka KR16 es un robot de alta precisión (repetibilidad de 0,05 mm y velocidad máxima de 2100 mm/s), por lo que es perfectamente adaptable a los parámetros de impresión 3D convencionales.
 - Se realizó la integración de un sistema de impresión 3D comercial al brazo robótico Kuka KR16 empleando adaptaciones mecánicas, electrónica comercial, software de código abierto y programación paramétrica.
 - Al ejecutar los ensayos mecánicos de tensión se pudo comprobar que los objetos manufacturados con impresión de acuerdo al perfil de la pieza (impresión curva) tanto en ABS como en PLA presentan una mejor resistencia final a los esfuerzos aplicados, por lo que queda comprobada la ventaja de esta estrategia de manufactura frente a la tradicional (impresión plana).

6. Referencias

- [1] J. Braumann, *Robotic fabrication in architecture, art, and design*, Viena, Robots in architecture, 2013.
- [2] G. Zhang, *Robotic additive manufacturing along curved Surface- a step towards free-form fabrication*, China, 2015.
- [3] B. Huang, *Alternate slicing and deposition strategies for fused deposition modelling*, Nueva Zelanda, Auckland University of Technology, 2014.
- [4] W. Mondesir, *Patente US20180236729A1*, Santa Clara, EUA, Patent and Trademark Office, 2018.
- [5] “3D-robot printing: groot, groter, groots”, *Kunststof Magazine*, n° 9, pp. 20-21, 2014.
- [6] M. Ashok, “Building the future today”, *Alive Magazine*, n° 7, p. 83, 2017.
- [7] I. Ishak, *Robot arm platform for rapid prototyping: concept*, EUA, Florida Institute of Technology, 2014.
- [8] P. Ascoli, *Carbon Fiber 3D Printing*. Recuperado de <https://bit.ly/2YyLu8A/>
- [9] J. Brock, *Fused deposition modeling (FDM) material properties characterization*, EUA, Spring Semester, 2000.
- [10] V. Gallo, “Diseño e implementación de una celda de manufactura con brazo robótico centralizado y control de calidad con visión artificial en el laboratorio de robótica industrial de la ESPE-L” (Tesis de pregrado), ESPE-Latacunga, Ecuador, 2013.
- [11] S. Torres, “Desarrollo de un sistema de modelado por deposición fundida adaptado a un brazo robótico de 5 grados de libertad” (Tesis de posgrado), Universidad Politécnica de Valencia, España, 2015.
- [12] Prusa Research, *3D Printing Handbook*, Praga, República Checa, Prusa Research SRO, 2015.
- [13] “Kuka sistemas de automatización”, *Programación avanzada para software Kuka V5.X*, Alemania, Kuka Roboter, 2006.
- [14] R. Enríquez, *Guía de usuario de Arduino*, España, Universidad de Córdoba, 2009.

- [15] A. Payne, Manual de grasshopper en español, Rajaa I. Rhino 3D, 2009.
- [16] J. Braumann, Parametric robot control, integrated CAD/CAM for architectural design, Austria, Vienna University of Technology, 2011.
- [17] S. Singamneni, Modeling and evaluation of curved layer fused deposition, Nueva Zelanda, Auckland University of Technology, 2012.
- [18] A. Forster, Materials testing standards for additive manufacturing of polymer materials, EUA, NIST, 2015.
- [19] W. Riley, Ingeniería mecánica estática, España, Editorial Riverté, 2004.
- [20] M. Swanson, 3D Printing Robotic Arm, EUA, Worcester Polytechnic Institute, 2016.

Implementation of a temperature mapping in a hexapod robot for exploration

Implementación de un mapeo de temperatura en un robot hexápodo para exploración

M. Alvarado,¹ E. Velarde,² O. Barcia³

Abstract: *the development of research in the field of robotics have allowed to achieve significant advances in the development of methods that allow the acquisition of data for the sensing of different variables in the exploration environment by robots. The acquisition of data made offline facilitates the use of information without the need to use any wireless network. The explorer robot for test reasons of the data acquisition system is operated in a teleoperated manner, which allows to delimit the area of the land where the system will be put to test, thus being able to control various scenarios such as the type of soil and the temperature which the robot will be subjected to. For the sampling, artificial temperature sources are considered and a pre-established route for the delimitation of the physical space is defined. The acquisition and graphing of the values acquired during the exploration will be stored in a CVS file configured with the Python programming language on a Raspberry Pi model B card. With this article, the efficiency of using CVS files for the storage of acquired data was verified without the need for a permanent network connection and to present a satisfactory sampling of the temperature and humidity points in the positions covered by the robot.*

Keywords: *temperature, humidity, position, sampling, hexapod robot.*

Resumen: el desarrollo de investigaciones en el campo de la robótica ha permitido lograr avances significativos en el desarrollo de métodos que permitan la adquisición de datos para sensar diferentes variables en el entorno de exploración por parte de los robots. La adquisición de datos realizada de manera offline facilita la utilización de la información sin la necesidad de usar alguna red inalámbrica. El robot explorador por motivos de prueba del sistema de adquisición de datos se maneja de manera teleoperada, lo cual permite delimitar el área del terreno donde se realizará la puesta a prueba del sistema pudiendo así controlar diversos escenarios como el tipo de suelo y la temperatura a la que estará sometido el robot. Para el muestreo se consideran fuentes de temperatura artificiales y se define una ruta preestablecida para la delimitación del espacio físico. La adquisición y grafica de los valores recopilados durante la exploración se almacenaron en un archivo CVS configurado con el lenguaje de programación Python en una tarjeta Raspberry Pi modelo B. Con este artículo se comprobó la eficiencia del uso de archivos CVS para el almacenamiento de datos adquiridos sin la necesidad de una conexión de red establecida y presentando un muestreo satisfactorio de los puntos de temperatura y humedad en las posiciones recorridas por el robot.

Palabras clave: temperatura, humedad, posición, muestreo, robot hexápodo.

1 María Cristina Alvarado Torres, egresada de la Carrera de Ingeniería Electrónica y Automatización de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (malvaradot@est.ups.edu.ec).

2 Esteban Eduardo Velarde Garcés, egresado de la Carrera de Ingeniería Electrónica y Automatización de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (evelarde@est.ups.edu.ec).

3 Orlando Giovanni Barcia Ayala, máster en Ingeniería de Sistemas y de Control, ingeniero en Computación, docente de la Carrera de Ingeniería Electrónica y Automatización de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (obarcia@ups.edu.ec).

1. Introducción

La exploración de entornos ha sido una actividad desarrollada por el ser humano desde que empezó su vida, por lo cual busca el conocimiento absoluto de su entorno, incluso si son lugares de difícil acceso. Ahora la robótica permite alcanzar ese objetivo a niveles tan avanzados que tenemos la posibilidad de conocer incluso la superficie de otros planetas [1]. Estos agentes inteligentes están equipados con una amplia gama de sensores que permite la interacción con el entorno [2]. Existen diferentes métodos para obtener la información que se recoge por medio de los sensores, en especial los de medición inercial, temperatura, humedad, distancia, etc. Esta aplicación en particular tiene un grado de importancia mayor ya que se puede obtener la información de lugares donde el hombre no puede llegar e incluso puede ser usada para ayudar a la búsqueda de víctimas en casos de rescate ante desastres naturales [3].

Con las investigaciones y aplicaciones de monitoreo del entorno usando diferentes sensores y plataformas de comunicación inalámbrica en diversos tipos de robots, se ha logrado el muestreo de diversos elementos como temperatura, humedad, distancia, posición, etc. durante un intervalo de tiempo. Existen aplicaciones en las cuales es muy necesario el uso de tecnologías inalámbricas para realizar un monitoreo simultáneo a la exploración, obteniendo información con lo cual se

realizan gráficas de temperatura con respecto al tiempo [4], en otros casos se puede incluso realizar un mapa superpuesto con colores que indiquen los distintos niveles de temperatura en el área explorada [5].

A pesar de lo útil que resulta la utilización de comunicación inalámbrica para adquirir información en tiempo real, es también importante considerar que en ciertas circunstancias el sistema de monitoreo puede fallar, haciendo que sea necesaria la adquisición de datos por medio de un almacenamiento. Para este propósito hay dos posibles soluciones: la primera es el uso de una base de datos que permita almacenar la información durante el recorrido del robot, pero esta requiere de un dispositivo que se utilice como servidor con grandes prestaciones, consume mayor cantidad de memoria y de procesamiento interno, lo cual limita el dispositivo para otras funcionalidades. La segunda solución, la cual es propuesta en este artículo, es almacenar los datos extraídos del entorno por medio de los sensores de temperatura y posición, con lo cual se utiliza como adquisición de datos *off-line*. De esta manera, se puede extraer la información de manera remota una vez que el robot disponga de una conexión de red confiable. El sistema realiza la gráfica de temperatura/posición en 2D, que permite analizar mejor los resultados de la exploración. Esta última propuesta es poco implementada en estos sistemas, motivo por el cual

se comprueba la eficiencia de la adquisición de datos ante estos parámetros.

Es importante resaltar que para realizar una exploración con éxito se debe contar con un robot cuya estructura tenga un cierto grado de robustez, de acuerdo con el tipo de terreno en el que va a estar, así como un sistema que tenga espacio de memoria suficiente para el almacenamiento de datos. Por esa razón, el propósito de este análisis

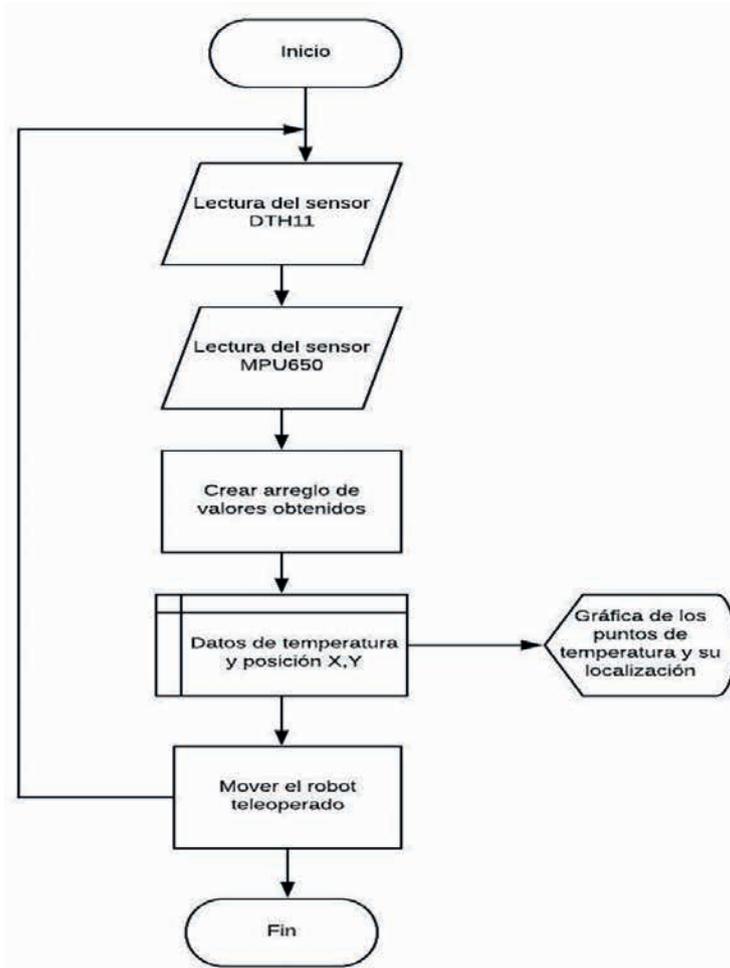
es establecer una posible solución a la problemática de explorar zonas de difícil acceso de manera remota, por medio del uso del sistema de almacenamiento de datos de temperatura y posición aplicado en un robot hexápodo, comparando en la aplicación de este método la confiabilidad de las mediciones mostradas usando el módulo DHT-11, que obtiene datos del entorno de temperatura y humedad.

2. Métodos

Los sistemas de adquisición de datos obtenidos del entorno por robots de exploración representan a una de las aplicaciones más necesarias para realizar muestreos en diversos campos de estudio. Los trabajos relacionados a este tipo de aplicación se enfocan en la comunicación con la cual realizar las visualizaciones de los datos en tiempo real, los mismos que se muestran en relación con el tiempo de muestreo. Sin embargo, hay otras aplicaciones en las cuales utilizan filtros probabilísticos para determinar las posiciones aproximadas de donde se tomaron las muestras de temperatura colocadas en un mapa del lugar de exploración. Por medio de este trabajo se realiza una investigación experimental, con la cual se analizará esta metodología de adquisición de datos *off-line* de sensores y representación gráfica de la localización de los puntos de muestreo, por medio de un sensor de temperatura y humedad DHT-11 con una tarjeta de procesamiento Raspberry Pi 3.

Para escoger correctamente la población a la cual se realiza el muestreo, debe considerarse como condición primordial los valores mínimos y máximos de temperatura a la que pueden estar expuestos los materiales del robot hexápodo. La estructura del mismo está compuesta por un material copolímero llamado ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno), el cual soporta temperaturas entre -20°C y 70°C [6]. De la misma manera, los rangos de temperatura soportados por los servomotores y demás componentes electrónicos oscilan en valores similares a los mencionados. Debido a la dificultad que representa el aumento de temperatura ambiental para el robot, se ha delimitado su uso a guardar valores de temperatura desde -10°C a 55°C . El proceso a seguir para definir la estrategia usada para el objetivo de este artículo se muestra en la siguiente figura:

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de adquisición de datos



Fuente: los autores

La etapa de muestreo de este sistema se implementó en un salón de la Universidad Politécnica Salesiana, cuya superficie de terreno es plana con una temperatura ambiental aproximada de 29° C, considerando que las pruebas se realizan durante el mes de noviembre de 2018, basándose en una extensión de espacio físico para el recorrido del robot explorador de 2 m².

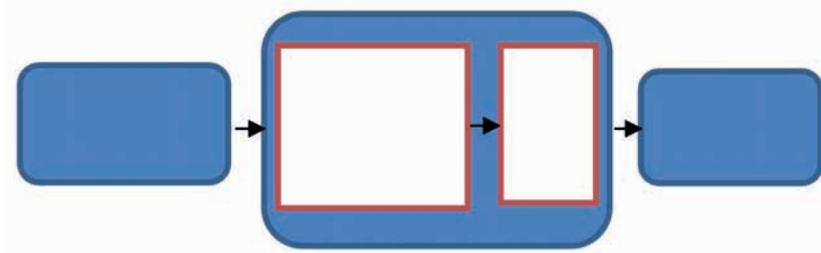
Las consideraciones de la lectura correcta del sensor de temperatura DHT-11 dependen totalmente de las variables que se usan para el cálculo. Para describir este proceso matemático se debe conocer el tipo de componentes electrónicos que dispone dicho sensor: el DHT-11 posee un termistor para medir la temperatura del aire y un sensor capacitivo para capturar los niveles de

agua del ambiente. Boylestad [7] indica que el termistor está compuesto por dos metales que al contacto con el aire y de acuerdo con la variación de temperatura va mostrando distintos valores de resistividad cuyo comportamiento en la curva de voltajes generados al momento de la excitación se muestra no lineal variando desde los 100Ω hasta aproximadamente los 500Ω . En el caso de la lectura de la humedad relativa, el DHT-11 posee un pequeño sensor capacitivo en su interior cuya capacitancia varía de acuerdo a la cantidad de agua del ambiente. La humedad relativa representa la relación de la cantidad actual

que contiene un gas y la cantidad que el gas tendría en estado de saturación sin que se produzca la condensación [8], por eso su valor se representa en porcentaje, el cual es del 100% en caso de que la humedad real sea igual a la máxima posible.

La integración de estos dos sensores en un solo módulo se incorpora en un circuito impreso, cuya salida es una serie de pulsos digitales de 8 bits de resolución, a los cuales, por medio de un dispositivo programable, se puede realizar una lectura cuantitativa de las variables de temperatura y humedad relativa, como lo muestra la Figura 2.

Figura 2. Primer modo de integración de un sensor inteligente



Fuente: los autores adaptado de [8]

La señal digital que genera el módulo DHT-11 es leída y transformada por medio del dispositivo programable Raspberry Pi modelo B, el cual es una pequeña computadora de escritorio de baja potencia cuyo procesamiento tiene el mismo nivel que una *laptop* o computadora de escritorio, siendo de bajo costo y de bajo consumo, amigable con el ambiente [9].

Al disponer de este dispositivo de alta robustez, las oportunidades de al-

macenamiento y procesamiento de datos son superiores a otros dispositivos programables. Para este caso en particular, en el que se debe almacenar los datos adquiridos durante la exploración, se codifica en el lenguaje de programación Python una función que permita guardar todos los datos en un archivo CVS (comma separated values). Estos son archivos de texto cuyos valores están separados por un delimitador. Generalmente, en la primera línea se encuen-

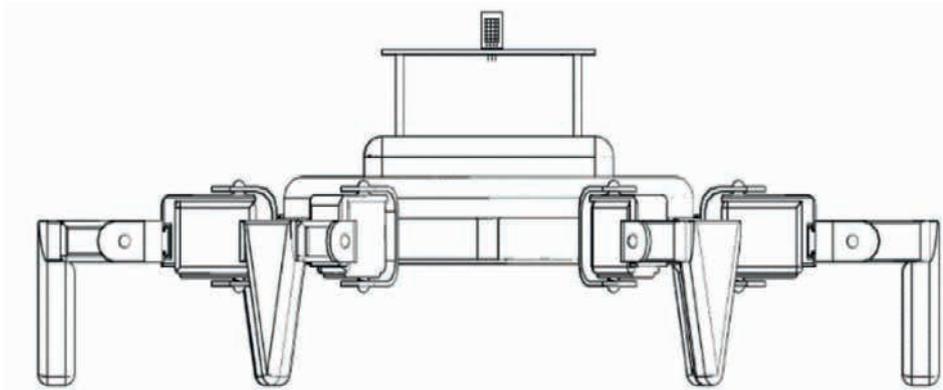
tran los encabezados. Estos incluyen el nombre de cada “columna” de datos o “campos”. La separación de los valores se la señala por medio de una coma [10].

La exploración no podría realizarse sin un vehículo que pueda llevar todo este sistema incorporado por las zonas asignadas para el muestreo, por lo cual escoger un modelo de robot acorde a esta aplicación es de gran importancia. Existen dos modelos de locomoción de robots muy comunes para esta aplicación: robots de ruedas y robots de patas, siendo esta última la opción más estable para terrenos accidentados, ya que hay menor riesgo de pérdida de estabilidad

y daño a la estructura del robot. Dentro de la categoría de robots de patas, de acuerdo con la investigación [11], los robots hexápodos pueden lograr un movimiento tolerante a fallas.

El robot Six-Hezapod de EzRobot [12] ha sido escogido para esta aplicación, debido a que cumple con las características a nivel estructural convenientes para la exploración, sin embargo, debido a la necesidad de utilizar la tarjeta Raspberry Pi para la adquisición y almacenamiento de datos, se han realizado ciertas modificaciones sobre el modelo original del robot, como de muestra en la Figura 3.

Figura 3. Vista de superior del robot



Fuente: los autores adaptado de [12]

El muestreo se genera en un terreno plano dentro de un cuarto que tiene una temperatura ambiental estable en el cual el robot tele operado lleva consigo la tarjeta Raspberry Pi y el sensor de temperatura; se ha definido una posición de inicio (0,0) determinada por el operador, en el terreno de prueba se han colocado en diferentes posiciones

fuentes de alta temperatura como velas encendidas y fuentes de baja temperatura como recipientes con hielo. A medida que el operador dirige el robot hacia estas fuentes, el sensor toma la muestra de temperatura y la almacena en un archivo CVS los datos obtenidos; una vez concluido el proceso de toma de datos, el robot regresa a su po-

sición inicial en la cual se realiza una conexión inalámbrica (WLAN) entre la Raspberry Pi y el computador para poder visualizar por medio de la ejecución del código en Python 2 la gráfica en la cual se representa la posición tomada por cada valor de temperatura y

el color que representa la magnitud de la temperatura obtenida en dicha posición. Esta metodología es usada tanto en zonas con ambientes controlados como es el caso de una habitación cerrada y en campo abierto con delimitación del área recorrida.

3. Resultados

Para el sistema de adquisición de datos de temperatura y humedad, se recopilaron datos experimentales de tres fuentes de calor y una fuente de frío repartidos a lo largo de un área de 175 cm^2 y considerando que la temperatura ambiental era de aproximadamente 29° C en una habitación cerrada. Esta aplicación se la realizó con el uso del robot hexápodo de la empresa EzRobot, el cual es dirigido por un operador cercano a la zona de prueba que ha sido previamente delimitada por un sistema de referencia (X, Y), cuya medición es comprobada con una cinta métrica. Por razones de seguridad la toma de datos es realizada por el robot a una distancia aproximada de 30 cm de la fuente de temperatura medido desde el centro de gravedad de la estructura del hexápodo, el recorrido que realiza es ingresado en el archivo CVS, en el cual el operador registra las coordenadas de los puntos de temperatura medidos a lo largo del recorrido. Este sistema de

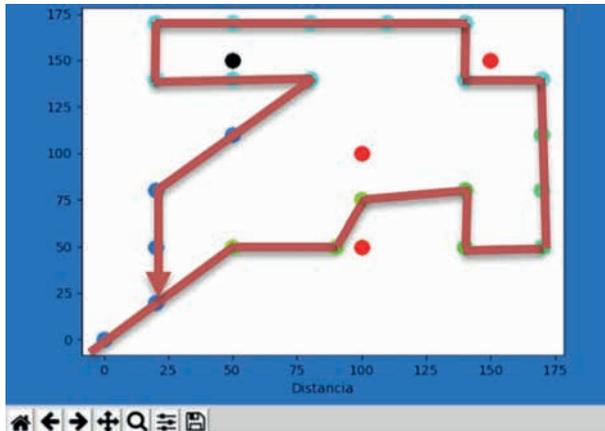
adquisición de temperatura es aplicable, tanto en áreas controladas como en campo abierto, bajo las mismas condiciones de operación mencionadas anteriormente.

3.1. Representación gráfica de la ruta establecida

Para determinar la posición en la cual se realiza el muestreo de la temperatura y humedad se estableció una ruta por medio de una serie de puntos cartesianos (X, Y), que representan la posición aproximada del robot, la misma que fue ingresada en el archivo CVS previo a la realización de la gráfica de la temperatura.

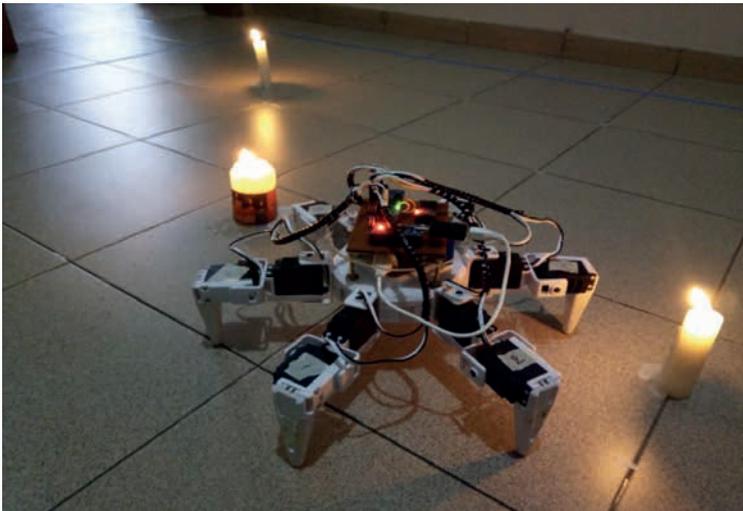
En la Figura 4 se muestra la ruta que realizó el robot con los puntos de fuentes de temperatura en el recorrido, tomando en consideración el punto de inicio del recorrido en 0,0. En la Figura 5 se muestra el robot en el recorrido y las fuentes de temperatura artificial colocadas para las pruebas.

Figura 4. Recorrido del robot durante exploración



Fuente: los autores

Figura 5. Robot durante exploración cerca de las fuentes artificiales de temperatura



Fuente: los autores

3.2. Representación gráfica de los datos obtenidos por el sensor de temperatura

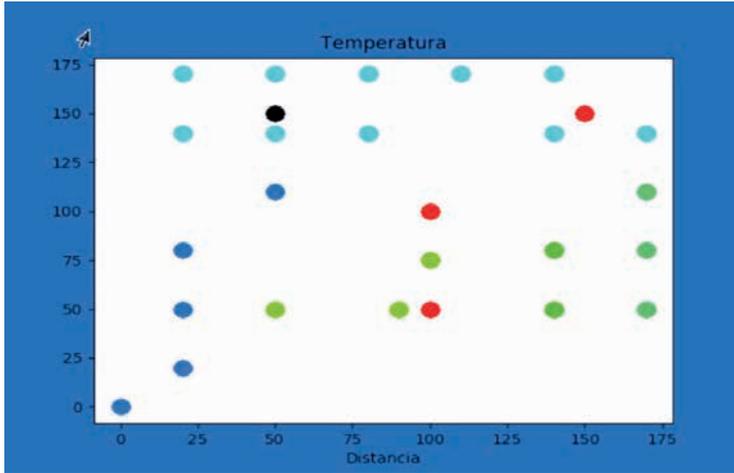
Durante la exploración, el sistema de adquisición de datos de temperatura fue configurado de tal manera que

los datos sean recopilados cada 20 s de acuerdo a las posiciones ingresadas por el operador en el archivo de almacenamiento CVS. Los valores de temperatura están representados por medio de una gama de colores que varían

de acuerdo a la intensidad de la misma, los cuales se detallan en la Tabla 1, que indica los rangos con los cuales

el gráfico define el color en cada punto del recorrido, como se muestra en la Figura 6.

Figura 6. Temperatura vs. posición



Fuente: los autores

Tabla 1. Representación de la temperatura por colores

Colores	Temperatura*
	Rangos
Negro	$\leq 25^{\circ} \text{ C}$
Azul	$25^{\circ} \text{ C} < t \leq 26^{\circ} \text{ C}$
Azul turquesa	$26^{\circ} \text{ C} < t \leq 27^{\circ} \text{ C}$
Turquesa	$27^{\circ} \text{ C} < t \leq 28^{\circ} \text{ C}$
Verde esmeralda	$28^{\circ} \text{ C} < t \leq 29^{\circ} \text{ C}$
Verde	$29^{\circ} \text{ C} < t \leq 30^{\circ} \text{ C}$
Verde limón	$30^{\circ} \text{ C} < t \leq 31^{\circ} \text{ C}$
Amarillo	$31^{\circ} \text{ C} < t \leq 32^{\circ} \text{ C}$
Naranja	$33^{\circ} \text{ C} < t \leq 33^{\circ} \text{ C}$
Rojo	$> 33^{\circ} \text{ C}$

* Temperatura en grados Celsius.

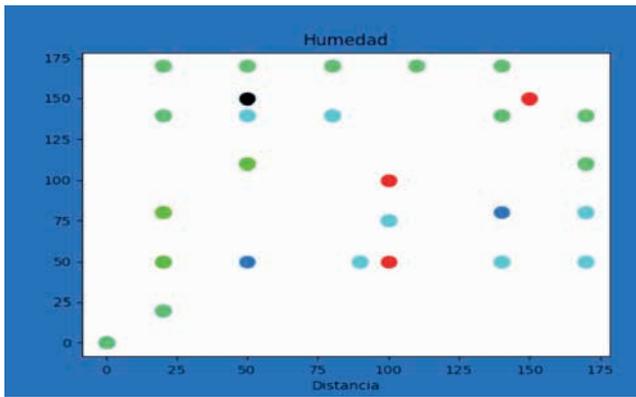
Fuente: los autores

3.3. Representación gráfica de los datos obtenidos por el sensor de humedad

En la etapa de recolección de datos, de manera simultánea a la lectura y almacenamiento de los valores de temperatura, se obtienen los de humedad a lo largo del recorrido, con el mismo intervalo de 20 s en cada nueva lectu-

ra. En la Figura 7 se grafican puntos cuyos colores varían de acuerdo a la concentración de humedad en el ambiente. Para comprender mejor la representación de los colores en la Tabla 2, se muestra el criterio de colores escogidos de acuerdo a los porcentajes de humedad relativa que puede adquirir el sensor.

Figura 7. Temperatura vs. posición



Fuente: los autores

Tabla 2. Representación de la humedad por colores

Colores	Humedad*
	Rangos
Negro	< = 50%
Azul	50% < HR < = 55%
Azul turquesa	55% < HR < = 60%
Turquesa	60% < HR < = 65%
Verde esmeralda	65% < HR < = 70%
Verde	70% < HR < = 75%
Verde limón	75% < HR < = 80%
Amarillo	80% < HR < = 85%
Naranja	85% < HR < = 90%
Rojo	> 90%

* Humedad medida en HR Porcentaje de humedad relativa.

Fuente: los autores

4. Discusión

Los gráficos obtenidos a partir de las mediciones de las variables de temperatura y humedad sin la necesidad de una comunicación de red en tiempo real aportan una gran ventaja sobre sistemas de monitoreo en tiempo real debido a que esto no es siempre posible en condiciones extremas. Sin embargo, esta aplicación no permite conocer

la situación real de forma instantánea en un ambiente que en algunos casos se convierte en una característica indispensable. Los valores obtenidos por el sensor han sido comparados con sensores patrones con una resolución dos veces superior al sensor utilizado, lo cual genera un resultado de aproximación de un 95% de precisión.

5. Conclusiones

Con la aplicación de este sistema se han obtenido resultados satisfactorios en cuanto al sistema de recolección de datos sin necesidad de conexión a red debido a las gráficas mostradas de las variables de temperatura y humedad con respecto a las posiciones donde se obtuvieron dichos valores. Esta pro-

puesta genera una solución al problema de ahorro de energía permitiendo una mayor cantidad de horas de exploración. Este entorno sin conexión de red es una solución ideal para aplicarlo en ambiente de condiciones extremas como situación de rescate y riesgos ante catástrofes naturales frecuentes en el país.

6. Referencias

- [1] M. Polash *et al.*, "Explorer-0100: An autonomous next generation Mars rover", *XX International Conference of Computer and Information Technology*, pp. 1-7, 2017.
- [2] S. Russell y P. Norvig, *Artificial intelligence a modern approach*, 1957/1962.
- [3] M. Toscano, A. Mandow, M. A. Martínez y A. García, *Planificador estratégico para operaciones de rescate mediante vehículos terrestres no tripulados*, 2018.
- [4] M. Vidal, *Sistema de censado remoto para la medición de variables ambientales*, Universidad Veracruzana, 2014.
- [5] C. Erazo, *Departamento de eléctrica y electrónica*, ESPE, 2016.
- [6] L. Bilurbina y F. Liesa, *Materiales no metálicos resistentes a la corrosión*, Marcombo, 1990.
- [7] R. Boylestad, C. Mendoza Barraza y J. de la Cera, *Introducción al análisis de circuitos*, Pearson Educación, 2004.
- [8] L. Corona, G. Abarca y J. Mares, *Sensores y actuadores*, Larousse y Grupo Editorial Patria, 2014.
- [9] E. Upton y G. Halfacree, *Raspberry Pi user guide*. Wiley, 2012.
- [10] R. Lemesle y A. Petitjean, *Windows PowerShell: los fundamentos del lenguaje*, ENI, 2015.
- [11] J. Dupeyroux, G. Passault, F. Ruffier, S. Viollet y J. Serres, *Hexabot: a small 3D-printed six-legged walking robot designed for desert ant-like navigation tasks*, 2017.
- [12] Ezrobot, *Six Hexapod-EZ-Robot*. Recuperado de <https://bit.ly/1Sj1NcC/>

Elevator control system design and test using Hardware in the Loop as a simulation technique

Diseño y prueba del sistema de control de un ascensor
usando la técnica de simulación Hardware in the Loop

V. Uguna,¹ B. Pinos,² G. Vintimilla³

Abstract: *mathematics is an exact science, there is always a result and a solution for everything, but exist the possibility of making mistakes within the calculations, under this preamble within the control theory tests are make for corroborate if the control systems and their respective transfer functions were performed in an appropriate manner, using the Hardware in the Loop tool will allow us to verify the operation of a control system for the position of an elevator, which briefly uses a real-time controller and a simulation that emulates the system floor, in order to do not waste time and money developing a prototype. The objective of the work is to demonstrate the validity of the transference function of the system, as well as the gain values of the PI controller which will be introduced in our HIL in Labview and altogether with the analog controller, which can be occupied for future works, for this purpose was used engineering programs such as Matlab and NI Labview and a DAQ for data acquisition.*

Keywords: *control, elevator, HIL, simulation.*

Resumen: la matemática es una ciencia exacta, siempre hay un resultado y una solución para todo, pero existe la posibilidad de cometer errores dentro de los cálculos, bajo este preámbulo, dentro de teoría de control, se realizan pruebas de funcionamiento para corroborar si los modelos de los sistemas de control y sus respectivas funciones de transferencia fueron realizados de una manera adecuada. Utilizar la herramienta de HIL nos permitirá verificar el funcionamiento de un sistema de control para la posición de un ascensor, el cual en breves rasgos utiliza un controlador en tiempo real y una simulación que emula la planta del sistema, a fin de no perder tiempo y dinero en el desarrollo de un prototipo. El objetivo del trabajo es demostrar la validez de la función de transferencia del sistema, así como los valores de ganancia del controlador PI, los cuales serán introducidos en nuestro HIL en Labview, en conjunto con el controlador analógico, los cual pueden ser ocupados para futuros trabajos. Para este propósito fueron usados programas de ingeniería como Matlab y NI Labview y una DAQ para la adquisición de datos.

Palabras clave: ascensor, control, HIL, simulación.

1 Víctor Hugo Uguña, estudiante de 9º nivel de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Ecuador (vuguna@est.ups.edu.ec).

2 Gustavo Fernando Vintimilla León, estudiante de 9º nivel de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Ecuador (gvintimilla@est.ups.edu.ec).

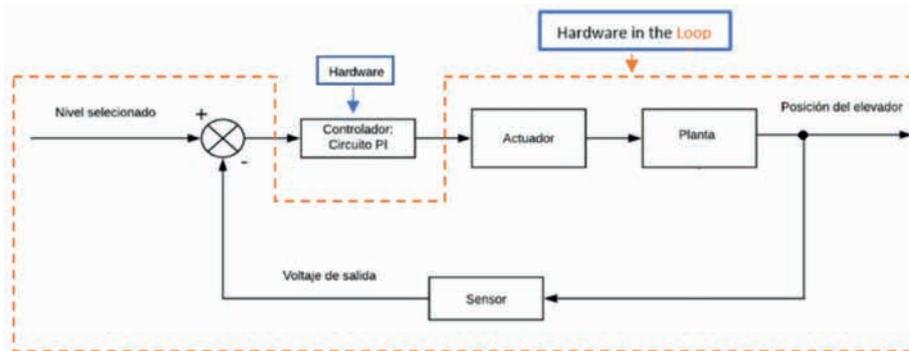
3 Brian Josué Pinos Chuya, estudiante de 9º nivel de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Ecuador (bpinosc@est.ups.edu.ec).

1. Introducción

La simulación de HIL (Hardware in the Loop) ha existido por más de veinte años y ha demostrado ser una técnica bien establecida utilizada en el diseño y evaluación de varios sistemas de tiempo real [1]. Una de las ventajas de la simulación HIL es la flexibilidad en su diseño, referido a que cualquiera de las variables y las condiciones del

diseño pueden ser cambiadas en cualquier momento, además que puede realizar acciones de manera automática. HIL es requerido debido a que la simulación es usada para verificar los modelos matemáticos del sistema y poder implementar de una manera rápida los sistemas de control [3].

Figura 1. Modelo HIL



Fuente: los autores

La Figura 1 nos indica el esquema del sistema propuesto, donde entrada, planta, sensor de retroalimentación y salida están simuladas mediante HIL, y en la parte de hardware se encuentra el control análogo PI.

En [2] se realiza un planeador submarino autónomo, el cual consta de costosas pruebas en el mar para evaluar la capacidad de guía, HIL se utilizó para proporcionar una medida rentable para llevar a cabo las pruebas preliminares de componentes y sistemas el cual redujo el número de fallas potenciales en las pruebas de mar. En [3] se desarrolla

NETSIM que es un simulador de modo de red acústico de un océano virtual en tiempo real, HIL se realiza para probar el rendimiento del sistema en el sistema integrado instalado en el planeador submarino autónomo. La simulación también proporciona una medida rentable para llevar a cabo el componente preliminar, el sistema (hardware y software), y pruebas de escenarios y verificación, reduciendo así el número de fallos potenciales en pruebas en el mar.

HIL es usado para la validación de esquemas de coordinación de protección entre dispositivos de protección de

bajo voltaje en [4]. El trabajo emplea un controlador integrado que combina las ventajas del microprocesador y tecnología FPGA. En [5] se presenta las componentes principales de un sistema híbrido usado en el dominio de sistemas de transporte inteligente para implementar la simulación HIL. En [6] utiliza un sistema servo como ejemplo para explorar el ciclo de diseño de los sistemas de control modernos, que incluye la verificación en tiempo real del controlador. Esta metodología ilustra el ciclo de diseño desde la especificación del sistema, las limitaciones del sistema hasta el diseño del controlador, las pruebas HIL y la verificación del controlador desarrollado. En otro caso, durante el diseño de un sistema de engranajes para detener aviones (Aircraft Arrestor Gear) [7], se requirió verificar los valores de ganancia del controlador derivados del modelado y la simulación del sistema, para dicho propósito se utilizó HIL es una técnica muy eficaz para probar el algoritmo de control, la electrónica y sensores integrados y otro hardware disponible en ausencia del sistema real. En [8] basado en una red de memoria reflexiva, se lleva a cabo

el diseño para la prueba de simulación HIL en un buscador combinado que tiene un importante efecto en el desarrollo y verificación de sistemas de armas, los problemas clave como la sincronización de tiempo y la sincronización de datos también fueron investigados. En [9], se construye un modelo HIL basado en una herramienta de simulación en tiempo real XPC, la cual es una herramienta disponible en Matlab, el trabajo realiza el modelado de un motor asíncrono de tres velocidades, cuyas variables son optimizadas con algoritmos.

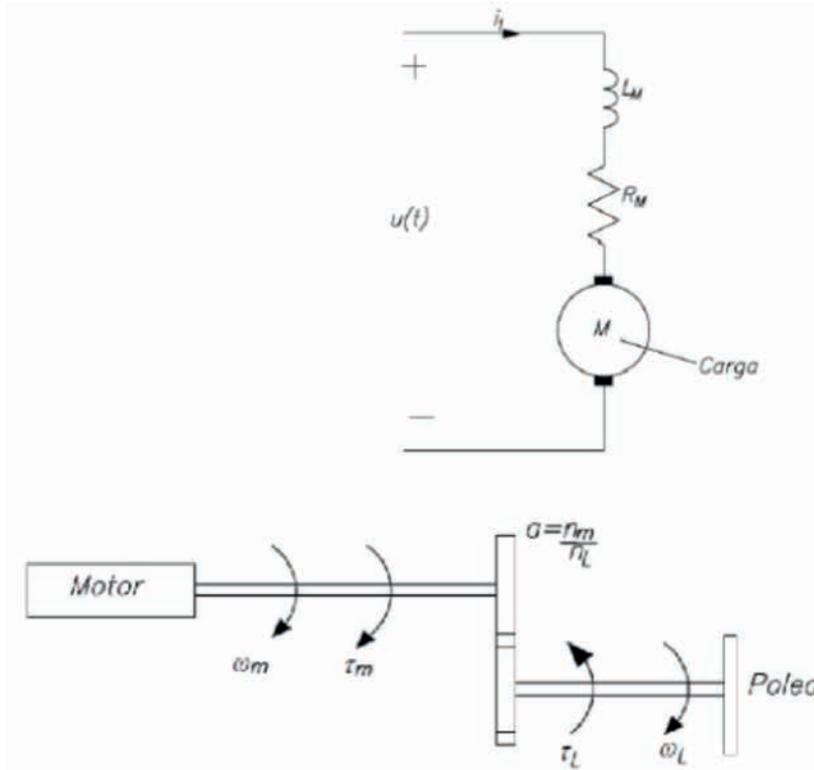
El trabajo presenta un sistema de control PI analógico y una interfaz realizada en Labview que consta de un diseño donde se emula la planta del sistema y una perturbación que puede ser activada en cualquier momento, esto con la finalidad de ser un ambiente propicio para cualquier usuario, también se presentan las gráficas de las señales de salida del sistema, la señal de control y la señal de error del sistema, se podrá observar un sistema de control en tiempo real y funcionando acorde a los requerimientos funcionales establecidos previamente.

2. Métodos

Para el desarrollo del proyecto se realizó el modelo matemático de las partes que conforman un ascensor (actuador, planta, sensor), con el fin de obtener la función de transferencia de todo

el sistema. El actuador es un motor de 12 V que es el encargado de dar el movimiento a todo el sistema, además contiene una caja de engranes con relación de 1/77 que nos brinda más torque [10].

Figura 2. Actuador del sistema



Fuente: los autores

La ecuación que describe el actuador del sistema es la siguiente:

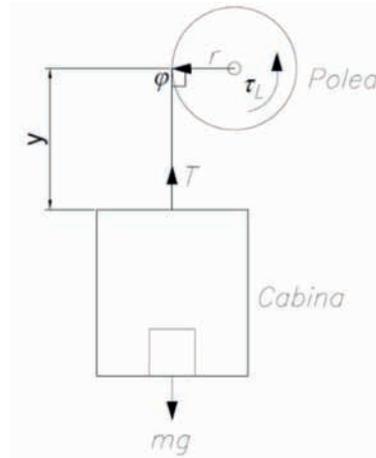
$$[C(s) - Ke * \phi f * a * \omega_L(s)] * \frac{Kt * \phi f}{(R_M + L_M * s)} - a * \tau_L(s) = \omega_L(s) * (J * s + B) \quad (1)$$

Donde U es el voltaje de entrada del motor; Ke es la constante de voltaje del motor; a es la relación del número de dientes de la polea; ω_L es la velocidad de rotación de los conductores; Kt es la constante de par de torsión del motor; ϕf es el flujo de campo; τ_L es el torque; R_M es la resistencia en el inducido; L_M es la inductancia en el in-

ducido; J es la inercia; B es el amortiguamiento equivalente total.

La planta del sistema está compuesta por una polea y una cabina, la polea se conecta con el motor transformando el movimiento circular en movimiento lineal, el cual sería la posición de cada piso del ascensor.

Figura 3. Planta del sistema



Fuente: los autores

El modelo matemático que describe la planta del sistema se muestra a continuación:

$$\frac{\ddot{y}}{R} (J_p + m * R^2) + m * R * g = \tau_L \quad (2)$$

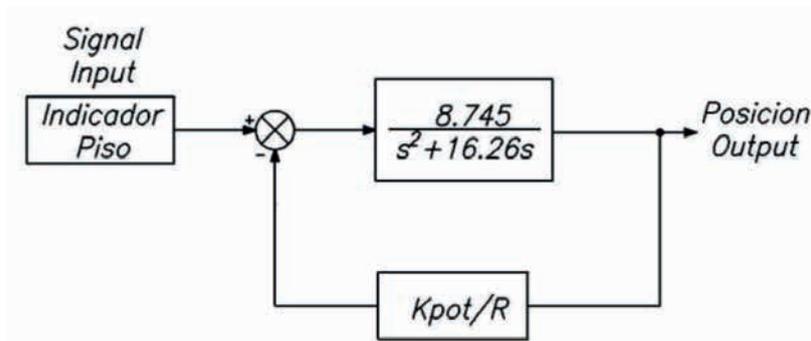
Donde \ddot{y} representa la aceleración de la cabina; J_p es la inercia de la cabina; m es la masa de la cabina; R es el radio de la polea; g es la constante gravitacional y τ_L es el torque.

En el sistema propuesto el sensor es un potenciómetro, el cual va acoplado a la polea y convierte la posición angular recorrida en voltaje, el modelo matemático del sensor es el siguiente:

$$\frac{V_x(s)}{Y(s)} = \frac{K_{pot}}{R} \quad (3)$$

Se acoplaron las ecuaciones (1) y (2) para obtener la función de transferencia del sistema [11].

Figura 4. Función de transferencia del sistema

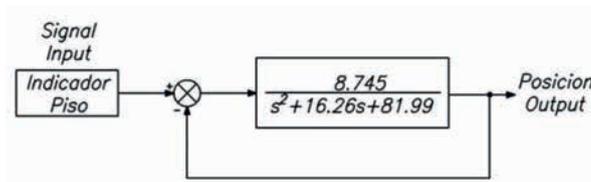


Fuente: los autores

Para la señal de entrada, en lugar de utilizar una entrada escalón, se realizó una configuración de entrada rampa hasta un momento previo que el ascensor llegue al piso deseado y en ese intervalo pequeño de tiempo se coloca la entrada escalón, esto con el motivo de que el tiempo de asentamiento (T_s) sea adecuado para cada piso. Con la entrada escalón se tiene el mismo tiempo de asentamiento sin importar el piso escogido, es decir el tiempo de asentamiento es el mismo al ir del piso 1 al 2, como del piso 1 al 3, lo que en la

realidad sería un grave inconveniente de diseño para los usuarios. Es por esa razón que se realiza la configuración de entrada rampa-escalón, para que cada piso tenga un tiempo adecuado de asentamiento, para realizar todos los cálculos correspondientes. Uno de los cambios que se realiza dentro de nuestro sistema, es la construcción de una función de transferencia equivalente utilizando doble realimentación (+1, -1) con el fin de obtener realimentación unitaria, la función quedaría de la siguiente manera:

Figura 5. Función de transferencia con retroalimentación unitaria

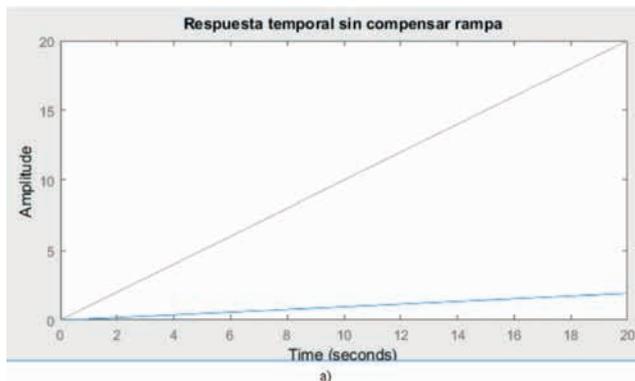


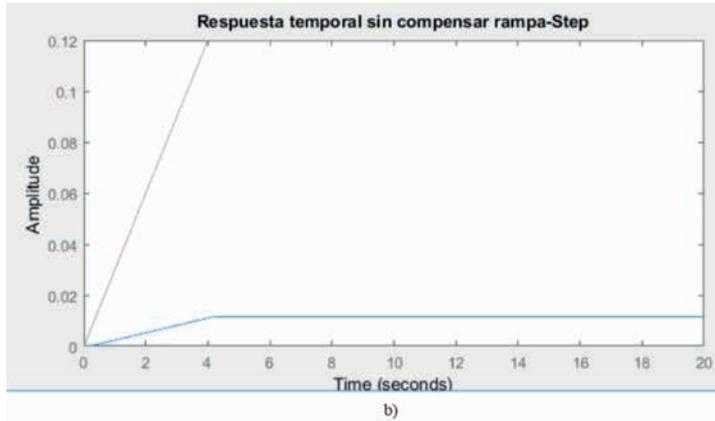
Fuente: los autores

El sistema al ser de tipo 0 va a tener un error infinito ante una entrada rampa (Figura 6a) por lo que al aplicar la señal rampa-escalón la señal tendrá

un error infinito hasta que cambie de rampa a escalón, dándonos un resultado erróneo en el piso seleccionado (Figura 6b).

Figura 6. Respuestas temporales sin compensar





Fuente: los autores

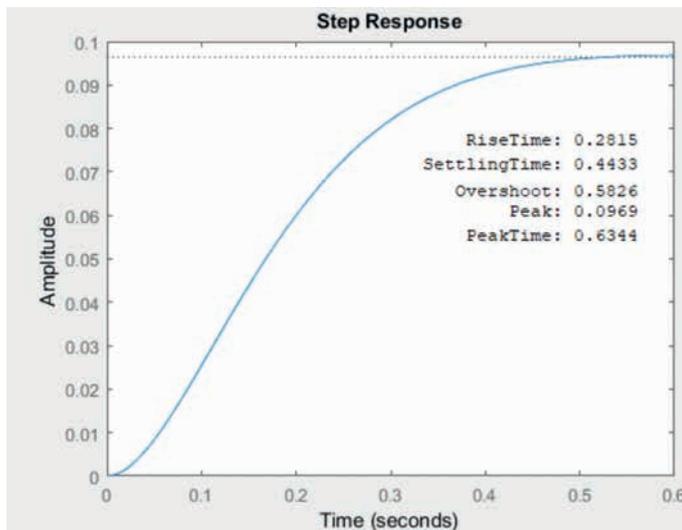
3. Resultados

3.1. Control PI

Se realizó un control PI con el propósito de eliminar el error ante escalón y reducir a un error finito ante una en-

trada rampa, no se realizó un control derivativo ya que el tiempo de asentamiento y sobre disparo no son altos por lo que no fue necesario modificar el régimen transitorio del sistema [12].

Figura 7. Respuesta ante entrada Step y parámetros



Fuente: los autores

El cálculo del control PI se realizó en el dominio de la frecuencia obteniendo las constantes proporcionales e integra-

les $K_p = 19,306$ y $K_i = 19,8475$, con los valores de K_p y K_i obtuvimos la función de transferencia del controlador [13]:

$$G_c = \frac{19.306 (s + 1.028)}{s} \quad (4)$$

Con la función de transferencia del control se verificó cómo se comporta el sistema ante una entrada rampa, el resultado de la implementación del control PI ante una entrada rampa se muestra en la Figura 8. Se realizó un análisis de error

para determinar si es necesario eliminar el error por completo de la rampa o trabajar con un error finito pequeño.

Error del sistema con control ante entrada rampa:

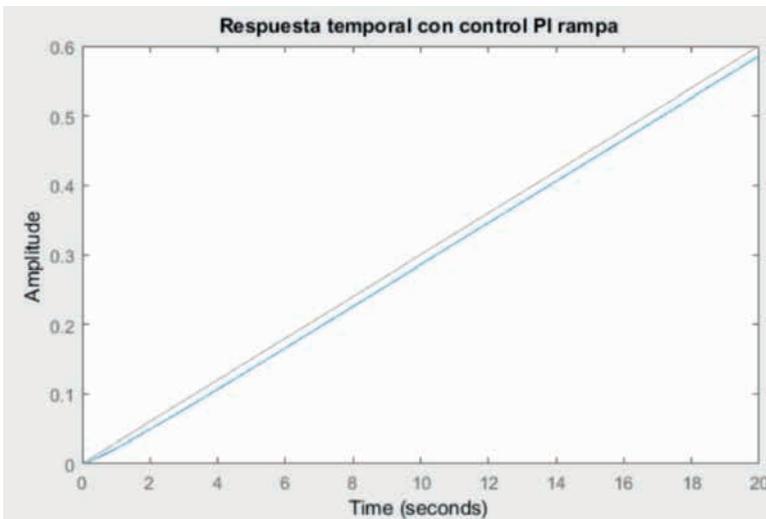
$$K_v = \lim_{s \rightarrow 0} s * G_{pi}G = \frac{168.83 * 1.028}{81.99} = 2.11$$

$$e(\infty) = \frac{1}{K_v} = 0.47 \%$$

Como se puede observar, el error es muy pequeño por lo que no afecta en la trayectoria del sistema, realiza-

do ese análisis se determinó que no es necesario otro control para eliminar el error ante la rampa.

Figura 8. Respuesta temporal con control PI



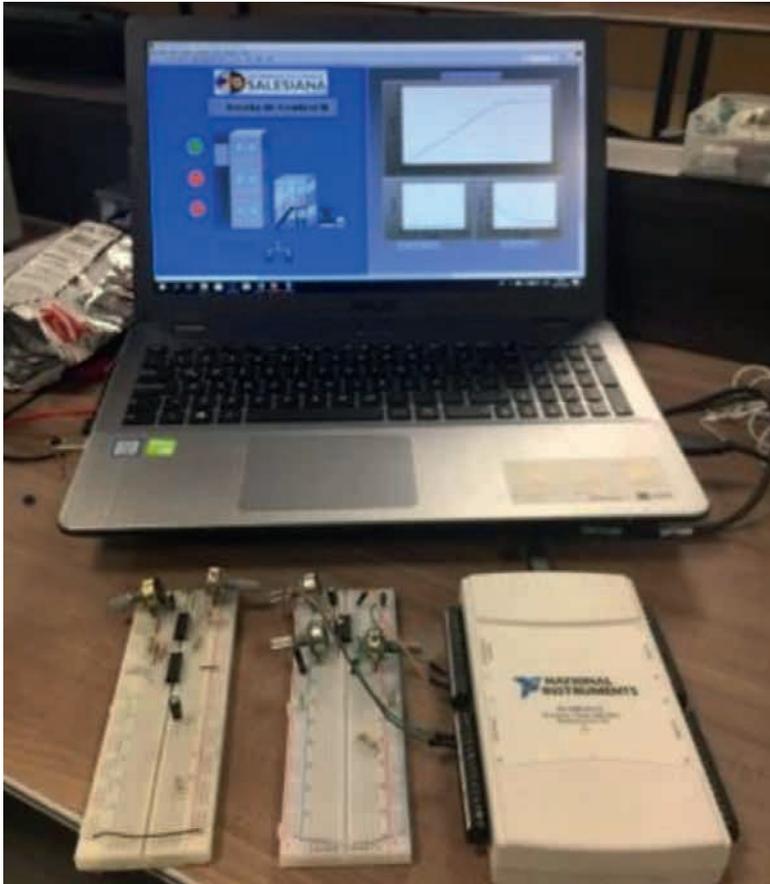
Fuente: los autores

3.2. Implementación HIL

Para la implementación del HIL se ocupó Labview con su librería de control y simulación, que puede simular sistemas dinámicos, diseñar controladores

sofisticados e implementar sus sistemas de control en hardware en tiempo real. Se utilizó una tarjeta de adquisición de datos (DAQ) para la conexión entre Labview y el circuito analógico de control.

Figura 9. Implementación HIL y control PI analógico



Fuente: los autores

La interfaz cuenta con una simulación de un ascensor de tres pisos y con tres gráficas, las cuales nos demuestran: la señal de salida del sistema, la señal

de control y el error del sistema. En la Figura 10 se observa que la señal de salida del sistema se estabiliza en 0,45 m, lo cual hace referencia al segundo piso.

Figura 10. Interfaz HIL

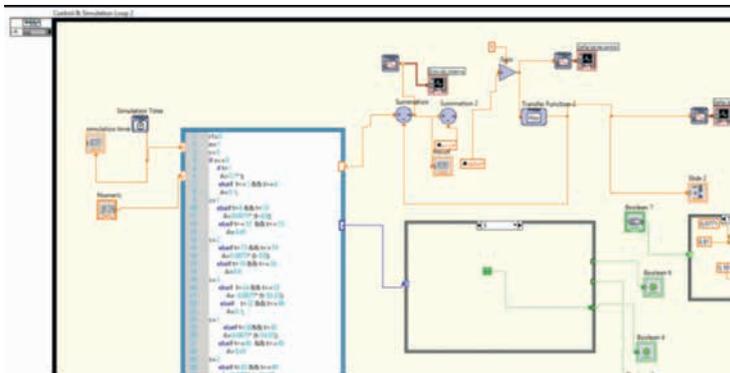


Fuente: los autores

Se utilizó en su mayoría la librería de control y simulación por su facilidad de simulación del sistema. Cabe recalcar que en este bucle realiza de manera automática la discretización

del sistema, por lo tanto, se trabaja con la función de transferencia en tiempo continuo. Además, se utilizó la librería de Math Script para realizar la señal de ingreso (rampa-step).

Figura 11. Extracto de la programación en Labview



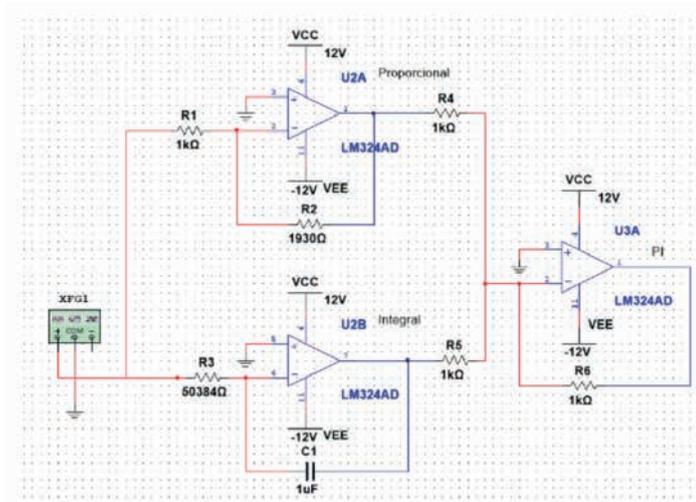
Fuente: los autores

3.3. Implementación analógica del control

La implementación analógica tiene tres partes: proporcional, integral y

suma con ganancia unitaria, para obtener el PI.

Figura 12. Simulación del control PI



Fuente: los autores

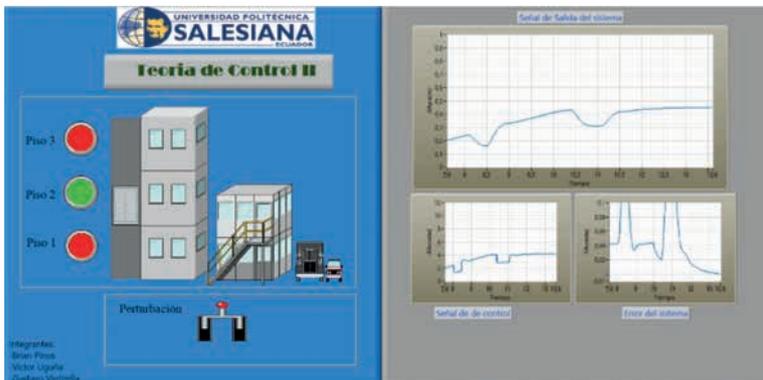
Mediante la simulación, se ingresó una señal conocida al circuito analógico y mediante el osciloscopio se verificó que las señales tengan la misma fase, amplitud y frecuencia.

3.4. Análisis de perturbaciones

Para comprobar la robustez del control se ingresaron perturbaciones

al sistema, se introdujeron perturbaciones cuando el ascensor se dirigía al segundo piso. La Figura 13 muestra cuál es el error del sistema en ese momento y cómo el sistema de control actúa para estabilizar al sistema.

Figura 13. Ingreso de perturbaciones al sistema



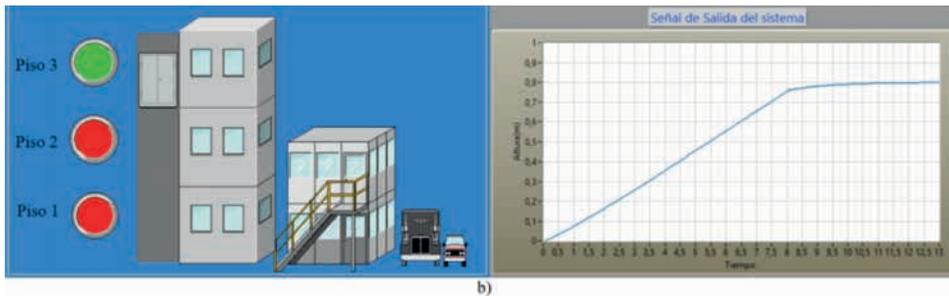
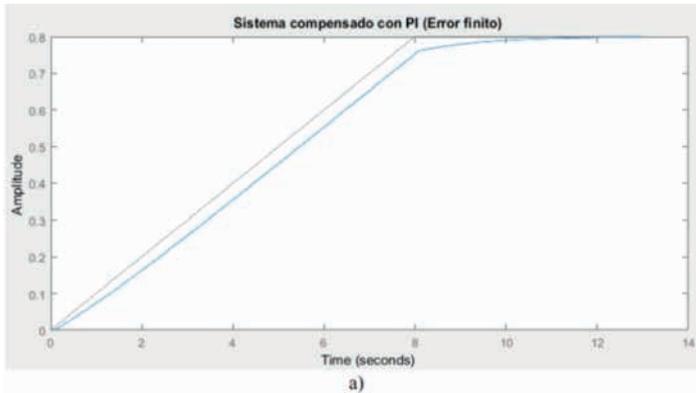
Fuente: los autores

3.5. Comprobación

Aquí observamos que el tiempo de estabilización del sistema se da en aproximadamente 12 s, tanto con la implementación HIL obtenida en Lab-

view como en la simulación realizada en Matlab, lo que demuestra la validez del desarrollo del trabajo. Para estas simulaciones se tomó como referencia el piso 3, que se encuentra a 0,8 m.

Figura 14. Resultado simulación Matlab vs. resultado implementación HIL



Fuente: los autores

4. Discusión

Los datos indican que el sistema se estabiliza aproximadamente en 12 s con una entrada rampa escalón, esto sucede cuando el ascensor ha llegado al tercer piso, y lo hace con un sobre-disparo aproximadamente de cero, por lo tanto, el controlador PI y la implementación

HIL son las correctas para el desarrollo de este sistema. Los 12 s obtenidos es un tiempo cómodo en el prototipo para llegar al tercer piso.

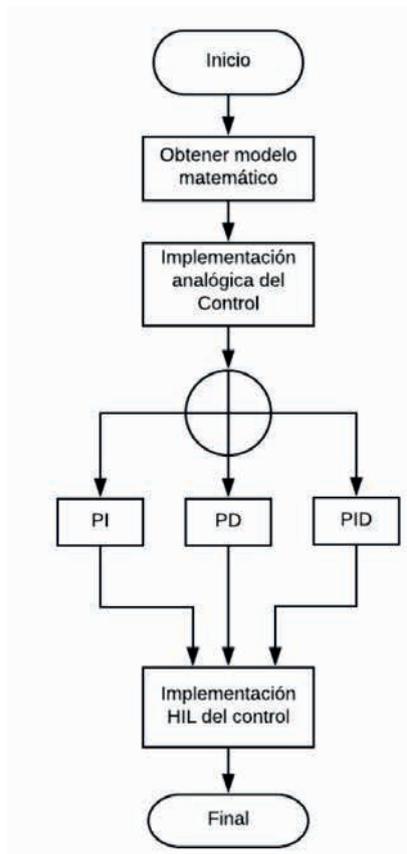
La fortaleza del HIL es que se logra un ahorro de tiempo y dinero de la implementación, permitiendo así com-

probar el funcionamiento del sistema en tiempo real. Una de las debilidades es que los requerimientos funcionales para una adecuada implementación HIL se basan en el modelamiento de las partes del sistema.

Al desarrollar la simulación HIL, aparte de todos los beneficios expuestos, desde un punto de vista estudiantil se logró una sinergia de conocimientos aplicables a conseguir el objetivo del trabajo, tanto en programación estructurada como en programación por

bloques. Con la simulación HIL se verificaron los objetivos planteados del trabajo, por lo que en futuros trabajos se debe enfocar a la construcción física de todo el sistema, con una alta certeza de su valía y correcto funcionamiento. Todas las señales de salida de nuestro sistema dentro de la simulación HIL fueron programadas para que se visualicen en tiempo real, ya que solo así se comprobó el tiempo de asentamiento, el cambio de piso y la estabilización del sistema ante las perturbaciones.

Figura 15. Proceso implementación HIL



5. Conclusiones

Los análisis de los resultados demuestran que el HIL es una herramienta eficaz que podemos aplicar para ahorrar tiempo y dinero en el desarrollo de un prototipo, en nuestro caso se seleccionó un control PI con una entrada al sistema rampa-escalón y la función de transferencia presentada en la Figura 3, la cual fue validada mediante la simulación HIL cumpliendo los tiempos de estabilización acordes

a la realidad y la mínima cantidad de error en cada posición de los pisos.

Para la implementación analógica, las resistencias del circuito al no ser valores comerciales se utilizaron resistencias variables para aproximar los resultados, los cuales muestran una alta sensibilidad, ya que ante la mínima perturbación estos cambiaban su valor, produciendo variación en el resultado final.

6. Referencias

- [1] T. Wahyu, M. Fadhil, B. Riyanto, E. Muhammad y M. Faisal, "Hardware In the Loop Simulation Development of Guidance System for Autonomous Underwater Glider", *VI International Conference on Electrical Engineering and Informatics*, Langkawi Island, Kedah, Malaysia, 25-27 de noviembre, 2017.
- [2] R. Isermann, J. Schaffnit y S. Sinsel, "Hardware-in-the-loop simulation for the design and testing of engine-control systems", *Control Engineering Practice*, Technical University of Darmstadt, vol. 7, pp. 643-653, mayo, 1999.
- [3] T. Schneider y H. Schmidt, "NETSIM: A Realtime Virtual Ocean Hardware Acoustic Modem Network Simulator", *IV Underwater Communications and Networking Conference*, Lerici, 28-30 de agosto, 2018.
- [4] L. Bertolotti, E. Ragaini y J. Liu, "Hardware-in-the-Loop Simulation for Testing Low Voltage Circuit Breakers Selectivity", *International Conference on Environment and Electrical Engineering*, Milán, 6-9 de junio, 2017.
- [5] I. Costea, D. Buretea y L. Obreja, "Hardware in the Loop Simulation Platform for Intelligent Transport Systems", *XXIII International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging*, Lasi, 25-28 de octubre, 2018.
- [6] K. Rahnamai y J. Rowlands, "State Space Design Cycle and Hardware in the Loop Testing and Verification", *LX International Midwest Symposium on Circuits and Systems*, Medford, 6-9 de agosto, 2017.
- [7] S. Chakraborty y C. Waghmare, "Hardware in Loop Simulation for Aircraft Arrester Gear System", *Annual India Conference (INDICON)*, Amrita Vishwa Vidyapeetham, 16-18 de diciembre, 2018.
- [8] Y. Zhang, C. Shi y H. Dai, "Design for Hardware in-the-Loop Real-Time Simulation Test of Combined Seeker", *IX International Symposium on Computational Intelligence and Design*, Hangzhou, 10-11 de diciembre, 2018.
- [9] W. Jianxing y L. Huiming, "The Key Technologies Research and Implementation of Hardware-in-the-Loop Simulation Base on Real-Time Environment", *III International Conference on Mechanical, Control and Computer Engineering*, Hunhhot, China, 14-16 de septiembre, 2018.
- [10] P. Álvarez, Modelo matemático de un motor de corriente continua separadamente excitado:

control de velocidad por corriente de armadura, Instituto de Ciencias Físicas ESPOL, Guayaquil, 2012.

[11] N. Nise, *Control systems engineering*, EUA, John Wiley & Sons, pp. 735-741, 2011.

[12] R. Dorf y R. Bishop, *Modern control systems*, Prentice-Hall, pp. 631-673, 2011.

[13] K. Ogata, *Ingeniería de control moderna*, Naucalpan de Juárez, Pearson Educación, pp. 568-576, 2010.

Analysis of touch and step voltages in grounding grid by the using an electrolytic fluid tank as a mean

Análisis de voltajes de paso y toque en mallas de puesta a tierra empleando como medio un tanque fluidos electrolíticos¹

D. Cárdenas,² C. Chávez,³ V. Castillo,⁴ E. Márquez,⁵ G. Ampuño⁶

Abstract: *this article is focused on the power system electric (PSE), grounding system (GS) [1] is very important to protect the life and the safety of people, and also to avoid failure on the PES. These faults cause an economic loss because may interrupt the normal industrial operations. In this work is shown the real data collection of rectangular and circular earthing meshes, which were applied according to the Standard IEE-80 [2] [3]. Later, simulations performed with the ETAP software are compared [4] [6]. This software is used to design and analyze a GS prior to its construction. As a result, it can be seen that the mesh type grounding system provides the greatest safety. It is also possible to demonstrate the feasibility of using a tank with electrolytic fluid to supply the real environment to which an SPT can be exposed and thus be able to perform all possible tests to verify that everything works correctly.*

Keywords: *electrolytic tank, grounding system (SPT), ground mesh, Etap, touch and step voltages.*

Resumen: en los sistemas eléctricos de potencia (SEP), los sistemas de puestas a tierras (SPT) [1] son de vital importancia para precautelar la vida de las personas y también para evitar fallos en el SEP. Una falla producida en los SEP se traduce como pérdidas monetarias porque detienen al sector industrial. El trabajo presentado en este artículo, muestra la toma de datos reales de mallas de puesta a tierra rectangulares y circulares, las cuales, fueron aplicadas de acuerdo a la Norma IEE-80 [2] [3]; y su posterior comparación con las simulaciones realizadas en el software Etap [4] [6], el cual, sirve para diseñar y analizar un SPT previo a su construcción. Como aporte de este trabajo, los autores ofrecen un entorno de laboratorio para realizar pruebas de las mallas a tierra antes de ser instaladas, el formato de las pruebas y el tanque donde es realizado el análisis es de fácil construcción y acceso, permitiendo a las empresas dedicadas a la instalación de SPT mostrar a sus clientes el funcionamiento de sus mallas y compararlas con software especializado. Como resultado de la prueba con varias mallas, se puede

- 1 Los autores agradecen a la Carrera de Electricidad y a la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana por permitir el uso de sus laboratorios, y al grupo SMART-TECH por el soporte brindado.
- 2 David Humberto Cárdenas Villacrés, máster universitario en Tecnologías y Sistemas de Comunicación, ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, docente de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, Ecuador (dcardenas@ups.edu.ec).
- 3 Carlos Fernando Chávez Córdova, máster en Administración de la Energía y sus Fuentes, ingeniero eléctrico, docente de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, Ecuador (cchavez@ups.edu.ec).
- 4 Víctor Castillo Pazmiño, estudiante de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, Ecuador (vcastillop@est.ups.edu.ec).
- 5 Edgar Márquez Villalba, estudiante de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, Ecuador (emarquezv@est.ups.edu.ec).
- 6 Gary Ampuño Avilés, máster en Automatización y Control Industrial, ingeniero electrónico, docente de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, miembro del Grupo de Investigación SMART-TECH, Ecuador (gampuño@ups.edu.ec).

apreciar que el sistema de puesta a tierra tipo rejilla brinda mayor seguridad ante voltajes de toque y de paso. También es posible evidenciar la viabilidad de emplear un tanque con fluido electrolítico puede sustituir al entorno real en el que puede estar ex-

puesto un SPT y así poder realizar todas las pruebas posibles para verificar su funcionamiento.

Palabras clave: voltajes de toque y paso, sistema de puesta a tierra, tanque electrolítico.

1. Introducción

Los sistemas de puesta a tierra son los cargados de mantener aislados a los equipos eléctricos desviando las fallas de corrientes que pueden ocurrir hacia las mallas de tierra colocadas cerca [7] [8]. Cuando ocurre una falla eléctrica, la corriente busca el camino más corto a tierra, si un operador está tocando el equipo por un tiempo determinado y ocurriera la falla en ese instante, es posible que la corriente pueda atravesar su cuerpo y causarle daño. Es por eso, que los STP son considerados como sistemas de seguridad que deben formar parte de toda instalación eléctrica. En los sistemas eléctricos de potencia, más específicamente en las subestaciones, el diseño un SPT requiere de un análisis aún mayor, esto debido, a que una subestación es la encargada de reducir el voltaje de alta tensión de

la red y distribuirla en las diferentes áreas de consumo. Adicional, la subestación debe ser capaz de evitar que las corrientes de fallas lleguen al tendido eléctrico, lo cual, podría producir grandes inconvenientes en todo el sector afectando así a otras empresas [9] [10].

Las técnicas para evidenciar el correcto dimensionamiento de una STP que emplean las empresas dedicadas a la construcción de estas, implica usar software de optimización y equipos de medición de alto nivel, por ello, son de alto costo [11]. Pensando en esto, la propuesta planteada en este trabajo es obtener una metodología que ayude a analizar los STP antes de ser instaladas mediante un tanque con fluido electrolítico, que sirva para recopilar datos y el posterior análisis de los mismos.

2. Metodología

De lo expuesto anteriormente, los voltajes de toque y de paso [12] [13] de acuerdo a varios autores, son considerados como el diferencial de voltaje máximo al que un usuario puede estar en contacto al producirse una corriente de falla en una maquinaria eléctrica con

una puesta a tierra, tanto al tocarla con sus extremidades superiores como entre sus pies a una distancia de un metro.

Las ecuaciones (1) y (2) describen el voltaje o tensión de toque V_{to} y el voltaje o tensión de paso V_p siendo:

$$V_{to} = \frac{k}{t * n} \quad (1)$$

$$V_p = \frac{10 * k}{t * n} \quad (2)$$

Tabla 1. Cuadro de resumen según el tiempo de actuación de las protecciones

Tiempo (s)	Voltaje de paso máximo (V)	Voltaje de toque máximo (V)
Más de 5	500	50
De 3 a 5	640	64
1	785	78,5
0,5	1 440	144
0,1 o menos	7 200	720

Fuente: [12]

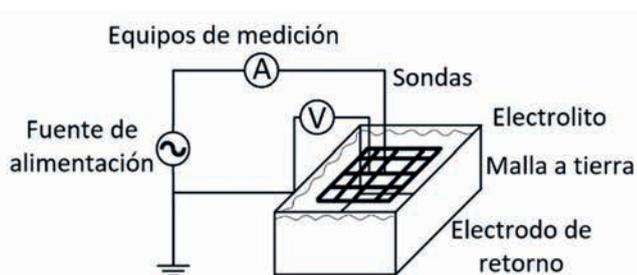
Donde t es el tiempo de duración de la falla, k y n tienen valores de 72 y 1, respectivamente, para tiempos por debajo de 0,9 segundos, y 78,5 y 0,18 para tiempos entre 0,9 y 3 segundos.

Para evitar los voltajes de toque y paso, es necesario visualizar cual es el comportamiento de una malla de puesta a tierra de acuerdo a su forma y el terreno en que es introducida, con todos estos factores analizados es posible optar por la mejor opción antes de su construcción.

2.1. Tanque electrolítico

Antes de ser introducidas en el terreno, es posible analizar las STP mediante un ambiente de prueba como lo es un tanque electrolítico. Este tanque contiene un fluido con varios compuestos (electrolitos). En la Figura 1 son presentados los elementos que forman el tanque electrolítico. Como ánodo es colocado un electrodo positivo, este recibe los electrones que son desprendidos o liberados de la punta negativa o cátodo, mientras una corriente fluye a través del fluido electrolítico.

Figura 1. Compuestos de un tanque electrolítico



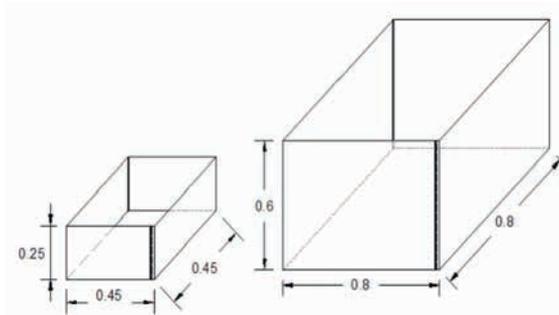
Fuente: los autores

2.1.1. Paralelepípedo

El paralelepípedo está constituido por figuras geométricas rectangulares colocadas de forma perpendicular a la base, cada rectángulo está construido de planchas de acrílico con un espesor de 3 mm; es incorporada una cinta de medición, la misma indica el nivel del

electrolito que se propagará en el recipiente una vez introducidas las mallas que serán puestas a prueba. Un segundo tanque con medidas más pequeñas (cuba) es construido para simular terrenos de uno o dos estratos. Las figuras 2 y 3 presentan las características del tanque electrolítico.

Figura 2. Tanque electrolítico y cuba



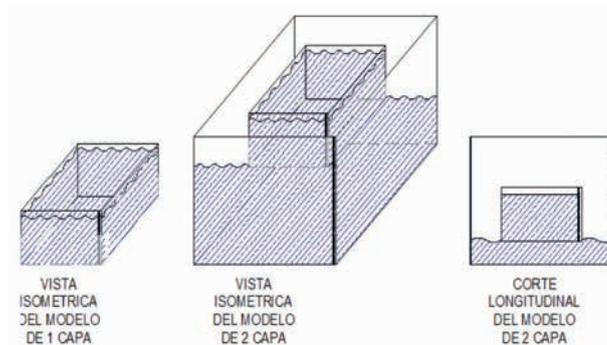
Fuente: los autores

2.1.2. Electrodo de retorno

Una lámina de aluminio es empleada como electrodo de retorno, esta es colocada en la base y lados internos del tanque. El electrodo está conectado al ne-

gativo de la fuente de alimentación. Al estar en contacto con el electrolito, comenzará el proceso de “reducción” por la pérdida de propiedades del material e incluso se ve la presencia de hidrógeno.

Figura 3. Tanque electrolítico: configuración de 1 y 2 estratos de terreno



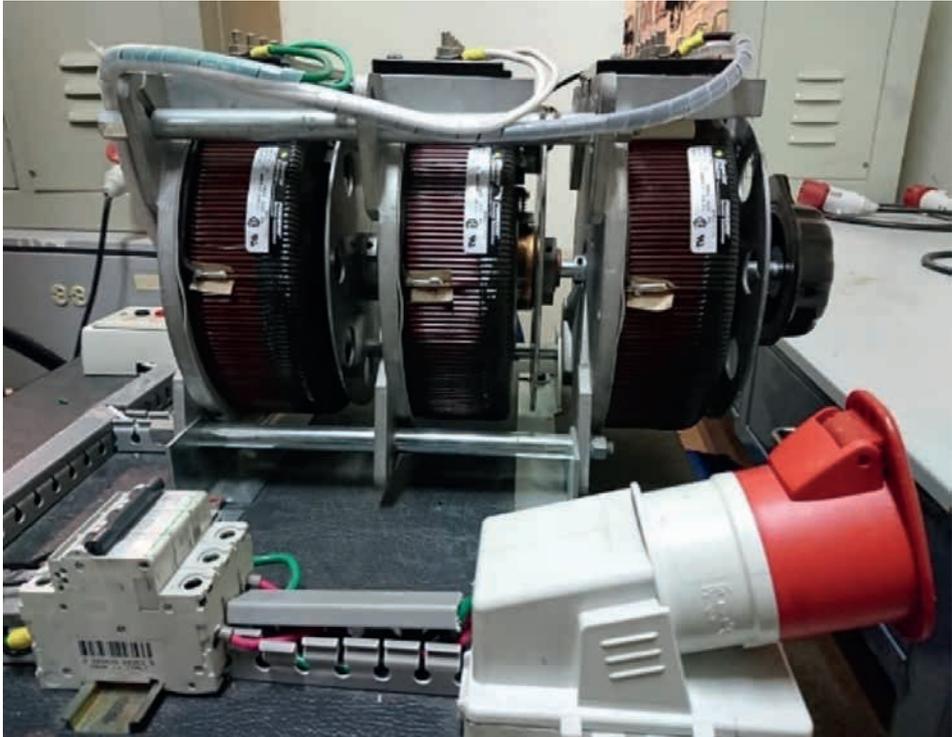
Fuente: los autores

2.1.3. Fuente de alimentación

Una fuente trifásica de voltaje regulada mediante un *variac* producirá

127 V y una frecuencia de 60 Hz. En la Figura 4 se da al lector una imagen de cómo está formada la fuente variable.

Figura 4. Fuente variable trifásica



Fuente: los autores

2.1.4. Instrumentos de medición

Mediante una pinza amperimétrica Fluke 373 fueron medidos los voltajes en diferentes puntos de las mallas implementadas y la intensidad de corriente a través del fluido, que son los necesarios para el análisis de los STP

[14] [15]. Para las pruebas de resistencias del SPT en campo, se utilizó un comprobador de puesta a tierra 1625-2 Geo de Fluke (Figura 5). Los datos son descargados de la memoria de los elementos y cargados a la PC para realizar las comparaciones posteriores.

Figura 5. Comprobador de SPT 1625-2 Geo

Fuente: los autores

2.1.5. Configuraciones de mallas de puesta a tierra

Las configuraciones de mallas a tierra que se analizaron en el proyecto fueron: triangular, cuadrada, circular, cuadrada-circular y rejilla. Los puntos de medición son presentados en los apartados de más adelante.

2.2. Construcción de mallas de puesta a tierra

Las mallas de tierra están construidas por un conductor de cobre desnudo n° 10. Las medidas son 0, 20 m/0,20 m para las mallas tipo triangular, así como la cuadrada y la cuadrada-circular. Mientras que para la malla la circular es 0, 10 m de radio. Como puede apreciarse en la Figura 6, las uniones son realizadas con cautín y estaño.

Figura 6. Unión de la malla circular con estaño

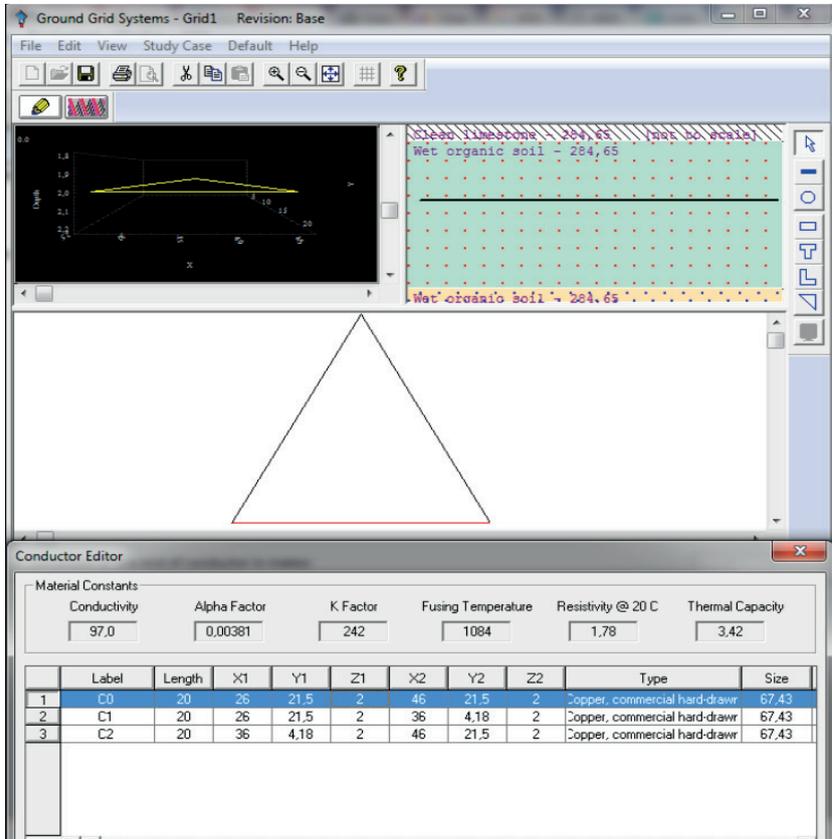
Fuente: los autores

2.3. Programa Etap

Mediante el software Etap, como se muestra en la Figura 7, es posible realizar las configuraciones de las mallas de tierra y el análisis de la forma de onda

de los voltajes de toque y de paso que se producen en ella ante una falla de aislamiento. Con los datos reales tomados de las pruebas realizadas en el tanque electrolítico, se comparan entre sí para obtener un estándar de pruebas.

Figura 7. Coordenadas para el diseño de la malla de tierra



Fuente: los autores

3. Resultados y discusión

Con los tanques construidos y llenos con el electrolito (Figura 8) es posible energizarlos e introducir en ellos

los diferentes tipos de mallas, para así analizar el comportamiento entre las mallas de tierra y el terreno circundante.

te. Las pruebas son realizadas mediante el formato de las tablas 2 y 3 que los autores plantean como procedimiento. En la Figura 9 son presentados los puntos de medición de cada tipo de malla, las mediciones son realizadas tanto en el interior como en el exterior de la malla, aplicando los voltajes de toque y de paso a diferentes profundi-

dades del tanque, esto emula las diferentes profundidades a las que puede ser enterrada la malla en campo. Como resultado son obtenidos los ohmios por metros, que es el dato final que permite saber si una malla cumple con el estándar de eficiencia para protección de equipos y seguridad personal.

Tabla 2. Tabla de mediciones de resistencia del terreno sin electrolito

Voltaje de toque		V	I	R										
Puntos	A	B	C	D	E	F	G	H	I	1	2	3	4	
Voltaje														
Profundidad														
Voltaje de paso		V	I	R										
Exterior de la malla														
Puntos	A	B	C	D	E	F	G	H	I					
Voltaje														
Profundidad														
Interior de la malla														
Puntos	A	B	C	D	E	F	G	H	I	1	2	3	4	
Voltaje														
Profundidad														
Lx [m]	Ly [m]	A [m ²]	h [m]	P (cuad) [m]	P (circ) [m]	Lt [m]								
Promedio =		$\Omega \cdot m$												

Fuente: los autores

Tabla 3. Tabla de mediciones de resistencia del terreno con electrolito

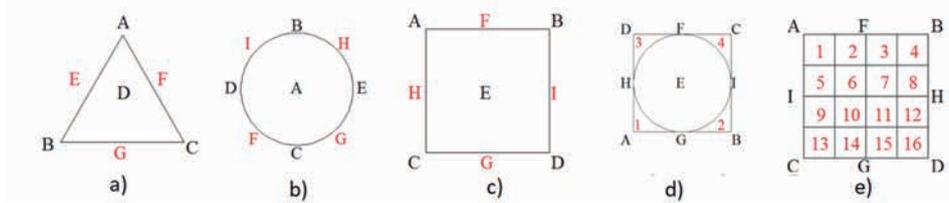
Voltaje de toque		Oz	V	I	R								
Puntos	A	B	C	D	E	F	G	H	I	1	2	3	4
Voltaje													
Profundidad													
Voltaje de paso													
Exterior de la malla													
Puntos	A	B	C	D	E	F	G	H	I				
Voltaje													
Profundidad													
Interior de la malla													
Puntos	A	B	C	D	E	F	G	H	I	1	2	3	4
Voltaje													
Profundidad													
Lx [m]	Ly [m]	A [m ²]	h [m]	P (cuad) [m]	P (circ) [m]	Lt [m]							
Promedio =		$\Omega \cdot m$											

Fuente: los autores

Figura 8. Pruebas de puesta a tierra sin electrolito

Fuente: los autores

Figura 9. Puntos de medición para mallas: triangular (a), circular (b), cuadrada (c), cuadrada y circular (d), rejilla (e)



Fuente: los autores

Las tablas 4 y 5 permiten ver los resultados de resistencia resultantes al mejorar el terreno estándar mediante aditivos, es decir, al someter todos los tipos de mallas a las prue-

bas, es posible apreciar que la malla tipo triángulo no es la de mejor rendimiento al inicio de las pruebas y es necesario mejorar el terreno para obtener mejores resultados.

Tabla 4. Valores del SPT: modelado de una capa sin mejoramiento del terreno

Configuración de malla	Voltaje (kV)	Corriente de falla (kA)	Resistencia (Ω)	Resistividad $\Omega \cdot m$		
				IEEE 80-2013	IEEE 142-2007	IEC 62305-3
Triangular	12,45	0,065	191,54	4375,74		4272,74
Cuadrada	12,41	0,08	155,13	4939,38		5258,74
Circular	12,35	0,09	145,29	4172,57	4789,58	3564,71
Cuadrada-circular	12,33	0,11	117,43	4532,7		
Rejilla	12,41	0,12	107,87	4512,28		

Fuente: los autores

Tabla 5. Valores del SPT: modelado de una capa sin mejoramiento del terreno

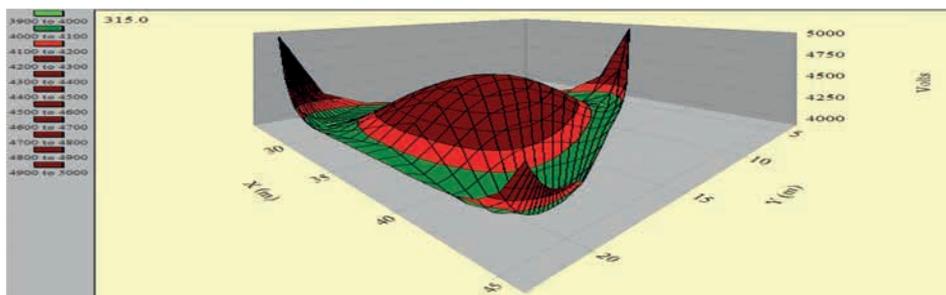
Configuración de malla	Voltaje (kV)	Corriente de falla (kA)	Resistencia (Ω)	Resistividad $\Omega \cdot m$		
				IEEE 80-2013	IEEE 142-2007	IEC 62305-3
Triangular	11,76	1,54	7,66	174,95		170,83
Cuadrada	11,48	2,41	4,77	151,92		161,75
Circular	11,72	1,6	7,32	198,34	241,36	179,64
Cuadrada-circular	10,87	3,29	3,3	127,47		
Rejilla	10,99	3,35	3,28	137,17		

Fuente: los autores

En la Figura 10 se aprecia como una malla triangular ofrece voltajes de toque bajos, excepto en el centro y las tres puntas. En la Figura 11 se muestra

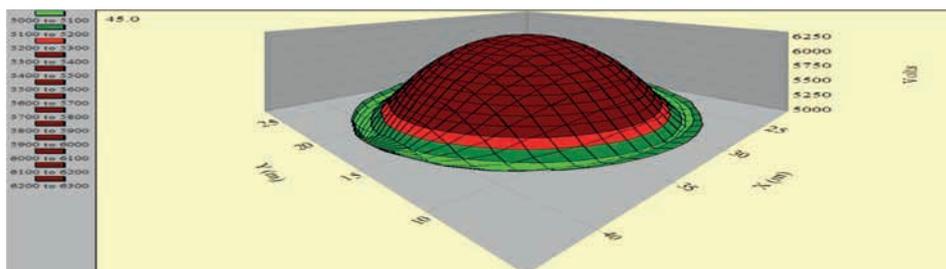
que una malla circular presenta voltajes de toque altos a medida que nos acercamos al centro, pero son eliminados los picos de voltaje en los extremos.

Figura 10. Distribución de voltaje de toque en malla triangular sin electrolito



Fuente: los autores

Figura 11. Distribución de voltaje de toque en malla triangular sin electrolito

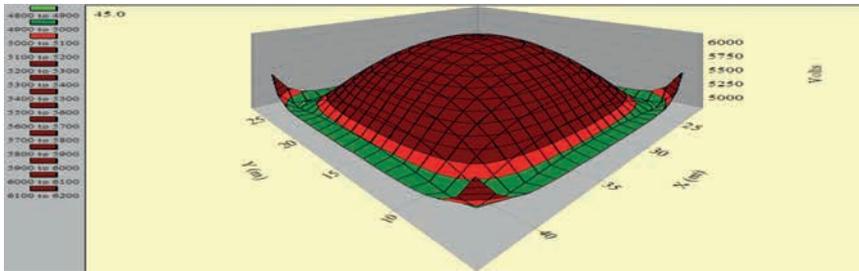


Fuente: los autores

La Figura 12 muestra como una malla cuadrada tiene voltajes de toque altos como en la triangular, pero disminuye en los bordes y en las esquinas. Al tener una punta más, se distribuye mejor el voltaje. En la Figura 13 podemos apreciar que los niveles de voltajes de toque, bajaron considerablemente con respecto a las otras configuraciones,

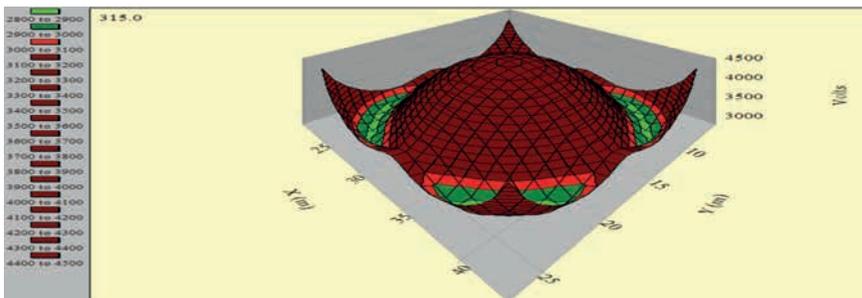
esto debido a la combinación de dos mallas (circular-cuadrada). En la Figura 14 podemos apreciar que la malla en rejilla, los voltajes de toque son aún más bajos que la configuración anterior. Por lo tanto, podemos concluir que la malla en rejilla, es la configuración de mejor rendimiento y que presenta mayor seguridad.

Figura 12. Distribución de voltaje de toque en malla cuadrada sin electrolito



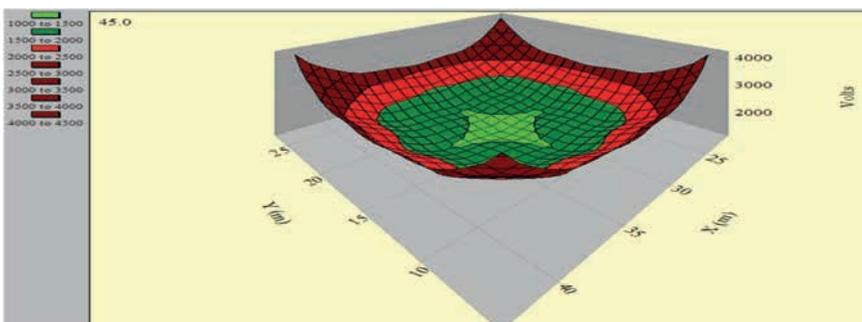
Fuente: los autores

Figura 13. Distribución de voltaje de toque en malla cuadrada-circular sin electrolito



Fuente: los autores

Figura 14. Distribución de voltaje de toque en malla tipo rejilla sin electrolito



Fuente: los autores

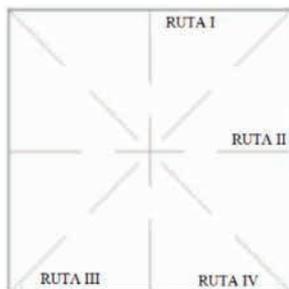
Al colocar electrolito (sal común) dentro del tanque electrolítico, se logra obtener una menor resistencia de las mallas a tierra en el sistema y se

consigue reducir los niveles de voltajes de toque y de paso en todas las configuraciones analizadas.

Una vez realizadas pruebas en el tanque electrolítico, se pasa a realizar mediciones en un terreno formado por arcilla compacta y arena, el terreno tiene como

medidas 2 m x 2 m x 0,1 m. En el terreno se trazan rutas como guías de medición como son mostradas en la Figura 15.

Figura 15. Rutas de medición en la malla



Fuente: los autores

Tener varios datos recopilados mediante la diversidad de las rutas permite aproximar el real valor del terreno. En la Tabla 6 son presentados los resulta-

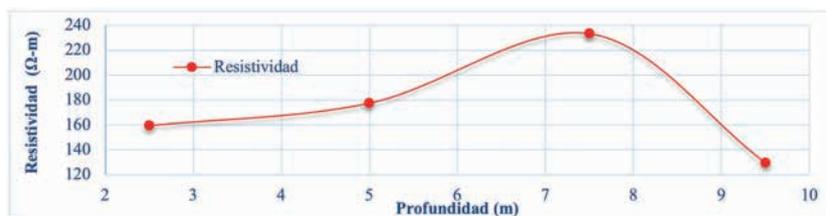
dos de las mediciones en ohmios de las diferentes rutas trazadas. Siendo presentadas la resistividad versus la profundidad del terreno en la Figura 16.

Tabla 6. Valores de resistividad del terreno

Separación entre electrodos (m)	Valor de la resistividad medido en Ruta 1 ($\Omega\text{-m}$)	Valor de la resistividad medido en Ruta 2 ($\Omega\text{-m}$)	Valor de la resistividad medido en Ruta 3 ($\Omega\text{-m}$)	Valor de la resistividad medido en Ruta 4 ($\Omega\text{-m}$)	Promedio ($\Omega\text{-m}$)
2,5	147,8	127,2	153,6	208,9	159,4
5	173,4	185	169,6	181,9	177,5
7,5	239,4	225,7	225,3	242,7	233,3
9,5	0	0	252,6	265,8	129,6

Fuente: los autores

Figura 16. Curva de la resistividad aparente del terreno



Fuente: los autores

Otro valor importante a obtener de las pruebas de terreno, es la resistencia del STP, la cual, se logra mediante el método de caída de potencial, que indica, que el electrodo de potencial es colocado al 62% de la distancia del electrodo de corriente para medir la resistencia exacta en un suelo homogéneo. Siendo así, en la Tabla 7 es posi-

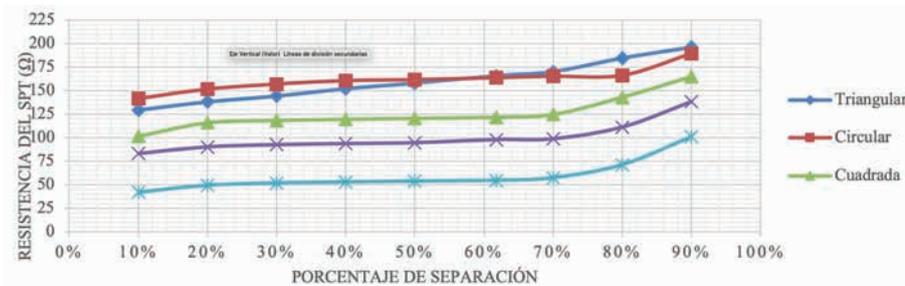
ble apreciar cómo al variar la posición en intervalos del 10% la resistencia cambia. Obteniendo como resultados que en los rangos entre 50% y 70% los valores de resistencias no presentan cambios significativos respaldando el método aplicado teóricamente con la práctica como es visualizado en la Figura 17.

Tabla 7. Valores del SPT: modelado de una capa sin mejoramiento del terreno

Malla	Distancia	10%	20%	30%	40%	50%	62%	70%	80%	90%
Triangular	30	129,5	138,1	144,3	152	158	165,8	170,1	184,4	195,9
Circular	60	141,6	151,6	156,9	160,6	161,6	163,7	165,3	166,2	189,2
Cuadrada	90	101,8	115,9	118,4	119,6	120,6	121,8	124,7	142,9	164,8
Cuadrada-circular	90	83,1	90,1	92,5	93,7	94,6	98	98,8	111,3	138,3
Rejilla	90	41,9	49,3	51,7	52,8	53,8	54,6	57,4	71,3	100,9

Fuente: los autores

Figura 17. Resistencias de las mallas STP



Fuente: los autores

4. Conclusiones

Como conclusión sobre la selección de una malla a tierra en un sistema determinado va más allá de presentar una resistencia baja para que se genere la descarga, sino que debe

prever una correcta distribución de los voltajes de exposición a los que una persona puede estar y el tiempo que los recibe.

Sobre el uso de un medio electro-lítico para realizar las mediciones de corriente, voltaje y resistencia de las mallas antes de ser aplicadas en campo, sobre todo a mallas de forma irregular que no es posible aplicarles en un software. De acuerdo a los gráficos y la comparación con software presenta una alta confiabilidad y es posible aplicarla a empresas que se dedican a la construcción de SPT. La obtención de datos mediante el método del campo electro-lítico, no nos permite encontrar la resistividad de manera

teórica de cada capa en el modelo de dos capas, debido a que en los tanques se simula un terreno uniforme, por lo tanto, no es aplicable la utilización del mismo.

Como resultados de las pruebas y comparaciones entre mallas, la malla circular al no poseer puntas distribuye de mejor manera los voltajes de toque y paso, pero como debilidad muestra un voltaje alto en el centro de la misma. Mientras que la malla tipo reja presenta los menores voltajes de falla en toda su distribución.

5. Referencias

- [1] SPT Ingeniería Ltd., Reglamento técnico de instalaciones eléctricas, Colombia, p. 222, 2008.
- [2] C. Astudillo y M. Cajamarca, Cálculo de sistemas de puesta a tierra aplicación de la norma IEEE 80-2000, Universidad de Cuenca, 2000.
- [3] J. Ramírez y E. Cano, Sistemas de puesta a tierra: diseñado con IEEE-80 y evaluado con MEF, 2010.
- [4] C. Víctor y E. Márquez, Análisis comparativo de voltajes de paso y toque en mallas circulares y rectangulares mediante la implementación de un tanque electro-lítico, Universidad Politécnica Salesiana, 2018.
- [5] O. Technology, Electrical Power System Analysis & Operation Software, 2018. Recuperado de <https://etap.com/>
- [6] E. Marcelo y F. Sandoval, Diseño de mallas de puestas a tierra bajo la norma IEEE 80-2000, utilizando herramientas informáticas en plataformas para sistemas operativos móviles, Departamento de Eléctrica y Electrónica de la ESPE, 2000.
- [7] D. Peñafiel y J. Quishpe, Deontología aplicada en diseño y construcción de mallas de puesta a tierra, 2018.
- [8] L. Ruiz, B. Guzmán, E. Perich y M. Fernández, “El abc de puestas a tierra de fuentes de generación en refinerías de México”, *Pet. Chem. Ind. Conf. - Bras.*, pp. 119-131, 2014.
- [9] M. Polo, J. Peña y L. Pacheco, “Calidad de la energía eléctrica bajo la perspectiva de los sistemas de puesta a tierra”, *Cienc. e Ing.*, vol. 38, 2017.
- [10] J. Arriola y J. Rodríguez, Desarrollo de un simulador para el diseño de redes de tierra de subestaciones de potencia, Universidad de El Salvador, 2016.
- [11] G. Jiménez, Dinámica y optimización de los sistemas de puesta a tierra, Universidad Nacional de Colombia, 2015.
- [12] I. López, Medición de tensiones de toque y paso en la instalación de subestación de transformación, Perú, 2009.
- [13] J. Panchana y J. Gallo, Riesgos por las Tensiones de Paso y de Contacto con Valores Subestándares, ESPOL, 2010.
- [14] Chauvin Arnoux Group, Guía de la medición de tierra, España, 2015.
- [15] Á. de I. Distribución, Medida de resistencia de puesta a tierra, Colombia, 2008.

Rheological behavior of bio-based composite: natural fiber/polypropylene

Comportamiento reológico de un material compuesto bio-basado: polipropileno reforzado con fibras naturales¹

C. Paltán,² J. Fajardo³

Abstract: *the present work evaluates the rheological behavior of a new bio-based composite material: thermoplastic matrix reinforced with natural fibers. Experimental runs were carried out by rheological analysis to evaluate the melt flow index, the shear viscosity and the rheological constants applying the Power law model and Cross WLF model. The results showed good agreement between rheological behavior of the composites and proposed models. The fiber content showed a thickening effect on the fluidity of the composites while the coupling agent improved their flow conditions. The study also includes the obtaining of the rheological constants of the materials studied that are required to computer models in order to optimize the injection cycles for the manufacture of environment friendly components.*

Keywords: *natural fibers, Guadua Angustifolia Kunth (GAK), composite material, rheology, melt flow index.*

Resumen: el presente trabajo evalúa el comportamiento reológico de un nuevo material compuesto bio-basado de matriz termoplástica reforzada con fibras naturales. Se realizaron corridas experimentales mediante análisis reológico para evaluar el índice de fluidez, la viscosidad a cizalla y las constantes reológicas aplicando los modelos de ley de potencia y Cross WLF. Los resultados mostraron gran coincidencia entre el comportamiento reológico de los compuestos y los modelos propuestos. El contenido de fibra mostró un efecto espesante sobre la fluidez del compuesto mientras que el agente de acople mejoró sus condiciones de flujo. El estudio incluye además la obtención de las constantes reológicas de los materiales estudiados que son requeridas para alimentar modelos computacionales que optimicen los ciclos de inyección para la fabricación en serie de componentes amigables con el ambiente.

Palabras clave: fibras naturales, Guadua Angustifolia Kunth (GAK), material compuesto, reología, índice de fluidez (MFI).

-
- 1 Agradecimiento a la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca por el financiamiento del proyecto “Modelamiento del comportamiento mecánico de un material compuesto polimérico natural mediante modelos micro-mecánicos” Resolución n° 008-004-2017-04-27.
 - 2 César Paltán Zhingre, máster en Mecánica de Materiales y Estructuras, ingeniero mecánico, miembro del Grupo de Investigación en Nuevos Materiales y Procesos de Transformación (GiMaT) de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Ecuador (cpaltan@est.ups.edu.ec).
 - 3 Jorge Fajardo Seminario, doctor en Ingeniería, máster en Ingeniería, ingeniero mecánico, miembro del Grupo de Investigación en Nuevos Materiales y Procesos de Transformación (GiMaT) de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Ecuador (jfajardo@ups.edu.ec).

1. Introducción

El crecimiento de la población mundial demanda un mayor consumo de bienes para el desarrollo, lo que ha modificado la importancia relativa de los materiales de ingeniería [1] [2]. El uso de productos elaborados con materiales poliméricos ha evidenciado un notable incremento. Solamente en las últimas tres décadas se han producido 21,6 millones de toneladas de polímeros, lo que ha generado un desplazamiento del consumo de materiales tradicionales como el acero, el bronce y el aluminio [1] [3] [4].

Los desafíos de la modernización han impulsado que los procesos de transformación de materiales sean más eficientes, económicos y novedosos [1] [5] [6]. No obstante, este gran consumo tiene un impacto negativo sobre el medio ambiente, la industria de los polímeros no es ajena a esta situación y se ha visto en la necesidad de desarrollar nuevos materiales para instalar un consumo responsable y un futuro sostenible [3] [4] [7] [10]. En este sentido, en los últimos años, atendiendo a factores tanto ecológicos como productivos, se establece como alternativa el uso de biopolímeros o materiales bio-basados [11]. El uso de materiales bio-basados a partir de polímeros reforzados con fibras naturales cortas, procesados mediante moldeo por inyección, ha ganado interés científico e industrial por la combinación de buenas propiedades mecánicas y menor impacto ambiental [12] [15].

Ante esta necesidad global de nuevos materiales bio-basados, en el Ecua-

dor se dispone de una gran cantidad de especies vegetales con potencial para extraer fibras reforzantes que merece especial atención [16] [18]. A pesar de la creciente demanda de materiales compuestos bio-basados, la literatura es escasa en cuanto a la información sobre propiedades reológicas que permitan ajustar los parámetros del ciclo de inyección en la producción de componentes con estos nuevos materiales. La inclusión de fibras vegetales al interior de una matriz polimérica genera cambios en sus condiciones de flujo que merecen ser estudiados y aplicados [19] [22]. El presente artículo está enfocado en evaluar el comportamiento reológico de un nuevo material compuesto bio-basado de polipropileno más fibra natural a diferentes composiciones con base en los modelos de ley de potencia y Cross WLF. En la sección dos se describe el uso de técnicas de reometría mediante analizador de Melt Index y reómetro capilar para obtener los datos experimentales. En la sección tres se detallan los resultados en los que se correlacionan los valores experimentales con los modelos reológicos disponibles en la literatura especializada, mediante un proceso de ajuste por mínimos cuadrados. Además, se evalúan los cambios de la viscosidad dentro de un rango de velocidades de cizalla típicas en procesos de extrusión e inyección de termoplásticos. Finalmente, en la sección cuatro se plantean algunas conclusiones sobre los principales hallazgos y la importancia del presente estudio.

2. Métodos

2.1. Materiales

El material compuesto bio-basado consistió en una matriz termoplástica de polipropileno-homopolímero (PP), reforzado con fibras naturales del bambú *Guadua angustifolia Kunth* (GAK) con diferentes contenidos: 20%, 30% y 40% w/w. Como agente de acoplamiento se utilizó anhídrido maleico injertado en polipropileno (MAPP) al 4% y 8% w/w. El material compuesto fue proporcionado por el grupo de investigación GiMaT de la Universidad Politécnica Salesiana en estado de *pellets* y contenido de humedad menor al 2%. En adelante, se designará al material compuesto como PP+GAK+MAPP. La muestra de control fue polipropileno sin reforzar (PP control).

2.2. Reometría MFI

Para analizar los cambios de índice de fluidez (MFI) de las distintas composiciones del material compuesto bio-basado, se utilizaron dos temperaturas de prueba: 230° C (según ASTM D1238-13) y 190° C para evitar la degradación de los componentes lignocelulósicos del reforzante.

2.3. Reometría capilar

Para determinar los coeficientes de los modelos reológicos, se utilizó la norma ASTM D3835-16, mediante el empleo de un reómetro capilar (Rosand RH 2200 de doble barril provisto por Malvern), para todos los casos se uti-

lizó un dado capilar con una relación largo/diámetro/ángulo igual a 20 x 1 x 90°. La corrección de Bagley se aplicó con un dado capilar de 0,25 x 1 x 180°. En todos los casos, se utilizaron transductores de presión de 10 000 psi y 1 500 psi. La fase experimental se realizó a 190° C, el rango de velocidad de deformación fue de 10 s⁻¹ hasta 2 000 s⁻¹.

2.4. Determinación de los coeficientes reológicos

A partir de los datos experimentales se obtuvieron las curvas que describen el comportamiento reológico del compuesto PP+GAK+MAPP, la identificación de las constantes reológicas se realizó mediante ajustes por mínimos cuadrados con los modelos matemáticos de ley de potencia y Cross WLF.

El modelo de ley de potencia es el más simple para la predicción precisa de la región de adelgazamiento por cizallamiento en la curva de viscosidad. El modelo también incluye la dependencia de la temperatura con la viscosidad:

$$\eta = m_0 \exp^{-a(T-T_{ref})} |\dot{\gamma}|^{n-1} \quad (1)$$

Donde m_0 es el índice de consistencia ($Pa \cdot s^n$) y a es el factor experimental (1° C).

El segundo ajuste se realizó con base al modelo de Cross WLF, que describe la dependencia de la temperatura, la velocidad de cizalla y la viscosidad:

$$\eta = \frac{\eta_0}{1 + \left(\frac{\eta_0 \dot{\gamma}}{\tau^*}\right)^{1-n}} \quad (2)$$

Donde η es la viscosidad del polímero fundido ($Pa \cdot s$), η_0 es la viscosi-

dad de cizallamiento cero, $\dot{\gamma}$ es la velocidad de cizalla ($1/s$), τ^* es el nivel crítico de tensión en la transición al adelgazamiento por cizallamiento y n es el índice de potencia en el régimen de alta velocidad de cizalla.

3. Resultados y discusión

3.1. Índice de fluidez

Por medio del análisis MFI se pudo determinar el efecto de la composición sobre la fluidez del material compuesto desarrollado. Se analizó la relación

que existe entre el contenido de fibras naturales (GAK) y el agente de acople (MAPP), con la de fluidez. La Tabla 1 presenta los valores de índices de fluidez de los compuestos formulados y del PP control, ensayados a 190° C y 230° C.

Tabla 1. MFI de los compuestos PP+GAK+MAPP y de PP a 190° C y 230° C

Composición	Temperatura (° C)	
	230	190*
PP+20GAK	11,26	3,99
PP+20GAK+4MAPP	11,32	4,28
PP+20GAK+8MAPP	11,92	4,55
PP+30GAK	6,12	2,55
PP+30GAK+4MAPP	8,06	2,98
PP+30GAK+8MAPP	9,72	3,92
PP+40GAK	5,66	1,67
PP+40GAK+4MAPP	6,10	1,95
PP+40GAK+8MAPP	8,97	3,66
PP (control)	11,96	5,39

* Temperatura recomendada para el procesamiento.

Fuente: los autores

Se observó una reducción lineal del índice de fluidez con la adición de fibra natural (GAK) si se lo compara con la matriz sin reforzante (PP control). El valor máximo de reducción del MFI se aproximó a un 50% (composición PP+40GAK+4M). Además, se observó un efecto espesante de las fibras naturales sobre la matriz termoplásti-

ca, esto se genera por el cambio en la configuración molecular del polímero que reduce su movilidad representada por el MFI. La temperatura del ensayo mostró un efecto directo sobre el índice de fluidez. Cuando se realizó la prueba con una temperatura de 190° C, la fluidez del material se redujo entre 37% y 45%. Este aspecto es negativo

si se considera procesar mediante técnicas de inyección que exige valores mayores de MFI. No obstante, con base en los ensayos termogravimétricos reportados [23] [24], un incremento en la temperatura de procesamiento iniciaría la degradación de las fibras al superar los 200° C, es por ello que se recomienda que los compuestos no sean procesados a temperaturas que excedan los 190° C. En este sentido, buscando mantener una temperatura relativamente baja de procesamiento, se evaluó el efecto que tiene el agente de acople sobre las condiciones de flujo y se observó un efecto lubricante. El MFI se vio incrementado entre 10% y 60% a medida que se incrementó el contenido de MAPP desde el 4% al 8% w/w. Dado que el agente de acople tiene un menor peso molecular con relación a la matriz termoplástica, se explica el incremento en la fluidez del material bio-basado, favoreciendo su procesamiento mediante técnicas de inyección y extrusión.

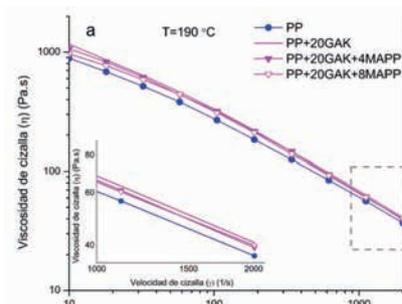
El ensayo mediante reometría MFI permitió entender los efectos de la adi-

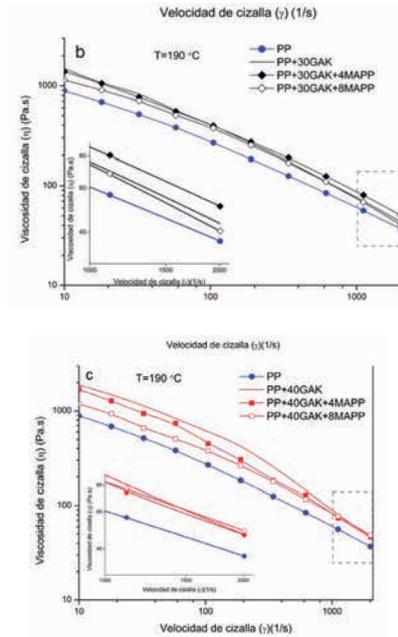
ción de contenidos de fibra natural y de agente de acople sobre la fluidez del termoplástico original (PP control). Para tener una mayor comprensión de este comportamiento se realizaron ensayos de reometría capilar, con el fin de evaluar el comportamiento de la viscosidad a diferentes composiciones y velocidades de cizalladura.

3.2. Reometría capilar

A partir de la técnica de reometría capilar se identificaron los efectos del contenido de reforzante natural (GAK) y del agente de acople (MAPP) sobre la viscosidad de los compuestos a diferentes velocidades de cizalla (Figura 1). La incorporación de fibras naturales de GAK incrementó la viscosidad de la matriz de PP hasta un 113%, a bajas velocidades de cizalla. Este efecto se explica debido al incremento de la fricción hidrodinámica entre el reforzante, con geometría acicular, y el polímero fundido, lo que limita la movilidad de las cadenas poliméricas, incrementando la viscosidad del compuesto resultante [25].

Figura 1. Efectos del contenido de fibra natural y agente de acople sobre la viscosidad de cizalla de compuestos PP+GAK+MAPP: 20% w/w GAK (a), 30% w/w GAK (b), 40% GAK (c)





Fuente: los autores

En los materiales poliméricos, la viscosidad es dependiente del peso y de la configuración molecular. La adición de fibras naturales, correctamente acopladas al polímero, producen una alteración en su conformación molecular, lo que genera cambios en su viscosidad [26]. El incremento de viscosidad fue más pronunciado a medida que se incrementó el contenido de fibras desde 20% hasta 40% w/w, lo que demuestra el dominio de las fibras sobre el flujo de estos materiales, con velocidades de cizalla menores a 100 s^{-1} . Este comportamiento se debe considerar para establecer un límite operativo del porcentaje de reforzamiento que no comprometa su procesabilidad en procesos de manufactura que requieran bajas velocidades de cizalla.

Por otra parte, a velocidades de cizalla mayores a 100 s^{-1} , la viscosidad del PP reforzado con fibras naturales se redujo exponencialmente, evidenciando un efecto de adelgazamiento por cizalladura, que es producido por la naturaleza polimérica de la matriz [27]. Es importante notar que a velocidades de cizalla mayores, la matriz es quien gobierna el flujo del material ya que se altera el equilibrio de las distancias espaciales entre fibras y se destruye su estructura tridimensional [28]. Este efecto también ha sido reportado por Wallenberger [25] en compuestos de bambú.

El efecto del agente de acople también fue analizado. En todos los casos se observó que además de facilitar la adhesión entre las fibras naturales

y la matriz termoplástica, el MAPP presenta un efecto lubricante que mejora notablemente las condiciones de flujo. La correcta formulación tanto de fibras naturales reforzantes y del agente de acople garantiza la fluidez del compuesto bio-basado para la obtención de productos inyectados y extruidos, ya que en todos los compuestos estudiados, la viscosidad de cizalla alcanzó valores similares al del PP control para valores de velocidad de cizalla superiores a 1000 s^{-1} , que son valores típicos de estos procesos de manufactura. Esta información es de gran utilidad en el camino hacia la diversificación de aplicaciones de los materiales compuestos bio-basados ya

que permite entender sus condiciones de flujo y evidencia la factibilidad de poder utilizarlos en el moldeo por inyección sin sacrificar tiempos de ciclo y por tanto manteniendo la rentabilidad del proceso.

3.3. Coeficientes del modelo reológico

A partir de los datos experimentales se observó que todas las composiciones se ajustan adecuadamente con los modelos reológicos de ley de potencia (ecuación 1) y de Cross WLF (ecuación 2). Se obtuvieron R^2 mayores a 0,99 para los dos modelos. Los coeficientes reológicos correspondientes al modelo ley de potencia se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2. Coeficientes reológicos del modelo ley de potencia

	m_0 (Pa · s ⁿ)	a (1° C)	n	R^2
PP (control)	2 978	0,003065	0,4729	0,9957
PP+20GAK	4 117	0,004798	0,4387	0,9977
PP+20GAK+4MAPP	3 655	0,004085	0,4607	0,9955
PP+20GAK+8MAPP	3 151	0,00331	0,4892	0,9917
PP+30GAK	6 258	0,006578	0,4274	0,994
PP+30GAK+4MAPP	4 716	0,005718	0,4524	0,9973
PP+30GAK+8MAPP	3 673	0,004088	0,4909	0,9912
PP+40GAK	8 125	0,009954	0,415	0,9817
PP+40GAK+4MAPP	5 856	0,008046	0,4379	0,9919
PP+40GAK+8MAPP	3 861	0,004416	0,4799	0,9956

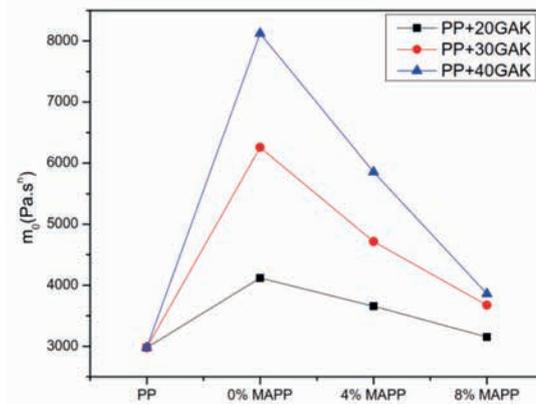
Fuente: los autores

Los resultados obtenidos para el índice de consistencia m_0 mostraron un aumento en función del incremento del contenido de fibra (Figura 2). Este comportamiento se produce por un incremento en el porcentaje de cristalinidad

del material debido a que se aumentan los sitios de nucleación por la presencia de las fibras. Un efecto contrario se evidenció al adicionar e incrementar los contenidos de MAPP. Este comportamiento ratifica el efecto lubricante que

tiene el agente de acople sobre el compuesto fundido, debido principalmente a su menor peso molecular con respecto al de la matriz original de PP.

Figura 2. Comportamiento del índice de consistencia m_0 a 190° C

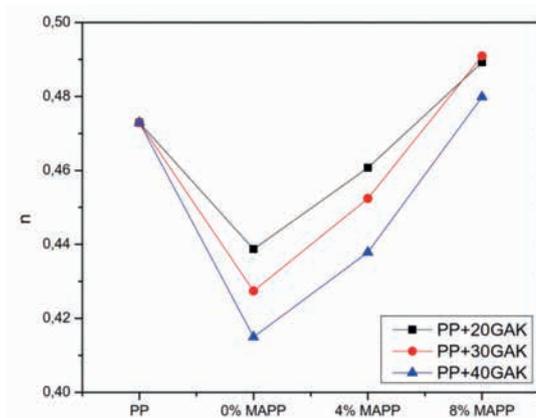


Fuente: los autores

Por su parte, el exponente de la ley de potencia n mostró una reducción progresiva de su valor con el incremento del contenido de fibras, lo que produce una mezcla fundida más viscosa (Figura 3). Por el contrario, al incrementar el contenido

de MAPP las mezclas se presentan más fluidas debido al incremento del coeficiente de potencia. Este comportamiento es consistente con lo mencionado en los apartados previos y con lo reportado por Osswald [29] y Klysoven [30].

Figura 3. Exponente de la ley de potencia n a 190° C



Fuente: los autores

Tabla 3. Ajuste al modelo de viscosidad de Cross-WLF

	n_0	τ^*	n	r^2
PP	3 070,6889	7545	0,3714	0,9991
PP+20GAK	4 319,3492	10544	0,3428	0,9997
PP+20GAK+4MAPP	3 807,39829	9067	0,3597	0,999
PP+20GAK+8MAPP	3 257,04344	7622	0,3816	0,9968
PP+30GAK	6 683,49227	13390	0,3204	0,998
PP+30GAK+4MAPP	4 993,51955	10520	0,3537	0,9997
PP+30GAK+8MAPP	3 826,2636	9090	0,385	0,9964
PP+40GAK	8 975,38408	19550	0,315	0,9905
PP+40GAK+4MAPP	6 346,64785	14420	0,3312	0,9965
PP+40GAK+8MAPP	4 035,32247	10040	0,3795	0,9981

Fuente: los autores

4. Conclusiones

En el presente trabajo se evaluó el comportamiento reológico de un nuevo material compuesto bio-basado PP+GAK+MAPP a diferentes composiciones con base en los modelos de ley de potencia y Cross WLF. Se evaluaron los cambios del índice de fluidez y de la viscosidad dentro del rango de velocidades de cizalla típicas en procesos de extrusión e inyección de termoplásticos.

Se observó que el contenido de fibra tiene un efecto espesante sobre la matriz del polímero expresado en la reducción del MFI, el incremento del índice de consistencia y la reducción exponente de potencia. Este efecto se debe principalmente a la formación de zonas de nucleación que incrementan el porcentaje de cristalinidad del polímero. Por su parte, el agente de acoplamiento produce un efecto lubrican-

te mejorando considerablemente las condiciones de procesamiento de los compuestos formulados y llevando los valores de MFI y viscosidad de cizalla a rangos adecuados para ser procesados mediante extrusión e inyección sin la necesidad de incrementar las secciones de los canales de alimentación ni los requerimientos de presión de inyección. En todos los compuestos formulados, se observó que a velocidades de cizalla cercanos a $2\,000\text{ s}^{-1}$ la matriz gobierna las condiciones de flujo.

El estudio aporta además con una base de datos de las constantes reológicas del material compuesto PP+GAK+MAPP, que puede ser utilizada en software de elementos finitos especializados en inyección para caracterizar las propiedades de flujo de este tipo de materiales y conseguir simulaciones mucho más consistentes con los

fenómenos reales que se producen al procesarlos. Estos resultados permitirán configurar ciclos de inyección optimizados para la fabricación en serie de componentes a partir de materiales bio-basados.

5. Referencias

- [1] T. Osswald *et al.*, “Retos en la industria de procesamiento de plásticos y compuestos”, *Dyna*, vol. 79, n° 175, pp. 20-28, 2012.
- [2] “El excesivo crecimiento de la población mundial amenaza su sostenibilidad”, *Agua y Riego: Cambio Climático*, 23 de noviembre de 2011. Recuperado de <https://bit.ly/2Zn7MHK/>
- [3] L. Martínez, M. López, A. Vázquez y M. Arroyo, “Efecto de distintos tipos de fibra corta en las propiedades mecánicas de las mezclas de polipropileno/polietileno”, *IV Coloquio Latinoamericano Fatiga Jornadas*, pp. 1017-1024, 2000.
- [4] P. Colta y D. José, Desarrollo experimental de *blends* de polipropileno con fibras naturales lignocelulósicas, diciembre, 2014.
- [5] M. Centeno, El desarrollo esquivo: intentos y logros parciales de transformación económica y tecnológica en el Perú (1970-2000), Fondo Editorial PUCP, 2003.
- [6] E. Velázquez, Visualización de la distribución de las fibras de vidrio producidas durante la extrusión de polímeros reforzados, 2010.
- [7] P. Aguilar, K. Quesada, R. Sibaja y J. Vega, “Utilización de las fibras del rastrojo de piña (*Ananas comusus*, variedad champaka) como material de refuerzo en resinas de poliéster”, *Revista Iberoamericana de Polímeros*, vol. 6, n° 2, p. 4, 2005.
- [8] E. Sandoval, A. Quintero y A. Aponte, “Reología y textura de masas: Aplicaciones en trigo y maíz”, *Ing. E Investig.*, vol. 25, n° 1, pp. 72-78, 2005.
- [9] D. Chung, T. Kwon *et al.*, “Fiber orientation in the processing of polymer composites”, *Korea-Aust. Rheol. J.*, vol. 14, n° 4, pp. 175-188, 2002.
- [10] M. Ospina, R. Mejía, S. Delvasto, J. Monzó, M. Borrachero y J. Payá, “Modificación de la morfología de la ceniza de cascarilla de arroz por molienda de alta energía y su efecto en las propiedades reológicas de pastas de cemento portland adicionadas”, *Rev. Latinoam. Metal. Mater.*, vol. 1, n° 2, pp. 577-584, 2009.
- [11] D. Garraín, Desarrollo y aplicación de las categorías de impacto ambiental de ruido y de uso de suelo en la metodología de análisis de ciclo de vida, Universitat Jaume I, 2009.
- [12] J. Posada y L. García, “Comportamiento de materiales compuestos a partir de matriz polimérica con nanocargas en el proceso de moldeo por inyección usando software de simulación”, *Entre Cienc. E Ing.*, vol. 8, n° 15, pp. 57-61, 2014.
- [13] A. Arboleda y V. Washington, “Desempeño mecánico de materiales compuestos termoplásticos reforzados con fibras naturales para rotomoldeo”, *Instname*, Universidad Autónoma Occidente, agosto, 2014.
- [14] J. Arribas, J. Navarro, J. Perea y C. Rial, “Compuestos del polipropileno reforzado con fibras vegetales. Una alternativa ecológica para la industria del automóvil”, *Rev. Plásticos Mod.*, n° 538, pp. 467-475, 2001.
- [15] Z. Yan *et al.*, “Reinforcement of polypropylene with hemp fibres”, *Compos. Part B Eng.*, vol. 46, pp. 221-226, 2013.
- [16] A. Miravete, *Materiales compuestos 03*, vol. 1, Reverté, 2003.
- [17] V. Vuure *et al.*, “Natural fibre composites: recent developments”, *V Eucass-European Conference for Aerospace Sciences*, 2013.

- [18] “Las fibras naturales: año internacional de las fibras naturales 2009”. Recuperado de <https://bit.ly/2ykWqLj/>
- [19] J. Picas, J. Guasch, A. Forn, A. Castaño y E. Ruperez, “Nuevos materiales base aluminio para moldes de inyección de plásticos”, *XXIII Encuentro Grupo Esp. Fract.*, pp. 29-23, 2006.
- [20] G. Menges, G. Mohren, L. Mestre y A. Massanet, *Moldes para inyección de plásticos*, Gustavo Gili, 1980.
- [21] H. Rodríguez y A. Samira, *Efecto de los modelos reológicos en la simulación del proceso de inyección*, Universidad Simón Bolívar, Sartenejas, 2007.
- [22] B. Abbes, R. Ayad, J. Prudhomme y J. Onteniente, “Numerical simulation of thermoplastic wheat starch injection molding process”, *Polym. Eng. Sci.*, vol. 38, n° 12, p. 2029, 1998.
- [23] J. Fajardo Seminario, *Determinación del estado de orientación de fibras cortas, mediante procesamiento digital de imágenes, en un compuesto termoplástico polipropileno/bambú moldeado por inyección*, 2015.
- [24] J. Santos, J. Fajardo, A. Cuji, J. García, L. Garzón y L. López, *Evaluación experimental y simulaciones de la contracción volumétrica y alabeo en moldeo por inyección de un compuesto polimérico reforzado con fibras naturales cortas*, 2014.
- [25] F. Wallenberger y N. Weston (eds.), *Natural fibers, plastics and composites*, Boston, Kluwer Academic Publishers, 2004.
- [26] H. Essabir, A. Elkhaoulani, K. Benmoussa, R. Bouhfid, F. Arrakhiz y A. Qaiss, “Dynamic mechanical thermal behavior analysis of doum fibers reinforced polypropylene composites”, *Mater. Des.*, vol. 51, pp. 780-788, octubre, 2013.
- [27] A. El-Sabbagh, “Effect of coupling agent on natural fibre in natural fibre/polypropylene composites on mechanical and thermal behaviour”, *Compos. Part B Eng.*, vol. 57, pp. 126-135, 2014.
- [28] M. Rueda *et al.*, “Rheology and applications of highly filled polymers: A review of current understanding”, *Prog. Polym. Sci.*, vol. 66, pp. 22-53, marzo, 2017.
- [29] T. Osswald *et al.*, *International plastics handbook*, 2006.
- [30] A. Klyosov, *Wood-plastic composites*, John Wiley & Sons, 2007.

Chain agrifood of cocoa in the context of the Ecuadorian Amazon

Cadena agroalimentaria de cacao en el contexto de la Amazonía ecuatoriana

I. Cañadas,¹ N. Sablón²

Abstract: *the integration between companies of the same supply chain, is an international practice with a marked interest in agrifood chains. Where more and more, companies subsist very little in the market in isolation, so their strength lies with whom they interrelate for the achievement of stability. For this reason, the objective of this article is: to diagnose the integration of the cacao bar supply chain of the Ecuadorian Amazon by identifying the actors and the opportunities to improve this approach in the chain of study. This study focused on the actors that produce chocolate bars from 50% to 90% concentration made in the Ecuadorian Amazon. A checklist was applied for the integration analysis in each actor and in the chain in general, together with the variables that this instrument has. The chain is mapped and each link in particular is described, along with the identification of its opportunities for improvement. From this, the level of integration and its present and future strategy were identified. Other results of this work, are framed in that there are 5 links in the chain of study, 9 industries, 4 collection centers and farms that are located in the provinces of: Napo, Pastaza, Sucumbíos and Orellana, this is the practical contribution of this investigation. Together with the low integration presented by the object of study.*

Keywords: *supply chain, agrifood chain, cocoa, integration, Ecuadorian Amazon.*

Resumen: la integración entre empresas de una misma cadena de suministro, es una práctica internacional con un marcado interés en las cadenas agroalimentarias. Donde cada vez más, las empresas subsisten muy poco en el mercado de forma aislada, por lo que su fortaleza radica con quién se interrelacionen para el logro de la estabilidad. Por tal motivo, el objetivo de este artículo es: diagnosticar la integración de la cadena de suministro de barras de cacao de la Amazonía Ecuatoriana mediante la identificación de los actores y de las oportunidades de mejora de este enfoque en la cadena de estudio. Este estudio se enfocó en los actores que producen barras de chocolate desde 50% a 90% de concentración, elaboradas en la Amazonía ecuatoriana. Se aplicó una lista de chequeo para el análisis la integración en cada actor y en la cadena en general, junto con las variables que cuenta dicho instrumento. Se mapea la cadena y se describe cada eslabón en particular, junto con la identificación de sus oportunidades de mejora. A partir de esto, se identificó el nivel de integración y su estrategia presente y futura. Otros resultados de este trabajo, se enmarcan en que existen cinco eslabones en la cadena de estudio, nueve industrias, cuatro centros de acopio y chacras que se ubican en las provincias de Napo, Pastaza, Sucumbíos y Orellana, en esto radica el aporte práctico de esta investigación. Junto con la baja integración que presenta el objeto de estudio.

Palabras clave: *cadena de suministro, cadena agroalimentaria, cacao, integración, Amazonía ecuatoriana.*

1 Irma Lucía Cañadas Salazar, ingeniera en Alimentos, maestrante de la Universidad Estatal Amazónica, Ecuador (ms_agroi005@uea.edu.ec).

2 Neyfe Sablón Cossío, doctora en Ciencias Técnicas, ingeniera industrial, docente-investigadora de la Universidad Técnica de Manabí, Ecuador (nsablon@utm.edu.ec).

1. Introducción

La integración en la cadena de suministro es un término que transita desde la interrelación de los procesos y flujos internos de cada empresa, hasta la combinación de los procesos y flujos de múltiples actores [1]; donde dichos procesos se alinean en función de la estrategia de la cadena, con el objetivo de satisfacer al cliente [2].

Por otro lado, la integración tiene dos perspectivas: vertical y horizontal [3]. En el primer caso, los nodos de la cadena aceptan el hecho de que sea una sola entidad (empresa virtual) que recolecte y transmita la información a los demás nodos para que desarrollen los procesos correspondientes [4]. En segundo lugar, y como una tendencia más actual, se considera una colaboración de tipo horizontal, en donde cada nodo se relaciona con el que considere oportuno y, según las necesidades, crea relaciones de tipo colaborativa o no [5]. Un nodo de integración se define como un punto de interacción en las cadenas de suministro para obtener un resultado conjunto, donde intervienen varios actores que se interconectan por medio de los flujos materiales, informativos y financieros, para brindar productos y servicios a los clientes [6].

Existen etapas de desarrollo de la integración en función de la complejidad tales como: asignación, en donde se asignan recursos; negociaciones de mercado, incluyen discusiones enfocadas hacia el precio y las relaciones como socios y adversarios; a posteriori

la asociación donde se establecen acuerdos económicos; seguido de la cooperación que busca establecer contratos a largo plazo con pocos proveedores; la coordinación que establece compartir información por las diferentes vías de tecnología de la información y las comunicaciones; hasta que se establece la colaboración, donde se manifiesta la integración de la cadena, se realiza la planificación conjunta y se comparte la tecnología [7].

Existen varias filosofías de gestión que potencian la integración en la cadena de suministro: la respuesta eficiente al consumidor, el inventario gestionado por el vendedor, la reposición continua, la planificación, pronósticos y reaprovisionamiento colaborativos, la gestión de eventos de la cadena de suministro, entre otras [8].

En el Ecuador, el cacao es un producto básico para la economía del país debido a: es de los más sembrados y cosechados [9], y en el lugar específico de la investigación, los de mayor procesamiento industrial [10], un producto significativo en la exportación [11] y se ubica dentro de las cadenas agro-productivas más analizadas.

A partir de este análisis bibliográfico y con esta perspectiva de la interrelación entre actores es que, se definió el objetivo de este artículo que es: diagnosticar la integración de la cadena de suministro de barras de cacao de la Amazonía Ecuatoriana mediante la

identificación de los actores y de las oportunidades de mejora de este enfoque en la cadena de estudio. Debido a

esto, este estudio se realizó en una cadena de tipo alimentaria, en esto radica su importancia.

2. Métodos

Se utilizó parte de la metodología del modelo de planificación colaborativa estratégica de cadenas de suministro de Sablón [7], en específico, la etapa de diagnóstico, que es aplicable a cualquier tipo de cadena. Aquí se aplicó una lista de chequeo para la evaluación de la integración en la cadena, compuesta por 91 elementos, sustentados en las variables definidas por VICS. A saber: la planificación colaborativa, el pronóstico colaborativo, el reaprovisionamiento colaborativo y el desempeño colaborativo [12]. En el instrumento, se cambia la escala de medición de uno a cinco. Los ítems en algunos casos son cuantitativos y en otros cualitativos. Los primeros, presentan una escala ordinal, desde uno hasta tres, en la investigación se utiliza la media para la evaluación de los ítems. Los segundos, poseen una escala nominal que varía según el tipo de pregunta y el análisis se realiza en función de la frecuencia, el valor que más porcentaje presenta (donde el analista interpreta los resultados en relación con su experiencia) y el enfoque de planificación colaborativa.

La escala es: mayor que cero y menor o igual a uno, “Nivel Muy Bajo”; mayor que uno y menor o igual a dos, “Nivel Bajo”; mayor que dos y menor o igual a tres, “Nivel Medio”; mayor

que tres y menor o igual a cuatro “Nivel Alto”; mayor que cuatro y menor o igual a cinco, “Nivel Muy Alto”.

Los niveles de integración se inician desde la asignación de recursos por un organismo gubernamental o el Estado, hasta la colaboración entre los actores de la cadena, transitando por la negociación, asociación, cooperación y coordinación. A partir de la identificación del nivel de integración se selecciona la estrategia que se debe utilizar y los objetivos para alcanzarlos.

Se realizó el mapeo de la cadena de suministro de cacao de la Amazonía ecuatoriana, fundamentalmente a los actores que producen barras de chocolates desde 50% y 80% de concentración. Se mapeó el 95% de los actores, aunque la aplicación del instrumento fue menor, solamente a las medianas empresas y a las principales asociaciones. Esto se debe a la dispersión de los actores, fundamentalmente en el eslabón de la siembra. A partir de estos elementos se definieron oportunidades de mejora para la cadena objeto de estudio.

El estudio se realizó en 2017 y parte de 2018. El nombre de las empresas no se menciona para garantizar su confidencialidad. La investigación es exploratoria en su primer momento, porque se inicia con la identificación de los actores del

sector cacaoero de la Amazonía ecuatoriana y se utilizó una entrevista abierta para este objetivo; a la vez que descriptiva, porque se caracteriza la cadena de

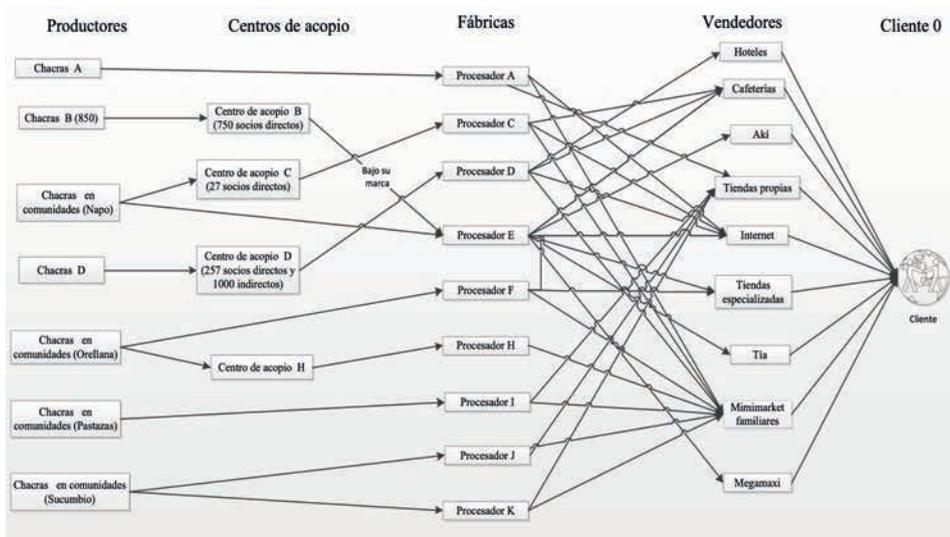
suministro en estudio y se evalúa el nivel de integración y sus variables asociadas. Estos argumentos se clasifican según los criterios de Sampieri [13].

3. Resultados

La cadena de suministro de cacao de la Amazonía ecuatoriana está compuesta por eslabones y actores, su flujo material se identifica en el mapa del objeto de estudio [14] (Figura 1). Se enfoca esta cadena a las barras de chocolate de varias

concentraciones, para iniciar el estudio con un producto. El estudio se enmarca en la zona geográfica de la Amazonía ecuatoriana la parte de la siembra, cosecha y acopio, el procesamiento y la venta pueden o no encontrarse en esta región.

Figura 1. Mapa de la cadena de suministro de cacao en la Amazonía ecuatoriana



Fuente: las autoras

Esta cadena presenta cinco eslabones que lo conforman: nueve industrias, cuatro centros de acopio y chacras que se ubican en las provincias de Napó, Pastaza, Sucumbíos y Orellana. El primer eslabón, los proveedores, está constituido por entidades tanto nacio-

nales como extranjeras y son las encargadas de aprovisionar a las industrias y a los agricultores de los insumos para realizar las actividades de cosechas y semi elaboración del tangible.

El segundo eslabón son los centros de acopio. Debido a la forma de siem-

bra y cosecha se necesitan de estos para concentrar las semillas y frutos de cacao en cantidades representativas para los procesadores. En estos centros se recolecta el cacao de diferentes formas, en función de las características de la industria donde se elaborará el chocolate en sus diferentes concentraciones y mezclas. Los procesadores, tercer eslabón, en muchas ocasiones solo elaboran barras de chocolate, con alta concentración que se venden a otros actores que la refinan y lo denominan bajo su marca. Este elemento provocado una disminución de las ganancias de las industrias.

El cuarto eslabón, los vendedores ofrecen productos en forma mayoristas y minoristas a las distintas empresas y personas naturales. A nivel nacional, existen empresas a las cuales el cacao amazónico viene vendido como materia prima, para posteriormente ser elaborado y transformado en productos de alto valor agregado, es el caso de asociaciones muy conocidas como Procesador B

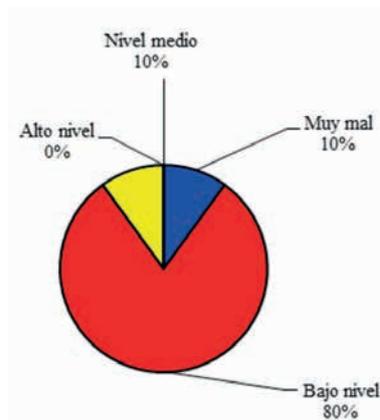
que vende parte de su cacao a grandes empresas como Pacari, Salinerito, Lindt, Ferrero, Nestlé, etc. Este cacao proveniente de las asociaciones conformadas a su vez por pequeños agricultores, pasa a formar parte de estas grandes cadenas de suministro, por lo que radica ahí la importancia de capacitar a los productores que contribuirán a elevar el valor al producto final.

El quinto elemento, el cliente, es quién consume el producto final de una marca u otra. En algunos casos, se trata de unir el chocolate a la tradición de la zona, las culturas indígenas. Esta es una estrategia que posibilita aumentar el valor al producto final.

3.1. Evaluación de la cadena

Se aplica la lista de chequeo de Sablón [7], donde se identifica el nivel de integración de cada actor y de la cadena en general. Primero, se estima el porcentaje por niveles de integración de los actores:

Figura 2. Evaluación de los actores de la cadena



Fuente: las autoras

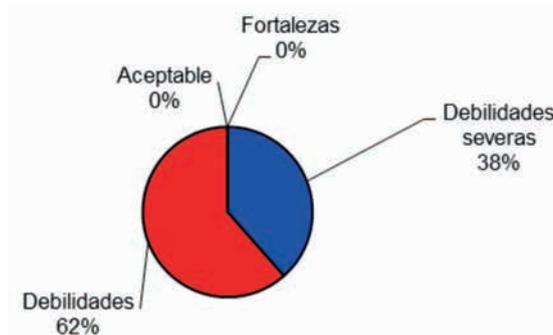
Esto se resumió en que el 80% de los actores se ubica en un bajo nivel, un 10% muy mal y el resto en una evaluación baja. En relación a la integración total de la cadena, se ubica en valor muy mal. A la vez se cuantifican 21 deficiencias encontradas mediante entrevista a cada actor. Por otro lado, se establece que el valor más bajo del nivel de integración de la cadena es dos, porque es el valor más bajo que presenta un actor que pertenece a dicha cadena. Debido a esto, la cadena se ubica en el segundo nivel de integración, donde cada empresa se enfrenta a las otras en el mercado, en vez de buscar aliados que fortalezcan su negocio. Al ubicarse en la segunda etapa de integración, las estrategias se deben enfocar en pasar de una estrategia básica de discusión enfocada a liderazgos en costos, diferenciación,

enfoque o nicho a otra de la unión de bienes en procesos críticos con fines solo económico u otro interés, más relacionada con las asociaciones. Los objetivos estratégicos se basan en:

- Nivel de servicio. Aumentar a un 70% la disponibilidad de los productos para la venta en el Ecuador.
- Competitividad. Mejorar la integración de la cadena de suministro con un medio de nivel de integración. Formular contratos de colaboración entre los actores de la cadena. Sistematizar los mecanismos de información y comunicación que potencien gestión integrada en la cadena.

Estos objetivos se basan en la satisfacción del cliente. Por otro lado, se identifica que existen 62% de debilidades y 38% de debilidades severas:

Figura 3. Estructura del estado del modelo de planificación estratégica de las cadenas de suministros



Fuente: las autoras

Esto se debe a los resultados de la integración y a las formas de siembra y cosecha del cacao en esta zona del país, a través de chacras. Las chacras se de-

finen como un conjunto de medios culturalmente específicos de construcción bio-social y en el caso de la implementación de patrones de desarrollo soste-

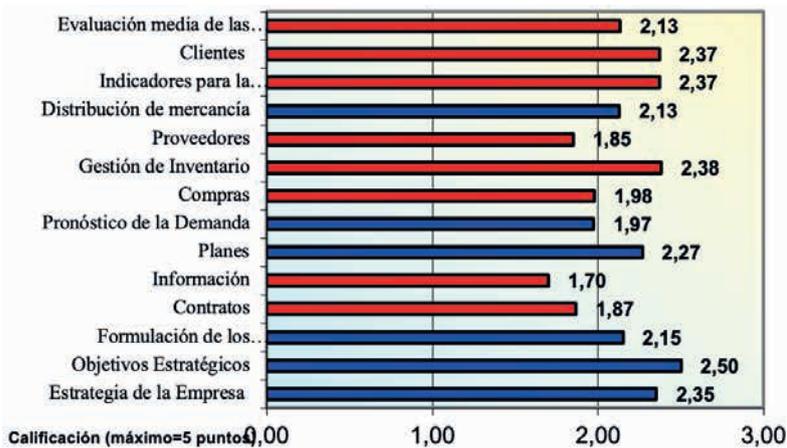
nible adaptados localmente [15]. Esto impide la forma tradicional de siembra, la extensiva, por lo que los volúmenes en este eslabón son bajos y provenientes de muchos actores.

Por otro lado, se identifican las variables de mayor debilidad es la información (con una media de 1,70), seguido de la contratación (con una media de 1,87), la gestión de proveedores (con una media de 1,85), el pronóstico

de la demanda y de las compras (con una media de 1,97). El resto de las variables es superior a 2, pero hasta 2,50, siendo valores bajos (Figura 4).

La evaluación demuestra que la cadena se debe enfocar en varios frentes, pero fundamentalmente en los elementos que fomenten la relación entre actores, como que las asociaciones pasen de ser entes formales a facilitadores de la gestión integrada de la cadena.

Figura 4. Evaluación de las variables de la integración



Fuente: las autoras

A partir de los resultados del estudio de la cadena, se definieron como oportunidades de mejora:

- Capacitar al personal en base a la necesidad de la contratación para la mejora en la gestión de cada actor y de la cadena.
- Diseñar un sistema de información, que asegure el registro y gestión de la información en la cadena, de forma oportuna y segura.
- Obtener mecanismos específicos para la negociación dentro de las asociaciones, más allá del formalismo de esta organización.
- Aumentar el número de actores que producen un producto elaborado, y no una materia prima a un bajo costo, y con ello fortalecer el tema cultural en el desarrollo de cada producto y servicio.
- Elevar la calidad de la materia prima, mediante el entrenamiento

- en técnicas de siembra, cosecha y transportación de la semilla y fruto del cacao.
- Estimar la demanda de los clientes de la cadena, junto con un estudio de mercado para el diseño de un producto de mayor valor agregado, que evidencie la cultura ancestral de la región.
- Calcular los ciclos y costos logísticos dentro de la cadena.
- Analizar la disponibilidad de barras de cacao y otros productos a nivel nacional, junto con la variedad en diferentes puntos de venta.
- Valorar la formalización de un operador logístico que realice las operaciones de transporte y distribución en cada punto de la cadena.
- Diseñar proyectos de desarrollo para los productos y posibles servicios.

4. Discusión

Este tipo de estudio no presenta una gran relevancia teórica, sino de aplicación, debido a la necesidad de la implementación de la filosofía en integración de la cadena de suministro en el Ecuador. Existen varios estudios de la temática, por ejemplo Barrientos Felipa [16], que se enfoca en el estudio de la cadena de valor del cacao en Perú, el cual se enfoca en un estudio económico sobre las relaciones entre actores, la cantidad de productos, los precios y las oportunidades en el mercado. La diferencia radica en que nuestro artículo se enfoca en la descripción de los actores de la cadena

de suministro de barras de cacao en la Amazonía ecuatoriana, una región de productos definidos. El estudio es preliminar, debido a que es exploratorio y no conclusivo, por lo que en una segunda fase del estudio se diagnosticó la cadena en particular y sus actores.

A nuestro criterio, esta cadena objeto de estudio se encuentra en un nivel básico, donde se necesitan diagnósticos logísticos, diseño de productos, acuerdos legales entre actores, proveedores certificados, industrias que respeten la marca del producto y desarrollo de marcas. Para con esto encaminarse a una cadena de valor en esta zona geográfica.

5. Conclusiones

- El reto principal del desarrollo de las cadenas de suministro enfocada a productos alimenticios según las autoras del presente artículo, es el reconocimiento del talento humano de la necesidad de aplicación de la filosofía de la integración en
- redes para la mejora en los niveles satisfacción de los clientes.
- En la cadena territorial de la Amazonía ecuatoriana, se identifican las deficiencias asociadas a los diferentes eslabones y necesidades que inciden en la baja integración de la cadena agroalimentaria.

- Por otro lado, se identifica como variable de mayor debilidad la contratación y la información entre los actores de la cadena.

6. Referencias

- [1] H. Arani y S. Torabi, "Integrated material-financial supply chain master planning under mixed uncertainty", *Information Sciences*, vol. 423, pp. 96-114, 2018.
- [2] F. Hamdi, F. Masmoudi y L. Dupont, Supply chain risk management, conceptual framework, Springer Heidelberg, pp. 745-754, 2018.
- [3] J. Hernández, "Propuesta de una arquitectura para el soporte de la Planificación de la Producción Colaborativa en Cadenas de Suministro tipo árbol" (Tesis doctoral), Departamento de Organización de Empresas, Universidad Politécnica de Valencia, 2011.
- [4] R. Alfalla, C. Medina y P. Kumar, "Supply chain integration framework using literature review", *Production Planning & Control*, vol. 24, pp. 800-817, 1 de septiembre de 2013.
- [5] H. Bautista, J. Martínez, G. Fernández, M. Bernabé, F. Sánchez y N. Sablón, "Integration model of collaborative supply chain", *DYNA Medellín*, vol. 83, n° 193, 2015.
- [6] Y. Pardillo, R. Andersson, P. Manfredsson y P. Hilletoft "Can Lean Six Sigma philosophy help to improve collaboration to get more integrated supply chains?", *XXIV EurOMA Conference*, 1-5 de julio de 2017, Edinburgh.
- [7] N. Sablón, M. Pérez, H. Bautista, F. Sánchez, E. Orozco y R. Arias, "Strategic collaborative planning model and its applications in Ecuador, Mexico and Cuba", *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 26-27 de julio de 2018, París, France.
- [8] APICS, "Certified Supply Chain Professional, CSCP", *Learning System*, vol. 4.2, 2018.
- [9] SIN, Sistema Nacional de Información del Ecuador, Indicadores de cosecha y siembra, 2017. Recuperado de <https://bit.ly/304Em0V/>
- [10] J. Espinel, V. Espinel, S. Abad y J. Fonseca, Política Industrial del Ecuador 2016-2025, Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad y Ministerio de Industria y Productividad, 2016.
- [11] Instituto de Promoción de Exportaciones e Inversiones, Dirección de Inteligencia Comercial e Inversiones, Ficha Técnica Países, febrero, 2017.
- [12] APICS, Supply Chain Operations Reference Model, 2018.
- [13] R. Sampieri, Metodología de la investigación, vol. 1 y 2, Toronto, 2007.
- [14] I. Cañadas y N. Sablón, "Mapeo de la cadena de suministro de cacao en el contexto de la Amazonía ecuatoriana", *ECA Sinergia*, 2019.
- [15] D. Huelva, A. Higuchi, R. Alfalla, R. Burgos y R. Arias, "Co-Evolution and Bio-Social Construction: The Kichwa Agroforestry Systems (Chakras) in the Ecuadorian Amazonía", *Sustainability*, 2017. Recuperado de <https://bit.ly/100oHIq/>
- [16] P. Barrientos, "La cadena de valor del cacao en Perú y su oportunidad en el mercado mundial," *Semestre Económico*, vol. 18, 2015.

**SESIÓN TÉCNICA DE CIENCIA,
TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN
PARA LA INFORMACIÓN Y LAS
TELECOMUNICACIONES**

Matlab demo detection system of sinus tachycardia and bradycardia using Coherence Function, MSC and Cross Spectrum

Prototipo de un sistema de detección de taquicardia
y bradicardia sinusal usando Coherence Function, MSC
y Cross Spectrum en Matlab¹

G. Alvarado,² G. Fernández,³ F. Gordillo⁴

Abstract: *when we see a person with a heart problem, the response time is crucial for a safe diagnosis. Many times medical exams must be seen by a specialist and, in an emergency, obtaining a reliable and fast result is almost impossible. Under this premise and thinking about how valuable life is, we developed a prototype that can analyze an ECG signal and compare it with a database to determine what kind of cardiac pathology the person has, this is through coherence function, the magnitude square coherence (MSC) and the cross spectrum.*

Keywords: *sinus tachycardia, sinus bradycardia, Coherence Function, MSC, Cross Spectrum.*

Resumen: cuando vemos a una persona con un problema cardíaco, el tiempo de respuesta es crucial para un diagnóstico seguro. Muchas veces los exámenes médicos deben ser vistos por un especialista y, en una emergencia obtener un resultado confiable y veloz es casi imposible. Bajo esta premisa y pensando en cuán valiosa es la vida, desarrollamos un prototipo que puede analizar una señal de ECG y compararla con una base de datos para determinar qué clase de patología cardíaca tiene la persona, esto es mediante la Coherence Function, la magnitud de coherencia cuadrada (MSC) y el Cross Spectrum.

Palabras clave: taquicardia sinusal, bradicardia sinusal, Función de Coherencia, MSC, Cross Spectrum.

-
- 1 Los autores desean expresar su agradecimiento por el apoyo prestado durante este trabajo a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Politécnica Salesiana, al Ing. Gino Alvarado y a todas las personas que de alguna forma brindaron su ayuda para la realización del mismo.
 - 2 Gino Alvarado, máster en Telecomunicaciones, docente de la Carrera de Telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (galvarado@ups.edu.ec).
 - 3 Gissella Fernández, estudiante de la Carrera de Telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (gfernandez@est.ups.edu.ec).
 - 4 Fátima Gordillo, estudiante de la Carrera de Telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (fgordillo@est.ups.edu.ec).

1. Introducción

En la actualidad la salud de las personas se va deteriorando día con día por varios factores, como cambios climáticos bruscos, ritmo acelerado de vida, estrés, tipo de alimentación, entre otros, siendo el corazón, de los órganos del cuerpo más afectados, reportándose miles de pérdidas humanas anuales por enfermedades cardíacas, entre las que resaltan las arritmias a la cual pertenecen la taquicardia y bradicardia sinusal, estas cifras poseen tendencia al incremento al no llevar el correcto control y prevención de las cardiopatías en base a estos aspectos surge la idea de desarrollar este proyecto.

El desarrollo del presente proyecto se enfoca en destacar la importancia de los cuidados preventivos de una persona con posibles problemas del

corazón, debido a que al sufrir males-tares momentáneos de tipo cardíaco, el tiempo de respuesta ante un evento de taquicardia o bradicardia es de vital importancia para tomar decisiones de revisión médica, en la totalidad de las ocasiones los electrocardiogramas deben ser revisados por un especialista en cardiología para emitir un diagnóstico veraz, pero en emergencias o circunstancias del día a día del paciente es poco probable contar con un médico especialista. Pensando en lo importante que es preservar la salud y la vida, se desarrollará un demo que a primera instancia podrá analizar una señal real de ECG y compararla con una base de datos a través de algoritmos de correlación de señales para notificarnos la arritmia cardíaca que se está presentando en la persona.

2. Antecedentes

2.1. El ciclo cardíaco

La sucesión de acontecimientos eléctricos que se producen desde que inicia de un latido hasta el comienzo del siguiente [1].

2.2. Electrocardiograma (ECG)

El electrocardiograma es un documento para la recolección de los datos del comportamiento eléctrico de corazón que se produce durante cada ciclo cardíaco en función del tiempo. Las muestras de la señal se capturan desde

la superficie del cuerpo del paciente y se muestran gráficamente en un papel cuadrículado, donde se observan las ondas que representan la actividad eléctrica de los ventrículos y aurículas. La información que se puede obtener de la gráfica electrocardiográfica puede determinar parámetros como ritmo cardíaco y estado del funcionamiento de cavidades, lo cual está asociado al diagnóstico de numerosos problemas cardíacos [2].

El ECG describe ondas, segmentos e intervalos de tiempo. Las ondas se

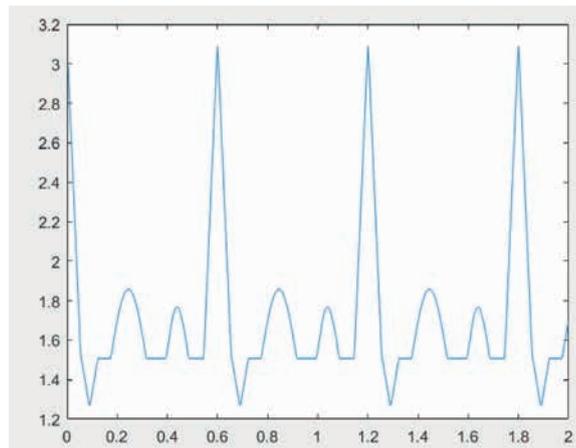
conocen como onda P, onda Q, onda R, onda S, onda T y onda U. Los segmentos son la duración del tiempo entre las ondas. La onda P representa la despolarización de las aurículas y marca el comienzo de la contracción de la aurícula que envía sangre a los ventrículos. Las ondas Q, R y S generalmente se conocen como parte de una onda única llamada onda QRS, que muestra la despolarización del miocardio ventricular y marca el comienzo de la contracción ventricular que envía sangre a las plumadas y al resto del cuerpo. La onda T muestra la repolarización de los ventrículos necesarios para una próxima contracción. Y el final de la onda T coincide con el final de la contracción ventricular.

Finalmente, la onda U se puede ver en un ECG, pero con una amplitud 10% menor que la onda T y está relacionada con la repolarización de las estructuras del endocardio [3].

Un ECG se considera en un ritmo sinusal normal si la onda P es positiva en las derivaciones inferiores. Las ondas P deben ir seguidas de un complejo QRS, el intervalo RR debe ser constante y la frecuencia cardíaca debe estar entre 60 y 100 latidos/minuto.

El primer paso en un análisis de ECG es determinar si la frecuencia cardíaca es regular o irregular. Entonces podemos ver si el corazón tiene un ritmo normal, en otras palabras, si las señales están en ritmo sinusal [4].

Figura 1. Señal de ECG normal



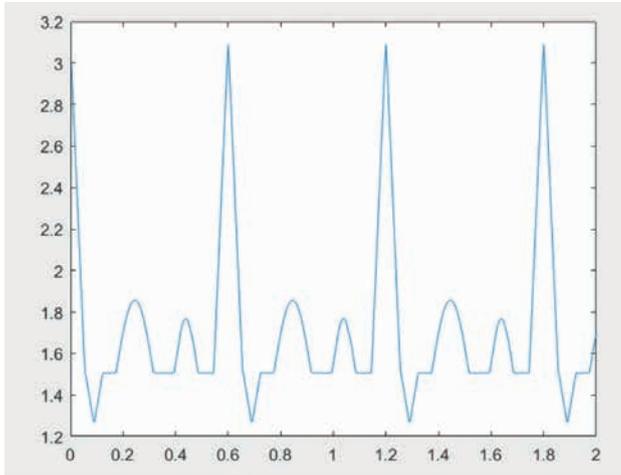
Fuente: los autores

2.3. Taquicardia

Se origina en el nodo sinusal con un ritmo cardíaco acelerado, para la determinación de esta arritmia se ob-

serva en la electrocardiografía una frecuencia cardíaca de 100 a 160 latidos, ritmo cardíaco regular, onda P normal y cada onda P se sigue del QRS [5].

Figura 2. Señal de ECG con taquicardia sinusal



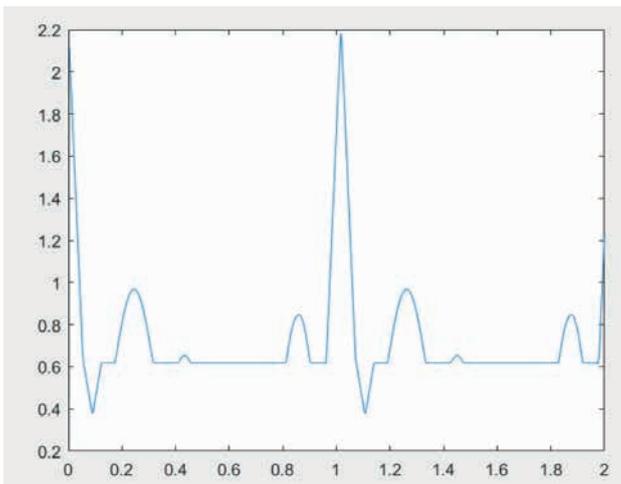
Fuente: los autores

2.4. Bradicardia

La bradicardia sinusal es una patología arrítmica originada por irregularidades que perjudican la formación de impulsos en el nodo sinusal y la transmisión de impulsos eléctricos en

las aurículas. Se detecta bradicardia sinusal cuando el individuo registra una frecuencia cardiaca inferior a 60 latidos por minuto cuando el nódulo sinusal trabaja como marcapasos principal [6].

Figura 3. Señal de ECG con bradicardia sinusal



Fuente: los autores

Con base en estas dos patologías se desarrolló un código en Matlab que compara la señal de entrada del ECG con una señal de ECG de almacenamiento normal, señal de taquicardia y señal de bradicardia. El método utilizado para determinar si la señal de ECG de entrada pertenece a una señal de ECG normal, señal de taquicardia o señal de bradicardia es entre Coherence Function, MSC y Cross Spectrum. Eso nos da un porcentaje considerable para hacer un pre-análisis del ECG correcto.

2.5. Coherence Function

Este método es muy eficiente en la estructura de la salud por lo que realiza un análisis de la señal, este consiste en medir señales y determinar en qué extensión se relacionan linealmente entre sí en frecuencia. Coherence Function es una función frecuencial adimensional que tiene solo parte real y entrega valores en el rango de 0 a 1. Lo ideal es que Coherence debería ser 1 en todas frecuencias, esto indica que las señales están linealmente relacionadas, sin embargo, existen perturbaciones que pueden afectar a la señal provocándole un descenso a 0 lo cual significa que las señales no están correlacionadas [7].

$$C_{xy}(\omega) = \frac{S_{xy}}{S_{xx}S_{yy}} \quad (1)$$

2.6. Magnitude Squared Coherence (MSC)

MSC es una herramienta de procesamiento de señales que indica el nivel

de coincidencia de dos señales de dominio de tiempos diferentes al rastrear las dependencias lineales en su descomposición espectral. Para estimar el valor de similitud, las dependencias lineales en el espectro la descomposición de $x(t)$ y $y(t)$ son rastreados por el método de MSC (ω) con valores a diferentes frecuencias según:

$$MSC_{xy}(\omega) = \frac{|P_{xy}(\omega)|^2}{P_{xx}(\omega) * P_{yy}(\omega)}$$

Donde, P_{xy} es la densidad espectral de potencia cruzada de $x(t)$ y $y(t)$, y P_{xx} y P_{yy} son las densidades espectrales de potencia relacionadas.

Para calcular la potencia y las densidades espectrales de potencia cruzada entre $x(t)$ y $y(t)$, se utiliza típicamente el método de periodo grama estimador de Welch que consiste en el promedio de las diversas estimaciones de coincidencia de las señales. Consiste en dividir primero las dos señales en (ω) ventanas de tiempo de la misma longitud (es decir, con el mismo número de muestras) y luego calcular las densidades espectrales de potencia de cada ventana antes de promediarlas para obtener los valores finales de MSC (ω) a diferentes frecuencias [8].

2.7. Cross Spectrum

El análisis Cross Spectrum puede determinar la relación estadística lineal entre dos series de tiempo. Comúnmente se supone que en dos series temporales se han mostrado picos estadísticamente significativos en la

misma frecuencia el objetivo del análisis Cross Spectrum es determinar si estas periodicidades están relacionadas entre sí analizar cuál es la relación de fase entre ellas.

$$r_{xy}[k] = E\{x[n]y^*[n - k]\}$$

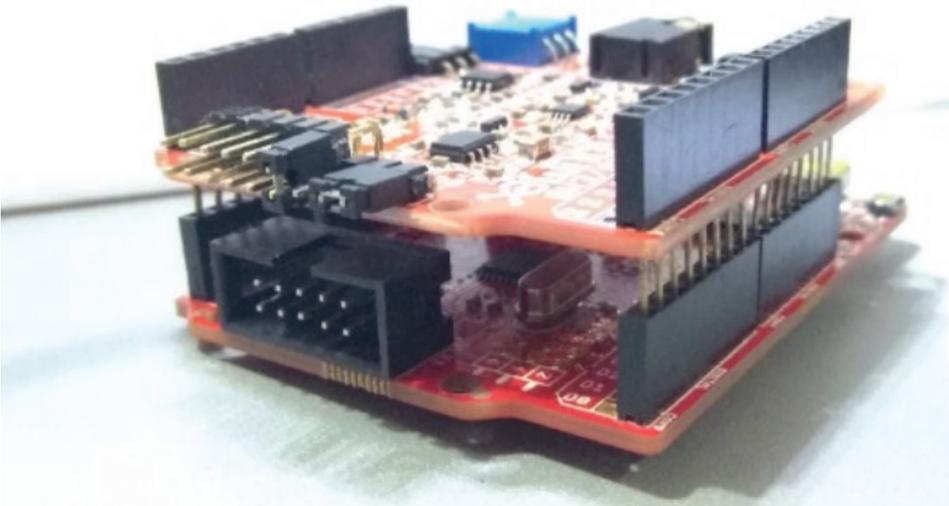
$$S_{xy}(\omega) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} r_{xy}[k]e^{-j\omega k}$$

3. Diseño

En el desarrollo del prototipo de detección de taquicardia y bradicardia sinusal se utilizan las siguientes tarjetas electrónicas: Olimexino 328 y Olimex ECG Shield. El Shield es la tarjeta

que permite a la palca Olimexino 328 capturar señales electrocardiográficas mediante la integración de un cable profesional EKG/EMG con conector para electrodos de gel adhesivos.

Figura 4. Montaje de las tarjetas electrónicas

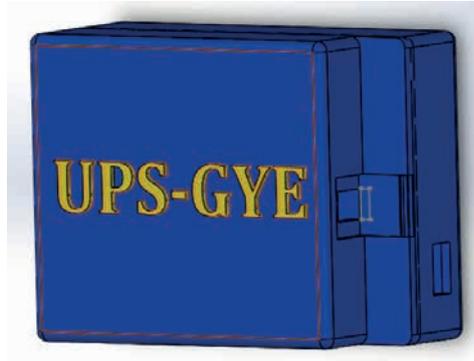


Fuente: los autores

Este diseño mecánico es la carcasa del prototipo elaborado con las medidas de las tarjetas para proteger los componentes electrónicos de cada una.

Este diseño fue realizado en el software Solid Works e impreso con tecnología 3D en material ABS color azul con detalles en relieve alto de color amarillo.

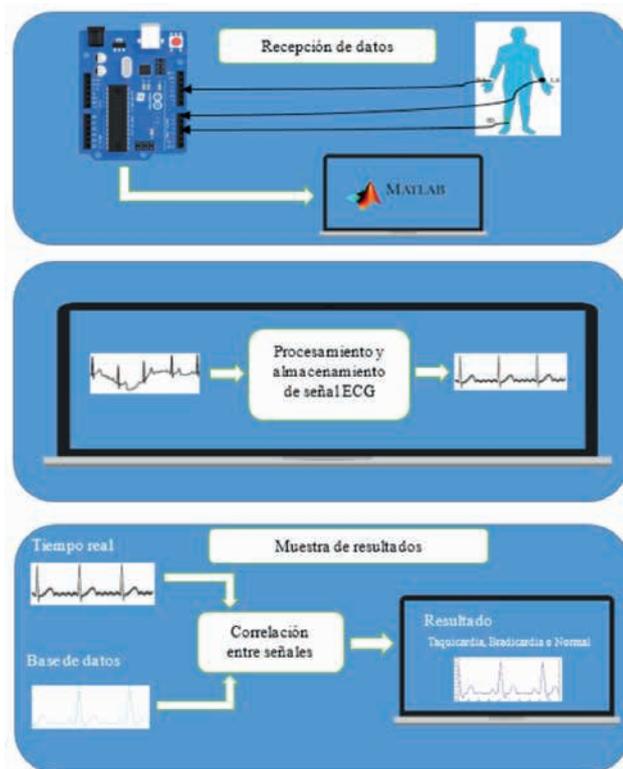
Figura 5. Diseño del case



Fuente: los autores

Como se muestra en la Figura 6, el programa se divide en tres grupos:

Figura 6. Diagrama del proceso del programa



Fuente: los autores

3.1. Recepción de datos

Para la recepción de datos se carga el programa de captación e interpretación en la placa Olimexino 328, este programa obtiene la información recibida de los electrodos, tomando una muestra cada 0,004 segundos con la ayuda de la librería Flexi Timer 2, los pines análogos utilizados son A0 y A1, los valores de estos son sumados y enviados mediante la comunicación serial a una velocidad de 57 600 bits por segundo.

Al iniciar el programa en Matlab, se crea la base de datos que contendrá todas las posibles señales con una duración de 2 segundos correspondientes a bradicardia, taquicardia o normal, las mismas que son generadas mediante funciones que puede simular la señal ECG que crea por separado cada parte de la señal (P, QRS, T, U) para luego reconstruirla y replicarla dependiendo de la duración seleccionada, la ventaja de esta simulación es que se puede obtener cualquier tipo de señal con tan solo modificar su *heart beat*, las muestras para la generación de estas señales son tomadas cada 0,004 segundos, una vez generada cada una de las señales se las normaliza para que tengan valores entre 1 y -1, con esto logramos tener nuestro centro de la señal en el origen.

Seguidamente se crea la conexión serial entre la placa base Olimexino 328 y Matlab, obteniendo así las muestras del individuo de prueba en tiempo real. Se toma el primer grupo de muestras del cual se espera obtener dos señales

ECG con una duración de 2 s con muestras cada 0,004 s. Cada muestra se toma desde el comienzo de la onda R, para saber en qué momento se considera que es el inicio de la onda R se configura un *threshold*, el cual será el límite superior, si la señal pasa ese límite es considerado una onda R y se comenzara a captar la señal con una duración de 2 s al igual que la base de datos. De la misma manera se tomarán las siguientes muestras tantas veces como se haya configurado, la configuración por defecto obtiene cuatro señales ECG. Estas muestras son guardadas en una matriz de datos para luego procesarlas.

3.2. Pre-procesamiento y almacenamiento de las señales

Luego de obtener las señales de duración de 2 s en tiempo real captadas por el Olimexino 328 comienza la etapa de pre procesamiento, la cual consiste inicialmente en el preparado de las señales, eliminando las frecuencias altas generadas por interferencias causadas por el entorno. Para eliminar las interferencias es necesario el uso de un filtro pasa bajo, en este proyecto se utilizó un filtro con respuesta de impulso de duración finita (FIR) de tipo de orden mínimo.

Una vez eliminado el ruido, es necesario normalizar las señales para eliminar tendencias no lineales, obteniendo así una señal con valores entre 1 y -1 con su centro en el cero, esta se logra mediante las funciones Polyfit y Polyval, fácilmente accesibles en Matlab.

3.3. *Procesamiento y resultado final*

Se compara cada señal obtenida con toda la base de datos generada al inicio del programa, inicialmente se comparan las longitudes de las señales (señal de tiempo real y señal de base de datos) y se toma el número de muestras menor, para de esta forma realizar la correlación entre ambas señales, la correlación utilizada es la de Spearman debido a que se especializa en señales monótonas entregando así una mayor fiabilidad en el resultado. Esta correlación devolverá un valor entre 1 y -1, lo que significa que mientras más alejado esté de 0 mayor correlación existen entre las señales comparadas. Por cada señal captada en tiempo real, se obtendrá un valor de correlación máximo, que corresponderá a la comparación de todas las correlaciones realizadas de la señal con la base de datos, debido a que en la base de datos se tiene relacionado las señales con su correspondiente grupo (taquicardia, bradicardia o normal) se puede identificar fácilmente a que grupo corresponde dicha correlación máxima, guardando estos valores en

una lista de resultados (se guardaran las descripciones, si son bradicardia, normal o taquicardia con sus respectivos valores de correlación).

Al final se comparará el número de bradicardias, taquicardia y normales obtenidas de las correlaciones, seleccionando el de mayor frecuencia como resultado final. Para corroborar estos resultados también se aplica Cross Spectrum entre la señal de la base y las señales captadas en tiempo real, estas comparaciones se realizan en el dominio del tiempo y es por eso por lo que fue necesario la normalización de las señales, como resultado de esa función se devuelve una nueva señal con valores entre 0 y 1, donde 1 significa que existe una alta coherencia entre las señales comparadas.

3.4. *Interfaz gráfica*

La interfaz gráfica se la realizo de manera sencilla y amigable para el usuario final, el mismo que no necesariamente debe estar familiarizado con el programa, pero le debe ser intuitivo como se muestra en la Figura 7.

Figura 7. Interfaz gráfica del programa



4. Resultados

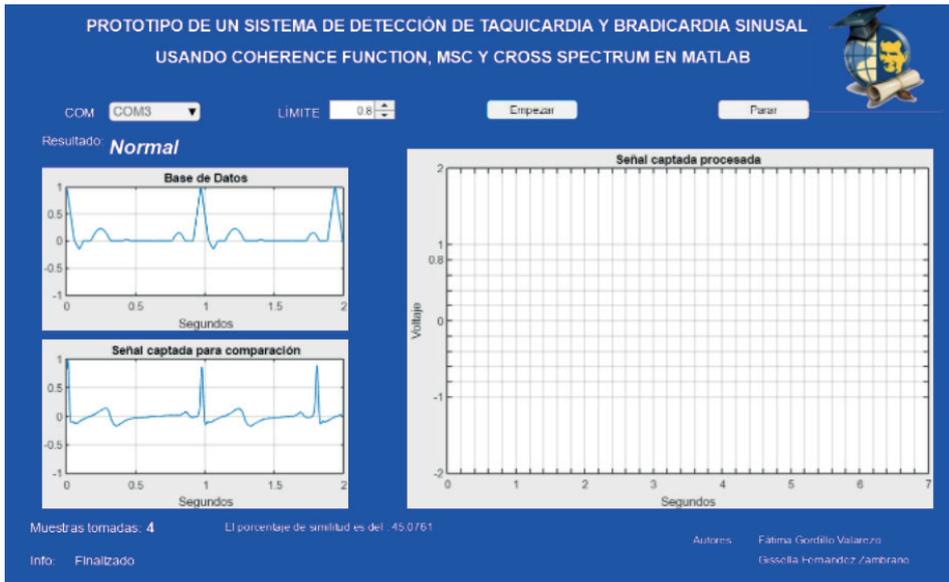
Las pruebas de funcionalidad y aceptación de este prototipo se llevaron a cabo en distintos escenarios de evaluación. En el primer escenario se realizaron las pruebas de funcionamiento en las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana en el laboratorio de diseño electrónico en presencia del tutor de este proyecto.

Para la realización de las pruebas de funcionamiento de la siguiente etapa se pone en práctica el protocolo implementado y sugerido por el médico cardiólogo Marlon Ruiz Segovia mé-

dico principal del consultorio de cardiología Mater Dai.

Veinte de los cincuenta adultos mayores de la Fundación Lenin Cali Nájera se realizaron las pruebas médicas en primer lugar con el equipo médico marca EDAN modelo SE 1200 Express que se muestra en la Figura 8 este es un equipo médico de 12 derivaciones con pantalla táctil y teclado alfanumérico e impresora integrada y cables electrocardiógrafos con sensor tipo pinza y tipo pera [9].

Figura 8. Electrocardiograma comercial



Fuente: [9]

Luego de que los pacientes se realizaban el electrocardiograma comercial se verificaba si el resultado contenía

alguna cardiopatía relacionada con el proyecto y se procedía posteriormente a realizar las pruebas con el prototipo

para realizar la comparación con el resultado del prototipo.

4.1. Validación profesional

Para la validación profesional del prototipo del sistema de detección de taquicardia y bradicardia sinusal usando los métodos de coherencia, MSC y

Cross Spectrum en Matlab se realizó una encuesta dirigida a profesionales del área de salud en materia de cardiología, enfermería o cuidados del adulto mayor y fisioterapeutas. Se escogió una población total de diez profesionales que observaron el funcionamiento del prototipo.

Tabla 1. Perfil profesional de los encuestados

Profesionales de salud encuestados	Frecuencia	Porcentaje (%)
Médicos cardiólogos	4	40%
Licenciadas enfermería	4	40%
Físico-terapeuta	2	20%

Fuente: los autores

4.2. Validación y prueba de satisfacción del usuario

Para la validación y prueba de satisfacción del usuario del prototipo de un sistema de detección de taquicardia y bradicardia sinusal usando los métodos de coherencia, MSC y Cross Spectrum en Matlab, se realizó una

encuesta dirigida a las personas que observaron el funcionamiento del sistema. La población escogida para la validación fue de cuarenta adultos mayores pertenecientes al Centro Diurno Canitas Alegres Dos, de la Fundación Lenin Cali Nájera, en el Guasmo Sur, veinte de los cuales participaron la fase de pruebas del proyecto.

Tabla 2. Género de los encuestados

Género	Frecuencia	Porcentaje
Masculino	23	57%
Femenino	17	43%
Total	40	100%

Fuente: los autores

5. Conclusiones

- Se implementó un prototipo de detección de arritmias mediante el uso de hardware libre que incluye

la integración de una placa base de marca Olimex 328 basada en Arduino, un Shield ECG acoplado de

la marca Olimex especializado en el tratamiento de señales bioeléctricas y un juego de cable profesional ECG de tres vías con electrodos de gel solido electro conductor, que permite la adquisición, transmisión, tratamiento y almacenamiento de los datos del paciente.

- El tratamiento digital de la señal electrocardiográfica tomada en tiempo real se realizó mediante filtros digitales tipo de impulso de duración finita FIR de orden mínimo que permitió la disminución del ruido en el rango de 50 y 60 Hz causados por el entorno.
- El uso de la librería ArduinoIO para cargar directamente el programa desde Matlab en la Shield EKG creaba ciertos retrasos en la toma de muestras de las señales y desviación en la obtención de los datos, debido a que la velocidad de muestreo era de KHz captando una un dato cada 2 s, por esta razón se cargó directamente el programa al controlador ATMEGA 328 de la placa base Olimexino 328 mediante el software Arduino con la versión 1.8.5 y la librería Flexitimer 2, de esta forma se pudo obtener una velocidad de muestreo de 56 kHz captando un dato cada 0,004 s.
- El software de programación Matlab permite el almacenamiento de datos (señales y resultados) en formato de texto (txt) que pueden ser visualizados en otro tipo de software como Excel o Java.
- El equipo al ser portable y fácil de usar permite ser usado por personas sin un conocimiento previo de ingeniería o medicina, lo que lo hace un dispositivo versátil para uso doméstico de tipo preventivo para personas sanas, propensas o con enfermedades cardiacas.

6. Referencias

- [1] E. John, Tratado de fisiología médica, 2016.
- [2] G. Vega, Diseño y construcción de un electrocardiógrafo de 12 derivaciones para el análisis de señales cardiacas, Cuenca, 2012.
- [3] EKG. Recuperado de <https://bit.ly/31Bb6zR/>
- [4] EKG, 2015. Recuperado de <https://bit.ly/2vsRX56/>
- [5] S. Galván, Arritmias cardiacas, mayo, 2006. Recuperado de <https://bit.ly/33mU0aB/>
- [6] J. Vogler, G. Breithardt y L. Eckardt, "Bradi-arritmias y bloqueos de la conducción", *Esp Cardiol*, pp. 656-667, 2012.
- [7] WDAC, Poellabauer, Fundamentals of Wireless Sensor Networks, Unided Kingdom, Wiley, 2010.
- [8] S. Tiran, A. Dehbaoui y P. Maurine, Magnitude Squared Coherence based SCA, 28 de octubre de 2017. Recuperado de <https://bit.ly/2YXw4af/>
- [9] EDAN Instruments, 2005. Recuperado de <https://bit.ly/2YW0pKy/>

Communications system model for wireless network control systems (WNCS)

Modelo de sistema de comunicaciones para sistemas de control en red inalámbrico (WNCS)

C. Pillajo,¹ D. Zapata,² R. Hincapié³

Abstract: *the generation of traffic for wireless network control systems (WNCS) is a very important design parameter that directly affects the stability of the control systems and the level of congestion of the communication systems. In the present work, a modeling framework of wireless sensor and actuator networks is proposed in the WNCS, where the exchange of data from the sensor to the controller and from the controller to the actuator is communicated through a lossy network. The performance model is then used to derive the optimal traffic generation speed from sensors and controllers to minimize the maximum probability of interruption of the stability restriction of the control systems. The resulting problem is a non-linear optimization problem that allows obtaining the global optimum. An efficient approach converts the proposed optimization problem into a linear programming problem. From the respective simulation it is proposed that the optimal solution allocates higher traffic generation speed in the controller-actuator link in comparison with the sensor-controller link, since the action link is more critical to guarantee the stability of the systems control.*

Keywords: *wireless communication, WNCS, sensor-actuator network.*

Resumen: la generación de tráfico para los sistemas de control en red inalámbrico (WNCS) es un parámetro de diseño muy importante que afecta directamente la estabilidad de los sistemas de control y el nivel de congestión de los sistemas de comunicación. En el presente trabajo, se propone un marco de modelado de las redes de sensores y actuadores inalámbricos en los WNCS en donde el intercambio de datos del sensor al controlador y del controlador al actuador se comunica a través de una red con pérdida. El modelo de rendimiento se usa luego para derivar la velocidad óptima de generación de tráfico de sensores y controladores para minimizar la probabilidad máxima de interrupción de la restricción de estabilidad de los sistemas de control. El problema resultante es un problema de optimización no lineal que permite obtener el óptimo global. Una aproximación eficiente convierte el problema de optimización propuesto en un problema de programación lineal. De la simulación respectiva se propone que la solución óptima asigna mayor velocidad de generación de tráfico en el enlace controlador-actuador en comparación con la del enlace sensor-controlador, ya que el enlace de actuación es más crítico para garantizar la estabilidad de los sistemas de control.

Palabras clave: comunicación inalámbrica, WNCS, red de sensores-actuadores.

1 Carlos Pillajo Angos, máster, docente de la Carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Ecuador (epillajo@ups.edu.ec).

2 Diego Zapata, ingeniero en Electrónica, investigador, Ecuador (dzapata@est.ups.edu.ec).

3 Roberto Hincapié, PhD, docente de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia (roberto.hincapie@upb.edu.co).

1. Introducción

Los sistemas de control en red inalámbricos (WNCS) son sistemas descentralizados en donde los sensores, controladores y actuadores están físicamente distribuidos, por lo cual la heterogeneidad de sus componentes y su interacción presentan nuevos retos teóricos. Esta heterogeneidad impulsa la necesidad de modelar y analizar las interacciones entre dominios físicos y computacionales de redes exigiendo una comprensión de los efectos de las comunicaciones inalámbricas en los sistemas de control distribuidos [1] [2]. Se han realizado extensas investigaciones para determinar el efecto de los sistemas de comunicación en la estabilidad de los sistemas de control físico. La gran mayoría de los enfoques existentes tienen como objetivo determinar los valores óptimos de los parámetros de programación de la red con el fin de cumplir con restricciones de retardo de paquete [3] [4] [5]. El despliegue de tecnologías inalámbricas en las redes industriales para el control exige nuevas soluciones que garanticen un rendimiento aceptable, sin embargo, los protocolos de comunicación inalámbrica no garantizan la estabilidad de los sistemas de control debido a la variación en la pérdida de paquetes y en los retardos de la red. Adicionalmente, un sistema de control inestable incurre en el problema de estabilidad del sistema distribuido en general debido a su interdependencia en el uso del canal de comunicaciones. El protocolo de comunicaciones debe proporcionar

un rendimiento confiable de todos los múltiples lazos de control, es decir el sistema de comunicaciones debe garantizar el desempeño de los procesos de control distribuidos.

Uno de los parámetros importantes en los WNCS es la velocidad de generación de tráfico de los sensores y controladores, ya que afecta directamente la estabilidad del sistema de control y el nivel de congestión del sistema de comunicaciones. Disminuir el intervalo de actualización de los sensores y controladores mejora el rendimiento del sistema de control, pero a riesgo de aumentar la congestión de la red y, por lo tanto, se realiza una retroalimentación de control con pérdida y retardos. Además, el aumento de la velocidad de generación de tráfico puede no satisfacer la restricción de programación del sistema de comunicación. Por lo tanto, la velocidad de generación de tráfico debe ser un parámetro de diseño flexible que debe ser adecuado para los requisitos del sistema de control y las condiciones de enlace.

En este trabajo, se propone un modelado de las comunicaciones de los sistemas WNCS en donde el intercambio de información entre el sensor al controlador y del controlador al actuador se comunican a través de una red con pérdidas. El modelo se usa para obtener la tasa óptima de generación de tráfico de sensores y controladores, para minimizar la probabilidad máxima de interrupción de la restricción de

estabilidad de los sistemas de control al tiempo que se garantiza una restricción de programabilidad. Consiguiendo un problema de optimización no lineal que permite obtener el óptimo global. Una aproximación eficiente convierte el problema de optimización propuesto en un problema de programación lineal.

El protocolo de comunicación debe proporcionar el rendimiento confiable de todos los lazos de control múltiples. En otras palabras, el sistema de comunicación requiere garantizar el peor de los casos de múltiples procesos de control. En comparación con las redes de sensores inalámbricos tradicionales [6], uno de los parámetros de decisión más importantes de WNCS es la tasa de generación de tráfico de sensores y controladores, ya que afecta directamente la estabilidad del sistema de control y el nivel de congestión del

sistema de comunicación en WNCS. En función de la garantía de rendimiento del peor de los casos, la tasa de generación de tráfico se optimiza considerando el problema de optimización mín.-máx., donde el objetivo es minimizar la probabilidad máxima de interrupción bajo la restricción de estabilidad de los sistemas de control, al tiempo que se garantiza la restricción de red.

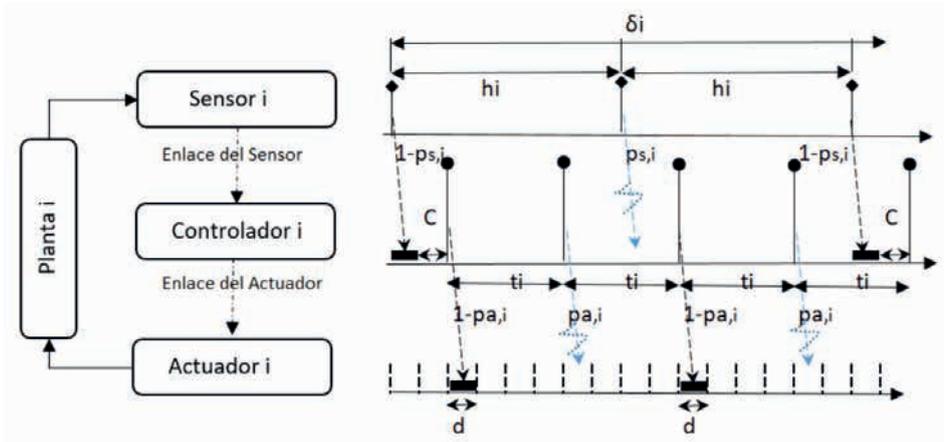
La estructura de este artículo es la siguiente: en la sección dos se presenta el modelo del sistema de comunicaciones entre los elementos de un WNCS, en la sección tres se ilustra el problema de optimización y una alternativa de solución, en la sección cuatro se presenta los resultados de la simulación, en donde se evalúa el rendimiento de la comunicación. Por último se presentan las conclusiones en la sección cinco.

2. Modelo del sistema de comunicaciones

La arquitectura de comunicación de los sistemas de control en red donde se controlan N plantas a través de una red inalámbrica es descrita en la Figura 1, en donde cada lazo de control consiste en un sensor y un actuador conectados a una planta, y un controlador. Las salidas de la planta (i) se muestrean en el intervalo periódico (h_i) por el sensor i y se envían al controlador respectivo i a través del enlace sensor. El enlace de detección del sensor induce la demora de transmisión (d) y los errores de paquete con la probabilidad ps, i .

Suponemos que $d < h_i$ para garantizar que los paquetes de detección lleguen al controlador en el orden correcto. La retransmisión de paquetes fallidos no está permitida ya que la transmisión repetida de datos antiguos generalmente no es útil para sistemas de control. Cuando el controlador recibe las mediciones, se calcula una nueva señal de control dentro del tiempo de cálculo C . La señal de control se envía luego al actuador i con el período t_i a través del enlace de accionamiento del actuador.

Figura 1. Arquitectura de la comunicación



Fuente: los autores

Como se puede observar, la Figura 1 describe de forma general la configuración del sistema de control descentralizado y el diagrama de tiempos entre la planta y el controlador. Varias plantas son controladas por los controladores a través de una red inalámbrica. La red inalámbrica, tanto del enlace de detección del sensor como del enlace de accionamiento del actuador, induce retrasos variables y pérdidas de paquetes.

De manera similar al enlace de detección, el enlace del actuador incurrir en la demora de transmisión d y la probabilidad de pérdida de paquete pa, i . Asumimos que $ti < hi$. El error de paquete tanto del enlace de detección como el de accionamiento se modelan como un proceso aleatorio de Bernoulli para simplificar el problema. Consideramos que el sistema propuesto es una red inalámbrica de celda única

donde los sistemas de control N están compuestos por N enlaces de detección y N enlaces de actuación.

Se considera un acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) como un protocolo de control de acceso medio (MAC) ya que TDMA proporciona el rendimiento determinista de la red. Por lo tanto, es ampliamente utilizado para diversas aplicaciones de control [3]. El tiempo está dividido en súper-tramas con una longitud fija. Cada súper-trama se divide en un *beacon* y ranuras de tiempo con el tamaño de ranura s . El *beacon* es utilizado por el administrador de red para proporcionar sincronización de tiempo dentro de la red y las actualizaciones de difusión sobre la tasa de generación de tráfico, y las decisiones de programación dependen de los requisitos del sistema de control y las condiciones del enlace.

2.1. Modelo de sistema de comunicación

A continuación se desarrolla un modelo de sistema de comunicación considerando la restricción de estabilidad de los sistemas de control. La literatura científica confirma que la derivación de un intervalo de actualización de estado (SUI) máximo es aceptable para garantizar la estabilidad de los sistemas de control [7] [8]. El SUI se define como el tiempo transcurrido entre los informes de vectores de estado exitosos desde el sensor hasta el actuador a través del controlador. Sin embargo, no es factible aplicar directamente el requisito duro

de SUI en la práctica, ya que la pérdida de paquetes de enlaces inalámbricos es mayor que cero todas las veces. Por lo tanto, muchas aplicaciones de control prácticas establecen un SUI estocástico restringido en la forma de mantener el intervalo de tiempo entre los informes de vectores de estado subsiguientes que sobrepasan el valor máximo permisible de SUI con una probabilidad predefinida para garantizar la estabilidad de los sistemas de control. La restricción SUI estocástica es una abstracción eficiente de los sistemas de control de lazo cerrado. La restricción del SUI estocástico del sensor al actuador a través del controlador se formula en (1) como:

$$\Pr[\mu_i(h, t, p_s, p_a, d, c) \leq \delta_i] \geq \Omega_i, \quad \forall i \in N \quad (1)$$

Donde μ_i es la SUI del lazo de control i en función de diferentes parámetros de enlaces de detección y de activación; $h = (h_i, i \in N)$ y $t = (t_i, i \in N)$ son los vectores correspondientes del intervalo de muestreo de los sensores y el intervalo de actualización de los controladores, respectivamente, con las respectivas probabilidades de error de paquete $p_s = (p_s, i, i \in N)$ y $p_a = (p_a, i, i \in N)$; δ_i es el máximo permisible SUI; Ω_i es la probabilidad mínima con la cual se debe alcanzar la SUI máxima permisible. El diseñador de control tiene la flexibilidad para ajustar parámetros δ_i , y Ω_i dependiendo de los sistemas de control.

Se requiere que cada lazo de control tenga al menos una transmisión exitosa de la señal de control correspondiente a la nueva medición de detección dentro del SUI máximo permisible para esta-

bilizar los sistemas de control. El intervalo de actualización de extremo a extremo de la señal de control se combina con dos componentes, a saber: el enlace de detección del sensor al controlador y el enlace de activación desde el controlador al actuador.

Dado δ_i y d , el número de oportunidades de recepción de detección es: $(\delta_i - d_i)/h_i$ al controlador. El controlador luego requiere transmitir una señal de control dentro del intervalo de muestreo h_i desde que se calcula una nueva señal de control basada en una nueva medición de detección. Por lo tanto, la cantidad de oportunidades de transmisión de la señal de control al actuador es: $(h_i - d - c)/t_i$ al considerar el retraso de transmisión y el tiempo de cálculo. La restricción estocástica SUI se reescribe como:

$$\left(p_{s,i} + (1 - p_{s,i})p_{a,i}^{\frac{h_i-d-c}{t_i}} \right)^{\frac{\delta_i-d}{h_i}} \leq 1 - \Omega_i, \quad \forall_i \in N \tag{2}$$

Esta expresión matemática capta la interacción compleja entre sensores, actuadores y controladores a través de la red de comunicación. Obsérve-

se que el intervalo de actualización de estado se vuelve más estricto a medida que δ_i disminuye, es decir, sistemas de control más rápidos.

3. Problema de optimización

Con base en el modelo de sistema anterior, esta sección formula una alternativa de solución al problema de optimización del sistema de comunicación para sistemas WNCS, donde el objetivo es minimizar la máxima probabilidad de interrupción para cumplir con el requisito de SUI y las restricciones son: el requerimiento SUI estocástico para garantizar la estabilidad

del sistema de control y la restricción de programación del sistema de comunicación. Recuérdese que formulamos el problema de optimización mín.-máx. del SUI de los lazos de control ya que el protocolo de comunicación debe proporcionar el rendimiento confiable de todos ellos. El problema de optimización mín.-máx. del sistema de comunicación se formula como:

$$\min_x \gamma \tag{3a}$$

$$s. t \quad \sum_{i \in N} \left(\frac{s}{h_i} + \frac{s}{t_i} \right) \leq \eta_{max} \tag{3b}$$

$$\gamma \geq \left(p_{s,i} + (1 - p_{s,i})p_{a,i}^{\frac{h_i-d-c}{t_i}} \right)^{\frac{\delta_i-d}{h_i}}, \quad \forall_i \in N \tag{3c}$$

$$\gamma \geq 1 - \Omega_i \tag{3d}$$

$$\delta_i - d \geq h_i > 0 \tag{3e}$$

$$h_i - d - c \geq t_i > 0 \tag{3f}$$

Donde las variables de decisión son $x = [h_1 \dots_N t_1 \dots t_N]^T$ y γ corresponde a la utilidad mín.-máx.; (3b) representa la restricción de planificabilidad

donde η_{max} es el límite de utilización que satisface $0 < \eta_{max} < 1$; para $\eta_{max} = 1$, la restricción de programabilidad dada por (3b) es una condición nece-

saría para un posible programación. Las ecuaciones (3c) y (3d) son las restricciones estocásticas de la SUI. Finalmente, las ecuaciones (3e) y (3f) indican que el intervalo de muestreo de los sensores debe ser menor o igual que $\delta_i - d$ y el intervalo de actualización del controlador debe ser menor o igual que $h_i - d - c$, respectivamente. Este problema de optimización es un problema de optimización no lineal no convexo, por lo tanto, difícil de resolver para el óptimo global [9]. La expresión de (3c) es la principal responsable de la no convexidad debida a la dependen-

cia entre los enlaces de detección y los enlaces de activación.

A continuación aproximaremos la restricción de (3c), de modo que podamos reescribir el problema de optimización propuesto como un problema de programación lineal (LP). Después de aplicar una función logarítmica en (3c), nos aproximamos a la función de aumento exponencial $P_{a,i}^{(h_i-d-c)/t_i}$ como la serie de potencias en la constante b . Además, después de aplicar la expansión de la serie Taylor de la función de logaritmo e ignorar los términos de orden superior, obtenemos:

$$u \geq \frac{\delta_i - d}{h_i} \left(\log p_{s,i} + \frac{(1 - p_{s,i}) p_{a,i}^b}{p_{s,i}} * \left(1 + \left(\frac{h_i - d - c}{t_i} - b \right) \log p_{a,i} \right) \right) \tag{4}$$

Donde $u = \log \gamma$ al asumir $h \gg d + c$, transformamos el problema de opti-

mización no lineal (3) en el siguiente problema de LP:

$$\min_x u \tag{5a}$$

$$s. t \quad \sum_{i \in N} (\alpha_i + \beta_i) \leq \frac{\eta_{max}}{s} \tag{5b}$$

$$u \geq \delta_i - d \left(\left(\log p_{s,i} + \frac{p_{a,i}^b (1 - p_{s,i}) (1 - b * \log p_{a,i})}{p_{s,i}} \right) * \frac{1}{h_i} + \left(\frac{p_{a,i}^b (1 - p_{s,i}) \log p_{a,i}}{p_{s,i}} \right) * \frac{1}{t_i} \right), \forall i \in N \tag{5c}$$

$$e^u \leq 1 - \Omega_i \tag{5d}$$

$$\frac{\delta_i - d}{h_i} \geq 1 \tag{5e}$$

$$\frac{1}{t_i} \geq \frac{1}{h_i} \tag{5f}$$

Donde $x = [\alpha_1 \dots \alpha_N \beta_1 \dots \beta_N]^T$ donde $\alpha_i = 1/h_i$ y $\beta_i = 1/t_i$, que son la tasa

de generación de tráfico de sensores y controladores.

El punto clave es separar los términos de dependencia del enlace de detección y el enlace de activación del problema de

optimización. El problema de LP propuesto se puede resolver de manera óptima utilizando algoritmos eficientes [9].

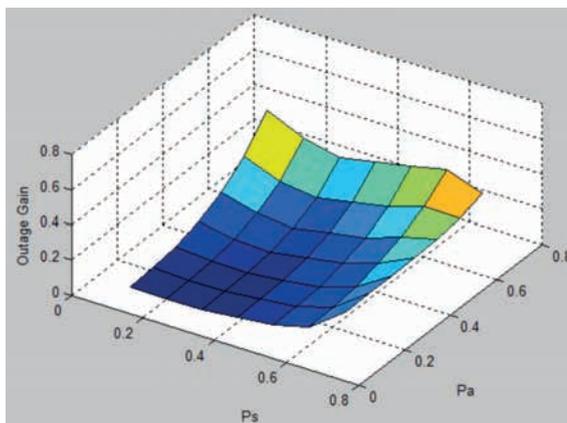
4. Evaluación del rendimiento

En esta sección, se evalúa el rendimiento de la solución óptima del problema de optimización, referido como no lineal, y la solución óptima del problema de optimización lineal aproximada, referido como aplicación lineal, y la solución predeterminada, referida como por defecto. La solución predeterminada denota la tasa de generación de tráfico uniforme $h_i = t_i = 2 | N | s$, que es independiente del requisito de SUI y la condición del enlace.

El intervalo de actualización de los controladores de la solución no lineal es más bajo que el intervalo de muestreo de los sensores. A medida que aumenta la probabilidad de pérdida de paquetes, el intervalo de actualización de los controladores de la solución no lineal

disminuye, a costa de aumentar el intervalo de muestreo de los sensores. Este comportamiento es una representación correcta de un escenario real. La señal de enlace del actuador es más crítica que la señal de enlace del sensor, ya que afecta directamente la estabilidad del sistema de control. Muchos sistemas de control prácticos tienen varias señales de enlace de sensor, mientras que los controladores están colocados junto con los actuadores, porque la señal de control es muy crucial. Es más fácil compensar las pérdidas de paquetes y los retrasos del enlace de detección del sensor en comparación con los del enlace de activación del controlador, ya que el controlador podría calcular la señal de control en función del estado estimado de la planta.

Figura 2. Ganancia de interrupción de la solución no lineal

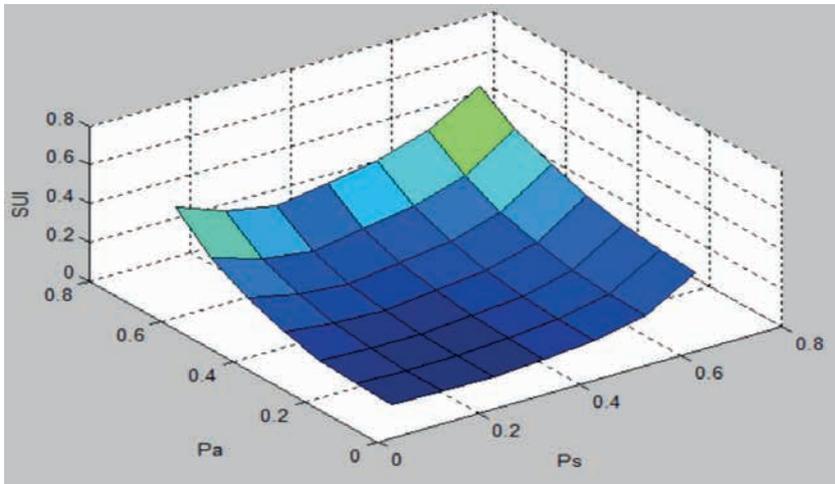


Fuente: los autores

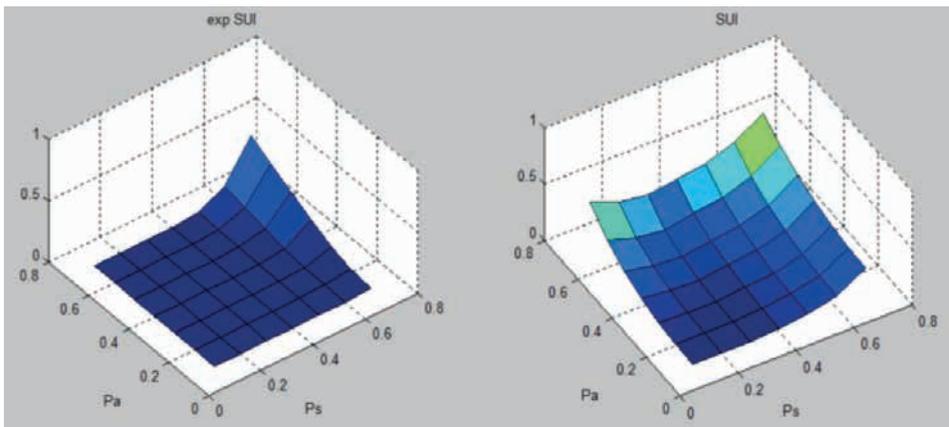
En la Figura 2 muestra la ganancia de interrupción usando la solución no lineal sobre diferentes probabilidades de pérdida de paquetes de enlaces de detección $p_s = 0,1, \dots, 0,8$ y enlaces de accionamiento $p_a = 0,1, \dots, 0,8$ con $N = 6$ y $\delta = 0,5$ s. La ganancia de interrup-

ción es la diferencia entre las probabilidades de interrupción en el peor de los casos utilizando la solución óptima no lineal y la solución predeterminada fija. Cuanto más cerca esté la interrupción en 1, mejores serán los beneficios del sistema.

Figura 3. Intervalo de actualización de estado frente a las probabilidades de pérdida en los enlaces (a); comparación (b)



(a)



(b)

Fuente: los autores

La solución óptima ofrece una mejor probabilidad de interrupción en comparación con la de la solución predeterminada para todos los rangos de probabilidades de pérdida de paquetes de enlaces de detección y de activación. Particularmente, la ganancia de interrupción se maximiza cuando la probabilidad de pérdida de paquetes del enlace de activación es mayor que la del enlace de detección. La razón principal es que la solución óptima

asigna más recursos de red para el enlace de activación que para el enlace de detección. De hecho, el enlace de activación se vuelve más crítico a medida que aumenta la probabilidad de pérdida de paquetes del enlace. Sin embargo, la solución predeterminada asigna la velocidad de generación de tráfico fijo de sensores y controladores independientemente de la condición del enlace. Este resultado muestra la efectividad de la solución presentada.

5. Conclusión

En este trabajo, se propone una alternativa de marco de modelado de comunicación de (WNCS) sensores inalámbricos y redes de actuadores teniendo en cuenta las interacciones entre sensores, actuadores y controladores sobre una red con pérdidas. Se utiliza el modelo de rendimiento propuesto para mejorar la tasa de generación de tráfico de enlaces de detección y de activación basados en el problema de optimización mín.-máx., cuyo objetivo es minimizar la probabilidad máxima de interrupción bajo la restricción de estabilidad del sistema de control. Las restricciones son los re-

quisitos de estabilidad del sistema de control y la restricción de la capacidad de programación del sistema de comunicación. Se propone una solución al problema de programación lineal aproximado separando los términos de dependencia de los enlaces de detección y los enlaces de actuación. El análisis de rendimiento muestra que la solución óptima asigna más recursos de red en el enlace de accionamiento que en el enlace de detección, ya que la señal de control del enlace de accionamiento afecta directamente a la estabilidad del sistema de control.

6. Referencias

- [1] R. Scattolini, "Architectures for distributed and hierarchical Model Predictive Control - A review", *J. Process Control*, vol. 19, n° 5, pp. 723-731, 2009.
- [2] B. Szatpanovits *et al.*, "Toward a Science of Cyber-Physical System Integration", *Proceedings of the IEEE*, vol. 100, n° 1, pp. 29-44, 2012.
- [3] J. Hespanha *et al.*, "A survey of recent results in networked control systems", *Proceedings of the IEEE*, vol. 95, n° 1, pp. 138-172, 2007.

- [4] F. Ozcelik *et al.*, “Optimal Packet Scheduling on an Energy Harvesting Fading Channel”, *arXiv Prepr. arXiv1202.0690*, vol. 60, n° 1, pp. 220-230, 2012.
- [5] W. P. Heemels y M. Johansson, *Networked Control Systems*, Siena, Italia, Springer, 2010.
- [6] R. Fernández *et al.*, *Redes inalámbricas de sensores: teoría y aplicación práctica*, España, Universidad de La Rioja, 2009.
- [7] H. Heemels *et al.*, “Networked Control Systems whit Communications Constraints: Tradeoffs Between Transmission Intervals, Delays and Performance”, *IEEE Transactions On Automatic Control*, vol. 55, n° 8, pp. 1781-1796, 2010.
- [8] D. de la Peña *et al.*, “Min-max model predictive control as a quadratic program”, *IFAC Proc.*, vol. 16, n° 1, pp. 263-268, 2005.
- [9] L. Stephen, *Convex Optimization*, Inglaterra, Cambridge University Press, 2009.

Sign language recognition system using MYO ARMBAND and neural network

Sistema de reconocimiento de señas
usando el MYO Armband y redes neuronales

S. Luna,¹ L. Serpa²

Abstract: *the interaction between a deaf person and a natural person has become a very recurrent theme nowadays due to the need to achieve that these two groups of people can establish a communication. This article proposes an intelligent system that allows interpreting the signs of the deaf language and converting them into written language so that a natural person can understand what a deaf person wants to express. This work makes a review of the literature in which expresses the different methodologies and techniques that have been developed over time for the signs deaf language classification, also proposes a method that works in real time using the bracelet electromyography called "MYO Armband" that recognizes 10 signs of the deaf language through an algorithm of collection, processing and classification of signs. Characteristics obtained of the MYO are of time and frequency statistics. For the words and phrases classification stage, this work proposes use an artificial neural network perceptron multilayer. In order to verify the efficiency of this work, an experiment was proposed with a group of 25 persons to training and other 25 persons to evaluation. The efficiency of the system was measured by the amount of successes by obtaining an efficiency of 77% percent in signs classification.*

Keywords: *electromyography (EMG), psychological bio-electrical signals, neural network.*

Resumen: la interacción entre una persona sorda y una persona natural se ha convertido en un tema muy recurrente en la actualidad debido a la necesidad de lograr que estos dos grupos de personas puedan establecer una comunicación. Este artículo propone un sistema inteligente que permite interpretar los signos de la lengua sorda y convertirlos en lenguaje de escritura para que una persona natural pueda entender lo que una persona sorda quiere expresar. Este trabajo hace una revisión de la literatura en la que expresa las diferentes metodologías y técnicas que se han desarrollado a lo largo del tiempo para la clasificación de los signos del lenguaje sordo, también propone un método que funciona en tiempo real utilizando la electromiografía del brazalete llamado "Brazalete MYO" que reconoce 10 Signos del lenguaje sordo a través de un algoritmo de recolección, procesamiento y clasificación de signos. Las características obtenidas del MYO son estadísticas de tiempo y frecuencia. Para la etapa de clasificación de palabras y frases, este trabajo propone utilizar una red neuronal artificial de perceptron multicapa. Para verificar la eficacia de este trabajo, se propuso un experimento con un grupo de 25 personas para entrenamiento y otras 25 personas para evaluación. La eficiencia del sistema se midió por la cantidad de éxitos del total de personas en la evaluación, obteniendo una eficiencia del 77% en la clasificación de signos.

Palabras clave: electromiografía (EMG), señales bioeléctricas producidas fisiológicamente, redes neuronales.

1 Santiago Felipe Luna Romero, ingeniero electrónico en Sistemas Industriales, investigador de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (sanfeluro@gmail.com).

2 Luis Javier Serpa Andrade, ingeniero electrónico y docente de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (lserpa@ups.edu.ec).

1. Introduction

About 70 million hearing impaired people use sign language to communicate, but the lack of common language between hearing impaired and others makes it difficult to communicate. Painted with this dissertation is to examine the potential of using electromyography as a tool for improving the communication between a deaf person and a natural person [1] [15].

Bioelectrical signals produced physiologically (EMG) are known as electrical impulses produced by human muscles, they occur during contraction and relaxation processes [2].

The study of human-computer interaction has been a very important issue at present. One of the most approaches in this field of research is to link muscle signals with computers exploiting many possibilities such as control of robotic arms [3], control of domestic and virtual environments [4], signs translator [5].

The ability to track position and movement for gesture recognition can be achieved through various approaches, such as the Kinect and Leap Motion tools that present a visual approach or the MYO bracelet that measures the electrical activity of the muscle. Another approach to translating sign language is through the arms and fingers using sensors placed directly on the glove-shaped fingers [16] [1].

There are works to sign language translate that are carried out using

the “MYO” device and a recognition system such as the SCEPTER system [6] which is composed of an Android smartphone or a Bluetooth-enabled computer and two MYO devices. The project is an attempt to develop a system towards a ubiquitous, non-invasive system that works in real time and can be interactively trained by the user.

In [5] the MYO has been used to recognize 20 letters of the Brazilian alphabet through a system of vectorial support machines (SVM) obtaining as results that the movements of the fingers cannot be correctly classified by electromyography signals. Other work such as [7] the MYO has been used to recognize American sign language through a system of Gaussian Mixture Model Hidden Markov Model GMM-HMM obtaining as a results 96,15% efficiency in sign recognize. Due to the above this paper proposes use a system based on a neural network perceptron multilayer for recognize sign language through the electromyography and IMU (inertial measurement unit) signals provide of MYO armband.

A MYO device is a compact and affordable commercial grade bracelet sensor for free hand and finger movements. As shown in Figure 1, the sensor has 8 EMG sensors. In addition, the sensor also has a highly sensitive nine-axis IMU containing three-axis gyroscope, accelerometer [8]. The interactive software, as shown in Figure 4 that interfaces with the MYO devi-

ces was written in C++ programming language through the SDK provided

by THALMIC LABS running on a 64-bit version of Windows 10.

Figure 1. MYO Armband



Source: Thalmic Labs

This study is distributed in four sections; section 1 describes an introduction, section 2 which describes the technique used and the configuration

of the system. Section 3 details the obtained results and section 4 presents the proposal discussion and conclusions.

2. Technique description

In EMG classification signals is necessary to know that correct characteristics extraction and classification methods are the key topics of research over time and this has led to a large number of research results [9].

For the characteristics extraction this work realize a time frequency statistics analysis found in the works [10] [11] [12] [13] that study the importance to use statistics characteristics in time and frequency. Due to the above, Table 1 was generate:

Table 1. Characteristics extraction

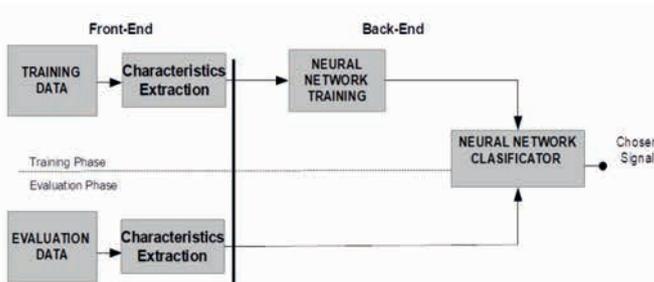
Time	Frequency	Time-frequency (Wavelet)
1. Mean	5. Mean	9. Mean
2. Wave length	6. Standard deviation	10. Singular Values
3. Variance	7. Max Value	11. Variance
4. Energy	8. Frequency of max value	

Source: the authors

The above characteristics were applied to every signal of MYO device corresponding to EMG and IMU sensors. For the classification process, Figure 2 was generated where the front-End diagram can be seen to training and evaluate the system sign recognition, as can see the training phase, we have a data from which the characteristics seen

in Table 2 are extracted, then these data characteristics go to train a multi-layer perceptron neural network, which once trained it become the classifier. In the evaluation phase each new signal to test the system goes through the same block of characteristics extraction to can enter the neural network and check whether or not it belongs to the desired signals [14].

Figure 2. Front-End Diagram to training and evaluation the system



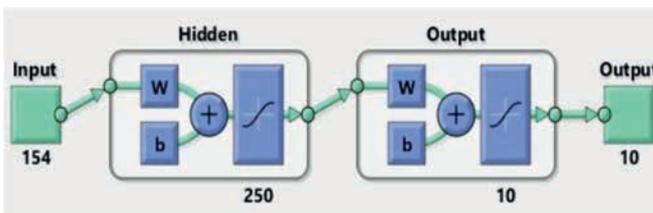
Source: the authors

3. Results and discussion

As was observed in section 2, the signal classifier is by means of multilayer perceptron neural network, whose topology can be observed in Figure 3, as can be seen there are three layers, one of input, one a hidden and one of output. The number of neu-

rons in the input layer is 154 equal to the number of features concatenate for each EMG and IMU signal of MYO ARMA BND. The activation function in the hidden layer and output layer is sigmoid hyperbolic tangent type.

Figure 3. Neural network topology

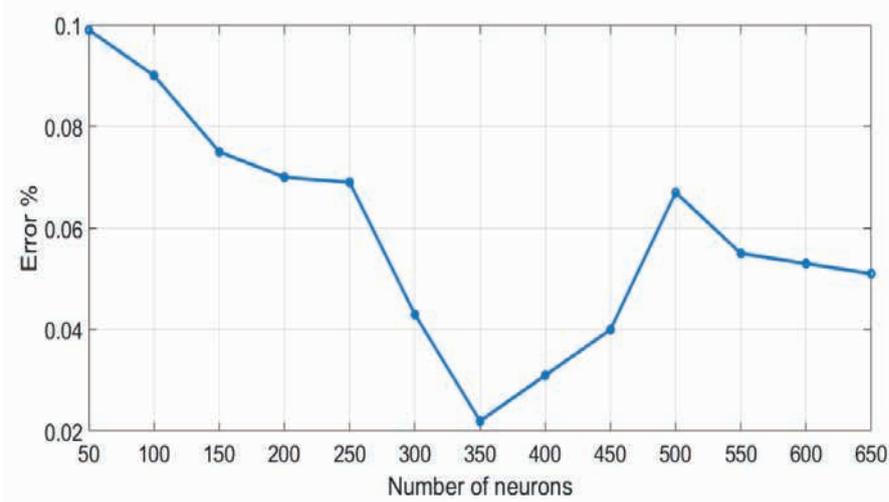


Source: the authors

To train neural network is necessary to define the numbers of neurons in hidden layer which was determined experimentally, generating a mean square error

curve (MSE) with respect to the number of neurons, in order to determine the value that generates the minimum possible error in the training of the network.

Figure 4. Neurons number of hidden layer with respect to the generated error



Source: the authors

The error curve shows the optimum numbers of neurons in hidden layer is 250 to reduce the error in training, while like this paper propose is recognize 10 signals, the neuron number of output layer is 10.

For the system training a sample of 25 persons with functional diversity who's made 10 deaf signs was made and for the validation another sample of 25 persons who realized the same signs was utilized. The signs utilized in this work are showed in Table 2.

Table 2. Deaf signs to recognize

Signs
A-U vocals
Hello
Thanks
Sorry
Please
Goodbye

Source: the authors

System efficiency is calculated based on the correct recognize signs number against the attempts amount. The results are showed in Table 3.

Table 3. System efficiency

Signs	Attempts	Correct signs number	Efficiency
A	25	19	76%
E	25	17	70%
I	25	19	76%
O	25	21	84%
U	25	18	72%
Hello	25	20	80%
Thanks	25	22	88%
Sorry	25	16	64%
Please	25	19	76%
Goodbye	25	21	84%

Source: the authors

Efficiency of all signs is averaged with the intention of calculating the total efficiency of the system and this is 77%.

4. Conclusions

In this article an intelligent system that allows interpreting 10 signs of the deaf language was studied using the bracelet electromyography called "MYO Armband" through a Neural network perceptron multilayer. For the classification stage is necessary obtaining a statics characteristic in time and frequency of each sensor EMG and IMU of "MYO", and in order to verify the efficiency of this work, an experiment was proposed with a group of person with functional diversity, 25 to training and other 25 persons to evaluation. The efficiency of the sys-

tem was measured by the amount of successes by obtaining an efficiency of 77% percent in signs classification. This system efficiency using statistical characteristics and an artificial neural network is low in order to generalize a system for any person, this may be due to the loss of information when characterizing the EMG and IMU information with statistical characteristics, and a solution in future works to solve this problem would be to use other methods of characterization that can host more information on the EMG and IMU signals.

5. References

- [1] J. Heizer & T. Chau, *Machine Learning for Gesture Recognition with Electromyography*, 2017.
- [2] R. R. M. Rangayyan, *Biomedical signal analysis*, vol. 33, John Wiley & Sons, 2015.
- [3] P. K. Artemiadis & K. J. Kyriakopoulos, "EMG-based control of a robot arm using low-dimensional embeddings", *Transactions on Robotics*, vol. 26, pp. 393-398, 2010.
- [4] S. Luna-Romero, P. Delgado-Espinoza, F. Rivera-Calle & L. Serpa-Andrade, "A Domotics Control Tool Based on MYO Devices and Neural Networks", *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*, 2017.
- [5] J. G. Abreu, J. M. Teixeira, L. S. Figueiredo & V. Teichrieb, "Evaluating sign language recognition using the MYO armband", *Virtual and Augmented Reality (SVR)*, XVIII Symposium, 2016.
- [6] P. Paudyal, A. Banerjee & S. K. S. Gupta, "Sceptre: a pervasive, non-invasive, and programmable gesture recognition technology", *XXI International Conference on Intelligent User Interfaces*, 2016.
- [7] R. Fatmi, S. Rashad, R. Integlia & G. Hutchison, *American Sign Language Recognition using Hidden Markov Models and Wearable Motion Sensors*.
- [8] MYO Armband, "Robotic Computing (IRC)", *International Conference*, 2017.
- [9] S. Shin, R. Langari & R. Tafreshi, "A performance comparison of emg classification methods for hand and finger motion", *ASME Dynamic Systems and Control Conference*, 2014.
- [10] G. A. Betancourt, E. G. Suárez & J. F. Franco, "Reconocimiento de patrones de movimiento a partir de señales electromiográficas", *Scientia et Technica*, vol. 10, pp. 53-58, 2004.
- [11] J. Villarejo, *Detección de la intención de movimiento durante la marcha a partir de señales electromiográficas*, 2007.
- [12] X. Hu, Z. Wang & X. Ren, "Classification of surface EMG signal using relative wavelet packet energy", *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 79, pp. 189-195, 2005.
- [13] H. A. Romo, J. C. Realpe & P. E. Jojoa, "Análisis de señales EMG superficiales y su aplicación en control de prótesis de mano", *Revista Avances en Sistemas e Informática*, vol. 4, 2007.
- [14] L. Hargrove, Y. Losier, B. Lock, K. Englehart & B. Hudgins, "A real-time pattern recognition based myoelectric control usability study implemented in a virtual environment", *Engineering in Medicine and Biology Society EMBS XXIX Annual International Conference*, 2007.
- [15] S. A. & W. C., "Sign language structure: An outline of the visual communication systems of the American deaf", *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, vol. 10, pp. 3-37, 2005.
- [16] University of Washington, UW undergraduate team wins \$10.000 Lemelson-MIT Student Prize for gloves that translate sign language. Retrieved from <https://bit.ly/24eMbxI>

Application for mobile devices applied in language therapy to improve attention and motivation

Aplicación para dispositivos móviles aplicada en terapia de lenguaje para mejorar la atención y la motivación¹

L. Serpa,² D. Lima,³ M. Zúñiga,⁴ V. Robles,⁵ M. Orellana,⁶ B. Vintimilla⁷

Abstract: *the language disorders not only affects oral language, this can affect one or more of the language components creating problems in reading, writing, attention, compression of messages, among others, our work focuses on the use of Information and Communication Technologies (ICTs) as support or complementary tools in areas such as speech and language therapy, for this we developed an mobile application in Android for Tablet, focusing on important aspects and activities on speech and language therapy such as attention, concentration, memory, sequencing, denomination of objects either orally or in writing, the application seeks to become an important contribution for work on children's cognitive development proposed by Jean Piaget, The mobile application is validated with children who attend language therapy the application, obtaining encouraging results.*

Keywords: *speech and language therapy, mobile applications, children, inclusion, Tablet game, Android.*

Resumen: el trastorno específico del lenguaje (TEL) no solo afecta el lenguaje oral, este puede afectar uno o varios de los componentes del lenguaje generando problemas en la lectura, escritura, atención, compresión de mensajes, entre otros. Nuestro trabajo se enfoca en el uso de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) como herramientas de apoyo o complementarias en áreas como la logopedia, para ello desarrollamos una aplicación en Android para Tablet, enfocándonos en aspectos y actividades importantes en terapia de lenguaje como la atención, concentración, memoria, secuenciación, denominación de objetos ya sea esta de forma oral o escrita. La aplicación busca convertirse en una importante contribución para trabajar en el desarrollo cognitivo infantil propuesto por Jean Piaget orientándonos en la etapa de operaciones concretas. La aplicación móvil se valida con dos grupos: el primer grupo realiza las actividades en

-
- 1 Los autores queremos destacar el interés, apoyo y asesoramiento del equipo de profesionales de la escuela de Educación Básica General San Juan de Jerusalén.
 - 2 Luis Javier Serpa Andrade, máster en Control y Automatización Industriales, ingeniero electrónico, docente y colaborador GI-IATa de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Ecuador (lserpa@ups.edu.ec).
 - 3 Diego Fernando Lima Juma, ingeniero de sistemas, auxiliar de investigación de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Ecuador (dlima@ups.edu.ec).
 - 4 María Marlene Zúñiga Pacheco, licenciada en Terapia de Lenguaje, terapeuta de lenguaje en la escuela San Juan de Jerusalén, Cuenca, Ecuador (marlenezn@gmail.com).
 - 5 Vladimir Espartaco Robles Bykbaev, doctor en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, máster universitario en Inteligencia Artificial, ingeniero de sistemas, docente y colaborador GI-IATa de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Ecuador (vrobles@ups.edu.ec).
 - 6 Mónica Auxiliadora Orellana Ordóñez, licenciada en Terapia de Lenguaje, terapeuta de lenguaje en la escuela San Juan de Jerusalén, Cuenca, Ecuador (monicaorellana0005@gmail.com).
 - 7 Blanca Cumandá Vintimilla Sarmiento, tecnóloga médica en Fisioterapia, terapeuta física de la escuela San Juan de Jerusalén, Cuenca, Ecuador (camachasarmi@gmail.com).

papel similares a las desarrolladas para Tablet y el segundo utilizará la aplicación móvil, obteniendo resultados alentadores.

Palabras clave: logopedia, aplicaciones móviles, niños, inclusión, Tablet *game*, Android.

1. Introducción

Cuando hablamos sobre el trastorno específico del lenguaje (TEL), generalmente pensamos en problemas en el lenguaje oral. Sin embargo, este puede afectar uno o varios de los componentes del lenguaje ya sea en la dificultad para producir sonidos o entendimiento y correcto uso de las palabras. Se estima que entre el 3% y 5% de niños y niñas están afectados por el TEL donde la relación es 3 a 1 siendo más frecuente en niños que niñas [1]. El grupo de expertos corroboran que este es un trastorno duradero que afecta la adquisición del lenguaje pudiéndose prolongarse desde la infancia hasta la adolescencia, convirtiéndose en una dificultad a lo largo de la vida escolar e incluso dejar secuelas en el transcurso de la vida [1] [2].

Vivimos en la era de los nativos digitales de la cultura de la información y comunicación guiando la conversación mundial al uso de las tecnologías de la información y comunicación (TIC), como herramientas aliadas en el desarrollo de diferentes áreas ya sea la comunicación, negocios, educación, interacción social, entre otras. Nuestro trabajo se enfoca en el uso de las TIC como herramientas complementarias o alternativas en los procesos de terapia en áreas como la logopedia. Esta aplicación está desarrollada para dispositi-

tivos móviles Android y busca convertirse en una importante contribución al trabajar con niños en el desarrollo cognitivo infantil propuesto por Jean Piaget, que se basa en el estudio de la psicología que se orienta a la psicología genética, evolutiva o de desarrollo. En base a esto nos guiamos en una de las teorías más complejas elaboradas conocida como el modelo de psicología evolutiva interaccionista de Piaget.

El legado de Piaget fue desarrollar la observación sistemática de las etapas del desarrollo del pensamiento, observando las destrezas y estrategias que utiliza el niño al resolver problemas y ubicarlo en una etapa, dándonos pautas para determinar el grado de madurez o el desfase que existe en el desarrollo del razonamiento del niño. Existen baterías o test basados en estándares para analizar o evaluar las diferentes habilidades y destrezas en base a una serie de actividades cognitivas, siguiendo algunos formatos ya establecidos en las escalas evolutivas de Piaget. Por otro lado, podemos encontrar la propuesta exploración del lenguaje comprensivo y expresivo (ELCE) de López y sus colaboradores [3], así como la propuesta de Rufina Pearson, jugando enseñamos a leer (JEL), y Brev, “A rapid clinical scale for cognitive function in preschool and school-age children”, que

aborda las funciones verbales, no verbales y los aprendizajes (lectura, escritura y calculo) [4].

En la actualidad, el uso de las TIC, el internet y la democratización de la información ha permitido que se encuentren desarrollos tecnológicos en diferentes campos, uno de ellos es con las personas con discapacidades, el uso de aplicaciones para dispositivos móviles es muy prometedor. En el caso particular de terapia de lenguaje o logopedia existe un sistema que ayuda a la clasificación y selección de las aplicaciones móviles basado en técnicas de minería de datos [5]. Al existir un número abundante de opciones destacamos la necesidad de que estén orientadas a cubrir las necesidades y aplicabilidad dentro de las terapias.

En este artículo presentamos contribuciones relevantes respecto al uso de la tecnología y aplicaciones móviles en el área de la logopedia. Con la finalidad de tener una validación de nuestra propuesta se realizó una evaluación de la aplicación de manera cuantitativa con 11 niños que asisten a terapia de lenguaje en la institución la cual compartimos en la sección de resultados. Finalmente, presentamos algunas ideas para discusión y trabajo futuro.

1.1. Estado del arte

Las personas pueden encontrar diferentes barreras al momento de acceder a la rehabilitación ya sea esta económica, participación de los médicos o profesionales e inclusive personas que viven en lugares alejados dificultan-

do el acceso a servicios. El uso de la tecnología puede ser un aliado al conseguir una mayor intensidad y mejorar resultados de la rehabilitación [6]. Actualmente, las personas utilizamos las tecnologías en nuestra vida diaria en diferentes actividades y más aún con el acceso a internet, que abre gran cantidad de puertas como educación, salud, negocios, entretenimiento, comunicación, etc. Por lo tanto, llegan a convertirse en aliados y potentes alternativas en procesos de terapia de lenguaje. Es importante destacar que el trabajo de un profesional del área es indispensable para la consecución de los resultados esperados utilizando las TIC [7]. En el caso particular del Ecuador, según el Estudio de Tecnologías de la Información y Comunicaciones realizado en diciembre de 2016 por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), más del 55% de la población ha utilizado internet, de ellos, el 70% lo utiliza al menos una vez al día; además, el uso de teléfonos inteligentes ha pasado de un 37,7% a un 52,9%, observando un importante crecimiento en el uso de las tecnologías [8].

El creciente uso de las tecnologías ha motivado estudios como el realizado en el hospital de Ottawa, Canadá, con treinta pacientes en base a un estándar para analizar la factibilidad de adaptarse y utilizar estas nuevas tecnologías, así como también, identificar posibles barreras en la intervención; para ello a cada paciente se le asignó un iPad con aplicaciones comerciales consideradas apropiadas en el área de

logopedia. Este estudio fue realizado con personas adultas en algunos de los casos mostrando interés y satisfacción, se demuestra la aceptación de estas plataformas incluso en personas que nunca han utilizado tecnología [9]. Los procesos de terapia requieren comunicación continua, por ello Const Therapy es una plataforma que se utiliza de la tecnología en la rehabilitación de pacientes que no pueden trasladarse hacia una casa de salud. Este software desarrollado para iPad tiene planes de tratamiento individuales para cada paciente con diferentes niveles de ejercicios, aplicando en 84 pacientes con flujos de trabajos normales. Estos pacientes realizan un test de evaluación que permite generar un perfil y crear planes de trabajo individuales para cada uno, enfocándose en áreas como *naming therapy*, lectura, escritura, *sentece planing*, *visuospatial processing*, memoria, atención, resolución de problemas y funciones ejecutivas. El autor muestra cuatro casos de estudio con personas adultas e inclusive de la tercera edad donde se les asignaron diferentes tareas, mostrando mejoras en la precisión, atención y memoria [10].

Si bien se utilizan diferentes métodos para mejorar la adquisición del lenguaje, como son tarjetas con gráficos, juguetes, dibujos en papel; en base a los avances de la tecnología podemos plantear sistemas que pasen estas actividades de papel a digital, siendo una herramienta más entretenida e interactiva, tanto para pacientes como para terapeutas, como es el caso de una web

interactiva planteada por Hussain y sus colaboradores en 2014 con una serie de animaciones y actividades diseñadas para ayudar en la comprensión del lenguaje y retención de palabras claves e información [11]. También existen trabajos como Table to Tablet (T2T) que buscan emular materiales para la terapia de lenguaje en un entorno digital [12]. El uso de juegos en dispositivos móviles como Spoke It ilustrado en libros de cuentos que motiva el habla más que los métodos convencionales. Encontramos trabajos que implementan un juego que va aumentando la dificultad según el rendimiento de la persona, este se centra en el reconocimiento de voz, que la puntúa y genera una retroalimentación para ser analizada por el equipo de profesionales [13]. En la Universidad de Boston realizaron el estudio *Of the iPad tablet for individuals with aphasia as part of an intensive, comprehensive aphasia program (ICAP)*, basado en un tratamiento multidisciplinario enfocado en varias áreas como la comunicación social, comunicación de necesidades básicas, lectura, escritura, planificación diaria, e inclusive ortografía, mejorando la espontaneidad en el lenguaje [14].

Generalmente en las terapias se utiliza material didáctico en papel, al integrar dispositivos móviles ganamos interés y la participación de los niños en la terapia motivando a completar las actividades y promoviendo nuevo vocabulario a la vez que analizamos varios parámetros como el propósito, tiempos, nivel de avance y más, me-

díante una retroalimentación [15]. El uso de las tecnologías nos permite relacionar actividades con la multimedia para fortalecer áreas como la articulación, fluidez y voz mediante un juego para Tablet y la supervisión de profesionales se puede conseguir una mejor actitud y motivación durante la Terapia, así como un material de refuerzo en casa con la ayuda de los padres o tutores responsables del niño [16].

Es importante destacar que existen aplicaciones que utilizan animaciones para incentivar, motivar y generar un ambiente amigable, es importante tener en cuenta que al exagerar de estos recursos podemos generar distracciones [17], los niños tienen una mejor relación con las nuevas tecnologías

utilizándolas para ayudarlos a mejorar sus habilidades de comunicación, Alphonsus y Minoi desarrollan un prototipo de aplicación móvil para niños de edad preescolar de 3 a 6 años utilizando el *touch*, sonidos e imágenes donde destacan la emoción al utilizar la aplicación móvil [18]. Existen trabajos similares donde presentan una aplicación de móvil Android que permite realizar ejercicios de habla donde se graba al paciente y se analiza las señales generando retroalimentación [19]. Podemos destacar que el uso de dispositivos móviles y las herramientas que ellos incorporan pueden convertirse en aliados importantes en procesos de terapia, motivándonos a desarrollar nuestra propuesta.

2. Métodos

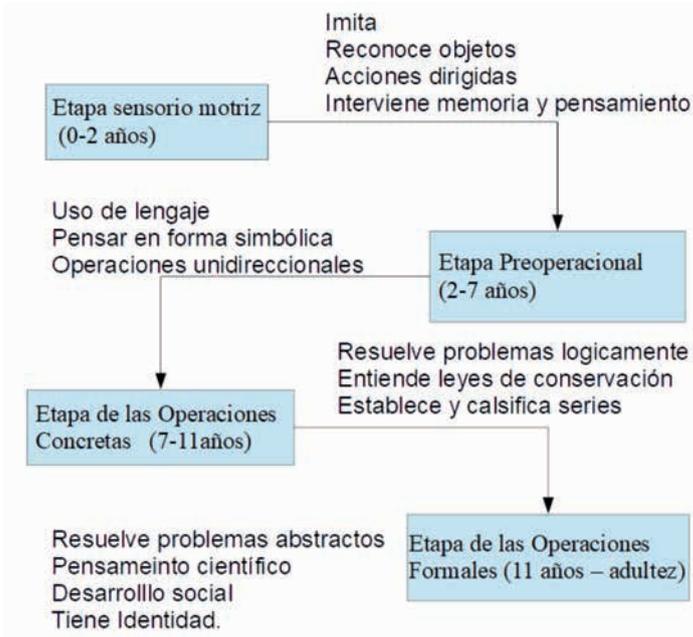
2.1. Desarrollo de la propuesta

La propuesta fue desarrollada con un equipo multidisciplinario de profesionales, el área de ingeniería de la UPS en colaboración con áreas como: terapia de lenguaje, terapia ocupacional, psicología educativa y fisioterapeuta de la escuela San Juan de Jerusalén, que es una institución de educación básica inclusiva con 249 estudiantes de los cuales 61 tienen necesidades educativas especiales (NEE) asociadas o no a la discapacidad. De este grupo, 41 asisten a terapias de lenguaje. El logotipo de la escuela refleja el respeto a las diferencias mediante un grupo de niños con y sin discapacidad dados la mano en igualdad de condiciones,

ilustrado en muñecos de trapo que forma parte de un personaje que interactúa en nuestra aplicación ya sea para dar las instrucciones de las actividades o los estímulos positivos.

La aplicación Android se centra en la logopedia basándonos en el aporte del psicólogo suizo Jean Piaget, que manifiesta que no importa la exactitud de la respuesta infantil, sino las formas de razonamiento que elabora el niño, donde el niño trata de comprender el sentido del mundo construyendo hipótesis en forma continua y produciendo conocimiento. Piaget clasifica en etapas el desarrollo cognitivo y las relaciona con la edad y con una variación individual y cultural, como se muestra en la Figura 1 [20].

Figura 1. Estructura de las etapas del desarrollo cognitivo



Fuente: los autores

Nuestra propuesta se orienta a la etapa de las operaciones concretas, donde el niño ya adquiere un cierto grado de reflexión y puede resolver problemas, situación que nos facilita la aplicación y trabajo en el desarrollo de las funciones cognitivas, que son las que van a permitir el acceso a los aprendizajes formales de la educación básica. Estos no siempre dependen del entorno que propone la pedagogía, sino también de las capacidades innatas que posee cada ser humano. Por ello partimos en la neuropsicología, que se fundamenta en lo holístico e integral para comprender las capacidades de cada ser y así ubicar las dificultades, a fin de poder brindar una intervención oportuna acorde a las ne-

cesidades específicas. Se fundamenta en dos disciplinas complementarias: las neurociencias que aportan con la explicación anatómica y biológica de la fisiología, y la psicología que entiende el comportamiento humano y las operaciones mentales como la psicolingüística y la psicología cognitiva.

El diagnóstico neuropsicológico y neurolingüístico es importante para los niños con problemas de aprendizaje, para identificar las áreas cerebrales específicas (neurología, psicología, lenguaje) y poder determinar si la lesión cerebral ha afectado el funcionamiento general en el caso de déficit cognitivo global (deficiencia mental) o afectación a ciertos módulos en el caso de trastornos cognitivos específicos, que general-

mente derivan en trastornos de aprendizaje y conllevan un fracaso escolar.

El proceso de aprendizaje se basa en tres niveles: inicia en el nivel bajo donde el individuo realiza una actividad sin el razonamiento debido, el segundo nivel almacena la información y en el tercer nivel se aplica el razonamiento y la lógica, es decir, un sistema cognitivo al existir un fracaso en este nivel encontramos los problemas de aprendizaje o toma de decisiones.

- *Procesamiento de entrada de la información.* Proveniente de los sentidos generalmente por la vista, oído y le tacto en menor proporción.
- *Procesos de reconocimiento y almacenamiento en la memoria.* Toda la información es almacenada e interpretada para que tome sentido.
- *Procesamiento de salida.* Mediante la organización y planificación de la respuesta que se dan por la ejecución de un movimiento (Praxia).
- *Acción.* Se expresa mediante pensamiento o conducta de salida.

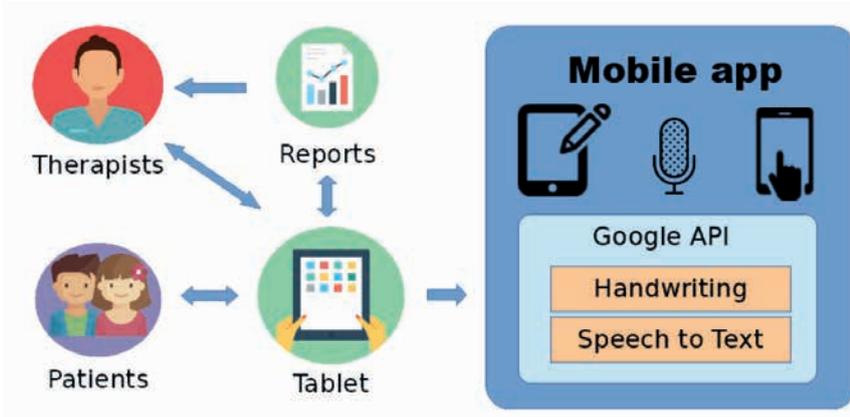
La evaluación planteada por Piaget considera 13 consignas, cada una con actividades específicas que deben ser superadas según las etapas planteadas. Para trabajar en la etapa de operaciones concretas nuestra aplicación se centra en desarrollar la lectura y escritura, y para ello estimula:

- Precisión en la escritura
- Movimiento y coordinación ojo mano
- Percepción viso-espacial
- Generar un cierto dominio del lenguaje
- Direccionalidad del trazo
- Lateralidad
- Mejorar los rasgos caligráficos

2.2. Aplicación móvil

En base a las TIC se ha realizado una aplicación para Tablet con diferentes actividades utilizadas en los procesos de terapia del lenguaje. Con este objetivo se han digitalizado las tareas que se realizan a mano utilizando herramientas que proporciona un dispositivo móvil. En este trabajo utilizamos el *kit* de desarrollo de software de Android (SDK) que incorpora complementos de las API de Google, que nos son de mucha utilidad. En la Figura 2 mostramos la estructura propuesta para la aplicación móvil: la primera parte es la sesión del trabajo común que se realiza entre un terapeuta y un niño, y en la segunda parte está la introducción de las TIC en la terapia (en este caso una Tablet con una aplicación desarrollada en Android que nos permita generar reportes con la cantidad de errores más frecuentes que posteriormente son analizados por profesionales en logopedia).

Figura 2. Estructura global de la propuesta de la aplicación móvil en la logopedia



Fuente: los autores

La aplicación trabaja con estímulos positivos que indican si la actividad se realiza correctamente o debe repetir, para esto planteamos dos personajes ilustrados en los “muñecos de trapo”, como podemos ver en la Figura 3. Con la finalidad de enfocarnos en aspectos como la atención, concentración, memoria, secuenciación, denominación de objetos ya sea esta de forma oral o escrita y estimular diferentes componentes del lenguaje desarrollamos módulos de evaluación e intervención tales como:

- *Denominación.* Implementado con la finalidad de recuperar la palabra de nuestro léxico semántico, mediante la repetición fonológica estimulamos la evocación, articulación fonológica, léxica para el aprendizaje de la lectura y sintáctica. La aplicación presenta imágenes donde el niño debe identificarlas e indicar su denominación ya sea esta de forma oral o escrita. Las imágenes que se presentan pueden ser

elegidas de cuatro grupos: animales domésticos, animales salvajes, instrumentos musicales o frutas.

- *Atención.* Plantea buscar las palabras almacenadas en nuestro cerebro y entenderlas en un contexto ya sea este oral o escrito. Buscando desarrollar la conciencia fonológica, meta fonología a fin de lograr que el niño pueda comprender textos, una fluidez en la lectura y tomar apuntes mientras se escucha al interlocutor. Estimulando las capacidades sensoriales, motrices o cognitivas. La aplicación busca fomentar la repetición de palabras o pseudo-palabras.
- *Ritmo.* Mediante las habilidades lecto-escritas buscamos mejorar las funciones del lenguaje oral, planificación y organización motora. Planteamos en la aplicación la reproducción de un esquema o modelo rítmico que va complicándose según el avance del niño con

la finalidad de lograr una correcta agrupación de palabras por el nú-

mero de sílabas, mejorando el recitado y entonación.

Figura 3. Ilustraciones utilizadas para los estímulos positivos



Fuente: los autores

En la Figura 4 presentamos una captura de pantalla de la configuración inicial que nos servirá para generar el reporte, como se puede ver se registra el nombre, género, fecha de nacimiento-

to para identificar la edad seguido de la configuración correspondiente a la actividad que se vaya a realizar en este caso para repetir palabras o pseudo-palabras.

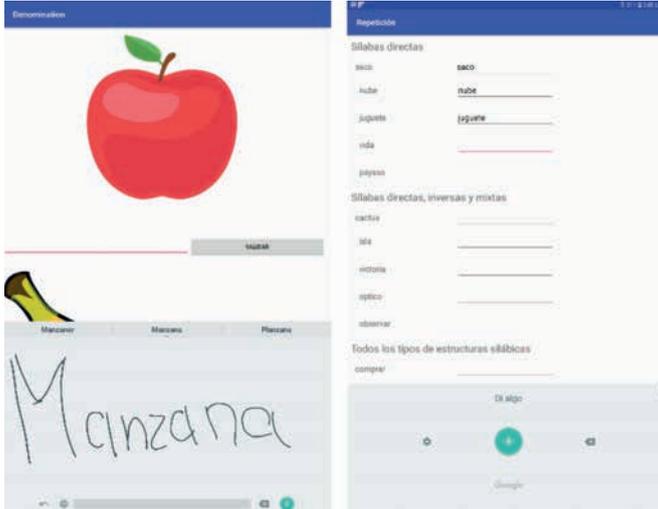
Figura 4. Configuración inicial para repetir palabras o pseudo-palabras

Fuente: los autores

En la Figura 5 tenemos las capturas de pantalla de las actividades planteadas para denominación de objetos mediante escritura y repetición de pa-

labras y pseudo-palabras utilizando el texto a voz de Google, esta actividad está dividida en sílabas directas, sílabas inversas directas y mixtas.

Figura 5. Actividades propuestas



Fuente: los autores

El proceso de evaluación se realiza con 11 niños y niñas seleccionadas al azar de los 41 que asisten a terapia de lenguaje cuyas edades están entre 8 y 11 años, propias de la etapa de operaciones concretas, y cursan tercero, cuarto, quinto y sexto año de EGB. En las figuras, palabras y pseudo-palabras utilizadas en la aplicación móvil son de uso libre y propuestas por el grupo de expertos. Los datos recolectados han sido mostrados a los profesionales como primera instancia, quienes son los encargados de analizar y posteriormente, tras la integración de la aplicación en la terapia, realizaremos nuevas pruebas para poder hacer un contraste en la observación.

El proceso de investigación se inició con la identificación de los horarios asignados para terapia de lenguaje de los niños y niñas que participaron en la evaluación, cada evaluación tuvo una duración de cuarenta minutos en los cuales se explicó la actividad a realizar. Posteriormente se conoció los perfiles de los participantes y las actividades planteadas. Una vez concluido este proceso se realizó un análisis cualitativo, basándonos en entrevistas con los niños y niñas que participaron y el respectivo análisis y observaciones que realizó el grupo de expertos durante las evaluaciones, así como los datos obtenidos donde analizan impresiones, impacto, motivación, acepta-

ción y factibilidad de implementar de forma frecuente el uso de la aplicación en la terapia. Del grupo de niños con quienes evaluamos la aplicación fueron cinco niñas y seis niños de EGB, pudiéndolos ubicar dentro de la etapa de las operaciones concretas. En la Tabla 1 vemos el número de participantes

según su edad. Del grupo de participantes, tres niños tienen problemas de aprendizaje no asociados a la discapacidad, en el caso de niños asociados a la discapacidad encontramos cuadros de discapacidad intelectual, dispraxia visoespacial, déficit de atención, dislexia, disartria y discapacidad motriz.

Tabla 1. Edades de los niños que participan en la evaluación

Edad	8	9	10	11
Número de participantes	2	1	3	5

Fuente: los autores

3. Resultados y discusión

En esta primera instancia validamos la propuesta con 11 niños y niñas con necesidades educativas especiales (NEE), asociadas o no a la discapacidad, que asisten a terapia de lenguaje en la jornada matutina. Para ello se realizó la evolución en las sesiones de trabajo mediante actividades en papel y en la aplicación móvil.

Las actividades en la Tablet se realizaron de forma oral y escrita. Para esta sesión de trabajo la información fue almacenada con la finalidad de generar un reporte que fue analizado por un grupo de profesionales en logopedia e ingeniería para poder determinar si la aplicación tuvo un impacto positivo en los niños. Este equipo de profesionales también observa y analiza cada sesión de trabajo. De este análisis podemos destacar:

- *Facilidad de uso.* 7 de los 11 niños utilizaron la aplicación de manera

intuitiva sin mayor ayuda del terapeuta.

- *Interés.* 10 de los 11 niños muestran un total interés al usar la aplicación, un solo caso se observa que el niño no se conecta con la actividad posiblemente por su cuadro de dislexia y déficit de atención que no le permite percibir correctamente las imágenes y la secuencia de las letras para formar una palabra
- *Motivación.* Se observa una motivación muy buena al usar la aplicación por parte de todos los niños, podemos destacar el caso de una niña con discapacidad motriz que le dificulta la escritura en papel sin embargo su nivel de motivación es muy alto al utilizar la aplicación donde su escritura mejora de una manera muy notable.
- *Concentración.* Se observa una mejor concentración al realizar la actividad en la Tablet que en papel, con

la excepción de un niño con un cuadro de déficit de atención se muestra inquieto y no se concentra en realizar las actividades propuestas.

En cuanto a los niños, se les consultó de las funcionalidades que tiene la aplicación y nueve de ellos consideraron que son muy buenas, mientras dos dicen que son buenas. El total de niños

que utilizaron la aplicación indican que les gustó y tienen una mayor preferencia en utilizar las actividades con animales domésticos y frutas. Durante este proceso se logró evidenciar una alteración en la articulación de palabras que afecta la escritura, ya que no hay una buena prosodia, vocabulario limitado y errores ortográficos.

4. Conclusiones

El diseño y desarrollo de herramientas para terapia de lenguaje, requiere de la colaboración de un equipo multidisciplinario de profesionales de diversos campos como la salud, la psicología, la logopedia, la medicina, la informática y la electrónica.

Una vez analizada la primera versión de la aplicación móvil se observa que la motivación y atención mejora notablemente durante la terapia, también se pudo identificar algunas mejoras a implementar, como son señalar los errores de ortografía, mejorar la captura visual de la palabra completa de manera que puedan ubicar y corregir los errores ortográficos, mejorar las

percepciones de los rasgos caligráficos y aumentar el tamaño de la letra, implementar ayudas que nos permitan entrenar y mejorar el vocabulario al momento de realizar la actividad.

Actualmente la información generada es analizada por profesionales en el área, en base a este conocimiento planteamos integrar la aplicación a un ecosistema para la intervención y el seguimiento en el proceso de aprendizaje de niños con necesidades educativas especiales asociados o no a las discapacidades e integrar inteligencia artificial con la finalidad de tener herramientas inteligentes para el análisis de la información.

5. Referencias

- [1] DSM-5, Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales, American Psychiatric Association, Washington DC, 2013.
- [2] M. Vilameá y M. Pereiró, "Trastorno específico del lenguaje - Guía para la intervención en el ámbito educativo", *Asociación Tel Galicia*, 2014.
- [3] M. J. López *et al.*, "Elce (evaluación del lenguaje comprensivo y expresivo)", *Revista de Logopedia, Foniatria y Audiología*, 1997.
- [4] Billard *et al.*, "Brev: A rapid clinical scale for cognitive function in preschool and school-age children", *Revue Neurologique*, París, 2002.

- [5] Quisi-Peralta *et al.*, “Data repository of mobile applications for people with disabilities in the area of communication and language using data mining techniques”, *XXVIII International Conference on Electronics, Communications and Computers CONIELECOMP*, Puebla Cholula 2018.
- [6] C. Des Roches y S. Kiran, “Technology-Based Rehabilitation to Improve Communication after Acquired Brain Injury”, *Front Neurosci*, 2017.
- [7] C. Brandenburg *et al.*, “Mobile computing technology and aphasia: An integrated review of accessibility and potential uses”, *Aphasiology*, 2013.
- [8] INEC, “Tecnologías de la información y comunicaciones (TIC)”, Ecuador, 2016.
- [9] K. Mallet *et al.*, “RecoverNow: Feasibility of a Mobile Tablet-Based Rehabilitation Intervention to Treat Post-Stroke Communication Deficits in the Acute Care Setting”, *PLoS One*, 2016.
- [10] S. Kiran *et al.*, “Development of an impairment-based individualized treatment workflow using an iPad-based software platform”, *Seminars in Speech and Language*, New York, 2014.
- [11] L. Jesus *et al.*, “The Table to Tablet (T2T) therapy software development approach”, *Information Systems and Technologies (CISTI)*, Aveiro, Portugal, 2015.
- [12] Jared, “A mobile game system for improving the speech therapy experience”, *IX International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, Vienna, Austria, 2017.
- [13] Hoover y A. Carney, “Integrating the iPad into an intensive, comprehensive aphasia program”, *Seminars in Speech and Language*, 2014.
- [14] D. Folksman *et al.*, “A Mobile Multimedia Application Inspired by a Spaced Repetition Algorithm for Assistance with Speech and Language Therapy”, *VI International Conference on Developments in eSystems Engineering*, Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2013.
- [15] M. Zajc *et al.*, “Tablet game-supported speech therapy embedded in children’s popular practices”, *Behaviour Information Technology*, 2018.
- [16] Mateja *et al.*, “User-centred app design for speech sound disorders interventions with tablet computers”, *Universal Access in the Information Society*, 2017.
- [17] C. Tommy y J.-L. Minoi, “Speech therapy mobile application for speech and language impairment children”, *Conference on Biomedical Engineering and Sciences*, Malaysia, 2016.
- [18] S. Awad *et al.*, “Android-based real-time signal processing to treat speech-language pathologies”, *IEEE*, Cairo, Egypt, 2015.
- [19] Linares, Desarrollo cognitivo: las teorías de Piaget y de Vygotsky, Universidad Autónoma de Barcelona, Cataluña.

Hardware in the Loop as a tool for designing control systems

Hardware in the Loop como herramienta para diseñar sistemas de control

D. Barrera,¹ P. Gómez,² E. Pinos³

Abstract: *in control theory, we can find different dynamic systems in which, through analysis and control schemes, we can provide a solution that can be implemented correctly. This article will deal with two different types of controllers for a spring-damper mass system, which will represent the plant of the system, an actuator that will be a DC motor powered by reinforcement, and a Sharp sensor to measure the distance of the mass of the plant. The models of each part of the system are found separately, to later perform a coupling of the different parts of the system by means of the rotational mechanical part and the translational mechanical part. Finally, it will be compared with the results implemented in the hardware in the Loop, developed in Labview software which behaves in real time, with a system transfer function, also knowing the different frequency responses of the compensated system.*

Keywords: *control, HIL, simulation, frequency.*

Resumen: en teoría de control, podemos encontrar distintos sistemas dinámicos en la cual mediante, un análisis y esquemas de control podemos dar una solución, que pueda ser implementada correctamente. En este artículo se tratará sobre dos diferentes tipos de controladores para un sistema masa resorte-amortiguador, que representará a planta del sistema, un actuador que vendrá a ser un motor DC alimentado por armadura, y un sensor Sharp para medir la distancia de la masa de la planta. Los modelos de cada parte del sistema son encontrados por separado, para posteriormente realizar un acople de las diferentes partes del sistema mediante, la parte mecánica rotacional y parte mecánica traslacional. Por último, se comparará con los resultados implementados en el hardware in the Loop, desarrollado en el software Labview el cual este se comporta a tiempo cercano al real, con una función de transferencia del sistema, conociendo también las diferentes respuestas en frecuencia del sistema compensado.

Palabras clave: control, HIL, simulación, frecuencias.

1 David Sebastián Barrera Cordero, estudiante de 9º ciclo de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Ecuador (dbarrerac@est.ups.edu.ec).

2 Pablo Andrés Gómez Guerrero, estudiante de 9º ciclo de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Ecuador (pgomezg1@est.ups.edu.ec).

3 Esteban Fabricio Pinos Pinos, estudiante de 9º ciclo de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Ecuador (epinosp@est.ups.edu.ec).

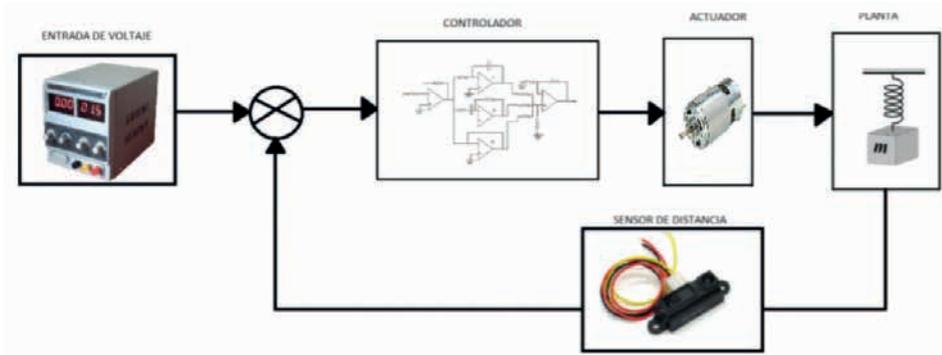
1. Introducción

Hardware in the Loop (HIL) se asocia con pruebas en tiempo real, tanto de software como hardware del controlador, en un sistema de circuito cerrado en el cual la planta no está físicamente presente, sino que será simulada como un modelo. En el modelo del sistema masa-resorte-amortiguador, está basada en el control de posición, la cual la simulación HIL llevará englobado todos los presentes modelos matemáticos de los sistemas dinámicos relacionados; en este caso, el actuador que esté representado por

un motor DC, controlado por armadura, la planta, el sistema masa resorte-amortiguador y un sensor de distancia dentro del lazo de control.

Los controladores tanto PID como Adelanto-Atraso, representan el hardware del proyecto, los cuales fueron implementados usando configuraciones típicas de amplificadores operacionales con una ganancia dada por las diferentes constantes del controlador. Este controlador será el que regule el voltaje de armadura que llega al motor y el cual controlará la posición de la masa.

Figura 1. Modelo HIL



Fuente: los autores

Los controladores que se implementarán serán incorporados análogamente, lo que representará el hardware del proyecto. La simulación HIL provee además una interfaz de comunicación con los sistemas de BUS de datos. El esquema HIL que se implementará se representa en la Figura 1, donde definimos que la entrada será un voltaje definido por el

sistema. El controlador será implementado a través de elementos activos o pasivos dependiendo del controlador.

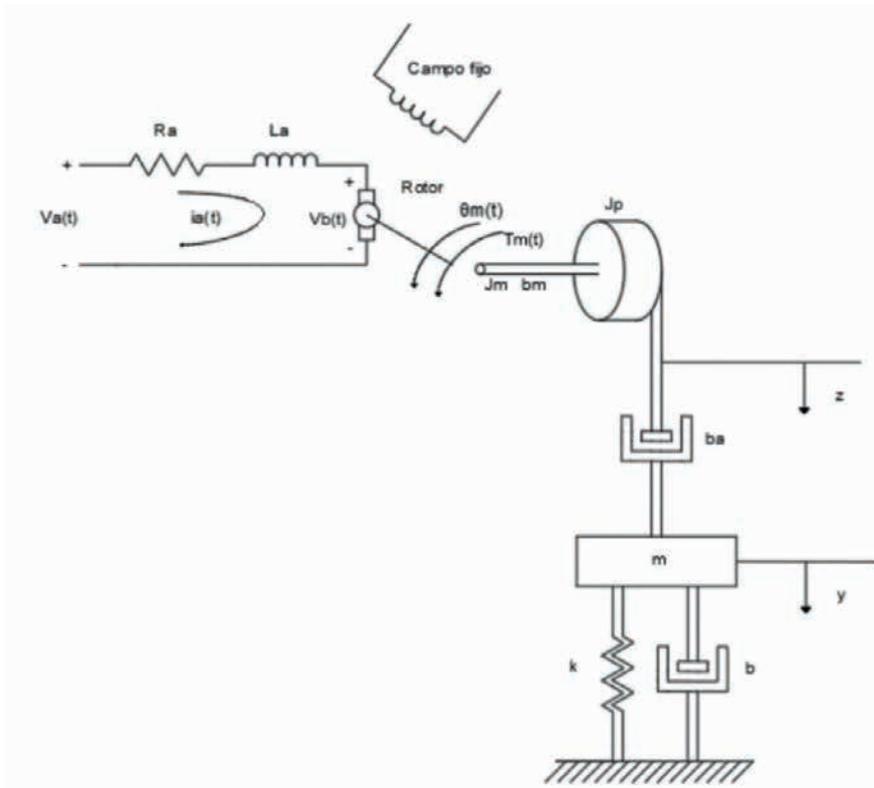
Dentro del software se implementarán los modelos de actuador, planta y sensor en tiempo real, mientras que el hardware de desarrollo contiene una interfaz con la que se controla la entrada virtual de la planta.

2. Métodos

Partimos de los distintos modelos matemáticos que nos aporta el sistema masa resorte-amortiguador como es la planta, el actuador que será un motor DC de 12 V y el sensor de distancia

para medir la variación que nos aporta la masa. Cada modelo será analizado de manera individual con el fin de acoplarlos al final mediante la parte de la mecánica rotacional y traslacional.

Figura 2. Esquema general del modelado

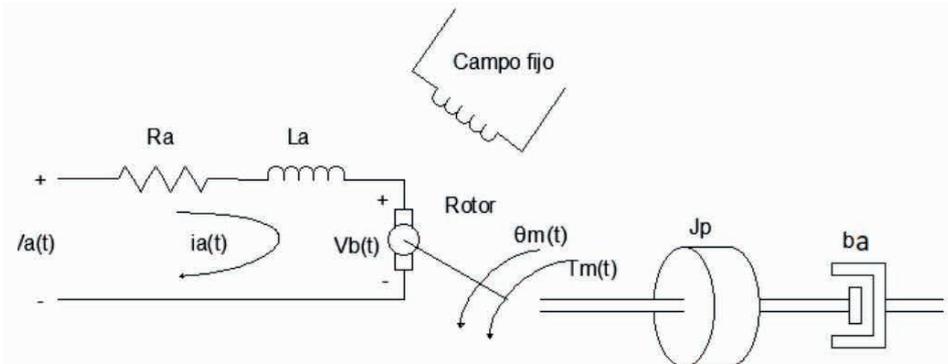


Fuente: los autores

La planta es un sistema masa resorte-amortiguador cuya posición de referencia es y . En la Figura 3 se representa el desplazamiento de la masa m y z es la posición de referen-

cia respecto al segundo amortiguador (ba). Cuando el sistema se encuentra en equilibrio las fuerzas del resorte y los amortiguadores se cancelan con el peso de la masa.

Figura 4. Planta del sistema



Fuente: los autores

2.1. Ecuación eléctrica

Ecuaciones eléctricas del motor:

$$T_m = K_T * i_a \quad (4)$$

$$V_b = K_b * \omega \quad (5)$$

$$\omega \rightarrow \Omega(s)$$

$$I_a(s) = \frac{1}{R_a + sL_a} [V_a - K_b \Omega(s)] \quad (6)$$

2.2. Ecuación mecánica

$$\Omega(s) = \frac{1}{sI + c} [K_T I_a(s) - T_L(s)] \quad (7)$$

Las ecuaciones del sistema son:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_m = K_T * i_a \\ I_a = \frac{V_a - K_b \Omega}{R_a + sL_a} \\ (J_m + J_p)\ddot{\theta} + (b_m + b_a R)\dot{\theta} = T_m + b_a \dot{y} \\ -k_y - b \dot{y} + b_a r \dot{\theta} - b_a \dot{y} = m \ddot{y} \end{array} \right.$$

La función de transferencia del acople planta actuador es:

$$G(s) = \frac{K_T e}{a_1 s^4 + a_2 s^3 + a_3 s^2 + a_4 s + a_5}$$

Donde:

$$a_1 = Laf$$

$$a_2 = Raf + Lag$$

$$a_3 = Rag + Lah + K_T K_b$$

$$a_4 = Rah + Lai + K_T K_b^c$$

$$a_5 = Rai + K_T K_b^d$$

Obtenido el modelo de la planta con el del actuador, se acopla a través de una ecuación de torques, que une el torque del motor con el desplazamiento de la masa, para obtener la posición de la masa a través del voltaje de armadura del motor y su función de transferencia

2.3. Ecuación diferencial mecánica rotacional

$$(J_m + J_p)\ddot{\theta} + (b_m + b_a R)\dot{\theta} = T_m + b_a \dot{y} \quad (8)$$

El sensor utilizado es el sensor Sharp GP2Y0A51SK0F donde se aproximó a una función exponencial no lineal, que representa la relación voltaje-distancia,

mediante aproximaciones y regresiones de Taylor, y el censado de diferentes puntos obtenidos del sensor:

$$V(x) = 628.8e^{-0.6183x} + 240e^{-0.07771x}$$

Aplicamos la serie tomando en cuenta las pequeñas variaciones de x respecto al punto de operación.

$$628.8e^{-0.6183(\delta_x+2.5)} + 240e^{-0.07771(\delta_x+2.5)} \approx 331.6534 - 98.228\delta_x$$

Reemplazando con la igualdad, se obtuvo la siguiente función aproximada:

$$\delta_x = x - 2.5$$

$$V(\delta_x) \approx 331.6534 - 98.228(x) \quad (9)$$

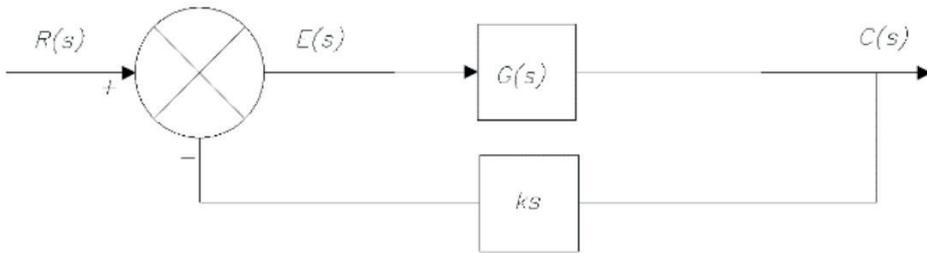
Para diseñar el sistema de control, primero tenemos que cerrar el lazo con

$$x = \delta_x + 2.5$$

Siguiendo la fórmula de las series de Taylor y aplicando la igualdad de x respecto a sus variaciones, se obtuvo la siguiente ecuación:

el sensor para poder realizar el diseño del controlador. La ganancia del sensor en el punto de operación es $k_s = 2,8$. El lazo de control del sistema de posición equivale al diagrama de la siguiente figura:

Figura 5. Lazo de control para el sistema



Fuente: los autores

Para el diseño del controlador por medio de la respuesta en frecuencia se obtiene, primeramente, los parámetros

de la respuesta en frecuencia del sistema, sin compensar como se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 1. Parámetros sistema sin compensar

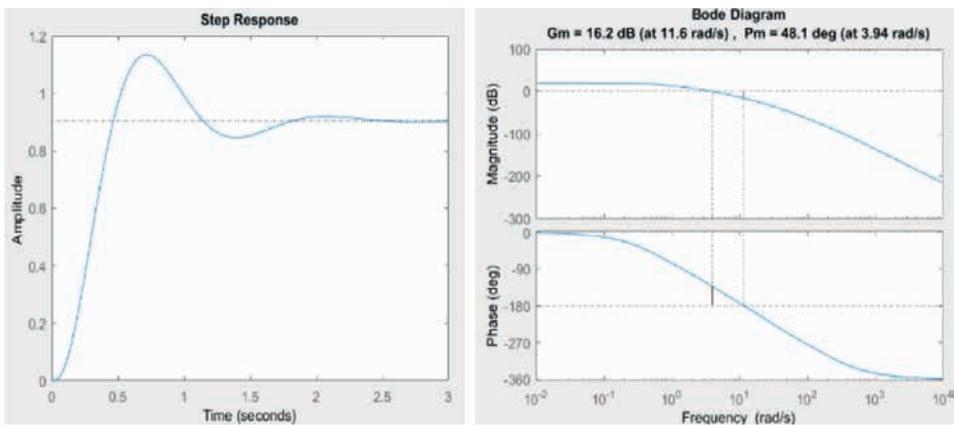
Sistema sin compensar	
Tiempo de asentamiento	1,7027 s
Sobre disparo	25,3669%
Tiempo de levantamiento	0,2955 s
Pico	1,1346 s
Tiempo pico	0,7130 s

Fuente: los autores

Tabla 2. Parámetros de frecuencia del sistema sin compensar

Sistema sin compensar	
Margen de fase	48,1°
Margen de ganancia	16,2 dB
Frecuencia cruce de fase	11,6 rad/s
Frecuencia cruce de ganancia	3,94 rad/s
Sita (ζ)	0,4559

Fuente: los autores

Figura 6. Respuesta ante el escalón del sistema y su respuesta en frecuencia sin compensación

Fuente: los autores

3. Resultados

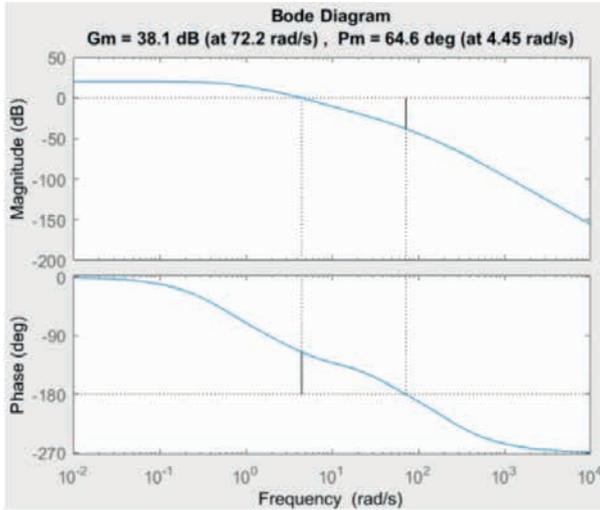
3.1. Control PD

En la parte PD se mejorará el parámetro transitorio del tiempo de asentamiento y se reducirá el sobre disparo

actual. Para la parte PD primero definiremos los parámetros de diseño:

- Reducir el sobre disparo al 5%.
- Reducir en un factor de 2 el tiempo de asentamiento.

Figura 7. Diagrama de Bode compensado con K_{p2} y recuperación de la W_{cgd}



Fuente: los autores

El cálculo del control PD se realizó en el dominio de la frecuencia, obteniendo las constantes proporcionales e

integrales $K_p = 1,1971$ y $K_d = 0,1085$, con los valores de K_p y K_d obtuvimos la función de transferencia del controlador:

$$G_D(s) = 0.090638 (s + 11.03) \tag{10}$$

Donde se obtiene el margen de fase deseado, pero no se encuentra en la frecuencia de cruce de ganancia deseada, por lo que el siguiente paso es calcular la constante K_{p2} para recuperar dicha frecuencia. Para el cálculo de K_{p2} , se calcula la magnitud a aportar en la frecuencia de cruce de ganancia deseada,

el valor se toma del diagrama de Bode de la Figura 15, donde $K_{p2} = 1,1098$.

Como se puede ver en el diagrama de Bode de la Figura 7, se recuperó la frecuencia de cruce de ganancia deseada y se tiene el margen de fase deseado para el nuevo sobre disparo definido.

$$kp2GGpd = \frac{16089(s + 11.03)}{(s + 220)(s + 30.51)(s + 4.435)(s + 0.5638)} \quad (11)$$

3.2. Control PI

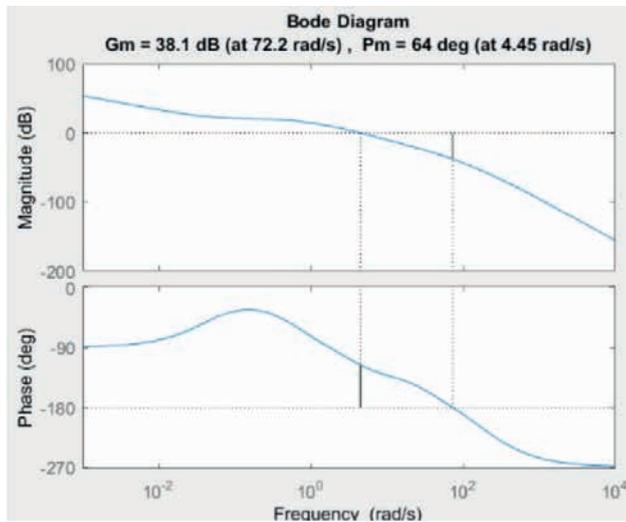
La parte PI nos permite reducir el error de estado estable que posee el sistema. Se seleccionó el cero del controla-

dor por debajo de dos décadas de la frecuencia de cruce de ganancia para que así no afecte el margen de fase definido por la parte derivativa: $K_{i2} = 0,0495$.

3.2.1. Función de transferencia

$$Gf = \frac{16089(s+0.04457)(s+11.03)}{s(s+220)(s+30.51)(s+4.435)(s+0.5638)} \quad (12)$$

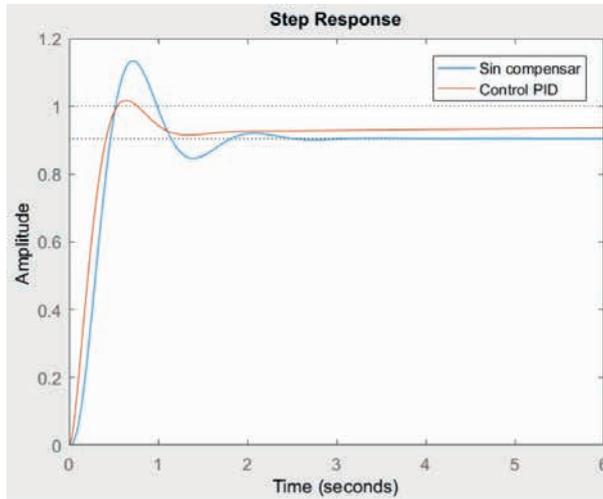
Figura 8. Diagrama de Bode del sistema compensado con PID



Fuente: los autores

El sistema sin compensar y el sistema compensado con PID se muestran en la Figura 8. El compensador reduce

el tiempo y elimina el error de estado estable definidos como parámetros del diseño.

Figura 9. Respuesta del sistema sin compensar y compensado con PID

Fuente: los autores

Tabla 3. Parámetros transitorios del sistema compensado

Sistema sin compensar	
Tiempo de asentamiento	1,02 s
Sobre disparo	2,78%
Tiempo de levantamiento	0,34 s
Pico	1,0178 s
Tiempo pico	0,639 s

Fuente: los autores

Tabla 4. Parámetros frecuenciales del sistema compensado

Sistema compensado	
Margen de fase	64°
Margen de ganancia	38,1 dB
Frecuencia cruce de fase	72,2 rad/s
Frecuencia cruce de ganancia	4,45 rad/s
Sita (ζ)	0,6901

Fuente: los autores

3.2.2. Cálculo de constantes para el controlador

$$K_P = K_{p2} + K_{d1}K_{i2} = 1.1152$$

$$K_d = K_{d1}K_{p2} = 0.1204$$

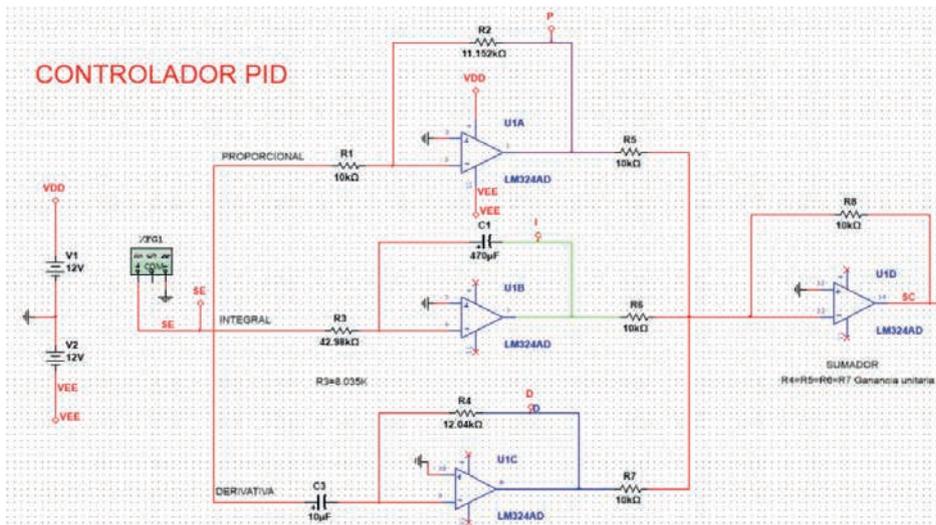
$$K_i = K_{i2} = 0.0495$$

$$Gc(s) = 1.1152 + 0.1204s + 0.0495 \frac{1}{s}$$

3.3. Implementación analógica del control

Se la realiza con amplificadores operacionales con sus diferentes configuraciones, el esquema usado se muestra en la Figura 10.

Figura 10. Circuito analógico PID



Fuente: los autores

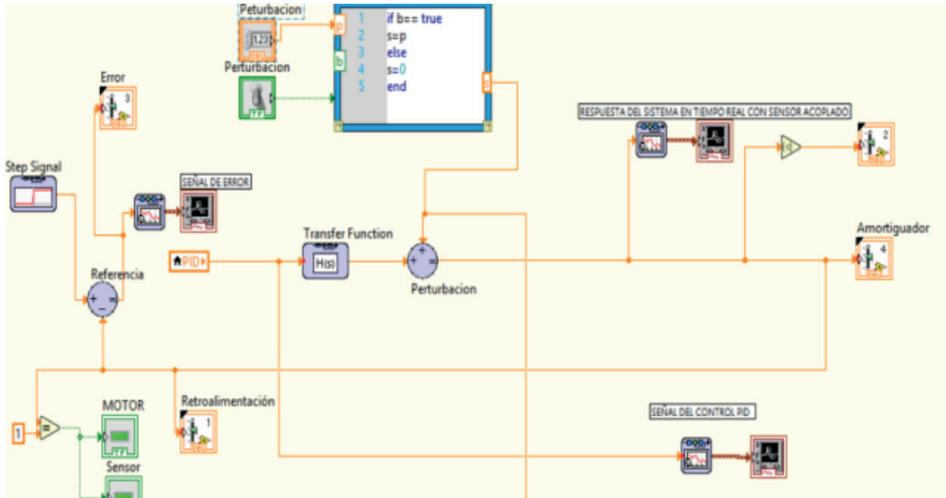
El esquema seleccionado tiene la ventaja de que cada parámetro del controlador es independiente, lo cual facilita entender su funcionamiento.

3.4. Implementación HIL

En el esquema HIL se utilizó las librerías propias de control y simu-

lación dadas por el software Labview y por ende este bucle realiza la discretización, de manera automática por lo que se trabaja con la función de transferencia en tiempo continuo.

Figura 11. Esquema de control



Fuente: los autores

La implementación HIL es una técnica muy efectiva para el análisis de sistemas en tiempo real. Una vez definido y modelado el sistema a controlar, y con las herramientas de estabilidad y diseño del controlador, resulta de gran utilidad poder implementar y testear la efectividad y robustez de los controladores diseñados anteriormente. Así podremos analizar de manera profunda el comportamiento de los controladores, y realizar una aproximación casi ideal al comportamiento del sistema en el mundo real.

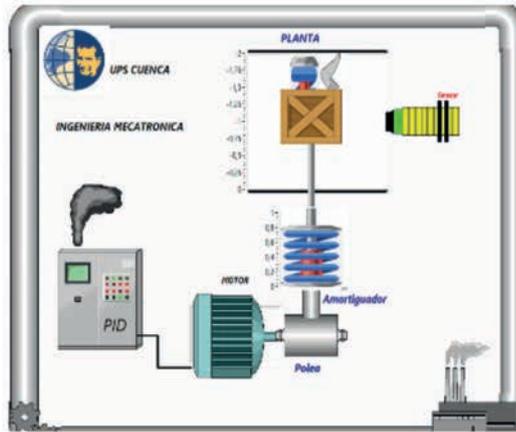
El sistema posee un transitorio amplio para un sistema masa resorte, ya que con ese nivel de oscilación, el sistema podría llegar a la inestabilidad y generar conflictos en la vida real del sistema, por lo que el controlador debe tener la robustez para reducir esa oscilación dada por el sobre disparo del

sistema y a la vez eliminar el error de estado estable generado por el mismo.

Con estos dos requerimientos se hace necesaria la implementación de un controlador proporcional integrativo derivativo (PID), el cual es capaz de reducir la oscilación generada por el sistema sin compensar, y a la vez eliminar el error de estado estable con la ayuda de la parte integral del controlador.

El controlador Adelanto-Atraso fue también implementado para mejorar los requisitos del sistema. Este controlador presenta una desventaja en la parte de atraso, ya que no elimina todo el error de estado estable, sino que lo reduce en un factor, por lo que al realizar el análisis de sensibilidad en los diferentes tipos de controladores, el PID es el más robusto, ya que elimina completamente el error de estado estable y tiene una menor sensibilidad a la variación de parámetros de la planta.

Figura 12. Interfaz HIL



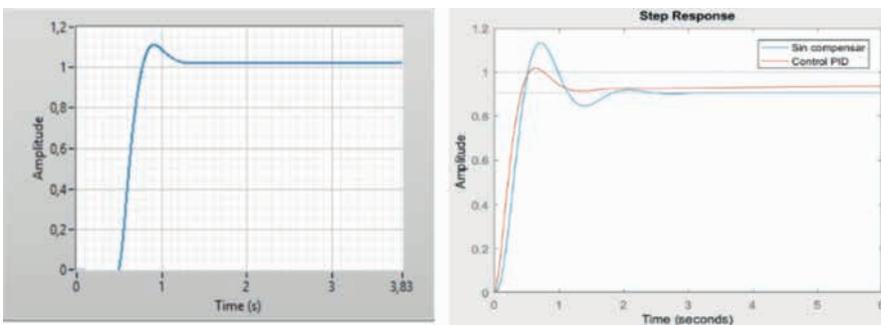
Fuente: los autores

3.5. Comprobación

En la Figura 13 podemos observar el desempeño del sistema una vez implementado el controlador PID. En la parte derecha se muestra el sistema compensado, y sin compensar del sistema a manera de simulación en Matlab. En esta simulación se observa la reducción de oscilaciones en el sistema y la estrategia de diseño para reducir dichas oscilaciones. Cabe mencionar

que el controlador fue diseñado para no reducir toda la oscilación, lo cual sería un caso ideal, sino para mantener un valor bajo de sobre disparo como prueba del trabajo del controlador. En la parte izquierda se presenta el desempeño del controlador en Labview. Una vez implementado el controlador físico y realizada la adquisición de datos, por lo que se puede ver que el desempeño es similar a la simulación.

Figura 13. Simulación en Matlab vs. implementación HIL



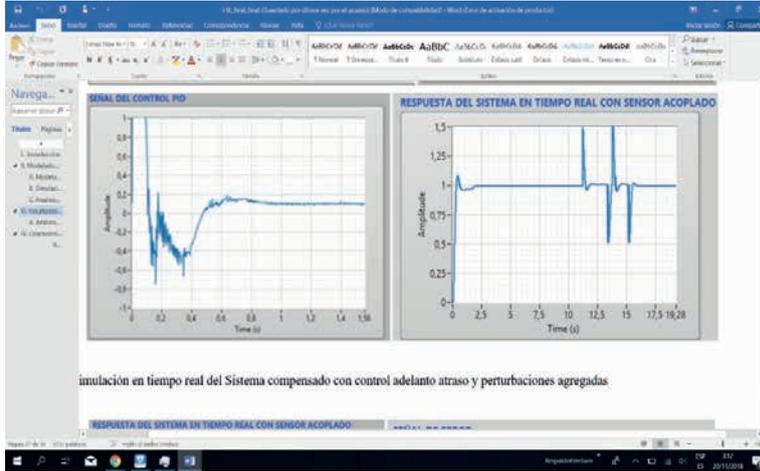
Fuente: los autores

3.6. Análisis de perturbaciones

Para verificar la robustez del controlador PID se procede a introducir una serie

de perturbaciones, al sistema para observar y verificar como el sistema de control implementado actúa en el sistema masa resorte-amortiguador en tiempo real

Figura 14. Ingreso de perturbaciones al sistema



Fuente: los autores

4. Discusión

El método HIL nos permitió abstraer el comportamiento de nuestro sistema en la realidad, pero debemos tener en cuenta que trabajamos con datos experimentales y los modelos matemáticos varían mucho de acuerdo como se desee implementar el sistema y los elementos que lo componen.

Una vez que se implementó el hardware (controlador) y el software (interfaz) se debieron realizar ajustes en la adquisición de datos, ya que el tiempo de simulación era demasiado errático y muy poco cercano a lo real. Al revisar la documentación pertinen-

te se ajustó el tiempo con el del CPU del computador.

Para la implementación física del controlador se tuvo dificultad, ya que por su naturaleza análoga en ciertos casos el capacitor se quedaba cargado y al reiniciar el sistema arrojaba datos erróneos, para lo cual es recomendable el uso de partidores de tensión, para disipar la descarga del capacitor hacia tierra. Cuando se sintonizaba cada parte del controlador, cuando se construyó la implementación física, habría sido recomendable el uso de una señal senoidal y comprobar cada parte del

PID y del controlador Adelanto-Atraso con el uso de un osciloscopio.

Se recomienda usar sistemas embebidos y FPGA. En nuestro caso se adquirió datos con una DAQ de National Instruments, pero el procesamiento lo

realizaba el CPU del computador, para que trabajen juntamente con el procesador de la computadora, para así poder centrar todo el procesamiento y adquisición al dispositivo externo y garantizar la simulación en tiempo real.

5. Conclusiones

La implementación HIL es un método útil como parte de las simulación de controladores e implementaciones, para los diferentes sistemas que se requieran testear, puede ser implementado, en diferentes niveles de estudio de grado como una alternativa a la experimentación y al carecer de instalaciones físicas para realizar la obtención de datos, y la experimentación requerida para analizar los parámetros y comportamiento de sistema y el controlador, la literatura es extensa y todo dependerá del sistema a querer simular e implementar, si bien permite un análisis muy extenso y la simulación es muy fiable, presenta sus inconvenientes que si bien

pueden afectar la funcionalidad y la riqueza de los datos pueden ser superadas con ciertos ajustes.

En centros de estudio mucho más especializados puede ser una opción mucho más viable, ya que se podrían crear a partir de programas bases herramientas mucho más sofisticadas donde se puedan ajustar los parámetros a conveniencia del experimentador, como propuesta a futuros trabajos se desearía implementar una interfaz mucho más generalizada que no solo se centre en un solo tipo de sistema y controlador, si no que se pueda expandir el análisis únicamente cambiando parámetros y ajustando factores y funciones de transferencia.

6. Referencias

- [1] B. Fisher y U. Jassman, "A general framework for a control-based design of power and mechanical hardware-in-the-loop systems" *Science Direct*, n° 1, pp. 10957-10963, 2017.
- [2] W. Dai, P. Zhou, D. Zhao, S. Lu y T. Chaib, "Hardware-in-the-loop simulation platform for supervisory control of mineral grinding process", *Science Direct*, n° 1, pp. 1-5, 2015.
- [3] C. Kamali y S. Jain, "Hardware In the Loop Simulation for a Mini UAV", *Science Direct*, n° 1, pp. 700-705, 2016.
- [4] C. Ductran, R. Ibrahim, V. Sagayan, N. Saad y H. Sabo, "Internal model control for industrial wireless plant using Wireless HART hardware-in-the-loop simulator", *Science Direct*, n° 1, pp. 1-6, 2017.
- [5] Tech Teach, Introduction to Labview Control Design Toolkit, 2005. Recuperado de <https://bit.ly/2YvDBBK/>

- [6] J. Liu, L. Zhang, Q. Chen y S. Quan, "Hardware-In-The-Loop Test Bench For Vehicle ACC System", *National Nature Science Foundation*, pp. 1006-1011, 2017.
- [7] M. A. Tăut, G. Chindriș, D. Pitică y A. Fodor, "Model-in-the-Loop for determining the parameters of", *International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging*, p. 267-273, 2017.
- [8] J. R. Kourosh, *State Space Design Cycle and Hardware in the Loop Testing and Verification*, pp. 603-606, 2017.
- [9] C. S. Sandipa, "Hardware in Loop Simulation for Aircraft Arrester Gear System", pp. 1-6, 2016.
- [10] F. C. Nemtanu, I. M. Costea, D. Buretea y L. G. Obreja, "Hardware in the Loop Simulation Platform for Intelligent Transport Systems", *XXIII International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging*, vol. 1, pp. 2470-250, 2017.

Proposal of a system for the extraction of physiological characteristics through a sensorized pencil as a support for the detection of stress and anxiety

Propuesta de un sistema para la extracción de características fisiológicas mediante un lápiz sensorizado como soporte para la detección de estrés y ansiedad¹

L. Serpa,² I. Ojeda,³ E. Mesa,⁴ V. Robles,⁵ S. Huiracocha,⁶ J. Padilla,⁷ B. Zhagñay⁸

Abstract: among the different personality variables that can be obtained from a person in a job interview, we have the behavior of each of them, which allows analyzing variables such as stress or anxiety in front of one or several proposed scenarios, allowing this way the most appropriate or approximate selection of this. The taking of physiological and personality data, at the time of performing some psychological analysis, are of vital importance, since the more variables are collected and the less invasive is the method or the tool used for this purpose, the data or samples will be more reliable. They are taken, whereas if these

situations occur, they affect the patient in a psychological way, so that there is some invasion of his body or his behavior or state is altered, causing the data taken to have restrictions caused by noise or disturbances mentioned previously. By having instruments for measuring physiological variables that are increasingly smaller, portable and of low consumption, they allow obtaining information that is much easier to obtain, wireless and more timely, without the need to subject the individual to situations that alter their psychological or physical part. The present work is based on the monitoring of the heart rate and the pressure exerted by a user

-
- 1 Los autores quieren reconocer y destacar el interés, apoyo y asesoramiento del equipo de profesionales de la escuela de educación general básica San Juan de Jerusalén.
 - 2 Luis Serpa Andrade, máster en Control y Automatización Industriales, ingeniero electrónico, docente y colaborador del Grupo GI-IATa de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Ecuador (lserpa@ups.edu.ec).
 - 3 Isaac Leonardo Ojeda, ingeniero electrónico, ayudante de investigación del Grupo GI-IATa de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Ecuador (iojeda@ups.edu.ec).
 - 4 Eliana Mesa Quezada, licenciada en terapia física, equipo terapéutico de la escuela San Juna de Jerusalén de Cuenca, Ecuador (elymezaquezada@gmail.com).
 - 5 Vladimir Robles Bykbaev, doctor en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, máster universitario en Inteligencia Artificial, ingeniero de sistemas, docente y colaborador del Grupo GI-IATa de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Ecuador (vrobles@ups.edu.ec).
 - 6 Sandra Huiracocha Vivar, licenciada en Ciencias de la Educación con especialidad en Psicología Educativa, equipo terapéutico de la escuela San Juna de Jerusalén de Cuenca, Ecuador (sandyhuiracocha77@gmail.com).
 - 7 Jenny Padilla Peralta, licenciada en Terapia Ocupacional, equipo terapéutico de la escuela San Juna de Jerusalén de Cuenca, Ecuador.
 - 8 Betty Zhagñay Narváez, máster en Educación Inclusiva, equipo terapéutico de la escuela San Juna de Jerusalén de Cuenca, Ecuador (bethy3.2008@gmail.com).

on a graphological tool at the moment of being used, has a wireless communication and helps the decision making by the expert when analyzing the data of the variables received and processed.

Keywords: *pencil, sensor, pressure, pulse.*

Resumen: en una entrevista de trabajo se plantea uno a varios escenarios a los cuales es sometido un individuo, con lo que se pueden obtener y analizar ciertos rasgos de personalidad como el estrés y la ansiedad, permitiendo de esta manera la selección más adecuada o aproximada de una persona para un determinado cargo. En un análisis psicológico la toma de datos fisiológicos y de personalidad, son de vital importancia, ya que entre más variables se recolecten y esta recolección sea de la forma menos invasiva que se pueda, serán más fiables los datos o muestras que se tomen, las

etapas que afecten al individuo tanto psicológica como físicamente hacen que los datos adquiridos tengan restricciones o ruidos. El tener instrumentos de medición de variables fisiológicas cada vez más pequeños, portátiles y de bajo consumo, permiten que la obtención de la información sea mucho más fácil y oportuna, sin necesidad de imponer al individuo a situaciones que lo alteren psicológica y físicamente. El presente trabajo está basado en la propuesta de una herramienta grafológica inalámbrica, que además de asir la presión que ejerce una persona al momento de usarla, permita también tomar y monitorizar del ritmo cardíaco, dando soporte a la toma de decisiones por parte del experto al momento de analizar los datos de las variables recibidas y procesadas.

Palabras clave: lápiz, ansiedad, estrés, presión, pulso.

1. Introducción

Al carecer de herramientas para la detección de la ansiedad, se dispone en la actualidad de pruebas tradicionales como la “Escala de ansiedad de Beck” y la “Escala de ansiedad de Hamilton”, mismos que son test compuestos por un determinado número de reactivos que tienen que ser contestados en un tiempo establecido que varía de 5 a 20 minutos y cuyos resultados están sujetos a la última palabra del experto de ese instante, criterios que pueden variar dependiendo de quién los analiza [1].

Con la ayuda de la tecnología, la minimización de dispositivos y la optimización del consumo de energía nos es posible adquirir o construir instrumentos cada vez más pequeños que a su vez nos permitan captar variables facilitando la claridad en la selección de decisiones y llegar a conclusiones estables.

El 70% de la comunicación es no verbal, por lo que el análisis de la escritura de una persona resulta también importante, permitiendo adquirir mediante redes neuronales reportes de la misma, actuando de cierta forma como un detector de mentiras, teniendo eficaces resultados [2], manteniendo el mismo concepto. La grafología en el área académica nos sirve como descubrimiento, análisis e interpretación de rasgos de comportamiento de los estudiantes por parte de los docentes [3].

La detección de expresiones contrarias a la realidad puede ser detectada a través diferentes métodos, como la grafología, pudiendo obtener datos como los rasgos de personalidad de quien está sometido a una prueba [4], la información que se obtiene con el estudio de los trazos o grafos de un determinado texto permite el registro

de datos, que permite conocer la inclinación sexual del autor que realizó el texto [5].

La fisiología es la ciencia encargada de estudiar las funciones de los seres multicelulares o seres vivos, que en junto con la anatomía se convierten en ciencias importantes dentro del conocimiento de la medicina en general [6].

Los signos vitales son parte de las múltiples variables que se pueden obtener y monitorizar de un individuo, llegando a ser datos importantes e imprescindibles en todo tipo de paciente [7].

Los sensores de pulsioximetría y de ritmo cardíaco, permiten conocer, aportan información y monitorizan el estado de los pacientes que se encuentran bajo el efecto del dopaje, pudiendo controlar y saber los niveles de oxígeno en la sangre, el número de latidos del corazón, entre otras, siendo interpretadas por los profesionales de la materia [8], la monitorización se puede dar de igual manera en individuos que tienen signos vitales no estables, proporcionando la toma de decisiones acertadas en el momento de una emergencia [9].

Los dispositivos móviles de la actualidad, a través de su entrada de audio, pueden censar el ritmo cardíaco de una persona, permitiendo al experto tomar decisiones y dar seguimiento

a esta variable fisiológica, que posteriormente será empleada para valorar funciones orgánicas [10].

El comportamiento y la personalidad de los individuos están íntimamente relacionados con los trastornos mentales, lo que ha sido observado luego del análisis e interpretación de datos e imágenes [11]. Muchos estudios revelan que es importante la detección temprana y el tratamiento oportuno de este tipo de trastornos, incluyendo el pánico, que está asociado con ideas e intentos de suicidio [12]. Desórdenes mentales de esta clase, al ser detectados tardíamente, se convierten en gran problema, tanto para quienes tratan con este tipo de pacientes como para aquellos que los padecen, que con el pasar del tiempo sufren deterioro paulatino de su salud, llegando a tener consecuencias catastróficas económicas, físicas e incluso la muerte [13].

El presente trabajo tiene como objetivo proponer una herramienta que permita al experto (psicólogo entrevistador) dar soporte a la selección de una o varias personas aptas para una actividad laboral determinada, así como también ayudar a profesionales de la misma rama en la indagación y solución de conflictos que puedan presentarse en su entorno, mediante el análisis de las variables de presión y ritmo cardíaco, todas ellas embebidas en una sola.

2. Métodos

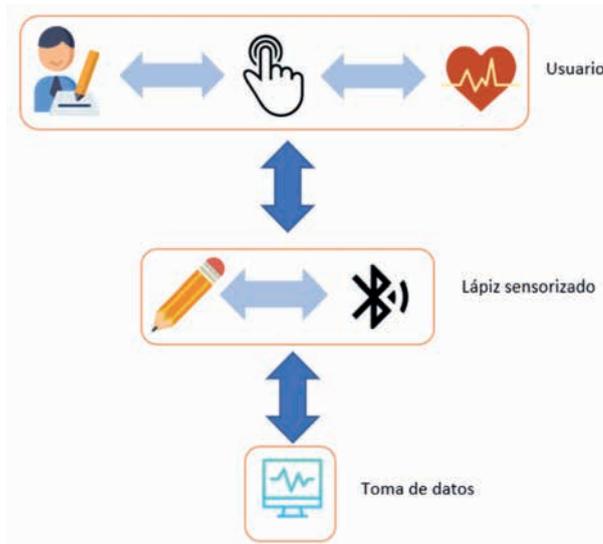
La propuesta se trabaja con un equipo multidisciplinario de profe-

sionales en las áreas de la terapia ocupacional, psicología educativa y

fisioterapia, mismos que prestan sus servicios y conocimientos en una institución educativa inclusiva que acoge a niños con diferentes necesidades educativas especiales. En base al trabajo “Design of an Intelligent System for Prediction and Simulation of Writing in Children with Spasticity” [14] y como un soporte al trabajo “Consensus Socialization: A contribution to the Assessment Method Center based on the use of a smartpen and the Fast Fourier Transform” [15], se implementa una variable registrada por un sensor que permitirá el monitoreo del número de latidos cardiacos, con la finalidad de rastrear, analizar y detectar trastornos fisiológicos y mentales por los que pasa un sujeto, apoyando de esta manera a que el profesional del área pueda tomar decisiones y tratar según lo crea conveniente. El sensor

de frecuencia cardiaca tiene las debidas protecciones que amerita un circuito electrónico para que se pueda obtener una señal confiable y se lo usa para tomar el latido cardiaco en línea y de manera inalámbrica, cuyo software es de código abierto y de fácil implementación. Sobre el sensor tiene que ir presionado el dedo índice de la persona que va a usar la herramienta, para que de esta manera el sensor tome la señal, la transfiera al microprocesador y a su vez la envíe al ordenador para su correspondiente proceso, análisis y toma de decisiones. En la Figura 1 se muestra la disposición al momento de tomar las señales, en donde el usuario es la persona que toma y da uso al lápiz sensorizado, este a su vez recoge las características fisiológicas y las envía mediante comunicación Bluetooth a un ordenador.

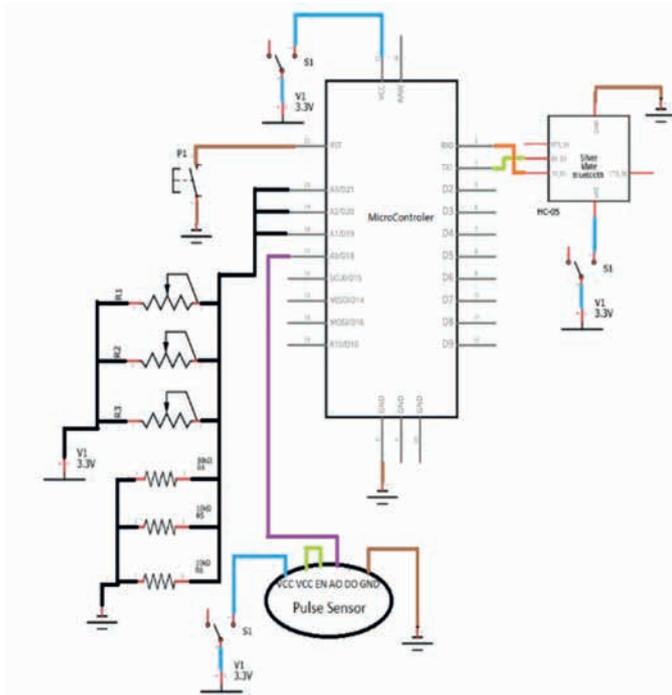
Figura 1. Disposición para la toma de datos



Internamente, el lápiz sensorizado mostrado en la Figura 2 consta de tres sensores de fuerza resistivos y un sensor de pulso, cada uno de ellos con su respectiva configuración al momento de ser conectados. Un micro-controlador se encarga de recoger las caídas de tensión y las variaciones de voltaje de cada uno de los sensores y mediante comunicación Bluetooth a una velocidad de 9 600 baudios envía en una sola trama toda la información obtenida de cada uno a los sensores hacia el ordenador, donde mediante programación Java se recopila la información, se almacena en línea en un archivo txt y posteriormente se realiza el análisis de los datos.

El lápiz sensorizado trabaja constantemente una vez establecida la conexión con el ordenador, es decir que siempre se encuentra tomando datos. Existen momentos en los cuales el usuario dejará de usar el mismo y aun así los datos se seguirán almacenando, en ese momento los tres sensores de fuerza marcan 0, mientras que el sensor de pulso marca un valor no determinado ni coherente, ya que no se encuentra presionado por el dedo índice del usuario, por lo que es importante que al momento de discriminar cada uno de los datos nos demos cuenta que los tres sensores de presión variaron al momento que el usuario tomó el lápiz.

Figura 2. Estructura interna del lápiz sensorizado



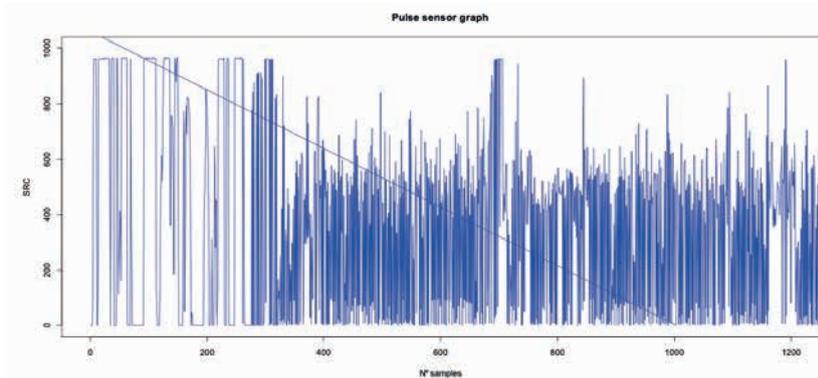
Fuente: los autores

3. Resultados

Para los resultados de la propuesta planteada, se realizó un experimento con un grupo de personas “P#”, a quienes se les pidió usar la herramienta sensorizada para transcribir un tex-

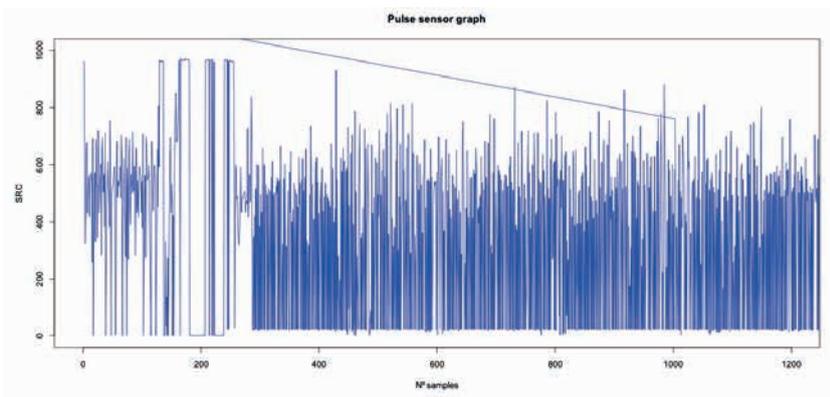
to determinado, tiempo en el cual se tomó datos de forma inalámbrica y en línea. Seguidamente, luego de procesar los mismos, se recogen las figuras 3-9 mostradas a continuación:

Figura 3. Gráfica de sensor de pulso P1



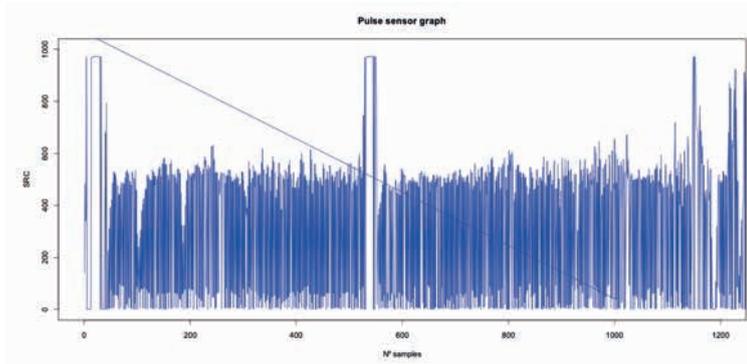
Fuente: los autores

Figura 4. Gráfica de sensor de pulso P2



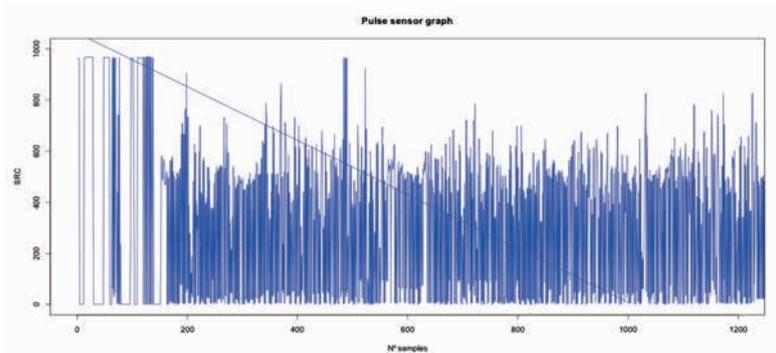
Fuente: los autores

Figura 5. Gráfica de sensor de pulso P3



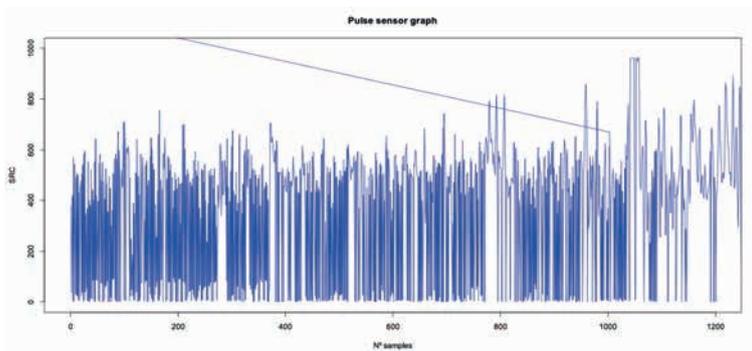
Fuente: los autores

Figura 6. Gráfica de sensor de pulso P4

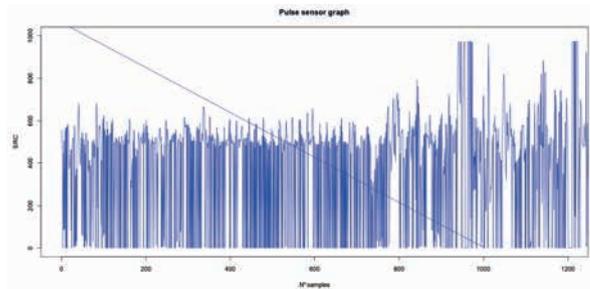


Fuente: los autores

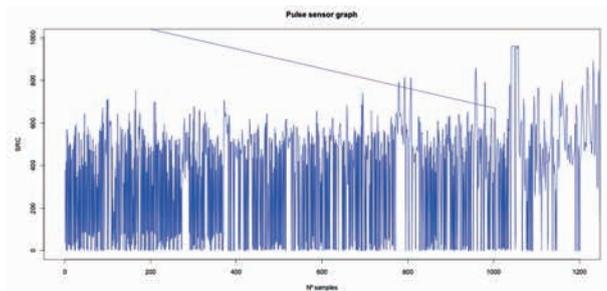
Figura 7. Gráfica de sensor de pulso P5



Fuente: los autores

Figura 8. Gráfica de sensor de pulso P6

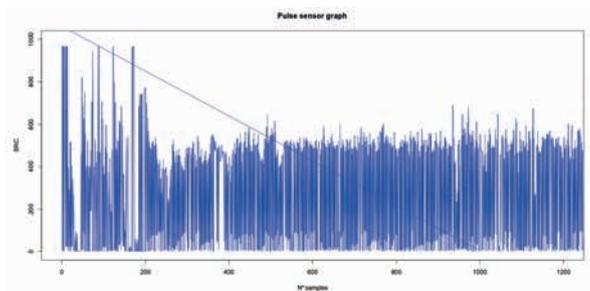
Fuente: los autores

Figura 9. Gráfica de sensor de pulso P7

Fuente: los autores

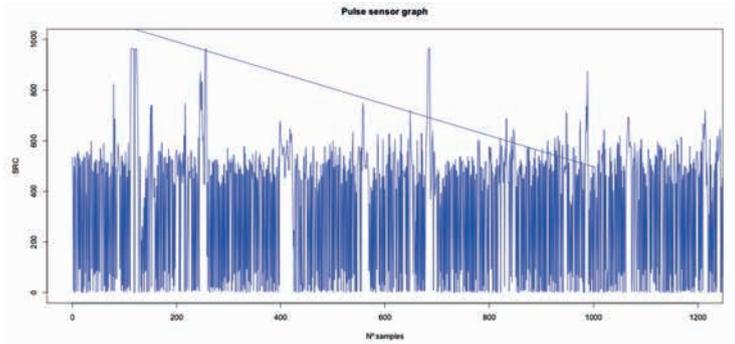
Tiempo después a los mismos participantes se les colocó un instrumento de monitorización de ritmo cardiaco en su dedo índice de la mano que no usan para escribir, empleando la mis-

ma herramienta sensorizada para la actividad de transcribir el mismo texto anterior y siguiendo el mismo procedimiento, lo cual nos dio como resultados las figuras 10-16.

Figura 10. Gráfica de sensor de pulso P1

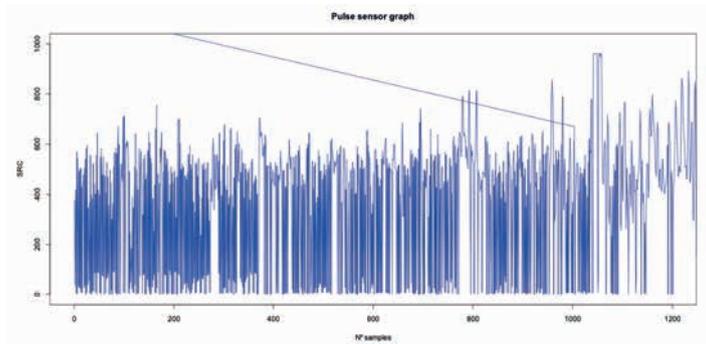
Fuente: los autores

Figura 11. Gráfica de sensor de pulso P2



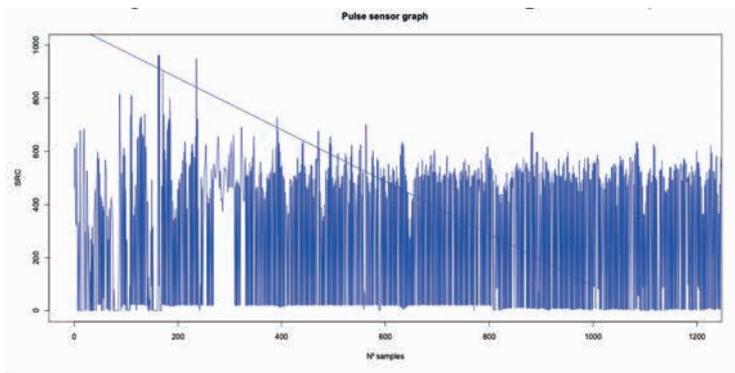
Fuente: los autores

Figura 12. Gráfica de sensor de pulso P3

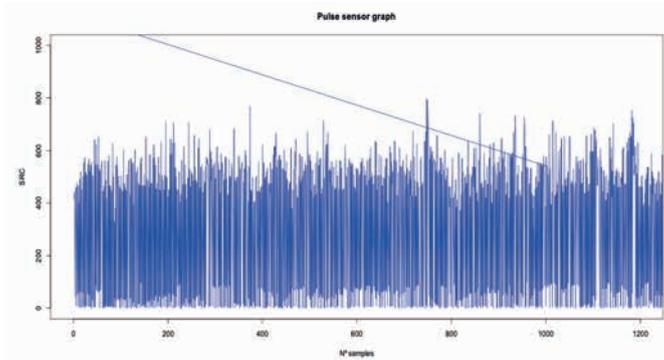


Fuente: los autores

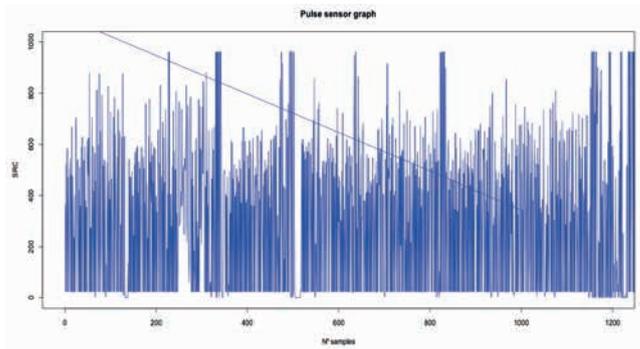
Figura 13. Gráfica de sensor de pulso P4



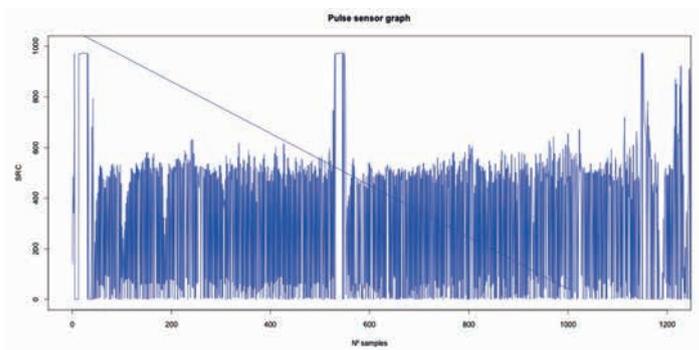
Fuente: los autores

Figura 14. Gráfica de sensor de pulso P5

Fuente: los autores

Figura 15. Gráfica de sensor de pulso P6

Fuente: los autores

Figura 16. Gráfica de sensor de pulso P7

Fuente: los autores

Así mismo, se realizaron preguntas a los mismos participantes con el objetivo de conocer de alguna manera la diferencia que hay entre escribir un texto sin usar un instrumento de medición de ritmo cardíaco colocado en el

dedo índice frente a escribir un texto usando un instrumento de medición de ritmo cardíaco colocado en el dedo índice. En la Tabla 1 se muestran las preguntas realizadas y sus correspondientes respuestas.

Tabla 1. Preguntas y respuestas

Pregunta	Sí	No
1. ¿Causa incomodidad el usar un instrumento de medición de ritmo cardíaco colocado en el dedo índice al momento de escribir?	3	4
2. ¿Causa desconfianza el usar un instrumento de medición de ritmo cardíaco colocado en el dedo índice al momento de escribir?	5	2

Fuente: los autores

4. Conclusiones

La importancia de la toma de signos vitales en cualquier momento es de vital importancia ya que permite al experto tomar decisiones sobre diferentes aspectos en los cuales un individuo se encuentra y este puede reaccionar.

Una herramienta grafológica como la propuesta, permite y ayuda a que el individuo la usé de una manera normal ya que es una herramienta de uso común, siendo esta familiar impidiendo el rechazo ante el uso.

No se debe perder de vista que entre menos invasiva es una herramienta para este tipo de toma de señales es mucho mejor, más aún si la comunicación se realiza de forma inalámbrica sin importar el medio de transmisión que este sea, se convierte en un artefacto que psicológicamente no afecta a los usuarios dándole más confianza al momento de ser usada.

Sincronizar la comunicación, la velocidad en la toma de datos entre el lápiz sensorizado y el ordenador permitirá que los datos no se pierdan al momento de ser enviados y recibidos pudiendo de esta manera tener más confianza y fiabilidad al momento de analizar los mismos.

El lápiz tiene que ir con su respectiva restricción ya sea gráfica o a manera de manual, ya que es importante que al momento que el usuario tomó el mismo ubique su dedo índice en el sensor de pulso, ya que de no hacerlo este dato dado por el sensor se perderá y a su vez no se tomará el dato de pulso usado para un mejor análisis y toma de decisiones.

Al añadir el sensor de pulso, se reemplaza de alguna manera la presencia de un doctor en medicina, así como también se evita que el individuo sea

sometido a traslados de un lugar a otro o de movimientos e invasiones físicas que pueden afectar psicológicamente.

Tanto las gráficas como la Tabla de respuestas nos muestran la incomodidad que presenta el usar un instrumento de medición de ritmo cardíaco co-

locado en el dedo índice al momento de escribir.

Psicológicamente la persona se siente alterada al momento de usar un instrumento de medición de ritmo cardíaco colocado en el dedo índice al momento de escribir.

5. Referencias

- [1] I. Ojeda, Diseño y desarrollo de un lápiz digital como herramienta de soporte para el análisis del nivel ansiedad en estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana.
- [2] Professor Andrew Solomon, Utkarsh Dviwedi SOET, BML Munjal University SOET, BML Munjal University SOET, BML Munjal University, Handwritten Statement Analysis Using Neural Networks; Goldie Gabrani.
- [3] M. Mion Pop y M. Giurgiulescu, The developing of emotional-formative competence of the future teachers, important factor in ensuring the future quality of education.
- [4] M. Vicianova y P. Šafárik, Facial Action Coding System; Historical Techniques of Lie Detection, University in Košice, Slovakia.
- [5] K. Stollznow, Language Myths, Mysteries and Magic, 2014.
- [6] Wikipedia, Fisiología. Recuperado de <https://bit.ly/33hINI2/>
- [7] E. Rodriguesa, R. Godinaa, C. Cabritab y J. Catalaoa, Experimental low cost reflective type oximeter for wearable health systems.
- [8] M. Pimentel, A. Johnson, P. Charlton, D. Birrenkott, P. Watkinson, L. Tarassenko y D. Clifton, Towards a Robust Estimation of Respiratory Rate from Pulse Oximeters.
- [9] M. Raghuram, K. Sivani y K. Ashoka, Reduction of Motion Artifacts from Pulse Oximeter's PPG Signals using MSICA, Dept. of E&I Engg., Kakatiya Institute of Technology & Science, Warangal, Telangana, India.
- [10] T. Phelps, H. Jiang y A. Drew, Development of a Smartphone-Based Pulse Oximeter with Adaptive SNR/Power Balancing.
- [11] T. Steiner, C. Lampl, M. Linde, C. Wöber y K. Zebenholzer, Headache and anxiety/mood disorders: are we trapped in a cul-de-sac?.
- [12] S.-J. Cho, J. P. Hong, J.-Y. Lee, J. S. Im, K.-S. Na, J. E. Park y M. J. Cho, Association between DSM-IV Anxiety Disorders and Suicidal Behaviors in a Community Sample of South Korean Adults.
- [13] S. Rajasekaran, C. Luteran, H. Qu y C. Riley-Doucet, A Portable Autonomous Multisensory Intervention Device (PAMID) for Early Detection of Anxiety and Agitation in Patients with Cognitive Impairments.
- [14] L. Serpa, L. González, A. Parra, I. Ojeda, V. Robles y R. Bunay, Design of an Intelligent System for Prediction and Simulation of Writing in Children with Spasticity.
- [15] M. Rodas, V. Robles, I. Ojeda, Y. Robles y F. Pesántez, Consensus Socialization: A contribution to the Assessment Method Center based on the use of a smartpen and the Fast Fourier Transform.

**SESIÓN TÉCNICA DE CIENCIA,
TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN
PARA LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL**

Automated system of public lighting using photovoltaic solar energy and saving power

Sistema automatizado de alumbrado público utilizando energía solar fotovoltaica y ahorro energético¹

L. Lema,² M. Herrera,³ K. Valladares,⁴ J. Pantoja⁵

Abstract: *this article presents a preliminary study for the installation of an automated system of public lighting based on solar energy with an energy saving approach within a housing complex located in the Valley of the Chillos-Ecuador in order to benefit 30 families. The work was carried out in three stages: online surveys, system programming and schematization of the system in 1: 100 model. The surveys helped to know the behavior/use of lighting by people, followed by the programming of the system helped to determine the materials to be used and finally the construction of the model, making a schematic step by step to follow in such a way that it serves as a base to be replicated in other regions. In addition, direct radiation data was taken into account, obtaining as a result that the provinces of Pichincha and Loja are the most adequate to have a high efficiency in solar energy. With the final results, a detailed analysis was carried out in two axes: economic and environmental, economic both to show that with a low investment the system and the environment can be implemented to stop relying on conventional energies.*

Keywords: *automated system, energy efficiency, solar energy, model.*

Resumen: en este artículo se presenta un estudio previo para la instalación de un sistema automatizado de alumbrado público a base de energía solar con enfoque de ahorro energético dentro de un conjunto habitacional ubicado en el Valle de los Chillos-Ecuador con la finalidad de beneficiar a treinta familias. El trabajo se realizó en tres etapas: encuestas *on-line*, programación del sistema y la esquematización del sistema en maqueta 1:100. Las encuestas permiten conocer el comportamiento/uso del alumbrado por parte de las personas, seguido de ello la programación del sistema sirve para determinar los materiales a ser utilizados y por último la construcción de la maqueta, logrando esquematizar los pasos a seguir de tal manera que sirvan como base para ser replicados en otras regiones. Además, se consideraron datos de radiación directa, obteniendo como resultados que las provincias de Pichincha y Loja son las más adecuadas para tener una alta eficiencia en energía solar. Con los resultados finales se realizó un análisis a detalle en dos ejes: económico y ambiental; económico para evidenciar que con una inversión baja se puede implementar el sistema y ambiental para dejar de depender de las energías convencionales.

Palabras clave: sistema automatizado, eficiencia energética, energía solar, maqueta.

- 1 Un gran agradecimiento a la Ing. Andrea Mancheno y el Ing. Juan Gabriel Mollocana por el apoyo ofrecido durante la realización de este trabajo, y al Ing. Alexander Sánchez gerente general de CAD-Metronics por el apoyo técnico.
- 2 Lizbeth Carolina Lema Sánchez, ingeniera ambiental, asistente editorial de la revista *Ciencias de la Vida la Granja* de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (llemas@ups.edu.ec).
- 3 Madison Eduardo Herrera Carrión, estudiante de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (mherrera4@est.ups.edu.ec).
- 4 Kevin Ismael Valladares López, estudiante de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (kvalladares@est.ups.edu.ec).
- 5 Jefferson Wladimir Pantoja Vaca, estudiante de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (jpantojav@est.ups.edu.ec).

1. Introducción

La luz solar es la principal fuente de energía desde el origen de la vida. Dirige y brinda energía a ciclos fundamentales como los químicos (oxígeno, agua, carbono, etc.), geofísicos, biofísicos y del clima, los cuales sostienen la vida en el planeta. También induce al crecimiento de plantas, al movimiento del viento y del agua, dando origen a otras fuentes de energías renovables como la eólica, biomasa y mareomotriz. En conclusión, el sol es la piedra angular de la energía en el planeta Tierra.

Dentro de esta producción de energía, desde la Revolución Industrial en el siglo XIX, la principal fuente son los combustibles fósiles, pero llegado el siglo XX se empezaron a descubrir las diversas afectaciones al medio ambiente por el uso de estos, la más grave: el cambio climático, consecuencia de las excesivas emisiones de gases de efecto invernadero (CO_2 , CH_4 , NO_x , SO_x , vapor de agua, etc.) que contribuyen a que la temperatura media de la superficie terrestre aumente [1]. No se puede cerrar los ojos ante la realidad en la que vivimos, donde es evidente que para que una nación se desarrolle es fundamental la disponibilidad de energía, en especial eléctrica y térmica. En el mundo, de la producción de esta energía el 73,5% es a base de combustibles fósiles (petróleo, carbono y gas natural) y el restante 26,5% es a base de energías renovables. Dentro de este porcentaje apenas el 1,9% es a base de energía solar fotovoltaica [2].

Debido a la baja inversión y uso de la energía solar fotovoltaica nace esta propuesta, basada en datos entregados por el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER) del Ecuador, en los cuales el alumbrado público es uno de los rubros energéticos más importantes, que a nivel de país para 2013 representó el 5,68% (189 MW) de la demanda máxima del sistema nacional interconectado, y el 4,95% (964 GW/h) tomando en cuenta los diversos sectores como residencial, comercial, industrial, etc. [3] [4].

Como se dijo anteriormente, la energía proveniente de los combustibles fósiles es altamente contaminante y es un recurso finito que en un futuro será cada vez más escaso y costoso, es debido a ello que la energía solar es una solución importante para el futuro. Siendo esta una energía renovable que ofrece la posibilidad de generar electricidad y calor prácticamente sin emisiones, a bajos precios de operación y de manera sostenible [5] [6].

Dentro del desarrollo económico del Ecuador, en el periodo 2013-2017 se planteó un “cambio de la matriz productiva”, con el cual se quiere romper el paradigma de la situación económica del país estancada en un intercambio desigual sujeto a vaivenes del mercado mundial [7] y para lograrlo se planteó varios ejes, uno de ellos fue agregar valor en la producción.

Llegado a este punto es donde esta investigación encuentra su objetivo

máximo: desarrollar un proyecto de alumbrado público dentro de un conjunto habitacional alimentado a base de energía solar y con un valor agregado de ahorro energético mediante la automatización. Un proyecto fácilmente replicable y con una visión de desarrollo sustentable. Pero tampoco se deja de lado la debilidad de la energía solar y los cambios meteorológicos, debido a que la radiación en

la Tierra depende completamente del tiempo, es decir, en tiempos nublados o lluviosos la eficiencia del panel solar será mínima o nula. Por ello se debe tomar en cuenta sistemas auxiliares de energía que para este caso son dos: el primero, que será almacenar energía sobre el 100% que es necesario para nuestro sistema y el segundo, tener una conexión directa a la red eléctrica que solo se active en estos casos.

2. Métodos

El tipo de investigación aplicada es exploratoria analítica proyectiva [8], debido a que se comienza con la recopilación de bibliografía para poder analizar, evaluar, comparar e interpretar dicha información del objeto de investigación.

El alcance fue diseñar un sistema automatizado de alumbrado público para ser implementado en un conjunto habitacional de treinta familias (siendo esta nuestra Población). Además, mostrar que su instalación es sencilla y no tiene diferencia de los sistemas tradicionales de alumbrado a base de energía eléctrica.

Para analizar el alumbrado público (en su situación actual) se definieron los siguientes criterios: la distancia

entre postes considerada según la ley respectiva, el número de los mismos dentro y fuera del Conjunto y se realizó una encuesta en línea a las treinta familias utilizando la herramienta digital Google Docs-formulario, en la cual se quería conocer el tiempo que demora una persona o auto en entrar al Conjunto desde la puerta principal hasta ingresar a su hogar durante la noche, conocer el número de veces que salen del Conjunto en el rango de tiempo 18h00-6h00, con las distancias entre la puerta principal y la del hogar, etc. Todo esto para determinar el tiempo de encendido de un poste por la noche. Los resultados obtenidos sirvieron para la posterior programación y diseño del sistema.

Tabla 1. Ubicación geográfica del conjunto habitacional

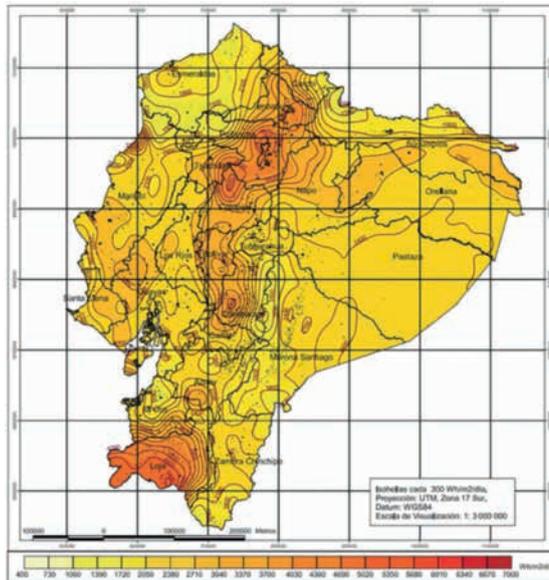
Conjunto Portal del Valle 762			
Coordenadas geográficas			
Nº	Latitud	Longitud	
P1	0°18'5,38"S	0°18'5,38"S	
P2	0°18'6,76"S	78°28'42,79"O	
P3	0°18'7,39"S	78°28'42,25"O	
P4	0°18'6,25"S	78°28'47,18"O	
P5	0°18'4,51"S	78°28'46,30"O	
Coordenadas UTM			
Nº	X	Y	Zona
P1	780661,30 m E	9966643,29 m S	17 M
P2	780686,97 m E	9966600,87 m S	17 M
P3	780677,99 m E	9966581,51 m S	17 M
P4	780525,47 m E	9966616,58 m S	17 M
P5	780552,71 m E	9966670,05 m S	17 M

Fuente: los autores

La investigación se desarrolló entre febrero y marzo de 2018, en el Valle de los Chillos, parroquia Conocoto, cantón Rumiñahui, provincia Pichincha, en el Conjunto Portal del Valle 762, en las ca-

llas Juan Montalvo y Leonidas Plaza. La Figura 1 muestra la mayor cantidad de radiación directa que reside en el Ecuador. En este caso existen varios puntos de mayor radiación: Pichincha, Loja, etc.

Figura 1. Insolación directa promedio en el Ecuador



Fuente: [9]

Figura 2. Vista en planta del Conjunto

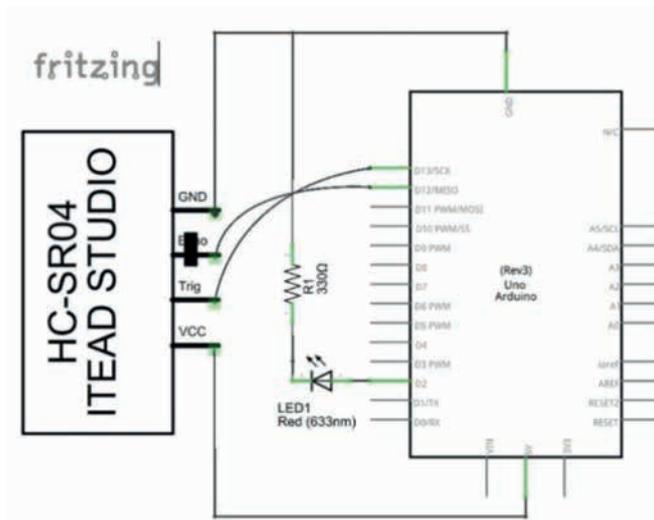


Fuente: los autores

Seguido de ello se realizó la programación del sistema, en base a los resultados anteriormente encontrados, y con uso del software libre Fritzing se realizó el diseño y modelado para las

conexiones electrónicas del circuito y para solucionar las deficiencias al controlar el sensor para la parte automática y los materiales a ser utilizados.

Figura 3. Vista del esquema de simulación del sistema



Fuente: los autores

Tras la programación, se decidió utilizar dos paneles solares fotovoltaicos (CNC112X84-6), sensor de movimiento (HC-SR04 Itead Studio) —como se muestra en la Figura 3—, luces LED de alto brillo, acumulador, capacitador catalítico, inversor de carga, tablero de control, un *switch* (on/

off), cable y el restante material fue completamente reciclado para abaratar costos en la construcción de la maqueta.

En la Figura 4 se adjunta el código de la automatización del sensor para encendido de LED con duración de prendido de 1 min.

Figura 4. Código de automatización del sensor

```
#define trigPin 13
#define echoPin 12
#define led 2

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);
  pinMode(led, OUTPUT);
}

void loop()
{
  long duracion, distancia;
  digitalWrite(trigPin, LOW); // Nos aseguramos de que el trigger está desactivado
  delayMicroseconds(2); // Para asegurarnos de que el trigger esta LOW
  digitalWrite(trigPin, HIGH); // Activamos el pulso de salida
  delayMicroseconds(10); // Esperamos 10µs. El pulso sigue active este tiempo
  digitalWrite(trigPin, LOW); // Cortamos el pulso y a esperar el echo
  duracion = pulseIn(echoPin, HIGH);
  distancia = duracion / 2 / 29.1;
  Serial.println(String(distancia) + " cm.");
  int Limite = 200; // Medida en vacío del sensor
  if( distancia < Limite)
    digitalWrite(led, HIGH);
  else
    digitalWrite(led, LOW);
  delay(500); // Para limitar el número de mediciones
```

Fuente: los autores

Con la información recolectada y la programación clara se procede a esquematizar el prototipo mediante una maqueta, la cual representa a escala 1:100 todas las partes del conjunto y evidencia el funcionamiento del sistema. Para calcular la energía generada del panel utilizamos la ecuación (1) [10]:

$$E_{panel} = I_{panel} * V_{panel} * HSP * N \quad (1)$$

Donde E_{panel} es la energía que generará el panel, I_{panel} es la máxima corriente o la intensidad de corriente, V_{panel} es la tensión máxima del panel, HSP son las horas de sol pico y N la eficiencia.

Para calcular la potencia del panel se utiliza la ecuación (2) [11], en donde no se considera ni las horas de sol pico, ni la eficiencia del panel:

$$P_{panel} = I_{panel} * V_{panel} \quad (2)$$

Donde P_{panel} es la potencia del panel, I_{panel} es la máxima corriente o la intensidad de corriente, V_{panel} es la tensión máxima del panel.

Para determinar las horas de sol pico se utilizó la ecuación (3) [11]:

$$HSP = \frac{G}{I_{CEM}} \quad (3)$$

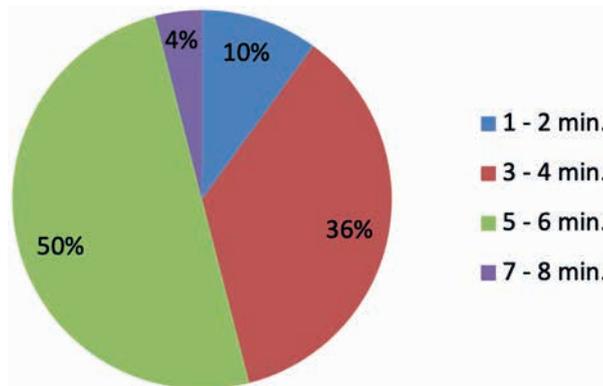
Donde HSP son horas de sol pico, G es la irradiación media diaria e I_{CEM} es potencia de radiación incidente, para las Condiciones Estándar De Medida (CEM).

3. Resultados

Al realizar las encuestas pudimos definir el tiempo de prendido de los faros durante la noche en función del comportamiento de las personas por la noche es decir el tiempo que demoran en caminar desde la entrada principal

hasta las puertas de las casas, obteniendo como mayor resultado entre 5-6 min, por lo que definimos en 6 min el tiempo que debería estar prendidos los faros. La encuesta se realizó a las treinta familias.

Figura 5. Tiempo que le toma a una persona ir desde la puerta principal a la entrada de su casa



Fuente: los autores

Tras las pruebas en escala 1:100 y normal, mostramos dos resultados importantes: el primero es un análisis en función de la cantidad de energía producida por los paneles solares en función de las horas promedio de sol determinado por la zona geográfica y el segundo

es sobre el abastecimiento de energía para el alumbrado por la noche.

3.1. Análisis de energía solar en función de la potencia generada

Para determinar la potencia del panel lo realizamos de la siguiente forma:

$$P = 6 V * 0,2 A$$

$$P = 1,2W$$

Para encontrar la potencia que será distribuida a cada LED se divide su número (en este caso fueron nueve), siendo el consumo mínimo del LED de 0,1 W:

$$P = (6 V * 0,2 A) / 9 \text{ led's}$$

$$P = 0,13W$$

La energía generada por el panel se calcula de la siguiente forma: en función de las 5,5 horas promedio de sol radiante que recibe Quito [12]:

$$E = 6 V * 0,2 A * 5,5h * 0,95$$

$$E = 6,27Wh$$

Es decir que cada día nuestro panel generará 6,27 W/h de energía.

$$E_{\text{sin intermitencia}} = 12 h * 0,13W * 9 \text{ led's}$$

$$E_{\text{sin intermitencia}} = 14,04Wh$$

En caso de que la luz de los LED no presentara ningún tipo de intermitencia y con las 12 horas de funcionamiento recorrido, requeriría una energía de 14,04 W/h, para ello se multiplica la potencia de los LED, las horas que estarán prendidos los LED y el número de LED. Por otro lado, con-

siderando la eficiencia energética y si el sistema cuenta con prendido automático mediante sensores como nuestra representación a escala, podrían encenderse 52 veces los LED todo un día durante seis minutos, de tal forma que se logre emplear la energía producida por el panel sin necesidad de un sistema auxiliar de energía.

$$6,27Wh / 1,2W (\text{todos los led's}) = 5,23 h / (6min / (60min/h)) = 52,3 v$$

EL tiempo y el clima influye en las medidas meteorológicas, para el área respectiva se debe considerar un sistema auxiliar de energía.

3.2. Análisis económico en función del sistema convencional de energía eléctrica y solar

El segundo análisis que se realizó fue económico, una comparación del sistema convencional de energía eléctrica con la energía solar a escala real, de la siguiente manera: consumo de un faro de alumbrado público estándar = 50 W/h, costo de 1 W/h en Ecuador = 0,09 USD [13], panel solar capacidad máxima = 50 W/h, costo del panel solar = 120 USD.

3.2.1. Costo de alambrado público a base de energía eléctrica

$$50W * 12h = 600 W/día$$

$$600 W/día * 9 \text{ paneles} = 5400 W/día$$

$$5400 W/día * 31 \text{ días} = 167400 W/mes$$

$$167,4 kW/mes * 12 \text{ meses} = 2008,8 kW/año$$

$$(2008,8 kW * USD 0,09) / (1 kW) = USD180 \text{ al año}$$

3.2.2. Costo de alumbrado público a base de energía solar fotovoltaica

El costo aproximado, sin tener en cuenta la instalación, sería 1 080 USD (9×120) para este conjunto habitacional

de treinta familias, siendo la inversión de 36 USD por cada una, representando una tasa de retorno del dinero de seis años, tomando en cuenta el costo por año del alumbrado público.

4. Discusión

La presente investigación conlleva dos partes con el objetivo de lograr factibilidad para obtener una representación geográfica para la implementación de un sistema automatizado de alumbrado público a través del análisis de insolación anual directa promedio en el Ecuador y programación del sistema de modelamiento a través del uso del software Fritzing. Con el presente trabajo podemos destacar que la provincia de Pichincha y Loja son las zonas del Ecuador con más cantidad de radiación directa (W/h/m^2) por ello se puede tomar en cuenta replicar este tipo de proyectos en la zona norte del país y obtener resultados con la más alta eficiencia en producción de energía solar.

En la primera parte en cuanto a la recolección de datos, se desarrolló un

análisis mediante el cual se evidencia la falta del aprovechamiento de la energía solar en esta área que recibe alta en Pichincha. Es por ello que se requiere plantear e instalar en el conjunto habitacional privado Portal del Valle 762, de treinta familias, un sistema que permita llevar a cabo el alumbrado público de tal manera que se use eficientemente la energía almacenada, es decir, el alumbrado convencional funciona durante 12 horas, en la noche por lo general de 18h00 a 06h00. En nuestro análisis solo es necesario utilizarla 5,23 horas en función del comportamiento de las personas, lo que se traduce en reducir 6,77 horas de uso, logrando con ello el ahorro energético deseado y la mayor eficiencia en el funcionamiento del sistema.

5. Conclusiones

El Conjunto Portal del Vale 762 ubicado en Conocoto, es el área favorable para implantar un sistema automatizado de alumbrado público con el uso de energía solar, ya que el área se encuentra entre un valor promedio anual de 3 500 a 3 900 $\text{W/h/m}^2/\text{día}$. A través del análisis de energía solar

en función de la potencia generada se determina que cada panel generará 6,27 W/h de energía diariamente en función de las 5,5 horas promedio de sol radiante que recibe Quito. Sin embargo en el caso de considerar 12 horas de sol radiante, generará 14,04 W/h . Siendo este el sector más favora-

ble también se considera una inversión la cual después de seis años se dejara de gastar en alumbrado público y a la vez se dejara la dependencia de energía eléctrica convencional. La inversión por familia es de 36 USD. Con la instalación de este tipo de sistemas estamos mejorando la producción de energía y bajando la cantidad de emisión de gases de efecto invernadero. En Ecuador se tienen más problemas de distribución que de generación, por

ello se puede replicar en zonas rurales y de baja densidad poblacional para proporcionar a esas poblaciones alejadas y casi siempre con poco acceso a un sistema de alumbrado público. De tal forma que se pueda generar un impacto significativo en cuanto a la producción de energía autónoma a nivel micro beneficiando a poblaciones vulnerables y a nivel macro la reducción de mega construcciones para producción de energía eléctrica.

6. Referencias

- [1] M. Moro Vallina, Instalaciones solares fotovoltaicas, Madrid, Paraninfo, 2018.
- [2] REN 21, Renewables 2018, junio, 2018. Recuperado de <https://bit.ly/2KmhGoK/>
- [3] Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, INER, diciembre, 2014. Recuperado de <https://bit.ly/2TbSX8B/>
- [4] G. Arencibia Carballo, La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica, 2016. Recuperado de <https://bit.ly/31qyUq3/>
- [5] M. Mikati, M. Santos y C. Armenta, “Modelado y Simulación de un Sistema Conjunto de Energía Solar y Eólica para Analizar su Dependencia de la Red Eléctrica”, *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, vol. IX, n° 3, pp. 267-281, 2012.
- [6] M. Llano, “Una ciudad eficiente en miniatura”, *Universitas Científica*, vol. 18, n° 1, 2015.
- [7] Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, “SENPLADES”, enero, 2013. Recuperado de <https://bit.ly/1nSKjKf/>
- [8] M. N. Córdoba y C. Monsalve, Tipos de investigación: predictiva, proyectiva, interactiva, confirmatoria y evaluativa, Fundación Sypal, Venezuela, 1998.
- [9] Corporación para la Investigación Energética, “CONELEC”, agosto, 2008. Recuperado de <https://bit.ly/2yFpURo/>
- [10] SunField, Cómo dimensionar y calcular paneles solares fotovoltaicos necesarios. Recuperado de <https://bit.ly/2OIUNiD/>
- [11] J. Cantos Serrano, Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas, Madrid, Prainfo, pp. 89-95, 2016.
- [12] O. Miranda, C. Freire y M. Pérez, Implementación de un sistema fotovoltaico 760 w/día para generar energía eléctrica en el autobús, Quito, Universidad Internacional del Ecuador, 2013.
- [13] CELEC EP, Microgeneración fotovoltaica permitirá el autoabastecimiento de energía eléctrica, 2015. Recuperado de <https://bit.ly/2KiVon6/>

Characterization of biodegradable materials for incremental forming

Caracterización de materiales biodegradables para conformado incremental¹

E. Calderón,² A. Ortega,³ S. Torres⁴

Abstract: *this research presents the results obtained from the thermal and mechanical characterization carried out on composite materials with biodegradable properties. The materials used as a polymer matrix to form the compound, are based on polylactic acid (PLA), polyhydroxybutyrate-co-hydroxyvalerate (PHBV), and a polymer based thermoplastic starch with lactic acid, mixed proportionally with short fiber of vegetable origin, flax fiber was selected as reinforcement. Several parameters are presented to perform the extrusion and injection process until obtaining sheets of biodegradable material. These sheets of composite material provide a base material to be subsequently formed by numerical control machines. The comparison between several mechanical properties of the obtained compounds is made and alternatives are recommended to improve the processing of these base materials. This article is a contribution to society that aims to motivate the reduction of solid waste by materials of natural origin incentivized the application and development of new sustainable materials in daily use of products.*

Keywords: *flax fiber, biodegradable material, modulus of elasticity, mechanical properties.*

Resumen: esta investigación presenta los resultados obtenidos de la caracterización térmica y mecánica que se realiza sobre materiales compuestos con propiedades biodegradables. Los materiales utilizados como matriz polimérica para conformar el compuesto son a base de ácido poliláctico (PLA), el polihidroxibutirato -co- hidroxivalerato (PHBV) y un polímero de base de almidón termoplástico con ácido láctico, los cuales fueron mezclados proporcionalmente con fibra corta de origen vegetal. Se eligió fibra de lino como refuerzo. Se presentan varios parámetros para realizar el proceso de extrusión e inyección hasta obtener láminas de material biodegradable. Estas láminas de material compuesto proporcionan un material base para conformarse posteriormente mediante máquinas de control numérico. Se realiza la comparación entre varias propiedades mecánicas de los compuestos obtenidos y se recomienda alternativas para mejorar el procesamiento de estos materiales base. Este artículo es un aporte a la sociedad que tiene como finalidad motivar la reducción de desechos sólidos, por materiales de origen natural incentivando la aplicación y desarrollo de nuevos materiales sostenibles en el uso cotidiano de productos.

Palabras clave: *fibra de lino, material biodegradable, módulo de elasticidad, propiedades mecánicas.*

- 1 El trabajo presentado aquí se realizó gracias a la colaboración del Laboratorio de Nuevos Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica, de la Escuela Politécnica Nacional y a su director, el Dr. Víctor Guerrero.
- 2 Edison Calderón Freire, máster en Ingeniería, Procesado y Caracterización de Materiales, ingeniero mecánico, docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador (edisson.calderon@espoch.edu.ec).
- 3 Andrés Ortega Espín, máster en Manufactura Tecnológica, ingeniero mecánico, docente del Instituto Tecnológico Superior Central Técnico (aortega@institutos.gob.ec).
- 4 Sandino Torres Gallegos, máster en Diseño y Fabricación Asistida por Computadora, ingeniero industrial, docente de la Universidad Central del Ecuador (Istorresg@uce.edu.ec).

1. Introducción

En la actualidad, la utilización más común de los plásticos se ve reflejada en partes y equipos de varios sectores industriales: el automotriz, el alimenticio y la construcción, son áreas fundamentales, de estudio, debido a la facilidad de estos materiales para ser procesados o moldeados [1]. El desarrollo tecnológico obliga a la sociedad en general, a ser responsables de la eliminación de estos desechos sólidos. En cierto punto se vuelve paradójico, el analizar la dificultad en la reutilización de los plásticos comunes y la afinidad que se tiene por la recuperación, debido al incremento en sus aplicaciones, el elevado costo y la dificultad en la eliminación de estos materiales [2]. Herramientas modernas permiten simular procesos en reactores de pirólisis para la eliminación de desechos sólidos, principalmente polímeros termoplásticos [3], pero se generan productos volátiles tóxicos que afectan el medio ambiente. Por otro lado, la forma eficiente de desechos este tipo de materiales es mediante la degradación propia, como el proceso normal de erosión en los materiales metálicos [4], de esta manera crear un material con buenas características mecánicas y con la posibilidad de ser degradable, son objetivos ambiciosos que buscan los investigadores hoy en día.

La característica más importante de los compuestos biodegradables, es la posibilidad de deteriorarse totalmente, sin ocasionar efectos adversos sobre el medio ambiente [5]. El material com-

puesto biodegradable se constituye por la unión entre una matriz rígida y una fibra resistente, ambos elementos proceden de origen natural, reduciendo el impacto y abaratando los costos de procesamiento [6]. Las fibras naturales se clasifican de acuerdo a su origen, vegetal, animal o mineral. El objetivo de este documento es aprovechar los recursos renovables, en tal circunstancia, la fibra vegetal es un material abundante, de bajo peso molecular, altamente resistente y de bajo costo [7] [8]. La matriz utilizada se basa en polímeros de origen natural, debido a sus buenas propiedades mecánicas, capacidad de biodegradarse y su bajo costo [9], en la actualidad existen desarrollos significativos en las aplicaciones relacionadas con materiales termoplásticos con características biodegradables [10].

El estudio sobre las propiedades y caracterización de biopolímeros resulta ser de especial interés entre la comunidad científica, debido al enfoque moderno donde se busca calidad ambiental de los productos [11], se realiza el análisis de la resistencia mecánica de los materiales biocompuestos y las propiedades térmicas, necesarias para establecer los parámetros de conformado de los materiales originales, así se consideran las diferentes aplicaciones en sectores tales como el automotriz, químico, infraestructura, etc. [12]. La caracterización de los materiales son los ensayos necesarios para establecer los cambios realizados entre un mate-

rial sin procesar y el conformado de nuevos materiales con propiedades distintas a los originales, la manipulación de fibras y biopolímeros se encuentran publicadas en varias investigaciones [13] [14], y son el punto de partida para analizar un material compuesto, con buenas propiedades mecánicas, la posibilidad de degradarse y que sea idóneo para futuras aplicaciones.

El presente trabajo es parte de un proyecto de investigación macro denominado “Proceso combinado de conformado incremental y moldeo por inyección en chapas de material termoplástico biodegradable”, que busca obtener una geometría definida mediante máquinas de control numérico asistidas por computador sobre una lámina de material compuesto con características biodegradables.

2. Métodos

La matriz termoplástica biodegradable utilizada es: ácido poliláctico (PLA), producido por FKUR Kunststoff GmbH en forma de granza (Bio-Flex F9533). El Polihidroxibutirato-co-hidroxivalerato (PHBV), suministrado por Tianan Biologic Material en forma de granza. El compuesto con base de almidón termoplástico y ácido láctico producido por Rodenburg Biopolymers en forma de granza. Adicionalmente, se utiliza fibra natural de lino proporcionado por la empresa Ferrer-Dalmau, en forma de tejido utilizado como refuerzo del material compuesto, las propiedades de la fibra de lino se documentan

por Bax [15]. Esta fibra es cortada con una longitud inferior a 3 mm para mejorar las condiciones de procesabilidad del material compuesto.

Este material se procesa en una extrusora de doble tornillo de marca Coperton, modelo ZSK18ML con una potencia de 30 Hp, los materiales se someten a un proceso de secado, previo a la extrusión en un horno de convección a 70° C, los parámetros se ajustaron de acuerdo a la Tabla 1 con dos diferentes proporciones en peso fibra-matriz: al 10% y al 20%, para los compuestos PLA/lino, PHBV/lino, biopolímero *blend*/lino.

Tabla 1. Parámetros de extrusión del material compuesto

Material	Extrusión			Presión (Bar)
	Temperatura (° C)			
	A	I	S	
PLA+10% lino	172	173	175	19
PLA+20% lino	173	175	176	23
PHBV+10% lino	178	179	181	21
PHBV+20% lino	179	180	183	22
<i>Blend</i> +10% lino	176	177	179	18
<i>Blend</i> +20% lino	178	180	181	21

Fuente: los autores

El material extruido es enfriado en agua y finalmente se lo tritura para obtener *pellets*. Posteriormente, mediante el proceso de inyección, se obtienen placas de 150 por 180 mm y 3 mm de

espesor, de material compuesto. Para esto se utiliza la máquina de inyección NISSEI modelo NS-60 de 185 MPa de presión con los siguientes parámetros:

Tabla 2. Parámetros de inyección del material compuesto

Material	Inyección				
	Temperatura (° C)				Presión (%)
	Z1	Z2	Z3	Z4	
PLA+10% lino	180	180	175	175	40
PLA+20% lino	183	183	178	177	40
PHBV+10% lino	190	190	185	185	40
PHBV+20% lino	193	193	188	188	40
<i>Blend</i> +10% lino	175	175	170	170	40

Fuente: los autores

Para analizar la resistencia mecánica del material se ensayan ocho probetas de cada material termoplástico, estos ensayos a tracción se realizaron de acuerdo a la norma ASTM D638-15, usando una máquina universal de ensayos Tinius Olsen, modelo H25K-S,

equipada para una carga máxima de 25 KN, con una precisión de 0,01 N, con una velocidad de ensayo de 2 mm/min; se utiliza el tipo probeta I de acuerdo a la norma con un ancho de la sección menor de 13 mm y un espesor inferior a 7 mm.

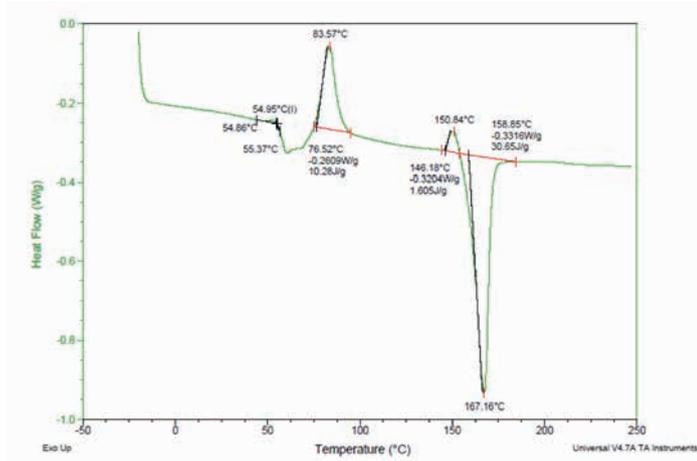
3. Resultados

3.1. Ensayo térmico del material base

Se realizaron ensayos térmicos sobre el material virgen para establecer las temperaturas de procesamiento. La extrusión y la inyección de dicho compuesto necesitan parámetros específicos para lograr procesar correctamente el material. La calorimetría diferencial de barrido (DSC), consiste en elevar la temperatura progresivamente del material y comparar los procesos exotérmicos o endotérmicos presentes en

el material [16]. Con este ensayo se obtienen las temperaturas de transición vítrea, de fusión y degradación del material original. En la Figura 1 se presenta la curva resultante del análisis térmico característico para el PLA. Los valores de mayor interés son las temperaturas de fusión que se establecen de la siguiente manera: Bioflex F9533 (167° C), Enmat Y3000P (178° C) y Solanyl C1201 (142° C), resultados con los que se inicia el conformado del material.

Figura 1. Ensayo térmico ácido poliláctico (PLA) (Bio-Flex F9533)



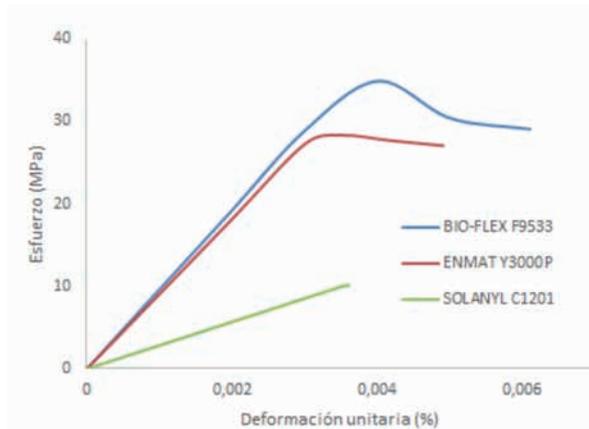
Fuente: los autores

3.2. Ensayo de tracción del material compuesto biodegradable

Los ensayos de tracción proporcionan información relevante de la inves-

tigación, en cuanto comparamos las propiedades mecánicas como esfuerzo último de tracción, módulo de elasticidad y porcentaje de alargamiento.

Figura 2. Curva de esfuerzo-deformación de los materiales base



Fuente: los autores

La curva esfuerzo deformación presentada en la Figura 2 relaciona cualitativamente los valores de resis-

tencia mecánica, deformación unitaria, y elasticidad de los materiales base elegidos.

Una vez que se fusiona el material base con la fibra corta de lino, las propiedades se modifican considerable-

mente, obteniéndose resultados como los de la Tabla 3.

Tabla 3. Resultado de propiedades mecánicas

Material	Porcentaje en peso de fibra corta (lino) (%)	Resistencia última de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Porcentaje de deformación a la rotura (%)
Nombre comercial: Bio-Flex F9533				
PLA virgen	0	34,79	9603,15	0,61
PLA+10% fibra	10	21,96	9196,3	0,24
PLA+20% fibra	20	15,54	41583,4	0,07
Nombre comercial: Enmat Y3000P				
PHBV virgen	0	28,27	9075,17	0,49
PHBV+10% fibra	10	20,63	10253	0,31
PHBV+20% fibra	20	16,46	10888,61	0,7
Nombre comercial: Solanyl C1201				
Biopolymer <i>blend</i> virgen	0	10,14	2857,25	0,34
Biopolymer <i>blend</i> +10% fibra	10	10,16	3075,54	2,15

Fuente: los autores

Para el polímero biodegradable denominado Solanyl C1201 resultó complicado procesar el compuesto con porcentajes superiores al 10% en peso. Las propiedades significativas para estos materiales son el módulo de elasticidad y la resistencia mecánica.

3.3. Ensayo metalográfico

La forma adecuada de entender lo que sucede con las propiedades mecánicas de un material, es observar su morfología a nivel microscópico. A continuación, las figuras presentadas muestran la interacción que existe entre la matriz y las fibras dispuestas de manera aleatoria en el interior del

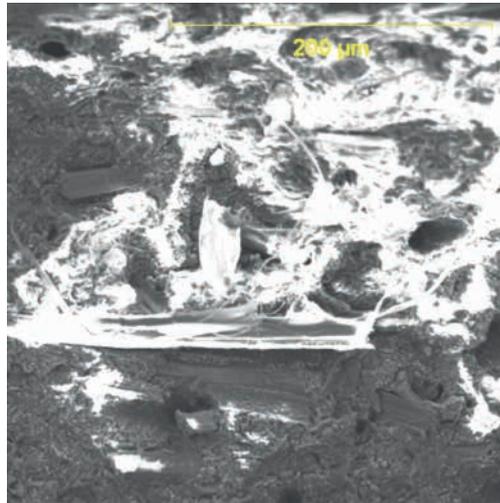
material compuesto. Se aprovecharon las probetas fracturadas, posterior al ensayo de tracción, y se eligieron las muestras idóneas para este ensayo.

La Figura 3 presenta el biocompuesto de PLA+20% de fibra, y muestra varios filamentos de fibra de lino corta, depositados alternamente alrededor de toda la superficie. Sin embargo, la Figura 4, biocompuesto de PHBV+20% de fibra, presenta varios orificios donde se ubicaban las fibras. Finalmente la Figura 5, biocompuesto *blend*+10% de fibra, proporciona una imagen comparativa que indica la reducción del 50% de fibra con respecto a los materiales anteriores.

El microscopio SEM necesita una superficie conductora para que los electrones que son bombardeados puedan regresar para digitalizar una imagen mediante la diferencia de potencial y

se realice un escaneado total de la superficie. Sin embargo, las probetas de material no conductor dificultan estas imágenes. En todos estos casos se eligen fotografías con 500 X de aumento.

Figura 3. Material Bio-Flex F9533+20% fibra (500 X)



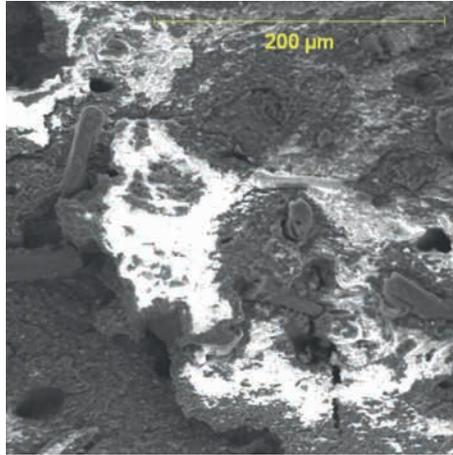
Fuente: los autores

Figura 4. Material Enmat Y3000P+20% fibra (500 X)



Fuente: los autores

Figura 5. Material Solanyl C1201+10% fibra (500 X)



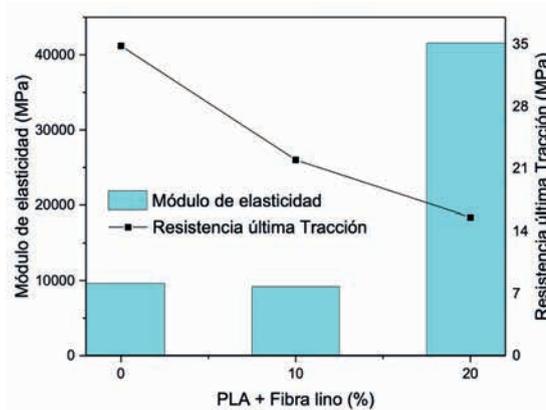
Fuente: los autores

4. Discusión

Al analizar la Tabla 3 y comparar los resultados obtenidos, se observa que las mejores características las presenta el material Bio-Flex F9533, que es un polímero termoplástico a base de ácido poliláctico (PLA). Este material base se modifica, a medida que se adiciona fibra

corta en el proceso de extrusión del material. En la Figura 6 se muestra cómo al aumentar el porcentaje de fibra en el compuesto, su resistencia mecánica disminuye y por el contrario el módulo de elasticidad aumenta.

Figura 6. Propiedades mecánicas del material compuesto biodegradable a base de PLA



Fuente: los autores

La ductilidad del material conformado es casi nula, debido a que es un material frágil. Al adicionar carga en forma de fibra corta de lino, ocasiona cortes en las cadenas poliméricas del compuesto y aumenta la superficie de fractura. En el gráfico combinado de la Figura 6, se presenta que a medida que aumenta el porcentaje de fibra en el material, la resistencia última a la tracción disminuye, tal comportamiento se esperaba en todos los materiales, sin embargo, la mejora en la ductilidad se refleja en el aumento de la deformación, principalmente en el material denominado comercialmente Enmat Y3000P. Este polímero característico

aumenta el porcentaje de deformación a la rotura a medida que se aumenta el porcentaje de carga.

Las imágenes presentadas mediante microscopía SEM, permiten definir las falencias en la adhesión entre la fibra y la matriz polimérica, la recomendación general es utilizar compuestos de poliamida para mejorar la adherencia entre estos materiales. Adicionalmente, es importante el proceso de secado de los materiales, tanto la matriz biodegradable, como la fibra natural, debido a que la humedad atrapada en el compuesto puede originar acumuladores de esfuerzos y producir fracturas en el producto final.

5. Conclusiones

Se obtuvo varias placas de material compuesto biodegradable, con propiedades mecánicas aceptables, pero con poca deformación antes de la ruptura del material, por otro lado, también se consiguen parámetros fundamentales que servirán para procesar dichos compuestos en el futuro. La idea central del proyecto es generar una geometría definida resultante del proceso de deformación por parte de una herramienta controlada numéricamente a través de un computador, la recomendación para alcanzar este próximo objetivo

es suministrar una tasa de calor controlada al herramental de deformación y trabajar sobre este material obtenido en el rango de temperaturas de transición vítrea del mismo biocompuesto.

El beneficio directo, de la utilización de estas nuevas tecnologías, es aprovechar de forma notable los recursos que poseemos a nuestro alrededor, dejar un precedente sobre la reducción en la contaminación ambiental y proporcionar procedimientos para la manufactura de compuestos biodegradables de origen natural.

6. Referencias

- [1] D. Segura, R. Noguez y G. Espín, "Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos biodegradables", *Biotechnol.*, vol. 14, n° 3, pp. 361-372, 2007.
- [2] J. M. Arandes, J. Bilbao y D. L. Valerio, "Reciclado de residuos plásticos", *Rev. Iberoam. Polímeros*, vol. 5, n° 1, pp. 28-45, 2004.

- [3] O. B. Hernández, E. T. Quiroz y E. M. Prieto, "Simulación de un sistema de control de temperatura en un reactor de pirólisis de residuos plásticos urbanos-Simulation of a Temperature Control System in a Pyrolysis Reactor of Municipal Plastic Waste", *Ingenium Rev. la Fac. Ing.*, vol. 18, n° 36, pp. 110-127, 2018.
- [4] A. Duffus, J. Hernández, V. Oria, R. González y A. López, "Estudio de un acero al carbono con más de 70 años de servicio en una caldera de vapor", *Cent. Azúcar*, vol. 1, p. 99, 1999.
- [5] P. K. Bajpai, I. Singh y J. Madaan, "Development and characterization of PLA-based green composites: A review", *J. Thermoplast. Compos. Mater.*, vol. 27, n° 1, pp. 52-81, 2014.
- [6] J. Sundrababu y P. Griskevicius, "Characterization and Evaluation of Mechanical Properties of Biodegradable Reinforced Composites Material", *Mater. Today Proc.*, vol. 5, n° 6, pp. 14458-14467, 2018.
- [7] A. Devaraju, K. Babu y A. Gnanavelbabu, "Investigation on the Mechanical properties of Coconut Bunch fiber Reinforced Epoxy with Al₂O₃ Nano particles Composites for Structural Application", *Mater. Today Proc.*, vol. 5, n° 6, pp. 14252-14257, 2018.
- [8] K. Kumar, C. Karunakar y B. Chandra, "Development and Characterization of Hybrid Fibres Reinforced Composites Based on Glass and Kenaf Fibers", *Mater. Today Proc.*, vol. 5, n° 6, pp. 14539-14544, 2018.
- [9] I. Armentano *et al.*, "Processing and characterization of plasticized PLA/PHB blends for biodegradable multiphase systems", *Express Polym. Lett.*, vol. 9, n° 7, pp. 583-596, 2015.
- [10] J. C. Yeo, J. K. Muiruri, W. Thitsartarn, Z. Li y C. He, "Recent advances in the development of biodegradable PHB-based toughening materials: Approaches, advantages and applications", *Mater. Sci. Eng. C.*, 2017.
- [11] M. R. Sanjay, P. Madhu, M. Jawaid, P. Senthamaraiannan, S. Senthil y S. Pradeep, "Characterization and properties of natural fiber polymer composites: A comprehensive review", *J. Clean. Prod.*, vol. 172, pp. 566-581, 2018.
- [12] K. Senthilkumar *et al.*, "Mechanical properties evaluation of sisal fibre reinforced polymer composites: A review", *Constr. Build. Mater.*, vol. 174, pp. 713-729, 2018.
- [13] P. R. Hornsby, E. Hinrichsen y K. Tarverdi, "Preparation and properties of polypropylene composites reinforced with wheat and flax straw fibres: part I fibre characterization", *J. Mater. Sci.*, vol. 32, n° 2, pp. 443-449, 1997.
- [14] A. W. Van Vuure, J. Baets, K. Wouters y K. Hendrickx, "Compressive properties of natural fibre composites", *Mater. Lett.*, vol. 149, pp. 138-140, 2015.
- [15] B. Bax y J. Müssig, "Impact and tensile properties of PLA/Cordenka and PLA/flax composites", *Compos. Sci. Technol.*, vol. 68, n° 7-8, pp. 1601-1607, 2008.
- [16] M. R. Rahman, S. Hamdan y J. L. C. Hui, "Differential scanning calorimetry (DSC) and thermogravimetric analysis (TGA) of wood polymer nanocomposites", *MATEC Web of Conferences*, vol. 87, p. 3013, 2017.

Technical, economic and regulatory analysis for the implementation of monitoring systems through solar panels in a shrimp breeding company

Análisis técnico, económico y regulatorio para la implementación de sistemas de monitoreo a través de paneles solares para una empresa camaronera

P. Quijije,¹ C. Landacay²

Abstract: *the present work begins with the study of Photovoltaic Solar Energy and the knowledge of equipment with photovoltaic technology for isolated installations of the Red Electrical. The Monitoring and Safety tests are then carried out through solar panels for video surveillance designed to monitor a diversity of environments and activities in areas not yet served, located especially where it is not pertinent to arrive with a network extension for reasons of economic, technical character, of environmental impact and above all of the culture of the local ethnic groups. In the Tristar solar charge controller equipment, the configuration was made to work in the electrical system mode that allows efficient use for places that are not equipped with a power distribution system. In the photovoltaic system, the power generated, the power consumed, the voltage of the batteries, the amperage of the panel output are measured. All parameters are acceptable for the generation of electricity, which was also checked monitoring system. At the end a Design of a Photovoltaic System is proposed that will provide autonomy of Monitoring and Security circuits. In the economic part, after considering costs in installation, management, maintenance of equipment*

and investment financing to electrify this area, investments are very high, a fee is estimated for the internet monitoring service with energy source through Solar panels detailed in the design of the proposed system As a result, we have a business model that recovers the investment for a period of three years, 4 months, since it will spend electricity, it will be spent on electricity, and it will be recovered with this technology. In legal terms, the government is the sole provider of electricity, resulting in the modification of the descriptive sheet of the Regulation for the Provision of Electricity Services to add renewable energy to a new form of electricity service provision.

Keywords: *renewable energy, photovoltaic systems, electrical system.*

Resumen: *el presente trabajo comienza con el estudio de energía solar fotovoltaica y el conocimiento de equipos con tecnología fotovoltaica para instalaciones aisladas de la red eléctrica. A continuación se realiza las pruebas de monitoreo y seguridad a través de paneles solares para video vigilancia diseñada para supervisar una diversidad de ambientes y actividades en zonas*

1 Pablo Augusto Quijije Mejía, máster en Telecomunicaciones, ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, docente del colegio fiscal de bachillerato Simón Bolívar, Ecuador (pquijije@fiec.espol.edu.ec).

2 Cristian Mauricio Landacay Jaramillo, máster en Telecomunicaciones, ingeniero en Telecomunicaciones, docente, integra la Corporación Nacional de Telecomunicaciones, Ecuador (landypapo@gmail.com).

aún no servidas, ubicadas especialmente en las que no resulta pertinente llegar con extensión de red atendiendo a razones de carácter económico, técnico, de impacto ambiental y sobre todo de respeto a la cultura de las etnias locales. En los equipos de controlador de carga solar Tristar se realizó la configuración para que funcionen en modo sistema eléctrico aislado que permite el uso eficiente para lugares que no estén equipados con un sistema de distribución de energía eléctrica. En el sistema fotovoltaico se mide la potencia generada, potencia consumida, tensión de las baterías, amperaje de salida del panel. Todos los parámetros son aceptables para la generación de electricidad. Al final se propone un diseño de un sistema fotovoltaico que proveerá autonomía de circuitos de monitoreo y seguridad. En la parte económica, después de considerar costos en instalación, gestión, mantenimiento de equipos y financiamiento

de la inversión para electrificar esta zona resulta muy altas las inversiones, se estima una tarifa por el servicio de monitoreo por internet con fuente de energía a través de paneles solares detallado en el diseño del sistema propuesto. En consecuencia, se tiene un modelo de negocio que recupera lo invertido a un plazo de tres años y cuatro meses ya que va a gastar pagando energía eléctrica se lo va a gastar pagando en energía eléctrica lo va recuperar con esta tecnología. En términos legales, el Gobierno es el único proveedor de energía eléctrica, dando como resultado que se debe modificar la ficha descriptiva del Reglamento para la Prestación de Servicios de Electricidad para adicionar la energía renovable como una nueva modalidad de prestación del servicio eléctrico.

Palabras clave: energía renovable, sistemas fotovoltaicos, sistema eléctrico.

1. Introducción

Existen en el Ecuador muchas compañías distantes de las líneas de distribución eléctrica, como por ejemplo las empresas camaroneras y bananeras, que buscan fuentes alternas para proveerse del suministro eléctrico. En ese contexto se busca una solución por medio de un sistema solar basado en celdas fotovoltaicas que utilizan un recurso renovable como el sol como la principal fuente del servicio eléctrico.

Considerando los problemas sociales del sector, tales como la apropiación de bienes, robo de producto, entre otros factores que ponen en riesgo la estabilidad económica de las empresas afectadas, se requiere tener seguridad a través de cámaras que ayuden a monitorear todos los movimientos y evitar pérdidas de cualquier índole.

El presente trabajo incluye un estudio técnico-económico y un análisis re-

gulatorio para proveer de energía eléctrica con tecnología solar fotovoltaica a empresas productoras sin electrificación.

El análisis técnico propone un diseño del sistema solar fotovoltaico que suministre de energía eléctrica al sistema de monitoreo basado en cámaras IP. En lo económico, se realiza un flujo de caja para identificar todos los egresos e ingresos y determinar la rentabilidad del proyecto. En lo regulatorio, el Directorio de la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) aprobó el 22 de octubre de 2018 una nueva regulación para viabilizar la micro-generación fotovoltaica en el país, que permitirá a los usuarios finales cubrir su demanda de energía eléctrica y entregar el excedente al Sistema Nacional Interconectado (SNI).

2. Métodos

Para llevar a cabo este análisis se comienza por una visita a la camaronera donde no hay electrificación y que está muy distante de las líneas de distribución eléctrica, ubicadas en la parroquia Puerto Bolívar.

La economía de este lugar, basada en el minifundio, está orientada a la actividad pesquera, así como a la agricultura de autoconsumo. En efecto, el 15,6% de la población económicamente activa (PEA) de Puerto Bolívar está formada por pescadores y trabajadores no cualificados, según el último censo de 2010. Además, esta parroquia cuenta con importantes recursos naturales susceptibles de constituir la base de un mayor dinamismo económico en la

zona (destacan los recursos hídricos, que suponen un gran potencial de generación de energía eléctrica).

Se realizó un análisis del estado del arte, para lo cual se buscaron artículos de mediano y alto impacto sobre la temática y se escogieron por importancia y pertinencia. Esta investigación exploratoria se consignó entre los años 2010 y 2018. Entre estas investigaciones, se reconoce el nivel de radiación solar en la zona analizada, el sistema de video vigilancia y los sistemas de fotovoltaicos.

A continuación, se realiza un diseño de un sistema de monitoreo con cámaras IP alimentado por energía renovable fotovoltaica.

3. Resultados

La plataforma para el monitoreo de instalaciones fotovoltaicas aisladas en la camaronera es la creación y desarrollo de un centro de control solar para mantener, operar y controlar las instalaciones fotovoltaicas, reduciendo sus costes de operación y evitando las indeseadas e inesperadas interrupciones de la vigilancia en zonas aisladas.

3.1. *Periodo operacional estimado del proyecto*

La vida útil de los paneles solares es de 25 años, pero los contratos con los clientes de conexión y soporte nos permitirán transformar nuestros servi-

cios hacia esta parte muy importante de la operación.

3.2. *Distribución del sistema fotovoltaico*

El diagrama del sistema fotovoltaico propuesto se compone de paneles solares, un controlador solar con POE, batería y toma de tierra de instalación. Lo que se añade a la infraestructura es la cámara IP, el gabinete para la batería, soportes y un poste opcional (Figura 1).

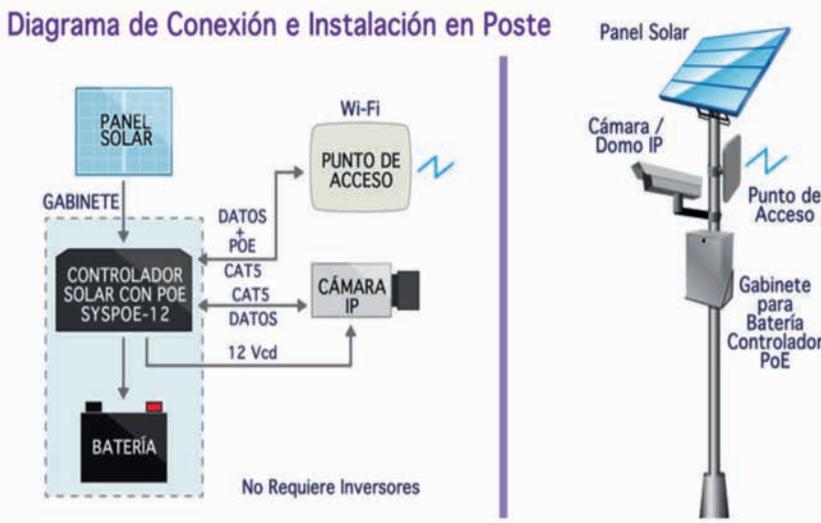
- *Panel solar.* Elemento primordial de la instalación. Convierte la energía del sol en energía eléctrica (corriente continua). Está formado por

- la unión de diversos paneles, para dotar a la instalación de la potencia necesaria.
- *Controlador solar con POE.* Compuesto por el regulado de cargar y el inversor. Es el nexo de unión entre los paneles solares y los elementos de consumo de instalación. Se encarga también de proteger a los acumuladores ante sobrecargas. Proporciona a su salida la tensión continua para su instalación. Aquí también el inversor, realiza la con-

versión de la corriente continua alterna [1].

- *Batería.* Solo presente en instalaciones autónomas. Proporciona energía a la instalación durante los periodos sin suficiente luz solar o sin suficiente luminosidad. Acumula energía para la instalación [2].
- *Toma de tierra de la instalación.* Asegura que no se produzca transferencia de falla a la red de distribución.

Figura 1. Distribución de los equipos e infraestructura



Fuente: los autores

3.3. Configuración de controlador solar POE Tristar

3.3.1. Selector 1: reservado para uso futuro

El selector 1 debe quedar en la posición Off, tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Modo de selector 1

Modo	Selector 1
Carga solar	Off (No)
Uso futuro	On (Si)

Fuente: los autores

3.3.2. Selectores 2 y 3: voltaje del sistema

Tal como se indica en la Tabla 2, hay cuatro configuraciones de voltaje del sistema.

Tabla 2. Modo de selector 2 y 3

Voltaje del Sistema	Selector 2	Selector 3
Auto	Off (No)	Off (No)
12	Off (No)	On (Sí)
24	On (Sí)	Off (No)
48	On (Sí)	On (Sí)

Fuente: los autores

Se seleccionó el voltaje de sistema de 12 V para las cámaras IP. La cali-

bración Auto permite al Tristar MPPT detectar automáticamente el voltaje del sistema cuando arranca. Esta prueba se realiza únicamente en el arranque y el voltaje del sistema no cambiará durante el uso. Generalmente, es mejor seleccionar un voltaje específico. La detección automática debería usarse solo cuando el voltaje del sistema es desconocido o pudiera cambiar periódicamente.

3.3.3. Selectores 4, 5 y 6: calibración de carga de batería

En esta selección todas las calibraciones son para sistemas de 12 V nominales y tipo de batería. Es el tipo más común asociado con la calibración de carga especificada (Tabla 3).

Tabla 3. Calibración de carga de batería

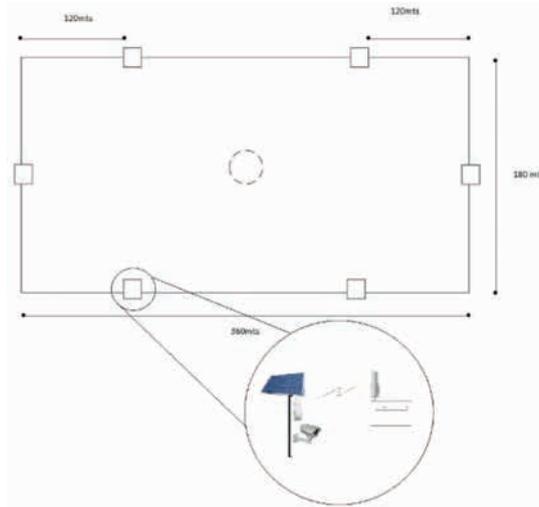
Calibraciones de selectores 4-5-6	Tipo de batería	Etapas de absorción (voltios)	Etapas de carga flotante (voltios)	Etapas de ecualización (voltios)	Etapas de intervalo (días)
no-no-no	Gel	14,00	13,70		
no-no-sí	Sellada	14,15	13,70	14,40	28
no-sí-no	Sellada	14,30	13,70	14,60	28
no-sí-sí	AGM y electrolito líquido	14,40	13,70	15,10	28
no-no-sí	Electrolito líquido	14,60	13,50	15,30	28
sí-no-sí	Electrolito líquido	14,70	13,50	15,40	28
sí-sí-no	L-16	15,40	13,40	16,00	14
sí-sí-sí	Especial	Especial	Especial	Especial	Especial

Fuente: los autores

En la prueba de campo realizada con la instalación de sistema fotovoltaico, los equipos de monitoreo y ges-

ción se conectaron bajo el diagrama de distribución del proyecto (Figura 2).

Figura 2. Diagrama de protección del proyecto



Fuente: los autores

Se realizó un diseño de un prototipo previamente configurado. Esto implica disponer de un correcto dimensionamiento, tanto para poder abastecer con garantías la demanda energética que se requiera como para acotar el coste

económico en la instalación. Para los cálculos hemos detallado cinco pasos. En el primer paso establecemos los consumos básicos necesarios de energía para el funcionamiento de los equipos [3] (Tabla 4).

Tabla 4. Parámetros de consumo de energía

Dispositivo	Potencia (W)	Horas (h)	Energía (Wh)
Cámara IP tipo bala	37	24	888
NVR 8 C, HDD	12	24	288
Total	49	24	1,176

Fuente: los autores

Así pues, si sumamos los diferentes consumos parciales, obtenemos el consumo total estimado para nuestro proyecto, es decir: total consumos por día estimados (Cde) = 1 176 Wh/día.

Aplicamos un rendimiento de la instalación del 75% para calcular la

energía total necesaria (Ten) para abastecer la demanda:

$$Ten = Cde/0,75 = 1 568,30 \text{ Wh/día} \quad (1)$$

El segundo paso es la radiación solar incidente. Se pueden utilizar tablas con estimaciones ya existentes. Una buena

fuelle de estas estimaciones es la aplicaciuu de la p1guina de la NASA (<https://power.larc.nasa.gov>) que tiene una plataforma *on-line* desde donde se pueden obtener los datos de insolaciuu para todo el mundo. Nuestra instalaciuu est1 en Puerto Bol1var, utilizando dicha la aplicaciuu obtenemos los siguientes valores:

- Latitud: -3°27'43" norte
- Longitud: -80°00'46" oeste

- Potencia nominal de la instalaciuu solar fotovoltaica: 1 kWp
- Inclinaciuu de los m1dulos: 90 deg
- Orientaciuu de los m1dulos: 27 deg

El mes m1s desfavorable de radiaciuu es en julio, con 5,78 kWh/m²/d1a. De forma que dimensionaremos la instalaciuu para las condiciones mensuales m1s desfavorables de insolaciuu y as1 nos aseguramos que cubriremos la demanda durante todo el a1o:

$$HSP = \text{radiaciuu solar tablas} / 1 \text{ kW/m}^2 = 5,78 \text{ HSP} \tag{2}$$

El tercer paso es el c1lculo de paneles solares (NM). Para las instalaciuu- nes de uso diario utilizaremos la f1rmula de las ecuaciones (3) y (4):

$$NM = (\text{energ1a necesaria}) / (\text{HSP} * \text{rendimiento de trabajo} * \text{potencia pico del m1dulo}) \tag{3}$$

El rendimiento de trabajo tiene en cuenta p1rdidas producidas por el posible ensuciamiento y/o deterioro de los paneles fotovoltaicos (normalmente 0,7-0,8).

$$NMD = (1 \ 568,30) / (5,78 * 0,8 * 180) = 1,88 \rightarrow 2 \tag{4}$$

Para dise1ar la capacidad de las bater1as de acumulaciuu, primero se debe establecer la autonom1a deseada en caso de tener d1as desfavorables sin insolaciuu por abundante nubosidad:

$$(\text{Energ1a necesaria} * \text{d1as de autonom1a}) / (\text{Voltaje} * \text{profundidad de descarga}) \tag{5}$$

$$(1 \ 568,30 * 3) / (24 * 0,6) = 326,73 \text{ Ah (c100)} \tag{6}$$

La potencia del convertidor de CC/AC se debe elegir en funciuu de la suma de todas las potencias nominales de los equipos consumidores multiplicado por el coeficiente de simultaneidad de uso de estos. (Normalmente valores que van de 0,5-0,7). En nuestro caso la potencia total estimada es de 49 W:

$$\text{Potencia convertidor} = 49 * 0,7 = 34,3 \text{ W} \tag{7}$$

As1 pues, con un convertidor de 100 W ser1a suficiente para el ejemplo, siempre y cuando realmente utilicemos solo los aparatos contemplados

inicialmente. Siempre podemos establecer una potencia mayor por si puntualmente se utiliza algún otro electrodoméstico de mayor consumo

3.4. Nivel de radiación en El Oro, Puerto Bolívar

Un valor aproximado de la radiación solar global en Ecuador es de 4 200 kWh/año, muy superior al de España, que es de 1 400 kWh/año/m². En la parte peninsular, sin embargo, de acuerdo a [4], se presentan variaciones de más de un 30% de unos lugares a otros en el Ecuador continental, y de más del 40% si se comparan con las islas Galápagos.

La gran variedad de condiciones atmosféricas y topográficas del Ecuador y el amplio rango de latitudes, desde las Galápagos hasta la Amazonía, genera una enorme diversidad de situaciones de radiación que obviamente condicionan los cálculos del tamaño de una instalación para que cubra una determinada demanda. Para este análisis se ha escogido a la provincia de El Oro, dado su enorme potencial de radiación solar de 2 100 Wh/m²/día.

Se le denomina dimensionado o diseño de un sistema solar fotovoltaico a una serie de procesos de cálculo que logran optimizar el uso y la generación de la energía eléctrica de origen solar,

realizando con un balance adecuado entre ellas, desde los puntos de vista técnico y económico.

Las encuestas realizadas a la parroquia de Puerto Bolívar determinan que solo una empresa provee el servicio de sistemas fotovoltaicos en la zona. La empresa en cuestión se denomina Acse-rel. La tarifa promedio que cobran por el vatio de panel solar es de 1,20 USD.

3.5. Costo total del proyecto

El costo de generación fotovoltaica depende de los costos de inversión del equipamiento, los costos de operación y mantenimiento, la energía entregada por los paneles y el factor de capacidad. Como ejemplo se ha tomado un proceso de contratación a través de la plataforma de compras públicas de 75 kWp. El costo medio de importación de los módulos alcanzó a 1,11 USD/Wp y los inversores a 0,32 USD/Wp. A esta cantidad se debe sumar los componentes nacionales de mano de obra, materiales de soporte de los módulos, cableado y el equipamiento de protección necesarios para la instalación, que en conjunto alcanza a 0,27 USD/Wp (no se considera el costo del terreno ni las baterías). De esta manera, el costo total de inversión para generación fotovoltaica es de 1,69 USD/Wp. El costo de la energía puede ser calculado aplicando la siguiente:

$$C = \left\{ \left[\frac{rx(1+r)^N}{(1+r)^N - 1} \right] + OM \right\} \frac{Inv}{8,76xCf} \quad (8)$$

Considerando: la tasa de descuento $r = 7\%$ como costo de oportunidad; la

vida útil del sistema $N = 20$ años; los costos anuales de operación y manteni-

miento $OM = 1\%$ del costo total de la inversión; la inversión inicial total $Inv = 1\,690$ cUSD/kWp; el factor de capacidad $Cf = 15\%$. De esta manera, el costo de la energía producida por el sistema fotovoltaico es de 13,42 cUSD/kWh. Aplicando la misma expresión con el factor de capacidad $Cf = 20\%$ para otro lugar del Ecuador con altos niveles de insolación, el costo de la energía alcanza a 10,74 cUSD/kWh. Estos datos indican que cada vez son más competitivos con relación a la producción de energía hidroeléctrica y otras energías renovables o no convencionales. Dependiendo del lugar geográfico en el que se instalen los paneles solares fotovoltaicos, el

costo de producción de la energía podría variar entre los valores anotados. Se estima que para el año 2020 será posible que el costo de la energía solar fotovoltaica se reduzca a tal punto de convertirse en una fuente energética competitiva frente a las tecnologías convencionales. Sin embargo deberán adoptarse políticas para evitar externalidades negativas frente a otros tipos de energías renovables no convencionales [5].

El costo total del proyecto es de 3 377,86 USD, el mismo que incluye: sistema fotovoltaico, soporte, cámara y NVR. Se describen estos costos totales del proyecto en la siguiente tabla:

Tabla 5. Costo total del proyecto

Cantidad	Concepto total por operación y mantenimiento	Costo (USD)
1	Soporte para poste, cajas, abrazaderas y accesorios menores	1 125
1	Sistema fotovoltaico para una cámara formado por dos paneles solares controlador de carga y baterías	1 642,86
1	Cámara IP y NVR	610
	Total	3 377,86

Fuente: los autores

3.6. Evaluación financiera

Mediante la comparación de dos flujos de caja netos proyectados, uno sin deuda y otro con deuda se evalúa que la mejor opción de financiamiento del proyecto es realizar el proyecto con deuda; ya que genera un mayor valor actual neto (VAN) y una menor tasa interna de retorno (TIR). La recuperación del capital se estima en dos años y cuatro meses.

3.7. Sugerencias regulatorias para incluir tecnología de energía eco-amigable en el Ecuador

En el caso ecuatoriano, la Ley Orgánica de Servicio Público de Energía Eléctrica no especifica con claridad los aspectos, para que pequeños emprendimientos fotovoltaicos (personas naturales), conectados a las redes de distribución (baja tensión), puedan producir energía para el consumo propio y los excedentes para la comercia-

lización a través de la red eléctrica. En este ámbito se determina la necesidad de contemplar en la ley, reglamentos, regulaciones, etc., la implementación de la generación distribuida con tecnologías renovables no convencionales especialmente la solar fotovoltaica para el sector residencial o doméstico por el alto potencial energético determinado por los niveles de insolación, otorgando diferentes tipos de incentivos. Las empresas eléctricas de distribución con base en la nueva normativa deberán facilitar la participación de la generación distribuida y llevar a cabo actividades de validación técnica *ex ante*, para asegurarse que no se pro-

duzcan restricciones en la red eléctrica y su verificación *ex post* [6].

En el reglamento para la prestación de servicios de electricidad no se cuenta con lineamientos básicos para integrar este tipo de fuentes al mercado energético nacional. Se sugiere que se incluya en la ficha descriptiva de servicio por electrificación a la energía renovable como tecnología de sistemas fotovoltaicos, eólica y biomasa.

Se debe de adoptar disposiciones en materia de implementación de mecanismos de respuesta de la demanda, lineamientos de política energética en materia de entrega de excedentes de autogeneración entre otros.

4. Conclusiones

El proyecto proporciona como resultado final una posibilidad de 4/4 ya que es factible operacionalmente, económicamente, técnicamente y legalmente. Esto permite tener una visión clara y segura del rumbo del proyecto tal como se ha demostrado en el desarrollo del mismo. Por lo que se concluye que después de la investigación y análisis realizado del uso de un sistema de monitoreo del área de camaroneras, esta carece de un servicio de sistema de vigilancia, al llevar a cabo este proyecto se evidencio la necesidad de requerir energía eléctrica en las camaroneras por su alejada ubicación de los tendidos eléctricos. Además no es factible acoplarse a una planta de energía eléctrica porque esto generaría un excesivo gasto a la empresa, se

observó que la camaronera no maneja la tecnología de las telecomunicaciones para estar en contacto con lo que suceda durante las jornadas de trabajo al no estar presente el propietario. Al localizarse en un lugar muy distante de la ciudad, las interconexiones de comunicación se ven muy complicadas para su manipulación, pero con el uso del espacio radioeléctrico que es un recurso viable, esto eliminaría el problema para permanecer siempre en contacto. Para cubrir muy bien toda el área de las piscinas a través de un diseño de red local inalámbrica mediante el uso de las cámaras, esto lograra que se pueda vigilar en tiempo real lo que esté sucediendo, después de conocer toda el área perimetral de las piscinas que abarca la camaronera se compren-

dió que el personal de seguridad no es suficiente para vigilar el producto que se genera y que se comercializa para el consumo, se presentan regularmente muchos perjuicios en las ganancias debido a los múltiples robos a los que es sujeta la empresa, tanto de personal interno como de personas extrañas.

El nivel de dificultad que se tendría con esta propuesta es la instalación y ubicación de las cámaras y las antenas en los postes, ya que se necesita vehículos especiales o montar andamios poste por poste.

Cuando el consumo eléctrico alcanza los 400 kWh, el tiempo de retorno de la inversión es de 2,61 años. No obstante, no existen informes detallados de usuarios y ventas por tarifa de cada ciudad del país. Luego de todo el análisis podemos ver que este proyecto tiene una rentabilidad muy alta, ya sea con capital propio o con manejo de préstamos o deuda.

Se recomienda la aplicación del modelo Feed in Tariff (TIF) para lo cual deberán establecerse precios de la energía inyectada a la red de distribución que podría estar en el orden de 20 cUSD/kWh, rangos de capacidades de hasta 4 kW para clientes residen-

ciales, para un periodo de 20 años. El rango de capacidad para los clientes comerciales e industriales debe ser determinado basándose en estudios que demuestren su factibilidad.

Se recomienda limpiar los paneles solares del polvo con regularidad, ya que la acumulación del mismo ocasiona que no exista la suficiente generación de energía para los equipos.

El cuidado al cliente debe ser estricto, verificando que no exista clientes insatisfechos que generen publicidad negativa a nuestro producto.

De igual forma, las instalaciones deben ser manejadas con un alto nivel de profesionalismo, ya que de esto depende que no existan visitas adicionales para corregir defectos en la calidad del servicio.

Los nuevos materiales en investigación permitirán fabricar células fotovoltaicas más económicas y que se podrán integrar en construcciones, vehículos o incluso en la ropa. En el futuro, si se quiere reducir el uso de combustibles fósiles, tendremos que construir un modelo que combine diferentes fuentes de energía. La energía fotovoltaica tiene el potencial para ser una de las principales [7].

5. Referencias

- [1] Y. Lim y H. Lim, "PV Monitoring System Utilizing XML", *II International Conference on Intelligent Control, Modeling and Systems Engineering*, Cambridge, MA, 2014. Recuperado de <https://bit.ly/2yHVV55/>
- [2] C. Diaz Tomas, *Instalaciones solares fotovoltaicas*, McGraw-Hill, 2010.
- [3] M. Andreoni, F. Galdeano y M. Molina, "Implementation of wireless remote monitoring and control of solar photovoltaic system", *Transmission and Distribution: Latin America Conference and Exposition*, 2012. Recuperado de <https://bit.ly/2GQPc3s/>

- [4] F. Collantes, V. Pinilla, L. Sáez y J. Silvestre, “Reducing depopulation in rural Spain: the impact of immigration”, *Population, Space and Place*, vol. 20, n° 7, pp. 606-621, 2014.
- [5] S. M. Barbosa, “A competitividade das fontes energéticas em uma abordagem de learning curves: Uma proposição de regulação que incentive as tecnologias renováveis” (Tesis doctoral), Universidade de São Paulo, 2016. Recuperado de <https://goo.gl/u6i8AN/>
- [6] G. Barreto, “Metodología de aplicação de geração distribuída fotovoltaica em baixa tensão nos reticulados subterrâneos das distribuidoras de energia elétrica”, (Tesis doctoral), Universidade de São Paulo, 2014. Recuperado de <https://goo.gl/W93aLG/>
- [7] E. Velasco, “Así será la energía solar del futuro”, *La Vanguardia*, 13 de enero de 2018. Recuperado de <https://bit.ly/2T4uqSd/>

Valuation and potential market of medicinal plants in Ecuador

Valoración y mercado potencial de las plantas medicinales en el Ecuador

N. Campos,¹ M. Espadero,² T. Mosquera³

Abstract: *Ecuador has one of the most biodiversity in the countries with wide ethno-botanical knowledge; there are few studies and initiatives to encourage the mass production of medicinal plants and phytomedicines. The therapeutic potential of some species from the ethno-botanical point of view has already been cataloged by some authors, species used within ancestral knowledge are generally sold in market gardens, around 273 of these 178 species are native, 83 introduced and 12 endemic; the investigation carries out an analysis of 1 427 natural products that are sold in Ecuador registered in the National Agency for Health Control and Surveillance Regulation, the analysis of the components of the registered formulas result in the use of the species used in these products; They identify 65 species within which only 13 correspond to those used in local markets, 128 industries are related to the production, marketing and/or distribution of the 1 426 products, of which 46% is part of the national industry. The objective of this research work is to identify the potential market of medicinal plants related to our ancestral knowledge, through a documentary bibliographic.*

Keywords: *valuation, medicinal plant, traditional medicine.*

Resumen: Ecuador tiene una de la mayor biodiversidad de los países con un amplio conocimiento etno-botánico, existen pocos estudios e iniciativas para incentivar la producción masiva de plantas medicinales y fitomedicamentos. El potencial terapéutico de algunas especies desde el punto de vista etno-botánico ha sido ya catalogado por algunos autores. Se identifican especies utilizadas dentro del saber ancestral que generalmente se expenden en hierberas de mercados, alrededor 273 especies de estas 178 son nativas, 83 introducidas y 12 endémicas. Esta investigación realiza un análisis de 1 427 productos naturales que se expenden en el Ecuador registrados en la Agencia Nacional de Regulación Control y Vigilancia Sanitaria. El análisis de los componentes de las fórmulas inscritas da como resultado el uso de las especies utilizadas en estos productos. Se identifican 65 especies dentro de las cuales solo 13 corresponden a las utilizadas en mercados locales, 128 industrias están relacionadas con la producción, comercialización y/o distribución de los 1 426 productos; de estas, el 46% es parte de la industria nacional. El objetivo de este trabajo es identificar el mercado potencial de las plantas medicinales relacionadas con nuestros saberes ancestrales mediante un análisis bibliográfico-documental.

Palabras clave: valoración, planta medicinal, medicina tradicional.

- 1 Nataly Campos Sarmiento, estudiante de la Maestría en Administración de Empresas, economista de la Universidad Politécnica Salesiana, miembro del Grupo de Investigación en Inteligencia Artificial y Tecnología de Asistencia, integra la Cátedra UNESCO Tecnologías de Apoyo para la Inclusión Educativa, Ecuador (ncampos@ups.edu.ec).
- 2 Mónica Espadero Bermeo, máster en Ciencias y Tecnologías Cosméticas, doctora de Bioquímica y Farmacia, técnico docente de la Universidad Politécnica Salesiana, integra la Cátedra UNESCO Tecnologías de Apoyo para la Inclusión Educativa, Ecuador (mespadero@ups.edu.ec).
- 3 Tatiana Mosquera Tayupanta, máster en Ciencias y Tecnologías Cosméticas, doctora en Bioquímica y Farmacia, docente titular auxiliar de la Universidad Politécnica Salesiana, miembro del Grupo de Investigación en Biotecnología Aplicada a los Recursos Naturales, Ecuador (tmosquera@ups.edu.ec).

1. Introducción

Según la OMS, en países en vías de desarrollo se señala que el 80% de personas utilizan plantas medicinales o medicina tradicional para resolver diferentes enfermedades y dolencias. Los fitomedicamentos o fitofármacos tienen como base a estas plantas, pero a las que se les ha aplicado procesos tecnológicos estandarizados para su comercialización. En la actualidad, el mercado global de fitofármacos gira en torno de aproximadamente 22 billones de dólares al año y va creciendo paulatinamente [1].

En Europa, cerca del 30% de medicamentos son fitofármacos. Entre los años 2008 y 2010 se reveló que en el continente europeo acumuló el 46% del mercado mundial de fitofármacos, seguidos en la segunda posición Asia y Norteamérica con un 18%, Japón un 15% y el resto del mundo apenas superó la cifra del 3%, por lo que en Latinoamérica es poco el mercado de la fitofarmacéutica [2].

Este fenómeno de crecimiento en esta industria se debe a una mayor inversión en investigación y desarrollo de la tecnología farmacéutica en el campo de la farmacognosia, toxicología y estudios de farmacología preclínica y clínica.

Esto permite que se identifique y cuantifique compuestos químicos presentes en las plantas, haciendo posible obtener fitofármacos seguros y eficaces [1].

En el país, la fitofarmacéutica se rige bajo el Acuerdo 0244 del Ministerio de Salud Pública, publicado en el Registro Oficial 385 del 26 de octubre de 2006, en donde se menciona los procedimientos y normas para el uso, preparación y comercio de las plantas medicinales y sus preparaciones farmacéuticas. Sin embargo, muchos de los fitofármacos que se encuentran en el mercado ecuatoriano están relacionados con el uso de plantas foráneas cuyos principios activos y efectos farmacológicos fueron estudiados más a nivel mundial y que han sido incluidos en las farmacopeas de Europa o Estados Unidos, puesto que en el país existen pocos estudios preclínicos y clínicos [3]. La falta de investigación de especies propias o la validación científica de un uso etno-botánico no aporta a la producción nacional, identificar las especies que se encuentran en productos naturales junto con la información de especies que se expenden en mercados permitirá orientar investigaciones que respalden producción nacional.

2. Métodos

El método corresponde a una investigación cualitativa fundamentada en una reducción y categorización de la información, que reduce los datos analizados, con el fin de expresarlos y describirlos de forma conceptual y numéri-

ca, de tal manera que respondan a una estructura sistemática, inteligible para otras personas y, por lo tanto, significativa. La reducción de datos es la operación básica que se realiza a lo largo de todo el proceso de investigación, que ha

logrado en la investigación cualitativa permitir la categorización de los datos.

La muestra de estudio corresponde a los productos comercializados en el territorio ecuatoriano bajo permisos registrados en el ARCSA en el año 2017. Se analiza 1 427 productos, se identifican todas las especies utilizadas en estos productos y se realiza la revisión

del origen del productor, se caracteriza la actividad terapéutica referenciada de las especies coincidentes entre los productos naturales y las que se expenden en los mercados. Se realiza un análisis del campo farmacéutico en el Ecuador que respalde la alternativa del uso de productos naturales como una alternativa en el sistema de salud.

3. Resultados

3.1. Especies vegetales más utilizadas en productos naturales que se expenden en el país

En los 1 427 productos analizados, se revisa la información declarada

correspondiente a la fórmula farmacéutica de los productos, dando como resultado la identificación de las especies más utilizadas, definidas en la Tabla 1.

Tabla 1. Especies naturales más utilizadas en productos naturales

Nombre científico	Cantidad de productos que utilizan la especie
<i>Aloe Vera L.</i>	75
<i>Uncaria Tomentosa Willd.</i>	62
<i>Cynara Scolymus L.</i>	61
<i>Allium Sativum L.</i>	53
<i>Taraxacum Officinale W.</i>	52
<i>Ginkgo Biloba L.</i>	51
<i>Zingiber Officinale Roscoe</i>	48
<i>Eucaliptus Globulus L.</i>	48
<i>Equisetum Arvense</i>	44
<i>Valeriana Officinalis L.</i>	43
<i>Hedera Helix L.</i>	41
<i>Chenopodium Ambrosioides L.</i>	39
<i>Croton Lechleri M</i>	39
<i>Peumus Boldus M.</i>	37
<i>Allium Cepa</i>	36
<i>Peumus Boldus M</i>	36
<i>Melissa Officinalis L.</i>	34
<i>Panax Ginseng C.A. Meyer</i>	34
<i>Hypericum Perforatum</i>	33
<i>Matricaria Recutita</i>	32

Fuente: las autoras

La Tabla 1 muestra las veinte especies que más aparecen en los productos naturales. En total, de los 1427 productos, existe la utilización de solo 65 especies, de las cuales el 93% son especies introducidas y tan solo un 7% corresponde a especies propias. De estas 65 especies utilizadas en los productos naturales, solo 13 que constan en la Tabla 2 y se relacionan con especies referenciadas dentro del saber ancestral con uso en las principales hierbas identificadas en mercados locales de los Andes del Ecuador [4]. Vale la pena destacar que está última referencia enlista 273 especies, es de-

cir, el uso de solo 13 de esta lista representa un gran potencial de mercado propio no utilizada en elaboración de productos naturales, pero con referencia de efecto terapéutico basado en el uso ancestral.

De estas 13 especies, solo seis corresponden a las especies más utilizadas en los productos que se expenden en el país, es decir, el mercado de fitofármacos incorpora especies que no son parte de nuestra etno-farmacia, esto debido a que gran parte de este mercado es extranjero o porque las especies propias no tienen validación científica de su uso.

Tabla 2. Especies coincidentes en productos naturales con las expedidas en mercados locales

Espece	Uso
<i>Allium Sativum L.</i>	Antitusígeno
<i>Aloe Vera L.</i>	Desinflamatoria
<i>Artemisia Absinthium</i>	Analgésica, antilipídica
<i>Chenopodium Ambrosioides L.</i>	Antiparasitario, tónico cerebral
<i>Chuquiraga Jussieui</i>	Digestiva, analgésica
<i>Croton Lechleri M</i>	Desinflamatoria, cicatrizante
<i>Eucaliptus Globulus L.</i>	Antitusígeno
<i>Matricaria Recutita</i>	Digestiva, desinflamatoria
<i>Melissa Officinalis L.</i>	Analgésica, tranquilizante
<i>Rosmarinus Officinalis L.</i>	Tónica, antibacteriana, Desinflamatoria
<i>Smilax Aspera</i>	Desinflamatoria, reguladores hormonales
<i>Taraxacum Officinale W.</i>	Digestiva, desinflamatoria, cardiotónica
<i>Urtica Dioica</i>	Desinflamatoria, cardiotónica

Fuente: las autoras

Ecuador cuenta actualmente con una recopilación de 95 estudios etno-botánicos publicados. De estos, 32 corresponden a usos varios de especies

vegetales andinas. El uso medicinal ha sido el que más estudios ha inspirado (25), 16 publicaciones se refirieron al uso comestible y cinco al maderable.

Complementariamente, se recopilaron 17 investigaciones sobre la etno-botánica de etnias, 13 de ellas relativas a los mestizos y quechuas de la Sierra y cuatro relativas a mestizos, quechuas y

shuar de las estribaciones orientales de los Andes. Los resultados de la mayoría de estudios consisten en la presentación de listas de especies y sus usos [5].

Tabla 3. Laboratorios responsables de productos naturales en el Ecuador

Laboratorio	Cantidad productos	Origen
Labmac S.A.	193	Nacional
Biopronec Cía. Ltda.	95	Nacional
Onlynat Laboratorios del Ecuador S.A.	71	Nacional
Laboratorios Natualfa Cía. Ltda.	69	Nacional
Natures Sunshine Products	47	Extranjera
Importador-persona natural	45	Extranjera
Phytopharma Cía. Ltda.	42	Nacional
Carvagu S.A.	40	Nacional
Laboratorio Phytochemie Cía. Ltda.	34	Extranjera
Roemmers S.A.	30	Extranjera
Importador-Persona Natural	29	Extranjera
Laboratorio Fitoterapia Cía. Ltda.	28	Nacional
Nutrifit S.A.	28	Extranjera
Quifatex S.A.	28	Extranjera
Importador-persona natural	28	Extranjera
Importador-persona natural	26	Extranjera
Zonatrade Cía. Ltda.	25	Extranjera
Importador-persona natural	21	Extranjera
Importador-persona natural	20	Extranjera
Importador-persona natural	20	Extranjera

Fuente: las autoras

La Tabla 3 presenta los 20 laboratorios con un mayor número de registros de productos naturales en el Ecuador. Con 193 productos lidera la lista Labmac, empresa nacional registrada en la categoría salud, bajo la denominación de distribuidora farmacéutica y productora de productos naturales, el total de empresas registradas en el ARCSA es

128; no todas corresponden a laboratorios, sino que dentro de ellas se encuentran tanto distribuidoras farmacéuticas como importadores con personería natural, en función del origen se determina que el 46% es industria nacional, con una participación en el mercado de 749 productos que corresponde al 53% del mercado de productos naturales.

3.2. Análisis del mercado farmacéutico

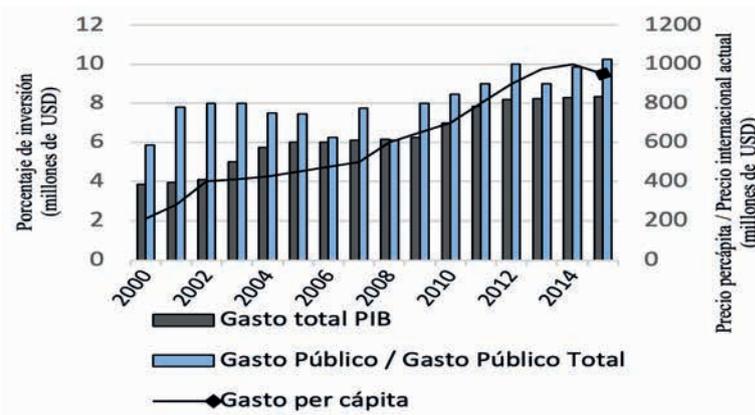
Para la economía ecuatoriana en el campo de la farmacéutica podríamos decir que el año 2017 fue considerado un “buen año”, a pesar de que el cambio de Gobierno creó mucha incertidumbre en un mercado en el cual las instituciones públicas son los grandes compradores. El crecimiento del precio promedio de medicinas alcanza 6,58 USD y es sostenido desde 2012, donde 7 075 farmacias se disputan 1 469 millones de USD y 220 millones de unidades. Esto refleja un grave problema de concentración oligopólica en el cual 3 632 farmacias pertenecen a cadenas con precio promedio de 6,89 USD y 3 443 son independientes con apenas 5,28 USD de precio promedio, lo cual se debe a su incapacidad para vender recetas completas y vendiendo al detalle productos de más bajo costo [6].

Es evidente indicar que dentro del Ecuador existe una creciente evolución

en temas de la erogación de dinero en el campo de la salud, es por ello que una gran parte del presupuesto general del Estado es destinado a la salud.

Cinco grupos comercializadores de medicinas representan el 86% del mercado y veinte representan el 99% del mismo. Visto desde una diferente perspectiva, las cadenas de farmacias venden al 85% del mercado y las farmacias independientes al 15%. Lo crítico de esta situación es que solamente 1 970 puntos de venta expendieren el 80% de todo el valor del mercado. Más de 5 000 farmacias escasamente venden 294 millones de USD, con una venta promedio de 4 800 USD mensuales, lo que no genera ni siquiera un salario mínimo vital de utilidad. Las farmacias significan 72,35% del mercado privado de medicinas, las instituciones públicas ocupan un importante 20,24%, mientras que las instituciones privadas son solo el 3,80% y los otros actores son el 3,21% [7] [12] [13].

Figura 1. Evolución gasto en salud en Ecuador



Fuente: [1]

Esta industria es muy conservadora y normalmente adversa al riesgo, por lo cual ha debido enfrentar en este periodo algunos retos, que han sido gestionados con singular éxito. Utilizó hábilmente el incremento de precios de los productos liberados y evitó la fijación de precios en las fórmulas infantiles. Tuvo que poner en práctica el cambio de empaques de acuerdo al Decreto 522 para la impresión de las frases: “Medicamento Genérico” y “Medicamento de Referencia”, para los productos que perdieron su patente, pero los productos de marca no sufrieron un cambio considerable. No hubo la eliminación del seguimiento prescriptivo de los médicos privados que sostiene un mercadeo farmacéutico orientado a medicinas de marca [8].

La importación de medicina es necesaria y ahora los laboratorios latinoamericanos con 31% y los europeos con 34% son los orígenes más importantes. Es así como Roemmers es el más grande laboratorio en ventas en el país. Pero no hay mucho interés en invertir en este mercado muy regulado y cambiante. Es por eso que no se ofrecen nuevas moléculas, siendo la participación de nuevos productos únicamente del 3%. Las novedosas y avanzadas terapias no se ofrecen en nuestro mercado. Modalidades como la terapia genética, la terapia celular y los conjugados terapéuticos de anticuerpos que son la fuente de nuevas drogas a nivel mundial, están ausentes en Ecuador y ese es un verdadero reto para la industria local e internacional [9].

4. Discusión

Contando con una gran cantidad de especies de plantas que tienen un amplio beneficio para la salud, el reto es el poder generar una cadena de valor a las especies endémicas de nuestro país, con lo cual se aportará dos grandes mercados, el primero: la agricultura en sectores históricamente marginales donde el núcleo de la producción es la familia, generando un ingreso sostenible, la segunda es la industrialización: la cual a través de técnicas fitosanitarias, botánicas y farmacéuticas se encargaran de procesar y comercializar dichos productos, los cuales cuentan además de un procedimiento bioquímico, cuentan con un gran sustento

ancestral de los pueblos originarios, quienes a través de diversos rituales, limpias, parto, posparto; generaran la credibilidad y la auto-sostenibilidad de estos productos [12] [13].

Es importante indicar que el estudio realizado por Castillo y Dávila, menciona que no existe un entendimiento ni un estudio claro de las especies útiles en relación con la flora total del país, de allí la necesidad de potenciar la investigación en esta área de la etnobotánica [14]. En tal virtud, creemos que es indispensable poder generar nuestra propia industrialización de medicamentos alternativos naturales los cuales se encuentren dentro de las po-

líticas establecidas, así como también que cuenten con los estudios necesarios que el mercado actual lo amerita.

Calderón [15], dentro de su libro *Oportunidades para productos farmacéuticos y cosméticos en Ecuador*, menciona que la fabricación de sustancias y productos químicos representa un 10% del total de la industria manufacturera en el país (excepto refinación de petróleo), que la ubica como la actividad más importante dentro del sector; además, destaca un acelerado crecimiento entre 2007 y 2012, con un tasa promedio anual de 11,7% [15]. El análisis realizado determina que el número de empresas industriales que se dedican a procesar las plantas medicinales y colocarlas al mercado es menor, siendo evidente que la cantidad de productos importados es elevada, lo que implica que el precio final del producto sea significativamente elevado [16]. Del análisis estratégico de la industria farmacéutica se desprenden como principales fortalezas el crecimiento del mercado, estrechamente relacionado con el incremento poblacional y del aumento de la cobertura institucional de salud, así como la disponibilidad de capacidad instalada para absorber una mayor demanda. Sin embargo, entre las debilidades más notorias de la industria están la alta dependencia de proveedores externos, procesos operativos y regulatorios aún en desarrollo y la escasa penetración alcanzada por la producción local, especialmente en el mercado privado [16].

Para la producción de medicamentos alternativos en el país es importante rescatar que según la Ley Orgánica de Salud de Ecuador, los productos naturales procesados de uso medicinal se pueden producir, almacenar, comercializar e importar siempre que cuenten con registro sanitario nacional y no están sujetos al régimen de fijación y revisión de precios [17]. En lo que respecta a la producción local, información publicada por el Instituto Nacional de Estadística y Censos, en su herramienta Laboratorio Empresarial, señala que en el año 2016 las actividades de fabricación de productos farmacéuticos, sustancias químicas medicinales y productos botánicos de uso farmacéutico, en Ecuador, registraron un nivel de ventas de 481,44 millones de USD, correspondiente a 111 empresas, de las cuales 23 eran grandes empresas que aportaban 84% del total de estas ventas [16].

No solo el sector farmacéutico ha aprovechado las plantas medicinales del país, otro sector industrial que está en crecimiento dentro del país es el cosmético, ya que cada día existen más personas en el Ecuador comprometidas con el medio ambiente y que intentan cambiar su estilo de vida a través del consumo de productos naturales. Esto corresponde a tres factores que son: la normativa, la exigencia de los consumidores y la disposición por parte de los compradores a pagar más por productos naturales.

5. Conclusiones

La gran variedad de especies identificadas en nuestro país representa un potencial terapéutico que en función de los resultados no está siendo aprovechado, existen especies introducidas que no corresponden al hábitat del Ecuador.

Se cuenta con una gran cantidad de plantas endémicas las cuales tienen un amplio beneficio para la salud, siendo entonces el principal reto el poder generar una cadena de valor llegando de forma significativa a los grandes mercados industrializados.

Tenemos entonces que el primer impacto sería el sector agricultor que basa su economía en el seno de la familia, aprovechando el recurso de la tierra y el capital humano, el segundo impacto es el proceso de industrializa-

ción de las especies que tienen un alto potencial terapéutico, como un tercer enfoque sería la comercialización de los productos que se generen, contando con un gran sustento ancestral de los pueblos originarios.

Además, se cuenta con datos a nivel mundial las enfermedades derivadas a los problemas oncológicos, son los que mayor demanda dentro del mercado mundial se encuentran, ya que al ser tratamientos altamente costosos, hoy en día es una de las causas de muerte con mayor prevalencia a nivel mundial, es por ello que la propuesta es la de poder generar una variedad de productos naturales derivados de especies endémicas del Ecuador, para una posterior industrialización y comercialización de los mismos.

6. Referencias

- [1] R. Yunes, R. Curi y V. Cechinel, *Fármacos e fitoterápicos: a necessidade do desenvolvimento da indústria de fitoterápicos e fitofármacos no Brasil*, Química Nova, Brasil, 2001.
- [2] R. Cea, *Fitofármacos*, Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental, 2013. Recuperado de <https://bit.ly/2TVZ53B/>
- [3] D. González, "La legislación vigente en Ecuador para la fabricación, uso, comercialización de plantas medicinales y fitomedicamentos", *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales*, 2009.
- [4] C. Cerón, "Plantas medicinales de los Andes ecuatorianos", *Botánica ecuatoriana de los Andes centrales*, Quito, Ecuador, 2006.
- [5] L. de la Torre, *Etnobotánica en los Andes del Ecuador*, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia, 2006.
- [6] Vicepresidencia de la República del Ecuador, Informe de rendición de cuentas a la ciudadanía, ENFARMA, 2014.
- [7] Servicio Nacional de Derechos Intelectuales, *Licencias obligatorias mayor acceso a medicaciones en experimental*, 2014. Recuperado de <https://bit.ly/2yLaU4A/>
- [8] "International Federation of Pharmaceutical Manufacturers & Associations (IFPMA)", *The Pharmaceutical Industry and Global Health-Facts and Figures*, 2014.
- [9] ESPAE Graduate School of Management, *Estudios Industriales Orientación Estratégica para la Toma de Decisiones Industria Farmacéutica*, 2018.

- [10] Agencia Nacional de Regulación y Control Sanitario, Base permiso de funcionamiento, 2017. Recuperado de <https://bit.ly/2MNpnFk/>
- [11] Dirección Ejecutiva de la Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria (ARCSA), Laboratorios farmacéuticos con certificación de buenas prácticas de manufactura (BPM), 2015.
- [12] E. Alvo, Regulación y competencia en el mercado de medicamentos: experiencias relevantes para América Latina, CEPAL, 2010.
- [13] INEC, Visualizador de estadísticas productivas nota técnica, 2014 Recuperado de <https://bit.ly/2VaY7S4/>
- [14] Y. Castillo y M. Dávila, “Investigación científica basada en la medicina tradicional ¿expectativa o realidad?”, *Mediciencias UTA*, vol. 2, n° 1.
- [15] J. Calderón, Oportunidades para productos farmacéuticos y cosméticos en Ecuador, PROCOMER, 2014.
- [16] ESPAE, Estudios industriales orientación estratégica para la toma de decisiones, ESPOL, 2018.
- [17] Agencia Nacional de Regulación y Control Sanitario, Regulación o procedimiento que expide la resolución, reglamento, instructivo o manual, 2018. Recuperado de <https://bit.ly/2Kp3lax/>

Visual appearance simulation of polymer dispersed liquid crystal smart windows

Simulación visual de la apariencia de ventanas inteligentes de cristal líquido disperso en polímero¹

D. Barrios,² C. Álvarez,³ J. Miguitama⁴

Abstract: *devices in polymer dispersed liquid crystal are included within the electrically controllable chromogenic technologies, where the amount of light and heat that passes through them can be controlled by external electric stimulation. The main application of this technology such as intelligent window shows two different states, transparent and translucent, depending on the light to be transmitted through direct or diffuse. In this work it was carried out an optical characterization and a colorimetry study of different samples of these devices fabricated on glass substrate with different thicknesses and sizes in order to simulate their visual appearance from chromaticity coordinates and from luminance levels.*

Keywords: *dispersed liquid crystal polymer, scattering, transmittance and diffuse reflectance, chromaticity coordinates, illuminance, visual appearance, CIE 1931 color space.*

Resumen: los dispositivos de cristal líquido disperso en polímero se engloban dentro de las tecnologías cromogénicas eléctricamente controlables, en donde la cantidad de luz y calor que los atraviesa puede ser controlada mediante un estímulo eléctrico externo. La principal aplicación de esta tecnología, como ventana inteligente, muestra dos estados diferenciados: transparente y translúcido, según la luz se transmita a través de manera directa o difusa. En este trabajo se ha realizado una caracterización óptica y un estudio de colorimetría de diferentes muestras de estos dispositivos fabricados sobre sustrato de cristal con distintos espesores y tamaños a fin de simular su apariencia visual a partir de las coordenadas cromáticas y de los niveles de luminancia.

Palabras clave: cristal líquido disperso en polímero, dispersión, transmitancia y reflectancia difusa, coordenadas cromaticidad, iluminancia, apariencia visual, espacio de color CIE 1931.

-
- 1 Las medidas ópticas en transmisión y reflexión fueron realizadas utilizando el espectrofotómetro disponible en el Grupo de Física de Estado Sólido, del Departamento de Ciencias de la Ingeniería, del Laboratorio Angstrom en la Universidad de Uppsala, Suecia.
 - 2 David Barrios Puerto, PhD en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Automática, docente de la Carrera de Ingeniería Electrónica, miembro del Grupo de Investigación GISTEL de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, Ecuador (dbarrios@ups.edu.ec).
 - 3 Carlos Josué Álvarez Triana, estudiante de la Carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, Ecuador (calvarez1@est.ups.edu.ec).
 - 4 José Ricardo Miguitama Gonza, estudiante de la Carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, Ecuador (jmiguitama@est.ups.edu.ec).

1. Introducción

Los cristales líquidos dispersos en polímero (PDLC) se engloban, junto con los materiales electrocrómicos y los dispositivos de partículas suspendidas, dentro de las llamadas tecnologías cromogénicas eléctricamente controlables, en las cuales, a partir de un estímulo eléctrico externo, es posible controlar alguno de sus parámetros ópticos relacionados en la ecuación de la conservación de la energía para una radiación electromagnética:

$$T + R + S + A = 1 \quad (1)$$

Esta ecuación expresa que cuando una radiación electromagnética, como es el caso de la radiación solar, atraviesa una superficie con distinto índice de refracción al del medio por el cual se propaga, la radiación puede ser reflejada (R), transmitida (T), absorbida (A) o dispersada (S). Las tecnologías cromogénicas permiten controlar alguno de estos cuatro parámetros mediante un estímulo externo, siendo este una señal de tensión eléctrica para el caso de los dispositivos PDLC. En esta tecnología, los PDLC están formados por una delgada capa de matriz polimérica que contiene micro-gotas de cristal líquido. Esta mezcla se coloca entre dos sustratos transparentes recubiertos por una capa conductora, compuesta normalmente de óxido de indio y estaño (ITO) [1]. Estos dispositivos se utilizan en aplicaciones electro-ópticas como: ventanas inteligentes, atenuadores ópticos variables

(VOA) y dispositivos de proyección. Para que estos dispositivos funcionen como un interruptor óptico, el índice de refracción del polímero isotrópico y el índice de refracción ordinario del cristal líquido (CL) deberán ser similares [2]. La distinta dirección de estos índices en las micro-gotas, distribuidas aleatoriamente en ausencia de un campo eléctrico, provoca la dispersión de la luz y una apariencia translúcida en el dispositivo.

Cuando se le aplica un campo eléctrico alterno las moléculas de CL se orientan paralelas al campo, haciendo coincidir el índice de refracción ordinario del cristal líquido con el índice de refracción del polímero, lo que provoca la apariencia transparente del dispositivo. La transmisión de la luz a través del dispositivo, por lo tanto, puede ser controlada aplicando un campo eléctrico. A diferencia de otros dispositivos electro-ópticos como los cristales líquidos nemáticos torsionados (CLNT) o los cristales líquidos ferro-eléctricos estabilizados en superficie (SSFLC), los dispositivos PDLC presentan un estado de transmisión alto al no necesitar de polarizadores para lograr el efecto de conmutación. Los dispositivos PDLC tienen un gran número de ventajas en comparación con otras tecnologías de CL utilizadas en la fabricación de pantallas, tales como: alto brillo (debida a su gran transparencia), amplio ángulo de visión, rápida respuesta (del orden

de milisegundos), ausencia de tratamiento en la superficie y la posibilidad de niveles intermedios de transmisión controlables eléctricamente.

En este trabajo se ha realizado un estudio de la iluminancia y de las coordenadas cromáticas CIE Y_{xy} correspondientes a cada uno de los ocho dis-

positivos PDLC del espacio de color CIE 1931, así como de los valores RGB obtenidos mediante la matriz de conversión XYZ2RGB. Con el parámetro de transparencia *alfa* que incluye el software Macromedia Flash se ha simulado la apariencia visual en los estados translúcidos (Off) y más transparentes (On).

2. Métodos

2.1. Dispositivos

Ocho dispositivos PDLC fabricados sobre sustrato cristal en Cidetec siguiendo un proceso de fabricación descrito en [3] han sido analizados en este

trabajo. Un distinto comportamiento óptico fue observado según el área de su capa activa (A: 3 x 2,7 cm² y B: 3,3 x 1,8 cm²) y según el espesor de su capa interna (25, 50, 75 y 100 micras).

Figura 1. Fotografía del dispositivo PDLC-25A en estados On y Off



Fuente: los autores

Los dispositivos presentan en estado Off un aspecto blanquecino translúcido en ausencia de tensión eléctrica. El estado On de aspecto más transparente se alcanza al aplicar una diferencia de potencial en alterna. La señal de tensión aplicada fue una sinusoidal de 24 V_{rms} y 50 Hz. Para ello se utilizó un generador de funciones en serie con un ampli-

ficador lineal de banda ancha, modelo F10A de FLC Electronic AB, con una amplificación de diez veces y un voltaje máximo de entrada de ± 10 V.

2.2. Medidas ópticas

Las transmitancias y la reflectancias totales (T_{tot} y R_{tot}) y difusas (T_{diff} y R_{diff}) fueron medidas en el rango de

longitud de onda entre $0,3 < \lambda < 2,5$ μm utilizando un espectrofotómetro Perkin-Elmer Lambda 900 de doble haz equipado con una esfera integradora. Las medidas de reflectancia y transmitancia fueron realizadas en incidencia cercana a la normal con una resolución de 5 nm. Las componentes de transmitancia directa y reflectancia especular (T_{dir} y R_{spec}) fueron calculadas substrayendo las componentes difusas de las totales para transmitancia y reflectancia respectivamente.

2.3. Colorimetría

El color de un objeto depende de tres aspectos: el iluminante, el observador y la luz reflejada o transmitida por dicho objeto. La teoría de colorimetría fue aplicada a las medidas ópticas de los ocho dispositivos PDLC a fin de obtener el color que simule su apariencia visual en los estados Off (más

difuso) y On (más transparente). Las ecuaciones (2)-(4) fueron utilizadas para computar los valores triestímulo XYZ por medio de las funciones x_λ , y_λ y z_λ del espacio de color CIE 1931 para un observador estándar de dos grados, siendo E_λ el iluminante (en este trabajo se utilizó el iluminante D65 que simula la luz solar) y T_λ la transmitancia o reflectancia (T_{dir} o R_{spec}) del objeto a una determinada longitud de onda λ [4] [6]. Las coordenadas de cromaticidad CIE Yxy fueron utilizadas para representar el diagrama de cromaticidad CIE 1931. Los valores RGB fueron determinados mediante la matriz de transformación XYZ a sRGB (espacio de color creado cooperativamente en 1996 por Hewlett Packard y Microsoft para utilizar en impresoras, monitores y en internet) de la ecuación (5), siendo $C = R, G$ o B , en la segunda parte de dicha ecuación.

$$X = 100 \times \frac{\int E_\lambda \cdot T_\lambda \cdot \bar{x}_\lambda}{\int E_\lambda \cdot \bar{y}_\lambda} \quad (2)$$

$$Y = 100 \times \frac{\int E_\lambda \cdot T_\lambda \cdot \bar{y}_\lambda}{\int E_\lambda \cdot \bar{y}_\lambda} \quad (3)$$

$$Z = 100 \times \frac{\int E_\lambda \cdot T_\lambda \cdot \bar{z}_\lambda}{\int E_\lambda \cdot \bar{y}_\lambda} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} sR_{\text{linear}} \\ sG_{\text{linear}} \\ sB_{\text{linear}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.2406 & -1.5372 & -0.4986 \\ -0.9689 & 1.8758 & 0.0415 \\ 0.0557 & -0.2040 & 1.0570 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$Csrgb = \begin{cases} 12.92 \times Csrgb & C_{\text{linear}} \leq 0.0031308 \\ ((Csrgb \times 1.055)^{1/2.4}) & C_{\text{linear}} > 0.0031308 \end{cases}$$

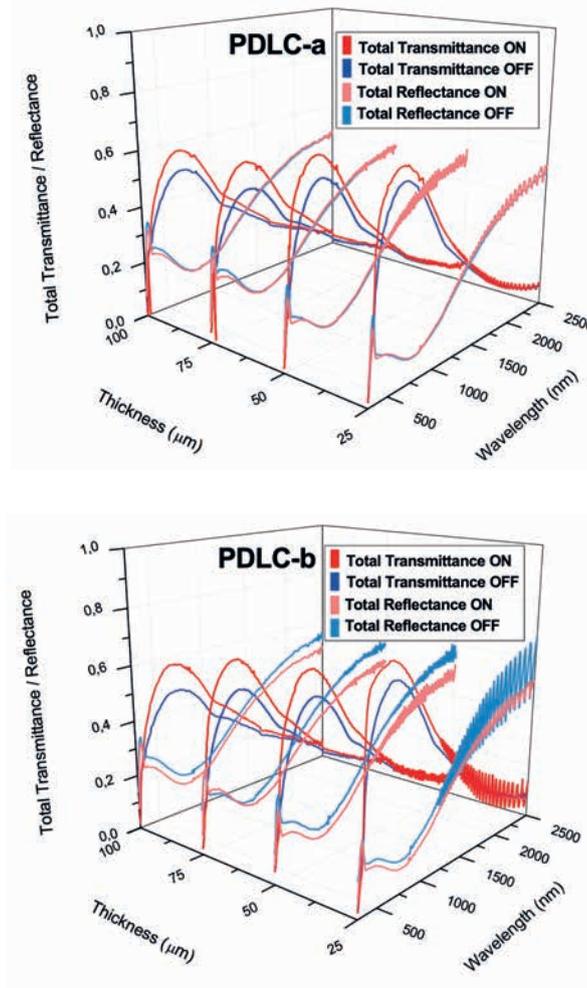
3. Resultados

3.1. Resultados ópticos

Las transmitancias y reflectancias totales y difusas fueron medidas y las componentes de transmitancia directa y reflectancia especular calculadas como

su diferencia. En los dispositivos PDLC caracterizados en este trabajo se observa una ligera diferencia no superior al 10% en la transmitancia total entre el estado Off y el estado On (Figura 2).

Figura 2. Transmitancia y reflectancia totales en estados On y Off de dispositivos PDLC-A y PDLC-B



Fuente: los autores

Los dispositivos transmiten de forma total una cantidad de luz similar. No obstante, al diferenciar esta luz transmitida total entre luz transmitida de forma directa y luz transmitida de forma difusa, la diferencia aumenta a cerca del 40% de incremento de luz transmitida de forma directa entre los estados Off translúcido y On transparente para los dispositivos de 25 micras de espesor, siendo este contraste algo superior para el de menor área activa (Figura 3). Al aumentar el es-

pesor de la capa interna el contraste en transmitancia directa disminuye, siendo apenas imperceptible para un espesor de 100 micras. En cuanto a la reflectancia total la diferencia entre los estados On transparente y Off translúcido es casi inapreciable (Figura 2). La componente difusa de la reflectancia predomina para longitudes de onda visibles, mientras que para longitudes de onda mayores de 800 nm es la componente especular la predominante (Figura 4).

Figura 3. Transmitancias directas y difusas en estados On y Off de dispositivos PDLC-A y PDLC-B

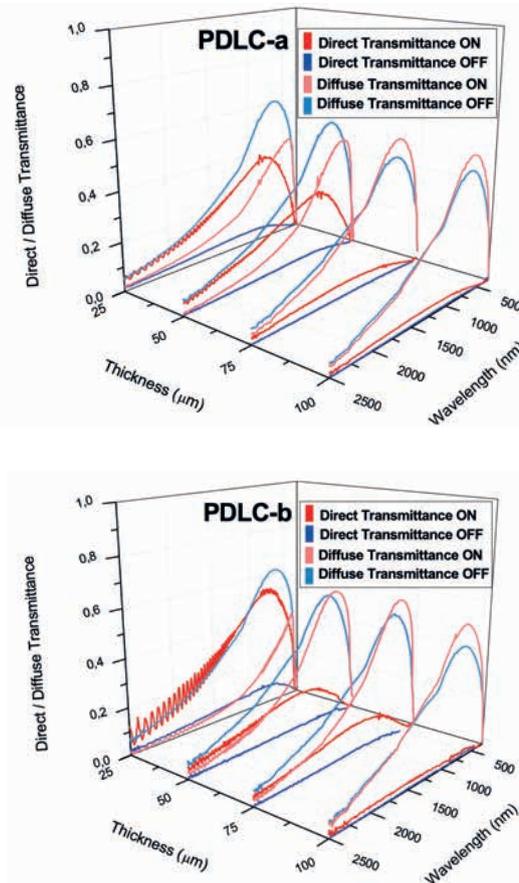
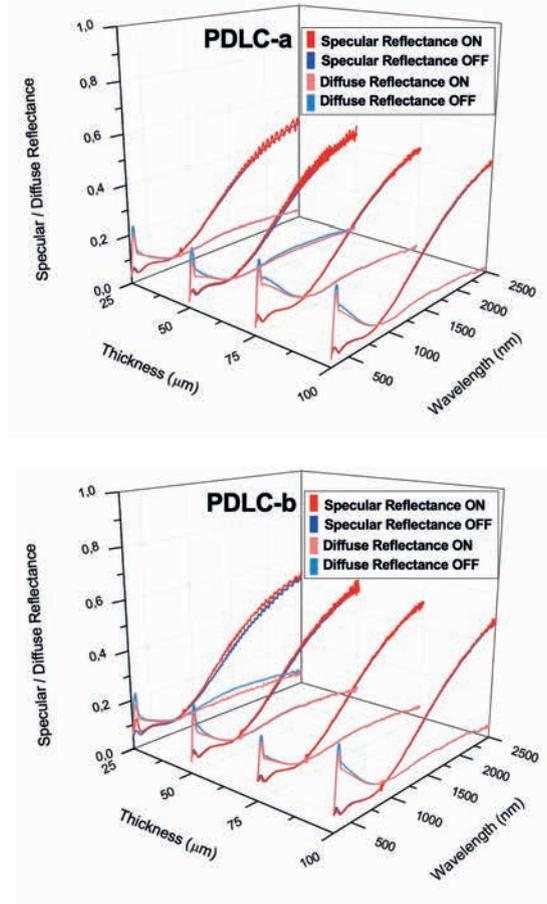


Figura 4. Reflectancias especulares y difusas en estados On y Off de dispositivos PDLC-A y PDLC-B

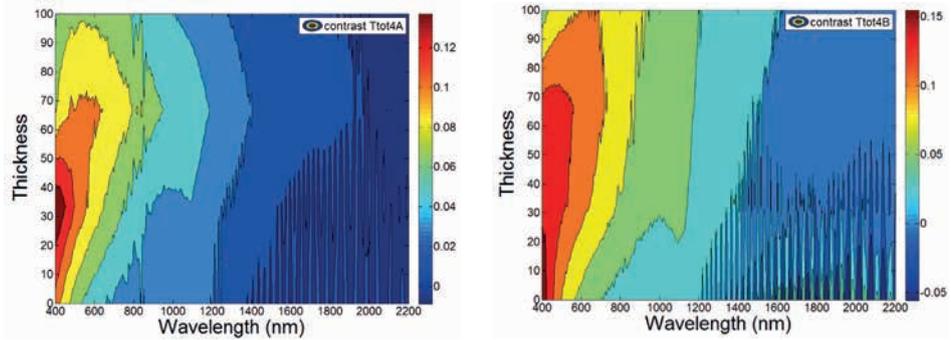


Fuente: los autores

El contraste o incremento de la transmitancia o reflectancia espectrales entre los estados Off y On se puede obtener en función del espesor mediante las gráficas de tipo contourplot computadas con el software Matlab. Las figuras 5, 6 y 7 representan la dependencia espectral con el espesor de los contrastes en la transmitancia total, en la transmitancia directa y en la transmitancia difusa, para los dispositivos de tamaños

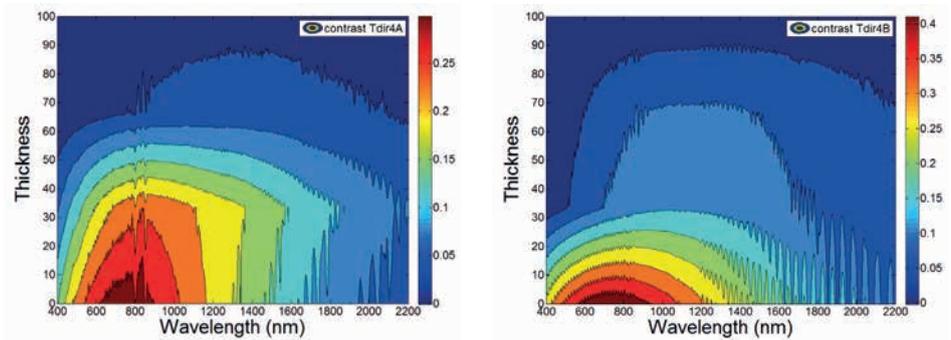
A y B respectivamente. Así mismo, las figuras 8, 9 y 10 representan la dependencia espectral con el espesor de los contrastes en la reflectancia total, en la reflectancia especular y en la reflectancia difusa, para los dispositivos de tamaños A y B, respectivamente. Como puede apreciarse, los contrastes entre los estados translúcidos y transparentes son más evidentes para las transmitancias que para las reflectancias.

Figura 5. Contraste de la transmitancia total entre los estados On y Off de dispositivos PDLC-A y PDLC-B



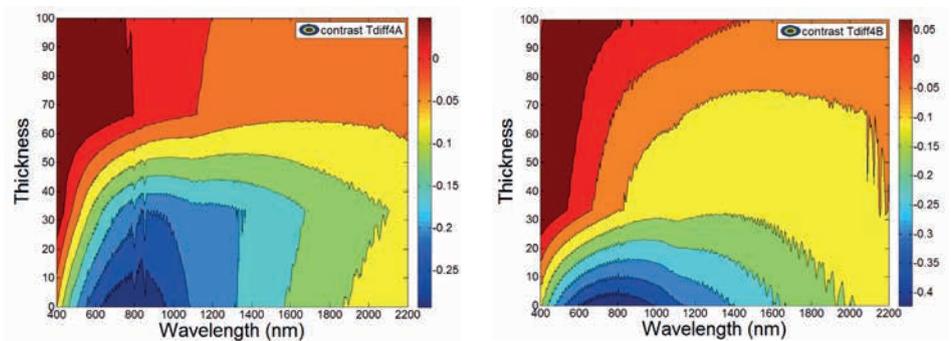
Fuente: los autores

Figura 6. Contraste de la transmitancia directa entre los estados On y Off de dispositivos PDLC-A y PDLC-B



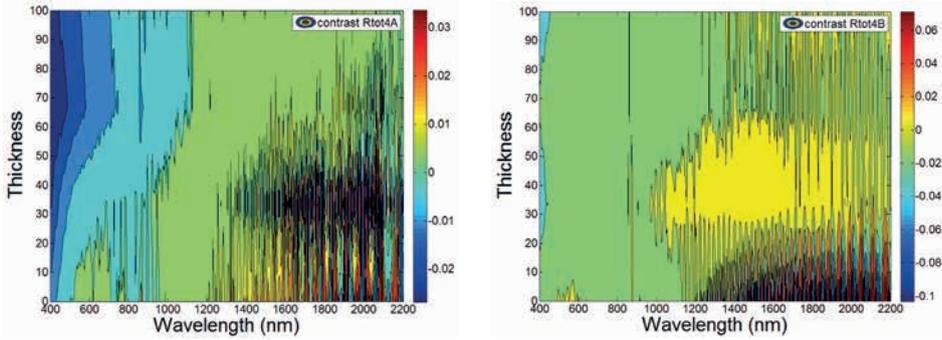
Fuente: los autores

Figura 7. Contraste de la transmitancia difusa entre los estados On y Off de dispositivos PDLC-A y PDLC-B



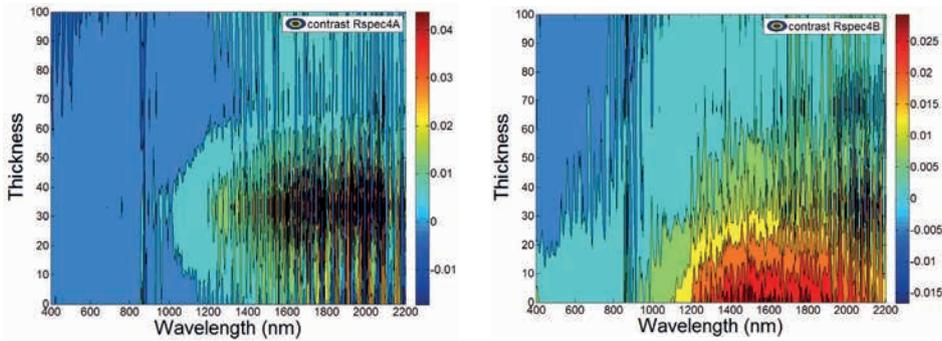
Fuente: los autores

Figura 8. Contraste de la reflectancia total entre los estados On y Off de dispositivos PDLC-A y PDLC-B



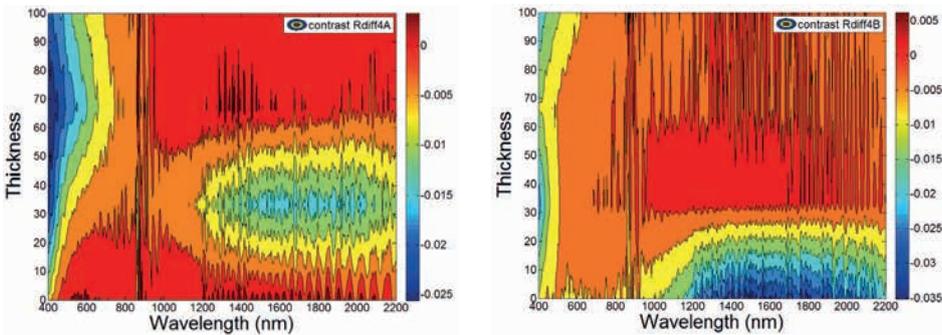
Fuente: los autores

Figura 9. Contraste de la reflectancia especular entre los estados On y Off de dispositivos PDLC-A y PDLC-B



Fuente: los autores

Figura 10. Contraste de la reflectancia difusa entre los estados On y Off de dispositivos PDLC-A y PDLC-B



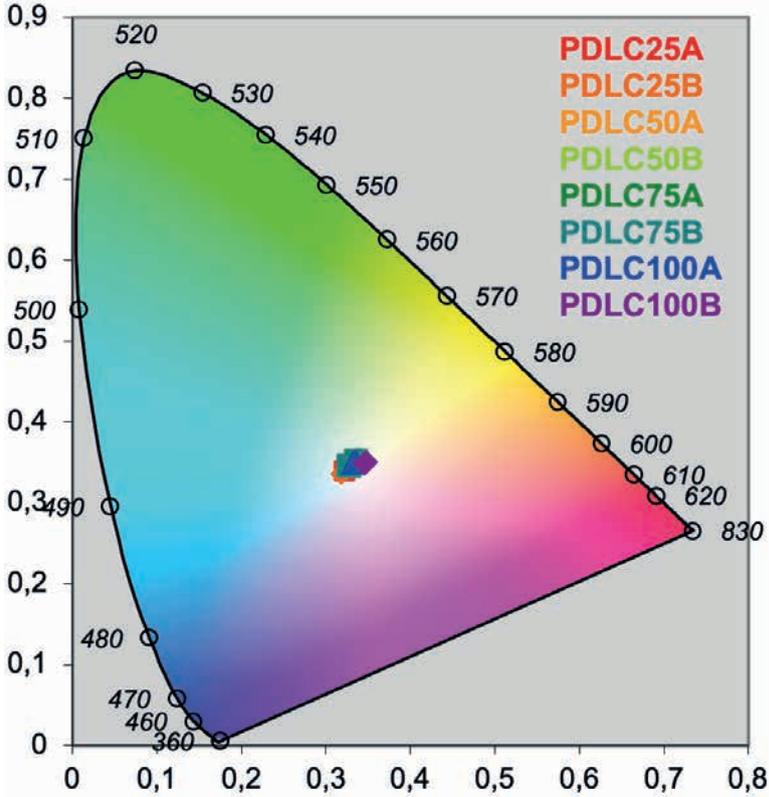
Fuente: los autores

3.2. Resultados de colorimetría

Teniendo en cuenta que en la gráfica CIE 1931 de cromaticidad el color blanco tiene las coordenadas $(x, y) =$

$(0,33; 0,33)$, las coordenadas cromáticas xy para los ocho dispositivos PDLC en ambos estados apagado Off y encendido On se encuentran con valores cercanos al blanco.

Figura 11. Diagrama CIE 1931 de cromaticidad para la transmitancia total de los estados On y Off de dispositivos PDLC-A y PDLC-B

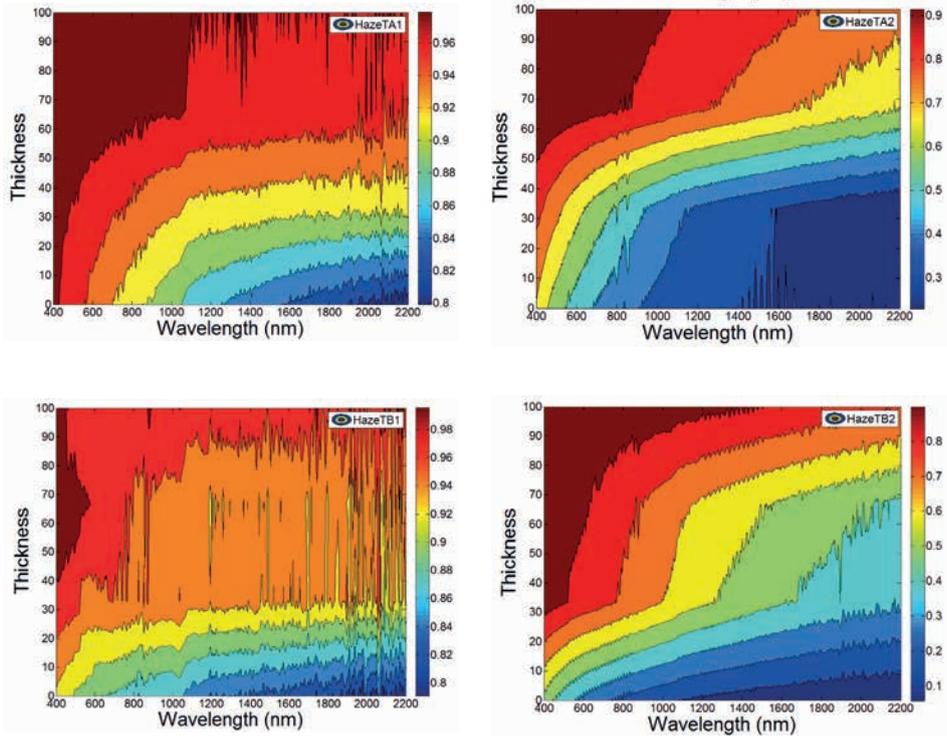


Fuente: los autores

4. Discusión

4.1. Discusión óptica

Figura 12. Parámetro Haze para transmisión para los estados translúcidos Off (HazeT1) y transparentes On (HazeT2) de dispositivos PDLC-A y PDLC-B

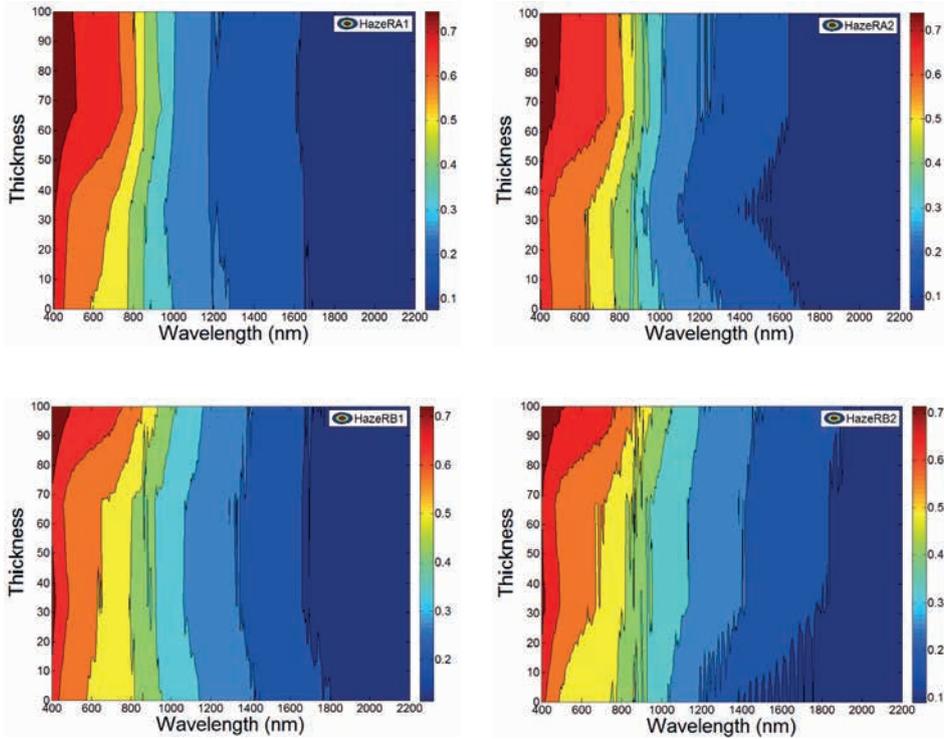


Fuente: los autores

Para los dispositivos de mayor espesor se requeriría un mayor voltaje

para mejorar la transparencia en el estado encendido.

Figura 13. Parámetro Haze para reflexión para los estados translúcidos Off (HazeR1) y transparentes On (HazeR2) de dispositivos PDLC-A y PDLC-B



Fuente: los autores

Un parámetro relevante en la caracterización de ventanas inteligentes de tipo PDLC se denomina en inglés *haze* y consiste en la relación de la componente difusa dividida entre la componente total de la transmisión ($Haze\ T = T_{diff}/T_{tot}$) o de la reflexión ($Haze\ R = R_{diff}/R_{tot}$). El significado de *haze* es lo contrario de nitidez, es decir, un *haze* del 100% significa que no hay componente de transmisión directa (*Haze T*) o de reflexión especular (*Haze R*). Las figuras 12 y 13 representan la dependencia espectral con el espesor de este pa-

rámetro para los dispositivos PDLC-A y PDLC-B en los estados más translúcidos (Off) y más transparentes (On). Como puede apreciarse en la Figura 12, el parámetro *Haze T* para transmisión es menor para el estado On más transparente (*Haze T2*) que para el estado Off más translúcido (*Haze T1*) en ambas series de dispositivos PDLC-A y PDLC-B. La Figura 13 muestra que el cambio en el parámetro *Haze R* para reflexión es despreciable en comparación con el cambio del parámetro *Haze T* en las dos series.

4.2. Discusión de colorimetría

Teniendo en cuenta los valores RGB obtenidos a partir de las coordenadas de cromaticidad CIE xy y la luminosidad Y, y considerando el parámetro de simulación de transparencia *alfa* del programa Macromedia Flash, en la Figura 14 se ha simulado la apariencia visual de dichos dispositivos en sus estados más translúcidos (Off) y más transparentes (On).

Para obtener el valor apropiado del parámetro *alfa* para cada estado de apariencia de cada uno de los ocho dispositi-

tivos PDLC se ha procedido a obtener el promedio de la transmitancia directa con la curva de sensibilidad del ojo humano, que no es otra que la función y que se aplicó para obtener los valores triestímulo XYZ y que aparece en el denominador de las ecuaciones (2)-(4). Como el parámetro *alfa* es un número entre 0 y 100, siendo 0 para un objeto opaco y 100 para un objeto completamente transparente, de esta forma los estados On muestran una mayor transparencia que los estados Off, como se pudo observar en los dispositivos.

Figura 14. Simulación de la apariencia visual para la transmitancia total de los estados Off y On de dispositivos PDLC-A y PDLC-B



Fuente: los autores

Figura 15. Dispositivos PDLC-A (izq.) y PDLC-B (der.) de espesores (de arriba hacia abajo) de 100, 75, 50 y 25 micras



Fuente: los autores

5. Conclusiones

Ocho muestras de dispositivos PDLC de cuatro diferentes espesores de la capa interna y de dos diferentes áreas activas han sido electro-óptica-mente caracterizados. La apariencia blanquecina de los dispositivos PDLC fue estudiada desde el punto de vista de la teoría de colorimetría para el espacio de color CIE 1931 teniendo en cuenta la transmitancia total.

Las componentes de las medidas ópticas en transmisión y reflexión, tanto directa como difusa, servirán en un futuro cercano para la obtención de parámetros ópticos como los coeficientes de absorción y dispersión. El presente trabajo servirá para estudiar posibles niveles de tensión a aplicar a dispositivos de mayor área activa o espesor a fin de mejorar el contraste óptico de sus transmitancias directas.

6. Referencias

- [1] D.-K. Yang y S.-T. Wu, *Fundamentals of Liquid Crystal Devices*, John Wiley & Sons, 2006.
- [2] R. Ramsey, S. Sharma, R. Henry y J. Atman, "Electro-optical Properties and Interfacial Charges in Polymer-Dispersed Liquid Crystal Devices", *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, n° 771, pp. 339-344, 2003.
- [3] D. Barrios, R. Vergaz, J. Sánchez-Pena, J. Torres, A. Viñuales, "Dependencia en cristales líquidos dispersos en polímero de los parámetros del modelo de circuito eléctrico equivalente con el espesor y el tamaño", *OPTOEL'11: 7ª Reunion Española de Optoelectronica*, Santander, Cantabria, España, 2011.
- [4] Hunter Lab, "XYZ - CIE Tristimulus Values", *Insight on Color*, vol. 8, n° 1, 1996.
- [5] Hunter Lab, "Yxy CIE Chromaticity Coordinates", *Insight on Color*, vol. 8, n° 2, 1996.
- [6] Wyszecki y Stiles, *Color Science, Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae*, Wiley-Interscience, 2000.

Ecuador's energy security index: A Systems Dynamics approach

Índice de seguridad energética del Ecuador: un enfoque de dinámica de sistemas¹

F. Reinoso,² N. Jara,³ C. Nieto,⁴ L. Gallón,⁵ F. Vivar⁶

Abstract: *this paper presents the results of the long-term analysis of the energy security index (ESI) of Ecuador's electric energy production system using the methodology of System Dynamics. Building on the structure proposed by the World Energy Council (WEC); a model is built to simulate the main energy security indicators such as security of supply, resilience and access to electricity. The results of the simulation show that by 2050; in an optimistic scenario, the energy security index will reach a value of 0.73, representing an increase of 10.4% over the value of the current scenario.*

Keywords: *energy security index, electric power generation, system dynamics.*

Resumen: este documento presenta los resultados del análisis a largo plazo del índice de seguridad energética (ISE) del sistema de producción de energía eléctrica de Ecuador, utilizando la metodología de la dinámica de sistemas. Sobre la base de la estructura propuesta por el Consejo Mundial de la Energía (WEC), se construye un modelo para simular los principales indicadores de seguridad energética como: seguridad del suministro, resiliencia y el acceso a la electricidad. Los resultados de la simulación muestran que para 2050, en un escenario optimista, el ISE alcanzará un valor de 0,73, lo que representa un aumento del 10,4% sobre el valor del escenario actual.

Palabras clave: índice de seguridad energética, generación de energía eléctrica, dinámica de sistemas.

-
- 1 Un agradecimiento muy especial a la Universidad Politécnica Salesiana por el apoyo brindado en los estudios de doctorado de varios docentes, a los integrantes del Grupo de Investigación y Desarrollo en Optimización, Simulación y Toma de Decisiones GID-STD de la UPS-Cuenca y de manera particular a los docentes del Programa de Doctorado en Ingeniería de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín, Colombia.
 - 2 Fran Zhovani Reinoso AVECILLAS, máster en Investigación y Tecnologías Industriales, ingeniero mecánico, docente-investigador de la Universidad Politécnica Salesiana, miembro del Grupo de Investigación y Desarrollo en Optimización, Simulación y Toma de Decisiones, Ecuador (freinoso@ups.edu.ec).
 - 3 Nelson Gustavo Jara Cobos, doctor en Ingeniería, ingeniero mecánico, docente-investigador de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (njara@ups.edu.ec).
 - 4 Cesar Nieto Londoño, doctor en Ingeniería, ingeniero aeronáutico, docente-investigador de la Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia (cesar.nieto@upb.edu.co).
 - 5 Luciano Gallón Londoño, doctor en Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo, ingeniero electrónico, docente-investigador de la Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia (luciano.gallon@upb.edu.co).
 - 6 Fernando Andrés Vivar Bravo, máster en Administración de Empresas, economista, docente-investigador de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (fvivar@ups.edu.ec).

1. Introducción

La seguridad en la generación y el suministro de energía es un aspecto fundamental para el desarrollo económico y social de las naciones, por lo que es considerado estratégico para la economía mundial. Sin embargo, la escasez de los recursos energéticos y los impactos nocivos en contra del ambiente, hacen que la seguridad energética tome cada vez más importancia para muchas partes interesadas, como los responsables políticos, empresas y en particular para los principales consumidores de energía, en lo referente a la seguridad del suministro, disponibilidad y precios, que requieren ser cuantificados a través de indicadores e índices, que permiten comparar el rendimiento entre los países o realizar un seguimiento de sus cambios en el tiempo [1] [2].

Para la gestión de la seguridad energética, entre los países miembros, se establece un *ranking* que considera aspectos como: riesgos, infraestructura, tecnología y otros de índole política, que proporcionan una valoración de país permitiendo equilibrar la generación y el comercio de energía. La seguridad energética se mide a través de un índice cuyas principales variables son: producción y consumo de energía vs. PIB, importación de combustibles, reservas de petróleo, precios de energía, diversificación de la generación y emisiones de CO₂ generadas por producción de electricidad [3].

El Ecuador, desde el año 2015, ocupa la posición cincuenta dentro del *ranking*

de seguridad energética propuesto por el Consejo Mundial de Energía (WEC) del cual es miembro, con calificación B en seguridad energética y equidad energética; con una calificación de la dimensión de 0,75 desviación estándar por encima de la media en todos los países y C en sostenibilidad con una calificación de la dimensión de 0,75 desviación estándar por debajo de la puntuación media entre países [3].

El posicionamiento del Ecuador en estos últimos años es debido principalmente al cambio de la matriz energética hacia el uso de la energía renovable, en particular la inversión en nuevas hidroeléctricas. Durante el periodo 2015-2017 ha cambiado la composición de la canasta energética del país, siendo la hidrogenación la fuente de energía predominante con proyecciones de alcanzar el 93,53 % de la oferta de energía. Este desarrollo está acompañado por una infraestructura que soporta el consumo de combustible fósil y las mejoras a la red de suministro [4]. Sin embargo, la alta dependencia de la matriz energética del Ecuador de la generación hidroeléctrica, cuyas vertientes en su mayoría esta ubicadas en la región oriental del país, hace que persista la vulnerabilidad del sistema ante imprevistos como las recurrentes sequías, variaciones climáticas en la zona austral del país, evidenciada por la crisis energética de 2009 [5] [6]; además de la dependencia de las importaciones de combustibles para la generación térmica, el crecimiento de la demanda

debida al incremento de la población y la variabilidad de los índices de la economía nacional. Es imperativo plantear

estrategias de seguridad energética para el sector de la generación de energía eléctrica del Ecuador [4].

2. Índice de seguridad energética

2.1. Panorama general

La seguridad energética toma importancia desde la crisis del petróleo en 1970, debido a que la generación de electricidad dependía casi en su totalidad de los derivados de petróleo, que a su vez ocasionó un aumento sustancial de sus costos. En 1981 Penschansky y Thomas proponen una metodología 5As denominada energía de acceso, basados en disponibilidad, accesibilidad, alojamiento, asequibilidad y aceptabilidad [7] [8] [3] [9].

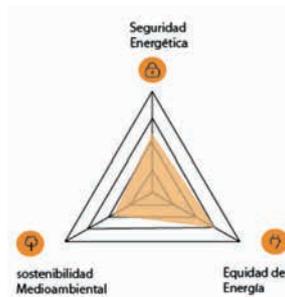
Para el año 2014, la Agencia Internacional de la Energía (IEA) define la seguridad energética “como la disponibilidad ininterrumpida de las fuentes de energía a un precio asequible” [10] [9]. El WEC, en su declaración del milenio, plantea que la seguridad energética debe comprender la dispo-

nilidad, accesibilidad, asequibilidad y aceptabilidad [3] [9] [11].

Hoy en día, la seguridad energética es la “capacidad de satisfacer la demanda nacional de energía con suficiencia, oportunidad, sustentabilidad y a precios adecuados”. Esto debe estar relacionado con la seguridad del suministro, la generación y la producción óptima, apoyada en planes de innovación e investigación, generando el mejoramiento del comercio y la libre competencia mundial de electricidad [11].

Existen varias instituciones a nivel mundial que gestionan la seguridad energética. Una de estas instituciones es el WEC, que lleva casi un siglo conduciendo el debate sobre la energía. El análisis parte de un modelo denominado el “trilema de la energía”, en donde la seguridad energética es una de sus vértices, como se observa en la Figura 1.

Figura 1. Trilema de la energía del WEC



Para determinar el índice de seguridad energética (ISE) se requiere considerar las variables presentadas en el trilema de la energía, lo que involucra una información suministrada por actores públicos y privados, gobiernos y reguladores, factores económicos y sociales, recursos nacionales, preocupaciones medioambientales y comportamientos individuales [3].

A continuación presentamos algunos detalles de los componentes del trilema de la energía:

- *Seguridad energética.* Hace referencia a la administración eficaz del suministro de energía primaria en las fuentes domésticas y externas, la fiabilidad de la energía en la infraestructura, y la capacidad de los proveedores de energía en el conocer la demanda actual y futura.

- *Equidad de energía.* Referente a la accesibilidad y asequibilidad del suministro de energía.
- *Sostenibilidad medioambiental.* La demanda eficiente de energía y desarrollo de suministro de energía frente a la energía renovable y otras fuentes de baja emisión de CO₂.

2.2. Estructura del índice de seguridad energética

La medición del índice ISE, que representa el 40% del trilema energético, está estructurada porcentualmente por: dimensión, indicadores de categoría e indicador. En la Tabla 1 se presentan la estructura y los indicadores usados por el WEC en el ámbito de seguridad energética. Los indicadores principales del ISE son: seguridad y suministro de energía, resiliencia y acceso a la cocción limpia.

Tabla 1. Estructura del ISE según el WEC

Dimensión	Valor (%)	Indicador de categoría	Valor (%)	Indicador	Valor (%)
Seguridad energética	40	Seguridad del suministro de energía	15	La diversidad de oferta de energía primaria	5
				El consumo de energía en relación con el PIB	5
				Dependencia de las importaciones	5
		Resiliencia	15	Diversificación de la generación de electricidad	5
		Acceso a la electricidad	10	Almacenamiento de energía	10
				El acceso a la electricidad	5
				El acceso a la cocina limpia	5

Fuente: [3]

3. Modelo

Un modelo en dinámica de sistemas es un conjunto de ecuaciones diferenciales de la forma:

$$\frac{dN_i(t)}{dt} = FE_i(t) - FS_i(t) \quad i = 1 \dots n \quad (1)$$

$$N_i(t) = N_i(0) + \int_0^t [FE_i(t) - FS_i(t)] dt \quad (2)$$

Donde N representa el valor de una variable en un momento dado, que se modificada en el tiempo por el flujo de entrada (FE) y el flujo de salida (FS). Posteriormente, el sistema de ecuaciones se resuelve aplicando un método numérico, por ejemplo, aplicando el método de Euler [12] [13] [14].

3.1. Software utilizado

Para la simulación del ISE, en este artículo se utiliza la herramienta computacional Vensim PLE Plus 6.3 G, la cual permite simular, analizar y opti-

mizar modelos complejos de dinámica de sistemas permitiendo obtener resultados a mediano y largo plazo [15].

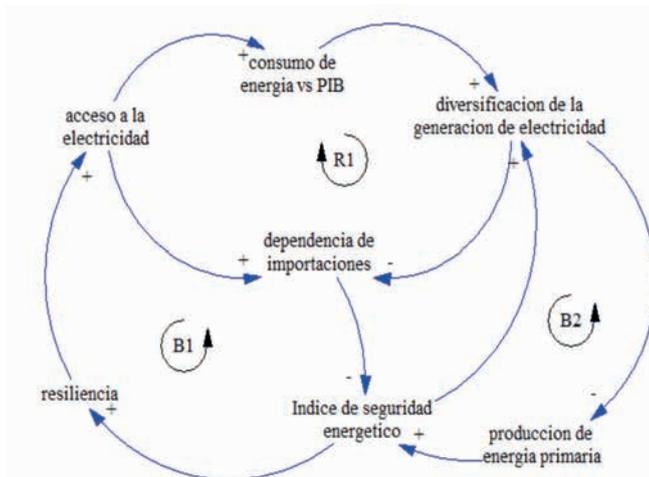
3.2. Horizonte temporal

Considerando las características del ISE, la simulación y el análisis del modelo construido se realiza a 34 años plazo, en el periodo comprendido entre 2016 y 2050, período en el cual se posibilita la evaluación del comportamiento del ISE en el Ecuador.

3.3. Diagrama causal

En la Figura 2 se presenta el diagrama causal del modelo, mismo que plantea una alternativa de análisis para determinar el ISE del sistema de producción de energía eléctrica del Ecuador. Este diagrama consta de tres ciclos: dos ciclos de balance y un ciclo de refuerzo.

Figura 2. Diagrama causal del modelo



En el ciclo de refuerzo (R1), el ISE se ve incrementado por el aumento de la resiliencia, del acceso a la electricidad, del consumo de energía vs. PIB y de la diversificación de la energía.

El ciclo (B1), considera la resiliencia y el acceso a la electricidad que al tener un incremento, se incrementa la dependencia de importaciones ocasionando que se genera un mayor consumo de las fuentes principales en generación de energía eléctrica, causando una disminución del ISE.

El ciclo de balance (B2), establece que la diversificación de la generación, provoca una disminución de

la producción de energía primaria, lo cual ocasiona un incremento en el ISE.

3.4. Variables

Para determinar el ISE se aplica la siguiente relación de acuerdo a la ecuación (3):

$$ISE = \frac{\sum_i x_{i,t}^2}{\sum_{x=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{N}} \quad (3)$$

En donde x es el indicador, \bar{x} es la media de los indicadores y N es el número de indicadores. Los indicadores considerados son:

$$Diversidad\ de\ energia\ Primaria = 1 - Herfindhal \quad (4)$$

A este indicador se suma todas las formas de energía primaria que disponga el país para su generación, de acuerdo a la ecuación (5):

$$Herfindhal = \sum_k e_k^2 \quad (5)$$

En donde e es la proporción de consumo de la fuente primaria y k es el tipo de generación de energía como petróleo, gas natural, carbón, nuclear y renovables [16].

El valor y la evolución en el tiempo de la relación entre el uso de la energía vs. el PIB (UE), se determina mediante la ecuación (6).

$$UE = \frac{CE}{PIB} \quad (6)$$

En donde CE es el consumo final de energía, en la unidad espacial de referencia j , en el periodo de tiempo; PIB es el producto interno bruto expresado en miles de dólares de Paridad de Poder Adquisitivo (PPA), de la unidad espacial de referencia j , en el periodo [17].

El almacenamiento de energía o resiliencia es la relación entre la cantidad de energía disponible, y la cantidad de energía usada durante un periodo de tiempo (anual), se determina mediante la ecuación (7) [18].

$$R = \frac{ED}{EU} \quad (7)$$

En donde R es la resiliencia, ED es la energía disponible y EU es la energía usada.

El acceso a la electricidad se refiere a la disponibilidad física del sistema eléctrico, permite determinar el desarrollo energético de un país. El índice de cobertura del servicio de energía eléctrica se establece como la relación entre los usuarios del servicio de energía eléctrica y el número de viviendas [19]. Se determina mediante la ecuación (8) [20]:

$$IC_{ij} = \frac{U_{ij}}{V_{ij}} * 100 \quad (8)$$

En donde U es el usuario del sistema eléctrico, V son las viviendas conectadas a la red de servicio eléctrico, i es el periodo de análisis y j es el municipio, departamento, región.

Para determinar el índice de acceso a la cocción limpia (ICL), el Consejo de Energía, Medioambiente y Agua (WEEC) ha determinado categorías que permitirán evaluar el nivel de acceso a cocina limpia. El valor de un índice de acceso a la cocina limpia se determina mediante la ecuación (9) [21]:

$$ICL = k \sum_{i=0}^3 f_i \cdot i \quad (9)$$

En donde k es 100/3 constante de corrección, f es la fracción de hogares

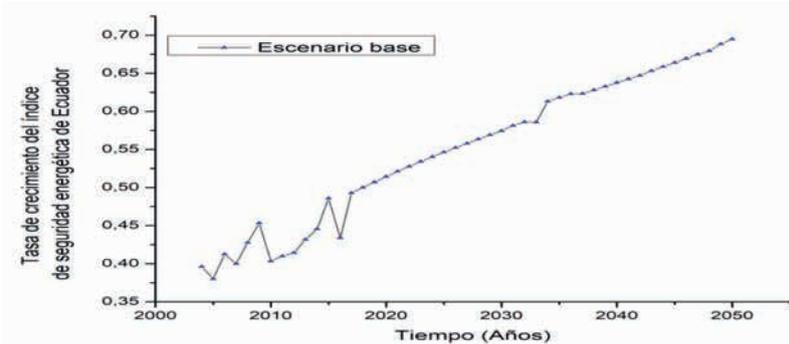
en la categoría según WEEC, i es el nivel en el que se encuentra la categoría.

Para el Ecuador, los niveles que predominan en la cocción de alimentos son: nivel 1 (hogares que cocinan con leña y residuos agrícolas) y nivel 3 (hogares que cuentan con una instalación segura y de consumo no limitado para la cocción de alimentos).

3.5. Resultados de la simulación del estado actual

Los resultados de la simulación del ISE y sus principales indicadores, muestran de manera general una tendencia creciente hasta un valor de 0,71 aproximadamente. En el periodo comprendido entre el histórico del año 2004 hasta el año 2016, se observa un comportamiento inestable debido posiblemente a la fluctuación de los precios por importación de GLP y derivados de petróleo para la generación de energía eléctrica. La proyección realizada se observa en la Figura 3. Del año 2016 en adelante se tiene un crecimiento constante hasta el año 2035, donde se prevén la inclusión de más fuentes de generación de energía eléctrica al sistema nacional del Ecuador. Con la misma tendencia continua hasta el año 2050.

Figura 3. Evolución del ISE (escenario base)



Fuente: los autores

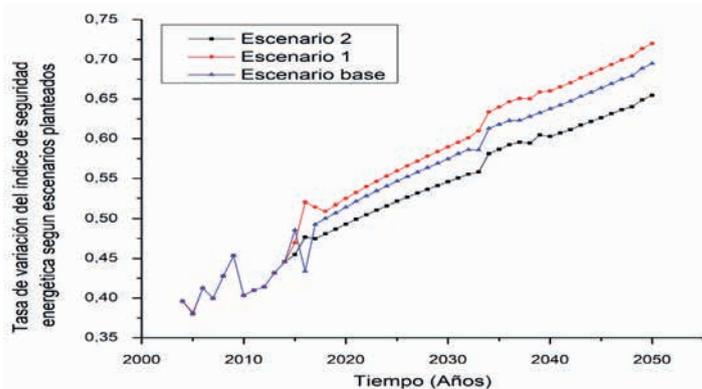
4. Resultados

Se plantean dos escenarios empleando el criterio de las tendencias ponderadas del comportamiento de los datos históricos de los diferentes indicadores del ISE. El escenario 1 representa tendencias crecientes del comportamiento en el tiempo de los indicadores considerados para la determinación del índice. El escenario 2 representa las tendencias decrecientes

o más desfavorables a lo largo del periodo de tiempo histórico comprendido entre los años 2004 y 2016.

La variación del ISE en los escenarios planteados se observa la Figura 4. Para el escenario base tiene valor de 0,69 y en condiciones optimistas (escenario 1) alcanza un valor de 0,72 y para el escenario 2, en condiciones pesimistas, se tiene un valor de 0,65.

Figura 4. Variación del ISE

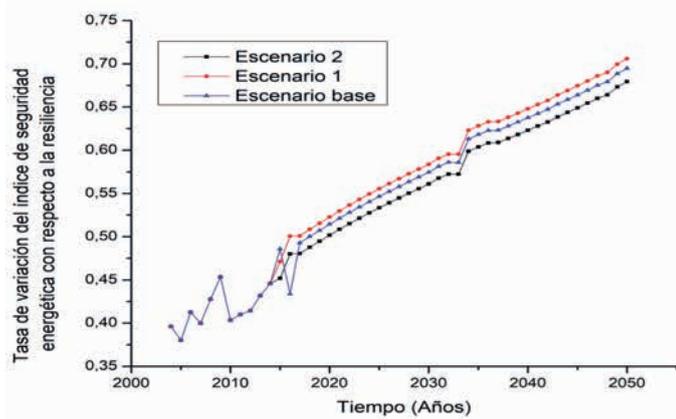


Fuente: los autores

El comportamiento de los indicadores de mayor incidencia en el ISE, se presenta a continuación. En la Figura 5 se observa que el indicador de resiliencia o almacenamiento de energía,

tiene una variación de 0,04 puntos, con respecto al valor del escenario base de 0,69, obteniendo un valor de 0,73 para el escenario 1 y 0,64 para el escenario 2, dentro del periodo de evaluación.

Figura 5. Comportamiento del indicador de resiliencia (R)

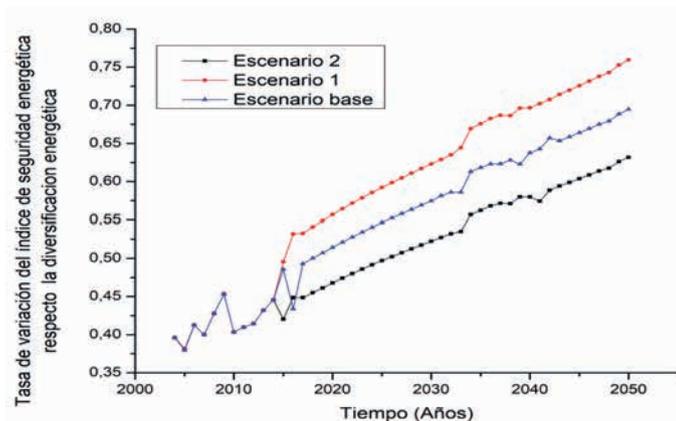


Fuente: los autores

La diversificación de la generación de energía eléctrica tiene una variación entre 0,62 hasta 0,76 para los es-

cenarios planteados, considerando el valor del escenario base de 0,7, como se puede observar en la Figura 6.

Figura 6. Comportamiento del indicador de diversificación de la generación

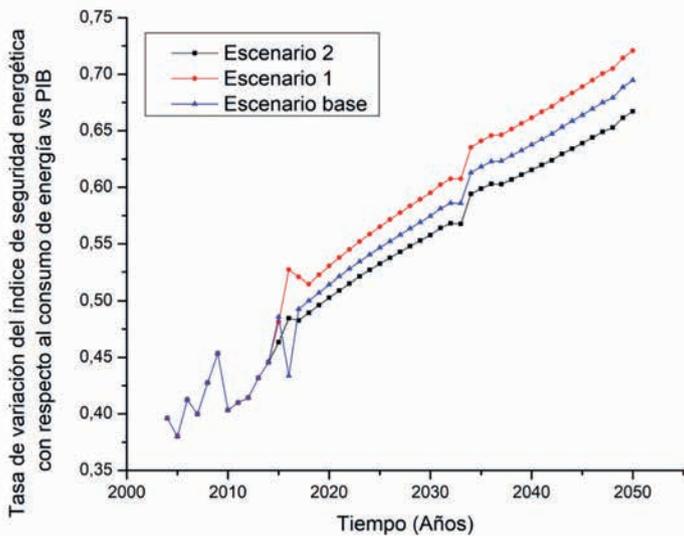


Fuente: los autores

Para el indicador de consumo de energía vs. PIB, se puede observar en la Figura 7 que para el año 2050 se alcanzará un valor de 0,73 para el

escenario 1 y un valor de 0,62 para el escenario 2, con una variación promedio de 0,11 puntos entre los dos escenarios.

Figura 7. Comportamiento del indicador consumo de energía vs. PIB



Fuente: los autores

5. Conclusiones

Varias instituciones internacionales que gestionan la seguridad energética emplean diferentes metodologías para determinar el ISE, mismo que está caracterizado por regiones a nivel global. Para la presente investigación se ha adoptado la estructura del WEC, debido que el Ecuador forma parte de esta organización y sobre todo se cuenta con datos históricos de ISE que permiten la calibración del modelo.

Es posible representar el comportamiento del ISE empleando la metodología de dinámica de sistemas, ya que

el modelo construido permite captar toda la dinámica diversos indicadores que intervienen en la determinación del ISE. Para el efecto, se emplearon varios procedimientos estadísticos y de ajuste de curvas para la calibración de modelos que manejan datos históricos, permitiendo determinar los indicadores de mayor incidencia en el ISE.

El ISE simulado tiene un comportamiento similar con respecto a los datos históricos suministrados por el WEC para el periodo 2008-2016, el error promedio está en el orden del 8%.

Se han considerado los indicadores de mayor incidencia en la estructura del ISE para plantear los escenarios futuros, estos indicadores son: la diversificación de la generación, consumo de energía vs. PIB y el almacenamiento de energía (resiliencia).

Los resultados de la simulación presentan una variación del ISE para el año 2050 con respecto al escenario base, desde un valor de 0,48 en 2016, hasta 0,67 en 2050. El valor asignado por el WEC para el Ecuador en el año 2016 es de 0,50.

Para el relato de los escenarios pesimista y optimista se consideró los

datos históricos del periodo 2000-2014 y los incrementos tendenciales a partir de los cuales se ha desarrollado la proyección de los indicadores; de igual manera se ha usado este método para plantear los escenarios.

Los resultados de la simulación del escenario 1 en condiciones optimistas alcanzan un valor de 0,73 lo que representa un crecimiento del crecimiento del 10,4%. El escenario futuro 2 en condiciones pesimistas tiene el valor de 0,64 con un decrecimiento del 4% respecto al escenario base proyectado a 2050.

6. Referencias

- [1] B. K. Sovacool, "The methodological challenges of creating a comprehensive energy security index", *Energy Policy*, vol. 48, pp. 835-840, 2012.
- [2] REN 21, "Renewables 2018 Global Status Report", *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century*, Paris, 2018.
- [3] O. Wyman, "World Energy-Trilemma Index Benchmarking the Sustainability of National Energy Systems", *World Energy Council*, 2016.
- [4] CONELEC, Perspectiva y expansión del sistema eléctrico ecuatoriano-Volumen III-Plan maestro de electrificación 2013-2022, Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2013.
- [5] M. Castro, Hacia una matriz energética diversificada en Ecuador, Quito, CEDA, 2012.
- [6] J. Chiriboga y P. Roldán, Evaluación de las energías renovables no convencionales factibles de desarrollarse en el Ecuador, diciembre, 2009.
- [7] A. Löschel, U. Moslener y D. Rübhelke, "Energy security-concepts and indicators", *Energy Policy*, vol. 38, n° 4, pp. 1607-1608, abril, 2010.
- [8] A. Cherp y J. Jewell, "The concept of energy security: Beyond the four As", *Energy Policy*, vol. 75, pp. 415-421, diciembre, 2014.
- [9] A. Cherp y J. Jewell, "The concept of energy security: Beyond the four As", *Energy Policy*, vol. 75, pp. 415-421, 2014.
- [10] IEA, World Energy Investment Outlook, vol. 23, p. 190, 2014.
- [11] M. Meersohn, "Índice de riesgo de seguridad de suministro energético : una propuesta para Chile" (Tesis de pregrado), Universidad de Chile, Facultad de Economía y Negocios, Santiago de Chile, 2016.
- [12] J. D. Sterman, Business dynamics : systems thinking and modeling for a complex world, vol. 1, Boston, Irwin/McGraw-Hill, 2000.
- [13] A. Ortiz, J. Sarriegi y J. Santos, "Modelización de variables soft", *Revista de Dinámica de Sistemas*, vol. 2, n° 1, pp. 67-101, 2006.

- [14] F. Reinoso, N. Cobos y C. Nieto, "Analysis Of Projects Electricity Generation Using Geothermal Energy Sources Through The Methodology Of System Dynamics: Ecuador Case", *Research Gate*, 2016. Recuperado de <https://bit.ly/31AeOtB/>
- [15] Ventana Systems, Vensim Documentation Modeling Guide, 2018. Recuperado de <https://bit.ly/2OLO0oy/>
- [16] A. Cuevas y M. Ruanes, "Una aproximación a un indicador de diversificación energética", *Economía Industrial*, vol. 388, pp. 157-168, 2013.
- [17] H. Soto y A. Schuschny, Guía metodológica: diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible, 2009.
- [18] H. Blum y L. Legey, "The challenging economics of energy security: Ensuring energy benefits in support to sustainable development", *Energy Economics*, vol. 34, n° 6, pp. 1982-1989, 2012.
- [19] UPME, Informe de rendición de cuentas UPME 2016-2017, Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, Colombia, 2016.
- [20] D. Pesantez, J. Montesdeoca y F. Reinoso, Análisis del Índice de Seguridad energética del Sistema de Generación eléctrica del Ecuador empleando la metodología de Dinámica de Sistemas, octubre, 2017.
- [21] A. Jain, S. Ray, K. Ganesan, M. Aklin, C. Cheng y J. Urpelainen, Access to clean cooking energy and electricity: Survey of states, New Delhi, India, Council on Energy, Environment and Water (CEEW), 2015.

Lead Contamination, E. coli-coliformes and carbon in urban agriculture in Cuenca-Sur

Contaminación por plomo, E. coli-coliformes y carbono en agricultura urbana en Cuenca sur

J. Zhindon,¹ C. Calle,² F. Portilla³

Abstract: *this research evaluates the lead concentration, E. coli/coliform re-count and CO₂ capture in the species: broccoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*), hybrid lettuce (*Lactuca sativa* v. *capitata*), lettuce-cabbage (*Lactuca sativa* v. *romana*) and cabbage (*Brassica viridis*), in the south of Cuenca, implementing an Urban Agriculture system in five high schools. The concentration of Pb was determined through the atomic absorption method, the E. coli/coliform re-count using the Petrifilm plate technique and the carbon through the biomass ratio. The results show that all species are contaminated by lead, with cabbage being the most affected with 78.78 mg/kg, which exceeds the limits allowed by the European Union. E. coli is under the permitted limits, not so the total coliforms that are above the international norm in two high schools tested, the carbon analysis shows that the lettuce-cabbage mostly captures (0.155 Tn/m²). In conclusion there is contamination by lead and coliforms, which means risk to human health recommending the non-consumption of these vegetables in this area studied. Regarding carbon, the planting of lettuce to capture CO₂ is recommended, adding to the group of beneficial plants against climate change.*

Keywords: *climate change, urban agriculture, lead, E. coli.*

Resumen: *esta investigación evalúa la concentración de plomo, recuento de E. coli-coliformes y captura de CO₂ en las especies: brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*), lechuga híbrida (*Lactuca sativa* v. *capitata*), lechuga-repollo (*Lactuca sativa* v. *romana*) y col (*Brassica viridis*), en el sur de Cuenca, implementando un sistema de agricultura urbana en cinco colegios. La concentración de Pb se determinó a través del método de absorción atómica, el recuento de E. coli-coliformes mediante la técnica de placas Petrifilm y el de carbono a través de la relación biomasa. Los resultados denotan que todas las especies están contaminadas por plomo, siendo la col la más afectada con 78,78 mg/kg lo cual supera los límites permitidos por la Unión Europea. E. coli está bajo los límites permitidos, no así los coliformes totales que están sobre la norma internacional en dos colegios testados, el análisis de carbono demuestra que la lechuga-repollo captura mayoritariamente (0,155 Tn/m²). En conclusión, hay contaminación por plomo y por coliformes, lo cual significa riesgo para la salud humana recomendando el no consumo de estas hortalizas en esta zona estudiada. Respecto al carbono se recomienda la siembra de lechuga para capturar CO₂ sumándose así al grupo de plantas benéficas contra el cambio climático.*

Palabras clave: *cambio climático, agricultura urbana, plomo, E. coli.*

1 Jorge Zhindón, investigador de ingeniería ambiental, INBIAM, Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Ecuador (jzhindonro@est.ups.edu.ec)

2 Carolina Calle, investigadora de ingeniería ambiental, INBIAM, Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Ecuador.

3 Fredi Portilla, PhD, investigador principal, INBIAM, Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Ecuador.

1. Introducción

Las problemáticas ambientales impactan en la calidad de vida, pues influyen sobre la situación de esta en una sociedad, ya que afectan su bienestar efectivo y a sus perspectivas de vida [1]. La demanda de los recursos por parte de la población sigue en aumento, incluso a una tasa mayor a la del crecimiento poblacional. En el caso de los recursos alimenticios es claro el reto que enfrenta la humanidad, dada la gran pérdida de la fertilidad de los suelos y el continuo deterioro del ambiente que ponen en riesgo la seguridad alimentaria de la población [2]. Por esto, la agricultura urbana es una herramienta a la cual se ha recurrido para mitigar las problemáticas relacionadas con la pobreza, la desnutrición y el deterioro del medio ambiente [3]. Dependiendo del lugar en donde se plantan los cultivos, es utilizada como alternativa para mitigar la contaminación del área urbana, debido a la capacidad de absorción que tienen las plantas.

En el Ecuador, las enfermedades gastrointestinales son una de las principales causas de mortalidad infantil [4], por lo cual es necesario estudiar la actividad microbiológica en las hortalizas, a través de indicadores de contaminación fecal: coliformes totales y *E. coli*, y de esta manera obtendremos información sobre la presencia de bacterias patógenas en las hortalizas en sistema de AU [5]. Por lo tanto, es importante avanzar con la línea base

de referencia y en el conocimiento en la concentración de los contaminantes presentes en el aire y así establecer una serie de regulaciones que nos permitan avances en la protección medioambiental y de la salud humana.

La presente investigación es necesaria debido a que los colegios ubicados en la zona sur de la ciudad de Cuenca pueden ser sensibles a la contaminación por las emisiones de gases contaminantes provienen de la población automotriz e industrias, que en nuestra ciudad está alcanzando niveles dramáticos, llegando a ser perjudicial para el ser humano. Está basada en su importancia en el aporte que pueda brindar a la mitigación del efecto invernadero, considerando que algunas hortalizas son capaces de retener en mayor medida el carbono absorbido mediante la fotosíntesis, la respiración o va a depender de la especie de vegetal que se use, lo cual constituirá un aporte al medio ambiente.

En la sociedad que vivimos cada vez están aumentando los centros poblados urbanos, es por ellos que la contaminación se ha incrementado como consecuencia de los desechos líquidos y sólidos generados por los vehículos, de ahí que es necesario llegar a la conciencia de los más jóvenes y así puedan realizar proyectos de este tipo que nos lleven a desacelerar el proceso del cambio climático.

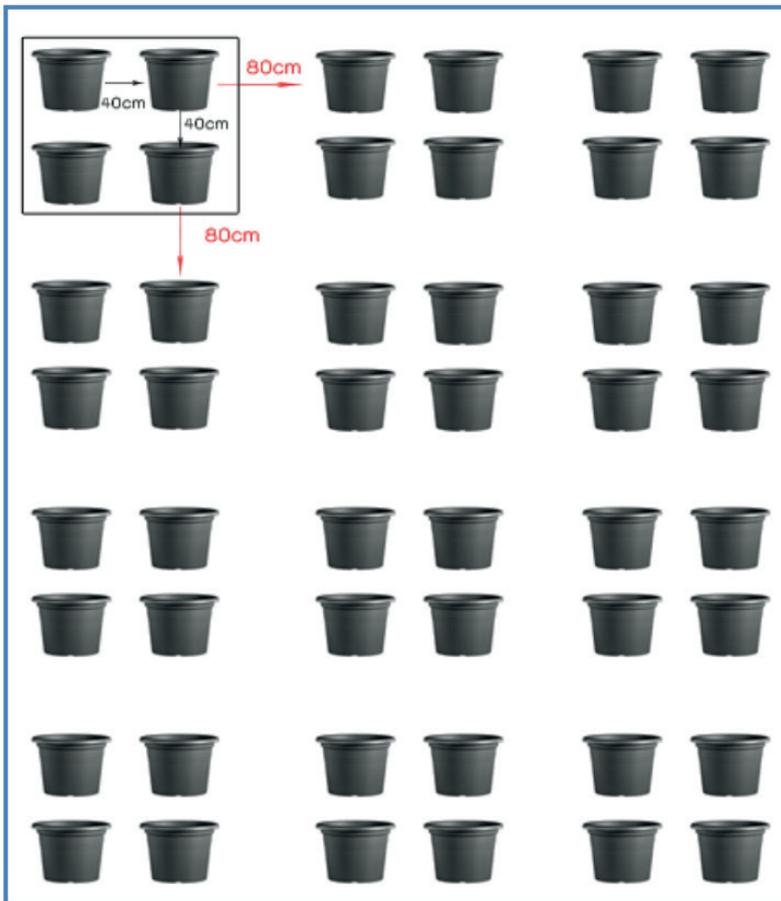
2. Métodos

Experimentamos con agricultura urbana como método de educación ambiental *in situ*, mediante la siembra de las hortalizas utilizando la técnica de bloques al azar, que consiste en tres tratamientos que contienen cuatro bloques, cada bloque está conformado por cuatro hortalizas de la misma especie, dando una totalidad de 12 blo-

ques. Esta siembra se realiza a una distancia de 1 m entre cada tratamiento, la distancia entre bloques es de 80 cm, mientras que la distancia de cada planta que conforma el bloque es de 40 cm.

Cada viernes se realizó la medición de las plantas tomando en cuenta la altura, número de hojas y superficie ocupada.

Figura 1. Distribución del huerto urbano



2.1. Análisis microbiológico

El análisis microbiológico incluye el análisis de coliformes y *E. coli*, cuyo proceso empieza con la toma inicial de la muestra en bolsas, su incubación y posterior análisis en placas Petrifilm que será realizado por los investigadores. El muestreo se llevará a cabo mediante lo establecido en la normativa mexicana NMX-F-285-1997 “Muestreo y transporte de muestras de alimentos para su análisis microbiológico”, a su vez para la preparación de la muestra se tomó de la normativa mexicana NMX-F-286-1992 “Preparación

y dilución de muestras de alimentos para análisis microbiológico” [7].

2.2. Cálculo de la cantidad de carbono

Para la determinación de la cantidad de carbono se usará la “Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales” [8], donde se establece la metodología para la determinación de biomasa en vegetación no arbórea como plantas herbáceas, arbustivas y gramíneas, en todas las formas de uso del suelo (forestal, agrícola y pasturas). De la misma manera se establece la relación entre biomasa-C-CO₂.

$$1 \text{ tonelada de biomasa} = 0.5 \text{ toneladas de C}$$

$$1 \text{ tonelada de C} = 3.67 \text{ toneladas de CO}_2$$

Para la aplicación de la guía se cosechan todos los vegetales (con raíz) de los tres tratamientos y se pesan (masa fresca de la muestra). Posteriormente, se procede a tomar una sub-muestra (masa fresca de la sub-muestra) que se guarda en bolsas plásticas debidamente identificadas y se transportan al laboratorio de la UPS, en donde se pesa y seca en un horno-estufa a 60° C (masa seca de la sub-muestra), hasta obtener un peso constante. De esta manera se obtiene la relación entre materia seca y húmeda, y la cantidad de carbono [7].

2.3. Concentración de plomo

Para la concentración de plomo en las hortalizas se toman las muestras en los cinco colegios (Unidad Educativa

Particular Borja, Unidad Educativa Técnico Salesiano, Unidad Educativa La Asunción, Unidad Educativa Bilingüe Interamericano, Unidad Educativa Nuestra Familia) en la parte sur de la ciudad de Cuenca. Se toman 12 muestras en cada institución, haciendo un total de sesenta muestras, las cuales son almacenadas en fundas estériles herméticas para su posterior tratamiento y análisis en los laboratorios de la UPS.

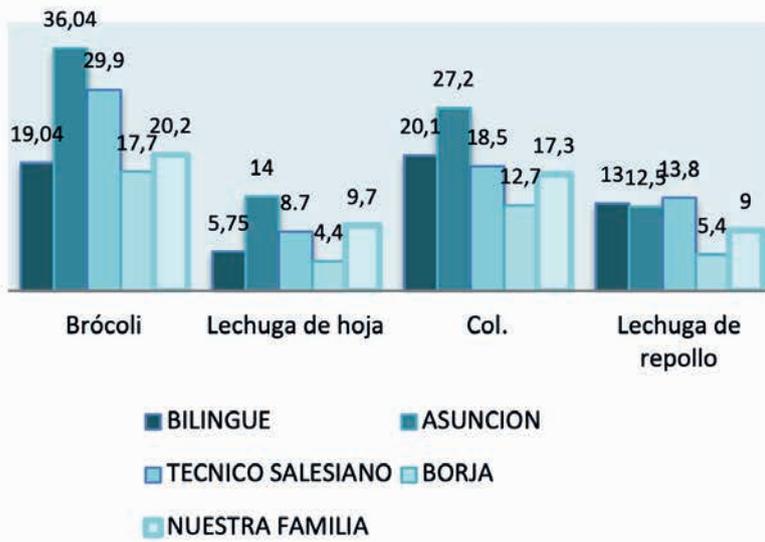
El procedimiento llevado a cabo es en base a estudios realizados por Ali y Al-Qahtani, y con el aporte del informe realizado por el laboratorio de Ciencias de la Vida de la Universidad Técnica Particular de Loja, bajo la responsabilidad del Ing. James Calva [2].

1. Se corta 30 gr de cada una de las muestras las etiquetamos y llevamos al laboratorio.
2. Secado de la muestra en una estufa 60° C durante siete días.
3. Pulverizar las muestras con un mortero y pesar un 1 gr en un crisol.
4. En una capsula de porcelana se mezcla la muestra pulverizada con 4 ml HNO₃.
5. Se evapora la muestra con ayuda de un mechero.
6. El producto del proceso de la evaporación es colocada en una mufla a una temperatura de 600° C por cuatro horas hasta que se convierta en ceniza.
7. La ceniza resultante se mezcla con 4 ml HNO₃ y se evapora en un mechero.
8. Se realiza la mezcla del sólido resultante con un 1 ml HNO₃.
9. Posteriormente la mezcla fue evaporada y condensada a una temperatura de 130° C durante tres horas, utilizando tubos digestores.
10. La muestra aforada de 10 ml se vacía en tubos de ensayo y se almacena a 4° C.
11. Finalmente, se coloca 2 ml de la solución de cada muestra que se transferirá a tubos *esppendorf* para la determinación de plomo mediante absorción atómica.

3. Resultados

3.1. Crecimiento de los cultivos

Figura 2. Crecimiento de los cultivos



Fuente: los autores

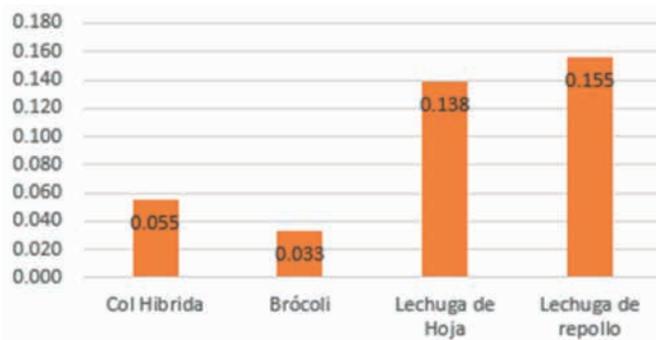
3.2. Comparación de la captura de carbono

Tabla 1. Comparación del carbono secuestrado

	TnCO ₂ /m ²
Col híbrida	0,05541
Brócoli	0,03262
Lechuga de hoja	0,13840
Lechuga de repollo	0,15549
Total	0,38192

Fuente: los autores

Figura 3. Comparación del carbono secuestrado



Fuente: los autores

La hortaliza de repollo es la que tiene mayor capacidad de captura de CO₂ con 0,155 TnCO₂/m²

3.3. Comparación del análisis microbiológico

Tabla 2. Comparación del análisis microbiológico

	Bilingüe		Técnico Salesiano		Borja		Asunción		Nuestra Familia	
	E. Coli	Co	E. Coli	Co	E. Coli	Co	E. Coli	Co	E. Coli	Co
	UFC/g		UFC/g		UFC/g		UFC/g		UFC/g	
Col	0	227	0	160	0	20	0	53	65	10
Brócoli	180	373	0	40	0	0	0	363	10	0
Lechuga de hoja	30	MNPC*	0	MNPC	0	345	0	550	43	203
Lechuga híbrida	25	MNPC	10	MNPC	0	833	0	4800	147	133

* MNPC = muy numerosos para contar.

Fuente: los autores

Según las Normas Microbiológicas de los Alimentos y Asimilados, y otros parámetros físico-químicos de interés sanitario, los parámetros establecidos de los niveles de aceptabilidad para coliformes son de 10^2 - 10^4 UFC/g y E. coli 10 - 10^2 UFC/g en verduras y hortalizas [9].

Observando los parámetros en la Tabla 2, los niveles de contaminación microbiológica de las hortalizas en los cinco colegios de la parte sur de Cuenca, se determinó que las muestras analizadas de las instituciones Borja, Asunción y Nuestra Familia se

encuentran dentro de los niveles aceptables, sin embargo, en el colegio Bilingüe y Técnico Salesiano los niveles de coliformes sobrepasaron los límites permitidos por la norma, en especial en la variedad de lechugas.

En lo que respecta a E. coli, en tres de los cinco colegios (Técnico Salesiano, Borja y Asunción) no hubo crecimiento. Mientras que en los otros dos colegios (Bilingüe y Nuestra Familia) se presentó crecimiento dentro de los límites aceptables.

3.4. Comparación de la concentración de plomo (Pb)

Tabla 3. Comparación de la concentración de plomo

	Concentración de Pb (mg/kg)
Col híbrida	78,781
Brócoli	58,064
Lechuga de hoja	26,21
Lechuga de repollo	27
Total	190,055

Fuente: los autores

Tabla 4. Concentración de plomo en hortalizas

	Bilingüe (mg/kg)	Técnico Salesiano (mg/kg)	Borja (mg/kg)	Asunción (mg/kg)	Nuestra Familia (mg/kg)
Col híbrida	8,48	8,09	3,53	4,33	54,34
Brócoli	12,17	3,89	1,92	13,16	26,92
Lechuga de hoja	6,99	12,24	2,24	3,01	1,73
Lechuga de repollo	8,91	6,41	1,90	3,85	5,92
Total	36,56	30,64	9,60	24,35	88,91

Fuente: los autores

La Unidad Educativa Nuestra Familia es la que mayor concentración de Pb presenta, en relación a de las demás instituciones, puesto que en lugar donde se sembró las hortalizas era a un costado del parqueadero y se encontraba al borde la una vía muy transitada. En la Institución La Asunción y Bilingüe Interamericano la concentración de plomo puede estar dada por varios motivos, uno de los principales es que en ambas sus huertos se encuentran a lado

de la vía principal, que es muy transitada en todo momento. Por otro lado, en la Unidad Educativa Técnico Salesiano su huerto se encuentra a un costado del taller mecánico que en cada momento está emitiendo gases y afectando a las hortalizas. En la Unidad Educativa Boja presenta el nivel más bajo de concentración de Pb puesto que su huerto se encuentra en la parte posterior y lejos de las vías principales y del parqueadero del centro educativo.

4. Discusión

La metodología de obtención de masa vegetal de los cultivos se realizó de manera experimental, a través de la medición semanal de las hortalizas, desde la primera hasta la octava semana de cosecha, en donde se observan las tres variedades de hortalizas. Brócoli, lechuga de hoja y col representan mayor crecimiento teniendo 36,04 cm, 14 cm y 27,2 cm, respectivamente, en el colegio Asunción. Y en lo que respecta la lechuga de repollo, en el colegio Técnico Salesiano presenta mayor crecimiento con 13,8 cm. Se observa que las hortalizas sembradas en el colegio La Asunción presentan mayor crecimiento, mientras que el colegio Borja presenta menor crecimiento (Figura 2).

En lo que respecta a la concentración de carbono en las hortalizas, se obtuvo que dentro de la institución Bilingüe Interamericano la lechuga de repollo logró capturar una mayor cantidad de carbono con $0,05305 \text{ TnCO}_2/\text{m}^2$. La especie que mayor cantidad de

CO_2 logró capturar es la lechuga de repollo con cantidades de 0,155 de tn. Esto nos indica que ambientalmente se debe sembrar lechuga de repollo para la captura de CO_2 .

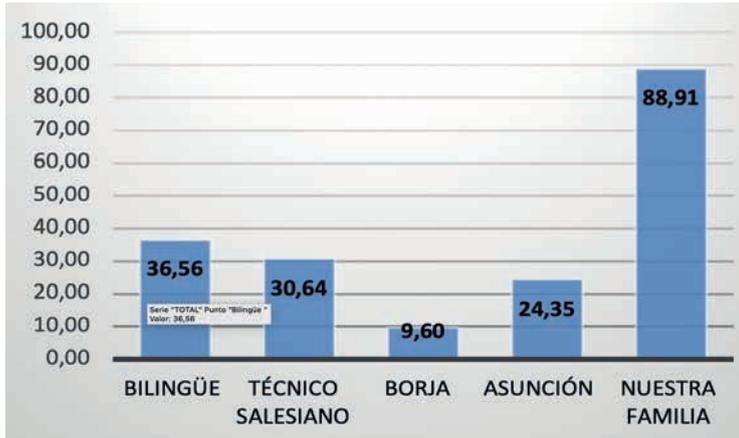
En la Tabla 2 se evidencia que el crecimiento de E. coli en ciertos cultivos (col híbrida y brócoli) de dos colegios está dentro de los límites aceptables de la normativa. Pero en lo que respecta el crecimiento de coliformes totales, los colegios Bilingüe y Técnico Salesiano sobrepasaron los límites de aceptación de la normativa, en especial en la variedad de lechugas.

La Unión Europea nos indica que la máxima concentración de plomo en las hortalizas de hoja del género *Brassica* es de 0,30 mg/kg [10]. En la Figura 4 se muestran los niveles de Pb en las diferentes instituciones ubicadas en la zona sur de la ciudad, las concentraciones más altas están presentes en la Unidad Educativa Nuestra Familia (88,91 mg/kg), Técnico Sale-

siano (30,61 mg/kg) y Bilingüe Interamericano (36,56 mg/k); mientras las más bajas están presentes en el colegio Borja (9,60 mg/kg) y La Asunción

(24,35 mg/kg). Estos valores son inferiores a los encontrados por Mora en el centro histórico de la ciudad siendo una concentración de 233 mg/kg [6].

Figura 4. Comparación de la concentración de plomo (mg/kg)



Fuente: los autores

El plomo encontrado en las hortalizas sembradas en las diferentes instituciones de la zona sur de la ciudad de Cuenca se puede dar por varias razones. Por ejemplo, el plomo tiene un tiempo de 15 a 20 años de permanencia en el ambiente, por lo tanto pueden existir remanentes de este metal ya que fue usado como un aditivo de la gaso-

lina [2]. Otra de las razones de la alta concentración de plomo es que fueron cultivadas en zonas de parqueaderos, a lado de vías con gran flujo vehicular y en particular en caso de la Unidad Educativa Técnico Salesiano cerca del taller mecánico en donde la zonas de siembra entraban en contacto con las emisiones de los vehículos.

5. Conclusiones

Las concentraciones de plomo en las hortalizas encontradas en la zona sur de la ciudad de Cuenca representan un promedio de 38 mg/kg lo cual excede el límite permitido por la Unión Europea, la cual es de 0,3 mg/kg. Por lo tanto, no se recomienda el consumo humano de las hortalizas sembradas en

estos lugares por cuanto podría afectar a la salud.

La captura de CO₂ es mayoritariamente en la lechuga-repollo con 0,155 Tn/m² en un periodo de crecimiento de ocho semanas, consecuencia el cultivo esta especie es recomendada para hacer

frente al efecto invernadero evitando que este gas sea emitido a la atmósfera.

En el análisis microbiológico realizado en los cinco colegios de la parte sur de Cuenca con cuatro variedades de hortalizas. Se determinó que una vez sembradas las muestras en las

placas Petri-film, del análisis de coliformes, en dos colegios-cultivos (Bilingüe Interamericano y Técnico Salesiano) hubo presencia por sobre la norma establecida de coliformes totales. En lo que respecta *E. coli* sí existió un crecimiento pero está dentro de los niveles de aceptación de la normativa.

6. Referencias

- [1] G. Pardo, “Reflexiones sobre la calidad de vida y el desarrollo” (Tesis de pregrado), p. 96, 1999.
- [2] J. Galarza, “Determinación de la concentración de elementos contaminantes y bacterias patógenas presentes en un sistema de agricultura urbana compuesto por hortalizas, implementado en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca” (Tesis de pregrado), p. 105, 2017.
- [3] A. Lara, “Agricultura Urbana en Bogotá: Implicaciones en la construcción de una ciudad sustentable” (Tesis de pregrado), p. 113, 2008.
- [4] INEC, Estadísticas oficiales de Ecuador, p. 21, 2011.
- [5] “Proyecto social huertos urbanos” (Tesis de pregrado), p. 150, 2012.
- [6] J. Galarza, “Determinación de la concentración de elementos contaminantes y bacterias patógenas presentes en un sistema de agricultura urbana compuesto por hortalizas, implementado en el centro histórico de Cuenca” (Tesis de pregrado), p. 98, 2017.
- [7] J. Fernández, “Agricultura urbana y su aporte contra el efecto invernadero en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca” (Tesis de pregrado), 2016.
- [8] J. MacRobert, Seed business management in Africa, Harare, Zimbabwe, CIMMYT, 2009.
- [9] Moragas, “Recopilación de normas microbiológicas de alimentos y asimilados y otros parámetros de interés fisicoquímico de interés sanitario”, *Normas Microbiológicas*, p. 21, 2008.
- [10] Unión Europea, Contenidos máximos en metales pesados en productos, p. 25, 2017.

Ecotoxicological evaluation in sunflower (*Helianthus annuus* L.) to bio-accumulate and translocate hexavalent Chromium

Evaluación ecotoxicológica en el girasol (*Helianthus annuus* L.) para bioacumular y translocar cromo hexavalente

A. Beltrán,¹ F. Yaulema,² G. León,³ S. Godoy⁴

Abstract: *the leather and electroplating industry are responsible for industrial wastewater discharges with high concentrations of hexavalent chromium, with carcinogenic and mutagenic characteristics. The search for tolerant and bioaccumulative species promoted the study of sunflower as a promising species in processes of bioaccumulation and translocation of metals. Five germination bioassays were performed with five replications, to laboratory conditions in Petri dishes with potassium dichromate solutions at 0, 50, 100, 200 and 300 ppm of Cr⁶⁺, for the evaluation of the population response (seeds) through the germination index, it was permissible to detect the lethal dose (LD50) of 64.3 ppm of Cr⁶⁺. At the harvest of the plant and by means of atomic absorption spectroscopy, the concentrations of chromium accumulated in the different organs of this plant were analyzed, determined post evaluation their capacity of hyperaccumulation, rhizofiltration and translocation of the metallic compound, concluding that at concentrations lower than 100*

*ppm the sunflower plant (*Helianthus annuus* L.) maintains a complete development accumulating: 47.8 ppm in its leaves, stem, flowers, and root, of which 19% is stored at the root level, characteristic that converts *Helianthus annuus* L. as phytoremediators of metal contaminants.*

Keywords: rhizofiltration, phytotoxicity, index of germination, translocation of metals, bioaccumulation.

Resumen: la industria del cuero y galvanoplastia son las responsables de descargas de aguas residuales industriales con concentraciones elevadas de cromo hexavalente, con características carcinogénicas y mutagénicas. La búsqueda de especies tolerantes y bioacumuladoras impulsó el estudio del girasol como especie promisoría en procesos de bioacumulación y translocación de metales. Se realizaron cinco bioensayos de germinación con cinco repeticiones, a condiciones de laboratorio en cajas Petri con soluciones de dicromato de potasio a 0, 50, 100, 200 y 300 ppm de Cr⁶⁺, para la eva-

- 1 Andrés Agustín Beltrán Dávalos, máster en Sistemas de Gestión Ambiental, ingeniero en Biotecnología Ambiental, miembro del Centro de Energía Alternativas y Ambiente y del Grupo de Investigación para el Desarrollo Ambiental y Cambio Climático, docente-investigador de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador (abeltran@esepoch.edu.ec).
- 2 Fausto Manolo Yaulema Garcés, máster universitario en Ingeniería Ambiental, doctor en Química especialidad Físico-Química, docente-investigador de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador (fyaulema@esepoch.edu.ec).
- 3 José Gerardo León Chimbolema, máster en Protección Ambiental, doctor en Química, docente-investigador de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador (gleon@esepoch.edu.ec).
- 4 Sofía Carolina Godoy Ponce, máster en Gestión del Desarrollo Local Comunitario, ingeniera en Biotecnología Ambiental, miembro del Grupo de Investigación de Ambiente y Desarrollo, docente-investigador de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador (sofia.godoy@esepoch.edu.ec).

luación de la respuesta de la población (semillas) mediante el índice de germinación, fue permisible detectar la dosis letal (DL_{50}) de 64,3 ppm de Cr^{+6} . A la cosecha de la planta y mediante espectroscopia de absorción atómica, se analizó las concentraciones de cromo acumulado en los distintos órganos de esta, determinado post evaluación su capacidad de hiperacumulación, rizofiltración y translocación del compuesto metálico, concluyendo que a concentraciones inferiores a 100 ppm la planta de

girasol (*Helianthus annuus L.*) mantiene un desarrollo completo acumulando: 47,8 ppm en sus hojas, tallo, flores y raíz, del cual 19% es almacenado a nivel radicular, característica que convierte a las plantas *Helianthus annuus L.* como fitorremedadoras de contaminantes metálicos.

Palabras clave: rizofiltración, fitotoxicidad, índice de germinación, translocación de metales, bioacumulación.

1. Introducción

La industria durante años contaminado los recursos naturales por el deficiente manejo de sustancias químicas, que son transformadas en residuos líquidos, sólidos o gaseosos con características peligrosas [1]. Tradicionalmente se han establecido herramientas jurídicas para la protección como el monitoreo ambiental, que cuantifica la contaminación en un carácter puntual. Mientras ensayos como la evaluación e identificación de la toxicidad (EIT) permiten identificar el contaminante que provoca la toxicidad en un ecosistema de forma estratégica [2].

El cromo es un contaminante ampliamente utilizado a nivel de industrias productoras de cuero, textiles, galvanoplastia y metalmecánica, sus aspectos conflictivos o de interés ambiental y legal son las descargas de aguas industriales con concentraciones elevadas de Cr^{+6} [3]. Sus concentraciones traza no mantienen funciones biológicas definidas para las plantas, pero es posible que se encuentren formado aleaciones con el aluminio que es el metal más abundante en la corteza terrestre [4]. Su toxicidad está influenciada por los cromatos y di-

cromatos, elementos tóxicos, cancerígenos, teratogénicos y mutagénicos para humanos, con alta inestabilidad y reactividad, asociados principalmente con exposiciones ocupacionales [5] [6] [7].

Especies de plantas oleaginosas son consideradas remediadoras por su capacidad de transformar los contaminantes y translocar los metales pesados a las zonas aéreas de las plantas. El *Helianthus annuus L.* es ampliamente cultivado en Argentina, México y Estados Unidos, y se caracteriza por su capacidad de adaptación en zonas áridas y es usada con fines ornamentales y alimenticios, siendo su principal potencial la extracción de aceite vegetal con alto contenido proteico. De allí la importancia de reconocer la capacidad de bioacumulación de metales pesados en sus flores y hojas [8] [9]. Las plantas de la especie *Asteraceae* han sido investigadas por sus propiedades oleaginosas, insecticidas y comestibles [10], en la parte ecotoxicológica, sus estudios han se han concentrado principalmente en el girasol, pese a su baja capacidad de acumulación frente a otras especies [11], pero alta bioma-

sa radicular que permite bioacumular y limpiar suelos contaminados a concentraciones tolerables de cadmio, plomo y cromo [12] [13].

Técnicas como las evaluaciones de fitotoxicidad en plantas están asociadas en procesos de germinación, donde se verifica la toxicidad de un contaminante de interés cuando el 50% de las semillas no han germinado o se presenta una reducción del crecimiento en su sistema radical [14]. El uso de ensayos toxicológicos permite: complementar la monitorización de efluentes con posible contaminación, aplicar procesos de biorremediación y fitorremediación, para la posterior reutilización de sus biosólidos [15].

La *Helianthus annuus L.* corresponde a una planta no hiperacumuladora pero apreciada en los procesos de fitorremediación por la biomasa que genera postproducción, existiendo mayor masa foliar para la bioconcentración de metales pesados [12]. Las concentraciones de metales pesados en el suelo generan toxicidad en las planta inhibiendo su crecimiento en el orden de: raíz, tallo, hojas, flores y frutos, altas concentraciones no permiten su germinación. El girasol tiende a bioacumular el metal pesado en su raíz y por procesos fisiológicos como la osmosis y la succión tiende a movilizar el metal soluble en el suelo a zonas aéreas de la planta por medio de la células tubulares del xilema [16]. Los usos de plantas como bioindicadoras o fitorremediadoras permite objetivar los procesos de contaminación o descontaminación,

validando la remoción del metal de un sustrato contaminado y cumpliendo con los principios ambientales de objetividad y restauración ofrecidos en la Constitución del Ecuador y la normativa secundaria ambiental [17] [18], como herramientas de garantía de los derechos de la naturaleza.

Los índices de germinación y crecimiento radicular permiten evaluar la toxicidad del metal pesado de interés de una forma rápida y precisa, principalmente cuando los medios en donde se están desarrollando los bioensayos son enriquecidos con elementos nutritivos, lo que provoca que el metal forme complejos con la materia orgánica e incremente su toxicidad en las plantas, que en términos generales ocasiona un estrés oxidativo y un deficiente crecimiento y desarrollo [16] [19].

Los indicadores de germinación y desarrollo radicular muestran la sensibilidad de las plantas a contaminantes en las distintas matrices ambientales y son usados como criterios centinelas que se basan en su sensibilidad e índice de fitotoxicidad [20]. Los daños morfológicos y fisiológicos en plantas son clasificados en porcentajes de 80%-100%, que representa ausencia de fitotoxicidad, y valores inferiores a 50% que significa alta fitotoxicidad [21] [22].

La búsqueda de plantas bioindicadoras y remediadoras de metales pesados genera el objetivo de esta investigación en la remoción del Cr^{+6} , y evaluación de los efectos fitotoxicológicos en el *Helianthus annuus L.*

2. Métodos

Los bioensayos de germinación fueron realizados en los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, bajo los principios establecidos en el protocolo de la OECD 208. El contaminante utilizado fue el dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) al 99% de pureza, con cuatro disoluciones en agua desmineralizada [23]; con posterior seguimiento del crecimiento de la planta *Helianthus annuus L.* bajo condiciones semi-controladas en un invernadero con ventilación regulada y adición continua de la solución contaminante.

2.1. Proceso de germinación

El ensayo de germinación se realizó siguiendo los criterios expuestos por Emino [22]. Se obtuvieron cinco tratamientos con concentraciones de: 0, 50, 100, 200 y 300 ppm de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$), colocando 2 ml de cada solución sobre el papel filtro n° 3 y diez semillas de *Helianthus annuus L.*, por cada caja Petri, para su posterior comparación con el testigo que contuvo agua destilada. Las placas fueron ubicadas en las cámaras de incubación durante 168 horas a una temperatura de $23 \pm 2^\circ C$. Se realizó el experimento en bloques al azar con cinco repeticiones para cada concentración del dicromato de potasio. La determinación del índice de germinación (IG) fue posible mediante el análisis del porcentaje de germinación relativa de semillas (GRS) y el porcentaje de elongación radicular relativo (ERR). Frente al resultado arrojado por el testi-

go y siguiendo la metodología de valoración propuesta por Warman se calculó el IG definido como la relación del producto de la GRS y CRR sobre 100 [22]:

$$IG = \left(\frac{\%GRS * \%ERR}{100} \right) \quad (1)$$

Los resultados relativos de los bioensayos de germinación permitieron determinar de la dosis letal (DL_{50}) siendo analizada mediante pruebas estadísticas de correlación entre la concentración de Cr^{+6} y la población de *Helianthus annuus L.* identificando los efectos observables.

2.2. Desarrollo de la planta y bioacumulación

Nueve semillas con el mejor crecimiento radicular por cada concentración del bioensayo fueron seleccionadas y sembradas a cinco centímetros de profundidad [24], en macetas que contenían 7 kg de suelo previamente irrigado y estabilizado durante tres días hasta alcanzar una humedad del 33% con las concentraciones de dicromato de potasio a: 0, 50, 100, 200 y 300 ppm. Las unidades experimentales estuvieron distribuidas en tres macetas de un diámetro de 50 cm, con tres semillas germinadas del *Helianthus annuus L.* por cada concentración del contaminante. Se evaluó la presencia de necrosis, marchitamiento, ancho foliar máximo de las hojas y la altura de la planta alcanzada a las veinte semanas.

A la cosecha de las plantas que lograron desarrollarse, se realizaron análisis del Cr^{+6} en el equipo de espectrofotometría de absorción atómica en base seca de las partes aéreas de la planta (tallo, hojas, flores), raíz y suelo, con la finalidad de evaluar los índices de translocación y bioacumulación del metal. El índice de bioacumulación se obtuvo al dividir la concentración del Cr^{+6} en el *Helianthus annuus L.* y la concentración del Cr^{+6} en el suelo [25], con el índice de translocación que indica la capacidad de movilizar el metal desde las raíces hasta las zonas aéreas manteniendo la relación entre el contaminante presente en las flores, hojas y tallo con la concentración existente en la raíz [26].

2.3. Análisis estadísticos

En el análisis estadístico se aplicaron pruebas de homogeneidad y homocedasticidad con los test de Shapiro-Wilk y Levene para el análisis de datos correspondiente al índice de germinación, previo análisis Anova y la prueba de Tukey, con la finalidad de validar las diferencias de efectos fitotóxicos que presentaron las plantas *Helianthus annuus L.* a distintas concentraciones del Cr^{+6} . Con el porcentaje del índice de germinación en el eje de las ordenadas frente a las concentraciones de Cr^{+6} en las abscisas y con un análisis de regresión logística con el software estadístico XLSTAT, se determinó la concentración letal (CL_{50}) del contaminante en la planta *Helianthus annuus L.*

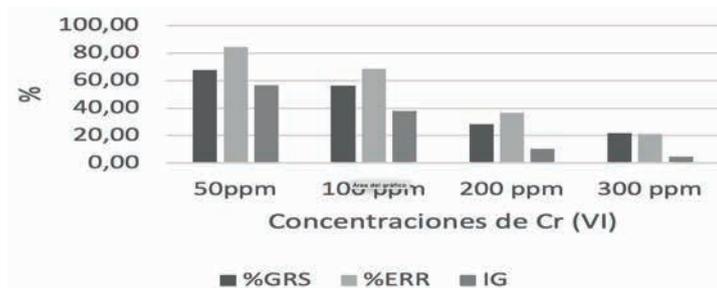
3. Resultados

3.1. Germinación

Durante la etapa de germinación pudo identificarse una mayor inhibición del crecimiento a concentraciones de 200 y 300 ppm de Cr^{+6} . El de-

sarrollo radicular ratifica que la mayor fitotoxicidad se genera en las concentraciones más altas y la toxicidad moderada en las concentraciones de 100 ppm (Figura 1).

Figura 1. Evaluación de las respuestas biológicas de las semillas de *Helianthus annuus L.* (GRS, EER e IG)



Fuente: los autores

En la Figura 1 se observa una distribución normal descendente, tanto para el porcentaje de germinación relativo de semillas como para el porcentaje de elongación radicular relativo y para el índice de germinación, contrastando el paradigma que la dosis provoca el veneno, donde a mayor concentración del Cr^{+6} disminuye el porcentaje de germinación y el porcentaje de crecimiento radicular. Las tablas 1 y 2 muestran con detalle las medias de los resultados de germinación y crecimiento radicular

de cada placa Petri, evidenciando dos grupos diferentes: un homogéneo a concentraciones de 200 y 300 ppm y otro heterogéneo a concentraciones de 50 y 100 ppm. Los datos han sido contrastados estadísticamente con un nivel de significancia de $p = 0,05$, mostrando homogeneidad de medias y homocedasticidad de varianzas, previa la aplicación de la prueba Anova y Post-hoc de Tukey, la cual determinó la conformación de dos subconjuntos con características diferentes (Tabla 3).

Tabla 1. Índice de germinación de semillas *Helianthus annuus L.*

Nº de tratamiento	Concentraciones de Cr^{+6}			
	50 ppm	100 ppm	200 ppm	300 ppm
1	90,9 ^c	57,3 ^b	12,7 ^a	5,5 ^a
2	39,1 ^a	39,6 ^a	10,4 ^a	0,0 ^a
3	66,8 ^b	77,3 ^b	0,0 ^a	5,5 ^a
4	58,3 ^b	18,8 ^a	12,5 ^a	4,2 ^a
5	40,5 ^a	53,3	0,0 ^a	0,0 ^a
6	80,0 ^b	32,5 ^a	8,0 ^a	4,0 ^a

^a Alta fitotoxicidad.
^b Moderada fitotoxicidad.
^c No presenta fitotoxicidad.

Fuente: los autores

Tabla 2. Crecimiento radicular relativo medio

Nº de tratamiento	Concentraciones de Cr^{+6}			
	50 ppm	100 ppm	200 ppm	300 ppm
1	90,9 ^c	81,8 ^c	31,8 ^a	27,3 ^a
2	78,3 ^b	56,5 ^b	34,8 ^a	0,0 ^a
3	95,5 ^c	77,3 ^b	31,8 ^a	18,2 ^a
4	83,3 ^c	62,5 ^b	41,7 ^a	20,8 ^a
5	81,0 ^c	76,2 ^b	42,9 ^a	0 ^a
6	80,0 ^b	65,0 ^b	40,0 ^a	20,0 ^a

^a Alta fitotoxicidad.
^b Moderada fitotoxicidad.
^c No presenta fitotoxicidad.

Fuente: los autores

El subconjunto 1 representa las concentraciones de 300 y 200 ppm que generan los mayores daños fisiológicos (germinación) y morfológicos (elongación radicular), representados bajo la

relación porcentual del índice de germinación. Y un subconjunto 2 mantiene índices de ausencia de fitotoxicidad a fitotoxicidad moderada, con tolerancia de la semilla al contaminante (Tabla 3).

Tabla 3. Subconjuntos homogéneos del IG

Concentración de Cr ⁶⁺	Subconjunto para alfa = 0,05	
	1	2
Cr ⁶⁺ a 300 ppm	3,20	
Cr ⁶⁺ a 200 ppm	7,26	
Cr ⁶⁺ a 100 ppm		46,46
Cr ⁶⁺ a 50 ppm		62,60
Sig.	0,965	0,276
HSD de Tukey usa el tamaño muestral de la media armónica.		

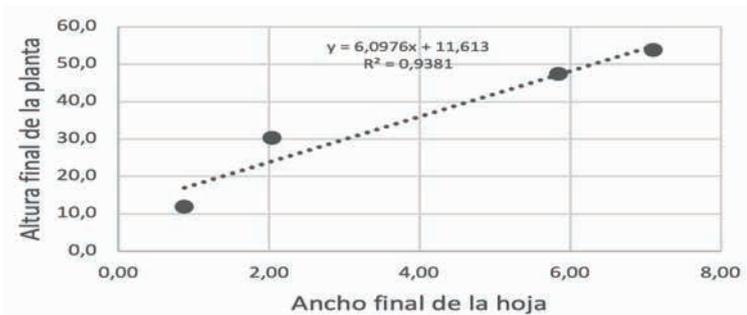
Fuente: los autores

3.2. Desarrollo de la planta y bioacumulación

El desarrollo de planta tardó 150 días hasta su cosecha, reflejando una correlación fuerte ($R^2 = 0,938$) entre la altura de la planta y ancho de sus hojas (Figura 2), a mayor crecimiento mayor biomasa pertinente para acumular el metal pesado, la variabilidad

del tamaño decrece en función del incremento de concentración del Cr⁶⁺. Se identificó una suspensión del proceso de maduración a partir del día 87 a concentraciones de 200 y 300 ppm, con efectos observables como marchitamiento, necrosis en las hojas, reducción del ancho foliar y enanismo de la planta, sus tallos no mostraron anomalías observables.

Figura 2. Evaluación correlacional del crecimiento y ancho foliar de las plantas de *Helianthus annuus L.*



Fuente: los autores

Tabla 4. Respuestas fitorremediadoras de *Helianthus annuus L.* expuestas a concentraciones de cromo

Tratamientos	Concentración de Cr (VI)							
	Raíz	Tallo	Hojas	Flor	Suelo	BM	FB	FT
Testigo	0	0	0	0	0	0	0	0
50 ppm	8,3	13,4	17,9	16,1	1,3	55,70	42,85	5,71
100 ppm	9,5	10,5	14,5	13,3	1,18	47,80	40,51	4,03
200 ppm	12,3	15,3	31,1		0,8	58,70	73,38	3,77
300 ppm	19,6	20,1	31,5		1,4	71,20	50,86	2,63
Media	11,17	14,04	21,19	14,57	1,12	57,18	49,19	3,75
DS	5,07	4,03	8,83	1,98	0,26	9,72	14,99	1,27

Fuente: los autores

3.3. Bioacumulación del Cr^{+6}

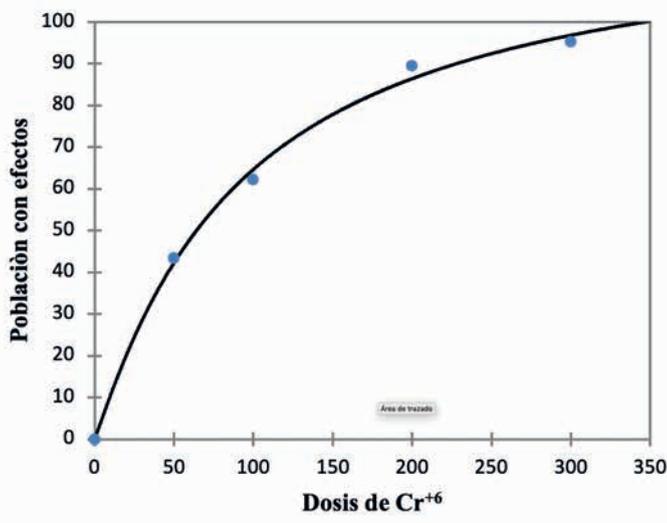
En la Tabla 4 se identifica que el órgano del *Helianthus annuus L.* que bioacumuló mayor concentración de Cr^{+6} en forma descendente fue: hojas > flores > tallo > raíz, sin influencia de la concentración de contaminante en cada biotratamiento, la bioacumulación fue mayor en plantas que no tuvieron floración y estuvieron expuestas a concentraciones de 200 y 300 ppm de Cr^{+6} , la mayor bioacumulación fue en hojas, con un máximo de 31,5 ppm.

El factor de translocación del metal pesado de la raíz a las zonas aéreas de la planta estuvo en un rango de 2,63 a 5,79, identificando que a menores concentraciones del contaminante el factor

se incrementa, con la capacidad fisiológica de la planta de movilizar las concentraciones del metal pesado disuelto por procesos de absorción y ósmosis a las zonas aéreas de la planta [27].

La estimación de la dosis letal (DL_{50}), determinada mediante la curva logística de dosis-efecto, nos permitió conocer que la concentración de 64,13 ppm de Cr^{+6} , es la que genera la inhibición del 50,00% de germinación en las semillas de *Helianthus annuus L.*, como se observa en la Figura 3. La curva hace referencia a que mayor concentración del contaminante mayor efectos observables presenta, demostrando que relativamente el girasol presenta un LOAEL inferior a los 50 ppm de Cr^{+6} .

Figura 3. Curva logística dosis-efecto del Cr (VI) de *Helianthus annuus* L.



Fuente: los autores

4. Discusión

Mediante bioensayos toxicológicos se evalúa los daños fisiológicos en las plantas de girasol de *Helianthus annuus* L. determinado su índices de fitotoxicidad en forma porcentual [28], observando un reducción de la elongación radicular máxima del 83% con respecto a la radícula del tratamiento control. Los principales efectos morfológicos y fisiológicos observados son: disminución de la biomasa foliar a concentraciones de 200 y 300 ppm de Cr⁺⁶, presencia de necrosis en hojas inferiores a concentraciones de 100 ppm y desarrollo disminuido en la altura de los girasoles, con presencia de machas en forma de óvalos irregulares en el tallo signo de toxicidad del cromo, las variaciones de respuestas de germinación mantiene homocedas-

ticidad y homogeneidad en sus valores medios y varianzas a diferencia de la experiencia de Rodrigo Damaris que uso girasol silvestre en procesos de fitorremediación de suelos contaminados con Pb y Cr [29].

Por su capacidad de germinación superior al 50% a concentraciones de 50 y 100 ppm de Cr⁺⁶ podemos mencionar que las semillas de girasol tienen adaptabilidad al contaminante, pudiendo ser usadas en procesos de fitorremediación directamente en suelos con contaminación inferior a los 100 ppm de Cr⁺⁶. Concordando con lo expuesto por Gutiérrez [30], su capacidad de translocación máxima de 5,71 ppm en sustratos contaminados con 50 ppm de Cr⁺⁶, identificándose como una planta hipe-

racumuladora y en concentraciones superiores el girasol tiene una capacidad acumuladora del metal pesado [31] [32].

La dosis letal (DL_{50}) de 64,13 ppm Cr^{+6} estimada para la semillas de *Helianthus annuus L.* indica la efectividad que puede tener esta planta en procesos de fitorremediación con tolerancia de 128 veces el límite máximo permitido: 5,1 y 3,5 veces superiores a las toleradas por larvas *Artemia salina* y la lechuga (*Lactuca sativa*) [18] [33].

A comparación de lo expuesto por Covarrubias, de que el *Helianthus annuus L.* tiende a acumular gran parte de un metal pesado (cadmio) en su raíz [32], el cromo se distribuye proporcionalmente en toda la planta y en su raíz bioacumula concentraciones del Cr^{+6} que están en el rango de 15% a 28%, lo que identifica al girasol como una especie rizofiltradora [34] que con su capacidad fisiológica contribuye a remover metales pesados de suelos.

5. Conclusiones

El *Helianthus annuus L.* es un especie promisoría en la remoción de Cr^{+6} manteniendo un comportamiento similar a concentraciones de 50 y 100 ppm superando 36 veces su DL_{50} y logrando un desarrollo hasta la floración con capacidad de bioacumular hasta 40,51 ppm

de Cr^{+6} y translocar el metal hasta 4,03 en concentraciones de 100 ppm, lo que determina su capacidad de translocación, rizofiltración y fitorremediación, con cualidades intrínsecas de la especie oleaginosa de resistir bajos niveles de humedad y adaptarse a zonas áridas.

6. Referencias

- [1] E. Benito, O. Heredia, M. Castro y D. Effron, "Fitotoxicidad del cromo sobre Phaseolus vulgaris L", *Agron. Ambient.*, 2012.
- [2] USEPA, "Phase 2, Toxicity identification procedures for samples exhibiting acute and chronic toxicity", *Methods for aquatic toxicity identification evaluations*, 1993.
- [3] N. Campo, "Cleaner production and bioremediation for reduction of pollution in the industry of chrome tannery", *Rev. del Dr. Interinstitucional en Ciencias Ambient.*, 2011.
- [4] L. Alessio, A. Aspostoli, M. Berlin, W. Clarkson..., "Metales: propiedades químicas y toxicidad", *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo*, 2002.
- [5] L. Londoño, P. Londoño y F. Muñoz, "Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal", *Biotecnología en el Sect. Agropecu. y Agroindustrial*, 2016.
- [6] P. Molina, N. Aguilar y P. Cordovez, "Plomo, cromo III y cromo VI y sus efectos sobre la salud humana", *Cienc. Tecnol. para la Salud Vis. y Ocul.*, 2010.
- [7] Oehha, "Efectos del cromo hexavalente sobre la salud", *Sci. a Heal. Calif.*, 2016.
- [8] V. Gutiérrez, "Effect of nitrogen application and population density on sunflower growth and biomass distribution in hot climates", *Terra Latinoam.*, 2000.
- [9] V. Funk, A. Susanna, T. Stuessy y H. Robinson, *Compositae metatrees: the next generation*, 2009.
- [10] M. Gargiullo, N. Smith, S. Mori, A. Henderson, D. Stevenson y S. Heald, "Flowering Plants of the Neotropics", *J. Torrey Bot. Soc.*, 2004.

- [11] L. Pena, M. Tomaro y S. Gallego, "Effect of different metals on protease activity in sunflower cotyledons", *Electron. J. Biotechnol.*, 2006.
- [12] A. Chico-Ruiz, "Capacidad remediadora de la raíz de girasol, *Helianthus annuus*, cuando es sometida a diferentes concentraciones de plomo", *Rebiol.*, 2012.
- [13] J. García, P. Gratão, R. Azevedo y M. Arruda, "Metal contamination effects on sunflower (*Helianthus annuus* L.) growth and protein expression in leaves during development", *J. Agric. Food Chem.*, 2006.
- [14] C. Infante y F. García, Evaluación de la toxicidad en desechos y suelos petrolizados empleando semillas de *Lactuca sativa* L, Interciencia, 2012.
- [15] J. Lannacone, L. Alvarino, C. Caballero y J. Sanchez, Cuatro ensayos ecotoxicológicos para evaluar lindano y clorpirifos, Gayana, 2000.
- [16] J. Navarro, I. Añiño, A. Alonso y J. Moya, Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas, Ecosistemas, 2007.
- [17] Asamblea Constituyente, Constitución de la República del Ecuador, 2008.
- [18] Registro Pfcial de Ecuador, Acuerdo No. 061 Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria, p. 80, 2015.
- [19] M. di Salvatore, A. Carafa y G. Carratù, Assessment of heavy metals phytotoxicity using seed germination and root elongation tests: A comparison of two growth substrates, *Chemosphere*, 2008.
- [20] B. Nureña y S. Sagástegui, Efecto ecotoxicológico del plomo sobre la germinación y crecimiento radicular de *Raphanus sativus* y *Beta vulgaris* en condiciones de laboratorio, *Sciéndo*, 2014.
- [21] A. Arias, M. Rivera y A. Trujillo, "Fitotoxicidad de un suelo contaminado con petróleo fresco sobre *Phaseolus vulgaris* L. (leguminosae)", *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 2017.
- [22] E. Emino y P. Warman, "Biological assay for compost quality", *Compost Sci. Util.*, 2004.
- [23] OECD, Guidelines for the Testing of Chemicals: Proposal for updating guideline 208 Terrestrial Plant Test: 208: Seedling Emergence and Seedling Growth Test, OECD iLibrary, 2006.
- [24] J. de Aguilar, El cultivo de girasol, Flormarket, 2003.
- [25] S. Wei, Q. Zhou y U. Saha, "Hyperaccumulative characteristics of weed species to heavy metals", *Water. Air. Soil Pollut.*, 2008.
- [26] E. Olivares y E. Pena, Bioconcentración de elementos minerales en *Amaranthus dubius* (bledo, pira), creciendo silvestre en cultivos del estado Miranda, Venezuela, y utilizado en alimentación, Interciencia, 2009.
- [27] M. Méndez y R. Maier, "Phytostabilization of mine tailings in arid and semiarid environments-An emerging remediation technology", *Environmental Health Perspectives*, 2008.
- [28] D. Vázquez, M. Castelán, M. Rivera, Á. Ortiz y F. Izquierdo, "Crotalaria incana L. y *Leucaena leucocephala* Lam. (Leguminosae): especies indicadoras de toxicidad por hidrocarburos de petróleo en el suelo", *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 2010.
- [29] D. J. Rodrigo Tintaya, "Estimación de la capacidad fitorremediadora del 'girasol' *Helianthus annuus* mediante la incorporación de enmiendas para suelos contaminados por metales pesados (plomo, cromo) de industrias metalmeccánicas", *Rev. Investig. Ciencia, Tecnol. y Desarrollo*, vol. 4, n° 1, pp. 23-28, 2018.
- [30] L. Gutiérrez, A. Melgoza, M. Alarcón, J. Ortega, D. Prado y M. Cedillo, "Germinación del girasol silvestre (*Helianthus annuus* L.) en presencia de diferentes concentraciones de metales", *Rev. Latinoam. Biotechnol. Ambient. y Algal.*, 2011.
- [31] N. Rascio y F. Navari-Izzo, Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting?, *Plant Science*. 2011.
- [32] S. Covarrubias y J. Peña Cabriales, "Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y estrategias de fitorremediación", *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 2017.
- [33] L. Pérez y L. Gilling, "Determinación de la toxicidad aguda del dicromato de potasio en larvas de *Artemia salina*", *Anu. Toxicol.*, vol. 1, pp. 104-108, 2001.

- [34] M. Suaña Quispe, “Capacity of sunflower (*Helianthus annus L.*) to absorb Cadmium of contaminated soils in controlled environment, puno”, *Rev. Investig. Esc. Posgrado*, vol. 7, n°1, pp. 393-401, 2018.

Nutrients that determine the processes of eutrophy in Laguna Valle Hermoso of Guano canton

Nutrientes determinantes en los procesos de eutrofia en la laguna Valle Hermoso del cantón Guano¹

A. Beltrán,² D. Pilco,³ Y. Díaz,⁴ S. Godoy⁵

Abstract: *the processes of eutrophication are common in urban lagoons near populated centers, their deficient conservation entails processes of accelerated enrichment of nutrients and loss of the water mirror, causing an environmental impact on the landscape and aquatic fauna. In Valle Hermoso lagoon of the Guano canton, nutritional information was collected in the water, selecting five monitoring stations at convenience during the rainy season of December, 2016 to March, 2017, analyzing: temperature, pH, conductivity, transparency, nitrites, nitrates, ammonia nitrogen, sulfates, phosphates, and phosphorus and the spectrophotometric measurement of chlorophyll concentration. The descriptive statistics and the analysis of principal components (PCA) determined that nutrients such as sulfates and nitrates are determinants in the concentrations of chlorophyll "a" maintaining strong correlations of 93% and 68% respectively. In the same way, it was possible to determine through the concentrations of Total*

Phosphorus, Disco Secchi and Chlorophyll "a" the process of eutrophication with values of 64.93 to 71.18 that qualify this water resource as a eutrophic lagoon.

Keywords: *urban lagoons, Secchi transparency, eutrophication.*

Resumen: los procesos de eutrofización son comunes en lagunas urbanas cercanas a centros poblados, su deficiente conservación conlleva procesos de enriquecimiento acelerado de nutrientes y pérdida del espejo de agua, ocasionando un impacto ambiental al paisaje y la fauna acuática. En la laguna Valle Hermoso del cantón Guano se realizó el levantamiento de información nutricional en el agua, seleccionando cinco estaciones de monitoreo a conveniencia durante la época lluviosa del mes de diciembre de 2016 a marzo de 2017, analizándose: temperatura, pH, conductividad, transparencia, nitritos, nitratos, nitrógeno amoniacal, sulfatos, fosfatos y fósforo, y

1 Los autores agradecen a la ESPOCH y a la Facultad de Ciencias por impulsar la investigación nacional y regional, y por auspiciar la participación en eventos científicos nacionales e internacionales.

2 Andrés Agustín Beltrán Dávalos, máster en Sistemas de Gestión Ambiental, ingeniero en Biotecnología Ambiental, miembro del Centro de Energía Alternativas y Ambiente y del Grupo de Investigación para el Desarrollo Ambiental y Cambio Climático, docente-investigador de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador (abeltran@esPOCH.edu.ec).

3 Dennis Javier Pilco Carrasco, ingeniero en Biotecnología Ambiental, técnico en Gestión Ambiental del Hospital de Especialidades Teodoro Maldonado Carbo, Guayaquil, Ecuador (dpilcoc@htmt.gob.ec).

4 Yolanda Dolores Díaz Heredia, máster en Ciencias en Biotecnología, doctora en Química, docente-investigadora de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador (yolanda.diaz@esPOCH.edu.ec).

5 Sofía Carolina Godoy Ponce, máster en Gestión del Desarrollo Local Comunitario, ingeniera en Biotecnología Ambiental, miembro del Grupo de Investigación de Ambiente y Desarrollo, docente-investigador de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador (sofia.godoy@esPOCH.edu.ec).

la medición espectrofotométrica de la concentración de clorofila. La estadística descriptiva y el análisis de componentes principales (ACP) determinó que los nutrientes como los sulfatos y nitratos son determinantes en las concentraciones de clorofila "a" manteniendo correlaciones fuertes del 93% y 68% respectivamente. De igual forma se logró determinar

mediante las concentraciones de fósforo total, disco Secchi y clorofila "a" el proceso de eutrofización con valores de 64,93 a 71,18 que califican a este recurso hídrico como una laguna eutrófica.

Palabras clave: lago urbano, transparencia Secchi, eutrofización.

1. Introducción

La geografía de planicies y valles accidentados conforman la región interandina del Ecuador, con variedad de: praderas húmedas, pantanos, riachuelos, lagunas y depósitos artificiales como embalses [1]. Estos ecosistemas interaccionan con organismos acuáticos [2]. Las precipitaciones y parcelas cultivables, incrementan los procesos de erosión, coeficiente de escorrentía en un 300% [3] y enriquecimiento de nutrientes [4], siendo ambas típicas de varias zonas en la provincia de Chimborazo, incluyéndose la laguna Valle Hermoso [5].

La salubridad de los nutrientes presentes en lagunas, lagos y estanques artificiales o naturales, permiten determinar las características ecológicas e identificar sus potenciales usos para las necesidades de la sociedad y el medio ambiente [6] [7]. Los *ponds* o lagunas urbanas cercanas a centros poblados, son sistemas lénticos, naturales o artificiales, con superficies inferiores a 10 km² y escasa profundidad (< 5 m) [9] [11] y problemas en color del agua, altos contenidos de sólidos suspendidos, floración de algas y plantas acuáticas [11]. Las lagunas, lagos y estanques naturales son clasificados con el eje de

oligotrofia-eutrofia, según el índice de estado trófico (IET o TSI) que incluye: la transparencia de disco Secchi, la clorofila y el fósforo total propuesto por Carlson, uno de los más usados en todo el mundo, cuya escala va en decenas de 0 a 100, representando el aumento de biomasa de algas [12] [13].

La identificación del estado trófico permite conocer el enriquecimiento de nutrientes de un lago o embalse [14], provocados lentamente por causas naturales y aceleradamente por procesos artificiales o culturales que conllevan impactos sociales, económicos y sanitarios [7] [15].

Estudios realizados en América del Sur en procesos de eutrofización soporatan que el aporte de nitratos, amonio, fosfatos y sulfatos son provocados por uso excesivo de fertilizantes, y contaminación atmosférica, llamándola "eutrofización cultural" influenciada por la intervención humana [16] [17].

La aplicación estadística del análisis de componentes principales (ACP) en investigaciones desarrolladas en el embalse del río Tercero, Argentina, río Jaibaras y Groaíras en Brasil y lagos urbanos en Concepción, Chile, ha per-

mitido dilucidar variables determinantes que predicen el comportamiento limnológico de un cuerpo hídrico para su gestión ambiental [7] [8] [14] [18].

Actualmente no hay información de la limnología de la laguna Valle Hermoso, requiriéndose generar información del estado actual y cono-

cer la variabilidad existente entre los nutrientes y la clorofila, permitiendo evaluar la calidad del agua según su estado trófico y generar lineamientos para su adecuada gestión y monitoreo por los organismos regulatorios como la Secretaria Nacional del Agua (SE-NAGUA) y el Ministerio de Ambiente del Ecuador (MAE).

2. Métodos

La laguna Valle Hermoso está ubicada en el Ecuador, provincia de Chimborazo, cantón Guano, perteneciente a la Cordillera andina de la zona 17 Sur, con un clima templado. Es considerada uno de los principales atractivos turísticos y naturales [19] del cantón.

Este sistema léntico está delimitada por las coordenadas: 1°37'6,90" latitud, 78° 38'1,78" longitud, y una altura de 2741 msnm. La laguna está rodeada por terrenos agrícolas con cultivos propios de la zona, predominando la vegetación arbustiva y menor cantidad la arbórea. Tiene un clima frío seco nublado con temperaturas de 16° a 18° C y un precipitación promedio de 415,8 mm (entre las más bajas del Ecuador) [20] [21].

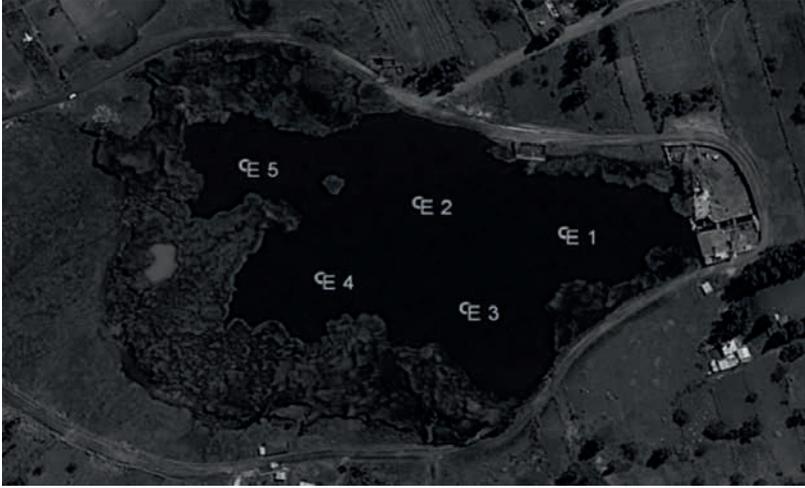
El desarrollo de la investigación se fundamentó en: trabajo de campo (toma de muestras y medición de parámetros *in situ*); análisis espectrofotométrico de nitritos, nitratos, nitrógeno amoniacal, fosfatos, fosforo

total, sulfatos y clorofila, para la posterior determinación del estado trófico; análisis estadístico mediante un análisis multivariado que permitió la reducción de dimensiones, para describir y analizar observaciones multidimensionales.

2.1. Toma de muestras y medición de parámetros *in situ*

Se consideró espacialmente cinco estaciones de monitoreo del agua, por cuatro meses con dos repeticiones por cada muestreo y análisis. Los puntos se seleccionaron mediante la metodología de un recorrido en zigzag de sur a norte [22] a una profundidad de 50 cm con un muestreador de Van Dorn, cubriendo las dimensiones del embalse a bordo de un bote. Se realizaron campañas de muestreo mensuales de diciembre 2016 a marzo 2017, correspondiente al período lluvioso (inferior a 75 mm mensuales). Dichas estaciones fueron registradas con coordenadas geográficas obtenidas con un receptor GPS marca Garmin modelo Map 76Csx.

Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo en la laguna Valle Hermoso



Fuente: los autores

Se determinaron *in situ* variables como la temperatura, pH, conductividad mediante lectura directa con un medidor portátil HQ40d Hach y profundidad del disco de Secchi utilizado para el cálculo del límite de la zona fótica [23]. Las muestras fueron llevadas al laboratorio con los lineamientos definidos en los protocolos y cadenas de custodia del laboratorio CESTTA de la ESPOCH, para el análisis de nutrientes (nitritos, nitratos, nitrógeno amoniacal, sulfatos, fosfatos, y fosforo total) y clorofila.

2.2. Análisis de espectrofotométrico

Los análisis de nutrientes se realizaron espectrofotométricamente, aplicando los métodos descritos en Standard Methods: PT (4500 P), PO4-3 (4500 P), NO3- (4500-NO3), NO2-

(4500-NO2) y NH4+ (4500-NH3), SO4-2(4500 SO4) [24].

La concentración de clorofila se determinó mediante el método tricromático [25], filtrando 250 ml de agua de cada muestra, utilizando filtros de fibra de vidrio (Whatman grado GF/F, 0,7 μm de tamaño de poro) que con mucho cuidado se doblan y se colocan en un tubo de ensayo con tapa rosca y se añade 5 ml de acetona al 90% y se cubre con papel aluminio y se guarda en refrigeración a 4° C durante 24 horas en la oscuridad; luego se centrifuga por 15 min a 3 000 rpm y se procede a extraer del tubo entre 1 y 5 ml; se determinan las absorbancias a las longitudes de onda de 664 nm, 647 nm, 630 nm, 750 nm, que son aplicadas en las siguientes ecuaciones [25]:

$$Cl a \text{ (mg /m}^3\text{)} = Ve * \frac{[(11,85 * (A_{664} - A_{750})) - (1,54 * (A_{647} - A_{750})) - (0,08 * ((A_{630} - A_{750})))]}{Vf * L} \quad (1)$$

$$\text{Cl b (mg /m}^3\text{)} = \text{Ve} * \frac{[(21,03 * (\text{A}_{647} - \text{A}_{750})) - (5,43 * (\text{A}_{664} - \text{A}_{750})) - (2,66 * ((\text{A}_{630} - \text{A}_{750})))]}{\text{Vf} * \text{L}} \quad (2)$$

$$\text{Cl c (mg /m}^3\text{)} = \text{Ve} * \frac{[(24,52 * (\text{A}_{630} - \text{A}_{750})) - (1,67 * (\text{A}_{664} - \text{A}_{750})) - (7,67 * ((\text{A}_{647} - \text{A}_{750})))]}{\text{Vf} * \text{L}} \quad (3)$$

2.3. Estado trófico

Se determinó mediante la aplicación del índice de estado trófico (IET) [12] [26], que se basa en el análisis de los parámetros de clorofila a, fósforo total y transparencia con disco Secchi. Posteriormente, se obtuvo un promedio de los TSI (Trophic State Index TSI, Carlson, 1977) y fueron comparados con la escala propuesta por el mismo autor basado en los parámetros de clorofila-a IET (CLa) = 9,81 ln(CLa)+30,6. Fósforo total IET (PT) = 14,42 ln(PT)+4,15 y transparencia con disco Secchi IET (DS) = 60-4,41 ln(DS).

2.4. Análisis estadístico

Para evaluar los parámetros que determinaron la variabilidad de los componentes (nutrientes) que identifican las concentraciones de clorofila “a” y el índice del estado trófico (IET) de la laguna Valle Hermoso, se trabajó con un modelo estadístico multivariado: análisis factorial y análisis de componentes principales (AF/ACP) con la ayuda del programa IBM SPSS Statistics V20.

Se realizaron matrices de correlación con el coeficiente de Pearson, el cual nos permite identificar la magnitud de asociación lineal entre las variables y validar el posterior uso del análisis factorial, donde consideramos el análisis de consistencia de datos determinados por el método Kayser-Mayer-Olkin (KMO), la prueba de Bartlett para

determinación de homocedasticidad u homogeneidad de varianza e identificación de comunalidades para medir la afinidad que tiene cada parámetro: nutrientes y clorofila para formar grupos.

El análisis de componentes principales (ACP) aplicados a los parámetros de nutrientes (nitratos, nitritos, sulfatos, nitrógeno amoniacal, fosfatos y fosforo total) permitió analizar su variabilidad induciendo a responder el estado de eutrofización de la laguna e identificaron tendencias generales y relaciones entre las variables, por medio de la construcción de ejes artificiales que permitieron proyectar las observaciones y las variables simultáneamente en un mismo plano [27].

Una vez identificado el componente con mayor correlación a la clorofila “a” se fueron aplicando análisis de regresiones lineales y estimaciones curvilíneas con cada uno de los parámetros. En este análisis se consideró la clorofila “a” como variable dependiente y los nutrientes como independientes, lo que permitió identificar la variable con la que es posible explicar las concentraciones de clorofila “a” frente a su modelo.

El parámetro seleccionado que mejor se ajustó en la prueba de correlación a la clorofila “a” fue validado mediante la prueba de coeficiente de correlación de Pearson entre el modelo logarítmico predictivo y los resultados del monitoreo de la clorofila “a”.

3. Resultados y discusión

3.1. Distribución espacial de nutrientes y transparencia

Veinte muestras de agua fueron recolectadas en cinco estaciones de monitoreo cada una de ellas con dos repeticiones, dando un total de sesenta muestras, entre los meses de: diciembre, enero, febrero y marzo en la laguna Valle Hermoso del cantón Guano. Durante este período se registró un rango de: temperatura de 15,8° C a 17,3° C, pH de 7,92 a 8,54 y conductividad de 2133 uS/cm a 2159 uS/cm, respectivamente.

Bajo el análisis estadístico para comparación de medias de Anova de un factor con un significancia de $P = 0,05$ no existe variabilidad significativa de medias entre los puntos de

monitoreo para: temperatura, nitratos, nitrógeno amoniacal, fosfatos y fosforo total y los parámetros que mantiene diferencias correspondieron a: los sulfatos, el pH, la transparencia Secchi, conductividad eléctrica y nitritos.

Se identifica en la Tabla 1 una transparencia Secchi media de 0,73 m, lo que indica un proceso de eutrofización elevado por la concentración alta de sólidos suspendidos que evitan el ingreso de luz solar y característico de lagunas urbanas con alta intervención humana. Los valores medios de nutrientes en forma decreciente correspondieron a los sulfatos (855,667 mg/l), nitrógeno amoniacal (1,754 mg/l), nitratos (0,934 mg/l), fosfatos (0,278 mg/l), fósforo total (0,103 mg/l) y nitritos (0,003 mg/l).

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de nutrientes de la laguna Valle Hermoso

Nº de observaciones	Parámetro	Mínimo	Máximo	Media	Varianza	Desviación típica
60	Transparencia Secchi (m)	0,670	0,800	0,731	0,001	0,030
	Nitratos (mg/l)	0,830	1,030	0,934	0,003	0,055
	Nitritos (mg/l)	0,001	0,006	0,003	0,000	0,001
	Nitrógeno amoniacal (mg/l)	1,310	21,420	1,754	6,670	2,583
	Fosfatos (mg/l)	0,130	0,420	0,278	0,008	0,091
	Sulfatos (mg/l)	787,000	989,000	855,667	2407,819	49,070
	Fósforo total (mg/l)	0,047	0,181	0,103	0,002	0,042
	Clorofila "a"	48,254	60,649	54,397	11,605	3,407
	Clorofila "b"	19,136	26,120	23,185	3,441	1,855
Clorofila "c"	4,036	9,549	7,143	2,658	1,630	

Fuente: los autores

3.2. Análisis de componentes principales (ACP)

El ACP permitió analizar la interdependencia de variables y encontrar una representación gráfica óptima de la variabilidad de los datos evaluándolos a partir de la matriz de correlaciones presentadas en la Tabla 2, donde se observa que los nutrientes que tienden a influir de manera directamente proporcional sobre la clorofila "a" son los nitratos 68% y sulfatos 93%, quienes presentan correlaciones significativas. La correlación entre clorofila "a" y sulfatos fue hallada por Mora Navarro (*et al.*, 2004) en un estudio realizado en el lago de Chapala, México; el autor corrobora que este nutriente es muy importante para el crecimiento y desarrollo de la clorofila "a" (fitoplancton). Las correlaciones entre los nitratos y la clorofila "a" probablemente es debido a que el nitrógeno es un nutriente esencial para el desarrollo de fitoplancton en los cuerpos de agua.

Los componentes principales generados resultaron de la combinación lineal de las variables previamente estandarizadas. En las tablas se muestran los autovalores rotados (componentes rotados), resultantes del ACP sobre la matriz de correlación. El PCA (Tabla 3), permitió identificar que cuatro de ocho componentes logran explicar el 86,682% del proceso de eutrofización de la laguna. La clorofila conformó el componente (C1), junto con los sulfatos y nitratos presentando correlaciones fuertes. El componente (C2) agrupa a los fosfatos

y el fósforo total, que permiten, como lo menciona Carlson, conocer el IET de una laguna. En el componente (C3) sobresale la relación de los nitritos con la clorofila "c" y el componente (C4) transparencia medida con el disco Secchi no logra formar grupo, estableciendo bajas afinidades con el parámetro en estudio (clorofila "a") o a su vez convirtiéndose en una variable que explica la fenomenología por sí sola.

Las CP se utilizaron para realizar el gráfico de dispersión (Figura 2), lo que permitió visualizar observaciones y variables en un mismo espacio. Se graficaron las observaciones como rombos, mientras que las variables fueron representadas como vectores desde el origen con terminación en círculos. Los sitios de muestreo se representaron con valores de E1 a E5.

El gráfico de dispersión indica que las variables determinantes en los procesos de eutrofización son la clorofila "a" los sulfatos, fosfatos, Fósforo total y nitratos. La transparencia Secchi mantiene una correlación negativa frente a la clorofila "a" y su peso no es explicado junto a las otras variables (nutrientes). Los puntos de muestreo E1R0M4, E3R0M2, E5R0M4 y E5R0M5, más cercanos a las variables de fósforo total, fosfatos y el estado trófico tienen influencia directa de actividades ganaderas que se desarrollan en sus cercanías, generando la zona con mayor vulnerabilidad (Figura 1), en proceso de eutrofización.

Tabla 2. Matriz de correlación de Pearson de nutrientes y factores de eutrofización

Variables	Nitratos (mg/l)	Nitritos (mg/l)	Nitrógeno amoniacal (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	Sulfatos (mg/l)	Fósforo total (mg/l)	Clorofila "a"	Fósforo total (%)	IET-PT	IET disco Secchi	IET clorofila "a"	IET promedio
Nitratos (mg/l)	1,0	0,06	-0,09	0,35	0,72	0,39	0,68	0,40	0,35	-0,32	0,67	0,40
Nitritos (mg/l)		1,00	-0,14	0,25	-0,08	0,12	-0,02	0,13	0,14	-0,34	-0,02	0,11
Nitrógeno amoniacal (mg/l)			1,00	0,00	-0,05	0,01	-0,04	0,01	0,04	-0,14	-0,03	0,03
Fosfatos (mg/l)				1,00	0,13	0,94	0,10	0,94	0,95	-0,36	0,10	0,95
Sulfatos (mg/l)					1,00	0,13	0,93	0,13	0,13	-0,42	0,93	0,18
Fósforo total (mg/l)						1,00	0,03	1,00	0,98	-0,24	0,02	0,98
Clorofila "a"							1,00	0,03	0,05	-0,52	1,00	0,10
Fósforo total (%)								1,00	0,98	-0,24	0,02	0,98
IET-PT									1,00	-0,34	0,05	1,00
IET disco Secchi										1,00	-0,52	-0,30
IET clorofila "a"											1,00	0,10
IET promedio												1,00

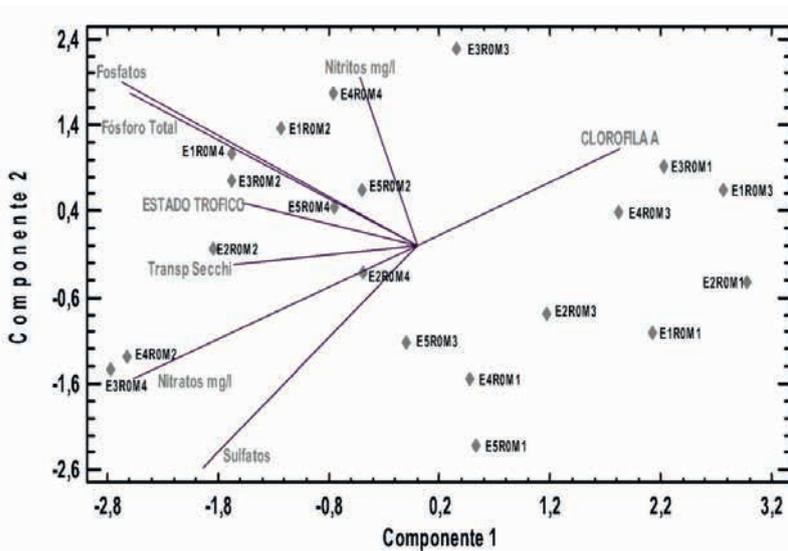
Fuente: los autores

Tabla 3. Matriz de componentes rotados

	Componente			
	1	2	3	4
Sulfatos	,963			
Clorofila "a"	,962			,155
Nitratos	,795	,336	,396	
Fósforo total		,932	,168	
Fosfatos		,902	,103	,239
Temperatura		,726		
Clorofila "c"			,953	,111
Nitritos	-,142		,440	,813
Transparencia Secchi	,455	,211	-,214	,755
% Varianza explicada	30,353	26,403	15,083	14,843
% Varianza acumulada	30,353	56,756	71,839	86,682

Fuente: los autores

Figura 2. Gráfico de dispersión de componentes principales



Fuente: los autores

3.3. Evaluación del IET mediante la escala de Carlson

El IET de la laguna Valle Hermoso bajo la comparación de la escala de

Carlson presenta un estado eutrófico (Tabla 4), característico de lagunas urbanas, a nivel temporal y espacial con procesos acelerados de descomposi-

ción de materia orgánica por condiciones anaerobias, generando enriquecimiento de nutrientes en las orillas y proliferando especies invasivas como

totoras (*Tipha Neck.*), jacintos de agua (*Eichhornia crassipes Mart.*) y lentejas de agua (*Lemna minor Hegelm.*).

Tabla 4. IET de la laguna Valle Hermoso

Monitoreo/mes	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
Punto 1 E1	65,19	70,91	67,38	69,82
Punto 1 E2	65,16	71,18	67,80	68,31
Punto 1 E3	65,64	70,49	68,81	69,29
Punto 1 E4	64,93	70,06	65,74	69,84
Punto 1 E5	65,29	68,52	67,25	68,47

Nota: oligotrófico (IET<30), mesotrófico (30<IET<60), eutrófico (60<IET<90), hipertrófico (90<IET<100) [12].

Fuente: los autores

4. Conclusiones

El análisis de componentes principales identifica los nutrientes que explican la fenomenología del proceso de eutrofización de la laguna Valle Hermoso en un 90,30%, correspondiendo a cuatro, en la que destaca por su alta correlación y capacidad de agrupamiento, los sulfatos y nitratos quienes influyen directamente en la concentración de la clorofila "a" parámetro determinante en la medición del proceso de eutrofización.

La laguna Valle Hermoso es el sumidero de contaminantes procedentes de las prácticas agropecuarias inadecuadas de la zona que conllevan el enriquecimiento del cuerpo hídrico en concentraciones de fósforo, nitratos y sulfatos los cuales constituyen un medio eficiente para la proliferación

de fitoplancton y especies de briofitas conocidas como malezas de agua que disminuyen el espejo de agua. El IET que presenta la laguna Valle Hermoso mediante el uso del índice propuesto por Carlson, establece que su estado es eutrófico a nivel temporal y espacial durante el período estudiado.

Los parámetros de nutrientes analizados demuestran el proceso de eutrofización en la que se encuentra el cuerpo hídrico, el amoníaco supera los criterios de calidad del agua para la protección de vida acuática, la transparencia Secchi no permite su uso estético con contacto primario y su altas concentraciones de sulfatos determinan el proceso de mineralización que se visualiza en las orillas de la laguna y construcciones cercanas por la sal de Candlot-Michaelis.

5. Referencias

- [1] P. Mena, La biodiversidad de los páramos en el Ecuador, Los páramos del mundo, Proy. Atlas Mund. los Páramos, pp. 496-513, 2003.
- [2] J. Tarazona y M. Ramos, "Ecotoxicology", *Encyclopedia of Toxicology*, pp. 276-280, 2014.
- [3] P. Podwojewski, J. Poulenard, T. Zambrana y R. Hofstede, "Overgrazing effects on vegetation cover and properties of volcanic ash soil in the páramo of Llangahua and al Esperanza (Tungurahua, Ecuador)", *Management*, vol. 18, pp. 45-55, 2002.
- [4] G. Chalar, "Dinámica de la eutrofización a diferentes escalas temporales: Embalse Salt Grande (Argentina-Uruguay)", *Interam. Netw. Acad. Sci.*, pp. 87-101, 2006.
- [5] W. Buytaert, R. Célleri, B. De Bièvre y F. Cisneros, "Hidrología del Páramo Andino: Propiedades, Importancia y Vulnerabilidad", *Soil Water*, pp. 1-26, 2003.
- [6] M. Ecuador, Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria, Registro Oficial, Órgano del Gobierno del Ecuador, p. 80, 2015.
- [7] C. Ledesma, M. Bonansea, C. Rodríguez y A. Delgado, "Determinación de indicadores de eutrofización en el embalse Río Tercero, Córdoba (Argentina)", *Rev. Cienc. Agron.*, vol. 44, n° 3, pp. 419-425, 2013.
- [8] V. Almanza *et al.*, "Bases limnológicas para la gestión de los lagos urbanos de Concepción, Chile", *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, vol. 44, n° 2, pp. 313-326, 2016.
- [9] N. Service, "Conservation Practice Standard: Cover Crop-Code 340", *USDA Natural Resources Conservation Service*, p. 340, mayo, 2011.
- [10] B. Oertli, R. Céréghino, A. Hull y R. Miracle, "Pond conservation: From science to practice", *Hydrobiologia*, vol. 634, n° 1, pp. 1-9, 2009.
- [11] S. Birch y J. McCaskie, "Shallow urban lakes: a challenge for lake management", *Hydrobiologia*, pp. 365-377, 1999.
- [12] R. Carlson, "A trophic state index for lakes", *Limnol. Oceanogr.*, vol. 22, n° 2, pp. 361-369, 1977.
- [13] D. Moreno, J. Quintero y A. López, "Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia", *Contactos*, n° 78, pp. 25-33, 2010.
- [14] E. Girão, E. de Andrade, M. Rosa, L. Araújo y A. Meireles, "Seleção dos indicadores da qualidade de água no Rio Jaibas pelo emprego da análise da componente principal", *Rev. Ciência Agronômicas*, vol. 38, n° 1, pp. 17-24, 2007.
- [15] N. Sriwongsitanon, K. Surakit y S. Thianpopirug, "Influence of atmospheric correction and number of sampling points on the accuracy of water clarity assessment using remote sensing application", *J. Hydrol.*, vol. 401, n° 3-4, pp. 203-220, 2011.
- [16] J. Tundisi y T. Tundisi, Eutrofização na América do Sul: Causas, consequências e tecnologias para gerenciamento e controle, 2006.
- [17] L. Barreto, F. Barros, P. Bonomo, F. Rocha y J. Amorim, "Eutrofização Em Rios Brasileiros", *Enciclopedia Biosf. Cent. Científico Conhecer*, 2013.
- [18] D. Alexandre, E. de Andrade, F. López, H. Palacio y A. Ferreira, "The water quality investigation using GIS and multivariable analysis in a semiarid region reservoir", *Rev. Ciência Agronômica*, vol. 41, n° 4, pp. 554-561, 2010.
- [19] GAD-Chimborazo, Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la provincia de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2015.
- [20] AME, Cantón Guano, Guano, 2016.
- [21] I. N. de M. e Hidrología and INAMHI, Anuario meteorológico, Guano, 2016.
- [22] M. Bonilla y G. Guillot, Notas de clase: ráticas de ecología, Bogotá, 2003.
- [23] H. Gordon, "Ship Perturbation of Irradiance Measurements at Sea. I. Monte-Carlo Simulations", *Appl. Opt.*, vol. 24, n° 23, pp. 4172-4182, 1985.

- [24] L. Cleceri, E. Rice, R. Baird y A. Eaton, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 2012.
- [25] S. Jeffrey y G. Humphrey, "New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c.hlf.1.rhlf.and c.hlf.2.rhlf. in higher plants, algae and natural phytoplankton", *Biochem. Physiol. Pflanz.*, vol. 167, pp. 191-194, 1975.
- [26] R. Carlson y J. Simpson, *A Coordinator's Guide to Volunteer Lake Monitoring Methods*, North American Lake Management Society, p. 96, 1996.
- [27] J. di Rienzo, F. Casanoves, M. Balzarini, L. González, M. Tablada y C. Robledo, *Infostat-Software estadístico*. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, 2013.

Comparison of the development of lettuce with the use of organic fertilizers vs. chemical fertilizers

Comparación del desarrollo de la lechuga con la utilización de abonos orgánicos (gallinaza) y abonos químicos (nitrofoska) para autoconsumo a nivel urbano¹

A. Zea,² T. Viloría,³ J. Cabrera,⁴ K. Ponce⁵

Abstract: *the current urban growth, has caused that every time there are less extensions of land where you can grow various types of vegetables for human consumption, this is, every time, it stops, less food, naturally, and without these contain large amounts of pesticides and chemical fertilizers, directly affecting both the environment and public health. In this situation, in urban agriculture and in the application of organic fertilizers in the use of spaces such as patios or other places in the home to produce vegetable products for self-consumption free of substances for the health care of people. In the present project the feasibility of implementing urban agriculture with the results that are used for the use and for the results is announced. Urban agriculture with the use of organic fertilizers.*

Keywords: *urban agriculture, organic fertilizers, chemical fertilizers, pesticides.*

Resumen: el crecimiento urbano actual, ha ocasionado que cada vez existan menos extensiones de terreno en donde se puedan cultivar diversos tipos de especies vegetales para el consumo humano, es por esto que cada vez se encuentra menor cantidad de alimentos producidos naturalmente y sin que estos contengan grandes cantidades de plaguicidas y abonos químicos, afectando de manera directa tanto al ambiente como a la salud pública. Debido a esta situación, se pretende con la agricultura urbana y la aplicación de abonos orgánicos optimizar el uso de espacios como patios u otros lugares de la vivienda para producir productos vegetales para el autoconsumo libres de sustancias químicas y que estos sean aptos para la salud de las personas. En el presente proyecto se da a conocer la factibilidad de implementar agricultura urbana con los resultados que se obtienen al utilizar abonos orgánicos y compararlos con

-
- 1 El presente trabajo se elaboró con el apoyo de las autoridades de la UPS-Cuenca, pero un reconocimiento especial para los estudiantes que forman parte de la universidad, en especial a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Ambiental, que a través de la cátedra de Salud Pública, lo que se pretende es aplicar las herramientas técnicas impartidas a lo largo de los diferentes ciclos con el objetivo de dar soluciones ambientales y de esta forma contribuir en la salud de las personas y de la comunidad en general.
 - 2 Angélica Geovanna Zea Cobos, máster en Ciencia y Tecnología Química, y en Gerencia en Salud y Bioquímica Farmacéutica, docente-investigadora de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (azea@ups.edu.ec).
 - 3 Tony Jesús Viloría Ávila, PhD, físico, docente-investigador de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (tviloría@ups.edu.ec).
 - 4 Jorge Jacinto Cabrera Ortiz, máster en Sistema Integrados de Gestión de la Calidad, Seguridad y Ambiente, ingeniero industrial, docente-investigador de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (jcabrerao@ups.edu.ec).
 - 5 Katherine Elizabeth Ponce Ochoa, máster en Ingeniería Ambiental, ingeniera en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, docente-investigadora de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (kponce@ups.edu.ec).

los resultados cuando se aplica abonos químicos, ya que es pertinente socializar a la comunidad las múltiples ventajas de recurrir a la agricultura urbana con la utilización de abonos orgánicos ya que se contribuye a la salud pública y al medio

ambiente, logrando iguales o mejores resultados con los obtenidos al utilizar abonos químicos.

Palabras clave: agricultura urbana, abonos orgánicos, abonos químicos, plaguicidas.

1. Introducción

El crecimiento urbano actual ha ocasionado una migración de la población hacia las zonas que antiguamente eran consideradas como rurales, provocando que cada vez existan menos extensiones de terreno en donde se puedan cultivar diversos tipos de especies vegetales para el consumo humano. Es por esto que cada vez se encuentra menor cantidad de alimentos producidos naturalmente y sin que estos contengan grandes cantidades de pesticidas y abonos químicos, afectando de manera directa tanto al ambiente como a la salud pública, pues los productos naturales al no contener químicos son beneficiosos para la salud de las personas.

Debido a esta situación se presenta una posible solución ante el agotamiento de los espacios rurales de cultivo, siendo esta la agricultura urbana con la aplicación de abonos orgánicos, la cual ha sido valorada y reconocida como una de las alternativas más valiosas para la integración socioeconómica y cultural. Esta consiste en la utilización de espacios como patios u otros lugares de las viviendas en los cuales se producen productos de origen vegetal utilizados para el autoconsumo y la comercialización en ambientes urbanos. Este tipo de agricultura surgió como forma de sub-

sistencia de hombres y mujeres que provenían de áreas rurales y que por diferentes circunstancias fueron a dar a las grandes ciudades [1].

En la actualidad muchas ciudades del mundo, ante el crecimiento poblacional acelerado que poseen, han optado por la agricultura urbana. De hecho, esta ha sido implementada en ciudades de algunos países pobres que no poseen un suelo apto para el cultivo, así como también países que poseen limitación de recursos alimenticios, es por esto que existen grandes proyectos en diferentes ciudades, principalmente en Latinoamérica, por lo que organizaciones públicas y privadas la han promovido como alternativa de desarrollo económico e inclusión social, especialmente en comunidades de escasos recursos asentadas en áreas urbanas y suburbanas, con alta vulnerabilidad social y económica.

En el presente proyecto se da a conocer los resultados que se obtienen al utilizar abonos orgánicos en la agricultura urbana y compararlos con los resultados cuando se aplica abonos químicos, ya que es bueno socializar a la comunidad las múltiples ventajas de recurrir a la agricultura urbana con la utilización de abonos orgánicos ya

que se contribuye a la Salud Pública y al medio ambiente, logrando iguales

o mejores resultados con los obtenidos al utilizar abonos químicos.

2. Métodos

Para empezar el desarrollo del proyecto es primordial que se garanticen las mismas condiciones tanto de suelo como ambientales: temperatura, luz, humedad, horas de sol y desde luego el mismo tipo de hortaliza a utilizarse, esto con el objetivo de realizar las diferentes pruebas y comparaciones, garantizando de esta forma las diferencias existentes si las hubiera. Para

efecto del mismo el proyecto se realizó en diferentes etapas.

2.1. Elaboración de los contenedores

En primer lugar, es necesario la elaboración de contenedores de madera, de esta manera es más fácil someter a las hortalizas a las circunstancias ya mencionadas anteriormente, como se observa en la Figura 1.

Figura 1. Contenedores del cultivo de hortalizas (lechuga)



Fuente: los autores

2.2. Preparado de la tierra

Seleccionado el mismo tipo de tierra para los diferentes contenedores, es necesario verificar el volumen que va ser utilizado, con la finalidad de evitar que existan cambios que podría alterar la toma de datos. En este caso el volumen que se ocupa para cada contenedor será de 0,5 m³ de tierra. Al contenedor n° 1 (abono natural) se adicionará 160 g de gallinaza como abono natural y

en el contenedor n° 2 (abono químico) se adicionará nitrofoska (un fertilizante químico compuesto que contiene en cada gránulo todos los macro y micro nutrientes que requieren los vegetales para su crecimiento y desarrollo) que sería el abono químico. Cabe indicar que se realiza la ejecución del proyecto por triplicado.

A continuación, se debe mezclar de manera uniforme la tierra con el

abono evitando que se queden zonas que abarquen una mayor cantidad. La preparación de la tierra se concluye adicionando una última capa de tierra en la parte superior y que no quede expuesto directamente el abono.

2.3. Selección de las hortalizas y trasplante

Se seleccionan tres tipos de hortalizas:

- Repollo (*Lactuca Sativa L.*)
- Lechuga de seda (*Jericho*)
- Lechuga morada (*Lollo Rossa*)

Una vez seleccionadas, se procede a realizar el trasplante en los contenedores ya fabricados. Se realiza para cada tipo de lechuga la siembra por triplicado. Se coloca en los contenedores respectivos dejando un espacio entre 15 y 20 cm entre lechuga, de esta manera permitirá su desarrollo adecuado. Además de colocar las lechugas en los contenedores con abono natural y químico, se colocan hortalizas en contenedores que no poseen ningún tipo de abono, las mismas que nos servirán para realizar el control respectivo.

Una vez realizado el trasplante se procede a realizar el riego, que debe ser abundante, de esta manera nos aseguramos que las raíces se mantengan húmedas y se puedan adaptar al suelo, El riego se lo realiza pasando un día, de manera que la tierra permanezca húmeda y permita la adaptación de manera adecuada. Desde el inicio se verifica si existe cambio alguno en la adaptación de las plántulas.

Luego, se procede a etiquetar los contenedores que indiquen el conteni-

do del suelo. Las plántulas seleccionadas deben poseer las mismas características físicas en cuanto a su tamaño, y cantidad de horas.

2.4. Control físico de las hortalizas

Transcurridos algunos días, se observa la adaptación de las hortalizas al medio. Se realiza la toma de medidas para verificar el crecimiento que tienen las plántulas en cada uno de los contenedores. El conteo de las hojas también es importante debido a que es un indicador de un desarrollo adecuado de la planta.

El promedio de crecimiento es similar entre los contenedores de abono natural y químico, en cambio, en el contenedor que no tiene ningún abono el crecimiento es lento.

El contenedor con mejor aptitud de adaptación es el que contiene abono natural, debido a que el crecimiento es más notorio con respecto al contenedor de abono químico.

2.5. Control de plagas

Una plaga principal que apareció en el cultivo fue la mosca blanca, para lo cual se realiza la aplicación de un control natural (etológico) utilizando un plástico de color amarillo. Se le cubre con aceite al plástico y de esta manera las moscas se ven atraídas por el color y quedan atrapadas [2].

2.6. Pruebas de laboratorio

2.6.1. Prueba de pH

El pH es una medida de la acidez (pH bajo = ácido) o alcalinidad (pH alto

= básico o alcalino) del medio. Por la medición del pH se puede llevar a cabo un control de las reacciones químicas que están ocurriendo y que es la que determinan si los nutrientes van a estar o no disponibles (solubles o insolubles) para su absorción. Por tal motivo, los problemas nutritivos más comunes ocurren en los cultivos cuando el pH se encuentra fuera del rango óptimo. El rango óptimo para la mayoría de los cultivos ornamentales es de 5,5 a 6,8 [3].

Si el pH del sustrato se encuentra en el rango óptimo la mayoría de los nutrientes mantiene su máximo nivel de solubilidad. Por debajo de este rango, pueden presentarse deficiencias de nitrógeno, potasio, calcio y magnesio; mientras que por encima, puede disminuir la solubilidad del hierro, fósforo, manganeso, zinc y cobre, por lo tanto, como prueba obligatoria de este proyecto es el registro del valor del pH.

2.6.2. Conductividad eléctrica (CE)

La CE mide la capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica al aprovechar la propiedad de las sales en la conducción de esta; por lo tanto, la CE mide la concentración de sales solubles presentes en la solución del suelo. Su valor es más alto cuanto más fácil se mueva dicha corriente a través del mismo suelo por una concentración más elevada de sales. Las unidades utilizadas para medir la CE son dS/m (decisiemens por metro).

Para el caso de los cultivos de las hortalizas se recomienda que la CE de un sustrato sea baja, en lo posible me-

nor a 1 dS/m-1 (1+5 v/v). Una CE baja facilita el manejo de la fertilización y se evitan problemas por fitotoxicidad en el cultivo. Por este motivo al formular un sustrato, se debe analizar la CE de los componentes para evaluar el porcentaje a utilizar en la mezcla sin elevar la CE final del sustrato formulado. En caso de que se presente un incremento de la CE, se puede corregir mediante lixiviación controlada. Es decir, lixiviar con agua de calidad hasta conseguir un volumen de lixiviado equivalente al volumen del contenedor. Otras medidas pueden ser mantener el sustrato permanentemente húmedo o sombrear e incrementar la humedad relativa ambiente para reducir el estrés de la planta [3].

2.6.3. Determinación de nitratos y fósforo en el suelo mediante espectrofotometría UV-visible

El fósforo y el nitrógeno son dos de los 17 nutrientes esenciales para el crecimiento saludable de las plantas. El fósforo (P) es esencial en todas las formas de vida conocidas, es un componente presente en todas las células de todos los organismos vivos. El fósforo aparece en estructuras complejas de ADN y ARN que, al contener y codificar la información genética, controlan todos los procesos biológicos en las plantas, el fósforo no aparece aislado en la naturaleza, sino que se encuentra siempre combinado con otros elementos con los que forma los fosfatos que pueden ser muy complejos y presentarse bajo distintas formas en los suelos, el agua, las plantas, los animales y el hombre [5] [6].

El efecto más acentuado de la falta de P es la reducción en el crecimiento de la hoja, así como en el número de hojas. El crecimiento de la parte superior es más afectado que el crecimiento de la raíz. Sin embargo, el crecimiento de la raíz también se reduce marcadamente en condiciones de deficiencia de P, produciendo menor masa radicular para explorar el suelo por agua y nutrientes [7].

Con respecto a los nitratos, las plantas contienen varios tipos de nitrógeno, según la especie, la madurez y el entorno que las rodea. El nitrato existe natural-

mente en el suelo, necesario para el crecimiento de las plantas, cerca del 90% del nitrógeno absorbido por estas está en forma de nitrato, según los cálculos de estudios realizados por la Universidad de Missouri. Los nitratos se agregan al suelo de tres formas: a través de fertilizantes, de la descomposición de materia orgánica y de estiércol animal [8].

Sin el fósforo y el nitrato adecuado, el crecimiento de la planta se retarda. Sin embargo, demasiado fósforo o una abundancia de nitratos tienen un efecto negativo en plantas y animales [7] [8].

3. Resultados

Para obtener resultados concretos sobre la utilización, tanto de abonos orgánicos como abonos químicos, y compararlos con un cultivo al cual no se le adicionó ninguno de los dos anteriores, es importante poner de manifiesto los resultados que se obtuvieron en las hortalizas y en las pruebas de laboratorio.

3.1. Resultados físicos sobre el crecimiento y desarrollo de las hortalizas

Las pruebas que se aplicaron a las hortalizas (lechugas) fue la de medir su

crecimiento y el conteo de sus hojas. Con respecto a estos parámetros, se puede indicar que los resultados demuestran que el cultivo con mejores resultados en cuanto a producción de lechugas es el suelo con abono natural, debido a que las plántulas en comparación con el contenedor de abono químico tuvieron una mejor adaptación y su crecimiento fue mayor, igual que con el contenedor que no tenía abono (Figura 2).

Figura 2. Observación del crecimiento de las lechugas con los diferentes abonos



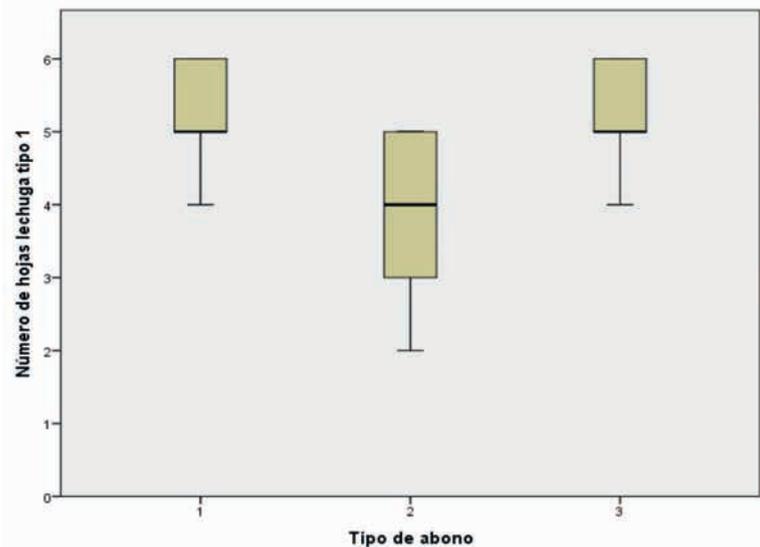
Fuente: los autores

Después de realizar un análisis Anova para las medias del número de hojas de las lechugas tipo 1, 2 y 3, cultivadas con abono orgánico, sin abono y con abono químico, respectivamente, se obtuvo el siguiente resultado: para la lechuga tipo 1 no hubo diferencia significativa entre las medias del número de hojas entre las lechugas

cultivadas con abono orgánico y químico, mientras que para ambos casos, la media del número de hojas fueron mayor que la media del número de hoja de la lechuga cultivada sin abono.

Como se observa en la Figura 3: lechuga tipo 1 (natural) = lechuga tipo 1 (químico) > lechuga tipo 1(ninguno).

Figura 3. Número de hojas de lechuga tipo 1 con abono natural (1), sin abono (2) y abono químico (3)



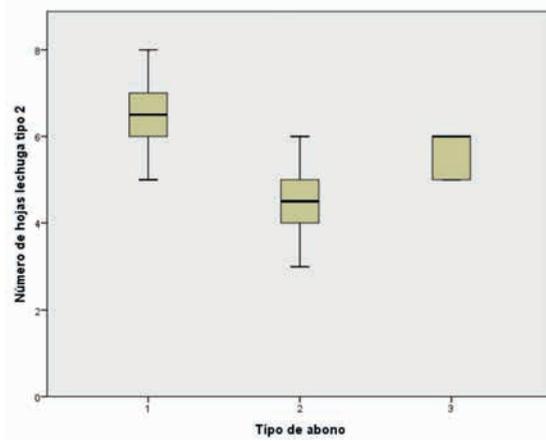
Fuente: los autores

En el caso de la lechuga tipo 2, la media del número de hojas de las lechugas cultivadas con abono orgánico fue mayor que la media del número de hojas de las lechugas cultivadas con abono químico, y estas a su vez fueron

mayores que la correspondiente a las lechugas cultivadas sin abono.

Tal como se observa en la Figura 4: lechuga tipo 2 (natural) > lechuga tipo 2 (químico) > lechuga tipo 2 (ninguno).

Figura 4. Número de hojas de lechuga tipo 2 con abono natural (1), sin abono (2) y abono químico (3)



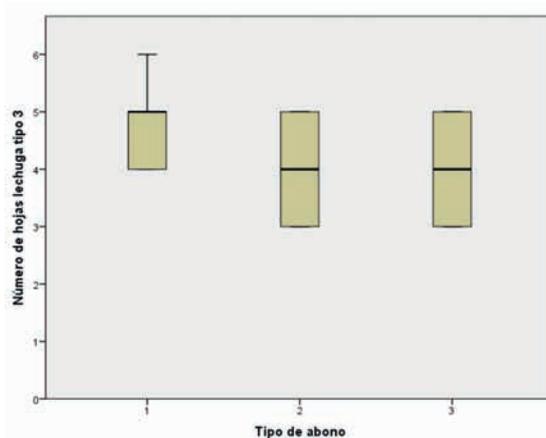
Fuente: los autores

En el caso de la lechuga tipo 3, la media del número de hojas de las lechugas cultivadas en abono orgánico fue mayor que la media del número de hojas de las lechugas cultivadas con abono químico y sin abono. Mientras que las medias del número de hojas

de las lechugas cultivadas con abono químico y sin abono no presentaron diferencia significativa.

Como se observa en la Figura 5: lechuga tipo 3 (natural) > lechuga tipo 3 (químico) = lechuga tipo 3 (ninguno).

Figura 5. Número de hojas de lechuga tipo 3 con abono natural (1), sin abono (2) y abono químico (3)



Fuente: los autores

Por lo tanto, las lechugas tipo 1, 2 y 3 resultaron tener el mayor número de hoja o compartir el primer lugar, al ser cultivadas con abono orgánico.

3.2. Resultados de parámetros físico-químicos de suelo

En el laboratorio se realiza un análisis de los parámetros físicos: pH y conductividad, y de los parámetros químicos: fósforo y nitrógeno, con el objetivo de analizar cómo influyen estos parámetros en el crecimiento y desarrollo de la planta. Transcurrido el tiempo de desarrollo y crecimiento de las hortalizas se realiza el control respectivo al

suelo obteniendo resultados aceptables en cuando al pH y conductividad en los diferentes cultivos, tanto los que se utilizó el abono natural como el químico. A pesar de tener valores diferentes de pH en los diferentes cultivos, se puede decir que están dentro del rango tanto el pH como la conductividad, existiendo una clara diferencia en la concentración de fosfatos y nitratos en los cultivos que se utilizó abono natural y abono químico, como se observa en la Tabla 1, influyendo directamente estos parámetros químicos en los resultados de crecimiento y desarrollo de las lechugas sobre todo en la lechuga tipo 2.

Tabla 1. Resultados de los parámetros físico-químicos aplicados al suelo de los cultivos

Parámetros	Suelo con abono orgánico	Suelo con abono químico	Suelo sin abono
pH	5,2	5,8	4,1
Conductividad eléctrica	11,3 μ S/cm	11,3 μ S/cm	13,5 μ S/cm
Fosfato	7,3 ppm	6,4 ppm	4,3 ppm
Nitrato	317 ppm	210 ppm	120 m

Fuente: los autores

4. Discusión

Si se mantienen las mismas condiciones del suelo en cuanto a su pH y conductividad, y si le sumamos la adición de abonos orgánicos o químicos, se ha podido verificar que es crítica la adición de estos sustratos para de esta forma garantizar el crecimiento y desarrollo de la planta, ya que sin la adición de estos sustratos no se logra el crecimiento deseado. Sin embargo,

es de suma importancia considerar que se realice un análisis previo del suelo para realizar un análisis de la adición de diferentes sustratos ya sean naturales o químicos. Es así que la lechuga en un suelo con un pH dentro de los rangos establecidos mantendrá un crecimiento adecuado, pero si el suelo resulta demasiado ácido será necesario encalar (adicionar cal para regular el

valor del pH del suelo) y hay que considerar que al regarlo pasando un día se cumplió con lo que demanda este tipo de cultivo, ya que en ningún caso admite la sequía, aunque la superficie del suelo es conveniente que esté seca para evitar en todo lo posible la aparición de podredumbres de cuello.

Al suelo es recomendable abonarlo adecuadamente pues, como se observó en el desarrollo de la práctica, las plantas pueden tener un cuidado eficiente pero al no tener los nutrientes necesarios el desarrollo va a ser míni-

mo, llegando a ser perjudicial para la producción de hortalizas.

La lechuga es un cultivo importante en la horticultura debido a la alta demanda que esta tiene en la alimentación diaria dentro de la canasta familiar, por lo que es necesario aplicar nuevos métodos de cultivo preparación y mejoramiento del terreno donde se va a cultivar con la inserción de abonos naturales y evitando la incorporación de abonos que degradan el suelo llevando este a su pérdida total.

5. Conclusiones

Con el presente proyecto se pretende concientizar a la comunidad en general el consumir hortalizas que durante su proceso de crecimiento y desarrollo en los cultivos hayan sido controlados con abonos naturales orgánicos, existiendo además el control de plagas sin la necesidad de utilizar fertilizantes químicos que por su composición y por un manejo adecuado como consecuencia va a existir repercusiones en la salud de las personas.

Se pretende dar a conocer a la comunidad en general que si no disponen de grandes extensiones de terreno en su vivienda habitual, que se puede elaborar cultivos pequeños para autoconsumo utilizando contenedores de madera como los empleados en el presente trabajo, obteniendo muy buenos resultados en cuanto a la calidad del producto, a más de estar libre de sus-

tancias químicas que pueden provocar afecciones a la salud.

Es muy importante que las personas que especialmente se dedican a los cultivos sepan la importancia de la preparación previa de un terreno y que de este va a depender los resultados finales del crecimiento y desarrollo de la planta, por lo que se sugiere que se capaciten en la importancia de la medición del pH y conductividad del suelo, que como ya se describió anteriormente juegan un rol importante en la absorción de los nutrientes que son fundamentales para obtener en este caso hortalizas como las lechugas de buena calidad y que sean aptos para el consumo humano.

Es conveniente que las personas que desean implementar cultivos para autoconsumo o la comunidad en general que se dedica a la agricultura conozca que hay varias fuentes de las cuales se

pueden obtener los nutrientes necesarios para el desarrollo y crecimiento de la planta, como lo son los Nitratos, y fosfatos, y que estas fuentes son naturales y orgánicas, y que pueden ser re-

emplazadas por los químicos como fertilizantes que van a aportar a la planta nutrientes similares a los que aportaría los abonos naturales orgánicos.

6. Referencias

- [1] Y. Leyton, C. Barbosa y L. Lugo, Efectos sociales de la agricultura urbana: una experiencia significativa, 2013.
- [2] Ecoagricultor, Naturvegan Ecologico S. L. Tratamientos ecológicos contra pulgones, mosca blanca, araña roja, cochinillas y otras plagas, 2012-2019.
- [3] L. Barbaro, M. Karlanian y D. Mata, Importancia del pH y la conductividad eléctrica en los sustratos para las plantas, Ministerio de Agricultura, Pesca y Ganadería de Argentina. Recuperado de <https://bit.ly/2J6sqrw/>
- [4] Intagri S. C., La conductividad eléctrica del suelo en el desarrollo de los cultivos. Recuperado de <https://bit.ly/2Knas2Z/>
- [5] Recuperado de <https://bit.ly/2YSBXFL/>
- [6] R. Bray y L. Kurtz, "Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils", *Soil Sci.*, vol. 59, n° 39, p. 5, 1945.
- [7] Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica, A Publication of the International Plant Nutrition Institute, IAH, 31 de diciembre de 2018.
- [8] Gruposacsa, Importancia de los nitratos y fosfatos en el suelo, septiembre, 2015.
- [9] A. Fallis. Modelo tecnológico para el cultivo de lechuga bajo buenas prácticas agrícolas en el oriente antioqueño, 2013.
- [10] Agricultura Urbana, Diseñando desde la distancia, Plataforma Urbana, 2013.
- [11] Info Agro, El cultivo de la lechuga, 2016. Recuperado de <https://bit.ly/1PeCuqx/>
- [12] Biblioteca de Campo, Manual agropecuario: tecnologías orgánicas de la granja integral auto-suficiente, Editorial Linerín, Bogotá, 2002.
- [13] Catedra de Edafología, Estructura, propiedades y comportamiento del cuerpo suelo, Cátedra de Edafología, Facultad de Ciencias Agrarias, UNCo, 2003.
- [14] G. Coello, Evaluación de cuatro productos orgánicos en el combate de plagas y enfermedades para la producción de Brócoli (*Brassica oleracea* Vr. Itálica) en Yaruquí, Statewide Agricultural Land Use Baseline, 2015.
- [15] Importancia de la Agricultura Urbana, 2015. Recuperado de <https://bit.ly/2KnbHiF/>
- [16] J. Vallejo, Elaboración de un manual guía técnico práctico del cultivo de hortalizas de mayor importancia socioeconómica de la región interandina, 2013.
- [17] *Journal of Chemical Information and Modeling*, vol. 53. Recuperado de <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004/>
- [18] L. Barbaro, M. Karlanian y D. Mata, Importancia del pH y la conductividad eléctrica en los sustratos para las plantas, Ministerio de Agricultura, Pesca y Ganadería de Argentina. Recuperado de <https://bit.ly/2J6sqrw/>
- [19] Ministerio de Agricultura y Ganadería, Guías técnicas del manejo poscosecha de apio y lechuga para el mercado fresco, 2005.
- [20] Plagas de verduras y hortalizas, 2016. Recuperado de <https://bit.ly/2KD3g1K/>

**SESIÓN TÉCNICA DE CIENCIA,
TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN
PARA LA MOVILIDAD**

Analysis of efficiency in SiC-CSI inverter topology in electric traction systems

Análisis de eficiencia en la topología de inversor CSI-SiC para sistema de tracción eléctrica¹

E. Fernández,² M. Coello,³ R. Rockwood⁴

Abstract: *at present the use of silicon carbide devices (SiC) in topologies of power converters generates many expectations. The use of these devices increases the operating ranges in frequency of switching, temperature, reduction of power losses and size of the passive elements. These features improve power density and efficiency of all electric traction system, because the power losses are reduced and the efficiency of the converters is increased. This paper presents the investigation and advantages of use of SiC devices in CSI topology to reduce power losses and improve the efficiency. The study proposes the analysis of the topology of CSI at 70 kHz of switching and include the design of the V-I converter (35 kHz) to regulate the input current. In addition, an analysis is presented on the coupling of the two topologies to determine the switching frequency of each topology is correct. The power losses and efficiency of the proposed topology (V-I and CSI converters) are analyzed, and the results are assigned on a traction system model implemented in the software Advisor to perform a comparative study between the proposed SiC topology and the results of a system conventional with silicon elements.*

Keywords: *silicon carbide- current source inverter, high frequency.*

Resumen: en la actualidad, el uso de dispositi-

vos de carburo de silicio (SiC) en topologías de convertidores de potencia genera muchas expectativas. El uso de estos dispositivos aumenta los rangos operativos en la frecuencia de conmutación, temperatura, reducción de pérdidas de potencia y tamaño de los elementos pasivos. Estas características mejoran la densidad de potencia y la eficiencia de todos los sistemas de tracción eléctrica, ya que las pérdidas de potencia se reducen y la eficiencia de los convertidores aumenta. Este documento presenta la investigación y las ventajas del uso de dispositivos SiC en la topología CSI para reducir las pérdidas de energía y mejorar la eficiencia. El estudio propone el análisis de la topología de CSI a 70 kHz de conmutación e incluye el diseño del convertidor V-I (35 kHz) para regular la corriente de entrada. Además, se presenta un análisis sobre el acoplamiento de las dos topologías para determinar si la frecuencia de conmutación de cada topología es correcta. Se analizan las pérdidas de potencia y la eficiencia de la topología propuesta (convertidores VI y CSI), y los resultados se asignan en un modelo de sistema de tracción implementado en el software Advisor para realizar un estudio comparativo entre la topología SiC propuesta y los resultados de un sistema convencional con elementos de silicón.

Palabras clave: carburo de silicio, inversor con fuente de corriente, alta frecuencia.

-
- ¹ Este trabajo fue apoyado en parte por la Universidad del Azuay y su Decanato de Investigación, mediante el proyecto que fue implementado y desarrollado por los autores miembros del Centro de Investigación y Desarrollo Automotriz ERGON.
 - ² Efrén Fernández Palomeque, Universidad del Azuay, Facultad de Mecánica Automotriz, Centro de Investigación y Desarrollo Automotriz ERGON, Ecuador (efernandez@uazuay.edu.ec).
 - ³ Mateo Coello, Universidad del Azuay, Facultad de Mecánica Automotriz, Centro de Investigación y Desarrollo Automotriz ERGON, Ecuador (mcoello@uazuay.edu.ec).
 - ⁴ Robert Rockwood, Universidad del Azuay, Facultad de Mecánica Automotriz, Centro de Investigación y Desarrollo Automotriz ERGON, Ecuador (rockwood@uazuay.edu.ec).

1. Introducción

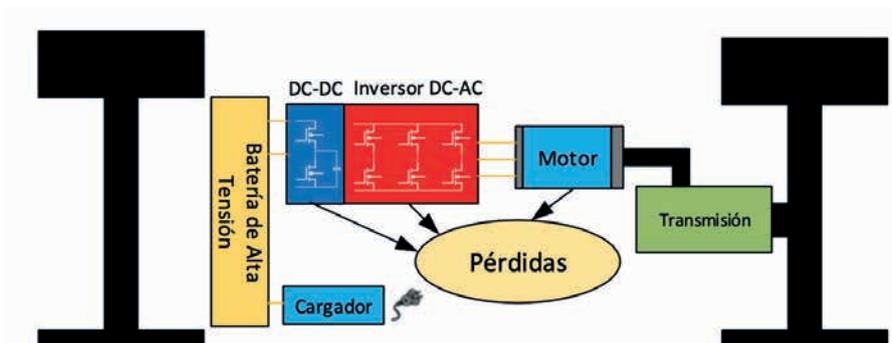
Hoy en día, la búsqueda de sistemas de tracción eléctrica más compactos, más eficientes y de alta densidad de potencia son las características que los fabricantes e investigadores concentran más trabajo y desarrollo. Para implementar estos sistemas, el uso de dispositivos de banda prohibida como carburo de silicio (SiC) juega un papel importante para llegar a los objetivos deseados.

Los dispositivos de SiC tienen ventajas significativas sobre el silicio, como la alta frecuencia de conmutación, incremento en la temperatura de operación, aumento de la conductividad térmica y reducción de las pérdidas de potencia. Pero tiene una desventaja en el proceso de fabricación, que es más complicado que el silicio

convencional, sin embargo, fabricantes como Cree, Fuji Electric, Infineon y ST están desarrollando esta tecnología a precios y calidad razonables por algunos métodos nuevos que se aplican a la construcción de estos dispositivos [1] [2] [3].

Un sistema de tracción eléctrica está formado por una batería de alto voltaje con sistema de carga, un inversor trifásico DC-AC con un elevador DC-DC y un motor eléctrico de tres fases (Figura 1). Todos estos elementos presentan pérdidas que producen una reducción de la eficiencia en todo el sistema [4] [5]. Actualmente, varias investigaciones analizan las pérdidas en cada uno de los elementos que forman un sistema de tracción eléctrica con SiC [6] [8].

Figura 1. Elementos del sistema de tracción eléctrica



Fuente: los autores

Los autores analizan las pérdidas en convertidores DC-DC y varias topologías de inversores implementados con dispositivos SiC. Los resultados

obtenidos muestran la reducción de las pérdidas de potencia y la mejora de la eficiencia, sin embargo, los resultados no se analizan en un sistema comple-

to para mostrar las ventajas que puede representar el uso de SiC dentro de los sistemas de tracción eléctrica. La mayoría de los trabajos y la información consultada se concentran en el uso de la topología del inversor VSI [9] [10]. Ciertos autores presentan un estudio y analizan el impacto del SiC en un sistema completo de tracción eléctrica, pero en la topología del convertidor VSI [11] [12]. Otros autores presentan una topología de Convertidor CSI, pero los dispositivos utilizados son transistores bipolares de puerta aislada con bloqueo inverso (RB-IGBT), los resultados muestran que la topología propuesta tiene pérdidas más bajas para la mayoría de los puntos de operación del vehículo en situaciones de conducciones a altas velocidades [13] [14].

La falta de investigación que involucra la topología CSI con dispositivos SiC para analizar las ventajas de estos semiconductores en un sistema de tracción eléctrica desde el punto de vista de la eficiencia es la razón para desarrollar la presente investigación.

2. Topologías propuestas para el análisis

2.1. Topología propuesta

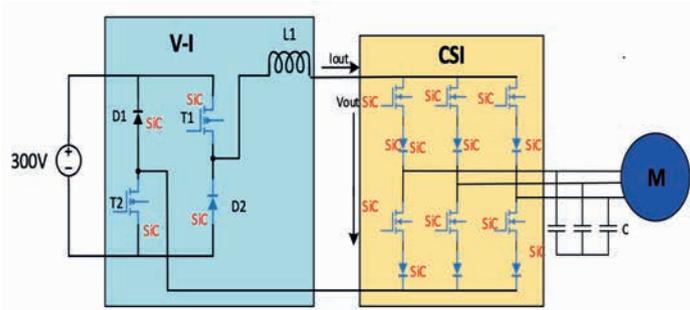
La topología CSI es ideal para operar a altas frecuencias, permitiendo que el inductor de entrada y los condensadores del filtro de salida del inversor se reduzcan de tamaño [15]. Ciertas ventajas en comparación con la topología CSI son: la capacidad de alto voltaje, la protección automática contra cortocir-

Este artículo presenta un análisis de un inversor CSI y un convertidor V-I como elevador DC-DC implementados con dispositivos SiC. El análisis incluye el estudio del acoplamiento de topologías en frecuencia para mejorar la eficiencia y las pérdidas de potencia. El análisis se valida en un modelo de automóvil eléctrico implementado en Advisor en una condición de ciclo de conducción.

El documento presenta las siguientes secciones: la sección dos presenta las topologías de convertidor de SiC propuestas para el análisis y la sincronización de frecuencias. La sección tres muestra el sistema de pérdidas de potencia y eficiencia de la topología propuesta. En la sección cuatro se presenta la validación de los resultados en el modelo de sistema de tracción eléctrica implementado en el software Advisor. Además, se presenta un estudio comparativo entre los resultados obtenidos con dispositivos de SiC y un modelo implementado con dispositivos de silicio convencionales. Finalmente, las conclusiones se muestran en la sección cinco.

cuitos y el voltaje de salida sinusoidal debido al efecto de los condensadores de CA del filtro de salida [16]. La topología propuesta para este análisis se presenta en la Figura 2. La topología utiliza un convertidor V-I para regular y controlar la entrada de corriente, un CSI trifásico que genera las corrientes trifásicas y el motor eléctrico síncrono de imán permanente (PMSM).

Figura 2. Topología de convertidor propuesto



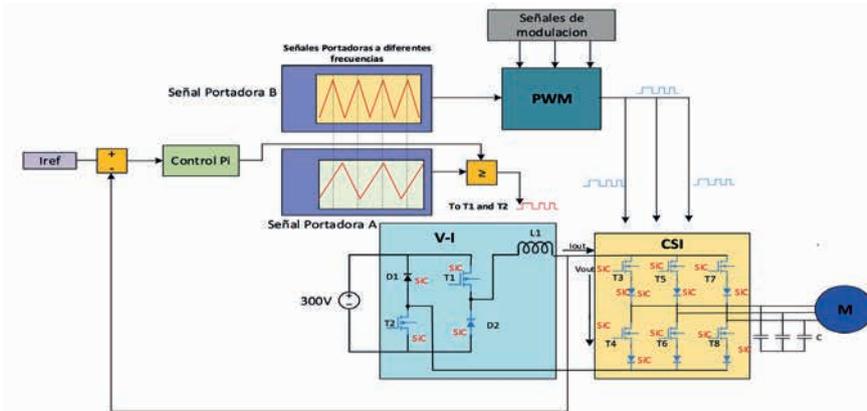
Fuente: los autores

El convertidor V-I tiene dos modos de operación y permite la bidireccionalidad de la corriente. En el primer modo, los Mosfet SiC T_1 y T_2 están encendidos bajo esta condición, el voltaje de la batería se aplica al convertidor y se carga el inductor. En este modo se obtienen un I_{out} y el voltaje $V_{out} = V_{Batería}$ [14]. El retorno de corriente lo realiza a través de la activación del Mosfet SiC T_2 , los diodos $D1$ y $D2$ están en polarización inversa, por lo que no están activados. En el segundo modo, los Mosfet

SiC se apagan y la corriente fluye a través de los diodos D_1 y D_2 , en este modo el convertidor de corriente devuelve la energía para recargar la batería de alto voltaje $V_s = -V_{Batería}$ [16].

Para la activación del CSI se utiliza una modulación PWM. Para el convertidor V-I, una segunda señal portadora se compara con el control PI implementado para obtener una salida de corriente constante. El esquema de funcionamiento que se muestra es la Figura 3.

Figura 3. Esquema de funcionamiento y sincronización de convertidores de potencia

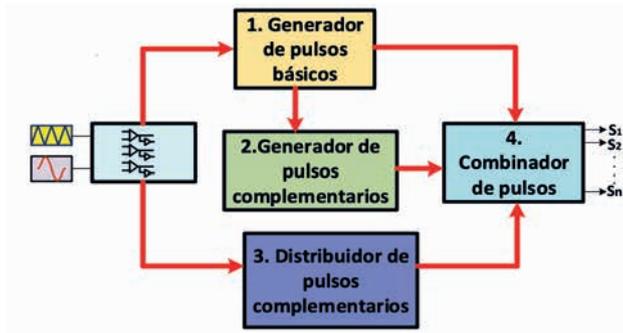


Fuente: los autores

Para el uso de la modulación PWM en CSI se debe cumplir con tres reglas fundamentales. Primero, se debe garantizar una fuente de corriente constante en todo momento. Segundo, los transistores deben funcionar en la medida en que se evite un circuito abierto en el enlace DC-DC o un cortocircuito en los capacitores de salida. Tercero,

solo dos interruptores serán activados en cualquier momento. Si hay más de dos, las formas de onda de la corriente PWM no se pueden definir. Para cumplir con estas condiciones se utiliza la técnica de modulación presentada en [17] y consta de cuatro bloques principales (Figura 4).

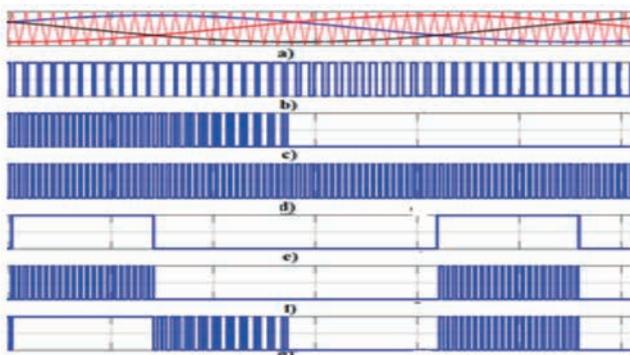
Figura 4. Bloques para la técnica de PWM



Fuente: los autores

El mapa de señales en los bloques se muestra en la Figura 5.

Figura 5. Señales de generación de disparos: señales portadoras y moduladoras (a), generador de impulsos PWM convencional (b), generación básica (c), pulsos de cortocircuito (d), pulsos de distribución (e), señal de distribución (f), señales de activación (g)



Fuente: los autores

2.2. Sincronización de frecuencias

Para la sincronización se considera la ecuación (1):

$$f_s = \begin{cases} f_{s(vi)} = 2f_{s(ksi)} \\ 2f_{s(vi)} = f_{s(ksi)} \end{cases} \quad (1)$$

La primera condición asigna el valor de la frecuencia de conmutación del CSI el doble que la del convertidor V-I y la segunda condición indica que la frecuencia de conmutación del convertidor V-I es el doble que la del CSI.

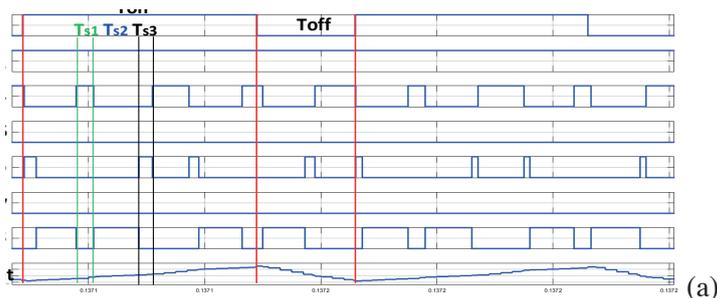
En estas condiciones, la corriente de salida del enlace de DC se analiza de acuerdo con las señales de activación del V-I y el CSI. Este análisis nos permite verificar la condición de operación adecuada para cada convertidor en función de la distorsión armónica de la corriente de salida en el convertidor V-I. La Figura 6 muestra el mapa de activación para los convertidores V-I y CSI con $F_s = 35 \text{ kHz}$.

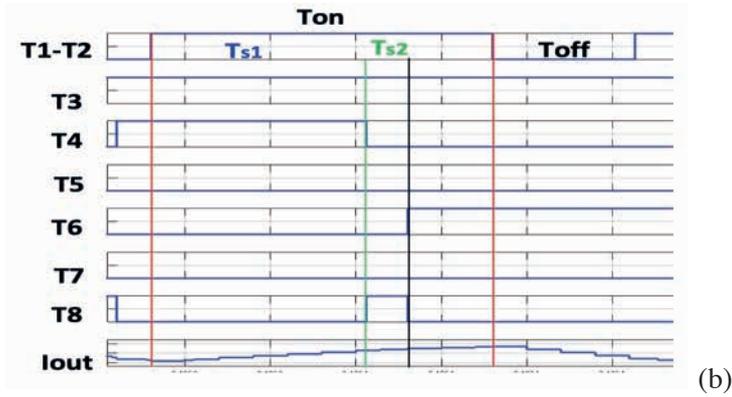
El V-I tiene dos estados de encendido y apagado, cada estado tiene una duración de tiempo T_{off} y T_{on} . La corriente del CSI se cortocircuita cuando

dos transistores de una rama se conmutan al mismo tiempo (T_{s1}), en T_{s2} dos transistores están cerrados uno superior y otro inferior de ramas diferentes (T_3 y T_8) y la corriente fluye a través de la carga conectada al CSI. Esto sucede siempre que los transistores del V-I T_1 y T_2 estén activados (T_{on}). Si están abiertos, la corriente desciende y tiene una pendiente de caída durante la duración del T_{off} . Luego, en el tiempo, T_{s3} sigue la conducción de la corriente, pero ahora lo hace por la de T_3 que está en la parte superior de una rama y T_6 que pertenece a la parte inferior de la rama dos a través de la carga que tiene el CSI y la secuencia es repetitiva.

En la segunda situación, cuando la frecuencia de V-I es el doble de CSI, la corriente de CSI se cortocircuita cuando dos transistores de una rama se conmutan al mismo tiempo (T_{s1}), aquí la corriente tiene una pendiente positiva. En la próxima vez que T_{s2} , la corriente fluye por el encendido de los dos transistores de dos ramas diferentes (T_3 - T_8) y se cierra para conectar la carga al CSI. Esto sucede siempre que los transistores de V-I T_1 y T_2 estén activados (T_{on}).

Figura 6. Mapa de activación: para V-I = 35 kHz y CSI=70 kHz (a) y para V-I = 70 kHz y CSI= 35 kHz (b)

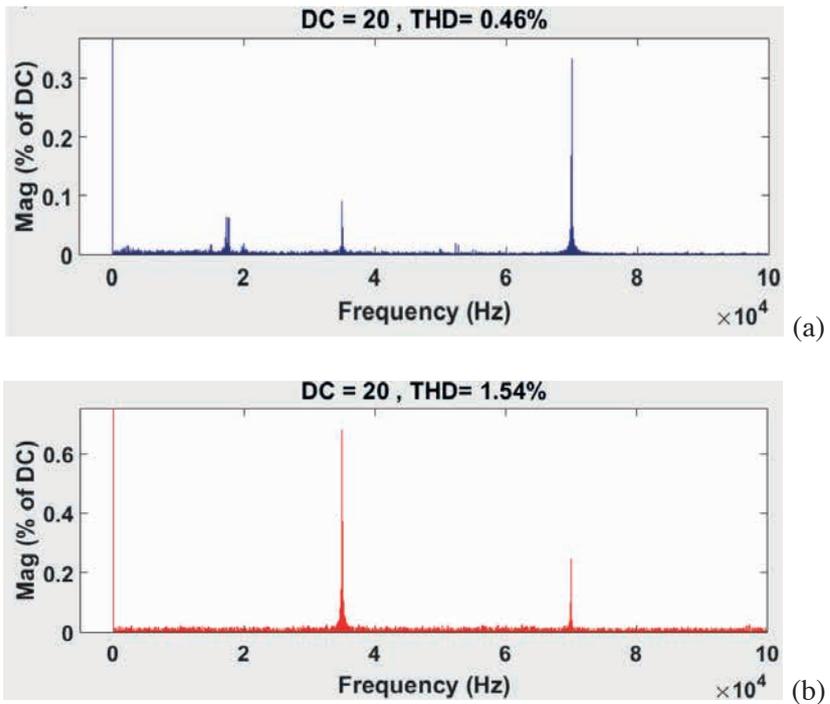




Fuente: los autores

Si se comparan estos dos casos y se analiza el THD de la corriente de salida del V-I con un componente DC, los resultados obtenidos se muestran en la Figura 7.

Figura 7. Resultados de THD: THD en DC para V-I = 35 kHz y CSI = 70 kHz (a) y THD para V-I = 70 kHz y CSI = 35 kHz (b)



Fuente: los autores

De esta manera podemos concluir que este análisis permite analizar el comportamiento de las dos topologías, y la operación en frecuencia del CSI

con respecto al V-I debe ser al doble para obtener una menor distorsión armónica en la salida del V-I.

3. Resultados

3.1. Pérdidas de potencia y eficiencia

En esta sección se presenta el análisis de pérdidas de potencia en el sistema de tracción eléctrica propuesto. El sistema está compuesto por un convertidor de potencia V-I, un inversor CSI que contro-

la un motor eléctrico PMSM. Además, se establece una comparación con dispositivos convencionales de silicio. Las características de las operación de los dispositivos de SiC y Si que se utilizan para el análisis se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de los dispositivos SiC y Si

Parámetros	Dispositivos SiC	Dispositivos Si
Modelos	C2M0040120D	HGTG30N60B3D
V_{DS}	1 200 v	600 V
Corriente	60 A	60 A
R_{ds}	40 m Ω	/
Disipación de W	330 w	208 w
Temperatura	150° C	110° C
Energía de conmutación en encendido E_{ON}	1 mJ	800 μ J
Energía de conmutación en apagado E_{OFF}	0,4 mJ	900 μ J
Frecuencia de conmutación	35 kHz (DC-DC) 70 kHz (CSI)	5 kHz (DC-DC) 10 kHz (CSI)
Modelo Diodo Sckotty	C5D50065D	FFH60UP60S
Voltaje Inverso V_{RRM}	650 v	600 V
Carga capacitiva Total Q_C	110 nC	/
Corriente continua	50 A	60 A

Fuente: los autores

3.2. Pérdidas de potencia en V-I y CSI

Las pérdidas de potencia analizadas son las pérdidas de conducción y de conmutación. Las pérdidas de conducción en el Mosfet SiC y el diodo SiC se pueden expresar por las ecuaciones (2) y (3), las pérdidas de conmutación en el Mosfet SiC y el diodo SiC se expresan en (4) y (5) [18] [19].

$$P_{\text{cond_MOSFET}} = R_{\text{ds(ON)}} I_{\text{rms}}^2 \quad (2)$$

$$P_{\text{cond_Diodo}} = I_{\text{DC}}^2 R_{\text{D}} + I_{\text{DC}} V_{\text{D}} \quad (3)$$

$$E_{\text{on}} = \int_0^{\text{tri}+\text{tfv}} V_{\text{ds}}(t) I_{\text{D}}(t) dt = V_{\text{dc}} I_{\text{on_rms}} \left(\frac{\text{tri} + \text{tfv}}{2} \right) + Q_{\text{rr}} V_{\text{dc}} \quad (6)$$

$$E_{\text{off}} = \int_0^{\text{tri}+\text{tfv}} V_{\text{ds}}(t) I_{\text{D}}(t) dt = V_{\text{dc}} I_{\text{off_rms}} \left(\frac{\text{tri} + \text{tfv}}{2} \right) \quad (7)$$

$$E_{\text{swD}} = \int_0^{\text{tri}+\text{tfv}} V_{\text{d}}(t) I_{\text{f}}(t) dt = \frac{1}{4} Q_{\text{rr}} V_{\text{dc}} \quad (8)$$

Donde, V_{DS} es la fuente de drenaje de voltaje, I_{D} la corriente de drenaje continuo V_{dc} es el enlace Dc de voltaje; T_{ri} , t_{fv} y Q_{rr} son el tiempo de subida de la corriente, el tiempo de caída de

Donde R_{ds} es la resistencia drenado fuente de Mosfet SiC, I_{rms} es la corriente efectiva que fluye en el dispositivo. I_{DC} es el valor rms de la corriente que fluye a través del diodo, respectivamente.

$$P_{\text{swM}} = \text{fsw}(E_{\text{on}} + E_{\text{off}}) \quad (4)$$

$$P_{\text{swD}} = \text{fsw}(E_{\text{swD}}) \quad (5)$$

Donde E_{ON} es la energía de conmutación de encendido, E_{OFF} es la energía de conmutación de apagado en Mosfet SiC y E_{swD} es la energía de conmutación en el diodo scotty de SiC [18]. E_{on} , E_{off} y E_{swD} se calculan mediante las ecuaciones (6), (7) y (8).

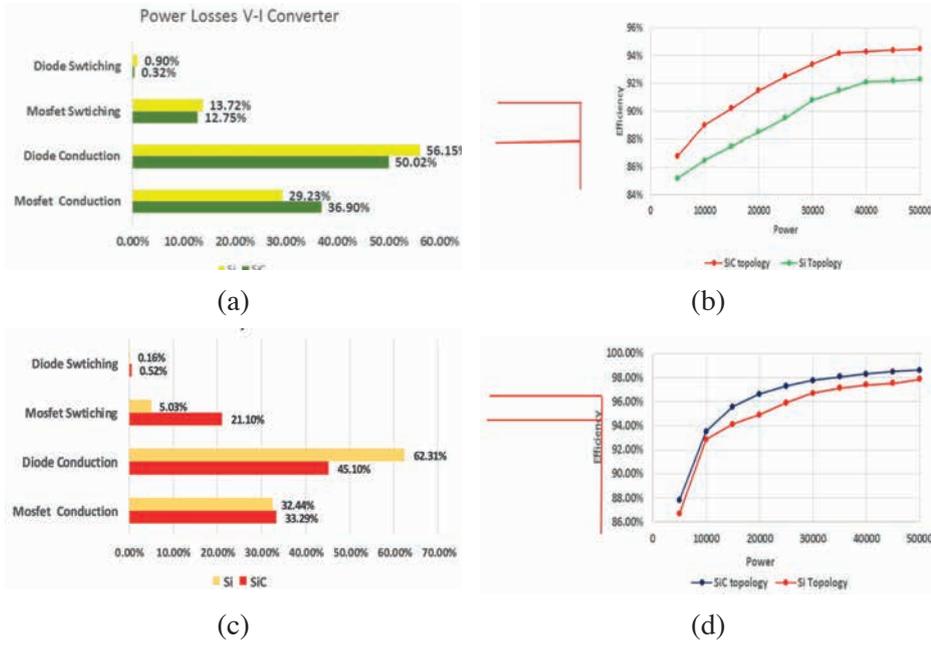
la tensión y la carga de recuperación inversa, respectivamente [24]. Todos estos parámetros están en la hoja de datos de los dispositivos. La eficiencia se calcula con la ecuación (9).

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{out}} + \sum P_{\text{Losses}}} \quad (9)$$

El análisis de las pérdidas de potencia y la eficiencia del convertidor V-I y CSI con dispositivos SiC y dispositi-

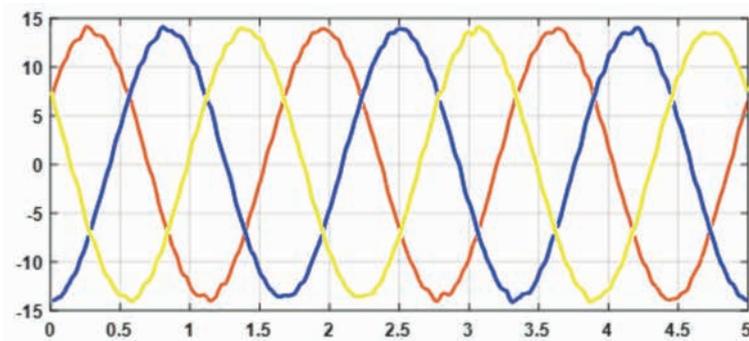
vos de silicio se presentan en la Figura 8. La salida de las corrientes en el CSI se muestra en la Figura 9.

Figura 8. Pérdidas de potencia y resultados de eficiencia: pérdidas de potencia en V-I (a), eficiencia en V-I (b), pérdidas de potencia en CSI (c), eficiencia en CSI (d)



Fuente: los autores

Figura 9. Salida de corriente en CSI



Fuente: los autores

3.3. Pérdidas de potencia en el PMSM

En el PMSM existen dos pérdidas eléctricas, las pérdidas del núcleo de

hierro y las pérdidas de cobre en el devanado. La pérdida de hierro consiste en la pérdida por histéresis y la pérdida por corrientes de Foucault.

Las pérdidas de cobre causadas por la resistencia de la bobina del estator R_s [26] [27]. Las pérdidas de cobre son las pérdidas debidas al calor (efecto joule) que produce la corriente cuando circula por un conductor y puede calcularse mediante:

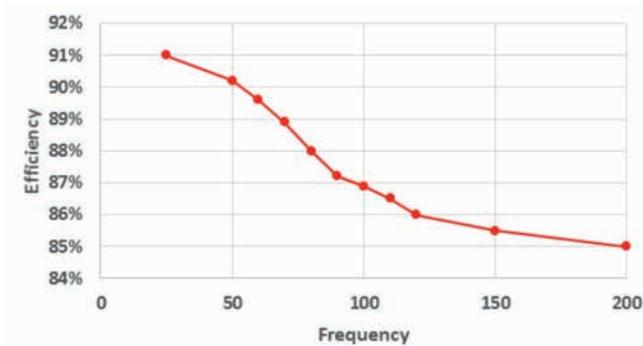
$$P_{CU} = \left(\frac{235 + \theta}{255} \right) m R_s I^2 \tag{10}$$

Donde θ es la temperatura de operación en PMSM, m es el número de fases, R_s es la resistencia e I es la corriente de operación. Las pérdidas de hierro se calculan en bases a la ecuación (11).

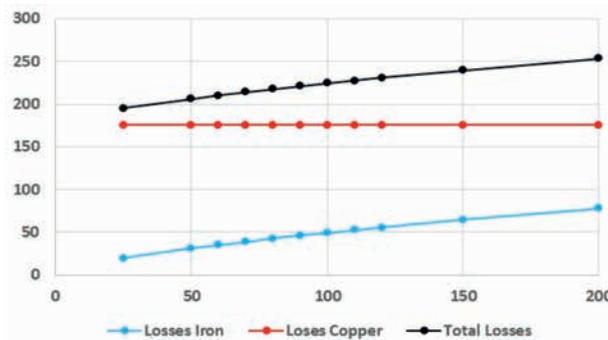
$$P_{cd} = P_{ed} + P_{hd} = K_e \sum_{n=1}^{\infty} (n\omega_r)^2 B_{p,n}^2 + K_h \tag{11}$$

Donde K_e es la constante de proporcionalidad de pérdida de Foucault que da cuenta de la conversión de volumen a peso y todas las demás constantes particulares están asociadas con materiales magnéticos; K_h es la densidad de pérdida por histéresis; $B_{p,n}$ es la densidad de flujo pico de la frecuencia angular de orden n y la tensión angular aplicada es ω_r . El resultado de las pérdidas de potencia en el PMSM a diferentes frecuencias fundamentales de operación y eficiencia se muestra en la Figura 10.

Figura 10. Resultados en PMSM: eficiencia de PMSM (a) y pérdidas de potencia en PMSM (b)



(a)



(b)

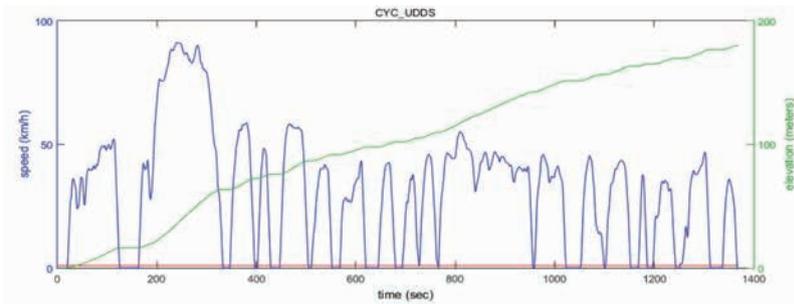
Fuente: los autores

4. Discusión

La validación del sistema de tracción eléctrica SiC propuesto consiste en analizar las pérdidas de potencia en todo el sistema y compararlas con un sistema de tracción eléctrica Si convencional, utilizando Advisor como herramienta de simulación.

El ciclo de conducción utilizado es el programa de conducción del dinamómetro urbano (UDDS, por sus siglas en inglés) de la EPA, representa las condiciones de conducción de la ciudad en la Figura 11 y se usa para pruebas de vehículos de poca potencia.

Figura 11. Ciclo de conducción UDDS

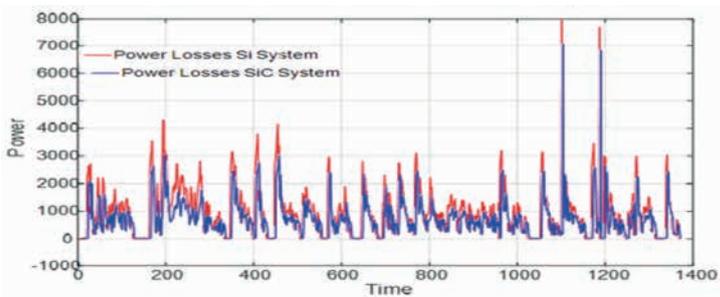


Fuente: los autores

Los resultados de las pérdidas de potencia obtenidas en la validación con Advisor muestran que las pérdidas de potencia en el sistema de tracción eléctrica SiC son más pequeñas que en el sistema de tracción eléctrica Si con-

vencional. Estos resultados demuestran que el uso de dispositivos SiC mejora la eficiencia y reduce las pérdidas de potencia en un sistema de tracción eléctrica (VI-converter-CSI-PMSM) en el ciclo del controlador UDDS.

Figura 12. Comparación de pérdidas de potencia en los sistemas de tracción SiC vs. Si

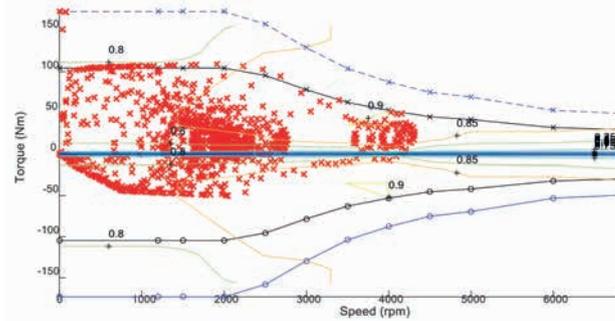


Fuente: los autores

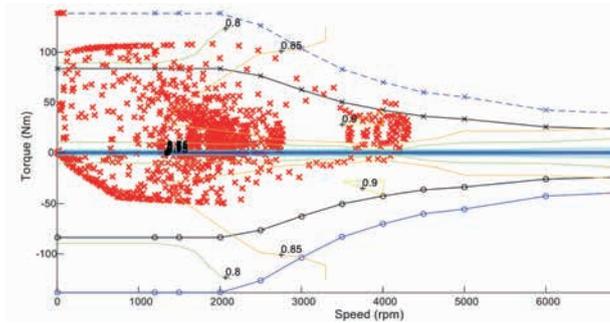
Los resultados de los puntos de eficiencia y la zona real de operación del sistema de tracción eléctrica SiC y Si a

diferentes velocidades y par, se muestran en la Figura 13.

Figura 13. Comparación de eficiencia del sistema de tracción eléctrica en SiC (a) Si (b)



(a)



(b)

Fuente: los autores

5. Conclusiones

Este trabajo presenta el estudio y el impacto del uso de dispositivos de carburo de silicio en un sistema de tracción eléctrica con un convertidor V-I (DC-DC) y un inversor con una fuente de corriente (CSI). El uso de dispositivos SiC permite operar a una frecuencia de conmutación más alta y aumentar la eficiencia en las topologías de los convertidores propuestos, reducir

las pérdidas de energía, aumentar la disipación de energía y reducir el tamaño del sistema de refrigeración. Además, se presenta un estudio para la sincronización de las dos topologías en función de las frecuencias de conmutación, el resultado muestra que la frecuencia de conmutación del CSI tiene que ser el doble que la del VI, esto reduce el contenido armónico en

la salida de CC y mejora la respuesta y eficiencia del CSI.

El uso de Advisor permite realizar una validación en un sistema real de vehículo eléctrico utilizando un UDDS

de ciclo de conducción real. Los resultados muestran que la topología con dispositivos SiC presenta menos pérdida de potencia y mejor eficiencia en comparación con la topología con dispositivos de silicio.

6. Referencias

- [1] Cree Application Considerations for Silicon Carbide Mosfet, 2015.
- [2] Hangseok Choi, "Overview of silicon carbide power devices", *Fairchild semiconductor application note*.
- [3] Infineon Technologies, Advanced Gate Drive Options for Silicon-Carbide (SiC) Mosfet using EiceDRIVER, 2014.
- [4] S. Emadi, S. Williamson y A. Khaligh, "Power electronics intensive solutions for advanced electric, hybrid electric, and fuel cell vehicular power systems", *Transactions on Power Electronics*, vol. 21, n° 3, pp. 567-577, mayo, 2006.
- [5] H. Zhang, L. Tolbert y B. Ozpineci, "Impact of SiC Devices on Hybrid Electric and Plug-In Hybrid Electric Vehicles", *Transactions on Industry Applications*, vol. 47, n° 2, pp. 912-921, marzo-abril, 2011.
- [6] Y. Attia, A. Abdelrahman, M. Hamouda y M. Youssef, "SiC devices performance overview in EV DC/DC converter: A case study in a Nissan Leaf", *Transportation Electrification Conference and Expo: Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific)*, Busan, pp. 214-219, 2016.
- [7] D. Han, J. Noppakunkajorn y B. Sarlioglu, "Comprehensive Efficiency, Weight, and Volume Comparison of SiC- and Si-Based Bidirectional DC-DC Converters for Hybrid Electric Vehicles", *Transactions on Vehicular Technology*, vol. 63, n° 7, pp. 3001-3010, septiembre, 2014.
- [8] G. Calderon y A. Forsyth, "High power density DC-DC converter with SiC Mosfet for electric vehicles", *VII IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2014)*, Manchester, pp. 1-6, 2014.
- [9] B. Wrzecionko, D. Bortis y J. Kolar, "A 120° C Ambient Temperature Forced Air-Cooled Normally-off SiC JFET Automotive Inverter System", *Transactions on Power Electronics*, vol. 29, n° 5, pp. 2345-2358, mayo, 2014.
- [10] H. Muhsen, S. Hiller y J. Lutz, "Three-phase voltage source inverter using SiC Mosfet-Design and Optimization", *VII European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'15 ECCE-Europe)*, Génova, pp. 1-9, 2015.
- [11] X. Ding, J. Cheng y F. Chen, "Impact of Silicon Carbide Devices on the Powertrain Systems in Electric Vehicles". *Energies*, vol. 10, n° 4, p. 533, 2017.
- [12] G. J. Su y P. Ning, "Loss modeling and comparison of VSI and RB-IGBT based CSI in traction drive applications", *Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)*, Detroit, MI, pp. 1-7, 2013.
- [13] L. Tang y G. J. Su, "Boost mode test of a current-source-inverter-fed permanent magnet synchronous motor drive for automotive applications", *XII Workshop on Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL)*, Boulder, pp. 1-8, 2010.
- [14] H.-J. Lee, S. Jung y S.-K. Sul, "A Current Controller Design for Current Source Inverter-Fed AC Machine Drive System", *Transactions on Power Electronics*, vol. 28, n° 3, pp. 1366-1381, marzo, 2013.

- [15] G.-J. Su y L. Tang, "Current source inverter based traction drive for EV battery charging applications", *Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, vol. 1, n° 6, pp. 6-9, septiembre, 2011.
- [16] F. Shang, A. Arribas y M. Krishnamurthy, "A comprehensive evaluation of SiC devices in traction applications", *Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)*, Dearborn, MI, pp. 1-5, 2014.
- [17] K. Abdelsalam, A. Massoud, A. Darwish y S. Ahmed, "Simplified generic on-line PWM technique for single phase grid connected current source inverters", *XXVII Annual Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, Orlando, FL, pp. 1398-1403, 2012.
- [18] Z. Anthon, M. Zhang y A. Andersen, "Comparison of a state of the art Si IGBT and next generation fast switching devices in a 4 kW boost converter", *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, Montreal, QC, pp. 3003-3011, 2015.
- [19] F. Shang, A. Arribas y M. Krishnamurthy, "A comprehensive evaluation of SiC devices in traction applications", *Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)*, Dearborn, MI, pp. 1-5, 2014.

Methodology to obtain the ignition cartography of the Engine Control Unit

Metodología para obtener la cartografía de ignición de una unidad de control del motor

W. Contreras,¹ C. Sánchez,² Y. Aguilar³

Abstract: *in the present investigation, the procedure applied to determine the base cartography of the ignition time of an Engine Control Unit (ECU), of an alternative internal combustion engine of ignition provoked (MEP), which is based on the study and simulation of both the sensors and the actuators that activate the ECU. A data acquisition protocol and its subsequent statistical analysis are applied. The statistical values generate databases that are applied for the creation of an algorithm that approximates the value of the ignition time according to the signal of the input sensors and then compares them with the real values of the ECU. The most significant conclusion of the work is that the methodology proposed to obtain the base map of the ignition of the ECU is valid, obtaining an absolute average error of less than 10%.*

Keywords: *automotive, cartography, ECU, ignition, MEP.*

Resumen: en la presente investigación, se muestra el procedimiento aplicado para determinar la cartografía base del tiempo de ignición de una unidad de control del motor (ECU, por su nombre en inglés), de un motor de combustión interna alternativo de encendido provocado (MEP), el cual se basa en el estudio y simulación, tanto de los sensores como de los actuadores que activan la ECU. Se aplica un protocolo de adquisición de datos y su posterior análisis estadístico. Los valores estadísticos generan bases de datos que se aplican para la creación de un algoritmo que aproxima el valor del tiempo de ignición en función a la señal de los sensores de entrada y posteriormente los compara con los valores reales de la ECU. La conclusión más significativa del trabajo es que la metodología propuesta para obtener la cartografía base de la ignición de la ECU es válida, al obtener un error promedio absoluto menor al 10%.

Palabras clave: automotriz, cartografía, ECU, ignición, MEP.

1 Wilmer Contreras Urgiles, máster en Sistemas Automotrices, ingeniero mecánico automotriz, docente de la Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Ecuador (rcontreras@ups.edu.ec).

2 Cristian Sánchez, estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Ecuador (csanchez@est.ups.edu.ec).

3 Yasmany Aguilar Romero, ingeniero mecánico automotriz, laboratorista de la Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (aaguilar@ups.edu.ec).

1. Introducción

En el transcurso de la historia, el encendido de los MEP ha evolucionado desde el sistema mecánico convencional activado por platinos hasta los controlados electrónicamente por mapas de ignición; estos últimos varían el ángulo de encendido en función a la información que los sensores envían a la ECU, que a su vez establece las correcciones para maximizar el par y la potencia sin comprometer la fiabilidad del motor.

El presente estudio se basa en la optimización del mapa de encendido primario, mediante una metodología que emplea técnicas de procesamiento de imágenes, que se utilizan para comparar, combinar, manipular y reconstruir varios mapas, proceso con el cual se produce un incremento de aproximadamente 5,22 kW y un par de 20,34 N*m en las ruedas [1] [2]. Con el propósito de realizar una adaptación para automóviles de carreras [3] se establecen dos algoritmos de cálculo para corregir el mapa de combustible y el de ignición. Estas modificaciones facilitan y aceleran el proceso de afinación precisa del motor. En ese mismo sentido, se describe las etapas seguidas en la elaboración de un módulo funcional y representativo de un sistema de dosificación de combustible, por medio del conocimiento de los valores que adoptan parámetros registrados y manipulados dentro del proceso, tales como: Throttle Position Sensor (TPS), Manifold Absolute Pressure (MAP), Engine Coolant Temperature (ECT), Intake Air Temperature (IAT),

y velocidad de giro del árbol cigüeñal (rpm). Adicionalmente se resalta la importancia del micro controlador como medio de control, y se definen las tareas asignadas a cada uno de los tres micro controladores empleados [4].

Además, con el propósito de mejorar el rendimiento de control de la fase de combustión de estado transitorio y adaptarse al cambio de la dinámica del motor [5], se presenta un esquema de calibración a bordo para controlar la fase de combustión de los MEP (SI, por su nombre en inglés), que proporciona un algoritmo iterativo para actualizar el mapa de inyección. Cabe agregar que se desarrolla un método para la calibración de los mapas de control, que se enfoca en utilizar como ponderación (“peso”) en las señales de entrada, a los filtros Gaussianos, con lo que se logra obtener mapas suavizados en condiciones ruidosas e incluso con pocos puntos medidos [6]. La aplicación final es conseguir el avance mínimo para el mejor control de par motor en vehículos dando como resultado nuevos mapas conocidos como [7]: MBT-maps, por su nombre en inglés Minimum Advance for Best Torque. Otro tipo de mapas de ignición que pueden ser utilizados para desarrollar estrategias de control en tiempo real, son los obtenidos a través de las funciones de correlación no lineal de la cartografía, en donde la dispersión cíclica del combustible es la base del estudio [8]. De manera semejante,

el procedimiento numérico utilizado para construir estos mapas que combina simulaciones del ciclo del motor y el modelado de los procesos de compresión, combustión y expansión; se emplea como solucionador numérico rápido para resolver las ecuaciones del modelo PSR, por su nombre en inglés Perfectly Stirred Reactor [9].

En general, los trabajos realizados explican la importancia de determinar el tiempo de ignición en función a diferentes parámetros, por lo que, mediante la presente investigación, se establece una metodología para extraer el mapa cartográfico de ignición de chispa.

2. Métodos

2.1. Conexión de los equipos de simulación

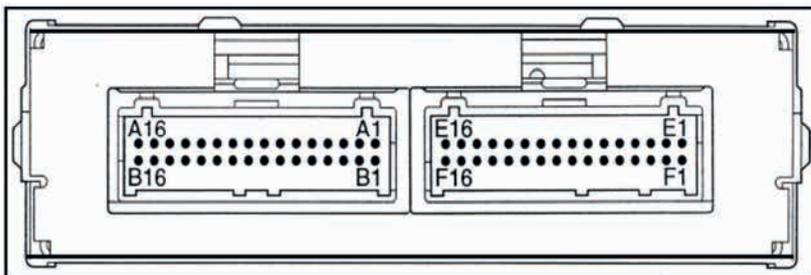
A continuación, se presenta la descripción de las conexiones del equipo experimental de simulación, que es similar a: diagrama de conexión de la ECU, conexión de simulación de los sensores, conexión de los actuadores y los parámetros de activación de la ECU, que son necesarios para la obtención de la cartografía de ignición [10].

2.1.1. Diagrama de conexión de la ECU

Se considera como objetivo principal realizar la conexión y activación de la ECU, para lo que se procede a verificar su ficha técnica que es obtenida del manual del vehículo al cual pertenece la computadora de experimentación [11].

En la Figura 1 se muestra la ubicación de los pines A, B, E y F, con su respectiva numeración de conexión para la activación de la ECU.

Figura 1. Pines de la ECU A, B, E y F



Fuente: los autores

Para proceder con la identificación de los pines, en la Tabla 1 se muestran los elementos que se conectan a cada

uno de ellos y los sensores y actuadores que posee la ECU.

Tabla 1. Identificación de los pines a usar A, B, E y F

Pin	Función
A1	Alimentación GND a la ECU
A2	Sensor de tierra B
A3	Voltaje de alimentación para el TPS y MAP
A4	Alimentación +12v de la batería
A5	Alimentación +12v de la batería
A6	Pulsos GND de la ECU para el inyector n° 4
A7	Pulsos GND de la ECU para el inyector n° 1
A8	Pulsos GND de la ECU para el inyector n° 3
A9	Pulsos GND de la ECU para el inyector n° 2
A13	Señal GND de la bomba de combustible
A4	EVAP
B1	Señal GND sensores A
B2	Señal GND sensores B
B4	Check Engine
B7	Señal de la mariposa del acelerador (TPS)
B8	Sensor de la presión absoluta de admisión (MAP)
B11	Data Link Connector
B13	IAC B, alta
B14	IAC B, baja
B15	IAC A, baja
B16	IAC A, alta
E1	Pulsos GND de la ECU para la bobina A
E2	Conexión GND hacia la ECU para la bobina A
E3	Conexión GND hacia la ECU para la bobina B
E4	Pulsos GND de la ECU para la bobina B
E5	Sensor de posición del cigüeñal (CKP +)
E7	Sensor de velocidad del vehículo (VSS)
E8	Serial Data
E16	Señal de encendido (<i>switch</i>)
F1	Pulsos GND de la ECU para la bobina A
F6	Conexión GND hacia la ECU para la bobina A
F10	Conexión GND hacia la ECU para la bobina B
F12	Pulsos GND de la ECU para la bobina B
F14	Sensor de posición del cigüeñal (CKP +)
F15	Sensor de oxígeno O2

Fuente: los autores

2.1.2. Conexión de la luz testigo (Check Engine)

En lo que concierne a la activación de la luz testigo, se inicia al conectar los pines positivo y negativo de la fuente hacia un Protoboard. Luego,

se conecta el positivo hacia el fusible, acto seguido, se deben conectar los cables hacia los pines E16, A4 y A5 de la ECU, y de GND hacia el pin A1; el pin B4 de la ECU debe ser conectado al pin negativo de un diodo LED y el

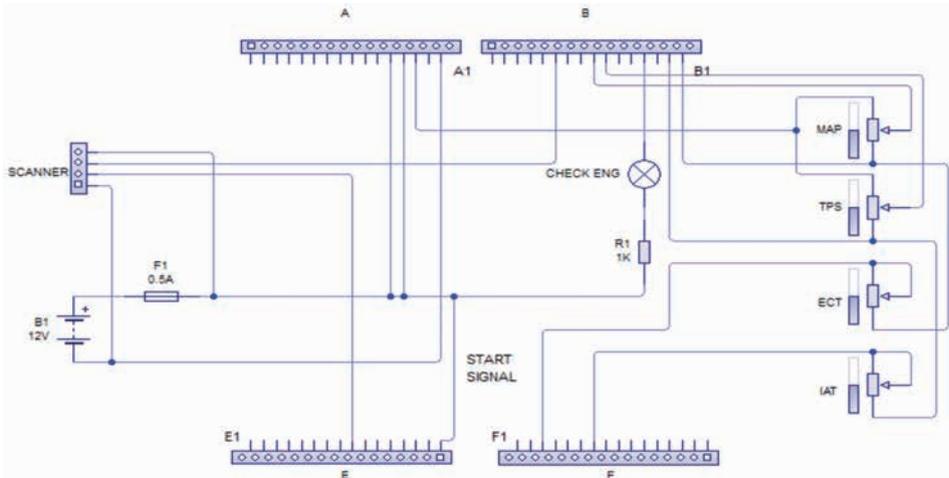
pin positivo va hacia la resistencia de $1\text{ k}\Omega$ y de este a $+12\text{ V}$.

2.1.3. Conexión de los sensores TPS, MAP, ECT e IAT

Con referencia a los sensores, se procede a conectar el pin A3 con las entradas positivas del sensor TPS y y

MAP, el pin B1 se conecta al terminal negativo del potenciómetro del MAP y del ECT, y el pin B2 a los terminales negativos del TPS y del IAC, la señal del MAP ingresa al pin B8, la del TPS al pin B7, la del ECT al pin F10 y la del IAT al pin F10 de la ECU, en la Figura 2, se aprecia el esquema de conexión.

Figura 2. Diagrama de conexión de los sensores MAP, TPS, IAT y ECT



Fuente: [12]

A continuación, se procede a conectar el sensor O₂, para esto se ha utilizado un integrado LM 7805 el cual va a enviar 5 VCC , el pin 1 se conecta a la alimentación de 12 V , el pin 2 a GND y el pin 3 se conecta a la resistencia de $20\text{ k}\Omega$ y de la salida de este se conecta al pin 1 del potenciómetro, el pin 3 se conecta a GND y el pin 2 sale la señal hacia los pines de la ECU F12 y F15. Seguidamente se simula el Knock Sensor (KS), al utilizar una resistencia de $5\text{ M}\Omega$, un pin va hacia GND y el otro se conecta al pin F6 de la ECU, como indica [12].

En cuanto a la simulación del sensor VSS, es necesario utilizar un circuito compuesto por el integrado 555 en configuración a-estable, el cual varía la frecuencia de los pulsos, con lo cual la ECU será capaz de interpretar estas pulsaciones como la velocidad del vehículo.

2.1.4. Conexión de los actuadores: bobinas e inyectores

Las bobinas son actuadores que se encargan de generar la chispa en el motor, la simulación de estas se reali-

za al conectar los pines de la ECU E2 y E3 a masa, los pines E1 y E4 a los pines negativos de los diodos LED.

Los inyectores son los encargados de proporcionar la cantidad de combustible adecuado para generar la mezcla estequiométrica en el proceso de combustión, la conexión es la siguiente, los pines A6, A7, A8 y A9 a los pines negativos de los diodos LED [12].

2.2. Metodología de toma de datos

Para la obtención de los datos de ignición de la ECU, es necesario simular un audio en un software generador de señales, los archivos creados son de diferentes frecuencias (rpm) como son: 850, 1 000, 1 500, 2 000, 2 500, 3 000, 3 500, 4 000, 4 500 y 5 000, los cuales se verifican con el scanner.

3. Resultados

3.1. Mapa de ignición del sensor MAP

Para obtener el tiempo de ignición se deben aplicar las siguientes consideraciones: ECT a 85° C, TPS al 10%, IAT a 26° C y presión atmosférica a 85 kPa. Con estos valores se procede a la toma de los grados de adelanto de ignición que se visualizan con el osci-

loscopio, donde se obtiene una señal de color amarillo, tal como se muestra en la Figura 3. El rango para el sensor MAP es de 35 a 85 kPa o 4 a 14 psi, con incrementos de 6,894 kPa equivalente a 1 psi. Respecto a las revoluciones el rango es de 850 a 5 000 rpm, con incrementos de 500 rpm [13]. Con esto valores se crea la Tabla 2.

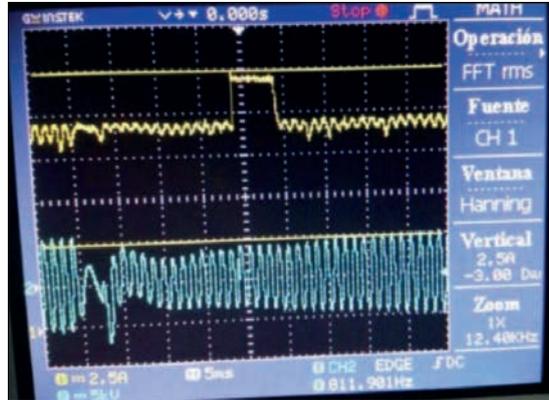
Tabla 2. Ángulo de ignición del MAP

	MAP (psi)*											
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
rpm	5 000	30	30	30	30	27	24	24	24	21	18	18
	4 500	30	30	30	30	27	25,5	24	21	18	18	15
	4 000	30	30	30	30	30	30	27	21	18	12	12
	3 500	30	30	27	30	27	24	24	21	18	15	12
	3 000	30	27	33	30	30	27	27	24	18	15	12
	2 500	27	27	27	24	24	24	21	18	12	6	3
	2 000	30	30	30	30	27	21	18	15	12	6	0
	1 500	27	30	25,5	27	21	21	18	12	9	6	3
	1 000	15	15	15	12	9	6	3	0	3	0	0
	850	15	15	15	12	9	6	3	0	6	-9	-9

* Los valores del ángulo de ignición están expresados en grados de adelanto.

Fuente: los autores

Figura 3. Lectura del ángulo de ignición en osciloscopio

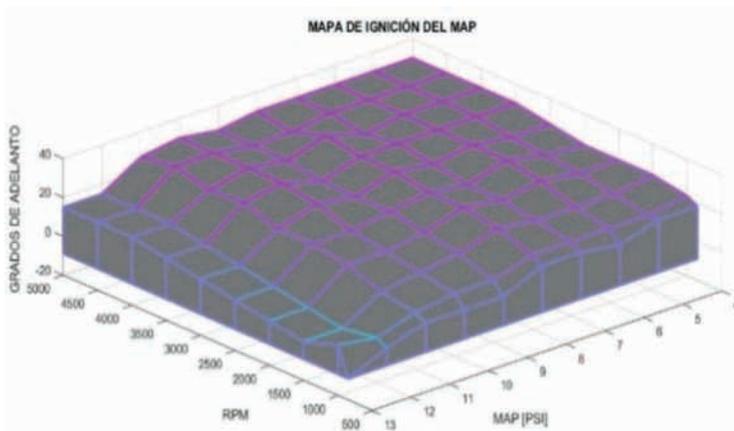


Fuente: los autores

Seguidamente, los grados de adelanto de ignición con base en el sensor MAP

de la Tabla 2, se grafican en un software, con el que se obtiene la Figura 4.

Figura 4. Mapa de ignición del sensor MAP



Fuente: los autores

3.2. Mapa de ignición del TPS

Con los siguientes parámetros: ECT a 83° C, MAP a 35 kPa, IAT a 25° C y presión atmosférica a 85 kPa; se procede a la toma de los grados de adelanto

de ignición que se visualizan con el osciloscopio. El rango para el sensor TPS es de 0% al 100%, mientras que las rpm se mantienen en el rango de la Tabla 2. Con estos valores se crea la Tabla 3.

Tabla 3. Ángulo de ignición del TPS

		TPS (%)*									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
rpm	5 000	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
	4 500	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
	4 000	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
	3 500	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
	3 000	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
	2 500	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
	2 000	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
	1 500	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
	1 000	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
850	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	

* Los valores del ángulo de ignición están expresados en grados de adelanto.

Fuente: los autores

Después se procede a ingresar los grados de adelanto de ignición del TPS de la Tabla 3 en el software, como indica en [14].

3.3. Mapas de ignición del ECT

Con los valores MAP a 35 kPa, TPS al 10%, IAT a 25° C y presión

atmosférica a 85 kPa, se procede a la toma de los grados de adelanto de ignición que se visualizan con el osciloscopio. Para el sensor ECT se aplica un rango de 0° C a 100° C con variaciones de 10° C y en el rango de rpm se mantienen los de la Tabla 2. Con estos valores se crea la Tabla 4.

Tabla 4. Ángulo de ignición del ECT

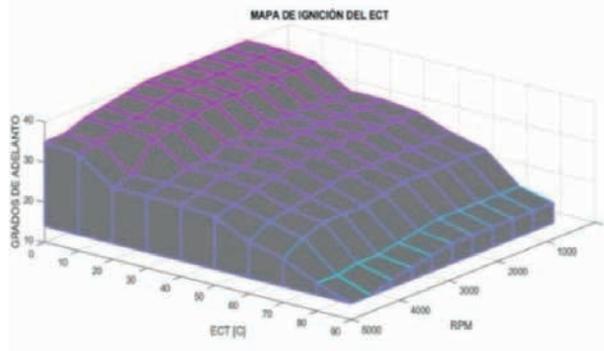
		ECT (° C)*										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
rpm	5 000	40	40	40	40	40	40	39	38	37	35	35
	4 500	40	40	40	40	40	40	39	37	37	35	34
	4 000	39	39	39	39	39	39	38	37	36	29	28
	3 500	34	34	34	34	34	33	33	31	31	29	28
	3 000	34	34	34	34	34	33	33	31	31	29	28
	2 500	33	33	33	33	33	33	32	31	30	28	27
	2 000	30	30	30	30	30	30	29	28	27	26	23
	1 500	28	28	28	28	28	27	26	26	26	24	21
	1 000	21	21	21	21	21	20	19	18	18	17	17
850	19	19	19	19	19	19	18	17	16	14	14	

* Los valores del ángulo de ignición están expresados en grados de adelanto.

Fuente: los autores

A continuación, se procede a graficar los datos de la Tabla 4 en el software y se obtiene el mapa del ECT, como se puede ver en la Figura 5.

Figura 5. Mapa de ignición del ECT



Fuente: los autores

3.4. Mapas de ignición del IAT

Con los valores: MAP a 35 kPa, TPS al 10%, ECT a 88° C y presión atmosférica a 85 kPa, se procede a la toma de los grados de adelanto de ignición que se visualizan con el osciloscopio,

para el sensor IAT. Se aplica un rango de 0° C a 50° C con variaciones de 5° C y los rangos de rpm son los de la Tabla 2. Con estos valores se crea la Tabla 5. Finalmente, en la Tabla 6 se presentan los datos obtenidos de los tiempos de ignición de los sensores.

Tabla 5. Ángulo de ignición del IAT

		IAT (° C)*										
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
rpm	5 000	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	4 500	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	4 000	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	3 500	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	3 000	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	2 500	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
	2 000	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
	1 500	23	23	23	23	24	24	24	23	23	23	23
	1 000	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
	850	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14

* Los valores del ángulo de ignición están expresados en grados de adelanto.

Fuente: los autores

Tabla 6. Valores de los grados de adelanto de ignición

MAP (psi)	TPS (%)	ECT (° C)	IAT (° C)	rpm	Avance (°)
4	10	85	26	1 000	15
5	10	85	26	1 500	30
6	10	85	26	2 000	30
7	10	85	26	2 500	24
8	10	85	26	3 000	30
5	20	85	26	1 000	24
5	30	85	26	1 500	24
5	40	85	26	2 000	27
5	50	85	26	2 500	27
5	60	85	26	3 000	27
5	10	0	26	1 000	21
5	10	20	26	1 500	28
5	10	40	26	2 000	30
5	10	60	26	2 500	32
5	10	80	26	3 000	31
5	10	85	0	1 000	16
5	10	85	10	1 500	23
5	10	85	20	2 000	26
5	10	85	30	2 500	28
5	10	85	40	3 000	29

Fuente: los autores

La matriz general de datos es aplicada a una regresión lineal multi-variable (RLMV) en el software estadís-

tico Minitab, con lo cual se obtiene la ecuación (1) de ignición de la ECU.

$$Tign = 16.93 + 0.09 * MAP - 0.0312 * TPS - 0.0313 * ECT + 0.0131 * IAT + 0.00417 * RPM \quad (1)$$

4. Discusión

Al realizar la comparación de los valores del ángulo de avance obtenidos con la ecuación (1) con los datos

obtenidos por la ECU, se obtuvo el error porcentual que se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Porcentaje de error de la ecuación de ángulo de avance

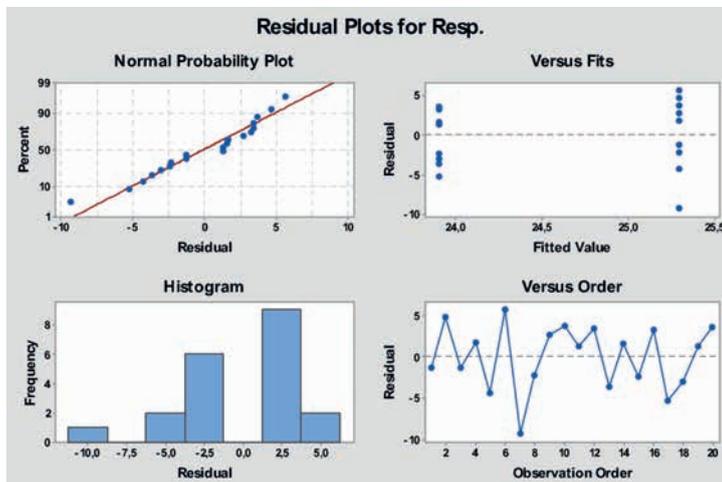
Avance ecuación (°)	Avance ECU (°)	Error (%)
27,31	28	2,46
21,57	21	2,76
25,09	26	3,48
25,69	27	4,82
27,44	29	5,37
25,35	24	5,64
27,52	30	8,24
20,79	23	9,59

Fuente: los autores

En la Figura 6 se muestra el resumen del análisis Anova realizado con en el software Minitab de los resultados obtenidos con la ecuación (1). Aquí se puede observar que los valores del residuo no siguen patrones con acumulación de

puntos y la normalidad tiene un comportamiento lineal, lo que valida el supuesto de varianza constante y, además, como los puntos fluctúan alrededor de la línea cero, la toma de datos y la utilización de la metodología son correctas.

Figura 6. Anova entre los grados de adelanto de la ECU vs. los grados de adelanto calculados

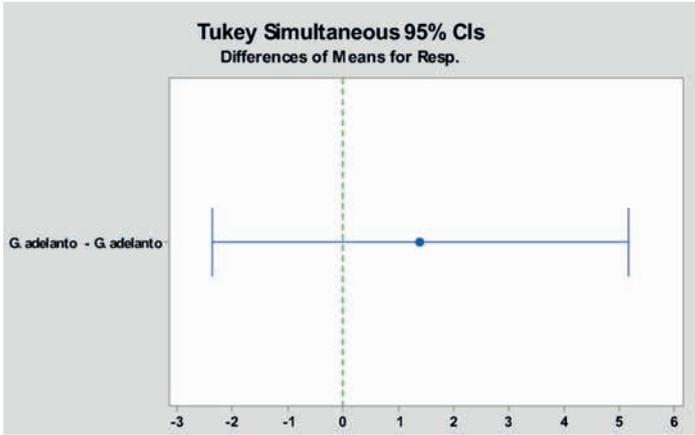


Fuente: los autores

Al aplicar un análisis de comparación por el método de Tukey, se evidencia que los valores de las medias

están cercanos a la línea cero, como se puede observar en la Figura 7.

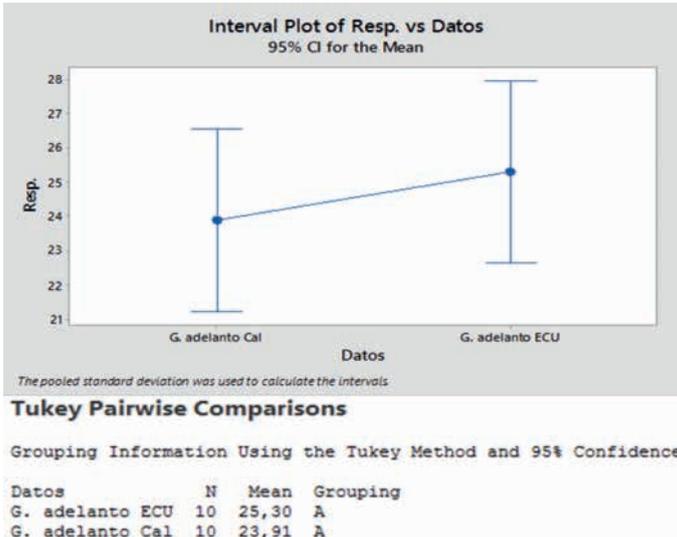
Figura 7. Comparación de resultados por el método Tukey



Fuente: los autores

En la Figura 8 se muestra que las medias de los grados de adelanto, tanto de la ecuación (1) como de los datos extraídos de la ECU, comparten un valor aproximado, además, los resultados pertenecen a un mismo grupo.

Figura 8. Intervalo de las medias de los grados de adelanto



Fuente: los autores

Finalmente, se puede indicar que esta metodología es aplicable para trabajos futuros con diferentes marcas y modelos de vehículos, que cuentan

con un sistema de control electrónico del ángulo de encendido y emplean el algoritmo obtenido para optimizar el funcionamiento del motor [7] en ciu-

dades de altura, que lleve a mejorar las prestaciones en par, potencia y reducción del consumo específico de combustible.

5. Conclusiones

La metodología propuesta para la obtención de la cartografía de la ECU es válida, ya que al obtener los valores reales de la ECU y compararlos con los valores que resultan de una regresión lineal, se obtiene un promedio del error que es menor al 10%, lo que permite, además, conocer el mapa cartográfico del sistema de ignición semi-secuencial con el que trabaja la ECU de experimentación.

Los valores obtenidos en base a la cartografía de ignición y su ecuación matemática son válidos, debido a que la comparación de medias por Tukey comparten un mismo grupo, demostrando así que al aplicar métodos estadísticos como la regresión lineal multi-variable, se pueden generar ecuaciones matemá-

ticas que orienten los valores de grados de adelanto de la chispa con respecto al PMS del cilindro.

Como la metodología aplicada para obtener los mapas de ignición funciona de manera correcta, constituye un método fácil y rápido para adquirir los diferentes mapas que posee la ECU.

Los mapas de cartografía de la ECU con respecto al adelanto al encendido dependen en gran parte de las rpm del motor y de la variación de la presión en el múltiple de admisión, ya que al variar el sensor TPS en todas las posiciones, el ángulo de encendido no tiene un cambio significativo, dando a entender que el TPS influye en menor cantidad en el adelanto al encendido.

6. Referencias

- [1] Kościelny, “Algorithms of real-time correction of the fuel map and the ignition map of a race combustion engine with spark ignition”, *International Symposium on Industrial Electronics*, pp. 62-67, 2010.
- [2] T. Bober y F. Shih, “Image Processing-Based Methodology for Optimizing Automotive Ignition Timing”, *Transactions on Vehicular Technology*, vol. 58, n° 1, pp. 85-92, 2009.
- [3] G. Jinwu, Z. Yahui y S. Tielong, “An on-board calibration scheme for map-based combustion phase control of spark-ignition engines”, *Transactions on Mechatronics*, vol. 22, n° 4, pp. 1485-1496, 2017.
- [4] J. Romero, J. Márquez y J. Orozco, “Módulo de un sistema de inyección electrónico de gasolina basado en el micro controlador Intel 8751 3”, *Scientia et Technica*, vol. 1, n° 30, pp. 191-196, 2006.
- [5] GM, Interpretando mapa de inyección principal, 28 de diciembre de 2009. Recuperado de <https://bit.ly/2ThQd90/>

- [6] S. Tamaki, Y. Sakayanagi, K. Sekiguchi, T. Ibuki, K. Tahara y M. Sampei, "On-line Feed-forward Map Generation for Engine Ignition Timing Control", *The International Federation of Automatic Control*, n° 19, pp. 5691-5696, 2014.
- [7] R. Wagner, S. Daw y J. Green, "Low-order map approximations of lean cyclic dispersion in premixed spark ignition engines", *SAE Technical Paper*, 2001.
- [8] P. Yelvington, M. Rallo, S. Liput, J. Tester, W. Green y J. Yang, "Prediction Of Performance Maps For Homogeneous-Charge Compression-Ignition Engines", *Combustion Science and Technology*, vol. 176, n° 8, pp. 1243-1282, 2004.
- [9] L. Mieczysław, D. Grzegorz y Z. Piotr, "Modelling characteristics of spark ignition engine injection system", *Advances in Science and Technology*, vol. 11, n° 2, pp. 103-117, 2017.
- [10] J. Hartman, *How to tune and modify engine management system*, Austin, Motorbooks International, 2003.
- [11] W. Contreras y C. Andrade, "Obtención de la cartografía del tiempo de inyección de una ECU", *Desarrollo Tecnológico en Ingeniería Automotriz*, vol. 1, n° 1, pp. 76-101, 2017.
- [12] M. Farrugia, M. Farrugia y B. Sangeorzan, "ECU Development for a Formula SAE Engine", *SAE 2005 World Congress & Exhibition*, vol. 1, n° 27, pp. 1-7, 2005.
- [13] D. Hitcas, D. Marin y L. Mihon, "Modelling and operational testing of pulse-width modulation at injection time for spark-ignition engine", *Tehnicki Vjesnik*, vol. 20, n° 1, pp. 147-153, 2013.

Analysis of cylinder-piston sealing through MAP sensor analysis

Análisis de la estanqueidad del cilindro-pistón mediante el análisis del sensor MAP

A. Bermeo,¹ N. Rivera,² C. Vizhco,³ C. Peñaranda⁴

Abstract: *the application of non-intrusive techniques for the diagnosis of faults in internal combustion engines is used more frequently for predictive maintenance. The present investigation focuses on visualizing the behavior of the MAP sensor signal during the admission cycle by means of a statistical analysis of it; The experimental design of the Box-Benhken response surface is applied, where the influence of the speed of the engine, the clearance of the piston rings and the viscosity of the oil on it are studied. The experimental unit, the sampling protocol and the acquisition of values are defined punctually, and the analysis of main effects and interactions between the experimental variables is carried out.*

Keywords: *volumetric efficiency, MAP signal analysis, response surface.*

Resumen: la aplicación de técnicas no intrusivas para el diagnóstico de fallas en motores de combustión interna se emplea con mayor frecuencia para el mantenimiento predictivo. La presente investigación se enfoca en visualizar el comportamiento de la señal del sensor MAP durante el ciclo de admisión por medio de un análisis estadístico de la misma; se aplica el diseño experimental de superficie de respuesta Box - Benhken donde se estudian la influencia del régimen de giro del motor, la holgura de los segmentos de los pistones y la viscosidad del aceite sobre la misma. Se define puntualmente la unidad experimental, el protocolo de muestreo y la adquisición de valores, y se realiza el análisis de efectos principales e interacciones entre las variables de experimentación.

Palabras clave: eficiencia volumétrica, análisis-señal MAP, superficie de respuesta.

-
- 1 Andrea Karina Bermeo Naula, ingeniera mecánico automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (abermeon@ups.edu).
 - 2 Néstor Diego Rivera Campoverde, ingeniero mecánico automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (nrivera@ups.edu.ec).
 - 3 Christian Andrés Vizhco Sigua, estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (cvizhco@est.ups.edu.ec).
 - 4 César Augusto Peñaranda Arcentales, estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (cpeñaranda@est.ups.edu.ec).

1. Introducción

Actualmente se han desarrollado grandes aproximaciones en la gestión electrónica del motor de combustión interna, las cuales permiten dar otro enfoque a las técnicas no intrusivas de diagnóstico. Las mismas buscan determinar la condición mecánica real de operación del motor o de sus componentes con el objeto de detectar anomalías en una etapa incipiente, sin necesidad de recurrir a intervenciones o alteraciones físicas.

El análisis de fenómenos como la eficiencia volumétrica, la estanqueidad, vibraciones en el tren alternativo y cambios de temperatura, mediante señales de los sensores, contribuyen a determinar el estado real del motor.

La eficiencia volumétrica en cada uno de los cilindros es un factor primordial para obtener un funcionamiento óptimo del motor, de tal manera que una disminución de la misma es un buen indicador para el diagnóstico de fallos por su gran sensibilidad al desgaste interno de elementos del tren alternativo. Las variaciones abruptas de la misma tienen incidencia directa sobre el comportamiento de algunos sensores. La señal analógica del sensor MAP proveniente de la medición de presión absoluta del colector de admisión, basa su comportamiento en la magnitud de fenómenos físicos y que han permitido la creación de prototipos enfocados a la medición de la cilindrada aplicando técnicas no intrusivas [4].

La primera etapa para determinar analíticamente la respuesta de la alteración de la eficiencia volumétrica, es constatar la variación de presión absoluta, por lo que es necesario cuantificar la variación del voltaje del sensor MAP durante la fase de admisión.

Un estudio preliminar determina que la pérdida de propiedades físicas del aceite, a más de generar fricción en los elementos arrastrados, colabora con la pérdida de estanqueidad entre los elementos móviles del bloque motor. Como consecuencia de la variación de su densidad y viscosidad, disminuirá la eficacia volumétrica en el cilindro, lo que implica una variación de la presión absoluta en el colector de admisión, ocasionando aceleraciones y deceleraciones de la velocidad instantánea de rotación [3].

El objetivo del presente estudio consiste en desarrollar y validar una metodología de evaluación de los componentes relacionados con la eficiencia volumétrica de los motores de encendido provocado. El desarrollo y evaluación de resultados se realiza a partir de un estudio basado en diseño experimental, en el cual se determinan los aspectos que intervienen en fase de operación con la manipulación de variables de estudio, sean estas dependientes e independientes. Cada tratamiento experimental aplicado simula el funcionamiento real de operación del motor que tiene efecto directo sobre la variable dependiente.

2. Métodos

2.1. Materiales

Se conforma por todos los elementos usados para realizar los tratamientos con el objeto de generar y obtener datos cuantitativos.

2.1.1. Unidad experimental

Las características del motor se encuentran descritas en la Tabla 1.

Tabla 1. Caracterización del motor Hyundai

Objeto de estudio	
Motor	Alpha II
Modelo	G4FK
Sistema de inyección	MPFI
Cilindrada	1.5 L (1495 cc)
Cilindros	4
Torque Máx.	134 Nm @ 4 000 rpm
Potencia Máx.	74 kW @ 6 000 rpm

Fuente: los autores

2.2. Diseño experimental

Dentro de la planeación del experimento se establecen factores de entrada con tres niveles cada uno, indicados en la Tabla 2. Estos intervienen directamente para determinar la variable de respuesta apropiada que refleje los resultados de las pruebas a ejecutar, que viene dado por el comportamiento de la señal del sensor MAP. El régimen de giro (rpm) afecta directamente la presión absoluta

en el interior del colector de admisión. La viscosidad del lubricante representa la fluidez del aceite al variar la temperatura y presión generada en el motor. Por último, la holgura de los segmentos del pistón permite simular el fallo por exceso de holgura en un nivel alto. La experimentación pretende analizar si la holgura afecta en la aspiración de la mezcla, o si se ve compensada por la viscosidad del lubricante.

Tabla 2. Variables de entrada controlables

Factor	Nivel bajo	Nivel medio	Nivel alto
Régimen de giro	700 rpm (ralentí)	1 600 rpm	2 500 rpm
Viscosidad (designación comercial)	10W30	20W50	25W60
Holgura	-50%	STD	+50%

Fuente: los autores

2.2.1. Diseño de superficie de respuesta

Las condiciones de operación del motor dan una pauta para determinar que la elección se da en base a un diseño donde se estudie el efecto de varios factores sobre la respuesta para determinar el punto óptimo de operación del proceso. Por esta razón, se elige

el diseño para la optimización de proceso para modelos de segundo orden Box-Behnken, que se usa para tres o más factores. El diseño a realizar que se presenta a continuación será desarrollado con el software Minitab 17, que genera una matriz que experimenta un total de 15 tratamientos, además, se realizan tres repeticiones que generen un total de 45 tratamientos.

Tabla 3. Matriz de Tratamientos Box-Behnken

Tratamiento	Régimen de giro (rpm)	Viscosidad (designación comercial)	Holgura (%)
1	700	10W30	0
2	2 500	10W30	0
3	700	25W60	0
4	2 500	25W60	0
5	700	20W50	-50
6	2 500	20W50	-50
7	700	20W50	50
8	2 500	20W50	50
9	1 600	10W30	-50
10	1 600	25W60	-50
11	1 600	10W30	50
12	1 600	25W60	50
13	1 600	20W50	0
14	1 600	20W50	0
15	1 600	20W50	0

Fuente: los autores

2.2.2. Variables de respuesta

El rendimiento volumétrico del motor tiene como variable de respuesta el voltaje de señal del sensor MAP,

que es proporcional a la presión interna del colector de admisión. La Tabla 4 presenta los valores de voltaje del sensor MAP en voltaje, de vacío y de presión convertidos a kPa.

Tabla 4. Relación voltaje/presión sensor MAP

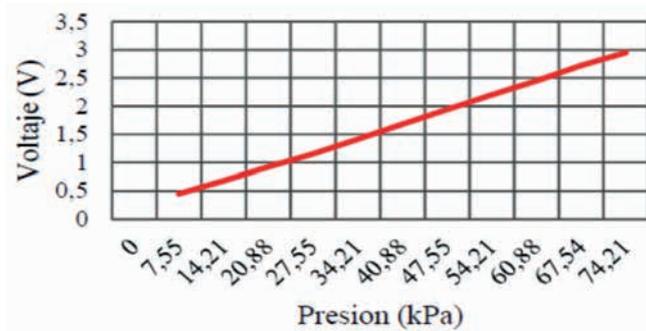
Voltaje (V)	2,95	2,72	2,45	2,2	1,94	1,68	1,41	1,15
Presión (cm/Hg)	0	5	10	15	20	25	30	35
Presión (kPa)	0	6,67	13,33	20	26,66	33,33	40	46,6

Fuente: los autores

Los datos de la Tabla 4 corresponden a una función lineal de la relación entre voltaje y presión absoluta. La ecuación (1), referida en [1], que rige al sensor es:

$$V = 0,0375 P + 0,1668 \quad (1)$$

Donde V es voltaje y P es la presión en kPa. En la Figura 1 se observa la caracterización del sensor mediante la aplicación de la ecuación (1).

Figura 1. Caracterización sensor MAP

Fuente: los autores

2.3. Adquisición de señales

Las cotas de reglaje de las válvulas determinan los grados de adelanto y

retraso a la apertura y cierre, respectivamente. El motor empleado posee un sistema DOHC con taqués hidráulicos.

Tabla 5. Cotas de reglaje de las válvulas de admisión y escape

Válvula admisión		Válvula escape	
AAA	RCA	AAE	RCE
10°	35°	35°	10°

Fuente: los autores

La sincronización de la señal del sensor CKP, del MAP y del inyector n° 1 (Figura 2), se interpreta como sigue:

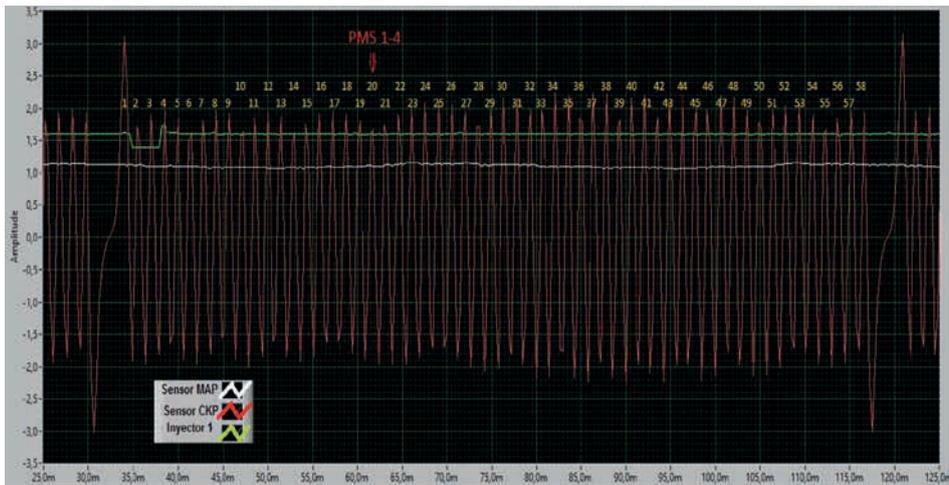
la rueda fónica tiene una configuración 60-2 dientes, de esta manera la señal del CKP tiene 58 oscilaciones por

vuelta. Con los 360° de un giro completo del cigüeñal y para los 60 dientes de la rueda, cada diente equivale a 6°.

El pistón 1 estará en el PMS, al contar 20 oscilaciones (20 dientes) tomado como referencia a la señal de los dientes faltantes. A partir del diente 18 (10° a 12° antes del PMS), el voltaje del MAP se incrementa hasta el diente 26 por efecto del traslape-solapo de las válvulas. A continuación, el voltaje del

MAP desciende nuevamente por efecto de la aspiración en el cilindro cuando el pistón desciende, esta caída de voltaje perdura hasta el diente 50, que es cuando el pistón cae al PMI; desde el diente 51 al 56 (35° de retardo del cierre de la válvula de admisión) el pistón asciende y no genera succión, esto hace que la presión en el colector y el voltaje del MAP incrementen su valor de manera directamente proporcional.

Figura 2. Reglaje de las válvulas sincronizadas CKP



Fuente: los autores

2.4. Selección de estadísticos descriptivos

Para seleccionar los estadísticos descriptivos de la respuesta, se realizan pruebas preliminares con datos del sensor MAP, a nivel bajo y alto del factor rpm, sin alteración de los factores restantes. Aplicando la prueba Tukey a estos datos, se establece que los valores estadísticos con menor *p value* para el análisis de la inves-

tigación son: error estándar de la media, desviación estándar, varianza, coeficiente de variación, mínimo, máximo, cuartil 1 y 3 (Q1 y Q3), mediana, y curtosis.

Estos descriptivos en el análisis de varianza evalúan la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles de factores.

2.5. Muestreo

El muestreo de datos por medio de la DAQ, obtiene los valores correspondientes a la señal del sensor MAP

durante el funcionamiento del motor, este es un proceso que capta valores correspondientes a la presión absoluta, en el instante de la fase de admisión.

Tabla 6. Nomenclatura para los niveles de los factores

Variable	Simbología	Descripción	Variable	Simbología	Descripción
rpm	R1	700 (ralentí)	Segmentos	S1	-50% cerrado
	R2	1 600		S2	STD
	R3	2 500		S3	+50% abierto
Viscosidad	V1	10W30	Réplica	1	Réplica 1
	V2	20W50		2	Réplica 2
	V3	25W60		3	Réplica 3

Fuente: los autores

De acuerdo a la Tabla 6, cada archivo de las pruebas realizadas se denominará con la simbología correspondiente al nivel de cada variable. Por ejemplo: R1-S2-V3-2.

Respecto a los niveles del factor holgura se manipula la tolerancia de ajuste de los segmentos 1 y 2 conocidos como

segmento de fuego y de compresión respectivamente. La calibración estándar del *ring* n° 1 es de 0,3 mm y del *ring* n° 2 es de 0,45 mm; una calibración de -50%, es de 0,15 mm al *ring* n° 1 y 0,23 mm al *ring* n° 2 y una calibración de +50% para en el *ring* n° 1 es de 0,45 mm y el *ring* n° 2 de 0,68 mm.

3. Resultados

3.1. Valores p

Los valores p presentados en la Tabla 7 describen la significancia que tiene el factor sobre cada estadístico descriptivo, los mismos que deben ser iguales o menores a 0,05, que representa el nivel de significancia y que influyen directamente sobre el estadístico.

El efecto lineal del factor rpm es significativamente representativo, ya

que el valor p para este factor es igual en todos los estadísticos descriptivos: $p = 0,000$, que quiere decir que los estadísticos de la variable de salida difieren dependiendo de las rpm del motor. El análisis de efecto lineal se enfoca a los factores viscosidad y holgura para cada uno de los estadísticos.

Tabla 7. Valores p

	Lineal	rpm	Viscosidad	Holgura	Cuadrática	rpm * rpm	Viscosidad * viscosidad	Holgura * holgura	Interacción 2 factores	rpm * viscosidad	rpm * holgura	Viscosidad * holgura
Media	0,000	0,000	0,001	0,007	0,000	0,000	0,011	0,458	0,1900	0,0460	0,4980	0,5870
EE de la media	0,000	0,000	0,506	0,843	0,000	0,000	0,920	0,004	0,2300	0,0990	0,5070	0,2830
Media recortada	0,000	0,000	0,001	0,007	0,000	0,000	0,011	0,454	0,1890	0,0470	0,4950	0,5860
Desviación estándar	0,000	0,000	0,359	0,699	0,000	0,000	0,634	0,002	0,1950	0,0900	0,4920	0,2390
Varianza	0,000	0,000	0,328	0,782	0,000	0,000	0,959	0,002	0,2040	0,0790	0,4480	0,3310
Coefficiente varianza	0,000	0,000	0,065	0,085	0,000	0,000	0,500	0,069	0,5240	1,0000	0,2020	0,4470
Suma	0,000	0,000	0,015	0,013	0,000	0,000	0,004	0,309	0,7780	0,3750	0,5940	0,9910
Mínimo	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	0,005	0,513	0,1440	0,0340	0,4960	0,5170
Q1	0,000	0,000	0,001	0,006	0,000	0,000	0,011	0,531	0,2310	0,0600	0,5100	0,6030
Mediana	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,010	0,478	0,1780	0,0420	0,5110	0,5920
Q3	0,000	0,000	0,001	0,006	0,000	0,000	0,014	0,307	0,1960	0,0500	0,4660	0,6060
Máximo	0,000	0,000	0,002	0,013	0,000	0,000	0,016	0,344	0,2870	0,0820	0,6390	0,4910
Rango	0,000	0,000	0,448	0,912	0,004	0,001	0,597	0,212	0,8060	0,4550	0,5990	0,7220
Curtosis	0,000	0,000	0,879	0,943	0,000	0,000	0,882	0,038	0,7600	0,5080	0,8300	0,4160

Fuente: los autores

3.2. *Efectos lineales*

Los estadísticos que tiene el valor p significativo son: media, mínimo, Q1, mediana, Q3 y máximo, es decir, la variación estos datos de la respuesta depende del cambio de la viscosidad del aceite.

Los estadísticos descriptivos de la respuesta que varían en función de la holgura de los segmentos son: media, mínimo, Q1, mediana, Q3 y máximo, pues el valor p es menor a 0,05.

3.3. *Efectos cuadráticos*

El efecto cuadrático tiene un valor p de 0,000, por lo que existe una curvatura en la superficie de respuestas. El valor p para rpm * rpm es 0,000 que es inferior al valor de significancia, por ende existe un efecto cuadrático en todos los estadísticos. Es decir, la relación entre rpm y los estadísticos de la variable de salida siguen una línea curva, representando una superficie de respuesta curva.

El análisis de efectos cuadráticos se centra sobre los factores viscosidad * viscosidad y holgura * holgura, los cuales se detallan a continuación:

- Los estadísticos de la variable de respuesta con valor p significativo para el factor viscosidad * viscosidad son: media, mínimo, Q1, mediana, Q3 y máximo, que interpreta que la relación entre viscosidad y estadístico sigue una trayectoria curva.
- Los estadísticos de la variable de respuesta con un valor p significativo para el factor holgura * holgura son: EE de la media, desviación estándar, varianza y curtosis, que interpreta

que la relación entre holgura y estadístico sigue una trayectoria curva.

3.4. *Efectos de interacción*

Es posible determinar que para los factores rpm * holgura y viscosidad * holgura el valor p para los estadísticos descriptivos, son superiores al nivel de significancia de 0,05, y no entran en el análisis. Es decir, el efecto rpm y viscosidad no cambiaran cuando se varíe la holgura respectivamente para cada interacción.

Los estadísticos con valor p significativo para la interacción rpm * viscosidad son: media, mínimo, mediana y Q3, que quiere decir, que el efecto de las rpm en el estadístico de la variable de salida depende de la viscosidad.

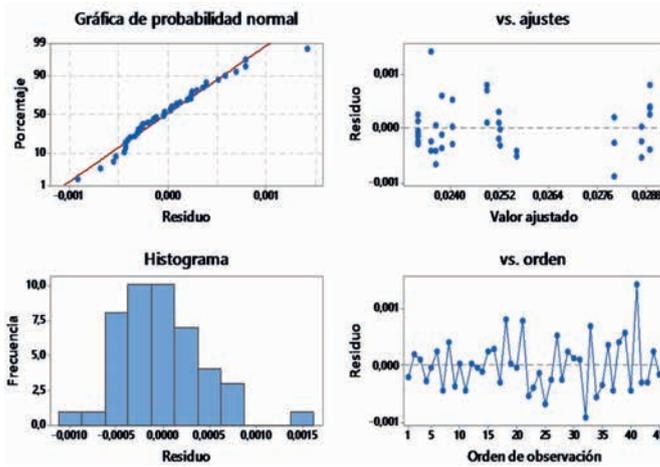
3.5. *Gráficas de residuos*

En la Figura 3 se presenta la gráfica de probabilidad normal, donde los residuos se ajustan a una línea recta, por lo que se cumple el supuesto de la normalidad de los datos. Además, el histograma certifica esto con su forma de campana, tiene un valor atípico en 0,0015 y con respecto al sesgo es casi simétrica.

Los puntos en la gráfica de valor ajustado vs. residuo no asumen ningún patrón explícito en forma de embudo, puesto que están dispersos aleatoriamente alrededor de cero, por lo que la varianza es constante, no tiene puntos atípicos ni puntos influyentes.

En la gráfica de residuo vs. orden muestra que los puntos tienen una dispersión alrededor de cero por la aleatorización de las corridas, certificando la de independencia de los resultados.

Figura 3. Gráficas de residuos para desviación estándar



Fuente: los autores

3.6. Gráficas de efectos principales

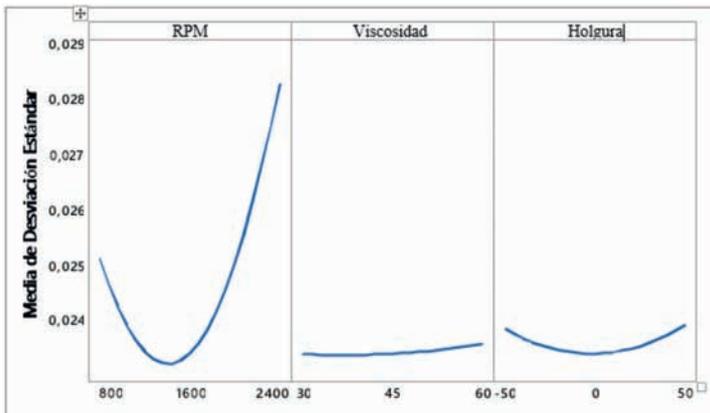
Las gráficas de efectos principales ayudan a determinar cuáles son los factores de mayor influencia sobre la variable de respuesta.

El análisis correspondiente al factor rpm se realiza de forma general,

debido a que la variación de los estadísticos de la respuesta, es alta por lo que el enfoque de análisis se centrará sobre el efecto de los factores viscosidad y holgura.

La Figura 4 muestra la relación del estadístico desviación estándar con respecto a los factores del experimento.

Figura 4. Gráfica de efectos principales para la desviación estándar



Fuente: los autores

La mayor sensibilidad del estadístico descriptivo se da respecto al factor rpm, generando mayor desviación estándar al nivel alto. El factor viscosidad, al cambiar de nivel bajo a alto, no afecta en gran medida el estadístico desviación estándar, por lo que se consideraría una dependencia casi nula.

El efecto de variar el factor holgura de nivel bajo (-50) a nivel alto (50) genera un leve incremento del estadístico con respecto al nivel medio (0).

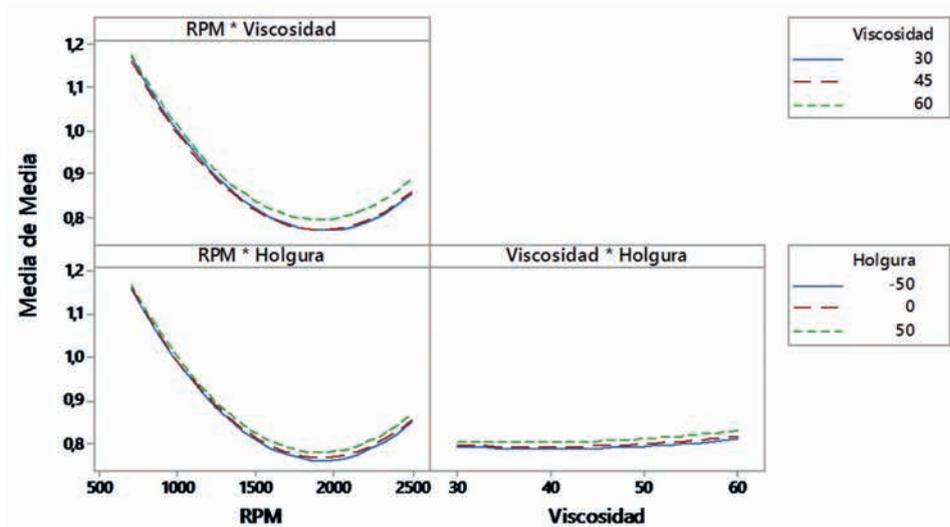
3.7. Gráficas de interacciones

A continuación se presentan las gráficas de interacciones de los factores

que afectan la variable respuesta. Estas gráficas relacionan si un factor depende del nivel de otro factor. Analíticamente, si las líneas son paralelas, indican que no hay interacción. Si existe un cruce entre las líneas y mientras mayor sea la diferencia de sus pendientes, el grado de interacción será mayor.

Una interacción significativa está presente entre rpm * viscosidad, donde la media del estadístico media es inferior para una viscosidad 45 a 700, 1 600 y 2 500 rpm en relación a las otras viscosidades. La interacción tiene un valor p de 0,0460 inferior al nivel de significancia.

Figura 5. Gráfica de interacciones para la media



Fuente: los autores

3.8. Gráficas de superficie de respuesta

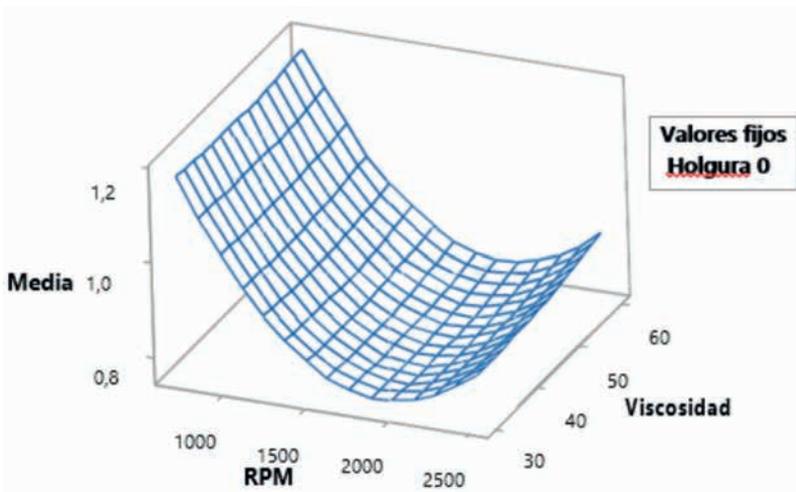
Se seleccionan las interacciones que tienen un valor α significativo. A

continuación, se analiza el estadístico significativo para media, dado que los estadísticos mínimo, mediana y Q3, tienen una interpretación muy pareci-

da. Se coloca como valor constante la holgura de los rines en 0% de apertura, para determinar cómo se afecta el estadístico por los cambios de niveles de la interacción rpm * viscosidad, donde se puede apreciar que la media disminuye hasta el régimen de 2 000 rpm,

aproximadamente, y se incrementa de nuevo hasta los 2 500 rpm. Además, se nota una discreta dependencia de la media a partir de la viscosidad del aceite la misma que se afecta solo por el régimen de giro ya expuesto.

Figura 6. Gráfica de superficie de respuesta para media



Fuente: los autores

3.9. Gráficas de superficie de respuesta

Para determinar el efecto individual que tiene cada factor sobre la variable respuesta, se establece una tabla comparativa en función de las medias ajustadas para cada estadístico descriptivo. Dicha tabla es formada al variar un solo factor, mientras los otros dos factores se mantienen en los nive-

les medios. Para la visualización de la variabilidad de los datos se establecen porcentajes equivalentes a la variación de los valores de los estadísticos descriptivos, como se observa en las tablas 8-11. Se considera 100% al valor medio, por lo que los términos con signo negativo comprenden el porcentaje de disminución, y de forma contraria para los términos con signo positivos.

Tabla 8. Estadísticos representativos para viscosidad

Niveles de los factores			Estadísticos descriptivos				
rpm	Densidad	Holgura	Media	Varianza	Mínimo	Máximo	Rango
1 600	30	0	0,796	0,00053	0,751	0,859	0,107
1 600	45	0	0,794	0,00053	0,749	0,856	0,107
1 600	60	0	0,817	0,00054	0,772	0,878	0,105

Fuente: los autores

Tabla 9. Estadísticos representativos para holgura

Niveles de los factores			Estadísticos descriptivos				
rpm	Densidad	Holgura	Media	Varianza	Mínimo	Máximo	Rango
1 600	30	0	0,257%	-0,89%	0,386%	0,325%	-0,104
1 600	45	0	100%	100%	100%	100%	100%
1 600	60	0	2,84%	1,08%	3,10%	2,55%	-1,26%

Fuente: los autores

Tabla 10. Estadísticos representativos para holgura

Niveles de los factores			Estadísticos descriptivos				
rpm	Densidad	Holgura	Media	Varianza	Mínimo	Máximo	Rango
1 600	45	-50	0,789	2,971	0,743	0,852	-0,104
1 600	45	0	0,794	2,913	0,749	0,856	100%
1 600	45	50	0,805	2,924	0,759	0,868	-1,26%

Fuente: los autores

Tabla 11. Porcentajes representativos para holgura

Niveles de los factores			Estadísticos descriptivos				
rpm	Densidad	Holgura	Media	Varianza	Mínimo	Máximo	Rango
1 600	30	0	0,257%	-0,89%	0,386%	0,325%	1 600
1 600	45	0	100%	100%	100%	100%	1 600
1 600	60	0	2,84%	1,08%	3,10%	2,55%	1 600

Fuente: los autores

4. Discusión

Para determinar cómo la viscosidad del aceite usado en un motor afecta a la señal del sensor MAP, el enfoque será sobre los estadísticos descriptivos presentes en la Tabla 9, donde el análisis será de la siguiente forma: cuando se usa un aceite V1, con holgura S2 y a régimen R2, se tiene una disminución de 0,91% en el valor de la varianza, al cambiar el aceite a V3 y conservando los factores restantes intactos, el incremento es 1,08% con enfoque al valor estándar. Los estadísticos descriptivos

de la Tabla 12 son los que mayor cambio denotan en sus valores, cuando solo se hace la variación del parámetro holgura. Por ejemplo, con una holgura S1, régimen R2 y un aceite V2, la mediana tiene una disminución de 0,63% en función del valor estándar. Se considera a V2 y S2 como valores estándar, puesto que son parámetros establecidos por el fabricante en el caso segmentos estándar y con respecto a la viscosidad un aceite 20W50 es el más empleado en el medio.

5. Conclusiones

El análisis individual del factor régimen de giro sobre el voltaje de la señal del sensor MAP no se detalla ampliamente, debido a que a mayor régimen de giro, el voltaje suele aumentar proporcionalmente al incremento de la presión absoluta en el colector de admisión, sin embargo, en esta investigación se da una disminución del voltaje de la señal del sensor MAP durante el incremento del régimen de giro del motor, esto es producto de que la experimentación, se desarrolló en un motor sin carga donde el mismo trabaja con una carga del 12,5% que corresponde al accionamiento de accesorios.

Para determinar como el factor viscosidad influye en la salida de voltaje de la señal del sensor MAP, se analiza el comportamiento del estadístico descriptivo varianza, que con una viscosidad 10W30 el voltaje de señal

disminuye en un 0,91%, y con una viscosidad 25W60 el voltaje de señal se incrementa en un 1,08%. De igual manera se pueden realizar el análisis de la media, mínimo, máximo y rango, para comprobar los resultados.

Analizando el comportamiento del estadístico descriptivo mínimo, se determinar la influencia del factor holgura sobre el voltaje de señal del sensor MAP, que con una holgura de -50%, el voltaje de señal del sensor disminuye un 0,7%, y con una holgura de 50%, el voltaje de señal se incrementa en un 1,37%. A la vez se puede realizar el análisis de la media, mediana, máximo y coeficiente de variación, para comprobar los resultados.

En la interacción rpm * viscosidad, el estadístico mínimo tiene el valor p más bajo (0,034), lo que indica que la influencia del factor rpm sobre la va-

riable de respuesta va a depender del factor viscosidad de aceite, es decir, la significancia es mayor para este estadístico a analizar.

6. Referencias

- [1] Muñoz, "Mantenimiento Industrial", 5 de agosto de 2003. Recuperado de <https://bit.ly/2BKA-3Ro/>
- [2] G. Pulido, Análisis y diseño de experimentos, México, McGraw-Hill, 2008.
- [3] F. Salvidia, "Aplicación de mantenimiento predictivo. Caso estudio: análisis de aceite usado en un motor de combustión interna", *Innovation in Engineering, Technology and Education for Competitiveness and Prosperity*, p. 10, 2013.
- [4] P. Parapi y Z. Freddy, Diseño y construcción de un equipo prototipo de diagnóstico de la comprensión de motores de combustión interna ciclo Otto con sistema MPFI Multec Delphi mediante el análisis de los sensores CKP, MAP y auxiliares, Cuenca, Universidad Politécnica Salesiana, 2013.
- [5] M. Cortés y I. Miriam, Generalidades sobre la metodología de investigación, México, Universidad Autónoma del Carmen, 2004.
- [6] Cataño, Estudio de los factores que inciden en el desempeño de motores de encendido provocado (MEP) convertidos a gas natural, Universidad de Antioquía, p. 122, 2003.

Intelligent method for spark ignition engine injection system maintenance

Método inteligente para el mantenimiento del sistema de inyección de un motor de encendido provocado

N. Rivera¹, A. Bermeo², K. Pugo³, J. Idrovo⁴

Abstract: *this article describes the method used in the development of an intelligent decision making system for the predictive and preventive maintenance of the injection system of an ignition engine (MEP), based on the processing of the signals coming from the own sensors the motor. The signals used were: the speed sensor (VSS), the absolute pressure sensor of the intake manifold (MAP), the throttle position sensor (TPS) and the crankshaft position sensor. The vehicle works under normal conditions and with three types of faults in low, medium and high revolutions. In the fault database there are values of severity, occurrence, detection and risk priority index (IPR), which are used as input to the process, in such a way an analysis of reliability, economic cost and environmental cost is made which will be used for the training of the new database with the help of Matlab software, which allows us to know what maintenance action should be performed. Finally, the data obtained is validated by comparing them with those taken in the vehicle using the Minitab software.*

Keywords: decisions, engine, economic cost, training, Minitab.

Resumen: el presente artículo describe el método empleado en el desarrollo de un sistema de toma de decisiones inteligentes para el mantenimiento predictivo y preventivo del sistema de inyección de un motor de encendido provocado (MEP), en base al procesamiento de las señales procedentes de los sensores propios del motor. Las señales utilizadas fueron: del sensor de velocidad (VSS), del sensor de presión absoluta del colector de admisión (MAP), del sensor de posición del acelerador (TPS) y del sensor de posición del cigüeñal. El vehículo trabaja en condiciones normales y con tres tipos de fallas en bajas, medias y altas revoluciones. En la base de datos de fallas se tienen valores de severidad, ocurrencia, detección e índice de prioridad de riesgo (IPR), que se utilizan como entrada para el proceso, de tal forma se realiza un análisis de confiabilidad, coste económico y coste ambiental que serán utilizados para el entrenamiento de la nueva base de datos con ayuda del software Matlab lo que permite conocer que acción de mantenimiento se deberá realizar. Finalmente, los datos obtenidos se validan comparándolos con los tomados en el vehículo utilizando el software Minitab.

Palabras clave: decisiones, motor, coste económico, entrenamiento, Minitab.

-
- 1 Néstor Diego Rivera Campoverde, ingeniero mecánico automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (nrivera@ups.edu.ec).
 - 2 Andrea Karina Bermeo Naula, ingeniera mecánico automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (abermeon@ups.edu).
 - 3 Kevin Jacinto Pugo Calle, estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (kpugo@est.ups.edu.ec).
 - 4 Juan Miguel Idrovo Rabian, estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (jidrovo@est.ups.edu.ec).

1. Introducción

En la actualidad, los sistemas de inteligencia artificial se utilizan para ofrecer un correcto diagnóstico del motor de combustión interna [1]. Un sistema inteligente de mantenimiento es una herramienta que permite automatizar el proceso de decisión, basándose en un amplio estudio de los requisitos [2]. El diagnóstico inteligente permite mantener el motor en buenas condiciones de operación, a su

vez contribuye a la reducción de costos de mantenimiento y al aumento de su confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad [3].

El objetivo del presente trabajo es optimizar el tiempo en la toma de decisión de mantenimiento, lo que constituye una ayuda para el técnico en la toma de dicha decisión, manteniendo las prestaciones del vehículo.

2. Métodos

2.1. Banco dinamométrico

El banco dinamométrico a utilizar es marca Maha modelo LPS 3000, que se encuentra en Cuenca, en las instalaciones del taller automotriz de la Uni-

versidad Politécnica Salesiana, como se observa en la Figura 1. Con este banco de corrientes parásitas se genera carga al vehículo con la finalidad de medir simultáneamente su fuerza tracciona y potencia.

Figura 1. Banco dinamométrico Maha LPS 3000



Fuente: los autores

2.2. Analizador de gases

Para el análisis de las emisiones contaminantes producidas por el vehículo se utiliza un analizador de gases NGA 6000, que permite realizar mediciones de hidrocarburos (HC), mo-

nóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO₂), mediante el método no dispersivo de absorción de infrarrojos (NDIR); mientras que la medición de oxígeno (O₂) y óxidos nitrosos (NO_x) se realiza mediante célula electroquímica [4].

Figura 2. Analizador de gases



Fuente: los autores

2.3. Fallas generadas al sistema de inyección

Para la base de datos se generan tres tipos de fallas que se indican a continuación.

2.3.1. Falla 1

Para generar el dosado rico se utiliza el regulador de presión de combustible, que permite fijar una presión de 60 psi proporcionando un mayor flujo de inyección.

2.3.2. Falla 2

Para generar el dosado pobre se utiliza el regulador de presión de combustible con el que se fija una presión de 40 psi, de tal forma se reduce el flujo de inyección para un tiempo de inyección normal.

2.3.3. Falla 3

Esta falla generada en el encendido implica realizar una apertura de 1,3 mm de la holgura entre el electrodo central y el electrodo de masa de la bujía.

2.4. Obtención de datos

Al desarrollar un diseño experimental se necesita conocer las diferentes variables que intervienen en dicho proceso [5]. Las variables a considerar para obtener los diferentes datos de confiabilidad, coste económico, coste ambiental y las decisiones de mantenimiento fueron: variables de entrada, variables de ruido, variables de bloque y finalmente variables de respuesta.

2.5. Análisis de los efectos de las fallas

Para el análisis de los efectos de las fallas en el sistema de inyección du-

rante el funcionamiento del motor, se utiliza un conjunto de datos obtenidos en la experimentación que aparecen en la Tabla 1, los cuales muestran las diferentes condiciones del mismo.

Tabla 1. Condiciones de funcionamiento del motor

	MAP (V)	TPS (V)	rpm	Velocidad (km/h)
Condición 1	1,55	0,89	2 317	49,94
Condición 2	1,9	1,05	2 553	55
Condición 3	2,04	1,29	4 620	99,79
Condición 4	2,97	1,95	4 642	100

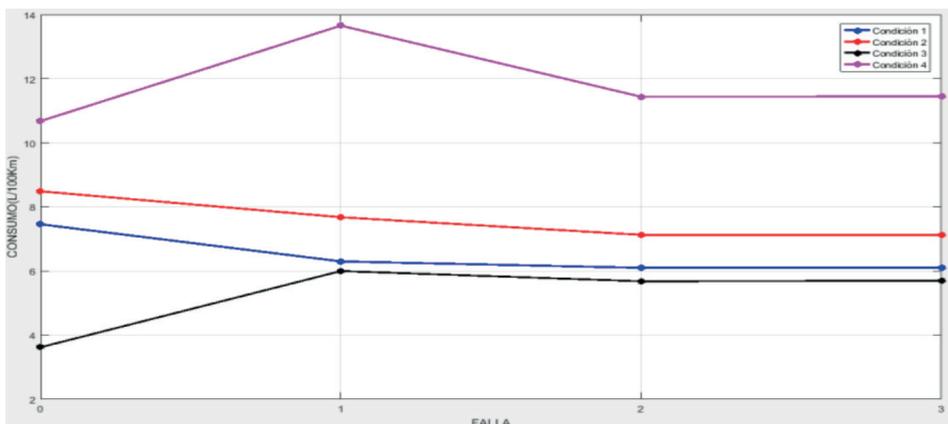
Fuente: los autores

2.5.1. Efectos de las fallas en el consumo L/100 km

En la Figura 3, los valores 0, 1, 2 y 3 que se representan en el eje horizontal corresponden al motor en buen estado (Ok), con falla 1, falla 2 y falla 3. En el eje vertical se visualizan los valores de consumo de combustible por cada 100 km, con lo cual se llegó a determinar que el mayor consumo de combustible se produce con la falla 1 con el motor

trabajando en la condición 4, obteniéndose un incremento del consumo de 27,9%. En la condición 3, al generar las fallas, el consumo de combustible incrementa en un 60%. Para la condición 1, con la falla 1 decrece en un 9,54%, mientras que con las fallas 2 y 3 el decrecimiento es del 16,02%. Finalmente, en la condición 2 el decrecimiento máximo que se presenta es del 18,23% con las fallas 2 y 3.

Figura 3. Efectos de las fallas en el consumo (L/100 km)



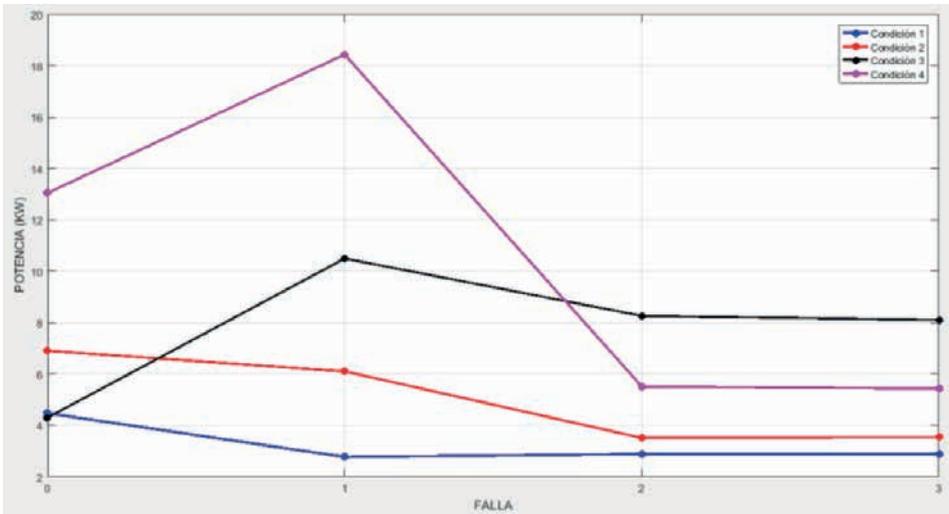
Fuente: los autores

2.5.2. Efectos de las fallas en la potencia

En la Figura 4 se observan las fallas generadas en el eje horizontal: 0, 1, 2 y 3, y en el eje vertical los valores de la potencia. En la condición 4

se genera un incremento del 41,33% al inducir la falla 1, mientras que cuando se genera la segunda falla la potencia decrece en un 57,75%; finalmente, al tener el tercer fallo el porcentaje de decrecimiento es del 58,36%.

Figura 4. Efectos de las fallas en la potencia



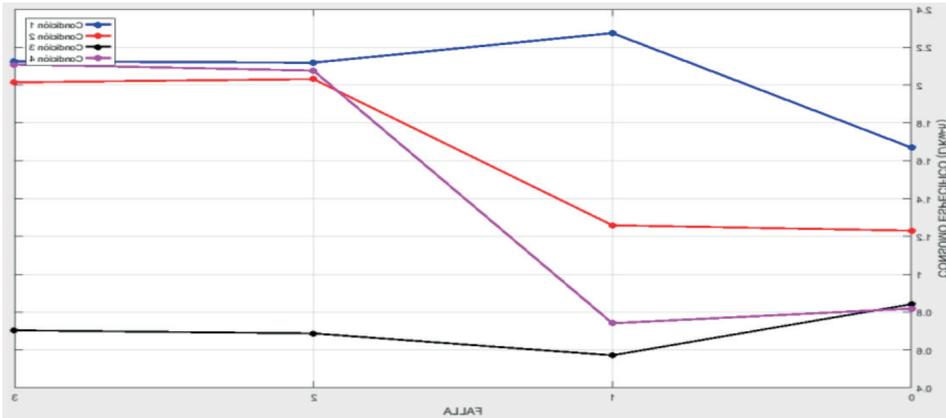
Fuente: los autores

2.5.3. Efectos de las fallas en el consumo específico

En la Figura 5 se muestra cómo interfiere la falla en el consumo específico. Se visualiza que en las condiciones 3 y 4, al momento que se presenta el fallo 1, el consumo específico se ve reducido en un 31,91% y 9,61%, respectivamente. Para la condición 1, al tener la falla 1, se incrementa el consumo un 36,19%, mientras que para la condición 2 el in-

cremento es pequeño (2,36%). Con la segunda falla en el motor el comportamiento varía de distintas maneras para cada condición, en la primera condición aumenta 26,83% respecto al estado en condiciones normales, para la segunda condición el incremento es del 65,12%, para la cuarta condición decrece el consumo siendo del 18,14%, finalmente, con la tercera falla no existe gran variación respecto a la segunda falla.

Figura 5. Efectos de las fallas en el consumo específico



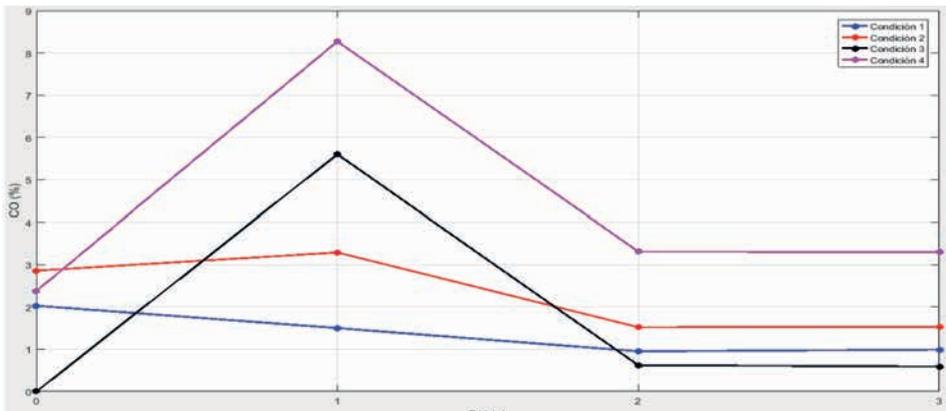
Fuente: los autores

2.5.4. Efectos de las fallas en las emisiones de CO

En la Figura 6 se visualiza la variación de la emisión de CO con respecto a cada falla generada al motor. Con la primera falla, para las condiciones 2, 3 y 4, se produce un aumento de la emisión de CO debido a que el motor trabaja con dosado rico, obteniéndose

un aumento del 15,03% para la segunda condición. En la segunda falla, para las condiciones 1 y 2, decrece la emisión de CO en un 53,20% y 46,85%, respectivamente; mientras que para la tercera y cuarta condición sigue existiendo un crecimiento de la emisión antes mencionada. Finalmente, para la tercera falla el comportamiento respecto a la segunda se mantiene lineal.

Figura 6. Efectos de las fallas en las emisiones de CO



Fuente: los autores

En la Tabla 2 se muestra el rango de valores a considerar para el cálculo del IPR de cada una de las fallas ge-

neradas al motor y también cuando el vehículo se encuentra en condiciones normales de funcionamiento.

Tabla 2. Resultados del análisis AMFEC

	Severidad	Ocurrencia	Detección	IPR
Condición normal	1-2	1-4	8-10	9-64
Falla 1	6-9	3-5	7-9	189-324
Falla 2	5-7	3-5	6-7	120-245
Falla 3	6-7	6-8	3-5	126-224

Fuente: los autores

2.6. Indicadores de mantenimiento

Para poder modelar el impacto de distintas decisiones que se toman día a día se abre la posibilidad de pre y post evaluar costo y beneficio de cada decisión relevante sobre indicadores clave como disponibilidad, confiabilidad, mantenibilidad y costes [7].

2.6.1. Confiabilidad

Es de gran importancia al momento de tomar una decisión sobre el mantenimiento que se debe realizar en el vehículo. En la Tabla 3 se presentan los resultados de confiabilidad con las distintas fallas generadas.

Tabla 3. Resultados del análisis de confiabilidad para cada falla

Nº falla	Confiabilidad (%)
Falla 1	66-70
Falla 2	65
Falla 3	55-60

Fuente: los autores

En la Tabla 4 se observan las diferentes decisiones a considerar en el mante-

nimiento, de acuerdo al valor encontrado de la confiabilidad del vehículo.

Tabla 4. Acciones de mantenimiento dependiendo de la confiabilidad

Confiabilidad (%)	Mantenimiento
0-20	El vehículo debe ser detenido inmediatamente.
20-0	El vehículo necesita un mantenimiento correctivo en este instante.
50-65	El vehículo puede seguir en funcionamiento pero próximamente necesitará un mantenimiento preventivo.
65-100	El funcionamiento del vehículo es óptimo.

Fuente: los autores

2.6.2. Disponibilidad

Como su nombre lo dice es cuando disponible está el vehículo en un tiempo-

po dado, ya que si se tiene un tiempo de reparación este estará indisponible.

Tabla 5. Resultados de disponibilidad

Nº falla	Disponibilidad
Falla 1	99%
Falla 2	99%
Falla 3	99%

Fuente: los autores

2.6.3. Mantenibilidad

La mantenibilidad es la posibilidad que se tiene de que un componente o

sistema que tiene una falla sea reparado dentro de un periodo determinado, cuando el mantenimiento es realizado en condiciones establecidas.

Tabla 6. Resultados de mantenibilidad

Nº falla	Mantenibilidad
Falla 1	59,53%
Falla 2	69,58%
Falla 3	59,53%

Fuente: los autores

2.6.4. Análisis de costes

El coste económico se ve implicado directamente con el consumo de com-

bustible por cada 100 km de recorrido. En la Tabla 7 se muestra el consumo que tiene el vehículo en condiciones normales y con los fallos generados.

Tabla 7. Consumo de combustible con carga y sin carga para cada una de las fallas

	Consumo (L/100 km)	
	Sin carga	Con carga
Condición normal	15,85	19,74
Falla 1	17,77	22,17
Falla 2	15,57	19,14
Falla 3	17,82	21,43

Fuente: los autores

El coste de la gasolina súper en el momento que se realizó el estudio es de 2,329 USD por galón. En la Tabla 8 se presenta el valor en dólares del consumo por cada 100 km. La falla 1 implica un mayor coste económico (dosado rico), pues su valor es de 11,07 USD (sin carga) y 13,81 USD (con carga) por cada

100 km recorridos. En la falla 2 (dosado pobre) se tiene un menor consumo, pero trabajar el vehículo en este estado tiene consecuencias negativas que serán analizadas posteriormente. Mientras que con la falla 3 (apertura de bujías) el coste con carga y sin carga se eleva comparado con el valor en condiciones normales.

Tabla 8. Costo económico para cada falla

	Costo (USD)	
	Sin carga	Con carga
Condición normal	9,75	12,14
Falla 1	10,93	13,64
Falla 2	9,57	11,77
Falla 3	10,96	13,18

Fuente: los autores

Para calcular el costo ambiental, los límites máximos establecidos se considera que [8] recomienda cuáles son los límites admisibles para vehículos de gasolina de acuerdo a la alti-

tud de uso del vehículo. En la Tabla 9 se presentan los datos de emisiones de CO en condiciones normales, y con las tres fallas generadas.

Tabla 9. Emisiones contaminantes de CO para cada falla

	Emisión CO (%)	
	Sin carga	Con carga
Condición normal	0,94	5,33
Falla 1	8,53	9,62
Falla 2	1,71	2,47
Falla 3	5,49	6,81

Fuente: los autores

En cuanto hace referencia a las emisiones de HC, en la Tabla 10 se observan los valores que se obtienen en

condiciones normales y de igual manera con las fallas generadas.

Tabla 10. Emisiones contaminantes de HC para cada falla

	Emisión HC (ppm)	
	Sin carga	Con carga
Condición normal	135	226
Falla 1	221	221
Falla 2	168	235
Falla 3	183	213

Fuente: los autores

Una vez conocido el valor de las emisiones de CO y HC en condiciones normales y con las fallas, se procede a elaborar una tabla de ponderación, donde el valor mínimo 1 significa que la contaminación ambiental es míni-

ma, y el valor máximo 10 indica que la contaminación ambiental es alta. En la Tabla 11 se presenta la ponderación de acuerdo a la contaminación ambiental que representa cada falla.

Tabla 11. Ponderación de emisiones contaminantes de CO y HC

	CO (1/10)		HC (1/10)	
	Sin carga	Con carga	Sin carga	Con carga
Condición normal	1	5,54	1	1,66
Falla 1	8,86	10	1,63	1,62
Falla 2	1,77	2,56	1,24	1,73
Falla 3	5,7	7,07	1,34	1,57

Fuente: los autores

2.7. Entrenamiento mediante máquinas de aprendizaje (Machine Learning)

Para el entrenamiento de la herramienta de aprendizaje se utiliza la base de datos obtenida anteriormente. Se utilizan como variables de entradas (predictores) la severidad, ocurrencia, detección e IPR, y como variables de respuesta (predicción) el coste económico, el coste ambiental y la decisión

de mantenimiento. Al finalizar el entrenamiento, se crea un modelo que es capaz de predecir cada una de las respuestas en función de las entradas.

2.7.1 Resultados del entrenamiento del coste económico

Con el entrenamiento del modelo para la predicción del coste económico se obtiene los resultados mostrados en la Tabla 12.

Tabla 12. Resultados de entrenamiento del coste económico

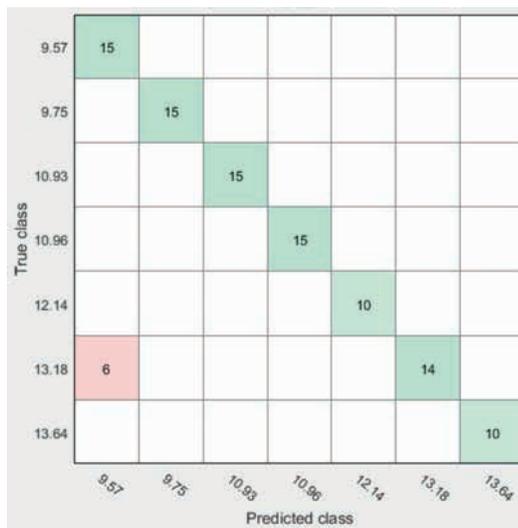
Método	Resultado
Complex Tree	94%
Simple Tree	69%
Linear SVM	74%
SVM Course Gaussian	74%

Fuente: los autores

2.7.2. Matriz de confusión del coste económico

En la matriz de confusión de la Figura 7, se muestran las clases correctamente clasificadas y las clases incorrectamente clasificadas. Se observa que la

clase verdadera 9.57 está siendo mal clasificada como clase 13.18 en seis de las observaciones. En las demás clases la clasificación es correcta, lo que se ve en la diagonal principal donde las celdas no están fuera de dicha diagonal.

Figura 7. Matriz de confusión del costo económico

Fuente: los autores

2.7.3. Resultados del entrenamiento del coste ambiental

En el entrenamiento del modelo para la predicción del coste ambiental se obtienen con los diferentes métodos

de entrenamiento, los resultados mostrados en la Tabla 13. Con el método Linear SVM se consigue el mejor resultado de exactitud (94%) para la predicción del coste ambiental.

Tabla 13. Resultados de entrenamiento del coste ambiental

Método	Resultado
Linear SVM	94%
Cubic SVM	90%
Fine Gaussian SVM	90%
Complex Tree	87%

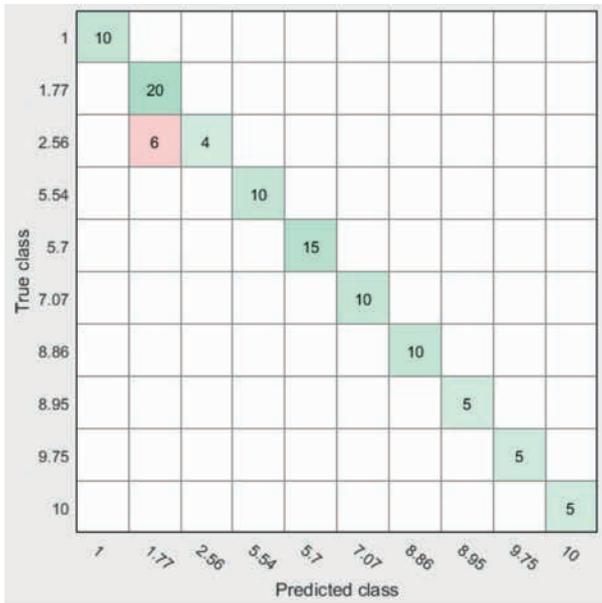
Fuente: los autores

2.7.4. Matriz de confusión del coste ambiental

La matriz de confusión mostrada en la Figura 8, evidencia las clases

correctamente clasificadas que se encuentran en la diagonal principal y las incorrectamente clasificadas que están fuera de la diagonal principal.

Figura 8. Matriz de confusión del coste ambiental



Fuente: los autores

2.7.5. Resultados del entrenamiento de la decisión de mantenimiento

En cuanto al entrenamiento del modelo para la predicción de la decisión de mantenimiento, los resultados se ven

en la Tabla 14. Con el método de Complex Tree se consigue el mejor resultado 94% de exactitud para la predicción de la decisión de mantenimiento.

Tabla 14. Resultados de entrenamiento de la decisión de mantenimiento

Método	Resultado
Complex Tree	94%
Linear SVM	84%
Coarse Gaussian SVM	79%
Cubic SVM	75%

Fuente: los autores

3. Resultados

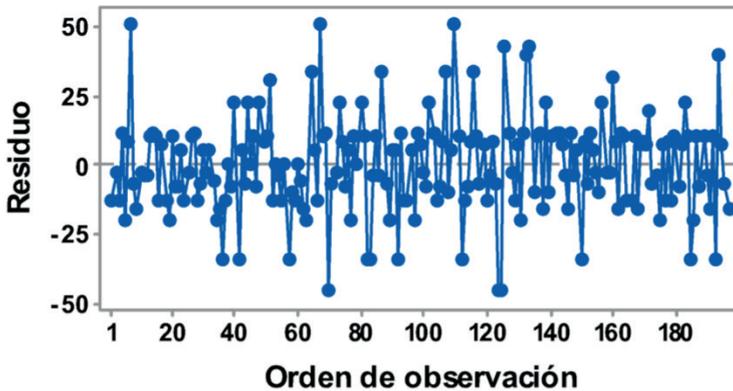
3.1. Validación de resultados

3.1.1. Gráfica de residuos IPR-confiabilidad

En la Figura 9 se visualizan cuatro diferentes tipos de gráficas en la parte

superior se tiene la gráfica de probabilidad normal de residuos y la gráfica de residuos versus ajustes, mientras que en la parte inferior se tiene el histograma de residuos y la gráfica de residuos versus orden.

Figura 9. Gráfica de residuos IPR-confiabilidad



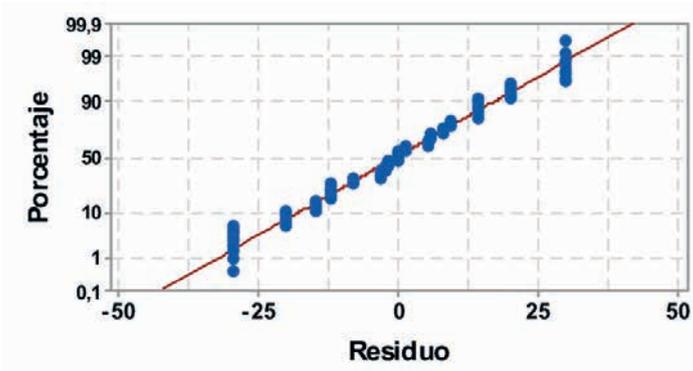
Fuente: los autores

3.1.2. Gráfica de residuos IPR-coste económico

En la Figura 10 se observa que no se tienen datos no normales, por lo cual sigue la forma de la línea recta. De igual forma no se tiene valores de

residuos que sean de gran magnitud y valores atípicos. En la gráfica de residuos versus orden no aparece un patrón fijo, lo que se comprende puesto que los datos presentan una buena dispersión.

Figura 10. Gráfica de residuos IPR-coste económico



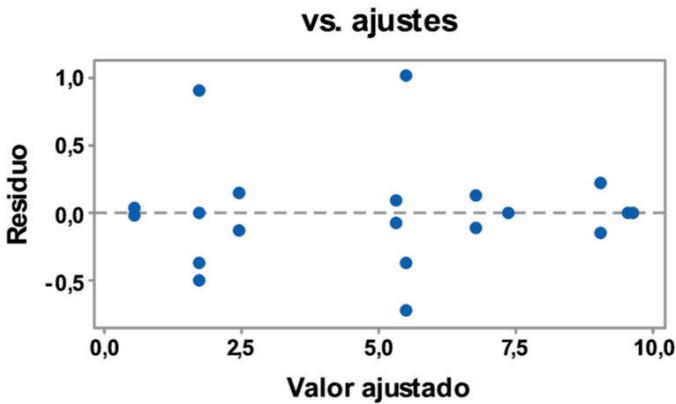
Fuente: los autores

3.1.3. Gráfica de residuos CO-coste ambiental

Para la gráfica de residuos del coste ambiental se tomó como referencia el

CO. Como se observa en la Figura 11 no existen valores atípicos, por lo tanto, los datos considerados presentan una distribución normal.

Figura 11. Gráfica de residuos CO-coste ambiental



Fuente: los autores

4. Conclusiones

El vehículo al trabajar con dosado rico presenta un incremento del 12% del coste económico por cada

100 km recorridos con respecto al vehículo funcionando en buenas condiciones.

El coste ambiental es un indicador que tiene gran influencia en las decisiones de mantenimiento. Dicho índice se eleva en un 76% cuando el vehículo presenta dosado rico y adicionalmente está sometido a una carga. En cambio, con dosado pobre el coste económico se reduce, pero como en esta condición se puede sobrecalentar el motor, se ocasionarían daños mayores.

La incorrecta apertura del electrodo de la bujía genera un incremento del 13% en el coste económico, debido a que el consumo de combustible se eleva, de igual forma las emisiones de HC se incrementan un 85%.

Para el entrenamiento de la base de datos se debe encontrar que método de aprendizaje y clasificación representa un mayor grado de acertamiento, caso contrario al momento de obtener nuevos datos se van a tener errores que provocarán confusiones en las decisiones a tomar.

Al momento de tener una base de datos ya establecida, es importante conocer cuáles fueron los valores de entrada que permitieron determinar la salida en dichos procesos, ya que al ser una secuencia de análisis se recomienda conocer la manera en la que fueron analizadas las variables.

5. Referencias

- [1] C. Cepeda y J. Rivera, Diagnóstico de fallas de un motor de encendido provocado Corsa Evolution 1.4 l mediante el análisis de las señales de los sensores MAP, TPS, VSS utilizando herramientas de aprendizaje y clasificación, Cuenca, 2017.
- [2] M. J. Pérez, Sistema inteligente de mantenimiento para sistemas de generación eólica mediante redes de Petri coloreadas auto-crecientes, Valencia, 2011.
- [3] R. Colmenares, E. Albarracín, P. Pescador y S. Latorre, Desarrollo de un software de diagnóstico inteligente para monitoreo de APUs, ADS, Bogotá, 2010.
- [4] N. Rivera y J. Chica, Estudio del comportamiento de un motor ciclo Otto de inyección electrónica respecto de la estequiometría de la mezcla y del adelanto al encendido para la ciudad de Cuenca, Quito, 2015.
- [5] H. Gutiérrez y S. de la Vara, Análisis y diseño de experimentos, México, McGraw-Hill Interamericana, 2012.
- [6] J. Aguilar, T. Rocío y D. Magaña, "Análisis de los efectos de la falla, los efectos y la criticidad (AMFEC) para la planificación del mantenimiento de los criterios de riesgo y confiabilidad", *Tecnología, Ciencia, Educación*, pp. 15-26, 2010.
- [7] J. Rivera, Modelo de toma de decisiones de mantenimiento para evaluar impactos en disponibilidad, mantenibilidad, confiabilidad y costes, Santiago de Chile, 2015.
- [8] N. I. 2204, INEN Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2002. Recuperado de <https://bit.ly/2ivfw9a/>

ICE diagnosis for contamination test approval in Vehicular Technical Review

Diagnóstico de MCI para la aprobación de pruebas contaminantes en Revisión Técnica Vehicular

D. Gárate,¹ N. Rivera,² B. Molina,³ J. Haro⁴

Abstract: *this paper is about to develop mathematical model through learning and classification tools to predict the Vehicle Technical Review approval and estimate polluting emissions produced by a spark ignition engine. This method is carried out applying decision trees, because the reliability used is 100%, with this, the computational processing is lower than other learning and classification tools as vector support machines. A database acquired in previous research is conditioned with respect to three types of response variables, that is, three predictors directly associated with the maximum limits allowed by the current Ecuadorian Technical Standard, which are: General Approve, CO Approve, and HC Approve, for the polluting emissions prediction. The validation of the algorithm is carried out by placing a sound receiving device (microphone) to acquire the sound signal of the engine, to decompose and process the signal obtained and introduce the characteristic data of the same in the developed algorithm and perform the prediction of the Technical Vehicle Review approval.*

Keywords: *decision tree, estimation of polluting emissions, learning and classification tools.*

Resumen: en el presente documento se desarrolla un modelo matemático a través del uso de herramientas de aprendizaje y clasificación para predecir la aprobación de la RTV y a la vez estimar emisiones contaminantes que se producen en un motor de combustión interna de encendido provocado, mencionado método se lleva a cabo aplicando árboles de decisión, ya que la confiabilidad de la herramienta utilizada es del 100%, con ello el procesamiento computacional es menor que otras herramientas de aprendizaje y clasificación como las máquinas de soporte vectorial. Se acondiciona una base de datos adquirida en investigaciones anteriores respecto a tres tipos de variables de respuesta, es decir tres predictores asociados directamente a los límites máximos permitidos por la norma técnica ecuatoriana vigente, los cuales son: Aprueba General, Aprueba CO y Aprueba HC. Para la predicción de emisiones contaminantes. La validación del algoritmo se lleva a cabo colocando un dispositivo receptor de sonido (micrófono) para adquirir la señal de sonido del motor, para así descomponer y procesar mencionada señal e introducir los datos característicos de la misma en el algoritmo desarrollado y realizar la predicción de la aprobación de la RTV.

Palabras clave: árbol de decisión, estimación de emisiones contaminantes, herramientas de aprendizaje y clasificación.

1 Danilo Abelardo Gárate Montalvo, ingeniero mecánico automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (dgaratem@est.ups.edu.ec).

2 Néstor Diego Rivera Campoverde, ingeniero mecánico automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (nrivera@ups.edu.ec).

3 Belén Anais Molina Patiño, estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (bmolinap@est.ups.edu.ec).

4 Julio Andrés Haro Zúñiga, ingeniero mecánico automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (jharoz@est.ups.edu.ec).

1. Introducción

El porcentaje de vehículos aprobados en la primera revisión en el cantón Cuenca es del 77%, teniendo el 23% como reprobados a raíz de la prueba de emisiones contaminantes, ya sea por excesiva emisión de hidrocarburos no combustionados (HC) o de monóxido de carbono (CO) [1]. Así, se ve la necesidad de realizar un estudio que se basa en la estimación de emisiones contaminantes emitidas por motores de combustión interna de encendido provocado a través de herramientas de aprendizaje y clasificación, por consecuencia con ello predecir la aprobación en la Revisión Técnica Vehicular (RTV) en el cantón Cuenca.

Este proyecto radica directamente en la reducción de tiempos predis-

puestos al diagnóstico de fallos de un motor de encendido por chispa, también al proceso de obtención de los porcentajes de gases de combustión y si dichos porcentajes se localizan dentro de los límites permitidos según la norma técnica ecuatoriana [2]. Teniendo en consideración el criterio económico, los equipos que se basan en técnicas para el mantenimiento predictivo son altamente costosos [3], con este proyecto se pretende minimizar dichos costos de equipos y por ende estimar emisiones contaminantes de manera más ágil y económica, ya que no se va a disponer de equipos extra que proporcionen información para el diagnóstico de fallos, lo que conlleva directamente a una reducción de costos y tiempos de mantenimiento.

2. Métodos

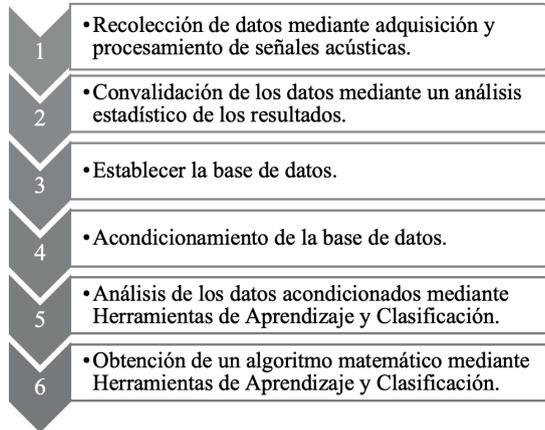
2.1. Marco metodológico

El desarrollo de este estudio contempla llevar a cabo una metodología, en la cual se realizan una serie de procedimientos sistemáticos expuestos en la Figura 1.

2.2. Adquisición de señales acústicas

La adquisición de las señales acústicas características del motor se rea-

liza paralelo al proceso de RTV llevado a cabo en la ciudad de Cuenca, el mismo que se ejecuta durante la medición de emisiones contaminantes del vehículo, obteniendo de esta manera la señal temporal de audio con su correspondiente concentración de emisiones contaminantes [1].

Figura 1. Procedimiento

Fuente: los autores

El instrumento que se utiliza para la adquisición de las señales acústicas es un dispositivo receptor de sonido, en este caso, un teléfono celular que permite obtener una muestra de audio en formato wav [4].

2.3. Atributos de la señal acústica

Se consideran tres atributos para la adquisición de las señales y con ello garantizar la óptima confiabilidad de cada una de las muestras adquiridas.

Tabla 1. Atributos de la señal considerados para la adquisición de muestras

Atributo	Cuantificación
Frecuencia de muestreo	44 100 Hz
Tiempo de muestreo	5 s
Tamaño de la muestra	220 500 elementos

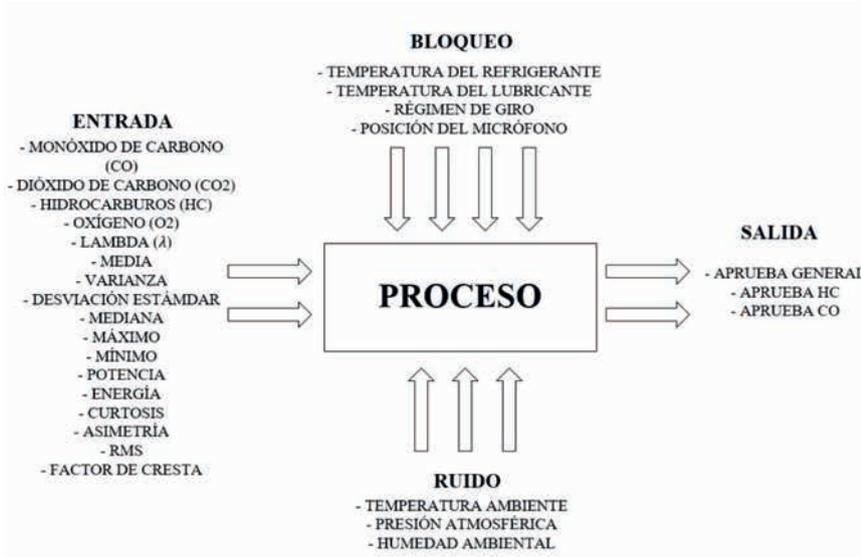
Fuente: los autores

2.4. Factores de inferencia

Como factores de inferencia se toma en cuenta los valores de entrada (adquiridos mediante la señal de audio), valores de bloqueo (representado por parámetros controlables), valores

de ruido (representado por parámetros no controlables) y valores de salida (representa los resultados que se obtienen). El proceso para la obtención de la señal acústica se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Factores de inferencia



Fuente: los autores

2.5. Caracterización de la señal acústica

Para caracterizar la señal acústica se utilizan métodos estadísticos descriptivos como: media, mediana, varianza, desviación estándar [5]; además de valores característicos de la señal de audio como la potencia, energía, curtosis, asimetría, raíz media cuadrática (RMS) y el factor de cresta [6].

2.6. Límites máximos admisibles de emisiones para fuentes móviles con motor a gasolina

Los límites máximos admisibles de emisiones contaminantes establecidos por la norma para motores con encendido provocado se ven en la siguiente tabla:

Tabla 2. Límites máximos admisibles de emisiones

Modelo	CO (%)		HC (ppm)	
	0-1 500 msnm	1 500-3 000 msnm	0-1 500 msnm	1 500-3 000 msnm
2000 y posteriores	1,0	1,0	200	200
1990 a 1999	3,5	4,5	650	750
1989 y anteriores	5,5	6,5	1 000	1 200

Fuente: [2]

2.7. Acondicionamiento de la base de datos

El acondicionamiento se lleva a cabo mediante la técnica de normalización de la base de datos, entendiendo como normalización a la organización

de los datos de manera inferencial, que significa la designación y aplicación de una serie de reglas a las interconexiones obtenidas tras el paso del modelo entidad-relación al modelo relacional. En la Tabla 3 se presenta un ejemplo.

Tabla 3. Ejemplo de matriz de acondicionamiento

Factor	Valor	Unidad
Año	2014	-
Cilindrada	1 398	cm ³
Monóxido de carbono	0,01	%
Dióxido de carbono	13,42	%
Hidrocarburos	59	ppm
Oxígeno	0,66	%
Lambda	1,031	-
Media	0,00000185	-
Varianza	0,00537520	-
Desviación estándar	0,07331577	-
Mediana	-0,00002476	-
Máximo	0,53509793	-
Mínimo	-0,81949679	-
Potencia	5,37520214	-
Energía	5,37517776	-
Curtosis	5,80956704	-
Asimetría	-0,03919686	-
RMS	0,07331560	-
Factor de cresta	7,29855450	-
Aprueba general	1	-
Aprueba CO	1	-
Aprueba HC	1	-

Fuente: los autores

2.8. Acondicionamiento de la matriz

En la Tabla 4 se establecen las variables predictivas, que obtienen datos inferenciales que ayudan dotando de información necesaria para el algorit-

mo. La variable de respuesta para este caso es Aprueba General, cuya variable dispone de los parámetros: 1 y 0, los cuales respectivamente se traducen en la aprobación y no aprobación

del vehículo en la RTV. Se establece Aprueba HC como variable de respuesta, en su lugar en predictores se coloca Aprueba General. Se establece Aprueba CO, que en su lugar en los

predictores se coloca Aprueba General, quedando de la misma manera los demás predictores para desarrollar el algoritmo.

Tabla 4. Matriz acondicionada

Predictor	Respuesta	
Año de fabricación del vehículo	Aprueba General	
Cilindrada del vehículo		
Media de la señal		
Varianza de la señal		
Desviación estándar de la señal		
Mediana de la señal		
Máximo de la señal		Aprueba HC
Mínimo de la señal		Aprueba CO
Potencia de la señal		
Energía de la señal		
Curtosis de la señal		
Asimetría de la señal		
RMS de la señal		
Factor de cresta de la señal		

Fuente: los autores

2.9. Asignación del predictor

Para definir los predictores se considera el número 0 para los vehículos que No Aprueban y el número 1 para los vehículos que Aprueban.

2.10. Variables de respuesta

Para el análisis se consideran tres parámetros de mayor inferencia, los cuales se indican a continuación: Aprueba General, Aprueba HC y Aprueba CO. Estos parámetros son variables de respuesta que de ellos de-

pende el análisis y se introduzcan en el algoritmo matemático.

2.11. Aplicación de herramientas de aprendizaje y clasificación

2.11.1. Árbol de decisión

Es un modelo de predicción basado en el uso de resultados y probabilidades, en un árbol de decisión cada nodo del árbol es un atributo de los ejemplos, y cada rama representa un posible valor de ese atributo, se basa en el aprendizaje inductivo que partiendo

de premisas se llega necesariamente a una conclusión.

2.11.2. Herramientas de aprendizaje y clasificación según la mayor inferencia

El método con mayor inferencia aplicando herramientas de aprendiza-

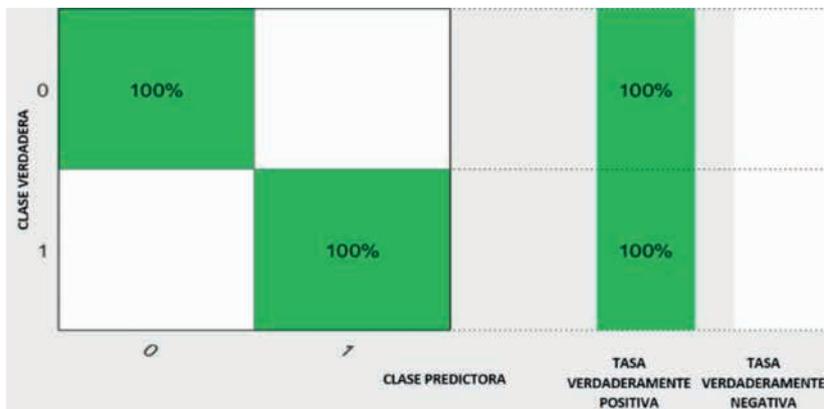
je y clasificación correspondiente para la base de datos acondicionada es el árbol de decisión simple, por consecuencia, dicho método es aquel que produce menor gasto computacional, y a la vez aumenta la confiabilidad del modelo matemático.

3. Resultados

La fila superior del gráfico muestra todos los datos con clase verdadera 0 correspondiente a No Aprueba. Las columnas muestran las clases predichas. En la fila superior, el 100% de los datos de No Aprueba se clasifican correctamente, por lo que ese 100% es la tasa verdaderamente positiva para

los puntos correctamente clasificados en No Aprueba, que se muestra en la celda verde en la columna de la tasa verdaderos positivos del 100%. De manera parecida ocurre para la fila inferior, el 100% de Aprueba se clasifican correctamente, teniendo una tasa de verdaderos positivos del 100%.

Figura 3. Matriz de confusión para aprueba general



Fuente: los autores

3.1. Aprueba CO: matriz de confusión

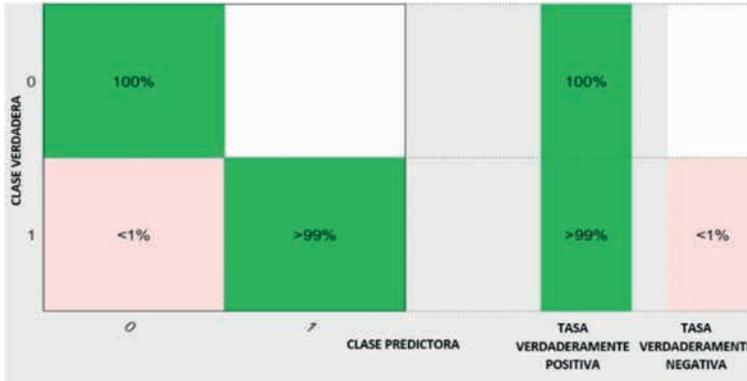
La fila inferior del gráfico muestra el porcentaje total de todos los datos con clase verdadera 1 correspondien-

tes a Aprueba. El 99% de los datos de Aprueba se clasifican correctamente, por lo que el 1% se clasifican de manera incorrecta, por ende, la tasa de verdaderos positivos para los pun-

tos correctamente clasificados en No Aprueba corresponde lógicamente al 100% y para los puntos incorrec-

tamente clasificados corresponde al 99%, obteniendo una tasa de falsos negativos aproximadamente al 1%.

Figura 4. Matriz de confusión para Aprueba CO



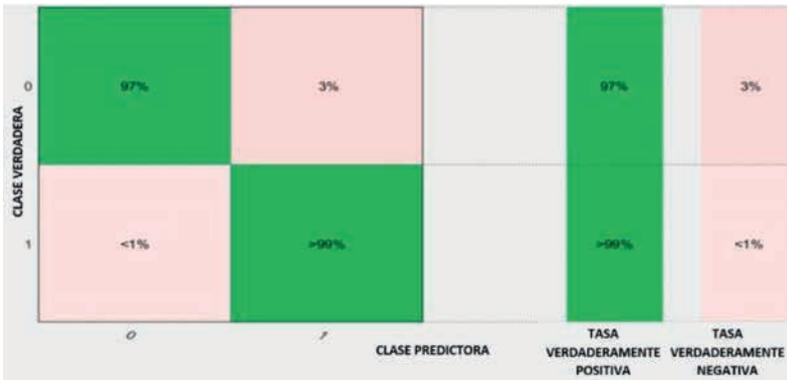
Fuente: los autores

3.2. *Aprueba HC: matriz de confusión*

Se muestra en la fila superior de la matriz un porcentaje referente a No Aprueba igual a 97%, es decir, ese 97% se clasifican de manera correcta, teniendo 3% como clasificados incorrectos.

Para Aprueba el porcentaje de clasificados correctamente es 99%, teniendo el 1% como clasificados incorrectos. La tasa de verdaderos positivos de la clase No Aprueba y Aprueba es de 97% y 99%, respectivamente, teniendo 3% y 1% como tasa de falsos negativos.

Figura 5. Matriz de confusión para Aprueba HC



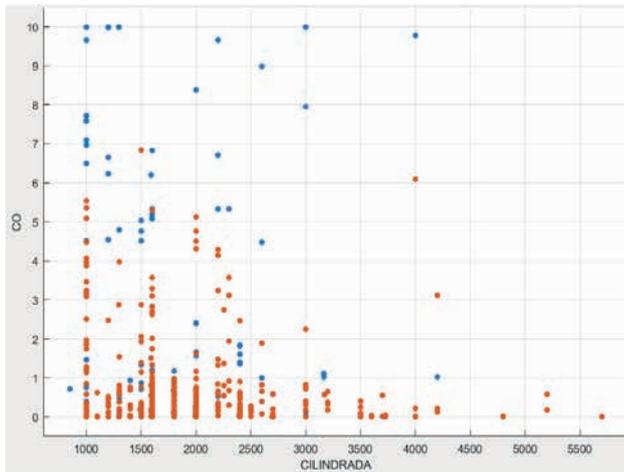
Fuente: los autores

3.3. Gráfico de dispersión

En las figuras 6, 7 y 8 se observa que en todos los valores trazados de los parámetros característicos de las señales de sonido, la distribución de los puntos está sesgada a la izquier-

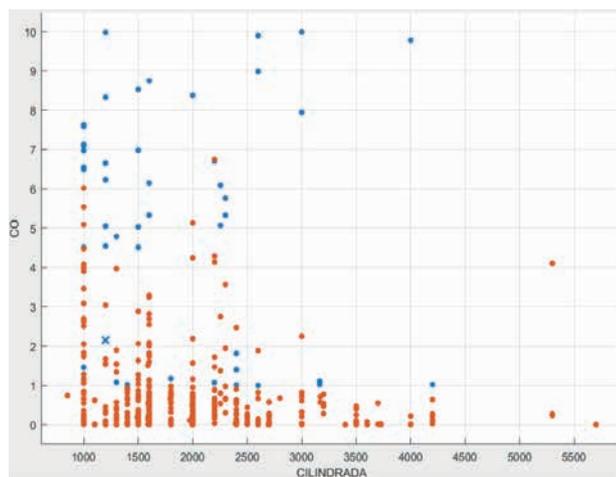
da; no obstante, la no existencia de una tendencia de linealidad, es decir, la relación entre parámetros con sus respectivos valores, es de dependencia inferencial significativa para el procesamiento del modelo matemático.

Figura 6. Dispersión de datos para Aprueba General



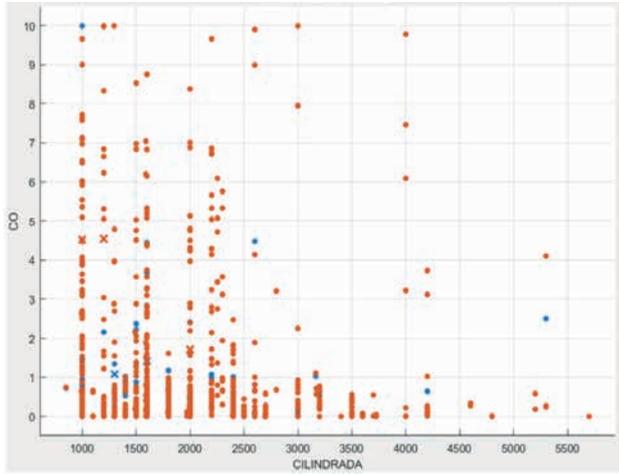
Fuente: los autores

Figura 7. Dispersión de datos para Aprueba CO



Fuente: los autores

Figura 8. Dispersión de datos para Aprueba HC



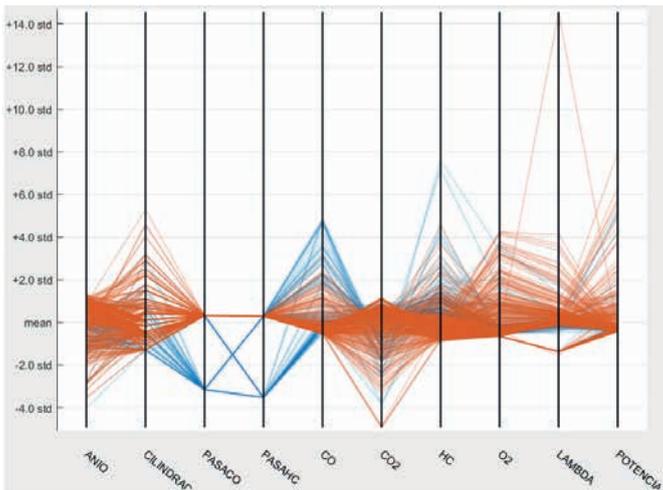
Fuente: los autores

3.4. Gráfico de coordenadas paralelas

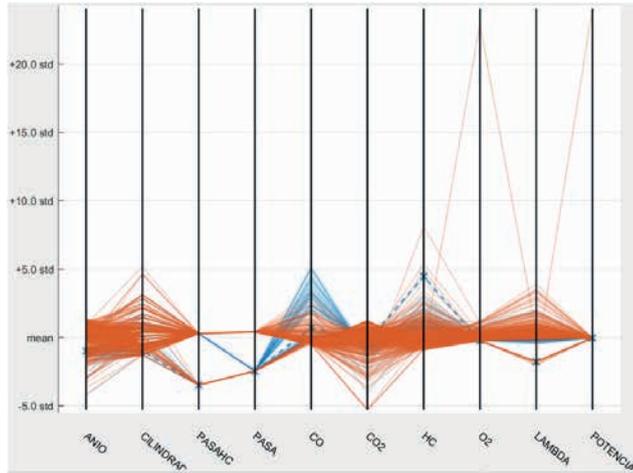
En las figuras 9, 10 y 11 se visualiza que cada parámetro está representado por una secuencia de sus valores de

coordenadas, trazados en función de sus índices de coordenadas, por consecuencia, se muestra la relación existente entre parámetros, es decir, cada parámetro tiene correlación con otro, por lo cual es importante este estudio.

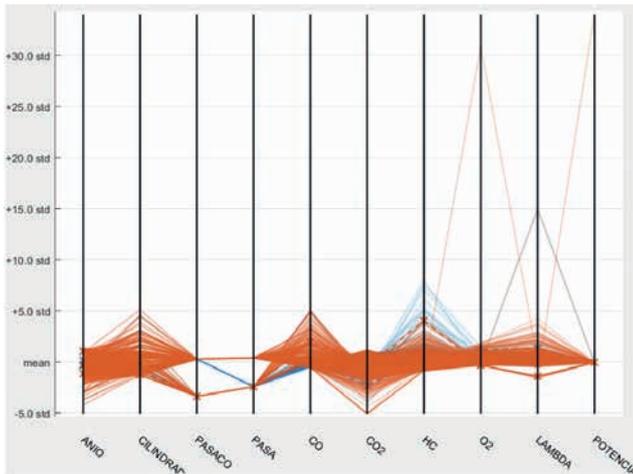
Figura 9. Gráfico de coordenadas paralelas para Aprueba General



Fuente: los autores

Figura 10. Gráfico de coordenadas paralelas para Aprueba CO

Fuente: los autores

Figura 11. Gráfico de coordenadas paralelas para Aprueba HC

Fuente: los autores

4. Discusión

El método árbol de decisión simple aplicado para Aprueba General y Aprueba CO se tiene un resultado un porcentaje de significancia del 100%

y 99,8% respectivamente, los valores de parámetros tratados se clasifican correctamente teniendo un margen porcentual de error del 0% y 0,2 %,

es decir, todos los datos introducidos tienen inferencia para el desarrollo del método y la significancia del error no es perjudicial para para el procesamiento del desarrollo del método.

El método árbol de decisión medio aplicado para Aprueba HC resultó con un porcentual de significancia de 99,7%, y es comprobable la existencia de puntos mal clasificados correspondientes a un margen de error porcentual de 0,3%.

5. Conclusiones

El uso de herramientas de aprendizaje y clasificación elegida para el estudio se basa de recursos menores para programación por lo necesita de un bajo gasto computacional, ya que, se puede realizar el desarrollo del algoritmo con otras herramientas, pero estas dependen del porcentaje de confiabilidad que resulta el método y de los datos introducidos en el mismo.

El rendimiento del algoritmo depende directamente del porcentaje de

inferencia resultante del método aplicado, mientras los datos introducidos en una matriz acondicionada sean reales, por consecuencia la calidad del clasificador es mejor.

Los valores de los parámetros manejados para el desarrollo del algoritmo no tienen una distribución lineal alguna, por tanto, la dependencia de cada factor con otro es de inferencia significativa.

6. Referencias

- [1] J. Feijoo y J. Zapatán, Elaboración de una base de datos a partir de las características de señales de ruido del motor de combustión interna alternativo, obtenidas del proceso de revisión técnica vehicular y su relación con las emisiones contaminantes, Cuenca, 2016.
- [2] NTE INEN 2204, Gestión ambiental, Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina, Quito, 2002.
- [3] G. Guarango y K. Lazo, Diagnóstico de fallos en el proceso de combustión en motores alternativos de encendido por compresión utilizando el método de análisis de ruido, Cuenca, Universidad Politécnica Salesiana, 2014.
- [4] Apple. Recuperado de <https://apple.co/2M9QhrD/>
- [5] W. Mendenhall, R. Beaver y B. Beaver, Introducción a la probabilidad y estadística, México DF, Cengage Learning, 2010.
- [6] N. Rivera y J. Chica, Estudio del comportamiento de un motor ciclo Otto de inyección electrónica respecto a la estequiometría de la mezcla y del adelanto al encendido para la ciudad de Cuenca, Quito, 2015.
- [7] N. Richard, Administración de operaciones, producción y cadena de suministros, McGraw-Hill, 2009.
- [8] M. Lee, Administración de operaciones, procesos y cadena de valor, México, Pearson Education, 2008.
- [9] M. Suárez y F. Tapia, Interaprendizaje de estadística básica, Ibarra, 2012.

RESÚMENES DE POSTERS

Numerical study of the process of nuclear boiling of refrigerant 134a in horizontal pipelines

Estudio numérico del proceso de ebullición nucleada del refrigerante 134a en tuberías horizontales

L. Toapanta,¹ C. Nieto,² W. Quitiaquez³

Abstract: *this study presents a numerical investigation of the dynamic flow and the phase change inside a steel pipe with refrigerant 134a as analysis fluid, under different boundary conditions. The Euler approach, the boiling model and the kinetic turbulence theory were used to perform all simulations using Computational Fluid Dynamics (CFD). Nucleated boiling is evaluated as the fundamental problem of the investigation, as well as the use of several correlations that have led to different forms of analysis of this process, using correlations already established for this process; In addition, the results obtained by analytical and numerical methods were related, the results that were obtained, reached the expected ones, due to the length of the tube and the roughness of the wall, in addition there is a heat transfer from the outside to the fluid, causing the refrigerant to change phase, by measuring this amount it is verified that the boiling originates in the vicinity of the walls of the pipe.*

Keywords: *CFD, boiling, phase change, turbulence, heat transfer.*

Resumen: este estudio presenta una investigación numérica del flujo dinámico y el cambio de fase en el interior de una tubería de acero con refrigerante 134a como fluido de análisis, bajo diferentes condiciones de contorno. El enfoque de Euler, el modelo de ebullición y la teoría de turbulencia cinética se utilizó para realizar todas las simulaciones mediante Dinámica de Fluidos Computacional (CFD). Se evalúa la ebullición nucleada como el problema fundamental de la investigación, así como, el uso de varias correlaciones que han conducido a diferentes formas de análisis de este proceso, se utilizó correlaciones ya establecidas para este proceso; además, se relacionaron los resultados obtenidos mediante métodos analíticos y numéricos, los resultados que se obtuvieron, llegaron a ser los esperados, debido a la longitud del tubo y a la rugosidad de la pared, además se produce una transferencia de calor desde el exterior a el fluido, provocando que el refrigerante cambie de fase, al medir esta cantidad se verifica que la ebullición se origina en la cercanía de las paredes de la tubería.

Palabras clave: ebullición, cambio de fase, turbulencia, transferencia de calor.

1 Luis Fernando Toapanta Ramos, máster en Gestión de Energías, ingeniero mecánico, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (ltoapanta@ups.edu.ec).

2 César Nieto Londoño, PhD en Ingeniería, ingeniero mecánico, docente de la Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia (cesar.nieto@upb.edu.co).

3 William Quitiaquez Sarzosa, máster en Gestión de Energías, ingeniero mecánico, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (wquitiaquez@ups.edu.ec).

Biodegradation in fresh and salt water of oxo-biodegradable bags, simulating environmental conditions of the Ecuadorian Costa, Sierra and Oriente

Biodegradación en agua dulce y salada de bolsas oxobiodegradables, simulando condiciones ambientales de Costa, Sierra y Oriente ecuatoriano

E. Coyago,¹ N. Escobar,² C. Ushiña³

Abstract: *in recent years, in Ecuador, the consumption of plastic bags has increased, and the inadequate final disposition causes them to end up in inappropriate places such as rivers and seas. The present work studied the biodegradation of oxo-biodegradable bags in fresh and salt water, simulating environmental conditions of the Coast, Sierra and Ecuadorian Amazon. Different types of bags supplied to consumers were collected in the sale of products. A bioreactor was designed and built to simulate the environmental conditions of the three regions under study. The selected samples were exposed for two months to environmental conditions of each of the regions under study and subsequently were placed for three months in the bioreactor simulating the environmental conditions of rivers and seas of each chosen region, after which time the weight, functional groups by infrared spectroscopy, DSC melting temperature and tension in the samples under study. The results showed that the weight increased between 25% and 40 %, there was the presence of diffe-*

rent functional groups that suggest the beginning of the degradation; the tension at three months showed a 50% decrease in all cases and the fusion temperature did not change. The biodegradation of the oxo-biodegradable bags in fresh water and environmental conditions of the Ecuadorian highlands required less time (30 days) than in the other conditions studied.

Keywords: *oxo-biodegradable bags, biodegradation, bioreactor.*

Resumen: en los últimos años, en Ecuador, se ha incrementado el consumo de fundas plásticas, y la inadecuada disposición final hace que estas terminen en lugares inapropiados como ríos y mares. El presente trabajo estudió la biodegradación de bolsas oxo-biodegradables en agua dulce y salada, simulando condiciones ambientales de la Costa, Sierra y Amazonía ecuatoriana. Se recolectaron diferentes tipos de bolsas suministradas a los consumidores en el expendio de productos. Se diseñó

- 1 Elena del Rocío Coyago Cruz, PhD en Ingeniería Agraria, Alimentaria, Forestal y del Desarrollo Rural Sostenible, máster en Ingeniería Industrial y Productividad, ingeniera química, docente-investigadora en la Carrera en Ingeniería en Biotecnología de los Recursos Naturales de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (ecoyagoc@ups.edu.ec).
- 2 Nelly Jacqueline Escobar Silva, ingeniera ambiental de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (nescorbars@est.ups.edu.ec).
- 3 Christian Fernando Ushiña Simbaña, estudiante de la Carrera en Ingeniería en Biotecnología de los Recursos Naturales de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (cushinas@ups.edu.ec).

y construyó un bioreactor para simular las condiciones ambientales de las tres regiones en estudio. Las muestras seleccionadas se expusieron por dos meses a las condiciones ambientales de cada una de las regiones en estudio y posteriormente se colocaron por tres meses en el biorreactor simulando las condiciones ambientales de ríos y mares de cada región elegida, luego de este tiempo se cuantificó el peso, grupos funcionales por espectroscopía de infrarrojo, temperatura de fusión por DSC y tensión en las muestras en estudio. Los resultados mostraron que el peso incrementó entre

el 25% y 40%, existió la presencia de distintos grupos funcionales que sugieren el inicio de la degradación; la tensión a los tres meses presentó una disminución del 50% en todos los casos y la temperatura de fusión no presentó cambios. La biodegradación de las bolsas oxo-biodegradables en agua dulce y condiciones ambientales de la sierra ecuatoriana requirió de menor tiempo (30 días) que en las otras condiciones estudiadas.

Palabras clave: bolsas oxobiodegradable, biodegradación, biorreactor.

Immunoglobulin concentration of bovine colostrum using membrane technology

Concentración de inmunoglobulinas de calostro bovino utilizando tecnología de membranas

E. Coyago,¹ A. Páez,² M. Villacís,³ J. Simbaña,⁴ M. Coronel,⁵ E. Beltrán⁶

Abstract: *the immunoglobulins from colostrum are an important source of nutrients, since they confer passive immunity. The objective of this work was to concentrate the immunoglobulins of bovine colostrum using tangential microfiltration. A selection of livestock breeds was carried out in the Cayambe Canton in three different haciendas and quality parameters were evaluated (fat, protein, lactose, total solids, non-fat solids, total bacteria count, somatic cell count, total coliform count and Escherichia Coli). On the other hand, using liquid chromatography, we studied the concentration of immunoglobulins in colostrum after delivery, and the determination of the concentration of them when tangential microfiltration was applied; In addition, the microbiological analysis of the output streams of the process was carried out. The results showed that the majority race in Cayambe was Holstein, the concentration of immunoglobulins decreased by 83% at 4 days after delivery and the microfiltration process caused a concentration of approximately 70% of the im-*

munoglobulins. As such, the membrane technology can recover a greater amount of immunoglobulins which could be used in functional products.

Keywords: *colostrum, immunoglobulins, microfiltration, bovine.*

Resumen: las inmunoglobulinas provenientes de calostro son una fuente importante de nutrientes, ya que confieren inmunidad pasiva. El objetivo del presente trabajo consistió en concentrar las inmunoglobulinas del calostro bovino utilizando microfiltración tangencial. Se realizó una selección de razas de ganado en el cantón Cayambe en tres haciendas diferentes y se evaluó parámetros de calidad (grasa, proteína, lactosa, sólidos totales, sólidos no grasos, conteo de bacterias totales, conteo de células somáticas, recuento de coliformes totales y *Escherichia Coli*). Por otro lado, empleando cromatografía líquida, se realizó el estudio de la concentración de inmunoglobulinas en el calostro luego del parto, y la determinación de la concentración de las mismas cuando se aplicó microfiltra-

- 1 Elena del Rocío Coyago Cruz, PhD en Ingeniería Agraria, Alimentaria, Forestal y del Desarrollo Rural Sostenible, máster en Ingeniería Industrial y Productividad, ingeniera química, docente-investigadora en la Carrera en Ingeniería en Biotecnología de los Recursos Naturales de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (ecoyagoc@ups.edu.ec).
- 2 Ana Lucía Páez Fiallos, ingeniera en Biotecnología de los Recursos Naturales de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (apaezf@est.ups.edu.ec).
- 3 Michael Eduardo Villacís Tuza, estudiante de la Carrera de Biotecnología de los Recursos Naturales de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (mvillacis1@est.ups.edu.ec).
- 4 Jessica Geovanna Simbaña Tasintuña, estudiante de la Carrera de Biotecnología de los Recursos Naturales de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (jsimbanat@est.ups.edu.ec).
- 5 Manuel Alberto Coronel Feijó, máster en Nutrición y Dietética, coordinador de Carrera de Ingeniería de Alimentos de la Universidad UTE, Ecuador (manuel.coronel@ute.edu.ec).
- 6 Elena del Rosario Beltrán Sinchiguano, máster en Alimentos, ingeniera química, docente-investigadora de la Carrera de Ingeniería de Alimentos de la Universidad UTE, Ecuador (elena.beltran@ute.edu.ec).

ción tangencial; además se efectuó el análisis microbiológico de las corrientes de salida del proceso. Los resultados mostraron que la raza mayoritaria en Cayambe fue la Holstein, la concentración de inmunoglobulinas disminuyó en un 83% a los cuatro días después del parto y el proceso de microfiltración provocó una concentración de aproximada-

mente el 70% de las inmunoglobulinas. En tal virtud, la tecnología de membranas puede recuperar una mayor cantidad de inmunoglobulinas las cuales podrían ser empleadas en productos funcionales.

Palabras clave: calostro, inmunoglobulinas, microfiltración, bovino.

Extraction and quantification of carotenoids from the culture of the microalgae *Coenochloris sp.*

Extracción y cuantificación de carotenoides del cultivo de la microalga *Coenochloris sp.*

E. Coyago,¹ L. Valdés,² G. Méndez,³ A. Soto,⁴ A. Guachamín⁵

Abstract: *the cultivation of microalgae is important for its growth and generation of secondary metabolites. Coenochloris sp., is a chlorophyll microalgae, capable of accumulating photosynthetic pigments under optimal growth conditions. Carotenoids are photosynthetic pigments, which have an antioxidant capacity and have been found to prevent certain diseases. The objective of this research was to extract and quantify photosynthetic pigments (carotenoids) from the culture of the microalgae Coenochloris sp., under mixedotrophic conditions. The microalga was evaluated with three different cultures: autotrophic (CNFK), mixotrophic (FSPGSC M) and fed batch culture (FSPGSC CDA), where 2.5 ml/l of soluble fraction of sprouted non-husked potato was added every 5 days (FSPGSC). The time of evaluation of the cultures was 29 days, where CNFK gave the highest concentration of carotenoids with 0.69 µg/ml, followed by FSPGSC M and FSPGSC CDA with 5.01 µg/ml, and 4.13 µg/ml respecti-*

vely. DMSO was the most effective solvent for obtaining pigments. The separation of carotenoids was more efficient by column chromatography showing 54% efficiency.

Keywords: *Coenochloris sp., mixotrophics, carotenoids.*

Resumen: El cultivo de microalgas toma importancia por su crecimiento y generación de metabolitos secundarios. *Coenochloris sp.*, es una microalga clorofita, capaz de acumular pigmentos fotosintéticos en condiciones óptimas de crecimiento. Los carotenoides son pigmentos fotosintéticos, que poseen una capacidad antioxidante, y se ha encontrado previenen ciertas enfermedades. Esta investigación tuvo como objetivo extraer y cuantificar pigmentos fotosintéticos (carotenoides) del cultivo de la microalga *Coenochloris sp.*, en condiciones mixotróficas. La microalga se evaluó con tres cultivos diferentes, autotrófi-

- 1 Elena del Rocío Coyago Cruz, PhD en Ingeniería Agraria, Alimentaria, Forestal y del Desarrollo Rural Sostenible, máster en Ingeniería Industrial y Productividad, ingeniera química, docente-investigadora en la Carrera en Ingeniería en Biotecnología de los Recursos Naturales de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (ecoyagoc@ups.edu.ec).
- 2 Luis Alberto Valdés Silverio, máster en Microbiología, ex docente-investigador de la Carrera en Ingeniería en Biotecnología de los Recursos Naturales de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (lvaldessa@ups.edu.ec).
- 3 Gabriela Inés Méndez Silva, máster en Microbiología, ingeniera en Biotecnología de los Recursos Naturales, docente-investigadora de la Carrera en Ingeniería en Biotecnología de los Recursos Naturales de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (gmendez@ups.edu.ec).
- 4 Antonio Alexandre Soto Pérez, estudiante de la Carrera en Ingeniería en Biotecnología de los Recursos Naturales de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (asotop@est.ups.edu.ec).
- 5 Aida Graciela Guachamín Ushiña, estudiante de la Carrera en Ingeniería en Biotecnología de los Recursos Naturales de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (aguachaminu@est.ups.edu.ec).

co (CNFK), mixotrófico (FSPGSC M) y cultivo discontinuo alimentado (FSPGSC CDA), donde se adicionó cada cinco días, 2,5 ml/l de fracción soluble de papa germinada sin cáscara (FSPGSC). El tiempo de evaluación de los cultivos fue de 29 días, donde CNFK otorgó la mayor concentración de carotenoides con 0,69 $\mu\text{g/ml}$, seguido de FSPGSC M y FSPGSC CDA con 5,01 $\mu\text{g/ml}$, y 4,13

$\mu\text{g/ml}$ respectivamente. El solvente más efectivo para la obtención de pigmentos fue el DMSO. La separación de carotenoides fue más eficiente por cromatografía en columna mostrando un 54% de eficiencia.

Palabras clave: *Coenochloris* sp., mixotróficos, carotenoides.

Evaluation of the growth of *Bacillus megaterium* in liquid biopreparates

Evaluación del crecimiento de *Bacillus megaterium* en biopreparados líquidos

R. Acurio,¹ M. Tenorio,² L. Collaguazo³

Abstract: *the use of beneficial bacteria brings significant profitability in biological control of diseases but its massification remains costly, therefore the validation of an efficiency and economic culture medium is an important challenge. The aim of this research is to validate economic mediums using soybean meal and fava meal as nitrogen sources and ground brown sugar as a carbon source. For that, we multiplied a strain of Bacillus megaterium that in previous research demonstrated a capacity to bio-control phytopathogenic fungi in in vitro tests. The tests were carried out on 250 ml plates containing 100 ml of each bio-preparation. The results show that after 72 hours of incubation at 35° C and 100 rpm, the bio-preparation compound of 40 g/L-1 of fava meal and 5 g/L-1 of ground brown sugar has a maximum cell growth of 4.5x10⁸ CFU.ml-1, which is not a statistical difference with the commercial medium TSB where 5.0x10⁸ CFU.ml-1 were obtained. In addition, we perform molecular identification of the bacterial isolate using the 16S rDNA gene region, we analyzed the sequence and compared it with the BLASTn tool of the NCBI data base.*

Keywords: *bioprepared, Bacillus megaterium, panela, ground brown sugar, soybean meal.*

Resumen: el uso de bacterias benéficas reporta beneficios significativos en el control biológico de enfermedades, sin embargo, su masificación sigue siendo costosa, por lo que la validación de medios de cultivo eficientes y de bajo costo es un reto importante. El objetivo de la presente investigación es validar medios económicos usando harina de soya y haba como fuentes de nitrógeno y panela como fuente de carbono. Para ello, se multiplicaron aislados bacterianos de *Bacillus megaterium*, cepa que en investigaciones previas demostró capacidad biocontroladora de hongos fitopatógenos en ensayos *in vitro*. Las pruebas se llevaron a cabo en matraces de 250 ml que contenían 100 ml de cada biopreparado. Los resultados muestran que al cabo de 72 horas de incubación a 35° C y a 100 rpm, el biopreparado, compuesto de 40 g/L-1 de harina de haba y 5 g/L-1 de panela molida, presentó un crecimiento celular máximo de 4,5 x 10⁸ UFC/ml-1, el cual no presentó diferencia estadística con el medio comercial TSB en donde se obtuvo 5,0 x 10⁸ UFC/ml-1. Adicionalmente, se realizó la identificación a nivel molecular del aislado bacteriano utilizando la región del gen 16S rDNA, se analizó la secuencia obtenida y se la comparó con la herramienta de BLASTn de la base de datos de NCBI.

Palabras clave: biopreparado, *Bacillus megaterium*, panela, harina de soya.

- 1 Ramiro Daniel Acurio Vásconez, máster en Gestión de la Producción de Flores y Frutas Andinas para Exportación, ingeniero agropecuario, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (racurio@ups.edu.ec).
- 2 Estefany Michelle Tenorio Moya, ingeniera en Biotecnología de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, (etenorio@est.ups.edu.ec).
- 3 Leidy Andrina Collaguazo, ingeniera en Biotecnología de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, (lcollaguazo@est.ups.edu.ec).

In vitro adaptation of *Cyphomandra betacea*: Effect of inorganic salts and nitrogen

Adaptación *in vitro* de *Cyphomandra betacea*: efecto de sales inorgánicas y nitrógeno

I. Vaca,¹ J. Meneses,² E. Masache,³ J. Ramírez⁴

Abstract: *the tree tomato (Cyphomandra betacea), is a native plant from the Andean zone. The plants present low genetic variation, limiting the production of plants resistant to pests or diseases, and high yielding varieties, because of it is cultivated of self-fertilized seeds and cuttings (vegetative propagation), mainly. Therefore, the low quality of the vegetal material and the excessive application of chemical products for the control of pests and diseases, cause that the production costs rise, reaching up to 45% of the same. The cultivation of tissues allows the production of plants free of fungi and bacteria, and with high homogeneity, necessary for the renewal of the crop. Tree tomato fruits (giant variety) were selected for the tissue culture, from which the seeds were extracted; disinfected with a previously standardized protocol and planted in MS medium, with three concentrations of salts to determine the optimal level for their in vitro adaptation. The evaluation of the concentration of salts and nitrogen in the culture medium, allowed determining that the lowest level of MS salts (5%) and therefore the concentration of nitrogen (0,48 mM) favored mainly the production of leaves and a greater length of stem, in the production of vitroplants.*

Keywords: *tree tomato, tamarillo, MS salts, nitrogen.*

Resumen: *el tomate de árbol (Cyphomandra betacea) es una planta originaria de los Andes y se cultiva por medio de semillas y estacas (propagación vegetativa y su típica autofecundación), las plantas presentan baja variación genética, limitando la producción de plantas resistentes a plagas o enfermedades, y variedades de alto rendimiento; por tanto la baja calidad del material vegetal y la aplicación desmedida de productos químicos para el control sanitario, hacen que los costos de producción se eleven, alcanzando hasta el 45% del mismo. El cultivo de tejidos permite la producción de plantas libres de hongos y bacterias, y con alta homogeneidad, necesarias para la renovación del cultivo. Se seleccionaron frutos de la variedad gigante, de los cuales se extrajeron las semillas, que fueron desinfectadas con un protocolo previamente estandarizado; se sembraron en medio MS, con tres concentraciones de sales para determinar el nivel óptimo para su adaptación *in vitro*. La evaluación de la concentración de sales y nitrógeno en el medio de cultivo, permitió determinar que el nivel más bajo de sales MS (5%) y por tanto la menor concentración de nitrógeno (0,48 mM), favoreció principalmente a la producción de hojas y una mayor longitud de tallo, en la producción de vitroplantas.*

Palabras clave: *tomate de árbol, tamarillo, sales MS, nitrógeno.*

1 Ivonne Vaca Suquillo, máster en Biotecnología Agrícola, ingeniera agropecuaria, docente-investigadora de la Universidad Politécnica Salesiana y miembro del Grupo de Investigación BIOARN, Ecuador (ivaca@ups.edu.ec).

2 Johana Meneses Morillo, ingeniera en Biotecnología de los Recursos Naturales de la Universidad Politécnica Salesiana y miembro del Grupo de Investigación BIOARN, Ecuador (jmeneses@ups.edu.ec).

3 Evelin Masache Almeida, ingeniera en Biotecnología de los Recursos Naturales de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (emasachea@est.ups.edu.ec).

4 Josué Ramírez Loaiza, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Biotecnología de los Recursos Naturales de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (jramirezl@est.ups.edu.ec).

Molecular detection by real-time PCR of *Stenotrophomona maltophilia*: Bacteria of biotechnological interest

Detección molecular mediante PCR en tiempo real de *Stenotrophomona maltophilia*: bacteria de interés biotecnológico

V. Chiluisa,¹ C. Sánchez,² M. Maldonado³

Abstract: *Stenotrophomona maltophilia* is a gram negative bacterium considered problematic, due to its increasing resistance to multiple antibiotics and is an important pathogen of immunosuppressed patients; but on the other hand, the multidisciplinary role of *Stenotrophomonas* in our environment should be highlighted, with special attention to its metabolic and genetic potential in relation to biotechnological processes. The main objective of this research was to identify bacteria that produce antibiotics and with bioremediation potential of the genus *Stenotrophomona*; identified biochemically as *Stenotrophomona maltophilia* by Egas and Tinajero (2016). The DNA was extracted using the High Pure Template Preparation Kit and the bacterial strains were identified by analyzing the amplification curves obtained in the thermal cycler in real time. The bacterial concentration obtained for the strains in all the replicates was 9×10^8 CFU/mL (standard 3 on the McFarland scale). For the real-time PCR technique, 20 μ L capillaries were used for the amplification and specific primers. The molecular technique of the real-time PCR by analyzing

the amplification curves, confirmed that the strain studied belongs to the species *Stenotrophomona maltophilia*, after its biochemical presumption.

Keywords: specific primers, molecular identification, RT-PCR, bioremediation.

Resumen: *Stenotrophomona maltophilia* es una bacteria gram negativa considerada problemática, debido a su creciente resistencia a múltiples antibióticos y es un importante patógeno de pacientes inmunodeprimidos. Por otro lado, se debe destacar el papel multidisciplinar de las *Stenotrophomonas* en nuestro entorno, con especial atención a su potencial metabólico y genético en relación con procesos biotecnológicos. La presente investigación tuvo como objetivo principal identificar molecularmente bacterias productoras de antibióticos y con potencial biorremediador del género *Stenotrophomona*, identificadas bioquímicamente como *Stenotrophomona maltophilia* por Egas y Tinajero (2016). Se extrajo el ADN utilizando el High Pure Template Preparation Kit y se identificó las cepas bacterianas mediante el análisis de las curvas de amplificación

- 1 Viviana Pamela Chiluisa Utreras, máster en Biotecnología, máster en Biología de la Conservación, ingeniera en Biotecnología, docente de la Carrera de Biotecnología de la Universidad Politécnica Salesiana, miembro del Grupo de Investigación BIOARN, Ecuador (vchiluisa@ups.edu.ec).
- 2 Cristófer Wilson Sánchez Robalino, ingeniero en Biotecnología de los Recursos Naturales de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (cristofer_rizz6@hotmail.com).
- 3 María Elena Maldonado Rodríguez, PhD en Bioquímica y Biología Molecular, máster en Tecnologías para el Aprovechamiento de Recursos Naturales no Tradicionales, bioquímica farmacéutica, docente de la Carrera de Biotecnología de la Universidad Politécnica Salesiana, miembro del Grupo de Investigación BIOARN, Ecuador (mmaldonado@ups.edu.ec).

obtenidas en el termociclador en tiempo real. La concentración bacteriana obtenida para las cepas en todas las repeticiones fue 9×10^8 UFC/mL (estándar 3 en la escala McFarland). Para la técnica de PCR en tiempo real, se emplearon capilares de 20 μ L para la amplificación y primers específicos. La técnica molecular de la PCR en tiempo real mediante

el análisis de las curvas de amplificación, confirmó que la cepa estudiada pertenece a la especie *Stenotrophomonas maltophilia*, después de su presunción bioquímica.

Palabras clave: *primers* específicos, identificación molecular, RT-PCR, biorremediación.

Biodegradation of oxo-biodegradables bags simulating environmental conditions of Quito and Manta

Biodegradación de bolsas oxobiodegradables simulando condiciones ambientales de Quito y Manta

E. Coyago,¹ D. Cadena,² M. Sandoval,³ A. Yumiseba,⁴ P. Gualoto,⁵ G. Méndez⁶

Abstract: Nowadays the demand for plastics continues to grow rapidly and as a result, the problem of plastic garbage increases due to its low decomposition capacity, generating pollution. To avoid this, a new generation of oxo-biodegradable plastics has been introduced, which contains additives that cause traditional polymers to degrade in less time. This is why the present work consisted in studying the degradation of the oxo-biodegradable bags used in Quito and Manta. Samples of these bags were made in different points of sale in the cities under study; the samples were subjected to environmental conditions and the physical and mechanical properties, thermal properties by differential scanning calorimetry and degradation by infrared spectroscopy (FT-IR) were evaluated. The results showed a higher percentage of loss of physical (weight and thickness) and mechanical (tension) properties in the sun exposure

process. As for the loss of the chemical structure, determined by FT-IR, the onset of degradation was evidenced by the appearance of functional groups such as carboxylic acids and acyl halides. However, there was no total degradation, so they continue to be a contaminant and should not be dumped in landfills.

Keywords: oxo-biodegradable bags, degradation, FT-IR.

Resumen: en la actualidad, la demanda de plásticos sigue creciendo rápidamente y como consecuencia de ello, el problema de la basura plástica aumenta debido a su baja capacidad de descomposición, generando contaminación. Para evitar esto, se ha introducido una nueva generación de plásticos oxobiodegradables, los cuales contiene aditivos que hace que los polímeros tradicionales

- 1 Elena del Rocío Coyago Cruz, PhD en Ingeniería Agraria, Alimentaria, Forestal y del Desarrollo Rural Sostenible, máster en Ingeniería Industrial y Productividad, ingeniera química, docente-investigadora en la Carrera en Ingeniería en Biotecnología de los Recursos Naturales de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (ecoyagoc@ups.edu.ec).
- 2 Daniela Verónica Cadena Calvachi, ingeniera ambiental de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (dacadenc@est.ups.edu.ec).
- 3 María Isabel Sandoval Moreira, ingeniera ambiental de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (msandovalm@est.ups.edu.ec).
- 4 Adelaida Denisse Yumiseba Gobaya, estudiante de la Carrera en Biotecnología de los Recursos Naturales de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (ayumiseba@est.ups.edu.ec).
- 5 Paola Elizabeth Gualoto Tipantasi, estudiante de la Carrera en Biotecnología de los Recursos Naturales de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (pgualoto@est.ups.edu.ec).
- 6 Gabriela Inés Méndez Silva, máster en Microbiología, ingeniera en Biotecnología de los Recursos Naturales, docente-investigadora de la Carrera en Ingeniería en Biotecnología de los Recursos Naturales de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (gmendez@ups.edu.ec).

se degraden en menor tiempo. Es por esto que el presente trabajo consistió en estudiar la degradación de las bolsas oxobiodegradables que se usan en Quito y Manta. Se realizó muestreos de dichas bolsas en distintos puntos de venta en las ciudades en estudio; las muestras se sometieron a condiciones ambientales y se evaluó en ellas las propiedades físicas y mecánicas, propiedades térmicas mediante calorimetría diferencial de barrido y la degradación por espectroscopía de infrarrojo (FT-IR). Los resultados mostraron un mayor porcentaje de pérdida de las propiedades físicas

(peso y espesor) y mecánicas (tensión) en el proceso de exposición al sol. En cuanto a la pérdida de la estructura química, determinada mediante FT-IR, se evidenció el inicio de degradación por la aparición de grupos funcionales como ácidos carboxílicos y haluros de acilo. Sin embargo, no hubo una degradación total, por tanto continúan siendo un contaminante y no deben ser vertidos en los rellenos sanitarios.

Palabras clave: bolsas oxobiodegradables, degradación, Quito, FT-IR.

Phenol removal using radish peroxidases (*Raphanus sativus var sativus*)

Remoción de fenoles utilizando peroxidases de rábano (*Raphanus sativus var sativus*)

P. Gutiérrez¹

Abstract: phenols are organic compounds present in the effluents of the pharmaceutical, paper, plastic, textile, oil refinery, and other industries. The toxicity of phenols is high, even at low concentrations, therefore, their removal is relevant to the maintenance of ecosystems. The aim of this research was to use enzymes of radish with peroxidasic activity (*Raphanus sativus var sativus*) to remove synthetic water phenols. The peroxidase was purified from the extract of radish root with ammonium sulphate ((NH₄)₂SO₄) at 90% saturation. The degree of purification achieved was 4.6 times with a yield of 81.41%; the enzymatic activity and the specific activity of the purified enzymes was 4409.216 U mL⁻¹ and 513.895 U mg⁻¹, respectively. The results show that 324.077 U of *Raphanus sativus var sativus* peroxidases remove up to 90% of phenolic compounds at pH 7.4; ambient temperature and concentrations of H₂O₂ 5 mM and phenol 0.5 mM. At concentrations greater than 5mM of H₂O₂, the enzyme was inactivated by excess substrate. Finally, we conclude that radish peroxidases efficiently removes synthetic water phenols, leaving the possibility of being used in the treatment of industrial effluents.

Keywords: peroxidases, enzymes, phenols, bioremediation.

Resumen: los fenoles son compuesto orgánicos presentes en los efluentes de la industria farmacéutica, papelera, de plásticos, textil, de refinamiento de petróleo, entre otras. La toxicidad de los fenoles es alta, incluso a bajas concentraciones, por lo tanto, su remoción es relevante para el mantenimiento de los ecosistemas. La presente investigación tuvo como objetivo usar enzimas de rábano (*Raphanus sativus var sativus*) con actividad peroxidásica para eliminar fenoles de agua sintética. Las peroxidases se purificaron del extracto de raíz de rábano con sulfato de amonio ((NH₄)₂SO₄) al 90% de saturación. El grado de purificación alcanzado fue de 4,6 veces con un rendimiento del 81,41%; la actividad enzimática y la actividad específica de las enzimas purificadas fue de 4409,216 U/mL-1 y 513,895 U/mg-1, respectivamente. Los resultados muestran que 324,077 U de peroxidases de *Raphanus sativus var sativus* remueven hasta el 90% de compuestos fenólicos, a pH 7,4; temperatura ambiente y concentraciones de H₂O₂ 5 mM y fenol 0,5 mM. A concentraciones mayores de 5 mM de H₂O₂ se inactivó la enzima por exceso de sustrato. Finalmente concluimos que las peroxidases de rábano remueven eficientemente fenoles de agua sintética, dejando la posibilidad de ser empleadas en el tratamiento de efluentes industriales.

Palabras clave: peroxidases, enzimas, fenoles, biorremediación.

1 Patricia Gutiérrez Salazar, máster en Biología de la Conservación, ingeniera en Biotecnología, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (pgutierrez@ups.edu.ec).

Research of hormetic effect of inorganic salts in the *in vitro* culture of *Brassica oleracea* var. *italica*

Estudio del efecto hormético de las sales inorgánicas en el cultivo *in vitro* de *Brassica oleracea* var. *italica*

J. Meneses,¹ E. Masache,² I. Vaca³

Abstract: *the research carried out is viable because the beneficiaries can use and replicate the developed tissue culture protocol for the mass production of healthy plants (free of pathogens), understanding as direct beneficiaries the farmers and researchers of the biotechnological agricultural area. The present Research sought to evaluate the concentration of M & S salts to determine the optimal medium for the in vitro introduction of broccoli. For the evaluation of M & S salts, the three concentrations M1 (100%), M2 (50%) and M3 (25%) were optimal for germination during in vitro introduction. Once the explant (seeds) was selected, the disinfection protocol was performed with 80% ethanol (NaClO) at 30% with three drops of Tween 20 x 18min, followed by 4 rinses with ADE, in the introduction phase, the concentrations of salts M1 (100%), M2 (50%) and M3 (25%) and variables such as percentage of germination, length and stem consistency. For the variable length of the stem the three concentrations of salts were suitable to obtain a range between 4.23 to 4.50 cm per explant, allowing the growth of the stem. The variable stem consistency determined vitrification for the M1 (100%) and M3 (25%) treatments for the introduction phase. In the study it was established that the M1 (100%) and M3 (25%) salts are optimal for the in vitro establishment of broccoli.*

Keywords: *broccoli, seed, germination, vitrification.*

Resumen: la investigación realizada es viable debido a que los beneficiarios, puede utilizar y replicar el protocolo de cultivo de tejidos desarrollado, para la producción masiva de plantas sanas (libres de patógenos), entendiéndose como beneficiarios directos a los agricultores e investigadores del área agrícola biotecnológica. El presente trabajo buscó evaluar la concentración de sales M&S para determinar el medio óptimo en introducción *in vitro* de brócoli. Para la evaluación de sales M&S, se ensayaron tres concentraciones M1 (100%), M2 (50%) y M3 (25%), resultando óptimas para la germinación durante introducción *in vitro*. Una vez seleccionado el explante (semillas), se realizó el protocolo de desinfección con etanol 80%, (NaClO) al 30% con tres gotas de Tween 20 x 18 min, seguido de cuatro enjuagues con ADE, en la fase de introducción se evaluó las concentraciones de sales M1 (100%), M2 (50%) y M3 (25%) y variables como: porcentaje de germinación, longitud y consistencia de tallo. En cuanto a la variable longitud del tallo las tres concentraciones de sales fueron adecuadas obteniéndose un rango entre 4,23 a 4,50 cm por explante, permitiendo el crecimiento del tallo. La variable consistencia del tallo determinó vitrificación para los tratamientos M1 (100%) y M3 (25%) para la fase de introducción. En el estudio se estableció que las sales M1 (100%) y M3 (25%) son óptimas para el establecimiento *in vitro* de brócoli.

Palabras clave: brócoli, semilla, germinación, vitrificación.

1 Johana Meneses Morillo, ingeniera en Biotecnología de los Recursos Naturales de la Universidad Politécnica Salesiana y miembro del Grupo de Investigación BIOARN, Ecuador (jmeneses@ups.edu.ec).

2 Evelin Masache Almeida, ingeniera en Biotecnología de los Recursos Naturales de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (emasachea@est.ups.edu.ec)

3 Ivonne Vaca Suquillo, máster en Biotecnología Agrícola, ingeniera agropecuaria, docente-investigadora de la Universidad Politécnica Salesiana y miembro del Grupo de Investigación BIOARN, Ecuador (ivaca@ups.edu.ec).

Identification of critical noise points in La Delicia-Quito using geographic information systems

Identificación de puntos críticos de ruido en la administración zonal La Delicia-Quito utilizando sistemas de información geográfica

C. Álvarez,¹ L. Cahusqui,² K. Herrera,³ M. Pazmiño,⁴ L. Ramírez⁵

Abstract: *acoustic pollution relates to the excessive and annoying degree of noise in a certain place, the same that can generate problems on the environment and human or animals health. According to the public perception, noise is the third polluter for the inhabitants of the Metropolitan District of Quito (DMQ). This is a major concern for citizens of the city, being its main sources: road traffic, air traffic and commercial and industrial activities. This has become a real chaos, which somehow has to be controlled in the city while considering issues of urban planning and specialization.*

Keywords: *acoustic pollution, noise, cities, urban planning.*

Resumen: la contaminación acústica está relacionada con el grado excesivo y molesto de ruido en determinado lugar, el mismo que puede generar problemas sobre el ambiente y la salud. Según la percepción ciudadana el ruido es el tercer contaminante para los habitantes del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) por lo que es muy preocupante para los ciudadanos, siendo sus principales fuentes: el tráfico rodado, aéreo y actividades comerciales e industriales. Esto se ha convertido en un verdadero caos, el cual de alguna manera se busca controlar y gestionar en la ciudad, considerando temas de planificación urbana y especialización.

Palabras clave: contaminación acústica, ruido, ciudades, planificación urbana.

- 1 César Iván Álvarez Mendoza, candidato doctoral, ingeniero geógrafo y del medio ambiente, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, miembro del Grupo de Investigación Ambiental en el Desarrollo Sustentable (GIADES), Ecuador (calvarezm@ups.edu.ec).
- 2 Lorena Cahusqui, ingeniera ambiental egresada de la Universidad Politécnica Salesiana, miembro del Grupo de Investigación Ambiental en el Desarrollo Sustentable (GIADES), Ecuador (lcahusqui@est.ups.edu.ec).
- 3 Katherine Herrera, ingeniera ambiental egresada de la Universidad Politécnica Salesiana, miembro del Grupo de Investigación Ambiental en el Desarrollo Sustentable (GIADES), Ecuador (kherrerass1@est.ups.edu.ec).
- 4 Marcela Pazmiño, ingeniera ambiental egresada de la Universidad Politécnica Salesiana, miembro del Grupo de Investigación Ambiental en el Desarrollo Sustentable (GIADES), Ecuador (mpasmino@est.ups.edu.ec).
- 5 Lenin Xavier Ramírez Cando, PhD, ingeniero en Biotecnología, docente de la Universidad de Guayaquil, Ecuador (lenin.ramirez@ug.edu.ec).

Integral management of solid waste, applied in the Quito Metro

Sistema de gestión integral de residuos sólidos, aplicado en el metro del Distrito Metropolitano de Quito

B. Carrera,¹ D. Espinoza,² T. Simba³

Abstract: *only 10% of the 2.000 tons of solid waste generated in the Metropolitan District of Quito, are recycled, while 90% of them, they end up in the landfill Inga, spending on average USD 2'400.000 in collection household waste. Integral System Solid Waste Management, implemented in Quito Metro is presented as the alternative to creating a culture of recycling and offset the carbon footprint generated by each inhabitant in the District. The project proposes a user an innovative alternative that to take the Metro de Quito can pay your ticket with a number of established recycling, depending on the material, giving a monetary value to recycled material. Collection centers will be placed in strategic stations in Quito, where the user through a magnetic card recharge the value of recycling meter. This recycling rate will increase capital by 20%, generating an estimated monthly savings of USD 194.297 to the municipality of Quito, corresponding to 8.9% of the current value. It is worth mentioning that the staff in charge of waste collection in the collection center will be the same sappers of the city, with appropriate personal protective equipment, thereby improving their lifestyle.*

Keywords: *waste, recycling, transport, carbon footprint.*

Resumen: solo el 10% de las 2 000 toneladas de los residuos sólidos que se generan en el Distrito Metropolitano de Quito, son reciclados, mientras que el 90% de mismos, van a parar en el relleno sanitario del Inga, gastando en promedio 2 400 000 USD en recolección de residuos domésticos. El sistema de gestión integral de residuos sólidos aplicado en el metro de Quito se presenta como la alternativa para crear una cultura de reciclaje y compensar la huella de carbono que genera cada habitante en Quito. El proyecto propone a un usuario una alternativa innovadora, que al ocupar el metro de Quito pueda pagar su pasaje con una cantidad de reciclaje establecido, según el material, dando un valor monetario al material reciclado. Los centros de acopio estarán colocados en estaciones estratégicas del metro de Quito, donde el usuario a través de una tarjeta magnética recargue el valor correspondiente de su reciclaje. Se generará un ahorro aproximado de 194 297 USD mensual al Municipio de Quito, correspondiente al 8,9% del valor actual. El personal encargado de la recolección de residuos en el centro de acopio, serán los mismos minadores de la urbe, con el equipo de protección personal adecuado.

Palabras clave: residuos, reciclaje, transporte, huella de carbono.

1 Bryan Enrique Carrera Martínez, estudiante de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (bcarreram@est.ups.edu.ec).

2 Dennise Elizabeth Espinoza Chico, estudiante de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (despinozac3@est.ups.edu.ec).

3 Erika Tatiana Simba, estudiante de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (esimbasm@est.ups.edu.ec).

Emission factors of vehicles in a city type Metropolitan District of Quito

Factores de emisión de vehículos en una ciudad tipo Distrito Metropolitano de Quito

C. Ulloa,¹ F. Letamendi,² A. Pazmiño³

Abstract: *in recent years there has been a considerable growth of the vehicle fleet in the city of Quito, between 2013 and 2016 the registration of 142.580 new vehicles was recorded (INEC, 2016) thus increasing the amount of gases emitted into the atmosphere for each gallon of diesel or gasoline consumed. For the development and promotion of public policies that contribute to the improvement of air quality in cities, it is necessary to know the amount of pollutants that are emitted per kilometer traveled by vehicles. The present investigation obtained the data of distances and fuel consumption based on surveys conducted to owners and drivers of different types of vehicles. The distances of the routes were measured for public transport using Geographical Information Systems software and fuel consumption surveys. Based on these data, the emission factors of different types of vehicles that make up the Quito vehicle fleet were estimated and it was determined that the amount of average carbon dioxide produced by each kilometer traveled by the different vehicles is 7.37.*

Keywords: *emission factors, air quality, pollutants.*

Resumen: en los últimos años se ha observado un crecimiento considerable del parque automotor en la ciudad de Quito, entre los años 2013 y 2016 se registró la matriculación de 142 580 nuevos vehículos (INEC, 2016) incrementando de esta forma la cantidad de gases emitidos a la atmósfera por cada galón de diésel o gasolina consumidos. Para el desarrollo y promoción de políticas públicas que contribuyan con el mejoramiento de la calidad del aire de las ciudades, es necesario conocer la cantidad de contaminantes que se emiten por kilómetro recorrido de los vehículos. La presente investigación obtuvo los datos de distancias y consumo de combustible en base a encuestas realizadas a propietarios y conductores de diferentes tipo de vehículos. Para el transporte público se midieron las distancias de las rutas utilizando software de Sistemas de Información Geográfica y encuestas sobre el consumo de combustible. En base a estos datos se estimaron los factores de emisión de diferentes tipos de vehículos que conforman el parque vehicular de Quito y se determinó que la cantidad de dióxido de carbono promedio que se produce por cada kilómetro recorrido de los diferentes vehículos es de 7,37.

Palabras clave: factores de emisión, calidad de aire, contaminantes.

- 1 Carlos Andrés Ulloa Vaca, máster en Sistemas de Gestión Ambiental, bioquímico, docente de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Ecuador (culloa@ups.edu.ec).
- 2 Fernando Letamendi, ingeniero ambiental, estudiante de la Especialización en Energías Alternativas de la Universidad Carlos III, Ecuador (fletamendi@uc3m.es).
- 3 Alexandra Karina Pazmiño, máster en Agroecología Tropical Andina, doctora en Química, docente, directora de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Ecuador (apazmi-nop@ups.edu.ec).

Energy harvesting system with piezoelectricity

Sistema de energía *harvesting* utilizando piezo-electricidad

H. Santillán,¹ A. Suárez,² E. Macías³

Abstract: *in previous studies to this document, the authors inquire in their research on clean energy in low consumption circuits, based on this background it is intended to link such works with the Internet of Things networks, in remote places or also in a recreational way. To have a better vision of the work, piezo-electricity concepts and energy harvesters are described in the development of this work. It is introduced to energy harvesters, which have been adopted to absorb the energy of mechanical vibrations and convert them into electrical energy. The power developed by such harvesters depends on the piezoelectric membranes and the energy harvesting system. In addition, the power generated by the micro-scale harvesters is low, but it is intended to optimize the harvest of energy from renewable energy sources applied, for example, to a system of internet circuits of things.*

Keywords: *energy, harvesting, piezo-electricity.*

Resumen: en los estudios previos a este documento los autores buscan plasmar sus investigaciones sobre energías limpias en circuitos de bajo consumo, en base a estos antecedentes se pretende acoplar tales trabajos con las redes del internet de las cosas, en lugares remotos o también de modo recreativo de ser el caso. Para tener una mejor visión del trabajo se describen conceptos de piezo-electricidad y cosechadoras de energía en el desarrollo del presente trabajo. Se introduce a las cosechadoras de energía, las cuales se han adoptado para absorber la energía de las vibraciones mecánicas y convertirlas en energía eléctrica. La potencia desarrollada por tales cosechadoras depende de las membranas piezo eléctricas y el sistema de cosecha de energía. Además, la potencia generada por las cosechadoras a micro escala es baja, pero se pretende optimizar la cosecha de energía a partir de fuentes de energía renovables aplicados a un sistema de circuitos de internet de las cosas, por ejemplo.

Palabras clave: cosechadoras, energía, piezo-electricidad.

- 1 Holger Santillán Carranza, máster en Administración de Empresas, ingeniero electrónico, docente-investigador miembro del Grupo Smart-Tech de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (hsantillan@ups.edu.ec).
- 2 Álvaro Suárez Sarmiento, PhD en Computación, ingeniero telemático, docente-investigador miembro de Grupo de Arquitectura y Concurrencia del Instituto de Ciencias y Tecnologías Cibernéticas (ULPGC), España (alvaro.suarez@ulpgc.es).
- 3 Elsa Macías López, PhD en Telecomunicación, ingeniera telemática, docente-investigadora miembro del Grupo de Arquitectura y Concurrencia del Instituto de Ciencias y Tecnologías Cibernéticas (ULPGC), España (elsa.macias@ulpgc.es).

Design and implementation of a neural control for a tertiary water disinfection pilot plant using porous technology

Diseño e implementación de un control neuronal para una planta piloto de desinfección de aguas terciarias utilizando tecnología porosa

M. Miranda,¹ J. Guzmán,² J. Matailo³

Abstract: *water is a resource that is being polluted every day, not only by people, but also by various industries that eliminate waste to water sources (rivers, lakes, wells, among others), without considering the ecological problem that they cause; faced with this problem, new ways of purifying it were investigated. A water purification plant was designed, which contains filtering media that help give it a better appearance, as well as an ultraviolet light used as a germicide to eliminate bacteria, and a nano-filtration membrane which retains viruses and other microorganisms filter media cannot. After the implementation of this system, a control based on artificial neural networks was developed, which allows me to control a gate valve for a better performance in water production and that quality does not compromise. The control was designed and implemented in Labview, in addition to having sensors that measure the different parameters of the water that I need to know if this water is suitable for consumption.*

Keywords: *purification, neural network, filters media, nano-membrane, control.*

Resumen: el agua es un recurso que cada día está siendo contaminado, no solo por las personas, sino también por diversas industrias que eliminan desperdicios a fuentes de agua (ríos, lagos, pozos, entre otros), sin tener en cuenta el problema ecológico que provocan; ante esta problemática se investigó nuevas formas de purificarla. Se diseñó una planta de purificación de agua, la cual contiene medios filtrantes que ayudan a darle un mejor aspecto, además de una luz ultravioleta utilizada como germicida para eliminar bacterias, y una membrana de nano-filtración la cual retiene virus y otros microorganismos que los medios filtrantes no pueden. Después de la implementación de este sistema, se desarrolló un control basado en redes neuronales artificiales, el cual me permite controlar una válvula de compuerta para un mejor desempeño en la producción del agua y que la calidad no se comprometa. El control se diseñó e implementó en Labview, además de tener sensores que miden los diferentes parámetros del agua que necesito para conocer si esta agua es apta para el consumo.

Palabras clave: purificación, red neuronal, medio filtrante, nanomembrana, control.

- 1 Mónica Miranda Ramos, máster en Automatización y Control Industrial, ingeniera en Electricidad con mención Electrónica y Automatización, docente de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, Ecuador (mmiranda@ups.edu.ec).
- 2 John Gregory Guzmán Escalante, estudiante de la Carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, Ecuador (jguzmane@est.ups.edu.ec).
- 3 Jean Carlos Matailo Vélez, estudiante de la Carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, Ecuador (jmatailov@est.ups.edu.ec).

RECONOCIMIENTOS ESPECIALES

Esta sección de nuestra memoria académica acoge los reconocimientos especiales otorgados por el Comité Científico del Congreso CITIS 2019 al mejor poster y a las mejores ponencias de cada una de las sesiones técnicas que tuvieron lugar en el evento.

En la selección de estos trabajos se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de valoración:

1. Originalidad: relevancia y novedad científica del tema
2. Valor teórico, práctico-experimental y metodológico de la propuesta
3. Cumplimiento de todas las secciones establecidas en los requerimientos de formato de acuerdo a la normativa del Congreso
4. Calidad de la redacción
5. Calidad de la exposición
6. Impacto en la sociedad

Mejor poster científico

Por su aporte al estudio de la biodegradación de las bolsas de plástico de uso comercial en el Ecuador, el Comité Científico del V Congreso CITIS otorgó el certificado a mejor poster científico a Elena del Rocío Coyago Cruz de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito y su trabajo titulado “Biodegradación en agua dulce y salada de bolsas oxobiodegradables simulando condiciones ambientales de Costa, Sierra y Oriente ecuatoriano”, de los autores: Elena del Rocío Coyago Cruz, Nelly Escobar Silva y Christian Ushiña Simbaña.

Mejor ponencia: Sesión Técnica de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Sostenibilidad Ambiental

En esta categoría hubo un reconocimiento compartido. Primero, por su contribución al estudio de nuevos materiales compuestos con propiedades biodegradables que pueden conformarse mediante máquinas de control numérico, el Comité Científico del V Congreso CITIS quiso reconocer como una de las mejores ponencias a Edison Calderón Freire de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, por su trabajo titulado: “Caracterización de materiales biodegradables para conformado incremental”, de los autores: Edison Fernando Calderón Freire, Andrés Ortega Espín y Sandino Torres Gallegos. De igual forma, el segundo reconocimiento en esta categoría fue entregado a Andrés Agustín Beltrán Dávalos, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, por su trabajo titulado: “Evaluación ecotoxicológica en el girasol (*Helianthus annuus L.*) para bioacumular y translocar cromo hexavalente”, de los autores: Andrés Agustín Beltrán Dávalos, Fausto Yaulema Garcés, José León Chimbolema y Sofía Godoy Ponce, por el aporte significativo de este trabajo al estu-

dio del girasol como especie promisoría en procesos de fitorremediación de contaminantes metálicos.

Mejor ponencia: Sesión Técnica de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Información y las Telecomunicaciones

Por su contribución a la disminución del tiempo de respuesta en la detección de taquicardia y bradicardia sinusal en personas con episodios de ataque cardiaco, el Comité Científico del V Congreso CITIS otorgó el certificado como mejor ponencia a Gino Alvarado, de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, por su trabajo titulado: “Prototipo de un sistema de detección de taquicardia y bradicardia sinusal usando Coherence Function, MSC y Cross Spectrum en Matlab”, de los autores: Gino Alvarado, Gissella Fernández y Fátima Gordillo.

Mejor ponencia: Sesión Técnica de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Industria

Por su contribución al mejoramiento de las características mecánicas de los productos impresos en 3D mediante un método de manufactura aditiva innovador, el Comité Científico del V Congreso CITIS otorgó el certificado como mejor ponencia a Héctor Geovanny Lasluisa Naranjo, de la Aviación del Ejército Ecuatoriano, por su trabajo titulado: “Orientación de las fibras de impresión 3D mediante una plataforma robotizada”, de los autores: Héctor Geovanny Lasluisa Naranjo y Fausto Vinicio Acuña Coello.

Mejor ponencia: Sesión Técnica de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Movilidad

Por su contribución a la demostración de las ventajas de los dispositivos de carburo de silicio en la topología de los inversores alimentados por corriente para mejorar la eficiencia de los sistemas de tracción eléctrica, el comité científico del Congreso CITIS otorgó el certificado como mejor ponencia a Efrén Fernández Palomeque, de la Universidad del Azuay, Ecuador, por su trabajo titulado: “Análisis de eficiencia en la topología de inversor CSI-SiC para sistema de tracción eléctrica”, de los autores: Efrén Fernández Palomeque, Mateo Coello y Robert Rockwood.