

Edición abierta multidisciplinaria: Medio Ambiente y Sostenibilidad, TIC e Ingenierías





Guayaquil, Ecuador
Vol. 34, N° 4 (2022)
Diciembre, 30

DOI: 10.37815/rte.v34n4

Autoridades Institucionales (Institutional Authorities)

Rectora

Cecilia Alexandra Paredes Verduga, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador

Vicerrectora de Docencia

Paola Romero, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador

Vicerrectorado de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i)

Carlos Teodoro Monsalve Arteaga, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador

Consejo de Editores (Editorial Board)

Directora General Editorial (Editor in Chief)

Nayeth I. Solórzano Alcivar, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: nsolorza@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0002-5642-334X

Editor Asociado (Associate Editor)

Fausto Enrique Jácome López, M.Sc.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: fjacome@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0001-6808-7294

Editores de Sección en inglés (Section Editors - English)

Katherine Anabelle Salvador Cisneros, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: ksalvado@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0003-0414-3597

Wellington Enrique Wonsang Ureta, BA.
San Diego State University, USA
e-mail: wonsangwellington@gmail.com
ORCID: 0000-0003-3936-9705

Silvia Herrero Rodríguez, BA.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: sherrero@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0003-2416-8492

Editores de Sección en español (Section Editors - Spanish)

Diana Llamel Rodríguez Arteaga, M.Sc.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: dirodrig@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0002-3715-181X

Andrea Victoria Carranza García, M.Sc.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: avcarran@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0003-1762-4525

Miguel Eduardo Yapur Auad, M.Sc.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: myapur@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0001-6627-7908

Consejo Científico(Advisory Board)

Carlos Teodoro Monsalve Arteaga, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: monsalve@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0002-9428-4360

Boris Xavier Vintimilla Burgos, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: bvintim@fiec.espol.edu.ec
ORCID: 0000-0001-8904-0209

Carlos Alberto Ramos Galarza, Ph.D.
Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ecuador
e-mail: ps_carlosramos@hotmail.com
ORCID: 0000-0001-5614-1994

Diana Carolina Coello Fiallos, Ph.D.
Universidad Técnica de Ambato, Ecuador
e-mail: dc.coello@uta.edu.ec
ORCID: 0000-0003-3628-5004

Diego Fernando Avila Pesantez, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador
e-mail: davila@epoch.edu.ec
ORCID: 0000-0001-8394-5621

Elena María Fernández González, Ph.D.
Universidad de Oviedo, España
e-mail: fernandezelena@uniovi.es
ORCID: 0000-0002-5683-0674

Elva Patricia Reyes Díaz, Ph.D.
 Universidad Autónoma de Coahuila, México
 e-mail: elva.reyes@uadec.edu.mx
 ORCID: 0000-0002-8854-0946

Ignacio Bladimir Cerón Guerra, Ph.D.
 Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
 e-mail: ignacio.ceron@epn.edu.ec
 ORCID: 0000-0002-6373-9772

Isidro Fierro Ulloa, Ph.D.
 Universidad de Especialidades Espiritu Santo,
 Ecuador
 e-mail: isfierro@uees.edu.ec
 ORCID: 0000-0002-9000-6945

José Enrique Martínez-Pérez, Ph.D.
 Instituto Universitario de Tecnología del Estado
 Bolívar, Venezuela
 e-mail: josenriquemartinez@gmail.com
 ORCID: 0000-0003-3611-639

Jorge Antonio Córdova Morán, Ph.D.
 Universidad Estatal de Milagro, Ecuador
 e-mail: joranto205@gmail.com
 ORCID: 0000-0002-2730-4755

Juan José Oliveira Maurera, Ph.D.
 Universidad de Oriente, Venezuela
 e-mail: juanjoseoli@hotmail.com
 ORCID: 0000-0002-8474-5872

Juan Humberto Avellaneda Cevallos, Ph.D.
 Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador
 e-mail: juan_avellaneda@yahoo.com
 ORCID: 0000-0002-1805-4803

Luke Houghton, Ph.D.
 Griffith University, Australia
 e-mail: l.houghton@griffith.edu.au
 ORCID: 0000-0002-7461-6591

Manuel Raúl Peláez Samaniego, Ph.D.
 Universidad de Cuenca, Ecuador
 e-mail: manuel.pelaez@ucuenca.edu.ec
 ORCID: 0000-0002-7618-9474

María Del Pilar Cornejo Rodríguez, Ph.D.
 Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
 e-mail: pcornejo@espol.edu.ec
 ORCID: 0000-0003-4198-2904

María Genoveva Espinoza-Santeli, Ph.D.
 Universidad Andina Simón Bolívar, Ecuador
 e-mail: genoveva.espinoza@uasb.edu.ec
 ORCID: 0000-0002-2347-9507

Olga Kadysheva, Ph.D.
 Global Migration Policy Associates, Switzerland
 e-mail: okadysheva@globalmigrationpolicy.org
 ORCID: 0000-0002-4810-8964

Patricia A. Boeri, Ph.D.
 Universidad Nacional de Río Negro, Argentina
 e-mail: pboeri@unrn.edu.ar
 ORCID: 0000-0003-3262-8030

Paúl Cesar Carrión Mero, Ph.D.
 Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
 e-mail: pcarrion@espol.edu.ec
 ORCID: 0000-0002-9747-7547

Raquel Miroslava Tinoco Egas, Ph.D.
 Universidad Técnica de Machala, Ecuador
 e-mail: raqueltinocoegas@hotmail.com
 ORCID: 0000-0001-5979-8123

Stanislaus Albert-Georg Sonnenholzner, Ph.D.
 Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
 e-mail: ssonnen@cenaim.espol.edu.ec
 ORCID: 0000-0002-5723-3994

Consejo Internacional de Revisores del Volumen (International Reviewers Board)

Alba Katherine Calles Procel, Ph. D.
 Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
 e-mail: acalles@espol.edu.ec
 ORCID: 0000-0002-7622-177X

Alba Sellán Jácome, Lic.
 Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
 e-mail: asellanj@ups.edu.ec

Ana Teresa Tapia Rosero, Ph. D.
 Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
 e-mail: atapia@fiec.espol.edu.ec
 ORCID: 0000-0002-5326-4750

Boris Ramos Sanchez, Ph.D
 Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
 e-mail: bramos@espol.edu.ec
 ORCID: 0000-0002-0469-6135

Carmen Mireya Lapo Pauta, Ph.D.
 Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador
 e-mail: cmlapo@utpl.edu.ec
 ORCID: 0000-0002-5246-083X

Claudio Sanchez Jauregui, Ing.
Universidad del Azuay, Ecuador
e-mail: csanchez@uazuay.edu.ec
ORCID: 0000-0001-5795-6060

Daniel Moran Zuloaga, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: dmoran@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0002-1517-2732

Danny Ochoa Correa, Ph.D.
Universidad de Cuenca, Ecuador
e-mail: danny.ochoac@ucuenca.edu.ec
ORCID: 0000-0001-5633-1480

David Enrique Matamoros Camposano, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: dmata@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0003-3470-2847

Daynet Sosa del Castillo, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: dasosa@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0001-5403-9072

Eduardo Sanchez Timm, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: lesanche@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0001-7712-3605

Fabián Caicedo Goyes, Ph. D
Universidad Técnica Luis Vargas Torres, Ecuador
e-mail: fabiancaicedogoyes@hotmail.com
ORCID: 0000-0001-5572-6309

Fausto E. Jácome López, MSc.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: fjacome@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0001-6808-7294

Héctor Antonio Plaza Vélez, M.Sc.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: hplaza@espol.edu.ec

Holger Ignacio Cevallos Ulloa, M.Sc.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: hcevallo@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0003-0576-6710

Jonathan Ricardo Coronel Leon, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: jrcorone@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0001-6535-0261

Jonathan Salvador Paillacho Corredores, M.Sc.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: jspaila@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0001-6489-067X

Jorge Luis Zambrano-Martinez, Ph.D
Universidad Del Azuay, Ecuador
e-mail: jorge.zambrano@uazuay.edu.ec
ORCID: 0000-0002-5339-7860

José Fabricio Cuenca Granda, M.Sc.
Universidad Nacional de Loja, Ecuador
e-mail: jose.cuenca@unl.edu.ec
ORCID: 0000-0003-1049-0958

Juan Manuel Chávez Mendoza
Universidad Tecnológica Fidel Velázquez, México
e-mail: chavez_1963@hotmail.com
ORCID: 0000-0002-6422-5079

Kleber Fernando Barcia Villacreses, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: kbarcia@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0002-9947-8287

Lourdes Paola Ulloa Lopez, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: lulloa@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0002-1678-6365

Luis Lenin Galarza Romero, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: llgalarz@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0002-2870-4080

Mayra Lorena Mahecha Guzman, Ing.
Universidad Del Pacífico, Ecuador
e-mail: mmahecha@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0001-9334-7246

Miguel Eduardo Yapur Auad, M.Sc.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: myapur@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0001-6627-7908

Paolo Piedrahita, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: ppiedra@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0002-4403-6326

Pedro Eduardo Nivelá Morante, Msc.
Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador
e-mail: eduquevedo2011@hotmail.com
ORCID: 0000-0003-3033-0767

Pedro Pablo Rojas Cruz, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: pprojas@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0001-6102-3562

Roberto Carlos Burbano Villavicencio, MSc.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: rburbano@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0003-3389-7814

Rodrigo Alexander Saraguro Bravo, M.Sc.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: rasarag@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0003-4594-5078

Wilton Edixon Agila Galvez, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail : wagila@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0002-8117-7777

Wilton Eduardo Romero Black, M.Sc.
Universidad Técnica de Machala, Ecuador
e-mail: weromero@utmachala.edu.ec
ORCID: 0000-0001-5200-1361

Gestión de Comunicación, Publicación y Técnica

Difusión y Comunicación

*Gerencia de Comunicación Social y Asuntos
Públicos, ESPOL*

José Arturo Maldonado Moncayo, Ing.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador

Community Manager

Patricia Alexandra Caballero Roldan, M.Sc
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador

Communication & DataBase Support

Irene Nicolle Puerto Del Salto
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador

Traducciones en idioma extranjero

English

Joyce Nan, BA.
Griffith University, Australia

Diseño, Diagramación y Portada

Kleber José Avelino Mosquera
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador

Informática

Contacto Soporte Técnico

Kleber José Avelino Mosquera
rte@espol.edu.ec
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador

Indexadores / Directorios



Identificadores



Sobre la revista

La **Revista Tecnológica ESPOL - RTE** es una publicación digital, a la que se puede acceder de forma abierta y gratuita desde su sitio web <http://www.rte.espol.edu.ec>. Se encuentra registrada en varios indexadores y directorios de bases de datos y cuenta con un proceso de evaluación continua de nuevas formas de indexación que permiten dar mayor visibilidad a los artículos publicados y a sus autores.

RTE presenta llamadas programadas para envío de artículos a través de la plataforma Open Journal System, garantizando como mínimo la publicación de dos volúmenes al año. Sin embargo, cada año se producen y se garantiza volúmenes adicionales sobre una temática específica (como un Monográfico o Dossier) o ediciones especiales relacionadas a un evento científico o tecnológico, que recogen artículos o ponencias revisadas y aceptadas por pares ciegos antes de su publicación.

About the journal

The **Revista Tecnológica ESPOL - RTE** is a digital publication, which can be accessed freely and openly from its website <http://www.rte.espol.edu.ec>. It is registered in several indexers and database directories and has a continuous evaluation of new forms of indexing that give greater visibility to published articles and their authors.

RTE presents scheduled calls for article submission through the Open Journal System platform, guaranteeing the publication of at least two volumes per year. However, each year additional volumes are produced and guaranteed on a specific subject (such as a Monograph or Dossier) or special editions related to a scientific or technological event, which collects articles or papers reviewed and accepted by blind peers before publication.

Editorial

La **Revista Tecnológica ESPOL – RTE** mantiene su objetivo constante de promover la investigación científica y tecnológica. En esta ocasión presenta su nuevo **Volumen 34 N° 4** que ofrece a sus lectores una edición abierta multidisciplinaria sobre temas relacionados con el **“Medio Ambiente y Sostenibilidad, TIC e Ingenierías”**.

En esta edición abierta semestral presentamos 11 artículos relacionados con disciplinas de ingenierías, ciencias ambientales y tecnologías, enmarcando interesantes temas de investigación y resultados de aplicación técnica sobre: medio ambiente, hidrografía, agricultura, industria limpia, informática y potencia. En este volumen contamos con el aporte de autores nacionales y extranjeros afiliados a importantes universidades regionales e internacionales.

En temas relacionados con medio ambiente y sostenibilidad, se exponen investigaciones relevantes sobre: el desarrollo de un sistema automatizado para el control del consumo de glicol regenerado suministrado al sistema de deshidratación del gas natural; el Diseño de un biodigestor de excretas animales expuestas al medio ambiente cuya descomposición produce gases que contribuyen al calentamiento global. También se plantea la creación de mapas regionalizados de parámetros de precipitación para una mejor estimación de las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) en zonas de baja densidad de estaciones pluviométricas en la costa de Ecuador para evitar la sobrestimaciones o subestimaciones de las precipitaciones en sectores sin datos.

En temas sobre agricultura, se discute dos tópicos. El primero un estudio sobre la eficacia de trampas etológicas para el control de *Cosmopolites Sordidus*, como un problema fitosanitario que afecta al banano (*Mussa spp*), uno de los principales cultivos de exportación de Ecuador. En el segundo, se expone resultados sobre estudios de caracterización morfológica del cacao nacional “*Theobroma cacao L.*” realizado en varias regiones del cantón Naranjal para determinar por muestreo aleatorio los caracteres de mayor importancia que se encuentran en estos frutos.

Sobre ingeniería industrial se analiza técnicamente nuevas metodologías para administración de falla, desgaste y obsolescencia en gestión de activos industriales que permitan pronosticar mejoras en la vida remanente de las máquinas y en los sistemas de producción con miras a la sostenibilidad.

En artículos relacionados con las TIC, se presentan resultados técnicos de investigación sobre la identificación, literatura y mapeo de tendencias y paradigmas relacionados con Topologías en el Internet de las Cosas en el campo médico (IoMT). También se expone sobre el uso de algoritmos de aprendizaje automático para analizar los datos de energía eléctrica facturada en ciertas regiones de Chile, obteniéndose un modelo para predecir con mayor exactitud el tipo de cliente de los registros nuevos. Se expone además un interesante tema sobre el impacto del Internet, las hipermediaciones, las transformaciones y disrupción tecnológica, y los metaversos relacionados a su influencia en el desarrollo de competencias y estrategias de aprendizaje en los actuales jóvenes universitarios.

Finalmente, sobre estudios de ingeniería en potencia se exponen dos temas relevantes relacionados al uso de supercondensadores para brindar soporte de frecuencia en una microrred aislada lo que permite reducir fluctuaciones. Y, un estudio de evaluación de mejoras del alumbrado público con sistemas fotovoltaicos para avenidas laterales donde se resalta tomar en cuenta las condiciones medio ambientales en un clima cambiante.

Aprovecho la oportunidad para expresar una vez más mi sincero agradecimiento a los autores, revisores y a todo el equipo editorial por sus aportes y confianza que han hecho posible la publicación de este nuevo e interesante volumen.

¡Bienvenidos y disfruten su **Revista RTE!**



Editorial

The **Technological Journal ESPOL – RTE** maintains its constant objective of promoting scientific and technological research. On this occasion, it presents its new **Volume 34 N° 4**, which offers its readers a multidisciplinary edition on "**Environment and Sustainability, ICT and Engineering**" topics.

In this biannual open edition, we present 11 articles related to disciplines of engineering, environmental sciences, and technologies, framing interesting research topics and technical application results on the environment, hydrography, agriculture, clean industry, informatics, and power. In this volume, we have the contribution of national and foreign authors affiliated with important regional and international universities.

In topics related to the environment and sustainability, relevant research is presented on: the development of an automated system to control the consumption of regenerated glycol supplied to the natural gas dehydration system; the Design of a biodigester for animal excreta to the environment whose decomposition produces gases that contribute to global warming. The creation of regionalized maps of precipitation parameters is also proposed to better estimate the Intensity-Duration-Frequency (IDF) curves in areas of low-density rainfall stations off the coast of Ecuador to avoid overestimation or underestimation of precipitation in sectors without data.

Regarding agricultural issues, two relevant topics are discussed. First, the effectiveness of ethological traps for the control of *Cosmopolites Sordidus*, a phytosanitary problem affecting bananas (*Mussa spp*), which is one of Ecuador's main export crops. It also presents results on morphological characterization studies of the national cocoa "*Theobroma cacao L.*" carried out in several regions of the canton Naranjal to determine by random sampling the most important characteristics found in these fruits.

In industrial engineering, new methodologies for failure, wear, and obsolescence management in industrial asset management is technically analyzed, which allows forecasting improvements in the remaining life of machines and production systems with a view to sustainability.

In articles related to ICT, technical results are presented on the identification, literature, and mapping of trends and paradigms related to topologies on the Internet of Things in the medical field (IoMT). It also exposes the use of automatic learning algorithms to analyze the data of electric energy billed in certain regions of Chile, obtaining a model to predict the new record's customer type accurately. Then It is presented an interesting topic on the impact of the Internet, hyper mediations, technological transformations and disruptions, and the metaverses related to its influence and the development of skills and learning strategies in current university students.

Finally, in power engineering studies, two relevant topics are presented. The first one is related to supercapacitors' use to provide frequency support in an isolated microgrid to reduce fluctuations. The second one is a study regarding the evaluation of improvements in public lighting with photovoltaic systems for side avenues, where it is highlighted to consider the environmental conditions in a changing climate.

I would like to take this opportunity to express my sincere gratitude to the authors, reviewers, and the entire editorial team for their contributions and trust that have made the publication of this new and interesting volume possible.

Welcome, and enjoy your **RTE Journal!**



Índice

Edición abierta multidisciplinaria:

Medio Ambiente y Sostenibilidad

- 12 *Sistema automatizado para el control del consumo de glicol regenerado suministrado al sistema de deshidratación del gas natural*
- 28 *Diseño de un biodigestor de excretas animales en la comunidad El Calvario, parroquia Veracruz, cantón Pastaza, Ecuador*
- 44 *Regionalización de las Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) en las Provincias de Santa Elena y Manabí*
- 69 *Eficacia de trampas etológicas para el control de *Cosmopolites sordidus* en banano (*Mussa spp*) en la Hacienda Mechita del Cantón Pueblo Viejo en Ecuador*
- 80 *Caracterización morfológica del cacao nacional "*Theobroma cacao L.*" del cantón Naranjal, Ecuador*

TIC e Ingenierías

- 99 *Metodología para administración de falla, desgaste y obsolescencia en gestión de activos industriales*
- 120 *Topologías en el Internet de las Cosas Médicas (IoMT), revisión bibliográfica*
- 137 *Uso de algoritmos de aprendizaje automático para analizar los datos de energía eléctrica facturada en la Región Metropolitana de Chile durante el período 2015-2021*
- 153 *El impacto de Internet y las hipermediaciones en los jóvenes de la sociedad actual, transformaciones y la disrupción tecnológica hasta los metaversos*
- 174 *Uso de supercondensadores para brindar soporte de frecuencia en una microrred aislada*
- 186 *Evaluación y propuesta de mejora del alumbrado público con sistemas fotovoltaicos de la avenida lateral de paso en la ciudad de Loja - Ecuador*

Medio Ambiente y Sostenibilidad



Sistema automatizado para el control del consumo de glicol regenerado suministrado al sistema de deshidratación del gas natural

Automated System for the Control of Regenerated Glycol Consumption Supplied to the Natural Gas Dehydration System

Cristhian Ronceros Morales¹ <https://orcid.org/0000-0001-8421-5217>,
Ramón Alejandro Pombas² <https://orcid.org/0000-0002-0469-0366>

¹Universidad Privada San Juan Bautista, Ica, Perú
croncerosm@gmail.com

²Petróleos de Venezuela. Gerencia de Compresión Gas Oriente, Maturín, Venezuela
pombas@gmail.com



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.

Enviado: 2022/02/21

Aceptado: 2022/07/19

Publicado: 2022/12/30

Resumen

Esta investigación tuvo como objetivo desarrollar un sistema automatizado para el control del consumo de glicol regenerado suministrado al sistema de deshidratación del gas natural en la Planta Extracción Jusepín de Petróleos de Venezuela S.A (PDVSA). La planta Jusepín, es una planta de extracción de líquidos del gas natural (LGN) con un (01) tren de proceso y una capacidad de procesamiento de gas de 350 millones de pies cúbicos por día (MMPCD). El estudio consistió en una investigación de campo, con nivel descriptivo y modalidad proyecto factible, donde las técnicas de recolección de datos empleadas fueron la observación directa, entrevistas no estructuradas y la revisión documental. Para el desarrollo del estudio se emplearon las tres (3) primeras fases de la metodología Guía de Gerencia de Proyectos de Inversión Capital (GGPIC). El resultado fue una propuesta para el control automatizado del consumo de Glicol Regenerado suministrado al sistema de Deshidratación del Gas Natural en la Planta Extracción Jusepín, lo cual proporcionará mayor seguridad, precisión, eficiencia y confiabilidad sobre los datos obtenidos en tiempo real, ya que, permitirá visualizar el nivel de glicol y llevar un control del contenido de los recipientes, para mantener el suministro constante

Sumario: Introducción, Metodología, Resultados y Discusión y Conclusiones.

Como citar: Ronceros, C. & Alejandro, R. (2022). Sistema automatizado para el control del consumo de glicol regenerado suministrado al sistema de deshidratación del gas natural. *Revista Tecnológica - Espol*, 34(4), 12-27. <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/916>

de glicol regenerado al sistema y así garantizar que la planta mantenga el proceso de extracción del líquido del gas natural.

Palabras clave: automatización, glicol regenerado, Líquido de Gas Natural (LGN), instrumentación, GGPIC.

Abstract

The objective of this research was to develop an automated system to control the consumption of regenerated glycol supplied to the natural gas dehydration system at the Jusepin Extraction Plant of Petroleos de Venezuela S.A (PDVSA). The Jusepin plant is a natural gas liquids (NGL) extraction plant with one (01) process train and a gas processing capacity of 350 million cubic feet per day (MMPCD, acronyms in Spanish). The study consisted of field research, with a descriptive level and feasible project modality, where the data collection techniques used were direct observation, unstructured interviews, and documentary review. For the development of the study, the first three (3) phases of the Capital Investment Project Management Guide (GGPIC) methodology were used. The result was a proposal for the automated control of Regenerated Glycol supplied to the Natural Gas Dehydration system at the Jusepin Extraction Plant. This proposal provides greater security, precision, efficiency, and reliability to the data obtained in real-time, allowing to visualize the level of glycol and keep control of the content of the containers. The final benefit is to maintain the constant supply of regenerated glycol to the system and thus guarantee that the plant maintains the extraction process of the liquid from the natural gas.

Keywords: Automation, Regenerated Glycol, Instrumentation, GGPIC.

Introducción

A nivel mundial, las empresas del sector petrolero han emprendido estrategias para optimizar los costos de producción y minimizar los riesgos ambientales, laborales, entre otros. Para ello, han recurrido a la ejecución de proyectos de automatización, los cuales requieren esquemas, modelos de control para aumentar las probabilidades de éxito, minimizando la inversión de horas de trabajo, estandarizando los procesos y manteniendo armonía y continuidad operacional.

Bajo este contexto, los constantes cambios en la Industria Petrolera, conducen a la búsqueda de nuevas tecnologías, como es la automatización de procesos en las instalaciones petroleras y gasíferas. La automatización ha pasado de ser una herramienta de trabajo deseable a una herramienta indispensable para los procesos de producción, puesto que para toda empresa es crucial el control de las actividades, la supervisión en tiempo real, el registro de los eventos, entre otros.

En tal sentido, en Venezuela, la automatización industrial se ha convertido en una tendencia que ha aumentado exponencialmente, donde las principales industrias como Petróleos de Venezuela S.A (PDVSA) ha integrado en sus actividades la automatización de cada proceso, lo cual permite obtener un óptimo provecho de los recursos, brindando productos y servicios de calidad; así como la generación de conocimientos que impulsen la innovación tecnológica. En estos escenarios, existe la necesidad de realizar el monitoreo y supervisión de los procesos industriales, con el fin de controlar los diferentes elementos implicados en el funcionamiento de la industria. Tal es el caso de la Planta Extracción Jusepín PDVSA GAS, que busca mantener una producción eficiente y rentable impulsando el desarrollo endógeno de

los hidrocarburos con la mayor productividad y competitividad para alcanzar un desarrollo sustentable.

La planta de Extracción Jusepín, se encuentra ubicada a 40 km de la ciudad de Maturín. Esta planta se encarga de procesar el gas que proviene del Campo Furrial, ubicado a 17 Km de Jusepín. Su función principal es lograr la extracción de los Líquidos del Gas Natural (LGN) mediante procesos de enfriamiento y fraccionamiento, para su posterior distribución; y separar los componentes livianos metano y etano, como gas seco para comprimirlo y suministrarlo a la red de inyección a pozos, lo cual es enviado vía poliducto a la planta de fraccionamiento José Antonio Anzoátegui.

En la actualidad, la Planta de Extracción Jusepín no cuenta con un sistema automatizado para el control del glicol regenerado suministrado al sistema de deshidratación del gas. Además, se requiere conocer con exactitud la cantidad utilizada de glicol regenerado en dicho proceso; de tal forma que un sistema automatizado permitiría visualizar directamente desde la sala de control cuanto es el consumo de glicol regenerado.

El presente artículo se orienta hacia el desarrollo de una propuesta de un sistema automatizado para el control del consumo de glicol regenerado suministrado al sistema de deshidratación del gas natural en la planta extracción Jusepín, con el fin de llevar un control y monitoreo del glicol suministrado a dicho sistema, que garantice mejoras en el proceso de deshidratación.

Metodología

En este apartado se establece el marco metodológico, técnicas e instrumentos de recolección de información que se utilizaron para abordar el objeto de estudio.

Nivel, Diseño y Modalidad de Investigación

Arias (2016) señala que “el nivel de investigación se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto de estudio” (p. 23). Según lo mencionado anteriormente, la investigación se clasifica como descriptiva debido a que se busca medir una serie de factores actuales para comprender las características del sistema en estudio y finalmente describir el comportamiento deseado

En cuanto al diseño de investigación, Arias (2016) expresa que “es la estrategia general que adopta el investigador para responder al problema planteado. En atención al diseño, la investigación se clasifica en: documental, de campo y experimental” (Pág. 26). En este sentido, el presente estudio se enmarca en una investigación de campo, debido a que la información fue recolectada directamente de los tanques de almacenamiento de glicol regenerado TK-1250 y TK-1270 de la Planta Extracción Jusepín. Desde recaudo de datos hasta el análisis de la información de los instrumentos de campo con el objetivo de determinar los requerimientos para la implementación del sistema automatizado.

La modalidad de investigación que se abordó fue de tipo proyectiva o factible, debido a que con el desarrollo de este proyecto se presentó la propuesta de un sistema automatizado que permita llevar un control del glicol suministrado al sistema de la Planta Extracción Jusepín, con el fin de mejorar dicho proceso. Según el manual de Trabajo Especial de Grado de Especialización, Maestrías y Tesis Doctorales de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (2006) “Consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de

organizaciones o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos”. (p.16)

Población y Muestra

La población del presente proyecto está constituida por el personal de la Planta Extracción Jusepín con un total de veinte (20) personas. Los cuales suministraron la información necesaria para conocer a la problemática y posterior desarrollo del proyecto para alcanzar los objetivos planteados. Por tratarse de una población finita no fue necesario tomar una muestra, sino que se estudió en su totalidad, como explica Arias (2016), “si la población, por el número de elementos que la integran, resulta accesible en su totalidad, no será necesario extraer una muestra.” (Pág. 82)

Diseño Operativo

Para lograr la propuesta de Automatización para la Medición de Glicol Regenerado en la Planta Extracción Jusepín, se realizó una adaptación de la metodología Guía de Gerencia para Proyectos de Inversión de Capital (GGPIC) la cual está basada en 5 fases (Para efectos del trabajo se ejecutaron solo tres fases). A continuación, se describe las actividades que se agruparon en cada una de las fases desarrolladas.

Fase I: Visualizar

Esta primera fase, permitió conocer la situación actual del sistema de medición glicol regenerado; la cual se centra principalmente en recoger información necesaria para describir la situación problemática. Para el cumplimiento de lo antes expresado se necesitó la ejecución de las siguientes actividades:

1. Estudiar la Filosofía operacional de los tanques de almacenamiento de glicol regenerado.
2. Realizar el levantamiento de información sobre el funcionamiento actual del sistema de medición de glicol regenerado.

Fase II: Conceptualizar

Esta segunda fase contempló la selección de los mejores equipos e instrumentos a ser utilizados en la automatización del sistema, también se planteó las posibles soluciones tecnológica disponibles en el mercado, garantizando una tecnología de vanguardia. Para ello se realizaron las siguientes actividades:

1. Identificar los equipos disponibles en el mercado para realizar la automatización del sistema.
2. Realizar la evaluación técnica de los equipos disponibles en el mercado.
3. Seleccionar las tecnologías a proponer para el diseño automatizado.

Fase III: Definir

En esta tercera fase se realizó el diseño de la nueva arquitectura tecnológica del sistema de automatización para llevar el control del consumo del glicol regenerado, a partir de los requerimientos detectados y la tecnología seleccionada. Para ello se realizaron las siguientes actividades:

1. Diseño de la Arquitectura Tecnológica Propuesta.
2. Creación de lista de señales (tags) y direcciones del sistema Experion SPK.
3. Creación de la base de datos que se implementará con la arquitectura propuesta.
4. Diseño de lógica de control propuesta.

5. Configuración de los nuevos puntos el Sistema PKS.
6. Elaboración del despliegue o esquemático en el formato HIMWeb.

Resultados y Discusión

Fase I: Visualización

Filosofía operacional de los tanques de almacenamiento de Glicol Regenerado

El llenado de los tanques de almacenamiento TK-1250 y TK-1270, se realiza a través de un vacuum el cual descarga el contenido a través de las líneas de flujo de entrada de un diámetro 3" x 2", el operador alinea la válvula de entrada, en estas líneas se encuentra instalado un indicador de presión para el flujo de entrada, las líneas están conectadas a cada uno de los tanques, cada tanque tiene una capacidad de 280 barriles y una presión de diseño de 0.97 libras por pulgada cuadra (psi), al estar llenos los tanques, se cierra la válvula de entrada. Seguidamente el operador verifica el glicol regenerado suministrado en cada tanque, a través de un visor local de nivel que está situado al lateral de cada tanque.

Una vez que se requiera suministrar glicol pobre al sistema de deshidratación del gas natural, el operador alinea la válvula de retención (Check Valve) de acuerdo al tanque de donde se vaya a utilizar el glicol. Estas líneas de 2 pulgadas están conectadas a cada tanque, posteriormente se enciende la bomba de transferencia P-1255, la cual envía el glicol regenerado por medio de una línea de 2 pulgadas al sistema de deshidratación. Seguidamente el operador vuelve a verificar el nivel del tanque toma nota y se dirige a sala de control donde introduce los datos al programa de Excel que se encuentra instalado en un computador ubicado en la sala de control, dicho programa suministra el volumen en litros, que poseen los tanques.

Una vez descrito el proceso del sistema de medición del glicol regenerado en la Planta Extracción Jusepín, se determinó que no existe un sistema automatizado integrado al sistema de supervisión Experion PKS, para llevar un control del glicol suministrado al proceso de Deshidratación del Gas Natural, que permita a los operadores el monitoreo del sistema y de esta manera llevar el control adecuado del consumo del glicol regenerado.

Estudiar la situación actual del proceso del Sistema de Medición de Glicol Pobre

Actualmente la Planta Extracción Jusepín posee dos (2) tanques de almacenamiento conocidos con los nombres de TK-1250 y TK-1270 con una capacidad de 280 barriles c/u, son utilizados para el almacenamiento de glicol regenerado, el cual es enviado al sistema de deshidratación del gas natural. El proceso del sistema de medición de glicol regenerado inicia cuando los operadores de guardia acuden al área donde se encuentran situados los tanques de almacenamiento de glicol regenerado TK-1250 y TK-1270, seguidamente revisan de manera visual el nivel de cada tanque, a través de un visor local de nivel. Este visor permite observar la cantidad de glicol regenerado que poseen dichos recipientes. Cabe destacar que el visor local de nivel está situado al costado de cada tanque, una vez observados el nivel, los operadores toman nota del nivel del glicol, posteriormente se dirigen a sala de control, donde ingresan los datos en un programa de Excel, dicho programa arroja el volumen de glicol regenerado que posee cada tanque.

Es importante mencionar que en los tanques de almacenamiento de glicol se encuentra conectado un totalizador de flujo marca DANIEL modelo 1803, el cual se utilizaba para contabilizar la salida del glicol al sistema deshidratación, dicho instrumento se encuentra fuera de servicio aproximadamente desde 1996, puesto a que este totalizador no se le contempló una tarjeta controladora de frecuencia en el Logic Manager, del TDC3000.

Fase II: Conceptualizar

En esta segunda fase, se realizó la identificación y evaluación de las tecnologías disponibles en el mercado para seleccionar el mejor equipo que se adapte al sistema, para posteriormente realizar la evaluación técnica, a base de los requerimientos que se plantearon al inicio del proyecto y finalmente seleccionar las tecnologías a proponer para la automatización del sistema.

Identificación de Equipos tecnológicos disponibles en el mercado para realizar la automatización del sistema.

En vista de que ya se conocen los requerimientos mínimos y las especificaciones sugeridas por los especialistas que deberá poseer el equipo para llevar a cabo la automatización del sistema de medición de glicol, se procedió a la elaboración de un estudio de mercado para analizar los distintos equipos tecnológicos existentes que puedan satisfacer las necesidades de la Planta Extracción Jusepín.

Entre los aspectos necesarios que debe poseer el nuevo diseño a proponer son los siguientes:

- Escalabilidad para crecer de acuerdo a los requerimientos de las instalaciones.
- Diseño modular.
- Costo de implantación accesible.
- Tiempo de respuesta
- Soporte técnico.
- Robustez.
- Disponibilidad.

Evaluación técnica de los equipos disponibles en el mercado

En esta etapa se realizó una matriz comparativa de tecnología para los transmisores con el objetivo de asegurar la selección de equipos tecnológicos que cumplan con características que se adapten a las nuevas tendencias tecnológicas y que optimicen el proceso de la Planta Extracción Jusepín. Los transmisores considerados fueron:

- Transmisor de Nivel Por Presión Diferencial/ Honeywell.
- Transmisor de Nivel Tipo Desplazador/ Magnetrol.
- Transmisor de Nivel Tipo Radar/ Rosemount.

Una vez definidos los transmisores a comparar, se procedió a realizar la matriz de selección de equipos de la siguiente manera:

1. En primera instancia, se seleccionaron los criterios de evaluación, que constituyen los requerimientos que debe cumplir el equipo a seleccionar.
2. Seguidamente se procedió a ponderar cada criterio.
3. Una vez llena la matriz con todas las comparaciones, se sumaron los puntos de cada criterio y se realizó la ponderación de cada uno de ellos con un peso del 1 al 10.
4. Posteriormente se sumaron las ponderaciones relacionadas con cada opción y se totalizó el resultado. (Ver Figura 1)

Figura 1

Matriz comparativa de tecnología para los transmisores

CRITERIOS DE EVALUACIÓN		GRADOS DE IMPORTANCIA							
		1	2	3	4	5	6	7	
		Ninguno		Medio		Alto			
		Bajo		Alto					
A	Escalabilidad								
B	Diseño modular	3A		4C					
C	Costo	4B		3B	4D	4E			
D	Tiempo de respuesta	4D		3E	4E	4F			
E	Soporte técnico	4E		3F	4G	4G			
F	Robustez operacional	3F		4G	4G				
G	Disponibilidad en almacén	4F							

MATRIZ DE OPCIONES		A	B	C	D	E	F	G	TOTAL
Resultados de la ponderación		3	10	4	8	15	18	20	
Peso del 1 al 10		1	5	2	4	8	9	10	
1	Transmisores de nivel por presión diferencial	4	5	5	5	3	4	5	169
2	Transmisores de nivel tipo desplazador	3	4	2	3	2	2	2	93
3	Transmisores de nivel tipo radar	5	5	3	5	1	4	1	110

OPCIONES									
1	No apropiado	2	Suficiente	3	Bueno	4	Muy bueno	5	Excelente

Selección de la tecnología a proponer para el diseño automatizado

En la Figura 1, se puede observar que los transmisores de nivel por presión diferencial marca Honeywell representa la mejor opción para conformar la arquitectura del sistema automatizado en la planta Extracción Jusepín. Debido que obtuvo la mayor puntuación con un valor total en la sumatoria en las alternativas ponderadas (169), seguida por la opción de los transmisores de nivel tipo radar Rossemount con una puntuación total 110 y como última opción se encuentra los transmisores de nivel tipo Desplazador Magnetrol con una puntuación de 93 puntos.

Fase III: Definir

En esta fase se realizó el diseño de la arquitectura tecnológica del sistema de automatización de los tanques TK-1250 y TK-1270 de almacenamiento de glicol regenerado, tomando como referencia los equipos seleccionados a través de los resultados obtenidos por la matriz de evaluación. Cabe destacar que este tipo de transmisor posee una ventaja, ya que, existe la disponibilidad en el almacén del departamento de Instrumentación de la Planta Extracción Jusepín, lo cual implica disponibilidad inmediata y reducción de costos.

Diseño de la Arquitectura Tecnológica Propuesta

En la arquitectura propuesta las señales provenientes de los instrumentos serán cableadas desde cada instrumento hasta llegar a una caja de conexionado (Junction Box: 14-JBAN-02). Dicha caja estará ubicada en el tablero TB1, en el punto 55, 56 para el instrumento que será instalado en el tanque TK-1250 y el punto 58, 59 será utilizado para el instrumento del tanque Tk-1270. Es importante resaltar que estos puntos disponibles fueron ubicados por el personal del departamento Instrumentación a través de diagramas de lazo; en esta caja de conexionado es donde se concentran todas las señales digitales de campo. Además de esto es

importante mencionar que los transmisores se alimentaran con 24 VDC (voltaje de corriente continua) con una salida de 1 a 5 v.

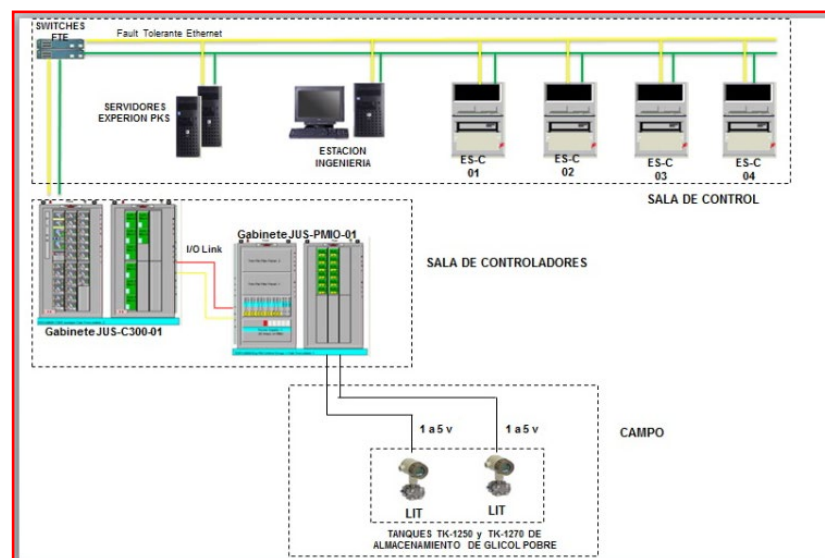
Los cables de cada instrumento llegan hasta esa caja de conexionado, para posteriormente llegar a la sala de gabinetes. Seguidamente estas señales son llevadas al Marshalling (21MDF-01A) donde se utilizaron los puntos 193, 194 y 195,196 en el tablero TB2. Posteriormente, dichas señales son enviadas al gabinete denominado JUS-PMIO-01, dicho gabinete cuenta con los módulos PMIO tipo STIM para el manejo de las señales provenientes de los Transmisores Inteligentes (Smart Transmitter). En este gabinete se utilizó la STIM N° 11 canal 11 para el instrumento del TK-1250 y el canal 12 para el instrumento del TK-1270.

Seguidamente, dichas señales pasan al gabinete JUS-C300-01, a través I/O Link, el cual llega al controlador C300. Este controlador que está compuesto por un conjunto de tarjetas I/O en cada tarjeta hay de 16 a 32 puntos, es decir, una es de 0 a 16 y de 0 a 32 puntos de conexión. El controlador C300 establece conexión con la red FTE (FaultTolerant Ethernet). La FTE incluye dos redes que tienen diferentes IP, de esta manera una segunda red está disponible si la primera presenta falla. Finalmente, la FTE se conecta a los servidores PKS, las estaciones de operación e ingeniería, están ubicados en sala de control de la Planta Extracción Jusepín.

De acuerdo a lo anterior, la arquitectura del sistema propuesto se muestra en la Figura 2. En dicha figura se presenta la instrumentación propuesta para el área de los tanques de almacenamiento de Glicol Pobre de la Planta Extracción Jusepín.

Figura 2

Arquitectura tecnológica propuesta



Creación de lista de señales (tags) y direcciones del sistema Experion SPK

Después de haber realizado la elaboración del diseño de la arquitectura tecnológica y tomando en consideración las señales de los tanques de almacenamientos de Glicol Regenerado, se procedió a la elaboración de dichas señales. Estas señales fueron obtenidas en la fase de visualización por medio de una entrevista no estructurada con el personal de Técnica, motivo por el cual se realizaron las listas de señales (tags) de los instrumentos a proponer. Dichos equipos estarán presentes en campo.

Estas señales formarán parte de la base datos del sistema Experion PKS las cuales serán integradas para su monitoreo y control. En la Tabla 1, se muestra una lista de señales pertenecientes a los transmisores de nivel, cada instrumento posee un tag característico que los diferencia cada uno de ellos.

Tabla 1

Lista de señales (tags) en el Sistema Experion PKS

TAG	DESCRIPCIÓN
LI1250	Transmisor de nivel en el tanque de almacenamiento TK-1250
LI1270	Transmisor de nivel en el tanque de almacenamiento TK-1270

Creación de la base de datos que se implementará con la arquitectura propuesta

La base datos se realizó utilizando la hoja de cálculos Excel, con el objetivo de que la base de datos se agregue a la herramienta Quick Builder, dejándole así al personal de sistema y control un formato útil, totalmente concatenando y dinamizado, disponible para su utilización en futuras migraciones, a fin de agilizar el trabajo a realizar.

Diseño de lógica de control propuesta

En esta parte se elaboró la lógica de control, la cual es primordial para el correcto funcionamiento del sistema de supervisión y control. Se tomó como referencia la base de datos realizada y la arquitectura de control, tomando en cuenta los requerimientos exigidos por el departamento de operaciones.

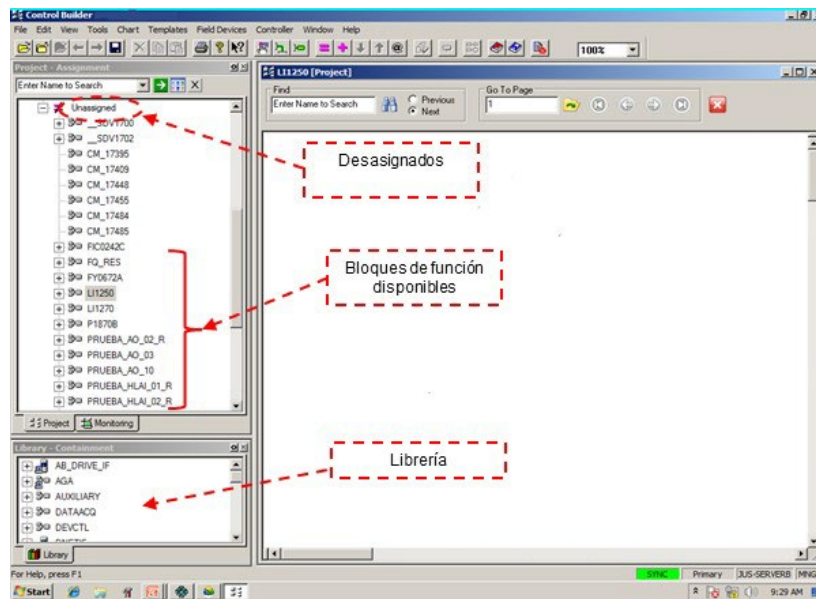
Configuración de los nuevos puntos el Sistema PKS

En esta parte se configuran los nuevos puntos LI1250 y LI1270 en el controlador C300_01 de la base de datos en el Sistema Experion PKS, a través de diversas herramientas que ofrece este Software. Es importante mencionar que se toma como ejemplo la configuración solo del punto LI1250, ya que, para el punto LI1270 se aplica el mismo procedimiento.

En la Figura 3, se muestra la configuración del nuevo punto en el sistema Experion PKS, es importante mencionar que estos puntos se encuentran desasignados. En primer lugar, se selecciona un bloque que esté disponible, una vez seleccionado se renombra. Para este caso el punto se llama LI1250 perteneciente al transmisor del tanque TK-1250, posteriormente se procede a buscar en la librería el bloque que se utilizara para hacer la configuración de dicho bloque.

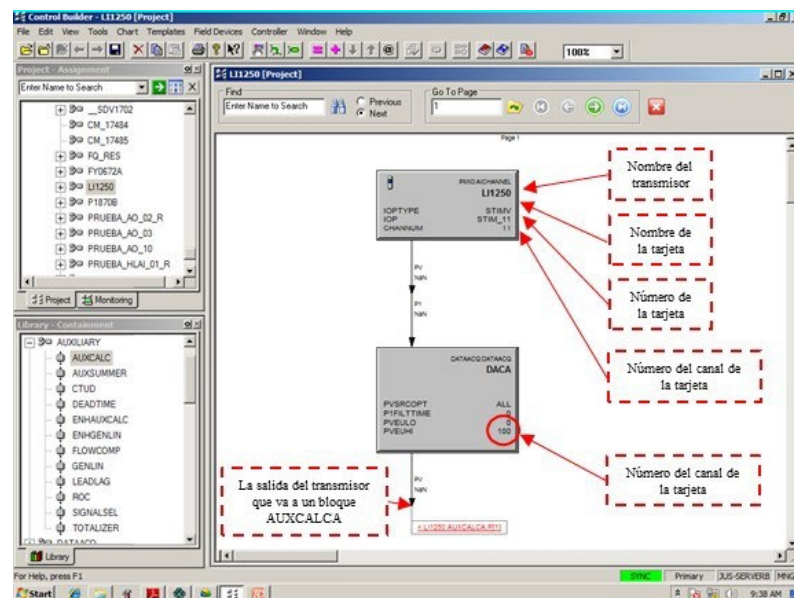
En tal sentido, se procedió a la creación de un bloque de función tipo AICHANNEL para el transmisor LI1250, este contiene parámetros que describen al transmisor y especifican al canal de entrada, caracterizando la señal que ingresa al sistema de control distribuido (DCS). En tal sentido, este bloque escanea el canal de la tarjeta especificada. Además de esto también se creó un bloque de función denominado DACA el cual escala la señal recibida a las unidades de ingeniería.

Figura 3
Configuración del punto LI1250



En la Figura 4 se muestra la implementación de los bloques de función (FB's) creado en el sistema Experion PKS.

Figura 4
Creación de bloque AICHANNEL y bloque DACA



Una vez creado los bloques de función (FB's), se creó dos bloques de función tipo AUXCALCA, los cuales ofrecen la posibilidad de conectar señales como entradas para usarlas como argumentos en las operaciones de cálculos matemáticos ya previamente establecidos. En este sentido, se utilizó la Ecuación 1 obtenida de la Norma API STÁNDAR 650 para hallar el volumen de acuerdo a las dimensiones de los tanques.

$$V = \pi * r^2 * h \quad (1)$$

Dónde:

V = volumen
r = radio
h = altura

Es importante resaltar que, para hallar la altura actual del glicol pobre se procedió a utilizar la Ecuación 2, la cual se realizó en conjunto con el personal técnico de la Planta Extracción Jusepín.

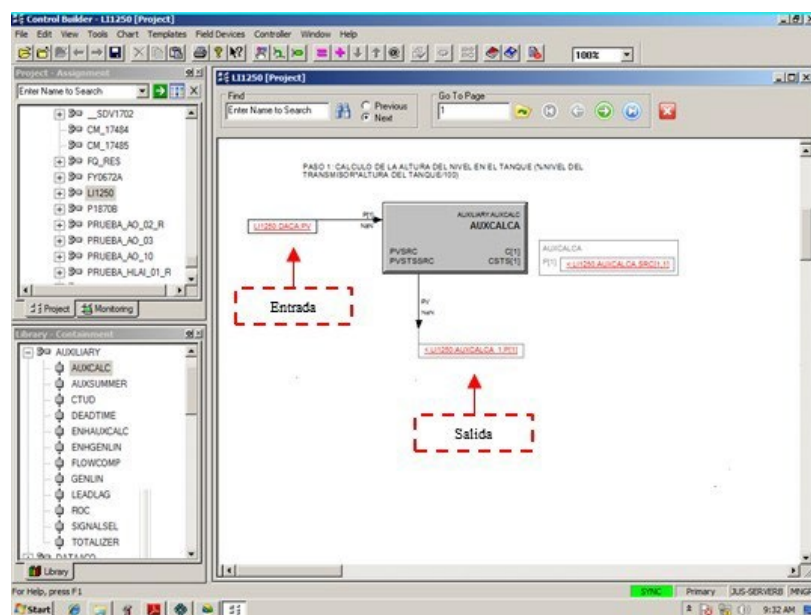
$$h(actual) = \frac{(\%del\ instrumento) * (h(altura\ del\ tanque))}{100\%} \quad (2)$$

En la Ecuación 2, se calculó el porcentaje (%) que es arrojado por el instrumento, luego se multiplicó por 15,09 ft (pie) altura de diseño del tanque del tanque TK-1250. Posteriormente se dividió entre 100%, esto arroja la altura del nivel que tiene en ese momento el recipiente en unidades de ft (pie). Ya obtenida la altura actual se procedió a ingresarla en la fórmula de volumen ya antes mencionada, para hallar la cantidad en unidades de litros de glicol pobre, que poseen los tanques de almacenamiento en ese momento.

Posteriormente, se implementó los bloques de función AUXCALCA en el Sistema Experion PKS (Ver Figura 5).

Figura 5

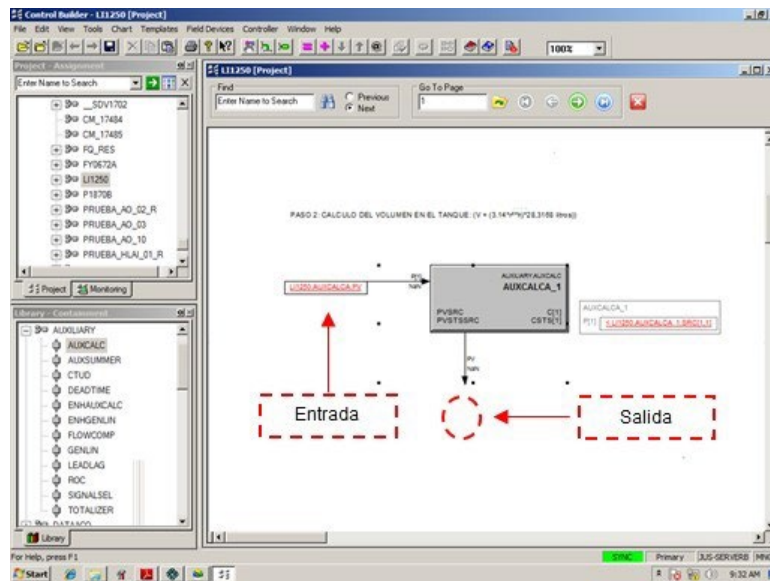
Bloque AUXCALCA



Como se observa en la Figura 5, el bloque AUXCALCA desarrollado para hallar la altura actual, tiene una entrada que viene del bloque de función DACA para este caso la entrada es el punto LI1250DACA.PV, esta entrada arroja el porcentaje del transmisor, dicho porcentaje va a representar la salida del punto LI1250AUXCALCA 1P (1). Este valor será multiplicado por 15,09 ft(pie), obteniéndose la altura de diseño del tanque. Posteriormente, se procedió a crear un segundo bloque AUXACALCA (Ver Figura 6).

Figura 6

Implementación del segundo bloque AUXCALCA para hallar el Volumen

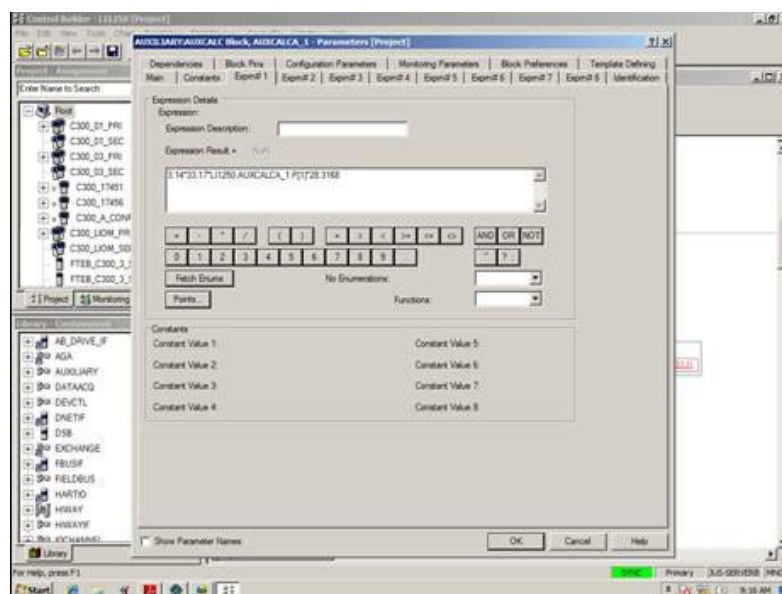


Como se puede apreciar en la Figura 6, este bloque tiene una entrada denominada LI1250AUXCALCA.PV dicha entrada proviene de la salida del primer bloque AUXCALCA. En este caso, es la altura actual multiplicada por (π) 3,14; por el radio al cuadrado (r^2) 33,17 del tanque de almacenamiento TK-1250. Finalmente, el bloque tiene una salida llamada PV (Variable de Proceso), la cual es el volumen del recipiente en ft³ (pie cúbico); además de esto se procedió a aplicar una regla de tres para llevar los ft³ (pies cubico) a litros. Utilizando la tabla estándar del Sistema Inglés de unidades de medidas, que señala que 1 ft³ equivale a 28, 3168 litros.

Siguiendo el mismo orden de ideas, en la Figura 7 se puede apreciar cómo se implementó la formula en el segundo bloque AUXACALCA para hallar el Volumen.

Figura 7

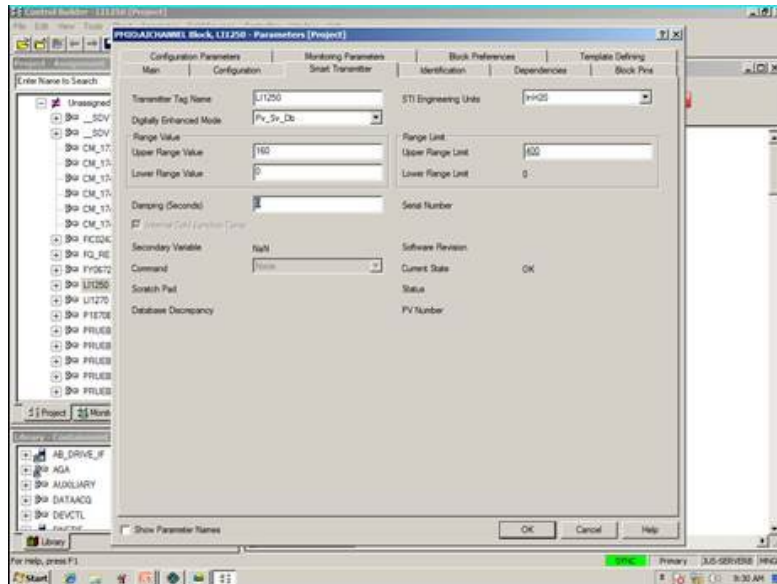
Implementación de la formula en el bloque AUXACALCA para hallar el volumen



Ya configurados los bloques AUXACALCA se procedió a configurar los parámetros transmisores LI1250 en el sistema Experion PKS, donde se coloca el nombre del tag del transmisor LI1250, la unidad en que va a medir es InH2O (pulgadas de agua), el rango máximo de operación del instrumento que es de 0 a 400 InH2O y el rango calculado que para este caso sería de 0 a 160 InH2O. En la Figura 8 se puede visualizar dicha configuración del transmisor en el sistema.

Figura 8

Configuración de los parámetros del transmisor LI1250



Es importante mencionar que el rango calculado se obtuvo con la Ecuación 3 (Norma K-303 Level Instrumentation):

$$P = \rho * h \quad (3)$$

Dónde:

P = presión debido a la carga del líquido

ρ = peso específico del líquido

h = altura del líquido sobre el plano de referencia

La Ecuación 3 es utilizada para hallar medidas de nivel por presión diferencial del transmisor, este se basa en el principio de medir la carga o la presión hidrostática. La carga se define como el peso del líquido que existe por encima de un plano de referencia. El sistema no mide el líquido sino la presión ejercida, y como la presión es proporcional a la altura de la columna del líquido, el medidor define la posición actual del nivel. Al respecto se procede a hallar la presión a través de la Ecuación 4:

$$P = 1,12 \frac{g}{cm^3} * 365,76 \text{ cm} = 411,11 \text{ g/cm}^2 \quad (4)$$

La presión va a ser igual al peso específico del glicol 1,12 g/cm³ (gramos sobre centímetro cúbico) multiplicado por la altura del tanque en este caso 365,76 cm (centímetros); dando como resultado 411,11 g/cm² (gramos sobre centímetro cuadrado).

Una vez obtenido el resultado de la presión de 411,11 g/cm², se procedió a llevarlo a kg/cm², posteriormente, se realizó una regla de tres para llevarlo a lb/pulg² (libras sobre pulgadas cuadrada), donde se multiplico 0,411 kg/cm² por 14,22 lb/pulg² sobre 1kg/cm². (ver Ecuación 5).

$$X = \frac{0,411 \text{ kg/cm}^2 * 14,22 \text{ lb/pulg}^2}{1 \text{ kg/cm}^2} = 5,8 \text{ lb/pulg}^2 \quad (5)$$

Finalmente se llevó a cabo otra regla de tres (Ver Ecuación 6) para llevar el resultado anterior a pulgH₂O, debido a que la unidad de medida con que trabaja el transmisor propuesto es en InH₂O (pulgadas de agua).

$$X = \frac{5,8 \text{ lb/pulg}^2 * 27,72 \text{ pulgH}_2\text{O}}{1 \text{ lb/pulg}^2} = 160 \text{ pulgH}_2\text{O} \quad (6)$$

Como se pudo apreciar a través dichos cálculos se obtuvo el rango calculado que será de 0 a 160 InH₂O (pulgadas de agua).

Elaboración del despliegue o esquemático en el formato HIMWeb

El despliegue para los tanques TK-1250 y TK-1270 de almacenamiento de Glicol Regenerado fue elaborado con la finalidad de que los operadores tengan la facilidad llevar un control del glicol y, además, supervisar el nivel de los tanques desde sala de control en tiempo real, como también poseer información histórica de la variable de proceso (PV) manejadas en el mismo y con esto tener la posibilidad de tomar decisiones de forma directa en el campo.

Para realizar el esquemático de los tanques TK-1250 y TK-1270 se utilizó el HMIWeb Display Builder, esta es una herramienta de dibujo especializada que se usa para crear los despliegues propios de cada proyecto y/o aplicación en específico, lo cual permite adaptarlos a las necesidades particulares de cada cliente y/o de cada proceso. Para el diseño del esquemático se utilizaron los siguientes equipos: Tanques, válvulas, bombas, barras de nivel y líneas de procesos.

Posteriormente, se procedió a ir dinamizando cada uno de los equipos mencionados anteriormente en la plantilla de diseño del despliegue de los tanques de glicol TK-1250 y TK-1270. Cabe destacar que, en el despliegue, el operador podrá observar el nivel Glicol de cada tanque a través de las barras de nivel y además en porcentaje. También se podrá visualizar la cantidad de glicol en unidades de litros que posean cada recipiente. En la Figura 9, se puede visualizar dicho despliegue.

En la Figura 9 anterior se puede apreciar el despliegue de los tanques de glicol regenerado, donde se muestran dos líneas de proceso: la línea inferior indica el suministro desde el camión cisternas hacia los tanques, la segunda línea superior indica el sumidero del glicol; es decir, esta línea de proceso es utilizada para retirar el glicol de los recipientes para ser reemplazado.

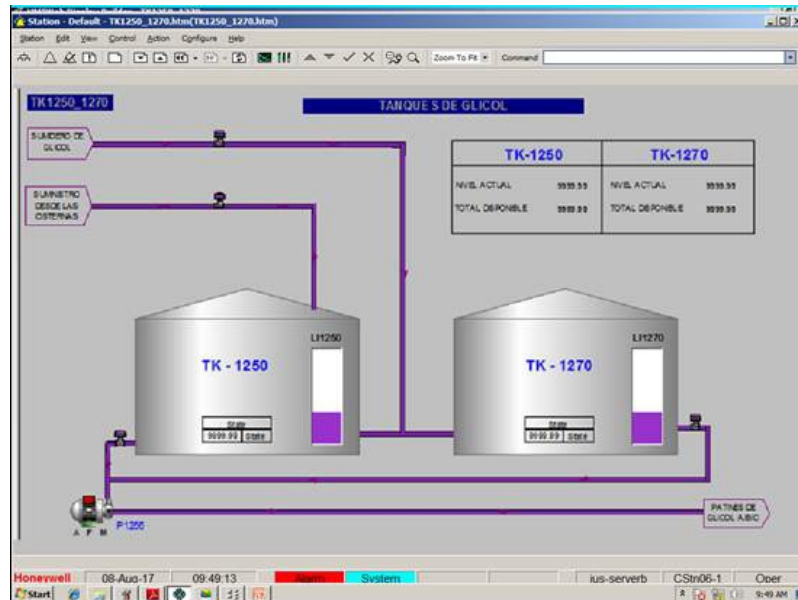
En tal sentido, dichos tanques muestran cada uno sus respectivas barras de nivel indicando el nivel que contienen de glicol. Además de esto, se puede apreciar en la parte central de los mismos que se encuentran el status (estado) del nivel de glicol en unidades de ingeniería la PV (variable proceso), en este caso fue configurado de 0 a 100%.

Siguiendo el mismo orden de ideas, en dicho despliegue se puede observar que los tanques están conectados a una bomba P-1250, esta se encarga de enviar el glicol hacia los

patines de glicol A/B/C cuando es requerido en el proceso de deshidratación del gas natural. Aunado a esto en la parte superior del lado derecho se puede visualizar el volumen total disponible de cada tanque en unidades de litros.

Figura 9

Despliegue de los tanques de glicol regenerado TK-1250 y TK-1270



Conclusiones

En función al diagnóstico del entorno estudiado y de acuerdo a los resultados obtenidos se formularon las siguientes conclusiones:

1. El levantamiento de información sobre el funcionamiento actual del sistema de medición de glicol regenerado, determinó que no existe un sistema automatizado integrado al sistema de supervisión Experion PKS, para llevar un control del glicol suministrado al proceso de Deshidratación del Gas Natural, que permita a los operadores el monitoreo del sistema y de esta manera llevar el control adecuado del consumo del glicol regenerado.
2. Una vez descrito el proceso del sistema de medición del glicol regenerado en la Planta Extracción Jusepín, se determinó que no existe un sistema automatizado integrado al sistema de supervisión Experion PKS, para llevar un control del glicol suministrado al proceso de Deshidratación del Gas Natural, que permita a los operadores el monitoreo del sistema y de esta manera llevar el control adecuado del consumo del glicol regenerado.
3. El análisis de las propuestas de equipos tecnológicos existentes en el mercado para llevar a cabo el sistema automatizado en los tanques TK-1250 y TK-1270 de almacenamiento de glicol regenerado, se realizó a través de una matriz de selección, la cual permitió determinar de manera objetiva y confiable por medio de la valoración de ciertos criterios establecidos que el transmisor Honeywell de nivel por presión diferencial es el que mejor se adapta a las necesidades de la Planta.
4. La propuesta de un sistema automatizado para el control del consumo de glicol regenerado en la planta extracción Jusepín, permitirá la visualización de los niveles de glicol pobre, lo que facilitará el control del contenido de los recipientes, ya que se obtendrá información al instante del volumen del glicol regenerado.

Adicionalmente, la propuesta permitirá la optimización de las condiciones laborales de los operadores de la planta.

Referencias

- Arias, F. (2016). El Proyecto de Investigación. (7ma). Caracas: Episteme.
- Cedeño, J. (2016). Propuesta de integración de las señales analógicas y digitales del depurador de gas DG-01 a sala de control EF-ORC-01, ubicado en plantas compresoras del Distrito Furrrial. Universidad de Oriente Núcleo Monagas.
- Creus, A. (2010). *Instrumentación industrial. (8ª ed.)*. Barcelona España. Editorial Marcombo, S.A.
- Escaño, J., Garcia, J.y Garcia, A. (2019). *Integración de sistemas de automatización industrial*. Ediciones Paraninfo, SA
- PDVSA. (1999). *Guías de Gerencias para Proyectos de Inversión de Capital*. Caracas: Autor. Documento mimeografiado.
- Universidad Pedagógica Experimental Libertador (2006). *Manual de Trabajo de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales*. Caracas: FEDUPEL

Diseño de un biodigestor de excretas animales en la comunidad El Calvario, parroquia Veracruz, cantón Pastaza, Ecuador

Design of a Biodigester of animal excreta in the El Calvario Community, Veracruz Parish, Pastaza Canton, Ecuador

Miguel Ángel Enríquez¹ <https://orcid.org/0000-0002-8937-9664>

¹Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Ecuador
menriquez@uea.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.

Enviado: 2022/04/29

Aceptado: 2022/12/01

Publicado: 2022/12/30

Resumen

La cantidad de excretas que se producen en la comunidad El Calvario están expuestas al medio ambiente y su descomposición produce gases, lo que de alguna manera contribuye al calentamiento global. Se ha propuesto la construcción de biodigestores para mitigar el impacto de la degradación de los residuos y evitar la filtración de estos componentes a las aguas subterráneas. Esto luego es consumido por la comunidad y causa enfermedades gastrointestinales. Para el diseño de biofermentadores, inductivo y analítico se han utilizado documentos pre-elaborados para obtener las fórmulas, diseños, dimensiones y materiales idóneos empleados en la implementación de la construcción de biodigestores tubulares. Además de los métodos, se apoya en la investigación documental descriptiva. El número de cerdos en un municipio permite determinar la carga fecal diaria. Esto significa que la mezcla que se alimenta diariamente al biofermentador es de 532,15 kg/día con un tiempo de residencia de 29 días rango. Durante este período, las bacterias que descomponen los residuos producen 9,73 m³ de biogás por día, así como la cantidad de líquidos y sólidos que se obtienen de este proceso.

Palabras clave: biodigestor, excretas, fermentación, biofertilizantes, biogás.

Abstract

The amount of excreta produced in the El Calvario community is exposed to the environment. Its decomposition produces gases, which in some way contributes to global warming. The construction of biodigesters has been proposed to mitigate the impact of waste degradation and

Sumario: Introducción, Materiales y Métodos, Resultados y Discusión y Conclusiones.

Como citar: Enríquez, M. A. (2022). Diseño de un biodigestor de excretas animales en la comunidad El Calvario, parroquia Veracruz, cantón Pastaza, Ecuador. *Revista Tecnológica - Espol*, 34(4), 28-43. <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/928>

prevent the filtration of these components into the groundwater. Groundwater is consumed by the community and causes gastrointestinal diseases. Inductive and analytical pre-elaborated documents have been used in the design of biofermenters to obtain suitable formulas, designs, dimensions, and materials for the construction of tubular biodigesters. In addition, a descriptive documentary research method is employed. The number of pigs in a municipality allows us to determine the daily fecal load. Therefore, the mixture fed daily to the biofermenter is 532.15 kg/day with a residence time of 29 days range. During this period, the bacteria that decompose the waste produce 9.73 m³ of biogas per day, besides the amount of liquids and solids that result from this process.

Keywords: biodigester, excreta, fermentation, biofertilizers, biogas.

Introducción

La descomposición de la materia orgánica en animales y plantas produce gases en el ambiente (Cabrera, 2011). Según Rodríguez y Urbina (2012), los biorreactores pueden reducir el impacto negativo del estiércol animal, que genera contaminación significativa en el medio y contribuye al calentamiento global a través de la liberación de gases como el metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂) procedente de la fermentación de celulosa y almidón. Kaiser et al. (2002) propusieron que la digestión anaerobia es una de las soluciones de tratamiento de residuos orgánicos que posibilita el uso de la biomasa como fuente de energía renovable. Los compuestos de alta energía resultantes se pueden utilizar para generar calor o electricidad. Terashima et al. (2009) sugieren que la digestión anaeróbica es una técnica popular para estabilizar y reducir el exceso de lodos biológicos después del tratamiento de aguas residuales. El aprovechamiento de residuos orgánicos en la región amazónica permite obtener productos que mejoran la calidad de vida de las comunidades Enríquez, Escobar y Guamán (2022). Según Bond y Templeton (2011) argumentan que las trituradoras domésticas se consideran una tecnología limpia y respetuosa con el medio ambiente que ayuda a las comunidades rurales a satisfacer sus necesidades energéticas para iluminación, cocina y electricidad, mejorando así las condiciones de vida. Barrett (2015) señala que el diseño y construcción de biorreactores en comunidades, organizaciones, instituciones y áreas rurales brindan un mecanismo para reducir los impactos ambientales de los combustibles fósiles derivados del petróleo crudo. Heiz Cabrera (2014) sostiene que “Los biorreactores son una alternativa ambiental muy valiosa porque reducen la deforestación al no utilizar leña para la cocción de alimentos”, Moeller (2013) argumenta que los biorreactores se pueden utilizar cómodamente en el hogar porque ofrecen muchas posibilidades y son una energía alternativa amigable con el medio ambiente.

Reduce la carga contaminante del proceso de vertido con una reducción de materia orgánica del 60 al 80%, dependiendo del tiempo de retención, y ofrece una serie de beneficios. Toda la energía ahora proviene de fuentes fósiles, lo que incrementa las emisiones de gases de efecto invernadero y contribuye al calentamiento global y al cambio climático. Estas emisiones pueden mitigarse mediante el uso de combustibles fósiles y fuentes de energía renovables (Rivas et al., 2012). La energía de biomasa tiene un potencial de 2.635 a 3.771 (pJ) año⁻¹, donde el potencial del biogás es (35-305 PJ año⁻¹) en residuos domésticos y (148-190 PJ año⁻¹) en residuos ganaderos, pero el potencial de esta es energía subutilizada (Alemán et al., 2014). Una alternativa de energía limpia en la cría de animales es el biogás producido a partir de desechos orgánicos utilizando biorreactores, que ofrecen energía más barata, ingresos adicionales para los agricultores y oportunidades laborales, haciendo, energía descentralizada y protección del medio ambiente, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero (Rivas et al., 2011). El uso de fuentes de energía más limpias debe ser la clave para reducir la contaminación en Ecuador (Enríquez, 2020).

El objetivo del estudio es diseñar un biodigestor de excretas animales en la comunidad El Calvario, parroquia Veracruz, Provincia de Pastaza. Para lo cual se genera la siguiente interrogante ¿El diseño del biodigestor ayudará a la comunidad en la reducción de la contaminación ambiental?

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en la comunidad el Calvario parroquia Veracruz, cantón Pastaza, esta se encuentra localizada en las coordenadas: 18M (172674.68 m E; 9833075.43 m S), y tiene una superficie de 181.3 km² (GADMP, 2020).

Tipos de Investigación

Documental

Se basa en una revisión bibliográfica para encontrar respuestas concretas de estudios generados con anterioridad Baena (2014), utilizándole como una fuente primaria de información con la ayuda de otros textos.

Descriptiva

Tamayo (2006) trata de comprender situaciones comunes a través de la descripción detallada de actividades, objetos, procesos y personas. La investigación consiste en describir las características básicas de conjuntos homogéneos de fenómenos utilizando criterios sistemáticos para definir el comportamiento de los fenómenos en estudio (Sabino, 2014). Por este motivo, el estudio permitió obtener datos sobre el número de cerdos necesarios para el diseño del biorreactor, así como para determinar el tamaño y peso necesarios.

Métodos de Investigación

Identificación del sector

En la comunidad El Calvario residen familias que se dedican a la crianza de cerdos, y al no contar con el manejo de desechos se plantea el uso de biodigestores en la zona.

Levantamiento de información

En la zona de estudio se identificó 11 familias que crían cerdos, a los que se aplicó una ficha de tenencia de esta especie porcina y en la que se detalla parámetros como la edad, número de especies y la proyección trimestral.

Análisis de la información

Los parámetros para el diseño del biodigestor se enfocan al número de cerdos identificados mediante la ficha de tenencia, y que mediante el autor Braun (2013), proyecta la cantidad aproximada de generación de excretas de cada tipo.

Selección y diseño del biodigestor

El biodigestor que se utiliza es de tipo tubular debido a que presenta características de manejo para los pobladores de la comunidad. Los materiales empleados en la fabricación del equipo son de fácil acceso y económicos, así como sus mantenimientos.

Se identificó 177.05 kg de excretas, a partir de este peso se calcula el volumen de producción para los cálculos del biodigestor.

Inductivo

Trata de observar, investigar y conocer las mismas o similares características, a partir de las cuales redactar la solicitud o ley en tal sentido. Como lo expresó Abreu (2014), es “un razonamiento de abajo hacia arriba que fluye de lo particular o individual a lo general, y la

suposición inductiva es la reflexión centrada en el objetivo”.

Analítico

Ruiz (2006) descubrió que el método analítico es un método investigativo que descompone un todo, descomponiéndolo en partes o elementos para observar causas, naturaleza y efectos.

Población de estudio

Tal como lo enfatizan Arias et al. (2016) es un conjunto definido, limitado y disponible de casos que formarán parte de una muestra seleccionada que deberá cumplir con los criterios existentes. Cuando se habla de población, es importante recordar que se refiere no solo a una persona sino también a cualquier cosa que se pueda contar, por ejemplo, animales, muestras biológicas, registros. El método de inclusión según Arias et al. (2016) son todas las características particulares que debe tener un sujeto u objeto de estudio para que sea parte de la investigación. En este caso lo conformaran las 11 familias de la comunidad El Calvario mismas, que se dedican a la crianza de animales porcinos.

Resultados y Discusión

En la comunidad El Calvario existen 11 productores de cerdos, los cuales habitan en la zona central de la comunidad con una distancia promedio de 500 metros entre viviendas lo que permite el acopio de las excretas, con base en este antecedente la Tabla 1 tiene resultados de la tenencia de ganado porcino en el sector en el año 2021. Y esta levantada por trimestres con una media poblacional de 117 especies que generan un promedio de excretas de 177.05 kg/día.

Tabla 1

Tenencia promedio de ganado porcino en el sector El Calvario

Media Trimestral					
Meses	Lechones	Madres	Reproductores	Engorde	Total
enero- marzo	65	6	4	40	114
abril- junio	66	8	4	39	117
julio- septiembre	67	9	5	37	118
octubre- diciembre	69	10	5	36	120
Media	67	8	5	38	117

Nota. La tabla presenta valores promedios (media) de todo el año, en cuatrimestres.

Con los datos obtenidos de tenencia de ganado se procederá a investigar la cantidad de estiércol que genera cada tipo de cerdo, lo cual se determina en la Tabla 2.

Tabla 2
Producción de excretas según el tipo de cerdo

Etapa	Estiércol kg/día	Estiércol – orina kg/día	Volumen en l/día	Volumen m ³ /animal/mes
25-100 kg	2.3	4.9	7.0	0.25
Hembra	3.6	18.0	16.0	0.48
H. lactación	6.4	6.0	27.0	0.81
Semental	3.0	6.95	9.0	0.28
Lechón	0.35	0.95	1.4	0.05
Promedio	2.35	5.8	8.6	0.27

Nota. Tomado de Braun (2013).

Con los datos obtenidos de tenencia de ganado porcino se procede a identificar la cantidad de estiércol que se genera por cada cerdo en las diferentes etapas de su desarrollo según se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3
Producción de excretas según el tipo de cerdo

Etapa	Estiércol kg/día ^a	Media de tipos de cerdos	Producción de kg/día
25-100 kg	2.3	38	87.4
H. lactación	6.4	8	51.2
Semental	3.0	5	15
Lechón	0.35	67	23.45
TOTAL			177.05 kg/día

Nota: Adaptación de ^aBraun (2013) para la estimación de excretas porcinas.

Con respecto a estos precursores, se ha propuesto desarrollar un biorreactor tubular tipo “salchicha”, cuyas propiedades simples y económicas permiten su uso generalizado en zonas rurales. Es un material flexible, de fácil manejo y que se puede adquirir en cualquier tienda de materiales de construcción (Báez y Benítez, 2015). El equipo suele colocarse directamente sobre el suelo, en lugares donde la temperatura es más baja por lo que la gente hace agujeros para aislar y reducir el tiempo de espera que puede ser muy largo. En condiciones normales, la producción de biogás debería comenzar 3 semanas después de la primera alimentación (Torre y Ruiz, 2008).

Cantidad de la mezcla

Es fundamental conocer el volumen acuoso presente en la mezcla que permitirá que la degradación se realice sin inconvenientes, tomando en cuenta la relación agua + sólidos según se detalla en la Tabla 4.

Tabla 4
Relación estiércol agua según tipo animal

Porciones de Agua		
Bovino	Fresco	1:1
	Seco	1:2
Porcino		1:2
Aves		1:1
Equino		1:2
Desechos humanos		1:1
Desechos vegetales		1:0,5-2

Nota. García (2016).

A base de la Tabla 4, se procede a utilizar una relación 1:2. Entonces se ocupará los datos de la tabla 6 que expresa la cantidad de estiércol, misma que será sustituida en la Ec (1), los datos que se obtuvieron para los 177.05 kg/día de estiércol se aumentan 354.1 kg/día de agua dando un resultado de 532.15 kg/día de la mezcla que se deben cargar en el biodigestor.

C_m : Cantidad de la mezcla

$$Cantidad_{mezcla} = producción\ de\ estiercol + (2 * producción\ de\ estiercol) \quad Ec. (1)$$

$$C_m = 177.05 \frac{kg}{día} + (2 * 177.05 \frac{kg}{día})$$

$$C_m = 532.15 \frac{kg}{día} \quad Mezcla\ de\ Carga\ Diaria$$

Tiempo de retención

Según Toala (2013) afirma que el tiempo de retención está relacionado con el periodo que tardan los microorganismos en degradar la materia orgánica y obtener un producto. Cáceres (2011) sugirió que las bacterias deben tener un periodo razonable de descomposición de la materia orgánica, si no se cumplen las variables de temperatura y humedad, la tasa de crecimiento y descomposición de las bacterias será subóptima, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5
Tabla de tiempo de retención

Región característica	Temperatura	Tiempo de retención hidráulico
Trópico	30 °C	30 días
Valle	20 °C	40 días
Altiplano	10 °C	60 días

Nota. Parámetros ambientales establecidos por Herrero (2008).

A base de la información de la Tabla 5 se hizo una interpolación para poder determinar el tiempo de retención (t_r), tomando en cuenta que la comunidad del calvario tiene una temperatura promedio anual de 30 °C, por lo cual se reemplazará el número de días correspondiente a dicha temperatura en la ecuación 2.

$$y = -1.5x + 73.33 \quad \text{Ec. (2)}$$

$$y = -1.5(30) + 73.33$$

$$y = 28.33 \text{ días} \cong 29 \text{ días}$$

Volumen líquido

Según Herrero (2008), “El volumen de líquido que provoca la biodegradación será el resultado de multiplicar la carga diaria de la mezcla por el tiempo de retención”. Los biorreactores tubulares estarán sujetos a una carga diaria de sustancias introducidas para su biodegradación por el tiempo considerado en función de la temperatura y ubicación del dispositivo.

Dónde:

VL: Volumen de la fracción líquido.

TR: Tiempo de retención en días.

Cd: Carga diaria en Kg/día

(Barzallo, 2018)

$$V_L = C_d * T_R \quad \text{Ec. (3)}$$

$$V_L = 531.15 \frac{\text{kg}}{\text{día}} * 29 \text{ días}$$

$$V_L = 15403.35 \text{ kg} = 15403.35 \text{ L}$$

$$V_L = 15.40 \text{ m}^3$$

Volumen del gas

El interior del biodigestor se encuentra compuesto por un 75% de sólidos y líquidos (mezcla de excretas con agua), al estar sometido a un proceso anaeróbico (en ausencia de oxígeno), los gases que salen de esta descomposición representan el 25% restante del interior del Biodigestor, dando como resultado que el volumen de Gas es igual a un tercio del volumen del líquido (Herrero, 2008).

Donde:

V_g : Volumen que ocupa la fase gaseosa

0.25: Porcentaje que ocupa la parte gaseosa

0.75: Porcentaje que ocupa la parte líquida

V_L : Volumen líquido

(Herrero, 2015)

$$V_g = \frac{0.25}{0.75} * V_L \quad \text{Ec. (4)}$$

$$V_g = \frac{0.25}{0.75} * 15.40 \text{ m}^3 = 5.13 \text{ m}^3$$

Volumen total de biodigestor

Para este cálculo se puede realizar la aplicación de la ecuación:

V_T : Volumen total

V_L : volumen del líquido

V_g : volumen del gas

(Barzallo, 2018)

$$V_T = V_L + V_g \quad \text{Ec. (5)}$$

$$V_T = 15.40 \text{ m}^3 + 5.13 \text{ m}^3$$

$$V_T = 20.53 \text{ m}^3 \cong 21 \text{ m}^3$$

Producción de Biogás por día

Para conocer la cantidad total de energía se debe tomar en cuenta los valores la Tabla 6.

Tabla 6

Producción de Biogás

Tipo de estiércol	Producción de Gas/kg de Estiércol
Ganado Vacuno	22 – 40
Cerdos	40 – 60
Aves de corral	65,5 – 115
Humano	20 – 28

Nota. Tomada de Moreta (2013).

Para este estudio se tomará en cuenta la producción de biogás en ganado porcino, generando un intervalo de 40 a 60 kg, tomando en cuenta un valor promedio de 50 kg para el cálculo, donde:

Pb: producción de biogás
 Pb: Producción de biogás
 1kg/día=50L

$$P_b = 177.05 \frac{kg}{día} * \frac{50L}{1 kg/día} \quad \text{Ec. (6)}$$

$$P_b = 8852.5 L$$

$$P_b = 8.85 m^3$$

Margen de seguridad

El margen de seguridad presenta fluctuaciones repentinas en la producción de biogás. Se debe tener en cuenta un rango del 5-10% como muestra la ecuación 7. Y este producto resultante está compuesto por diferentes niveles de nutrientes, los cuales están identificados en la Tabla 7 con sus respectivos porcentajes.

Pbseg: Producción de biogás con margen de seguridad
 Pb: Producción de biogás
 Margen de seguridad: 10% (0.1)

$$P_{bseg} = P_b + P_b * 0.1 \quad \text{Ec. (7)}$$

$$P_{bseg} = 8.85 m^3/día + 8.85 m^3/día * 0.1$$

$$P_{bseg} = 9.73 \frac{m^3}{día} \text{ Producción de biogas}$$

Tabla 7

Rango de niveles de nutrientes en diversos residuos de origen animal y vegetal

Materia Prima	C (%)	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	MgO (%)
Excretas						
Bovino	17,4 – 40,6	0,3 – 2,0	0,1 – 1,5	0,10	0,35	0,13
Porcino	17,4 - 46,0	1,1 – 2,5	0,4 – 4,6	0,30	0,09	0,10
Caprino	35,0 – 50,0	1,0 – 2,0	0,2 – 1,5	2,30		
Equino	35,0 - 52,0	0,3 – 0,8	0,4 – 1,6	0,35	0,15	0,12
Ovino	35,0 – 46,0	0,3 – 0,6	0,3 – 1,0	0,15	0,33	
Conejos	23,0 - 35,0	1,0 – 1,9	0,9 – 1,8	2,10	0,45	0,15
Aves	28,0 – 35,0	1,4 – 2,0	2,0 – 2,8	1,40	0,80	0,48
Patos	29,0 - 41,0	0,6 – 0,8	1,0 – 1,5	0,40	0,80	
Pavos	17,4 – 41,0	0,6 – 0,8	0,5 - 0,8	1,10	0,80	
Humanas	2,5	0,8 – 1,0	0,5	0,30		

Nota. Tomada del Manual de Biogás (2011).

En la Tabla 7 se presenta los diferentes niveles de nutrientes con sus respectivos porcentajes, hay que tomar en cuenta que el cálculo de la capacidad instalada del dispositivo se basa en un análisis de la cantidad diaria de estiércol generada a partir de las excretas porcinas que se producen en la zona. Brown (2013) identifica que existe una cantidad variable de estiércol, producidos según el tipo de cerdo (nacimiento, engorde, hembra, lactante o verraco). Se generan 177,05 kg/día de estiércol. En relación a esos datos se identifica la cantidad de agua requerida en el estiércol producido, García (2016) sugiere una relación 1:2 para cerdos, es decir, la cantidad de agua equivalente a cada 1 kg de estiércol, 2 kg. se utilizará agua, por lo que se cargarán 532,15 kg/día de la mezcla en el biorreactor. La carga debe mantenerse durante un periodo determinado, este tiempo de retención dependerá de la ubicación y la temperatura donde se encuentre el biorreactor.

La comunidad El Calvario está ubicada en una zona tropical de la región amazónica de Ecuador, para lo cual Herrero (2008) sugirió un período de retención de 30 días para que las bacterias degraden la materia orgánica. Este valor se sustituye en la ecuación (2), que genera como resultado un tiempo de retención del estiércol comunitario de 29 días. Tras obtener el valor del tiempo de retención se determinará el volumen del líquido biodegradable. Barzallo (2018) en su estudio utiliza una ecuación que al cambiar el valor nos da el volumen del líquido como 15.40 m³, similar a Herrero (2015). En la ecuación 4 se obtiene 5,13 m³ de gas. Barzallo (2018) expresa en la ecuación 5 que ayudará a determinar el volumen total del biorreactor, el resultado es 21 m³, para determinar la producción de biogás por día se tendrá en cuenta la Tabla de Moreta (2013), en cerdo El rango de la producción de biogás es de 40 a 60 kg, con la sustitución en la ecuación (6) dando un valor promedio de 50 kg, correspondiente a un rendimiento de 8,85 m³. Este valor debe corresponder al margen de seguridad, donde Liliana (2018) da con la ecuación (7) que será una capacidad diaria del biorreactor de 9,73 m³/día, tomando la química componente de este elemento del manual de biogás. (2011) encontraron: carbono (3,08 m³/día), N (0,17 m³/día), P₂O₅ (0,24 m³/día), K₂O (0,029 m³/día), CaO (0,0087 m³/día), MgO (0,0097 m³/día).

Producción de Bioabono por día.

Según Herrero (2008) en el proceso de la fermentación se perdió una fracción de sólidos totales. El estiércol fresco tiene entorno a un 17% de sólidos totales. El rango puede variar de 13 a 20%. Los sólidos totales representan el peso del estiércol una vez seco y, por tanto, es la carga real de materia sólida que se estará introduciendo en el biodigestor.

$$\text{Bioabono} = \text{Carga Diaria de excretas en } \frac{\text{kg}}{\text{día}} - (\text{Carga Diaria de excretas en } \frac{\text{kg}}{\text{día}} * 0.17) \quad \text{Ec. (8)}$$

$$\begin{aligned} \text{bioabono} &= 177.05 \frac{\text{kg}}{\text{día}} - \left(\frac{177.05 \text{kg}}{\text{día}} * 0.17 \right) \\ \text{bioabono} &= 146.95 \text{ kg/día} \end{aligned}$$

Producción de biol

Según Herrero (2019) el diseño del biodigestor tubular va relacionado a la gravedad, por lo cual si es cargado con estiércol más agua por la entrada se tendrá la misma cantidad de biol por la salida.

Diseño del biodigestor

De acuerdo a los datos obtenidos se determinó que el volumen es de 21m³, por lo cual se va a utilizar un rollo de 2.5 m de ancho que se encuentra disponible en el mercado como lo muestra la Tabla 8.

Tabla 8*Longitudes mínima, máxima y óptima de biodigestores tubulares según circunferencias*

Circunferencia (m) ^a	Ancho de rollo (m) ^a	Radio (m) ^a	Diámetro (m) ^a	Longitud biodigestor tubular					
				mínima (m)	Volumen (m ³)	máxima (m)	Volumen (m ³)	óptima (m)	Volumen (m ³)
2	1	0.32	0.64	3.2	1.02	6.4	2.05	4.8	1.54
3	1.5	0.48	0.95	4.8	3.47	9.5	6.87	7.2	5.21
4	2	0.64	1.27	6.4	8.23	12.7	16.34	9.5	12.22
*5	2.5	0.80	1.59	8.0	16.08	15.9	31.96	11.9	23.92
6	3	0.95	1.91	9.5	26.9	19.1	54.15	14.3	40.54
7	3.5	1.11	2.23	11.1	42.96	22.3	86.31	16.7	64.64
8	4	1.27	2.55	12.7	64.35	25.5	129.21	19.1	96.78
9	4.5	1.43	2.86	14.3	91.86	28.6	183.73	21.5	138.12
10	5	1.59	3.18	15.9	126.28	31.8	252.56	23.9	189.82
14	7	2.23	4.46	22.3	348.38	44.6	696.77	33.4	521.80

Nota. Tomado de Herrero (2019).

*Valores tomados de la tabla para el diseño de un biodigestor.

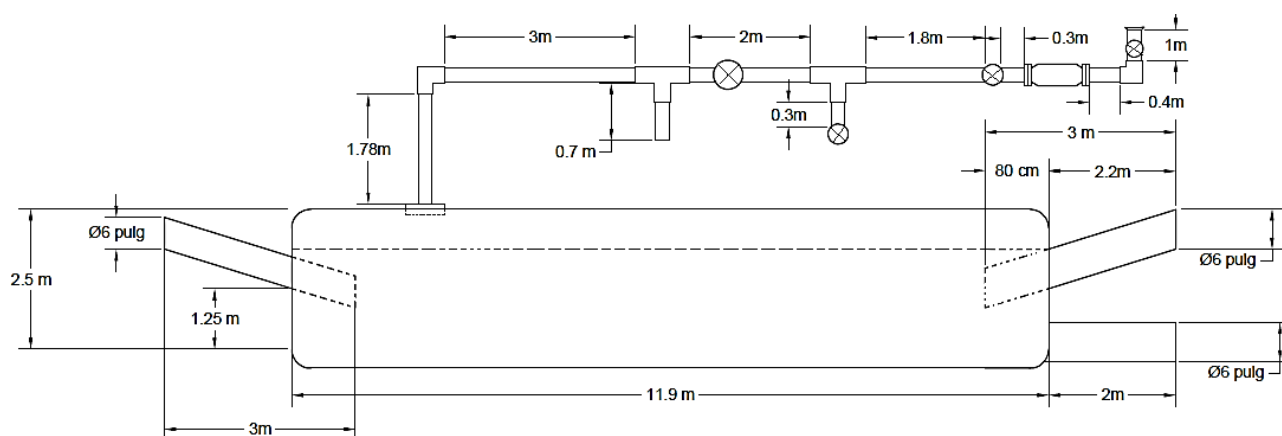
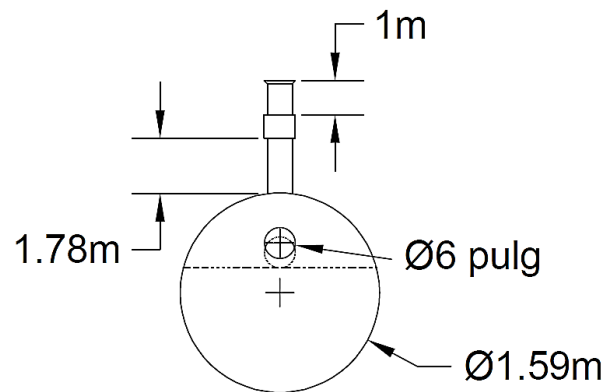
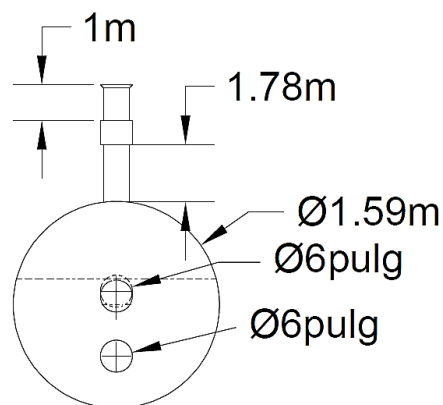
Figura 1*Vista Lateral del Biodigestor Tubular*

Figura 2*Vista Frontal del Biodigestor Tubular***Figura 3***Vista Posterior del Biodigestor Tubular***Materiales**

En la Tabla 9 se determina los componentes que se van a utilizar para la construcción del biodigestor en la comunidad El Calvario.

Tabla 9*Materiales empleados para la implementación de un biodigestor tipo salchicha*

Componente	Comentario	Cantidad
Zanja		
Sacos	Para darle una forma adecuada a la zanja en lugares donde el suelo no lo permita.	Los necesarios
Plásticos viejos, lonas o sacos.	Se puede formar una "sabana" para que sirva como protección para el biodigestor.	Los necesarios
Biodigestor		
Manga tubular	Si utilizara una geomembrana de polietileno de 500 micrones.	Se soldará de forma tubular. La longitud de la manga= (longitud

Componente	Comentario	Cantidad
		de la zanja +1m+profundidad de la zanja) Longitud de la manga= 22,3m
Tubería de PVC de entrada	Se va trabajar con una tubería de 6" ya que el contenido va hacer estiércol.	1.5 metros de largo con 80 cm en el interior del biodigestor.
Tubería de desagüe de PVC	Se va trabajar con una tubería de 6" ya que el contenido va hacer estiércol, esto permitirá un mejor amarre con el plástico tubular.	Tubería de 3 metros de largo con 80 cm en el interior del biodigestor para la descarga de biol; y una tubería de 2 metros para descargar el bioabono o desechos sólidos.
Liga de cámara de neumático (también llamada boya o tubo).	Esta se puede obtener de tubos usados, se debe cortar tiras continuas de 5cm de ancho.	Dos cámaras de aro 14 o 16, o también de 30 a 40 m de liga del neumático ya cortada
Adaptador de tanque en PVC o polipropileno (también llamado flange, pasamuros o brida).	Normalmente se trabaja en 1/2" o 3/4", en este caso ocuparemos la de 3/4".	1
Tubería de agua	Normalmente se trabaja en 1/2" o 3/4", se utilizará una de 3/4". Puede ser de PVC, de polietileno o manguera. Se usará para conectar la salida de biogás a la válvula de alivio.	3 metros
Accesorios PVC	Se puede usar de rosca o pega en PVC, o con uniones Flex para manguera.	Los que haga falta para unir el adaptador de tanque con la Tee de la válvula de alivio
Cuerda	Una cuerda plástica mínimo de 1/4".	2.5 veces en metros la longitud del biodigestor
Teflón	Se recomienda usar teflón en la rosca del adaptador de tanque.	1
Válvula de alivio	Elemento que encuentre la conducción de biogás al salir del biodigestor.	Se requiere al menos de una Tee, una pieza de tubería de 30 cm, una botella de 2 litros de refresco vacía, y una llave de paso plástica.
Conducción del biogás		
Tubería de agua	Normalmente se trabaja en 1/2" o 3/4", en este caso se va a ocupar 3/4". Puede ser tubería rígida de PVC.	Tantos metros como haga falta para llevar el biogás desde el biodigestor al punto de consumo
Llaves de bola	Normalmente se trabaja en 1/2" o 3/4", en este caso se va a ocupar 3/4".	Mínimo 2
Tee	Normalmente se trabaja en 1/2" o 3/4", en este caso se va a ocupar 3/4".	Mínimo 1
Codo	Normalmente se trabaja en 1/2" o 3/4", en este caso se va a ocupar 3/4".	Mínimo 1
Codo Unión universal	Normalmente se trabaja en 1/2" o 3/4", en este caso se va a ocupar 3/4".	Mínimo 1
Unión universal	Normalmente se trabaja en 1/2" o 3/4", en este caso se va a ocupar 3/4".	Mínimo 1

Componente	Comentario	Cantidad
Teflón	Se recomienda usar teflón (10 vueltas) en toda conexión de roscada.	1 o 2, dependiendo de los accesorios de rosca que se usen.
Cocina	Se puede adaptar cualquier cocina de gas considerando disminuir la mezcla con aire y ensanchando el conducto del chicle o quitándolo.	Se recomienda dos hornillas o quemadores.

Conclusiones

El valor de excretas parte de un levantamiento de información generado en la comunidad El Calvario donde se identifica un promedio de 117 especies que generan 532.15 kg/día, ocupando un volumen de 21m³, el cual genera 9.73m³/día de biogás (405.42 l/h) con una composición de Carbono (3.08m³/día), N(0.17m³/día), P₂O₅(0.24m³/día), K₂O(0.029m³/día), CaO (0.0087m³/día) y MgO (0.0097m³/día); además de 146.95 kg/día de bioabono útil para la agricultura del sector. El biogás presenta gran versatilidad de usos, como es la cocción de alimentos (consume por hora 300 l/h.), la generación de electricidad mediante generadores especiales que utilizan el gas, además para uso en la calefacción de vivienda o edificios.

El diseño del biodigestor es una alternativa eficaz para reducir las emisiones de metano al ambiente creando una cultura de gestión de residuos, como es la producción de biol y del bioabono. Ambas son alternativas orgánicas que permite aumentar el rendimiento productivo y mejorar la calidad de los productos mediante la reducción de plagas y enfermedades presente en los cultivos de la zona.

Referencias

- Abreu, J. (2014). El Método de la Investigación Research Method. In Daena: International Journal of Good Conscience (Vol. 9, Issue 3).
- Alemán, G. S., Casiano Flores, V. H., Cárdenas Chávez, D. L., Díaz Chávez, R., Scarlet,
- Arias, J., Villasís, M., & Miranda, M. (2016). El protocolo de investigación III: la población de estudio. 62. <https://revistaalergia.mx/ojs/index.php/ram/article/view/181/309#:~:text=Criterios%20de%20selecci%C3%93n&text=Estos%20criterios%20son%20los%20criterios,sea%20parte%20de%20la%20investigaci%C3%B3n>
- Atilano. (2012). Manejo de Excretas y Aguas.
- Báez, G., & Benítez, D. (2015). Diseño y construcción de un biodigestor tipo campana flotante con la utilización de desechos porcinos para la finca “El Recuerdo.” <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/11470/3/UPS-KT01209.pdf>
- Barret, C. (2015). El Biodigestor como alternativa ecológica en la generación de Energía Natural. Ambiente de la Universidad Abierta de Colombia. 19.
- Barzallo, L. (2018). Diseño, construcción y estandarización operativa de biodigestor anaerobio para finca productora de leche.
- Bautista, V. (2016). Evaluación de la generación de biogás a partir de excretas porcinas en la granja agroinporc y diseño de un biodigestor.
- Bond, T., & Templeton, M. R. (2011). History and future of domestic biogas plants in the developing world. *Energy for Sustainable Development*, 15(4), 347–354. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2011.09.003>

- Braun, R. (2013). Eliminación mediante impactos ambientales positivos de estiércoles y purines en las empresas porcinas.
- Cabrera, D. (2014). El Biodigestor una herramienta de Vanguardia. Salud y Ambiente de la Universidad Complutense de Madrid. 23.
- Cabrera, J. (2011). Diseño de un Biodigestor para la generación de biogás y abono a partir de desechos orgánicos de animales aplicable en las zonas agrarias del Litoral.
- Cáceres, E. (2011). Producción de biogás. Construcción de un biodigestor. <http://imagenes.mailxmail.com/cursos/pdf/7/produccion-biogas-construccion-biodigestor-35587-completo.pdf>
- Enríquez, M. Á. (2020). Obtención De Productos Frutícolas Deshidratados; Tomate De Árbol (*Cypomandra Betacea* L) Y Guayaba (*Psidium Guajaba* L), Mediante El Empleo De Un Secador Solar Con Colector Plano. *Perfiles*, 2(22), 12–19. <https://doi.org/10.47187/perf.v2i22.49>
- Enríquez-Estrella, M.; Quevedo-Escobar, H.; Guamán Bravo, B. (2022). Evaluación del aprovechamiento de residuos sólidos ganaderos para producir biogás y abonos en la comunidad El Calvario, Provincia de Pastaza, Ecuador. *Revista Estudios Ambientales*, 10(1), 18-34
- García, G. (2016). Diseño de un Biodigestor para el mejoramiento de las aguas residuales en la parroquia de Tumbaco ejemplificado en los barrios Tola Chica, Tola Grande y Santa Rosa. <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/5449/1/124462.pdf>
- Garrido, J., Flotats, X., Fernández, B., & Palatsi, J. (2009). *Biomasa* (Tercera edición).
- González, A. (2014). Estudios técnicos económico para la producción de biogás a partir de residuos agrícolas mediante digestión anaerobia.
- GADMP. (2020). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Pastaza 2019-2030.950. <https://puyo.gob.ec/wpcontent/uploads/documentos/departamentos/planificacion/pdot/pdot-pastaza-2020-2030.pdf>
- Herrero, J. (2008). *Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación*.
- Herrero, J. (2019). *Biodigestores Tubulares. Guía de diseño y manual de instalación*.
- Herrero, M. (2015). Anaerobic digestion, tubular digester, biogas, low cost technology View project Energy and Buildings, heat transfer models View project. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1048.6242>
- Kaiser, F., Bas, F., & Gronauer, A. (2002). Producción de biogás a partir del guano animal: el caso de Alemania.
- Landín, G. (2007). Tratamiento de excretas de cerdos. 9–1.
- Manual de biogás. (2011).
- Meller, P. (2013). *Alternativas Naturales como estrategia de cuidado Ambiental* (Limusa).
- Moreta, M. (2013). Diseño de un biodigestor de estiércol porcino para una granja agrícola ubicada en el barrio La Morita, parroquia de Tumbaco para el año 2012-2013. <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/707/1/DISE%20C3%91O%20DE%20UN%20BIODIGESTOR%20DE%20ESTI%20C3%89RCOL%20PORCINO%20PARA%20UNA%20GRANJA%20AGR%20C3%8DCOLA%20UBICADA%20EN%20EL%20BARRIO%20LA%20MORITA,%20PARROQUIA%20DE%20TUMBA~1.pdf>
- Pinos, J., & García, J. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia*.
- Rivas, L., Alicia, B., Avila, Z., Solis, S., Iram, J., Morales, G., Lerma, S., Morales, M., & Perspectivas De

- Obtención De Energía Renovable De La Biomasa Del, H. A. (2012). Perspectivas De Obtención De Energía Renovable De La Biomasa Del Estiércol Del Ganado Lechero En La Región Centro-Sur De Chihuahua. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 30, 872–885.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14123097009>
- Rivas Solano, O., Faith Vargas, M., & Guillén Watson, R. (2011). Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad. *Revista Tecnología En Marcha*, 23(1), pág. 39.
https://181.193.125.13/index.php/tec_marcha/article/view/132
- Rodríguez, D., & Urbina, A. (2012). Biodigestores: ¿Qué son y cómo construirlos? Programa Regional de Ganadería MAG Grecia.
- Ruiz, R. (2006). Historia y evolución del pensamiento científico (Patria).
- Terashima, M., Goel, R., Komatsu, K., Yasui, H., Takahashi, H., Li, Y., & Noike, T. (2009). CFD simulation of mixing in anaerobic digesters. *Bioresource Technology*. 100–107.
- Toala, E. (2013). Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogás a partir del estiércol de ganado en el rancho Verónica. <http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/3406/1/236T0100.pdf>
- Torre, N., & Ruiz Riva, U. (2008). Digestión anaerobia en comunidades rurales. https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11627/PFC_Nadia_deLaTorre_Caritas.pdf?sequence=1
- Toscano, C. (2015). Diseño de un biodigestor anaeróbico para la obtención de biogás, a partir de las excretas de ganado vacuno en el rancho Guadalupe, en el cantón mocha provincia de Tungurahua en el año 2015.
- Valdivia, T. (2000). Uso de Biogás para la generación de energía eléctrica mediante un motor gasolinero estacionario modificado.
- Villaraldo, L. (2018). Balance energético comparativo del proceso de generación de biogás a partir de un lodo residual y un lodo residual pretratado.
http://repositorios.orizaba.tecnm.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/288/Laura_Villaraldo_Falf%c3%a1n.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Regionalización de las Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) en las Provincias de Santa Elena y Manabí

Regionalization of the Intensity-Duration-Frequency (IDF) Curves in the Provinces of Santa Elena and Manabí

Pietro Corapi¹ <https://orcid.org/0000-0001-8626-0134>,
Nedin Nuñez Neira¹ <https://orcid.org/0000-0003-1759-3116>

¹Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador
pietro.corapi@ug.edu.ec, nedinsteven@gmail.com



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.

Enviado: 2022/09/10

Aceptado: 2022/12/13

Publicado: 2022/12/30

Resumen

Una baja densidad de estaciones pluviométricas en la costa del Ecuador, junto con registros discontinuos e incompletos, ocasionan que la estimación de las ecuaciones de las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) sea compleja, dando lugar a sobrestimaciones o subestimaciones de las precipitaciones en sectores sin datos. El propósito de la investigación es crear un mapa regionalizado de los parámetros para la ecuación de las curvas IDF en las provincias de Santa Elena y Manabí. Los datos de precipitación, de las estaciones meteorológicas disponibles, fueron empleados en un análisis estadístico con el objetivo de verificar si se ajustaban a una distribución probabilística. Posterior a esto, mediante regresión lineal múltiple, se determinó cada parámetro de las ecuaciones correspondientes a cada estación. Los parámetros obtenidos fueron distribuidos en el área de estudio por medio de métodos de análisis espacial como la Distancia Inversa Ponderada y Kriging Ordinario en el software QGIS. Se demostró la validez de cada método con estaciones que han sido excluidas en el análisis espacial, donde se ha comprobado un error menor al 10%. El método de Kriging Ordinario ha demostrado una distribución más adecuada, a partir de la cual se ha generado un mapa publicado en ArcGIS Online. Este mapa permitió la lectura de los parámetros de la ecuación de curvas IDF en cualquier coordenada dentro de las provincias de estudio.

Palabras clave: Análisis espacial, interpolación, parámetros hidrológicos, precipitación, zonificación.

Sumario: Introducción, Materiales y Métodos, Resultados y Discusión y Conclusiones.

Como citar: Corapi, P., & Nuñez, N. (2022). Regionalización de las Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) en las Provincias de Santa Elena y Manabí. *Revista Tecnológica - Espol*, 34(4), 44-68. <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/974>

Abstract

A low density of pluviometric stations on the coast of Ecuador, together with discontinuous and incomplete records, induce the estimation of the equations of the intensity-duration-frequency (IDF) curves to be complex. It leads to overestimates or underestimates of rainfall in sectors without enough data. The purpose of this research is to create a regionalized map of the parameters for the equation of the IDF curves in the provinces of Santa Elena and Manabí. The precipitation data from the available meteorological stations were used in statistical analysis to verify if they adjust a probabilistic distribution. In addition, each parameter of the equations corresponding to each station has been determined by using multiple linear regression. The resulting parameters were distributed in the study area through spatial analysis methods such as Inverse Distance Weighting and Ordinary Kriging in the QGIS software. The validity of each method has been demonstrated with stations that have been excluded in the spatial analysis. Therefore, an error of less than 10% has been verified. The Ordinary Kriging method has shown a more adequate distribution, from which the map published in ArcGIS Online has been generated. This map allows the reading of the parameters for the equation of the IDF curves at any coordinate inside the study provinces.

Keywords: Spatial analysis, interpolation, hydrological parameters, rainfall, zoning.

Introducción

En proyectos hidráulicos que requieren de un diseño hidrológico es primordial estudiar las precipitaciones mediante un proceso que se conoce como determinación de los eventos de lluvia. La determinación de dichos eventos se realiza mediante un análisis que establezca una relación entre la intensidad de lluvia, duración y frecuencia (IDF). En esta relación, los datos generalmente se presentan con un gráfico donde el eje horizontal corresponde a la duración y el eje vertical a la intensidad, cada período de retorno considerado (frecuencia) se muestra a través de una serie de curvas (Chow et al., 1994).

Para la elaboración de las curvas IDF se puede recurrir a registros de precipitación de estaciones pluviográficas o estaciones pluviométricas, instrumentos cuya presencia en algunos sitios puede ser escasa o nula. Estos instrumentos pueden volverse obsoletos de manera temprana cuando no hay un correcto mantenimiento, provocando ausencia de datos en los registros; además, la información generada por las estaciones no es de libre acceso en su totalidad. Este escenario es muy común en el Ecuador y se puede corroborar con los anuarios meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), considerando el período de 1990-2013; los registros incompletos son evidentes según varios trabajos de investigación (Carrera V. et al., 2016; INAMHI, 2008).

El objetivo de esta investigación es crear un modelo de regionalización de las constantes de la ecuación de las curvas de IDF en las provincias de Santa Elena y Manabí, mediante un análisis estadístico de datos de precipitación para obtener parámetros hidrológicos en sitios con información escasa o inexistente.

Materiales y Métodos

Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF)

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia son gráficas que representan las características de las tormentas que tienen ocurrencia en una zona o región. La lluvia es un evento definido por tres variables: magnitud (lámina de precipitación), duración y frecuencia (período de retorno); sin embargo, para un análisis más completo se toma en consideración la intensidad en lugar de la lámina de precipitación (Campos A., 1998).

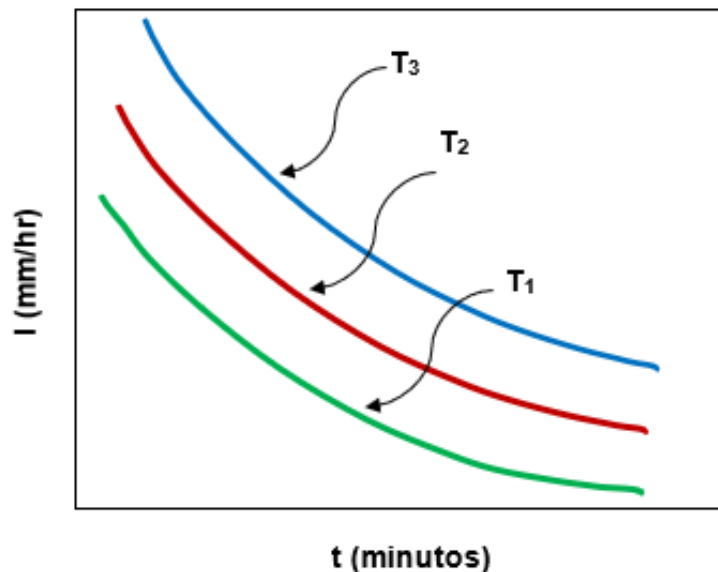
Período de Retorno

El período de retorno hace referencia a un intervalo promedio de tiempo dentro del cual un evento puede suceder en igual o mayor magnitud (Varas C. & Bois, 1998).

El estudio de las precipitaciones a través de un análisis de curvas IDF es fundamental en las primeras etapas de proyectos que demanden diseños hidrológicos e hidráulicos. Para trazar estas curvas, la intensidad se expresa en mm/hr, la duración en minutos y la frecuencia o período de retorno en años. La Figura 1 muestra un esquema general de presentar las curvas IDF en escala aritmética (Chow et al., 1994).

Figura 1

Esquema de las Curvas IDF en Escala Aritmética.



Una de las expresiones para representar las curvas IDF fue presentada por Bernard (1932):

$$I = \frac{kT^m}{D^n} \quad [1]$$

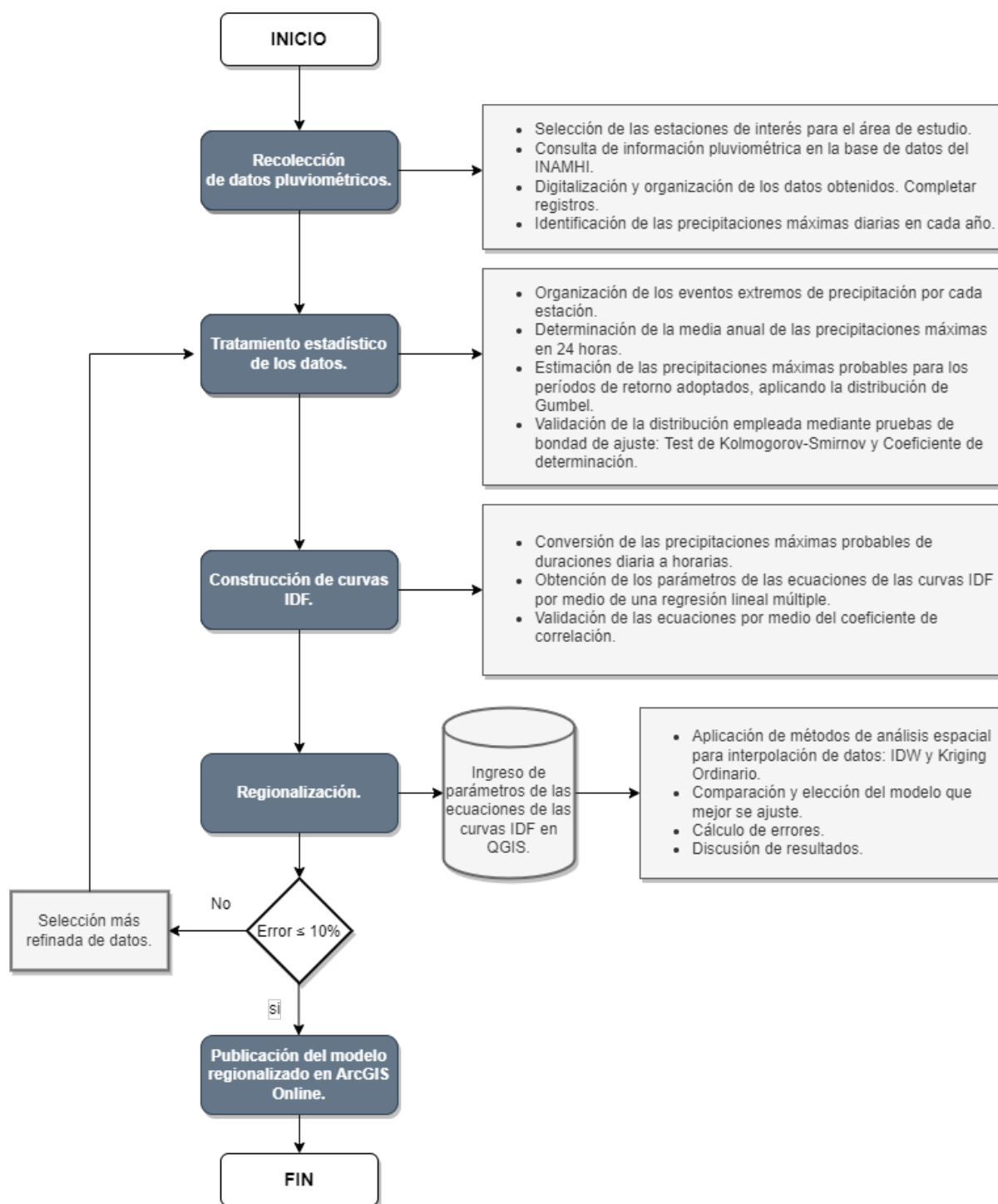
Donde:

- I : intensidad, en mm/hr;
- D : Duración de lluvia, en minutos;
- T : Período de retorno en años;
- k, m, n : Parámetros de ajuste.

Para el desarrollo de un mapa de zonificación de las curvas de intensidad, duración y frecuencia (IDF), primero se deben obtener los parámetros de la ecuación para tales curvas. En la Figura 2 se presenta un esquema de las fases involucradas en el proceso de regionalización de las curvas IDF.

Figura 2

Diagrama de Flujo de la Metodología

**Recolección de Información Pluviométrica**

Las mediciones de lluvia pueden variar de un lugar a otro, y en un mismo lugar según el tiempo. Antes de emplear métodos estadísticos para modelar este comportamiento espacio-temporal, es necesario constatar que los registros sean completos, consistentes y con una extensión suficiente (Chereque M., 1989).

En esta investigación se recopilamos datos de 42 estaciones meteorológicas, con información que acumula entre 10 y 24 años de registros. Parte de esta información

meteorológica fue proporcionada directamente por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología y, otra parte, se obtuvo a partir de los anuarios disponibles en la biblioteca virtual de tal institución. Como producto de completar los registros, empleando el método de regresión lineal, el 47,62% tienen 20 o más años con registros completos, un 69,05% cuentan con 15 o más años y un 30,95% tienen entre 10 y 14 años de información. En la Tabla 1 se pueden visualizar los datos generales de cada estación: código, nombre, provincia, ubicación en sistema de coordenadas geográficas (grados, minutos y segundos), entre otros.

Tabla 1

Información General de las Estaciones Meteorológicas Estudiadas

CÓDIGO	ESTACIÓN	PROVINCIA	ZONA	LATITUD	LONGITUD	AÑOS CON REGISTROS
M0005	Portoviejo-UTM	Manabí	17S	1°2'3" S	80°27'34" W	24
M0006	Pichilingue	Los Ríos	17S	1°6'0" S	79°27'42" W	24
M0025	La Concordia	Esmeraldas	17S	0°1'36" S	79°22'17" W	24
M0026	Puerto Ila	Santo Domingo	17S	0°28'34" S	79°20'20" W	24
M0037	Milagro (Ingenio Valdez)	Guayas	17S	2°6'56" S	79°35'57" W	24
M0051	Babahoyo-UTB	Los Ríos	17S	1°49'0" S	79°32'0" W	21
M0124	San Juan La Maná	Los Ríos	17S	0°57'15" S	79°19'8" W	20
M0160	El Carmen	Santo Domingo	17S	0°19'4" S	79°16'47" W	12
M0162	Chone	Manabí	17S	0°41'0" S	80°5'0" W	24
M0165	Rocafuerte	Manabí	17S	0°55'20" S	80°27'9" W	24
M0166	Olmedo-Manabí	Manabí	17S	1°23'41" S	80°12'25" W	24
M0167	Jama	Manabí	17S	0°11'58" S	80°15'47" W	15
M0169	Julcuy	Manabí	17S	1°28'1" S	80°37'14" W	24
M0171	Camposano #2	Manabí	17S	1°35'16" S	80°24'0" W	24
M0172	Pueblo Viejo	Los Ríos	17S	1°32'12" S	79°31'45" W	24
M0174	Ancón	Santa Elena	17S	2°19'28" S	80°50'54" W	10
M0175	El Progreso-Guayas	Santa Elena	17S	2°24'0" S	80°22'0" W	11
M0176	Naranjal	Guayas	17S	2°39'44" S	79°39'23" W	22
M0218	Ingenio San Carlos	Guayas	17S	2°12'0" S	79°26'35" W	24

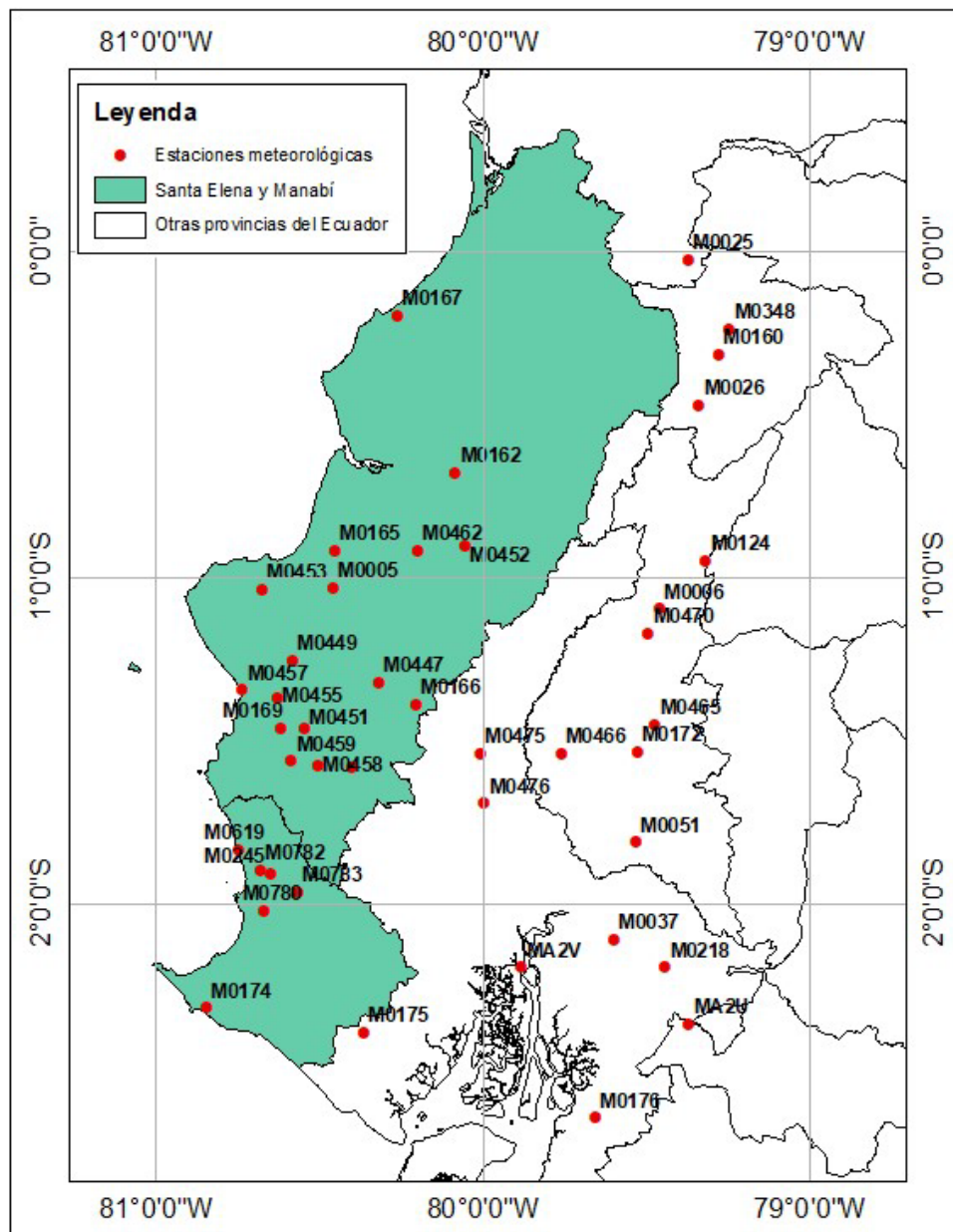
CÓDIGO	ESTACIÓN	PROVINCIA	ZONA	LATITUD	LONGITUD	AÑOS CON REGISTROS
M0245	El Suspiro	Santa Elena	17S	1°54'46" S	80°39'11" W	21
M0348	Santa Anita	Santo Domingo	17S	0°14'20" S	79°14'43" W	13
M0447	24 de Mayo (Jaboncillo)	Manabí	17S	1°19'26" S	80°19'10" W	17
M0449	Sancán	Manabí	17S	1°15'29" S	80°35'5" W	14
M0451	El Anegado	Manabí	17S	1°28'5" S	80°32'55" W	11
M0452	Zapote	Manabí	17S	0°54'23" S	80°3'23" W	10
M0453	Chorrillos	Manabí	17S	1°2'25" S	80°40'36" W	14
M0455	Joa - Jipijapa	Manabí	17S	1°22'15" S	80°37'49" W	13
M0457	Puerto Cayo	Manabí	17S	1°20'58" S	80°44'11" W	15
M0458	Colimes De Paján	Manabí	17S	1°34'42" S	80°30'21" W	18
M0459	San Pablo - Manabí	Manabí	17S	1°34'0" S	80°35'13" W	13
M0462	Junín	Manabí	17S	0°55'21" S	80°12'8" W	13
M0465	Ventanas INAMHI	Los Ríos	17S	1°27'25" S	79°28'26" W	16
M0466	Vinces	Los Ríos	17S	1°32'33" S	79°45'44" W	21
M0470	Mocache	Los Ríos	17S	1°10'37" S	79°29'39" W	16
M0475	Colimes de Balzar INAMHI	Guayas	17S	1°32'34" S	80°0'29" W	12
M0476	La Capilla INAMHI	Guayas	17S	1°41'46" S	79°59'45" W	12
M0619	Manglaralto	Santa Elena	17S	1°51'10" S	80°44'55" W	22
M0780	Colonche	Santa Elena	17S	2°1'34" S	80°40'19" W	16
M0782	Barcelona	Santa Elena	17S	1°54'0" S	80°41'0" W	22
M0783	Salanguillo	Santa Elena	17S	1°58'10" S	80°34'08" W	18
MA2U	Ingenio Aztra (La Troncal)	Cañar	17S	2°22'27" S	79°22'27" W	21
MA2V	Guayaquil-Radio Sonda	Guayas	17S	2°12'0" S	79°53'0" W	18

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

En la Figura 3 se aprecia la distribución espacial de las estaciones meteorológicas.

Figura 3

Distribución de las Estaciones en el Área de Estudio



Curvas IDF a partir de Datos de Precipitación Máxima en 24 Horas

El procesamiento estadístico de las precipitaciones máximas en 24 horas (eventos extremos de precipitación) tiene como propósito obtener una estimación de las lluvias máximas diarias para determinados períodos de retorno, acorde a las necesidades de diseño de obras hidráulicas. Los datos estimados sirven de base para la construcción de curvas IDF (Campos A., 1998).

Para el análisis estadístico, de los datos pluviométricos de una estación meteorológica, se seleccionan los valores máximos diarios por cada año (dentro del intervalo de tiempo considerado, en el cual se posean datos pluviométricos). Esta colección es la que se emplea para la determinación de la precipitación máxima probable, aplicando métodos como la distribución de probabilidad Tipo I o de Gumbel.

Distribución de Probabilidad para Valores Extremos Tipo I o de Gumbel

Gumbel (1958) ha demostrado que al suponer un número N de muestras, que a la vez contienen n eventos cada una, y seleccionar el máximo x de los n eventos, se puede exponer que, a medida que n incrementa, la función de distribución de probabilidad de x tiende a:

$$F(x) = e^{-e^{\alpha(x-\beta)}} \quad [2]$$

$F(x)$ es la función de la probabilidad de no ocurrencia (o de no excedencia) de acuerdo con la distribución de Gumbel.

Donde:

α y β son los parámetros de la función y se estiman como (Aparicio M., 1992):

$$\alpha = \frac{\sigma_y}{S} \quad [3]$$

$$\beta = \bar{x} - \frac{u_y}{\alpha} \quad [4]$$

σ_y y u_y son la desviación estándar y media de orden estadístico, $m/(n+1)$, de una muestra de tamaño n ordenada de tal modo que $m=1$ para el mayor de los eventos extremos y $m=n$ para el evento extremo con menor magnitud. Estos parámetros son función del tamaño de la muestra.

S es la desviación estándar de la muestra y se obtiene como:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad [5]$$

\bar{x} es la media de los n eventos máximos.

En la Tabla 2 se muestran los diferentes valores que adoptan σ_y y u_y para distintos tamaños de muestra:

Tabla 2

Valores de σ_y y u_y en Función del Número de Datos para Distribución de Gumbel

n	u_y	σ_y
10	0,4952	0,9496
15	0,5128	1,0206
20	0,5236	1,0628
25	0,5309	1,0914
30	0,5362	1,1124
35	0,5403	1,1285

n	u_y	σ_y
40	0,5436	1,1413
45	0,5463	1,1518
50	0,5485	1,1607
55	0,5504	1,1682
60	0,5521	1,1747
65	0,5535	1,1803
70	0,5548	1,1854
75	0,5559	1,1898
80	0,5569	1,1938
85	0,5578	1,1974
90	0,5586	1,2007
95	0,5593	1,2037
100	0,5600	1,2065

Fuente: Aparicio M. (1992)

Para obtener un evento máximo x , dado su período de retorno T , se utiliza la fórmula correspondiente a la distribución de Gumbel:

$$x = \beta - \frac{1}{\alpha} \ln \left(\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right) \quad [6]$$

Mediante la ecuación [6], se determinan las precipitaciones máximas probables para distintos períodos de retorno, con respecto a cada una de las estaciones sujetas a estudio. Según el U.S. Weather Bureau, se recomienda aplicar, a estas precipitaciones máximas probables, un factor de corrección de 1,13 para convertir datos medidos en intervalos fijos (pluviómetros) a mediciones en intervalos continuos (pluviógrafos). El factor 1,13 es un valor empírico, producto de un análisis de series anuales de valores máximos de precipitación; concretamente, fue obtenido como la media de la razón entre los valores de precipitación acumulada (diaria) de intervalos continuos y los de intervalos fijos de una medición cada 24 horas (Hershfield, 1961).

Los valores obtenidos de precipitación máxima probable son validados mediante lo que se denominan pruebas de bondad de ajuste: Test Kolmogorov – Smirnov y Coeficiente de determinación.

Test Kolmogorov – Smirnov

Esta prueba de bondad de ajuste parte de la comparación entre las funciones de distribución acumulativa (frecuencia observada), que se aprecia al ordenar la muestra, y la distribución propuesta o frecuencia teórica (Canavos, 1994).

La prueba se basa en la diferencia absoluta máxima D , entre los valores de la distribución acumulativa observada de una muestra cualquiera de tamaño n , y una distribución acumulativa teórica (Johnson et al., 2012):

$$D = \text{máx} |F_o(x_m) - F(x)| \quad [7]$$

Donde:

$F_o(x_m)$: frecuencia observada;

$F(x)$: frecuencia teórica (Distribución normal, log-normal, Gumbel, entre otras).

El valor D es comparado a un valor crítico d que varía según el número n de datos y de acuerdo con el nivel de significancia.

La frecuencia observada se obtiene como:

$$F_o(x_m) = 1 - \frac{m}{n + 1} \quad [8]$$

Donde:

m : número de orden del dato x_m ;

n : número total de datos.

El nivel de significancia α es una probabilidad de error, un nivel de significancia de 0,05 representa una confianza del 95%, por ejemplo.

Finalmente, si $D < d$, la distribución utilizada es aceptada. Los valores que puede adoptar d , se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3

Valores para d según la significancia y el número de datos

n	NIVEL DE SIGNIFICANCIA				
	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
1	0,90000	0,95000	0,97500	0,99000	0,99500
2	0,68337	0,77639	0,84189	0,90000	0,92929
3	0,56481	0,63604	0,70760	0,78456	0,82900
4	0,49265	0,56522	0,62394	0,68887	0,73424
5	0,44698	0,50945	0,56328	0,62718	0,66853
6	0,41037	0,46799	0,51926	0,57741	0,61661
7	0,38148	0,43607	0,48342	0,53844	0,57581
8	0,35831	0,40962	0,45427	0,50654	0,54179

n	NIVEL DE SIGNIFICANCIA				
	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
9	0,33910	0,38746	0,43001	0,47960	0,51332
10	0,32260	0,36866	0,40925	0,45562	0,48893
11	0,30829	0,35242	0,39122	0,43670	0,46770
12	0,29577	0,33815	0,37543	0,41918	0,44905
13	0,28470	0,32549	0,36143	0,40362	0,43247
14	0,27481	0,31417	0,34890	0,38970	0,41762
15	0,26589	0,30397	0,33750	0,37713	0,40420
16	0,25778	0,29472	0,32733	0,36571	0,39201
17	0,25039	0,28627	0,31796	0,35528	0,38086
18	0,24360	0,27851	0,30936	0,34569	0,37062
19	0,23735	0,27136	0,30143	0,33685	0,36117
20	0,23156	0,26473	0,29408	0,32866	0,35241
21	0,22517	0,25858	0,28724	0,32104	0,34426
22	0,22115	0,25283	0,28087	0,31394	0,33666
23	0,21646	0,24746	0,27490	0,30728	0,32954
24	0,21205	0,24242	0,26931	0,30104	0,32286
25	0,20790	0,23768	0,26404	0,29518	0,31657
26	0,20399	0,23320	0,25908	0,28962	0,30963
27	0,20030	0,22898	0,25438	0,28438	0,30502
28	0,19680	0,22497	0,24993	0,27942	0,29971
29	0,19348	0,22117	0,24571	0,27471	0,29466
30	0,19032	0,21756	0,24170	0,27023	0,28986
31	0,18732	0,21412	0,23788	0,26596	0,28529
32	0,18445	0,21085	0,23424	0,26189	0,28094
33	0,18171	0,20771	0,23076	0,25801	0,27577
34	0,17909	0,21472	0,22743	0,25429	0,27271
35	0,17659	0,20185	0,22425	0,25073	0,26897
36	0,17418	0,19910	0,22119	0,24732	0,26532

n	NIVEL DE SIGNIFICANCIA				
	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
37	0,17188	0,19646	0,21826	0,24404	0,26180
38	0,16966	0,19392	0,21544	0,24089	0,25843
39	0,16753	0,19148	0,21273	0,23785	0,25518
40	0,16547	0,18913	0,21012	0,23494	0,25205

Fuente: Canavos (1994).

Coefficiente de Determinación

El coeficiente de determinación se expresa como (Pizarro & Novoa, 1986):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (F_o(x_m) - F(x))^2}{\sum (F_o(x_m) - \overline{F_o(x_m)})^2} \quad [9]$$

Donde:

R^2 : coeficiente de determinación $0 \leq R^2 \leq 1$;

$F_o(x_m)$: frecuencia observada;

$F(x)$: frecuencia teórica;

$\overline{F_o(x_m)}$: media de las frecuencias acumuladas observadas.

Mientras el coeficiente de determinación sea más cercano a 1, mejor es el grado de asociación o correlación de la distribución empleada.

Las precipitaciones máximas probables, para cada período de retorno establecido (2, 5, 10, 25, 50, 100, 150, 200, 300 y 500 años), son convertidas de duraciones diarias a duraciones en horas, esto se logra por medio de los coeficientes propuestos por Campos A. (1998) que se muestran en la Tabla 4:

Tabla 4

Coefficientes para Conversión de Lluvias Máximas Diarias a Lluvias Máximas Horarias

DURACIONES EN HORAS									
1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
0,3	0,39	0,46	0,52	0,57	0,61	0,68	0,8	0,91	1

Fuente: Campos A. (1998).

Las precipitaciones obtenidas son divididas por sus duraciones para obtener las respectivas intensidades de precipitación.

Regresión Lineal Múltiple

La ecuación [1] en su forma logarítmica se convierte en la ecuación [10]:

$$\log I = \log K + m \log T - n \log D \quad [10]$$

Al realizar un cambio de variables a la ecuación [10], se obtiene la ecuación [11]:

$$y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 \quad [11]$$

Donde:

$$y = \log I \quad X_1 = \log T \quad X_2 = \log D \quad \alpha = \log K \quad \beta_1 = m \quad \beta_2 = -n$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones [12], se obtienen los parámetros k, m y n .

$$\begin{aligned} \sum y &= \alpha \cdot n + \beta_1 \sum X_1 + \beta_2 \sum X_2 \\ \sum (X_1 \cdot y) &= \alpha \sum X_1 + \beta_1 \sum (X_1)^2 + \beta_2 \sum (X_1 \cdot X_2) \\ \sum (X_2 \cdot y) &= \alpha \sum X_2 + \beta_1 \sum (X_1 \cdot X_2) + \beta_2 \sum (X_2)^2 \end{aligned} \quad [12]$$

Regionalización

Conforme a la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) del gobierno de México, la regionalización es una metodología que involucra la modificación del orden territorial de un Estado para obtener componentes territoriales más pequeños (CONABIO, 2017).

En la hidrología, la regionalización se sustenta en un concepto de homogeneidad hidrológica en una región. Dicho de otro modo, consiste en la división de una zona de estudio en regiones menores con características similares en los aspectos climáticos, orográficos, entre otros (Acosta C. & Caro C., 2016).

Esta metodología permite trasladar los datos hidrológicos observados en un lugar a otro sitio donde la información es nula.

Métodos de Análisis Espacial para Regionalización de Parámetros

La espacialización incluye un conjunto de métodos que describen como un conjunto de datos en un sistema de coordenadas, generalmente cartesianas, dependen de los datos de estaciones vecinas. Los principales objetivos de la espacialización son la condensación y la visualización de datos, permitiendo la obtención de información nueva o ampliada, partiendo de información existente (Schöner & Tveito, 2002).

Método de Ponderación Inverso a la Distancia

El método de ponderación inverso a la distancia o Inverse Distance Weighting (IDW) es un tipo de interpolación que hace la suposición de que los puntos medidos tienen una influencia local, que va disminuyendo conforme aumenta la distancia, permitiendo que un número de estaciones vecinas sean incluidas en la estimación del valor interpolado. Cuanto más cerca están las estaciones, el método pondera con un mayor peso, dado que es el inverso de la distancia.

El peso de la distancia es elevado a una potencia de ponderación P que tiene, en general, valores que van de 0 a 2.

Le corresponde la siguiente expresión (Shepard, 1968):

$$\hat{Z}(S_0) = \frac{\sum_{i=1}^n d_{0,i}^{-P} Z(S_i) I(d_{0,i} \leq r)}{\sum_{i=1}^n d_{0,i}^{-P} I(d_{0,i} \leq r)} \quad [13]$$

$\hat{Z}(S_0)$: valor interpolado en la localización S_0 (ubicación sin datos)

$Z(S_i)$: valor medido en la localización S_i

$d_{0,i}$: distancia entre la i -ésima ubicación medida (estación vecina) y la ubicación S_0

$I(d_{0,i} \leq r)$: función indicadora con valor de 1 si $d_{0,i} \leq r$ y con valor 0 si $d_{0,i} > r$.

Donde r denota el radio de las estaciones vecinas; es decir, la región alrededor de la ubicación predicha, desde la cual se toman en cuenta los valores medidos para la interpolación espacial.

Kriging Ordinario

La predicción obtenida por Kriging Ordinario es una combinación lineal de valores medidos debido a que es un promedio pesado de tales datos:

$$\hat{Z}(S_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(S_i) \quad [14]$$

Donde:

λ_i : representa los pesos o ponderaciones de los valores medidos, calculados en función de la distancia entre los puntos muestreados y el punto a estimar;

$\hat{Z}(S_0)$: valor interpolado en la localización S_0 (ubicación sin datos);

$Z(S_i)$: valor medido en la localización S_i .

Los coeficientes lineales (λ_i) se calculan bajo la condición de insesgadez (que los valores teóricos sean idénticos a los reales; es decir, con error = 0) de tal manera que la suma de estos pesos sea igual a 1:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad [15]$$

De este modo, la esperanza del predictor se supone idéntica a la esperanza real de la variable, respectivamente:

$$E(\hat{Z}(S_0)) = E(Z(S_0)) \quad [16]$$

Otra restricción es de la varianza mínima del error de predicción (varianza kriging):

$$\sigma(S_0)^2 = E(Z(S_0) - \hat{Z}(S_0))^2 \quad [17]$$

Los detalles de esta teoría pueden ser observados en Cressie (1991) y Wackernagel (2003).

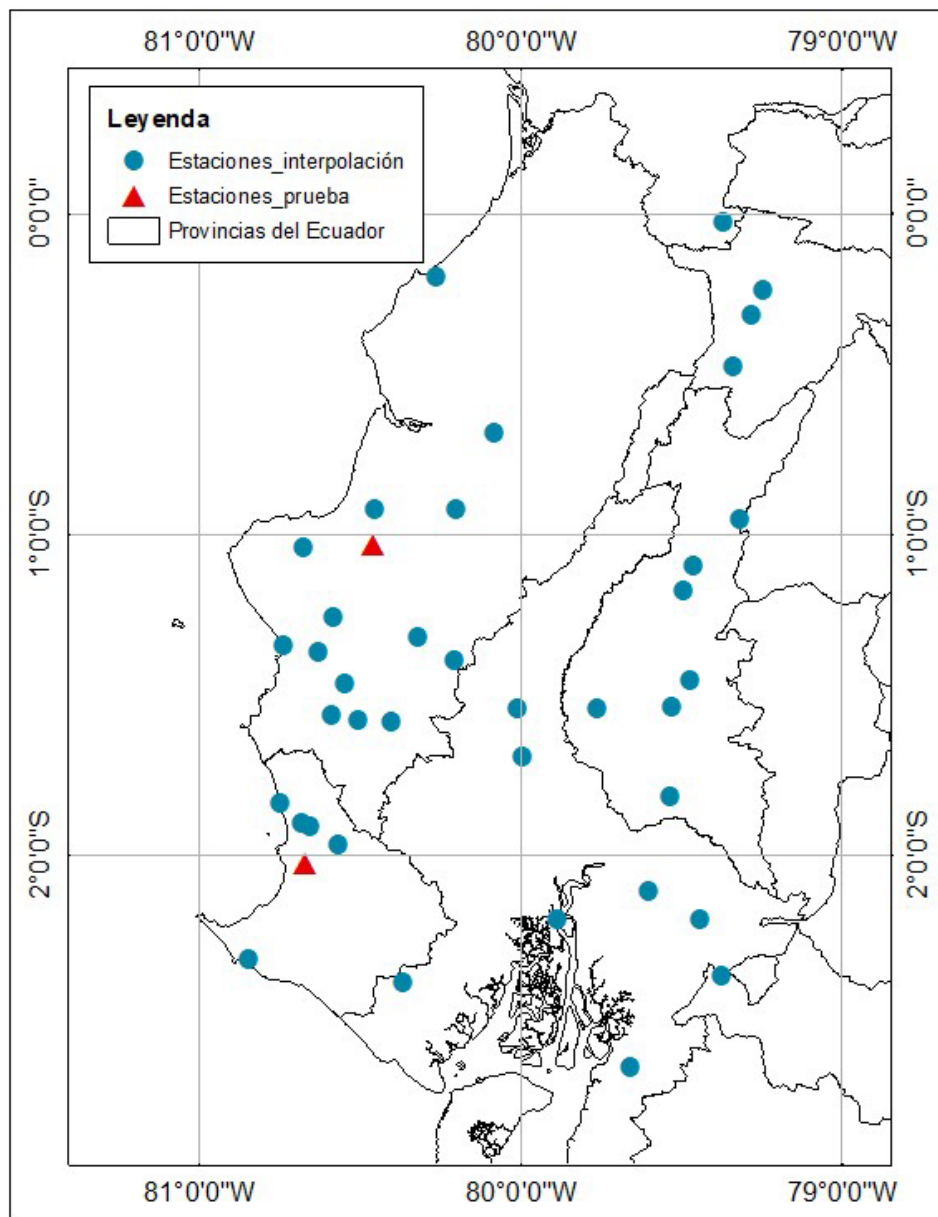
Los métodos de interpolación o análisis espacial descritos son empleados por medio de softwares SIG (Sistema de Información Geográfica) como QGIS.

Validación de los Métodos de Análisis Espacial

La muestra ha sido dividida en 2 partes: una muestra para realizar el modelo de interpolación, correspondiente al 95% de los datos y otra muestra de prueba, con el 5% restante para la validación. La distribución de las estaciones asignadas en cada parte se ilustra en la Figura 4.

Figura 4

Identificación de Muestras



Las estaciones M0005 y M0780 son las consideradas para la muestra de prueba. Los valores de k , m y n (calculados por medio de regresión lineal múltiple), correspondientes a estas estaciones, son comparados a los obtenidos mediante la lectura de los mapas generados por Distancia Inversa Ponderada y Kriging Ordinario para el cálculo del error relativo. El error se calcula con la ecuación [18].

$$\text{Error (\%)} = \frac{|\text{Valor calculado} - \text{valor verdadero}|}{\text{valor verdadero}} \times 100 \quad [18]$$

Estándares del Open Geospatial Consortium (OGC)

El Open Geospatial Consortium (OGC) es una organización dedicada a la creación de estándares geoespaciales abiertos, esto hace referencia a determinado conjunto de normas cuyo propósito es impulsar que la información y servicios geoespaciales sean accesibles, interoperables, reutilizables y fáciles de encontrar. La interoperabilidad hace referencia a la capacidad de intercambiar información y utilizarla (OGC, 2022a).

Los servicios que técnicamente obedecen a las normas establecidas por la OGC, son reconocidos como estándares OGC y hacen posible que organizaciones de carácter público puedan intercambiar la información geoespacial de manera interna o de manera abierta a la ciudadanía.

Servicio de Mapas Web (WMS)

El Servicio de Mapa Web o Web Map Service Interface Standard (WMS) es un estándar OGC que permite servir y solicitar un conjunto de imágenes georreferenciadas, por medio de internet. JPEG y PNG son los formatos de imagen típicos que devuelve tal solicitud, esto hace posible (indirectamente) que los mapas puedan ser mostrados en un navegador web (OGC, 2022b).

Servicio de Cobertura Web (WCS)

El Servicio de Cobertura Web o Web Coverage Service (WCS) es un estándar OGC que posibilita servir y solicitar por medio de internet un conjunto de archivos en diferentes formatos de ráster (píxeles) (OGC, 2022c).

Los servicios WMS y WCS pueden ser generados a partir de QGIS con ayuda del complemento de Gisquick. Para compartir mapas desde los servidores de Gisquick, es necesario registrarse en <https://projects.gisquick.org/user/>.

Resultados y Discusión

Los datos de precipitación máxima diaria, de cada estación meteorológica, fueron evaluados para comprobar si se ajustan a la distribución de Gumbel, esto a través de las pruebas de bondad de ajuste: Kolmogorov – Smirnov y Coeficiente de Determinación.

Para la prueba de Kolmogorov – Smirnov se ha considerado un nivel de significancia de 0,05 (confianza del 95%), este es uno de los dos parámetros requeridos para obtener el valor crítico d a partir de la Tabla 3, el otro parámetro es el número de datos n de cada estación y que corresponde a los años con registros completos. Los resultados de esta prueba se contemplan en la Tabla 5.

Tabla 5*Test de Kolmogorov – Smirnov para la Distribución de Gumbel por Estación*

CÓDIGO	ESTACIÓN	AÑOS CON REGISTROS	D	d	OBSERVACIÓN
M0005	Portoviejo-UTM	24	0,1135	0,2693	Se ajusta
M0006	Pichilingue	24	0,1071	0,2693	Se ajusta
M0025	La Concordia	24	0,0790	0,2693	Se ajusta
M0026	Puerto Ila	24	0,1200	0,2693	Se ajusta
M0037	Milagro (Ingenio Valdez)	24	0,1053	0,2693	Se ajusta
M0051	Babahoyo-UTB	21	0,0969	0,2872	Se ajusta
M0124	San Juan La Mana	20	0,0576	0,2941	Se ajusta
M0160	El Carmen	12	0,0901	0,3754	Se ajusta
M0162	Chone	24	0,1435	0,2693	Se ajusta
M0165	Rocafuerte	24	0,1000	0,2693	Se ajusta
M0166	Olmedo-Manabí	24	0,0824	0,2693	Se ajusta
M0167	Jama	15	0,1234	0,3375	Se ajusta
M0169	Julcuy	24	0,3628	0,2693	No se ajusta
M0171	Camposano #2	24	0,0919	0,2693	Se ajusta
M0172	Pueblo Viejo	24	0,1079	0,2693	Se ajusta
M0174	Ancón	10	0,1077	0,4093	Se ajusta
M0175	El Progreso-Guayas	11	0,0868	0,3912	Se ajusta
M0176	Naranjal	22	0,1555	0,2809	Se ajusta
M0218	Ingenio San Carlos	24	0,0683	0,2693	Se ajusta
M0245	El Suspiro	21	0,1612	0,2872	Se ajusta
M0348	Santa Anita-Km.10 Vía Chone	13	0,1197	0,3614	Se ajusta
M0447	24 De Mayo (Jaboncillo)	17	0,0779	0,3180	Se ajusta
M0449	Sancán	14	0,1075	0,3489	Se ajusta
M0451	El Anegado	11	0,1074	0,3912	Se ajusta
M0452	Zapote	10	0,3387	0,4093	Se ajusta
M0453	Chorrillos	14	0,0950	0,3489	Se ajusta
M0455	Joa-Jipijapa	13	0,1452	0,3614	Se ajusta
M0457	Puerto Cayo	15	0,0797	0,3375	Se ajusta

CÓDIGO	ESTACIÓN	AÑOS CON REGISTROS	D	d	OBSERVACIÓN
M0458	Colimes De Paján	18	0,0706	0,3094	Se ajusta
M0459	San Pablo-Manabí	13	0,1654	0,3614	Se ajusta
M0462	Junín	13	0,1785	0,3614	Se ajusta
M0465	Ventanas Inamhi	16	0,1364	0,3273	Se ajusta
M0466	Vinces	21	0,0874	0,2872	Se ajusta
M0470	Mocache	16	0,1614	0,3273	Se ajusta
M0475	Colimes De Balzar Inamhi	12	0,1307	0,3754	Se ajusta
M0476	La Capilla Inamhi	12	0,1058	0,3754	Se ajusta
M0619	Manglaralto	22	0,0858	0,2809	Se ajusta
M0780	Colonche	16	0,0822	0,3273	Se ajusta
M0782	Barcelona	22	0,1236	0,2809	Se ajusta
M0783	Salanguillo	18	0,1127	0,3094	Se ajusta
MA2U	Ingenio Aztra (La Troncal)	21	0,0840	0,2872	Se ajusta
MA2V	Guayaquil-Radio Sonda	18	0,0971	0,3094	Se ajusta

Como se observa en la Tabla 5, la prueba de Kolmogorov – Smirnov no admite la distribución de Gumbel para la estación M0169, puesto que para tal estación $D > d$. En el resto de las estaciones sí se cumple con $D < d$.

Los resultados de la prueba del Coeficiente de Determinación (R^2) se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6

Coeficiente de Determinación (R^2) de la Distribución de Gumbel por Estación

CÓDIGO	ESTACIÓN	R^2	OBSERVACIÓN
M0005	Portoviejo-UTM	0,9609	Se ajusta
M0006	Pichilingue	0,9695	Se ajusta
M0025	La Concordia	0,9848	Se ajusta
M0026	Puerto Ila	0,9713	Se ajusta
M0037	Milagro (Ingenio Valdez)	0,9600	Se ajusta
M0051	Babahoyo-UTB	0,9749	Se ajusta
M0124	San Juan La Mana	0,9912	Se ajusta
M0160	El Carmen	0,9666	Se ajusta

CÓDIGO	ESTACIÓN	R ²	OBSERVACIÓN
M0162	Chone	0,9338	Se ajusta
M0165	Rocafuerte	0,9715	Se ajusta
M0166	Olmedo-Manabí	0,9785	Se ajusta
M0167	Jama	0,9454	Se ajusta
M0169	Julcuy	0,4564	No se ajusta
M0171	Camposano #2	0,9722	Se ajusta
M0172	Pueblo Viejo	0,9605	Se ajusta
M0174	Ancón	0,9656	Se ajusta
M0175	El Progreso-Guayas	0,9714	Se ajusta
M0176	Naranjal	0,9523	Se ajusta
M0218	Ingenio San Carlos	0,9838	Se ajusta
M0245	El Suspiro	0,9074	Se ajusta
M0348	Santa Anita-Km.10 Vía Chone	0,9597	Se ajusta
M0447	24 De Mayo (Jaboncillo)	0,9741	Se ajusta
M0449	Sancán	0,9611	Se ajusta
M0451	El Anegado	0,9181	Se ajusta
M0452	Zapote	0,4599	No se ajusta
M0453	Chorrillos	0,9731	Se ajusta
M0455	Joa-Jipijapa	0,9271	Se ajusta
M0457	Puerto Cayo	0,9769	Se ajusta
M0458	Colimes De Paján	0,9828	Se ajusta
M0459	San Pablo-Manabí	0,8851	Se ajusta
M0462	Junín	0,8806	Se ajusta
M0465	Ventanas Inamhi	0,9174	Se ajusta
M0466	Vinces	0,9812	Se ajusta
M0470	Mocache	0,8825	Se ajusta
M0475	Colimes De Balzar Inamhi	0,8831	Se ajusta
M0476	La Capilla Inamhi	0,9619	Se ajusta
M0619	Manglaralto	0,9716	Se ajusta

CÓDIGO	ESTACIÓN	R ²	OBSERVACIÓN
M0780	Colonche	0,9681	Se ajusta
M0782	Barcelona	0,9500	Se ajusta
M0783	Salanguillo	0,9677	Se ajusta
MA2U	Ingenio Aztra (La Troncal)	0,9771	Se ajusta
MA2V	Guayaquil-Radio Sonda	0,9608	Se ajusta

De acuerdo con la Tabla 6, la prueba del Coeficiente de Determinación no valida la distribución de Gumbel Tipo I para las estaciones M0169 y M0452 (no son recomendables coeficientes por debajo de 0.70). En el resto de las estaciones, el R² adopta valores superiores a 0,88 y esto indica que la distribución de frecuencias se ajusta bastante bien.

Debido a los resultados de las pruebas de bondad de ajuste, se ha decidido excluir las estaciones M0169 y M0452 en el proceso de zonificación de las curvas de intensidad, duración y frecuencia.

La Tabla 7 evidencia los parámetros k , m y n obtenidos para las 40 estaciones que se ajustan a la distribución de Gumbel.

Tabla 7

Parámetros k , m y n de cada estación

CÓDIGO	ESTACIÓN	k	m	n
M0005	Portoviejo-UTM	250,41432	0,23388	0,61639
M0006	Pichilingue	526,24709	0,14694	0,61639
M0025	La Concordia	597,87694	0,12491	0,61639
M0026	Puerto Ila	521,54441	0,16444	0,61639
M0037	Milagro (Ingenio Valdez)	477,65757	0,15019	0,61639
M0051	Babahoyo-UTB	500,72551	0,12267	0,61639
M0124	San Juan La Maná	527,05666	0,17164	0,61639
M0160	El Carmen	575,38210	0,12512	0,61639
M0162	Chone	348,88120	0,19441	0,61639
M0165	Rocafuerte	230,75436	0,23136	0,61639
M0166	Olmedo-Manabí	418,79630	0,15533	0,61639
M0167	Jama	306,07010	0,23745	0,61639
M0171	Camposano #2	353,85239	0,15270	0,61639
M0172	Pueblo Viejo	490,09762	0,16927	0,61639

CÓDIGO	ESTACIÓN	<i>k</i>	<i>m</i>	<i>n</i>
M0174	Ancón	323,46180	0,30109	0,61639
M0175	El Progreso-Guayas	318,97427	0,24590	0,61639
M0176	Naranjal	82,04625	0,18295	0,61639
M0218	Ingenio San Carlos	511,48366	0,22009	0,61639
M0245	El Suspiro	233,35813	0,23820	0,61639
M0348	Santa Anita	363,76729	0,24908	0,61639
M0447	24 de Mayo (Jaboncillo)	311,65384	0,15800	0,61639
M0449	Sancán	217,92065	0,21445	0,61639
M0451	El Anegado	167,98535	0,23676	0,61639
M0453	Chorrillos	266,72981	0,22832	0,61639
M0455	Joa - Jipijapa	204,73164	0,27159	0,61639
M0457	Puerto Cayo	248,86706	0,25505	0,61639
M0458	Colimes De Paján	282,26509	0,15051	0,61639
M0459	San Pablo - Manabí	306,66816	0,15927	0,61639
M0462	Junín	375,09095	0,18388	0,61639
M0465	Ventanas INAMHI	498,41080	0,12316	0,61639
M0466	Vinces	466,83273	0,15816	0,61639
M0470	Mocache	527,12280	0,20797	0,61639
M0475	Colimes de Balzar INAMHI	475,01339	0,19372	0,61639
M0476	La Capilla INAMHI	411,34195	0,16973	0,61639
M0619	Manglaralto	238,75830	0,28517	0,61639
M0780	Colonche	224,84364	0,25476	0,61639
M0782	Barcelona	193,56532	0,27035	0,61639
M0783	Salanguillo	166,81343	0,25930	0,61639
MA2U	Ingenio Aztra (La Troncal)	446,00366	0,18957	0,61639
MA2V	Guayaquil-Radio Sonda	472,74519	0,20514	0,61639

Los resultados de la zonificación de los parámetros de las ecuaciones para las curvas de intensidad, duración y frecuencia (IDF) en las provincias de Santa Elena y Manabí, mediante los métodos de interpolación de Distancia Inversa Ponderada (IDW) y Kriging Ordinario (KO), se muestran en la Figura 5 y Figura 6, respectivamente.

Figura 5

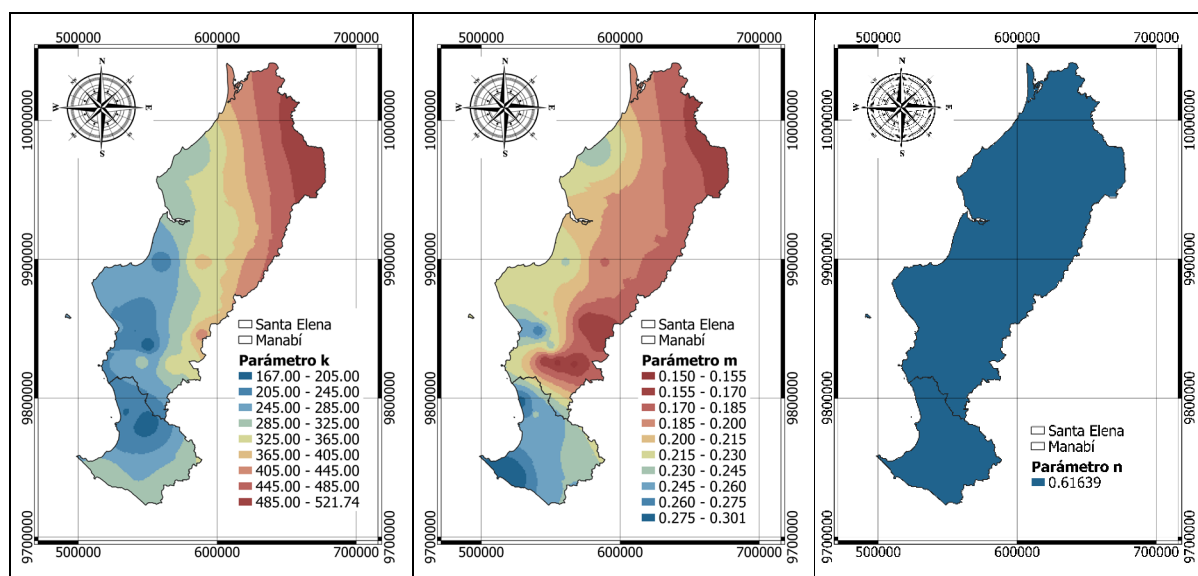
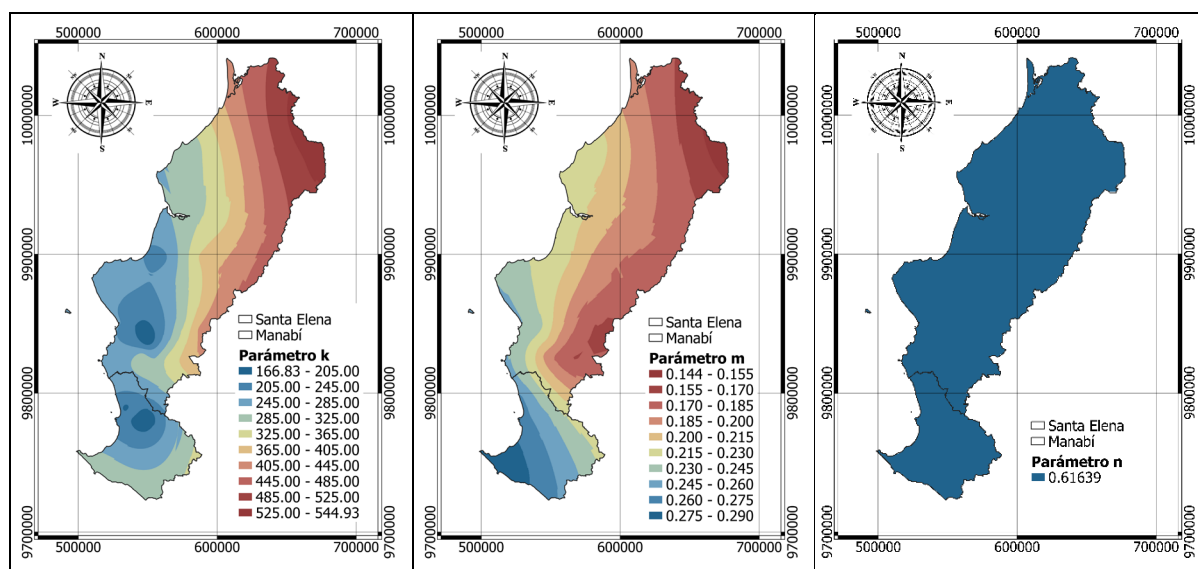
Regionalización de k, m y n . Método IDW

Figura 6

Regionalización de k, m y n . Método KO

En la Figura 5 y Figura 6 se puede apreciar que el valor de k tiene una tendencia creciente en dirección Suroeste – Noreste, mientras que para m es todo lo contrario; es decir, tiene una tendencia creciente en dirección Noreste – Suroeste. De los dos términos mencionados, el parámetro k es el que mayor influencia tiene en la determinación de las intensidades de lluvia; entonces, es evidente que, en el Norte de la zona estudiada, se presentan las mayores intensidades.

Comparando los métodos IDW (Figura 5) y KO (Figura 6) se deduce que, el primer método de análisis espacial empleado, tiene mayor presencia de picos locales, lo que significa que la interpolación por Kriging Ordinario distribuye de una mejor manera los datos analizados. En términos de homogeneidad y regularidad, la manera en que el método de

Distancia Inversa Ponderada concentra algunos valores, lo convierte en el menos adecuado para la regionalización de las curvas IDF en las provincias de Santa Elena y Manabí.

Según lo evidenciado en la Tabla 7, el valor de n es constante (0,61639), esto indica que sin importar el método que se aplique para su regionalización, el resultado será un mapa cuya magnitud no difiere en toda su extensión, como se aprecia en la Figura 5 y Figura 6. Por este motivo, en la determinación de errores para los métodos IDW y KO, solo se hace referencia a los parámetros k y m . Estos errores son en relación con los valores de la Tabla 8 y se muestran en la Tabla 9 y Tabla 10.

Tabla 8

Parámetros k y m Obtenidos por Regresión Lineal Múltiple para Estaciones de Prueba

CÓDIGO	ESTACIÓN	k	m
M0005	Portoviejo-UTM	250,41432	0,23388
M0780	Colonche	224,84364	0,25476

Tabla 9

Parámetros k y m Obtenidos por IDW para Estaciones de Prueba con Respectivos Errores.

CÓDIGO	ESTACIÓN	k	ERROR (%)	m	ERROR (%)
M0005	Portoviejo-UTM	257,997	3,03 %	0,2181	6,76 %
M0780	Colonche	214,082	4,79 %	0,2542	0,24 %

Tabla 10

Parámetros k y m Obtenidos por KO para Estaciones de Prueba con Respectivos Errores.

CÓDIGO	ESTACIÓN	k	ERROR (%)	m	ERROR (%)
M0005	Portoviejo-UTM	251,981	0,63 %	0,2132	8,85 %
M0780	Colonche	211,512	5,93 %	0,2616	2,67 %

Ambos métodos de interpolación presentan errores menores al 10%, por lo que, son completamente válidos. Como se ha indicado en la comparación gráfica, debido a criterios de regularidad y homogeneidad, el método de Kriging Ordinario ha sido considerado como el más apropiado para representar una zonificación de las curvas IDF en las provincias de Santa Elena y Manabí.

Los mapas generados, aplicando Kriging Ordinario para la regionalización de los parámetros de las ecuaciones de las curvas de intensidad-duración-frecuencia en las provincias de Santa Elena y Manabí, han sido publicados como una aplicación web creada en ArcGIS Online. Esta aplicación permite visualizar las capas del mapa a través de un navegador web, accediendo desde el siguiente enlace: <https://arcg.is/1CCKe00>. La aplicación, dentro de sus opciones, pone a disposición otro enlace que permite el acceso remoto desde QGIS a cada una de las capas que pertenecen a los mapas mencionados. Las capas se pueden agregar como servicio de imágenes (WMS) o como capas ráster (WCS) añadiendo tal enlace.

Conclusiones

Los métodos de análisis espacial de Distancia Inversa Ponderada y Kriging Ordinario son válidos para generar un modelo de regionalización que represente la variación de los parámetros de las curvas de intensidad, duración y frecuencia (IDF). Ambos presentan un error inferior al 10% en la determinación de tales parámetros, si se los compara a los obtenidos mediante regresión lineal múltiple en estaciones excluidas en las respectivas interpolaciones. Se evidencia que el método de Kriging Ordinario se adapta mejor a la distribución de los datos, dado que no genera picos locales como la Distancia Inversa Ponderada, por ende, el mapa publicado en ArcGIS online se desarrolló a partir de Kriging Ordinario. Este mapa permite leer los parámetros k , m y n de las ecuaciones para las curvas IDF en cualquier sitio dentro de las provincias de Santa Elena y Manabí. Para acceder al mapa web se debe visitar el siguiente enlace: <https://arcg.is/1CCKe00>, entre sus opciones ofrece un vínculo para integrar el servicio WMS/WCS en softwares SIG de escritorio como QGIS.

Referencias

- Acosta, P. y Caro, C. (2016). *Regionalización De Parámetros Hidrológicos. Aplicación para Intensidad Media de Precipitación*. V Congreso Internacional de Ingeniería Civil, 56–62.
<http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/lingenieux/article/view/1366>
- Aparicio, F. (1992). *Fundamentos de Hidrología de superficie*. Limusa.
- Bernard, M. (1932). *Formulas For Rainfall Intensities of Long Duration*. American Society of Civil Engineers.
<https://doi.org/10.1061/TACEAT.0004323>
- Campos, D. (1998). *Procesos del ciclo hidrológico*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
<https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/3331>
- Canavos, G. (1994). *Probabilidad y Estadística - Aplicaciones y Métodos*. McGraw-Hill Companies.
- Carrera, D., Guevara, P., Tamayo, L., Balarezo, A., Narváez, C. y Morocho, D. (2016). *Relleno de series anuales de datos meteorológicos mediante métodos estadísticos en la zona costera e interandina del Ecuador, y cálculo de la precipitación media* (Vol. 34).
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/14601/1/Relleno%20de%20series%20anuales%20de%20datos%20meteorol%C3%B3gicos%20mediante.pdf>
- Chereque, W. (1989). *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil* (2a ed.). PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU. <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/28689>
- Chow, V., Maidment, D., y Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada* (1a ed.). McGraw Hill Interamericana S A.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2017). *Regionalización*.
<http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/regionalizacion.html#:~:text=La%20regionalizaci%C3%B3n%20implica%20la%20divisi%C3%B3n%20de%20un%20territorio,conocimiento%20de%20los%20recursos%20para%20su%20manejo%20adecuado>
- Cressie, N. (1991). *Statistics for spatial data*. John Wiley & Sons INC. <https://www.wiley.com/en-us/Statistics+for+Spatial+Data%2C+Revised+Edition-p-9781119115175>
- Gumbel, E. (1958). *Statistics of Extremes*. Columbia University Press.
- Hershfield, D. (1961). *Rainfall Frequency Atlas of the United States, for Durations from 30 Minutes to 24 Hours and Return Periods from 1 to 100 Years*. U.S. Weather Bureau Technical Paper No. 40, May 1961, 61. https://reduceflooding.com/wp-content/uploads/2018/09/TechnicalPaper_No40.pdf
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). (2008). *Estudio Hidrológico de Inundaciones en la Cuenca Alta de Chone*. <https://issuu.com/inamhi/docs/chone>

- Johnson, R., Miller, I. y Freund, J. (2012). *Probabilidad y estadística para ingenieros* (8a ed.). Pearson Educación de México.
- Open Geospatial Consortium (OGC). (2022a). *About OGC. Vision and Mission*. <https://www.ogc.org/about>
- Open Geospatial Consortium (OGC). (2022b). *Standards. Web Map Service*. <https://www.ogc.org/standards/wms>
- Open Geospatial Consortium (OGC). (2022c). *Standards. Web Coverage Service*. <https://www.ogc.org/standards/wcs>
- Pizarro, M. y Novoa, O. (1986). *Elementos técnicos de hidrología*. https://issuu.com/patricionovoa9/docs/elementos_t_cnicos_de_hidrolog_a
- Schöner, W. y Tveito, O. (2002). *Applications of spatial interpolation of climatological and meteorological elements by the use of geographical information systems (GIS)*. Meteorologisk institutt. <https://www.met.no/publikasjoner/met-report/met-report-2002>
- Shepard, D. (1968). *Two- dimensional interpolation function for irregularly- spaced data*. Proc. of 23rd ACM National Conference, 517–524. <https://doi.org/10.1145/800186.810616>
- Varas, E. y Bois, P. (1998). *Hidrología Probabilística*. Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Wackernagel, H. (2003). *Multivariate Geostatistics* (3a ed.). Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-05294-5>

Eficacia de trampas etológicas para el control de *Cosmopolites sordidus* en banano (*Mussa spp*) en la Hacienda Mechita del Cantón Pueblo Viejo en Ecuador

Efficacy of ethological traps for the control of *Cosmopolites sordidus* in banana (*Mussa spp*) at Hacienda Mechita in the Pueblo Viejo canton in Ecuador

Simón Farah Asang¹ <https://orcid.org/0000-0003-3245-2936>,
Gilson Bajaña Sánchez² <https://orcid.org/0000-0003-4151-3630>, Carlos Amador Sacoto¹
<https://orcid.org/0000-0002-5534-5474>, Edwin Hasang Morán¹ <https://orcid.org/0000-0001-6832-2047>,
Arturo Alvarado Barzallo¹ <https://orcid.org/0000-0002-9806-9684>

¹Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador
sfarah@uagraria.edu.ec, camador@uagraria.edu.ec,
ehasang@uagraria.edu.ec, aalvarado@uagraria.edu.ec

²Independiente, Pueblo Viejo, Ecuador
gilsondj17@gmail.com,



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.

Enviado: 2022/09/14
Aceptado: 2022/12/28
Publicado: 2022/12/30

Resumen

El banano es uno de los principales cultivos de exportación de Ecuador, constituye la actividad agrícola más importante en la economía del país. Al igual que otros cultivos, en la producción de la musácea se presentan diversos problemas fitosanitarios que afecta su rendimiento. Entre ellos se encuentra el picudo negro (*Cosmopolites sordidus*), insecto plaga que ataca el sistema radicular e impacta la normal absorción de nutrientes y agua por parte del vegetal, llegando en ataques severos a provocar el volcamiento de la planta. En la presente investigación se evaluó la eficiencia de dos tipos de trampas etológicas con el uso de pseudotallo de banano para el control del picudo negro, trampa tipo sándwich y en tipo V, ubicadas a alturas de 25 cm, 50 cm y 100 cm, los cuales son considerados como los tratamientos. Las evaluaciones se realizaron a partir del tercer día de la instalación de las trampas con un total de 5 pruebas por tratamiento. Los resultados reflejaron que los mejores tratamientos fueron las trampas ubicadas a una altura de 25 cm, siendo la trampa tipo sándwich, el tratamiento más eficaz con una media

Sumario: Introducción, Materiales y Métodos, Resultados y Discusión y Conclusiones.

Como citar: Farah, S., Bajaña, G., Amador, C., Hasang, E. & Alvarado, A. (2022). Eficacia de trampas etológicas para el control de *Cosmopolites sordidus* en banano (*Mussa spp*) en la Hacienda Mechita del Cantón Pueblo Viejo en Ecuador. *Revista Tecnológica - Espol*, 34(4), 69-79.
<http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/976>

de captura de especímenes de 11,50. La mayor eficiencia de las trampas fue a los 3 días posterior a la instalación con una media de 34 capturas, disminuyendo en la última evaluación a los 15 días con una media de 10,25 capturas. En las trampas también se obtuvieron especímenes de picudo rayado (*Metamasius hemipterus*) y picudo de la palma (*Rhynchophorus palmarum*).

Palabras clave: picudo negro, fitosanitario, trampa etológica, pseudotallo, eficiencia.

Abstract

Bananas are one of Ecuador's main export crops, constituting the most important agricultural activity in the country's economy. As with other crops, *musacea* production is subject to various phytosanitary problems that affect yields, for example, the black weevil (*Cosmopolites sordidus*). It is an insect pest that attacks the root system affecting the vegetal's normal absorption of nutrients and water. Severe attacks may even cause the plant to overturn. This study evaluates the efficiency of two variations of ethological traps using banana pseudostem for the black palm weevil control. These are the sandwich and V-type traps, located at heights of 25 cm, 50 cm, and 100 cm; they are considered the treatments. The evaluations were carried out from the third day after the installation of the traps, with five evaluations per treatment in total. The results showed that the best treatments were the traps placed at 25 cm, whereas the sandwich trap at 25 cm was the most effective treatment with an average specimen capture rate of 11.50 specimens. The highest efficiency was three days after its installation, with an average of 34 captures, decreasing in the last evaluation after 15 days with an average of 10.25 captures. The traps also captured specimens of the striped weevil (*Metamasius hemipterus*) and the palm weevil (*Rhynchophorus palmarum*).

Keywords: Black weevil, phytosanitary, ethological trap, pseudostem, efficiency.

Introducción

El banano representa para Ecuador el cultivo de mayor importancia, al ser el principal producto agrícola de exportación. La industria bananera es parte fundamental del desarrollo económico al aportar con el 2% del Producto Interno Bruto (PIB) general y el 35% del PIB agrícola, generando empleo y beneficios a más de 2,5 millones de personas aproximadamente, lo cual representa el 6% de la población del país (Berrú et al., 2021; Quezada et al., 2021; Regalado et al., 2019).

En Ecuador se produce el banano en la región costa destacándose las provincias de Los Ríos, Guayas y El Oro. De acuerdo con el SIFA (2022), en el país la superficie plantada de la musácea es de 167.893 hectáreas, teniendo la mayor concentración de la plantación en la provincia de los Ríos con 56.936 hectáreas lo que corresponde el 34% del total nacional. Los pequeños y medianos productores del sector bananero, representan el 80% total de los productores que se dedican a esta actividad, por lo que el otro 20% son los grandes productores (Quezada et al., 2021; Valverde et al., 2019).

Al igual que otros cultivos, el banano se ve afectado por diferentes problemas fitosanitarios que llevan a tener pérdidas en la producción. Entre las principales enfermedades fúngicas presentes en cultivo de banano se encuentra las que afectan el área foliar como la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) y sigatoka amarilla (*Mycosphaerella musicola* Leach) ambas enfermedades limitan en gran medida la producción de banano alrededor del mundo. *M. fijiensis* es considerada la enfermedad foliar más destructiva y de mayor valor económico en los cultivos de banano y plátano y puede causar pérdidas de hasta

un 50% en el rendimiento, puede reducir hasta en un 50 % el peso del racimo y causar pérdidas del 100 % de la producción debido al deterioro en la calidad. (Bitencourt et al., 2020; Regalado et al., 2019).

Entre las enfermedades virósicas se puede mencionar el virus del mosaico del pepino (CMV), Virus del mosaico estriado (BSV), y del virus del mosaico de la bráctea (BBrMV). Una de la más devastadora enfermedades en el ámbito mundial es el fusarium, causada por el hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense tropical race 4 (Foc TR4) (Galan et al., 2018; Galvez et al., 2020; Thukkaram et al., 2020). La raza tropical 4 ha colocado en peligro la producción mundial de banano en especial a los cultivares de la variedad Cavendish, así como, a otro grupo de musáceas. El hongo coloniza al vegetal causando la oclusión de los vasos de la xilema, produciendo el marchitamiento y posterior muerte. Las plantas infectadas a menudo mueren antes de producir racimos, por lo tanto, la enfermedad reduce significativamente los rendimientos en los campos afectados (Magdama et al., 2020).

Entre los insectos plaga que afectan a las musáceas se encuentra el Trips de la mancha roja (*Chaetanaphothrips signipennis*) que afecta en gran medida en la calidad y estética del fruto para la exportación. Las cochinillas (*Pseudococcus* spp. y *Dysmicoccus* spp.) son otro grupo de insectos que afectan al cultivo de musáceas, más allá de los daños directos, el perjuicio principal de este grupo de insectos son las restricciones cuarentenarias que se han establecido por parte de los países importadores a la presencia de estos en los frutos comercializados (Manrique-Silupu et al., 2021; Palma-Jiménez et al., 2019). Los picudos (Coleoptera: Curculionidae) es otro grupo de insectos que están presentes en las musáceas, entre ellos está el picudo rayado (*Metamasius hemipterus* L.) y el picudo negro (*Cosmopolites sordidus* Germar), siendo este último el de mayor importancia, considerando al picudo rayado como una plaga secundaria (Rojas et al., 2019).

Los principales daños del picudo negro de las musáceas son causados cuando el insecto se encuentra en estado inmaduro, las larvas forman galerías al alimentarse del cormo o rizoma interrumpiendo el transporte de agua y nutrientes provocando el debilitamiento del vegetal. En ataques severos causan lesiones significativas al sistema radicular de la musácea que pueden generar el volcamiento de la planta (Suarez et al., 2021; Tresson et al., 2021). Por otra parte, las lesiones causadas por el insecto dan la apertura al ataque de microorganismos fitopatógenos, así mismo, el adulto puede convertirse en importante vector de enfermedades como el hongo *Fusarium oxysporum*, virus Bunchy Top del Banano (BBTV, BBTD) y otros patógenos de importancia (García et al., 2022; Membang et al., 2020).

El principal control del picudo negro se realiza con el uso intensivo de pesticidas sintéticos. Entre las alternativas de control se tiene la utilización de trampas etológicas que consiste en utilizar el pseudotallo post cosecha para su elaboración en combinación de un agente biocida como insecticidas sintéticos, hongos entomopatógenos, entre otros productos que cumplan la misión de liquidar al insecto (Espinosa et al., 2019; Rojas et al., 2019). El objetivo de la presente investigación es evaluar la eficiencia de las trampas etológicas a diferentes alturas y su tiempo de efectividad en el control del picudo negro.

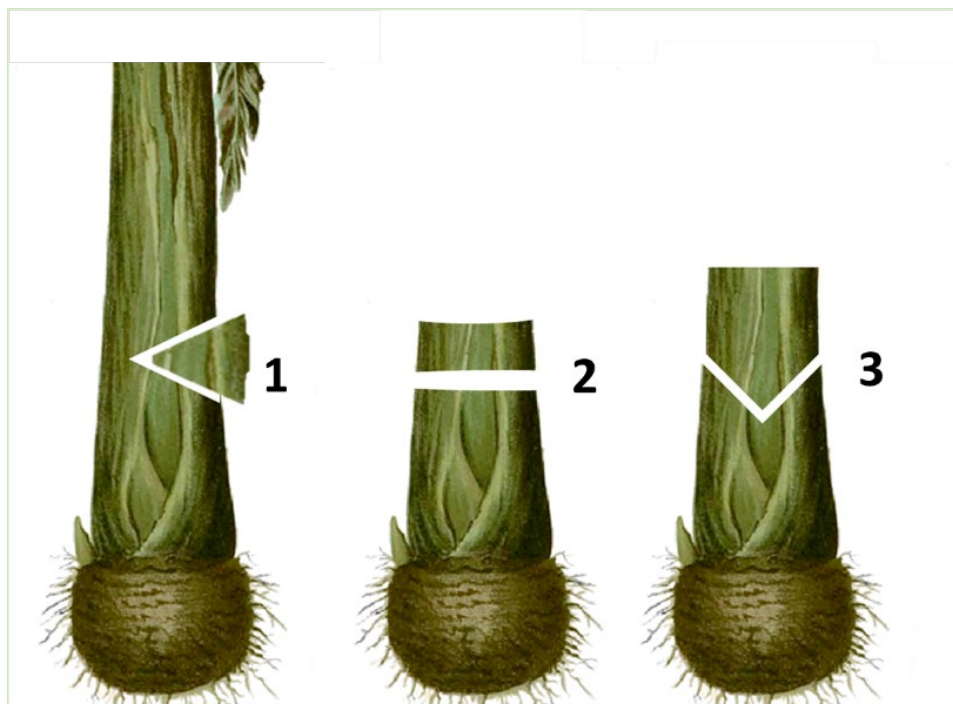
Materiales y Métodos

La investigación se realizó en la hacienda bananera Mechita ubicada en la vía San Juan perteneciente al cantón Pueblo Viejo, provincia de Los Ríos. La plantación de banano con una edad aproximada de 7 años, de la variedad Gran Williams.

Para la confección de las trampas se utilizaron los pseudotallos de plantas recién cosechadas. De acuerdo del tipo de corte que se realizó al pseudotallo se establecieron dos tipos de trampas para captura del picudo negro en el presente trabajo. La trampa de tipo sándwich consiste en efectuar un corte horizontal en el pseudotallo de aproximadamente uno 30 a 40 centímetros de forma que se puede realizar la remoción del fragmento o porción de pseudotallo para la aplicación del biocida y la revisión periódica de la trampa. La trampa etológica tipo en 'V' consiste en realizar dos cortes transversales o biselados en el pseudotallo de manera tal que se forma una figura o fragmento en forma de 'V' en el pseudotallo, así mismo, la altura o grosor debe ser de unos 20 a 30 centímetros (Figura 1). Para ambos tipos de trampas se utilizó como agente biocida insecticida Clorpirifós del grupo de los organofosforados, el cual se aplicó en la parte interna que unen los fragmentos de pseudotallo con la planta.

Figura 1

Trampas etológicas para el monitoreo y control de picudo en banana



Nota: Trampas etológica tipo cuña (1), sándwich (2) y en V (3).

La confección o instalación de las trampas se realizó a 3 diferentes alturas: a 25 cm, 50 cm y 100 cm; para ambos casos las trampas tipo sándwich y las trampas tipo en V, lo que dio como resultado en un total de 6 tratamientos, de estos a su vez se establecieron 4 repeticiones por lo cual se totalizó con 24 unidades experimentales en el presente trabajo de investigación. Las comparaciones de las medidas de los datos obtenidos se sometieron a prueba de rangos múltiples de Tukey al 95 % de probabilidad.

El monitoreo y revisión de las trampas se comenzó a partir del tercer día de su confección. Los intervalos de monitoreo fueron a los 3, 6, 9, 12 y 15 días posterior a la instalación de las unidades experimentales. Las trampas se mantuvieron durante 18 días funcionales hasta la última revisión a los 15 días posterior a la instalación, completando 5 revisiones para cada unidad experimental y un total 144 monitoreos de trampas dentro de la presente investigación.

Los especímenes de los insectos capturas en las diferentes unidades experimentales en los intervalos de revisión establecidos, se colocaron en frascos herméticos conteniendo alcohol al 70% para su conservación. Los envases fueron debidamente identificados con su respectiva fecha e identificación de cada unidad experimental (Figura 2). Para facilitar el transporte los envases se colocaron en contenedores tipo cooler y en ciertos casos se los mantuvo refrigerados. Las muestras se almacenaron y acondicionaron para su posterior montaje e identificación correspondiente.

Figura 2

Evaluación de trampas y colecta de especímenes



Para el procesamiento de los especímenes se procedió con el montaje en alfileres entomológicos, con la finalidad que se muestren las estructuras o caracteres necesarias para su posterior identificación. Para la identificación de los especímenes se utilizaron claves dicotómicas, lo cual consiste en un sistema o esquema que permite la identificación de las especies a través de la comparación de dos características o caracteres excluyentes. También se utilizaron artículos científicos como referencia para la comparación y verificación de las especies de insectos capturados.

Resultados y Discusión

De acuerdo con los análisis realizados para la eficiencia de las trampas a diferentes alturas para el control de picudo negro (*Cosmopolites sordidus*), los resultados mostraron que para los tratamientos ubicados a 25cm de altura se obtuvo la media con mayor cantidad de capturas, difiriendo estadísticamente de las trampas a 50cm y 100cm de altura (Tabla 1).

Tabla 1

Eficiencia de ubicación de trampas

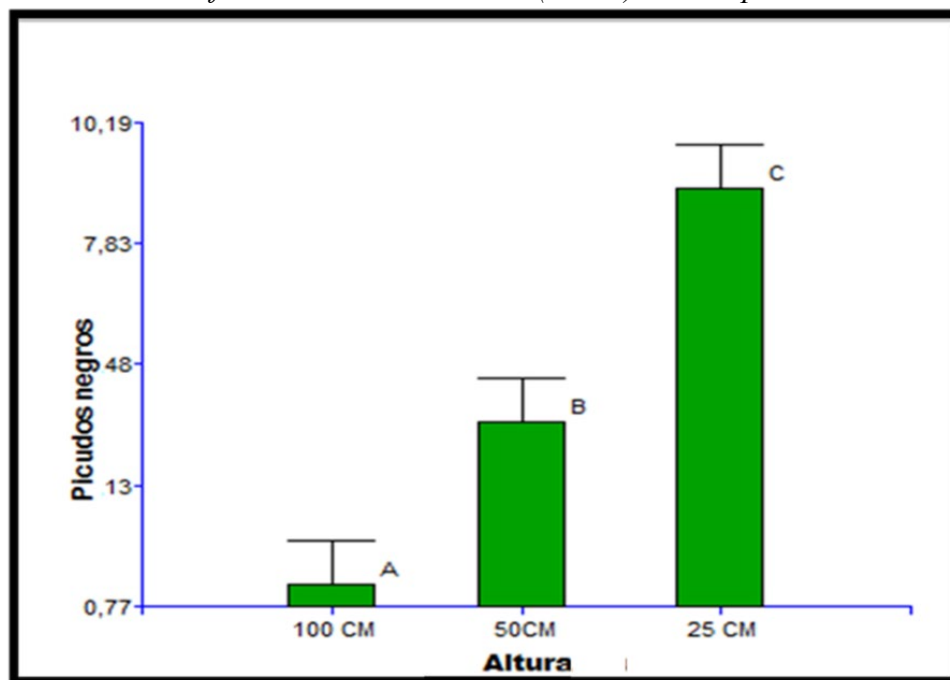
ALTURA DE TRAMPAS (CM)	Σ CAPTURAS ¹	E.E.
100	1,20a	0,83
50	4,38b	0,83
25	8,93c	0,83

Nota: ¹Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0, 05$).

La eficiencia de la captura a la menor altura tiene relación al comportamiento de los adultos picudo negro. De acuerdo con Mwaka et al. (2022), las hembras adultos de *C. sordidus* realizan la postura preferentemente en las vainas de las hojas y en la superficie del rizoma, lo más próximo al suelo con la finalidad que al emerger la larva encuentre el sitio ideal para su alimentación, siendo este, el rizoma del vegetal. De acuerdo con el presente trabajo, se logró evidenciar que a menor altura se obtuvo la mejor eficacia por parte de las trampas que se ubicaron a una altura de 25cm (Figura 3).

Figura 3

Eficiencia de la ubicación (altura) de trampas



Los análisis del número de captura develaron que el tratamiento de la trampa tipo V a 25cm obtuvo la mayor cantidad capturas con una media de 11,50 especímenes, seguido de la trampa tipo sándwich a 25cm con una media de captura de 8,90 picudos negros. Por lo cual el tratamiento de la trampa en V a 25cm no tiene diferencia estadística con el tratamiento de la trampa mente de los demás tiramientos tipo sándwich a 25cm, pero si de los demás tratamientos con las trampas a 50cm y 100cm de altura (Tabla 2).

Tabla 2

Efectividad de los diferentes tipos trampas

Nº	TRAMPAS	Σ
TRATAMIENTOS		CAPTURAS'
T6	Trampa En "V" 100 CM	0,85 a
T3	Trampa Sándwich 100	1,55 ab
T5	Trampa En "V" 50 CM	4,35 abc
T2	Trampa Sándwich 50 CM	4,45 abc
T4	Trampa En "V" 25 CM	6,35 bcd
T1	Trampa Sándwich 25 CM	11,50 d

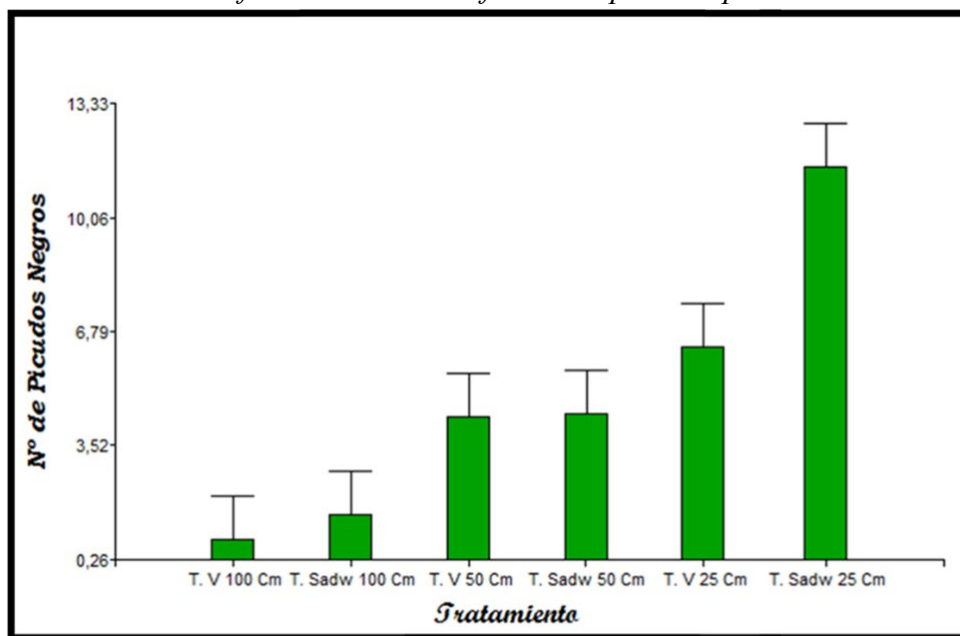
Nota: 'Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0, 05$).

De acuerdo con Bakaze (2022), la presencia de los adultos de *C. sordidus* se pueden encontrar aglomerados principalmente alrededor de las de las raíces y bajo las fibras sueltas que rodean la base de la planta. Este comportamiento es debido a los rituales de apareo y

liberación de feromonas ocasionando la llegada masiva de individuos, de igual manera las hembras adultas tienen preferencia de colocar la postura próxima a los rizomas del vegetal cercano a la superficie del suelo. En el presente trabajo se evidenció que los resultados del mayor número de captura del picudo negro fueron en los tratamientos de las trampas más próximas al suelo y disminuyó en las de mayor altura (Figura 4).

Figura 4

Efectividad de los diferentes tipos trampas



De acuerdo con los análisis realizados para el tiempo de efectividad de las trampas para el control de picudo negro, los resultados mostraron que el mayor número de capturas se presentó en las dos primeras lecturas obteniendo a los 3 y 6 días posterior a la instalación de las trampas, obteniendo una media de capturas de 34 y 27.43 especímenes respectivamente (Tabla 3).

Tabla 3

Efectividad de los diferentes tipos trampas

EVALUACIONES (DÍAS)	Σ CAPTURAS ¹	E.E.
3	34.00a	4.55
6	27.43ab	4.55
12	19.43ab	4.55
9	17.29ab	4.55
15	10.29b	4.55

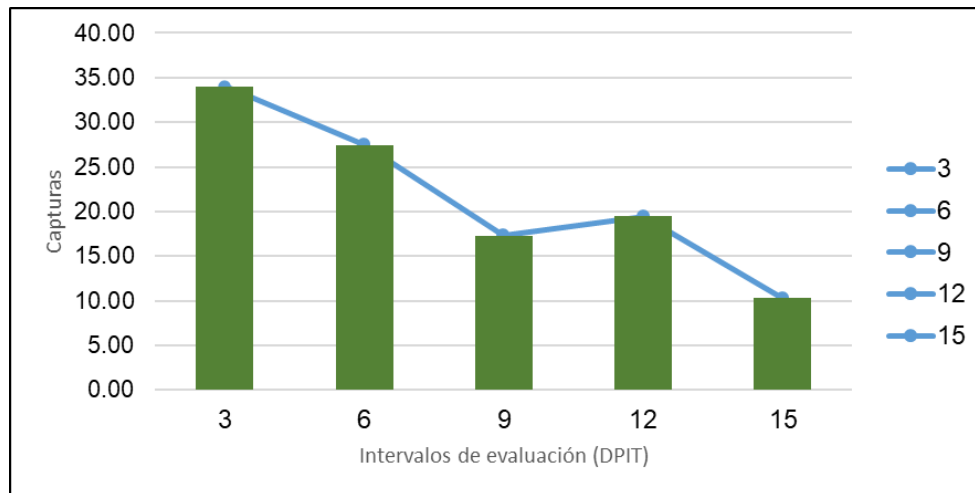
Nota: ¹Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0, 05$).

De acuerdo con Lazo-Roger et al. (2017), la efectividad de capturas para *C. sordidus* de las trampas etológicas a base de los pseudotallos de banano fueron en las primeras evaluaciones disminuyendo su función a medida que aumenta su nivel de descomposición. En la investigación realizada por Abagale et al. (2019), se demostró que la liberación de semioquímicos es mayor por parte del material vegetal fresco, siendo este, más atractivo para el picudo negro. En el presente trabajo se evidenció que la efectividad de las trampas fue mayor

cuando el material en las primeras evaluaciones decreció su acción de captura en las últimas evaluaciones (Figura 5).

Figura 5

Tiempo de efectividad de trampas



Nota: Días posterior a la instalación de la trampa (DPIT).

Entre otros resultados se puede mencionar que en las trampas se capturaron especies de otros picudos pertenecientes a la misma familia de *C. sordidus*, como son el picudo rayado (*Metamasius hemipterus*) y el picudo de la palma (*Rhynchophorus palmarum*). El mayor número de capturas fue de la especie picudo rayado con una media de 19.5 especímenes difiriendo estadísticamente del número de capturas de picudo negro (4.74 especímenes) y este a su vez difirió estadísticamente del número de capturas de picudo de la palma (3,31 especímenes) (Tabla 4).

Tabla 4

Especies de picudo capturados

ESPECIE DE PICUDO	Σ CAPTURAS ¹	E.E.
Picudo de Palma	2,3125 a	0,70
Picudo Negro	4,74375 b	0,70
Picudo Rayado	19,5 c*	0,70

Nota: ¹Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0, 05$).

En trabajos realizados por García et al. (2022) se evidencia que las trampas realizaron mayor número de capturas de la especie de *M. hemipterus* en referencia de *C. sordidus*. A pesar que ambas especies pueden coexistir, la capacidad reproductiva y la del ciclo biológico del picudo rayado favoreció para que existiera una mayor cantidad de individuos capturados.

Conclusiones

- A base de los resultados obtenidos se puede concluir que la altura de instalación de las trampas etológicas influye directamente en la efectividad de captura de adultos del picudo negro del banano (*Cosmopolites sordidus*).
- El mayor porcentaje de capturas se realizó con las trampas instaladas a menor altura debido al comportamiento de las hembras adultas de realizar las posturas lo más próximo al rizoma para asegurar el alimento de las larvas al emerger.

- Las trampas etológicas elaboradas a base de los pseudotallos tienen mayor efectividad de captura de picudo negro cuando el material vegetal es fresco, debido a la elevada cantidad de semioquímicos liberados, lo cual decrece al aumentar el nivel de descomposición disminuyendo su capacidad de atracción y captura.
- El tiempo de efectividad de las trampas etológicas elaboradas con los pseudotallos de banano para el control del picudo negro esta entre los 10 y 15 días, por lo cual, estas se deben renovar periódicamente en los intervalos de tiempos antes mencionados.
- Las trampas etológicas para el control de picudo negro también tienen la capacidad de captura para insectos como el picudo rayado (*Metamasius hemipterus*) y el picudo de la palma (*Rhynchophorus palmarum*), los cuales son especies consideradas plaga y pueden a generar daños al cultivo de banano.

Reconocimientos

Los autores del presente trabajo quieren manifestar su agradecimiento especial al Sr. Gustavo Marún, propietario de la Hacienda bananera Mechita, por haber facilitado el área experimental, las instalaciones, los insumos y demás materiales necesarios para la realización de esta investigación.

El presente trabajo tiene como base el proyecto de investigación realizado-previa a la obtención del grado de Ingeniero Agropecuario por el Sr. Bajaña Sánchez Gilson Bolívar, ex estudiante de la Universidad Técnica de Babahoyo. Los datos y de más contenido mostrados en el presente trabajo fueron obtenidos de Bajaña (2019) con la debida autorización del autor.

Referencias

- Abagale, S. A., Woodcock, C. M., Chamberlain, K., Osafo-Acquaah, S., van Emden, H., Birkett, M. A., Pickett, J. A., & Braimah, H. (2019). Attractiveness of host banana leaf materials to the banana weevil, *Cosmopolites sordidus* in Ghana for development of field management strategies. *Pest Management Science*, 75(2), 549–555. <https://doi.org/10.1002/PS.5182>
- Bajaña, G. B. (2019). Evaluación de trampas etológicas para el control de *Cosmopolites sordidus* en la plantación de banano (*Mussa AAA*) Cantón Pueblo Viejo. In *Universidad Técnica de Babahoyo*. <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/7255/TE-UTB-FACIAG-ING AGROP-000091.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bakaze, E., Tinzaara, W., Gold, C., & Kubiriba, J. (2022). The Status of Research for the Management of the Banana Weevil, *Cosmopolites sordidus* (Germar) (Coleoptera: Curculionidae) in Sub-Saharan Africa. *European Journal of Agriculture and Food Sciences*, 4(2), 39–51. <https://doi.org/10.24018/ejfood.2022.4.2.469>
- Berrú, M. A. E., Carpio, E. P., Álava, A. C., & Cevallos, H. V. (2021). Análisis de regulación del precio de la caja de banano en Ecuador periodo 2015- 2020. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 4(S1), 210–217. <http://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/429>
- Bitencourt, V. C., dos Santos, A. T., Jario, L. C. M., Souza, C. L., de Oliveira, J. B., & de Oliveira, M. R. R. (2020). The use of UAVs in monitoring yellow sigatoka in banana. *Biosystems Engineering*, 193, 115–125. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.02.016>
- Espinosa, Y., Quevedo, J. N., & Gracia, R. M. (2019). Determinación de la eficiencia de diferentes trampas para el control de picudo negro (*Cosmopolites Sordidus* G.) en banano orgánico. *Revista Científica Agroecosistemas*, 7(1), 171–180. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/263>
- Galan, V., Rangel, A., Lopez, J., Hernandez, J. B. P., Sandoval, J., & Rocha, H. S. (2018). Propagación del

- banano: técnicas tradicionales, nuevas tecnologías e innovaciones. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40(4). <https://doi.org/10.1590/0100-29452018574>
- Galvez, L. C., Barbosa, C. F. C., Koh, R. B. L., & Aquino, V. M. (2020). Loop-mediated isothermal amplification (LAMP) assays for the detection of abaca bunchy top virus and banana bunchy top virus in abaca. *Crop Protection*, 131(September 2019). <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105101>
- García, D., Batista, I., Miranda, I., Pupiro, L., Reagalado, R., & Baños, H. (2022). Selección de trampas para la captura de *Cosmopolites sordidus* Germar Y *Metamasius hemipterus* L. competencia interespecífica Selection of traps to capture *Cosmopolites sordidus* Germar. *Revista de Protección Vegetal*, 37(1), 1–7.
- Lazo-Roger, Y., Nivelá-Morante, P. E., Rojas-Rojas, J. A., Taipei-Taipei, M. V., Piloso-Chávez, K. J., Pedraza-González, X., Aragundi-Velarde, J. G., & Chavez, M. (2017). Evaluación de trampas para capturar de picuronegro (*Cosmopolites sordidus* Germar) en cultivo de plátano (*Musa AAB* cv. Hartón). *El Misionero Del Agro*, 8.
- Magdama, F., Monserrate-Maggi, L., Serrano, L., Onofre, J. G., & Jiménez-Gasco, M. D. M. (2020). Genetic Diversity of *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense, the Fusarium Wilt Pathogen of Banana, in Ecuador. *Plants*, 9(9), 1133. <https://doi.org/10.3390/PLANTS9091133>
- Manrique-Silupu, J., Campos, J. C., Paiva, E., & Ipanaqué, W. (2021). Thrips incidence prediction in organic banana crop with Machine learning. *Heliyon*, 7(12), e08575. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08575>
- Membang, G., Ambang, Z., Mahot, H. C., Kuate, A. F., Fiaboe, K. K. M., & Hanna, R. (2020). *Cosmopolites sordidus* (Germar) susceptibility to indigenous Cameroonian *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. and *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) isolates. *Journal of Applied Entomology*, 144(6), 468–480. <https://doi.org/10.1111/jen.12757>
- Mwaka, H. S., Christiaens, O., Bwesigye, P. N., Kubiriba, J., Tushemereirwe, W. K., Gheysen, G., & Smagghe, G. (2022). First Evidence of Feeding-Induced RNAi in Banana Weevil via Exogenous Application of dsRNA. *Insects*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/insects13010040>
- Palma-Jiménez, M., Blanco-Meneses, M., & Guillén-Sánchez, C. (2019). Mealybugs (Hemiptera: Pseudococcidae) and their impact on the Musaceae crop. *Agronomy Mesoamerican*, 30(1), 281–298. <https://doi.org/10.15517/am.v30i1.32600>
- Quezada, R. X., Carvajal, H., & Barrezueta, S. (2021). Impacto económico de la producción bananera en el Ecuador en el periodo 2008-2016. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 4(2), 148–157. <http://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/388>
- Regalado, J. G., Augusto, ;, Plaza, M., Christian, ;, & Sánchez, P. (2019). Amenazas de las manchas foliares de Sigatoka, *Mycosphaerella* spp., en la producción sostenible de banano en el Ecuador. *Revista Verde de Agroecología e Desenvolvimento Sustentável*, ISSN-e 1981-8203, Vol. 14, Nº. 5, 2019 (Ejemplar Dedicado a: EDIÇÃO ESPECIAL), Págs. 591-596, 14(5), 591–596. <https://doi.org/10.18378/rvads.v14i4.6623>
- Rojas, J. A., Maldonado, C. E., Meza, O. S., Lazo, R. Y., & Palacios, J. C. (2019). Uso de trampas con atrayentes para el monitoreo de *Cosmopolites sordidus* y *Metamasius* spp. en plátano barraganete Use of traps with attractants for the monitoring of *Cosmopolites sordidus* and *Metamasius* spp. in banana barragan. *Centro Agrícola*, 46(2), 58–63. <http://cagricola.uclv.edu.cu/>
- SIFA. (2022). *Cifras Agroproductivas*. Sistema de Información Pública Agropecuaria. <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>
- Suarez, L., Suarez, J. E., & Monzón, V. (2021). Management of the banana weevil (*Cosmopolites sordidus*, Germar) Coleoptera: Curculionidae) with *Beauveria bassiana*, Bals and Vuils, Tonalá-Chinandega, Nicaragua. *La Calera*, 21(36), 30–35. <https://doi.org/10.5377/calera.v21i36.11666>
- Thukkaram, D., Rajan, S., Manoharan, M., Gopal, R., Yadav, K., Kumar, S., Ahmad, I., Kumari, N., Mishra, V. K., & Jha, S. K. (2020). Biological Management of Banana Fusarium Wilt Caused by *Fusarium*

oxysporum f. sp. cubense Tropical Race 4 Using Antagonistic Fungal Isolate CSR-T-3 (*Trichoderma reesei*). *Frontiers in Microbiology*, 11, 2900. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2020.595845/BIBTEX>

Tresson, P., Tixier, P., Puech, W., & Carval, D. (2021). The challenge of biological control of *Cosmopolites sordidus* Germar (Col. Curculionidae): A review. *Journal of Applied Entomology*, 145(3), 171–181. <https://doi.org/10.1111/jen.12868>

Valverde, E., García, R. M., Moreno, A., & Socorro, A. R. (2019). Alternativas nutricionales eficientes en banano orgánico en la provincia El Oro, Ecuador. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 2(1), 151–159. <http://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/104>

Caracterización morfológica del cacao nacional “Theobroma cacao L.” del cantón Naranjal, Ecuador

Morphological characterization of the national cocoa “Theobroma cacao L.” of Naranjal, Ecuador

Carlos Amador Sacoto¹ <https://orcid.org/0000-0002-5534-5474>,
Arturo Alvarado Barzallo¹ <https://orcid.org/0000-0002-9806-9684>, Simón Ezequiel Farah Asang¹
<https://orcid.org/0000-0003-3245-2936>, Juan Javier Martillo Garcia¹ <https://orcid.org/0000-0002-0182-666X>

¹Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador
camador@uagraria.edu.ec, aealvarado@uagraria.edu.ec,
sfarah@uagraria.edu.ec, jmartillo@uagraria.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.

Enviado: 2022/09/22

Aceptado: 2022/12/10

Publicado: 2022/12/30

Resumen

La investigación se realiza en una zona del cantón Naranjal y para este estudio participan 10 fincas aleatoriamente seleccionadas. Estas fincas se dedican a la producción del cacao nacional o fino de aroma. Adicionalmente, en estos lugares, se desarrollan las observaciones y mediciones destinadas a caracterizar morfológicamente este cultivo de cacao originado a partir de variedades de los tipos Forastero y Trinitario. Para su análisis se aplicaron parámetros de estadística descriptiva a un grupo de variables morfológicas como: peso, largo y ancho del fruto, rugosidad, grosor y coloración del pericarpio, y número de semillas por fruto. Se tomaron 10 mazorcas. Y de cada mazorca se describieron 5 semillas, de estas se tomaron determinaciones de variables como peso, largo ancho y espesor de la semilla, peso de la pulpa y testa. A más de ello, se escogieron 10 flores al azar de cada planta para medir sus estructuras. Luego de analizar cada una de estas variables de forma individual, se aplicó un análisis de regresión múltiple, para obtener información del grado de participación de las variables. Finalmente, se obtuvo variables de coloración de peso, forma y rugosidad del fruto para separar las plantas evaluadas por características fenotípicas similares, las que se sometieron a un ANDEVA para evidenciar cuál de los grupos tenía mayor variabilidad estadística. Se encontró una mayor participación del tipo forastero y menor del trinitario. Se constató que los caracteres de mayor importancia se encuentran en el fruto.

Palabras clave: cacao nacional, caracterización morfológica, fruto, semilla, cultivar.

Sumario: Introducción, Materiales y Métodos, Resultados y Discusión y Conclusiones.

Como citar: Amador, C., Alvarado, A., Farah, S. & Martillo, J. (2022). Caracterización morfológica del cacao nacional “Theobroma cacao L.” del cantón Naranjal, Ecuador. *Revista Tecnológica - Espol*, 34(4), 80-97. <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/978>

Abstract

This investigation was carried out in Naranjal in ten randomly selected farms. These farms produce national or fine-aroma cocoa. Observations and measurements were made to morphologically characterize the Forastero and Trinitario cocoa. Descriptive statistics parameters were applied to a group of morphological variables such as weight, length, and width of the fruit, roughness, thickness and coloration of the pericarp, and number of seeds per fruit, of each of the plants that make up the sample, according to which ten ears were taken and from each ear, five seeds were described taking determinations of variables such as weight, length, width and thickness of the seed, weight of the pulp, and taste. Likewise, ten random flowers were taken from each plant to measure their structures. After the analysis of each of these variables individually, a multiple regression analysis was applied to obtain information on the degree of participation of the variables. Then, the variables of coloration, weight, shape, and roughness of the fruit were obtained to separate the evaluated plants for similar phenotypic characteristics, that were later subjected to an ANOVA to show which of the groups had greater statistical variability. A greater participation of the Foreign type and less of the Trinitarian type was found. Also, it was found that the most important characters for the characterization are found in the fruit.

Keywords: national cocoa, morphological characterization, fruit, seed, cultivate.

Introducción

Ecuador se caracteriza por poseer un cacao fino de aroma con características organolépticas y sabor agradable lo que le permite ser reconocido en el ámbito mundial por la calidad que presentan sus productos derivados. El sector cacaotero nacional representa a un segmento económico importantes para el país.

La baja productividad de las plantas de cacao nacional provoca que muchos agricultores se vean obligados a sembrar nuevas variedades más productivas como los clones de ccn-51, que presentan mayor resistencia a plagas o enfermedades o híbridos que se puedan adaptar con más facilidad a las condiciones climáticas y edáficas del lugar. Más del 70% de la producción mundial de cacao fino y de aroma se encuentra en Ecuador, convirtiéndolo en el mayor productor de este fruto (Mosquera, B. 2015).

Las principales áreas del país donde se cultiva cacao de tipo Nacional son: Naranjal, Tenguel, Balao Chico y Naranjito (provincia del Guayas); ciertas áreas cacaoteras de las provincias de la Sierra (Bolívar y Cotopaxi); y, en la cuenca del Amazonas, donde se han reportado áreas de cacao Nacional en estado silvestre (Quiroz 1997). Existe en Ecuador una gran variedad de materiales genéticos, de los cuales se pueden mencionar: EET 95 EET 96, EET 103 y EET 576. Estas variedades se las puede identificar mediante características taxonómicas y ubicarlas dentro del grupo de cacao Nacional "arriba" (Romero C, et al 2010).

Los frutos de cacao son una drupa bastante grande, los que están sujetos por un pedúnculo que se origina del pedicelo de la flor. Los frutos tienen cinco lóculos, cada lóculo posee dos partes formadas cada una por dos lomos y un surco interno. Su forma varía y esto ha dado lugar a que se pueda realizar una clasificación de distintos genotipos (Enríquez, 2004).

Las semillas son de forma oblonga, tienen un recubrimiento o cutícula que protege a los cotiledones; y en la parte exterior está el mucilago o hilio que es la parte dulce mucilaginoso la cual permite la fermentación de la semilla, además se puede diferenciar algunos genotipos de cacao por su sabor (Enríquez, 2004).

Las poblaciones de cacao provenientes de la Amazonía se denominan forastero. Los tipos criollos y forasteros son considerados como dos subespecies distintas y se pensó que eran originarias de Centro y Sur América, respectivamente. Un tercer grupo se identifica como trinitario y es descrito como híbrido entre criollo y forastero. Las utilizaciones de marcadores moleculares sobre estos individuos han podido dar respuestas sobre la domesticación y más específicamente sobre la deriva genética (Motomayor, 2002).

Los cacaos criollos se caracterizan por ser arboles relativamente bajos y menos robustos respecto a otras variedades. Su copa es redonda con hojas pequeñas de forma ovalada, de color verde y rojizas en estado inmaduro tornándose amarillas y anaranjadas cuando están maduras, las almendras son de color blanco marfil (Perez, 1996).

El cacao forastero es un tipo de cacao mucho más resistente, y por tal razón, abarca el 90% de la producción cacaotera mundial. Su principal característica es su fuerte amargor, alta astringencia y falta de aroma. Las mazorcas son verdes en estado inmaduro, tornándose amarillas en estado de madurez (Quiroz, 2009).

El cacao trinitario proviene de la hibridación entre los grupos criollo y forastero. La mayoría de las variedades conocidas que se cultivan comercialmente en el mundo, se han seleccionado a partir de este grupo (Enríquez, 2004). Fueron seleccionados en trinidad y de ahí su nombre. Sus características botánicas son intermedias entre el criollo y forastero. Los tipos existentes se denominan de acuerdo con los nombres proporcionados en los centros de investigación de donde fueron seleccionados (Arguello, 2001).

El Cacao Nacional se clasifica botánicamente como el tipo forastero, puesto que tiene algunas características fenotípicas de este. Posee un sabor y aroma característico del cacao criollo, muy apreciados en las industrias de todo el mundo. Tradicionalmente se conoce al cacao ecuatoriano como Cacao Arriba, debido a que se cultivaba en la zona superior del río Guayas (río arriba), denominación que se convirtió en sinónimo de buen sabor y aroma floral de jazmín, rosas y lilas (MAG/IICA, 2001).

Existen varios tipos de caracterización entre las que se pueden mencionar:

- Caracterización morfológica
- Caracterización molecular
- Caracterización física
- Caracterización fisiológica

Caracterización Morfológica. Un descriptor es un atributo cuya expresión es fácil de medir de la forma, estructura o comportamiento de una accesión. Sirve para discriminar entre fenotipos. Los descriptores son altamente heredables, pueden ser detectados a simple vista y se expresan de igual forma en todos los ambientes (Franco e Hidalgo, 2003). Los órganos más importantes para la descripción morfológica son aquellos que están menos influenciados por el ambiente. Los más importantes son: la flor y el fruto (Enríquez, 2004). Han sido empleados para caracterizar el germoplasma de las colecciones en diferentes centros de investigación tales como el CATIE, el ICGT y el ICGD, entre otros (End et. al., 2010).

Pound (1933), señala que algunas características de la flor y la semilla son de suma importancia en la caracterización de clones de cacao, lo cual es confirmado por Dejean (1984) y Ostendorf (1965). Enríquez y Soria (1967), proponen una lista de 11 caracteres para la evaluación de las flores, que fueron usados por Engels (1983) y Bartley (2000.). Para la

caracterización morfológica Williams y Damania (1981) recomiendan 35 frutos. Las características de las almendras: ancho, largo, espesor, peso húmedo sin testa, peso seco sin testa, porcentaje de testa y pulpa, están entre los mejores descriptores para caracterizar una población, usando una muestra de 12 a 20 mazorcas (Braudeau, 2000).

Esta investigación pretende realizar un estudio de caracterización del cultivo de cacao con visión a proporcionar información referente a las diferentes características físicas y morfológicas del cultivo de cacao presentes en el cantón Naranjal de la provincia del Guayas.

Materiales y Métodos

Esta investigación se realizó en diez fincas distribuidas en diferentes parroquias del cantón Naranjal, provincia del Guayas, con las coordenadas UTM: X 653706,31m; Y 9704447,94m, latitud: 02° 40' 23,34" S y longitud: 79° 37' 2,35" W con un comportamiento climatológico dado por temperatura máxima: 31.5 °C, temperatura mínima: 19.8 °C, temperatura media: 25.7 °C, humedad Relativa: 95%, altitud: 25 msnm.

El cantón Naranjal cuenta con alrededor de 1500 hectáreas cultivadas de cacao nacional, dentro de la zona cacaotera tipo nacional se encuentran pequeñas plantaciones de superficie que van de entre 5 a 10 hectáreas (Municipalidad de Naranjal 2010). Las fincas de Cacao Nacional pertenecen por lo general a pequeños productores que van de entre una a diez hectáreas, no cuentan con infraestructuras óptimas de tecnología productiva, sistemas de riego ni métodos especializados de fertilización, muchas de estas son producidas de manera silvestre, en donde solo se realizan prácticas de limpieza una vez al año, generando un bajo nivel en producción y rendimiento de estas fincas.

Se realizó un muestreo no probabilístico, seleccionando 10 fincas distribuidas en la zona. En cada finca se estableció un reconocimiento de variedades existentes dentro de la plantación, luego se seleccionó los 10 mejores árboles al azar, resistentes a plagas y enfermedades, altamente productivos, color de mazorcas característicos, olor, tamaño, forma de las mazorcas, entre otras para la evaluación de las diferentes variables de caracterización (Águila et. al., 2012).

Las variables empleadas para el proceso de caracterización de frutos, flores y árbol fueron las siguientes: largo del fruto, ancho del fruto, peso de la cáscara, espesor de la cáscara en el lomo, espesor de la cáscara en el surco, número de semillas por fruto, peso de semillas por fruto, largo de semillas, ancho de semillas, espesor de semillas, forma del fruto, constricción basal.

En Flores: largo del sépalo, ancho del sépalo, largo de la lígula, ancho de la lígula, largo del estaminodio, largo del ovario, ancho del ovario, forma de la lígula, largo del pedúnculo. Para realizar la caracterización de las flores se tomaron 5 flores por planta de las diez plantas seleccionadas de las 10 fincas evaluadas.

El largo del estaminoide y del estilo. Se los realizó con la ayuda de una hoja milimetrada.

La forma de la lígula y largo del pedúnculo. La medición se logró con la ayuda de una hoja milimetrada. La forma de lígula se basa en la multiplicación del largo de la lígula por ancho de la lígula.

Además, también se tomaron las siguientes características como variables morfológicas del árbol: altura del árbol, vigor del árbol, índice de mazorcas, coloración de frutos, rugosidad de pericarpio, forma del ápice (Ayestas, 2013).

Altura del árbol (m). Se tomó una altura promedio de todas las plantas en cada lote provisto para el ensayo, expresado en metros. Y se lo tomó por inspección visual.

Vigor del Árbol. Para el vigor se tomó en cuenta la siguiente tabla realizada por el INIAP en el 2007 y citada por Mario Águila en el 2012.

- 1 = 20% Endeble (Frágil)
- 2 = 40 % Vigor bajo
- 3= 60% Vigor medio
- 4= 80 % Vigoroso
- 5= 100% Muy vigoroso (Águila et. al., 2012)

Índice de Mazorca. Se tomó en cuenta la cantidad de mazorcas sanas encontradas durante todo el tiempo que se realizó este trabajo de tesis.

Peso de Mazorcas (g). Se tomó, con la ayuda de una báscula electrónica, el peso que presenta una mazorca en el momento de la cosecha y se lo expresó en gramos.

Forma del ápice, se utilizó una escala arbitraria con valores de: 1.-Puntiagudo, 2.- Agudo, 3.-Obtuso, 4.- Redondeado, 5.- Pezón, 6.- Dentado.

Diámetro del Fruto (cm). Se tomó en cuenta el diámetro medio de entre todos los frutos de las muestras dentro de cada lote y se realizó con la ayuda de un calibrador de Vernier la medición y se la expresó en centímetros.

Número de Semillas. Se tomó en cuenta la cantidad de semillas obtenidas en cada una de las mazorcas que presentaron los árboles evaluados, teniendo una media por cada árbol.

Coloración de los Frutos. Se realizó el análisis de caracterización mediante la coloración de los frutos y se tomó en cuenta los árboles que tengan la misma coloración y características fisiológicas de los frutos de la misma pigmentación. Esto se realizó mediante la inspección visual directa. Para la identificación de cada tipo de coloración se tomó la siguiente codificación o escala arbitraria: 1= amarillo; 2= rojo; 3= anaranjado; 4= morado; 5= café.

Forma del fruto. Se empleó la escala arbitraria empleada donde: 1=Angoleta, 2=Cundeamor, 3=Amelonado, 4=Calabacín.

Largo del Fruto (cm). Se consideró el largo de la mazorca, promediando entre todos los frutos obtenidos en una planta, se midió con la ayuda de un calibrador de Vernier expresado en centímetros.

Rugosidad del fruto. Se evaluó empleando una escala arbitraria donde: 1=Rugoso, 2=Semi-Rugoso, 3=Liso, 4.- Medianamente liso.

Constricción basal. Se aplicó una escala arbitraria donde: 1=Ausente, 2=Escasa, 3=Intermedia, 4= Bien marcada, 5.- Muy ancha.

Forma del ápice. Se usó una escala arbitraria donde: 1=puntiagudo, 2=agudo, 3=obtusos, 4=redondeado, 5=pezón, 6=dentado.

Forma de la lígula. Se basa en la multiplicación del largo por el ancho de la lígula.

Peso de la Cáscara (g). Se basó en el peso que presentó la cascara de la mazorca al momento de la cosecha, se realizó con la ayuda de una báscula electrónica expresada.

Peso de Semillas Húmedas (g). Se tomó en cuenta cinco semillas por mazorca específicamente en la parte media de cada mazorca, el peso se realizó con la ayuda de una báscula electrónica expresado en gramos.

Se aplicaron a las variables estudiadas, los cálculos de estadígrafos descriptivos como: media, intervalo de confianza, rango, máximos y mínimos. Se utilizaron los coeficientes de regresión múltiple para determinar el nivel de dependencia del peso del fruto con el resto de las variables asociadas a él. Esto también se aplicó a la dependencia del largo del pétalo a las otras variables asociadas a la flor.

Resultados y Discusión

Caracterización de Árboles

La Tabla 1 muestra los valores de las variables altura del árbol, vigor del árbol e índice de mazorcas. La altura de árbol presentó una media de 7.27 m y un intervalo de confianza de 0.35 m, un valor máximo de 7.61m y un mínimo de 6.93m. El valor medido en una escala arbitraria del 1(bajo), al 5 (muy alto) obtuvo una media de 2.97, un intervalo de confianza de 0.19, alcanzó como valor mínimo 2.78 y un valor máximo de 3.15, es decir, los árboles descritos presentan un vigor medio. Por su parte, el índice de mazorcas alcanzó una media de 15.24, un intervalo de confianza de 0.78, con valor mínimo 14.46 y valor máximo 16.03, para un rango de entre 14 y 16 mazorcas por árbol entre las fincas evaluadas.

Tabla 1

Estadígrafos descriptivos de Altura del Árbol, Vigor del Árbol e Índice de Mazorcas

PARÁMETRO	ALTURA DEL ÁRBOL	VIGOR DEL ÁRBOL	ÍNDICE DE MAZORCAS
Media	7,27	2,96	15,24
Interv. de confianza	0,34	0,18	0,78
Mínimo	6,92	2,78	14,45
Máximo	7,61	3,15	16,03

Promedios máximos y mínimos con un intervalo de confianza del 0.05

Fuente: Alvarado B. Arturo, 2015.

Caracterización de Frutos y Semillas

Los resultados obtenidos en la forma del ápice (según la escala nominal aplicada) se muestran en la Tabla 2, con una media de 2.93, con valor máximo de 3.011, y un mínimo 2.84 lo que indica que la forma del ápice se encuentra entre agudos y obtusos. De igual forma en la misma tabla se exponen los valores concernientes a la rugosidad del fruto donde se utilizó la escala arbitraria siguiente: 1.- Rugoso, 2.-Semi-Rugoso, 3.- Liso, 4.- Medianamente liso. La Tabla 2 presentó el promedio de 1.61, valor máximo 1.78 y valor mínimo 1.44 respectivamente es decir el fruto presenta en el rango rugoso.

Tabla 2*Estadígrafos descriptivos de las variables forma del ápice y rugosidad del fruto*

ANÁLISIS	FORMA DEL ÁPICE	RUGOSIDAD DEL FRUTO
Media	2,92	1,61
Interv de confianza	0,08	0,16
Mínimo	2,84	1,44
Máximo	3,01	1,77

Promedios máximos y mínimos con un intervalo de confianza del 0.05

Fuente: Alvarado B. Arturo, 2105.

Una comparación de los parámetros estadísticos descriptivos de las variables anteriores se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3*Estadígrafos Descriptivos de las Características del Árbol y el Fruto*

VARIABLES	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	RANGO	INTERVALO DE CONFIANZA	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
Altura del árbol	7,27	1,69	6.00	0,34	23.25 %
Vigor del árbol	2,96	0,91	3.00	0,18	30.74 %
Índice de mazorcas	15,24	3,86	3,87	0,78	25.33 %
Forma del Ápice	2,92	1,23	6.00	0,25	42.12 %
Rugosidad del fruto	1,61	0,82	2.00	0,16	50.93 %

Fuente: Alvarado B. Arturo, 2015.

En la Tabla 4 se encuentran reflejados los valores de las variables del fruto: peso, largo y ancho.

Tabla 4*Estadígrafos Descriptivos del largo del fruto y ancho del fruto*

ANÁLISIS	PESO DEL FRUTO	LARGO DEL FRUTO	ANCHO DEL FRUTO
Media	588,06 g	17,04	8,55
Interv. de Confianza	38,10 gr	0,58	0,18
Mínimo	549,96 gr	16,46	8,37
Máximo	626,16 gr	17,62	8,73

Promedios máximos y mínimos con un intervalo de confianza del 0.05

Fuente: Alvarado B. Arturo

El peso del fruto presentó un promedio de 588,06 g, el valor máximo para esta variable alcanzó 626,16 g y valor mínimo 549,96 g. En cuanto al largo del fruto (Tabla 4), este presentó una media de 17.04 cm, con un valor mínimo un 16.46 cm y máximo de 17.62 cm. Para el ancho del fruto la misma tabla muestra una media de 8.55 cm, con valor mínimo 8.37cm y valor máximo 8.73cm respectivamente.

La Tabla 5 indica el peso de la cáscara con un valor promedio 480.81 g, valor mínimo 446.56 g y valor máximo 515.03 g respectivamente. También la Tabla 6, muestra el espesor de la cáscara en el lomo con una media de 1.29 cm, un mínimo de 1.21 cm y un valor máximo 1.35 cm respectivamente. Igualmente, y en la misma tabla se observa el espesor de la cáscara en el surco con promedio de 0.96 cm, un valor mínimo de 0.91cm y un valor máximo un 1.03 cm respectivamente.

Tabla 5*Estadígrafos Descriptivos del Peso y Espesor de la Cascara en el Lomo y en el Surco*

ESTADÍGRAFOS	PESO DE LA CASCARA	ESPESOR DE LA CASCARA EN EL LOMO	ESPESOR DE LA CASCARA EN EL SURCO
Media	480,80	1,285	0,965
Interv. De confianza	34,22	0,068	0,059
Mínimo	446,56	1,21	0,91
Máximo	515,03	1,35	1,03

Promedios máximos y mínimos con un intervalo de confianza del 0.05

Fuente: Alvarado B. Arturo, 2015.

Como indica la Tabla 6 el número de semillas presentó una media de 30.86 semillas por fruto, un valor mínimo de 29.57, un máximo de 32.16 semillas por fruto. También la Tabla 6 indica el peso de semillas por fruto que alcanzó una media de 107.24 g por fruto, un valor mínimo de 100.02 g y un valor máximo de 114.46 g de semillas por fruto .

Tabla 6*Estadígrafos Descriptivos del Número y Peso de Semillas por Fruto*

ANÁLISIS	NÚMERO DE SEMILLAS	PESO DE SEMILLAS POR FRUTO
Media	30,86	107,24
Interv. De confianza	1,29	7,23
Mínimo	29,57	100,02
Máximo	32,16	114,46

Promedios máximos y mínimos con un intervalo de confianza del 0.05

Fuente: Alvarado B. Arturo, 2015.

A partir de la medición de 5 semillas sin pulpa y testa de cada mazorca, como indica la Tabla 7, el largo de semillas presentó una media de 2.013 cm, un valor mínimo 1.933 cm y un valor máximo 2.093 cm respectivamente. De la misma forma la Tabla 7 expresa que el ancho de semillas presentó una media de 1.06 cm, con valores mínimo y máximo 1.1 cm respectivamente. En la misma tabla el espesor de semillas alcanzó una media de 0.79 cm, con valores mínimo y máximo de 0.44 cm y 1.14 cm.

Tabla 7*Estadígrafos Descriptivos del Número y Peso de Semillas por Fruto*

ESTADÍGRAFO	LARGO DE SEMILLAS	ANCHO DE SEMILLAS	ESPESOR DE SEMILLAS
Media	2,013	1,061	0,785
Interv. De confianza	0,077	0,040	0,358
Mínimo	1,93	1,02	0,44
Máximo	2,09	1,1	1,14

Promedios máximos y mínimos con un intervalo de confianza del 0.05

Fuente: Alvarado B. Arturo, 2015

Para la forma del fruto, empleando una escala nominal arbitraria, se obtuvo un mínimo de 1.583, máximo de 1.935, indicando que las formas del fruto predominante están entre la Angoleta y Cundeamor en las 10 fincas evaluadas, como indica la Tabla 8. En cuanto a la constricción basal, empleando una escala similar, arrojó el valor de 1.855 como el valor

mínimo y 2.085 para el valor máximo, es decir, la constricción basal predominante entre las mazorcas evaluadas es escasa. Como se indica también en la Tabla 8.

Tabla 8

Estadígrafos Descriptivos de la Forma del Fruto y Constricción Basal

ESTADÍGRAFO	FORMA DEL FRUTO	CONSTRICCIÓN BASAL
Media	1,76	1,96
Interv. De confianza	0,17	0,11
Mínimo	1,585	1,855
Máximo	1,935	2,085

Promedios máximos y mínimos con un intervalo de confianza del 0.05

Fuente: Alvarado B. Arturo, 2015.

Un resumen de los estadígrafos descriptivos de las características del fruto y las semillas se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9

Valores de los Estadígrafos de las Características Morfológicas en Frutos y Semillas

VARIABLES	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	RANGO	INTERVALO DE CONFIANZA
Peso del fruto (PF) gr.	588,065	189,478	905,188	38,101
Largo del fruto (LF) cm.	17,044	2,933	18,298	0,589
Ancho del fruto cm.	8,554	0,934	5,012	0,187
Peso de la cascara	480,807	170,220	827,427	34,229
Esp. cascara en lomo	1,285	0,340	1,15	0,068
Espesor del surco (ES).	0,965	0,297	1,13	0,059
Núm. de semillas/fruto	30,858	6,421	30,256	1,291
Peso semillas/fruto gr	107,236	35,938	222,853	7,226
Largo de semillas cm.	2,013	0,387	3,056	0,077
Ancho de semillas cm.	1,061	0,200	1,619	0,040
Espesor semillas cm	0,785	1,780	17,638	0,358
Forma del fruto	1,764	0,871	3	0,175
Constricción basal	1,968	0,573	2	0,115

Fuente: Alvarado B. Arturo, 2015.

Se realizó el análisis de regresión intentando cuantificar la posible dependencia entre el peso de los frutos con las demás variables de caracterización del fruto y las semillas, los resultados se observan mediante la fórmula siguiente:

$$Y (\text{fruto}) = I + x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_{12}$$

Donde:

Y = Peso del fruto

I = Intersección

X₁ = Largo del fruto

X₂ = Ancho del fruto

X₃ = Peso de la cascara

- X₄**= Espesor de la cascara en el lomo
X₅= Espesor de la cascara en el surco
X₆= Número de semillas
X₇= Peso total de semillas por fruto
X₈= Largo de semillas
X₉= Ancho de semillas
X₁₀= Espesor de semillas
X₁₁= Forma del fruto
X₁₂= Constricción basal

$$Y(\text{fruto})=0.397+0.0023x_1-0.0004x_2+0.999x_3-0.136x_4+0.074x_5-0.0013x_6+0.999x_7+0.280x_8-0.572x_9+0.002x_{10}-0.015x_{11}-0.066x_{12}.$$

La Tabla 10 indica, los coeficientes de regresión de las diferentes variables en el peso del fruto, mostrando al peso de la cáscara y el peso total de semillas por fruto los valores positivos y significativos (8.942 y 2.090 respectivamente) con un margen de probabilidad menor al 0.05.

Tabla 10

Coefficientes de la Regresión de Variables sobre el peso del fruto

VARIABLES	COEFICIENTES	PROBABILIDAD
Intercepción	0,397	0,210
Largo del fruto (LF) cm.	0,002	0,878
Ancho del fruto (AF) cm.	-0,001	0,992
Peso de la cáscara (PC) gr.	0,999	8,94E-218 *
Espesor de la cáscara en el lomo cm.	-0,136	0,567
Espesor del surco (ES).	0,074	0,775
Número de semillas por fruto (NSP).	-0,001	0,745
Peso total de semillas/fruto (PS) gr.	0,999	2,09E-172 *
Largo de semillas (LS) cm.	0,280	0,368
Ancho de semillas (AS) cm.	-0,572	0,340
Espesor de semillas (ES) cm.	0,002	0,865
Forma del fruto (LF/AF).	-0,015	0,589
Constricción basal (CB).	-0,066	0,126

Datos de probabilidad y significancia al 0.05

Fuente: Alvarado B. Arturo 2015

Caracterización de Flores

Tabla 11

Estadísticos Descriptivos de los sépalos

ESTADÍSTGRAFO	LARGO DE SÉPALO	ANCHO DE SÉPALO
Media	0,873	0,201
Interv. de confianza	0,014	0,002
Mínimo	0,859	0,199
Máximo	0,886	0,204

Promedios máximos y mínimos con un intervalo de confianza del 0.05

Fuente: Alvarado B. Arturo, 2015.

La Tabla 11 detalla los valores promedios de las variables largo y ancho de sépalos con medias de 0.87 cm, y como valor máximo de ancho de sépalo un promedio de 0.203 cm. En cuanto al largo y ancho de la lígula la medición se la realizó con la ayuda de una hoja milimetrada y se obtuvieron los valores que muestra la Tabla 12 donde se observan medias de 0.67 y 0.213 cm respectivamente.

Tabla 12

Estadígrafos Descriptivos del largo y ancho de la lígula

ESTADÍGRAFOS	LARGO DE LA LÍGULA	ANCHO DE LA LÍGULA
Media	0,671	0,213
Interv. de confianza	0,008	0,007
Mínimo	0,664	0,205
Máximo	0,680	0,221

Promedios máximos y mínimos con un intervalo de confianza del 0.05

Fuente: Alvarado B. Arturo, 2015.

El largo del estaminoide y del estilo obtuvieron medias de 0.58 y 0.28 cm respectivamente como aparecen en la Tabla 13.

Tabla 13

Estadígrafos Descriptivos del Largo del Estaminoide y del Estilo

ESTADÍGRAFOS	LARGO DEL ESTAMINOIDE	LARGO DEL ESTILO
Media	0,580	0,280
Interv. de confianza	0,018	0,006
Mínimo	0,561	0,274
Máximo	0,598	0,286

Promedios máximos y mínimos con un intervalo de confianza del 0.05

Fuente: Alvarado B. Arturo, 2015.

Tabla 14

Estadígrafos Descriptivos del Largo y Ancho del Ovario

ESTADÍGRAFOS	LARGO DEL OVARIO	ANCHO DEL OVARIO
Media	0,208	0,185
Interv. de confianza	0,001	0,004
Mínimo	0,206	0,180
Máximo	0,209	0,189

Promedios máximos y mínimos con un intervalo de confianza del 0.05

Fuente: Alvarado B. Arturo, 2015.

La Tabla 14 refleja promedios para el largo y ancho del ovario de 0.21 y 0.185 cm respectivamente. La Tabla 15 expresa la forma de la lígula, (basada en la multiplicación del largo de la lígula por ancho de la lígula) y el largo del pedúnculo. El largo del pedúnculo (2.01 cm promedio) y la forma de lígula (3.19) se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15*Estadígrafos Descriptivos de la Forma de la Lígula y Largo del Pedúnculo*

ESTADÍGRAFOS	FORMA DE LA LÍGULA	LARGO DEL PEDÚNCULO
Media	3,191	2,013
Interv. de confianza	0,109	0,068
Mínimo	3,082	1,944
Máximo	3,300	2,082

Promedios máximos y mínimos con un intervalo de confianza del 0.05

Fuente: Alvarado B. Arturo, 2015.

En la Tabla 16 se muestran las variables descriptivas: promedios, desviaciones estándar e intervalos de confianza generales de todas las variables morfológicas especificadas en las flores.

Tabla 16*Estadígrafos Descriptivos de las Características Morfológicas en Flores*

VARIABLES	PROMEDIO	DESV. ESTÁNDAR	RANGO	INTERV. DE CONFIANZA	COEFICIENTE DE VARIACION
Largo del sépalo	0,873	0,067	0,425	0,014	7.67
Ancho de sépalo	0,201	0,012	0,070	0,002	5.97
Largo de la lígula	0,672	0,040	0,230	0,008	5.95
Ancho de la lígula	0,213	0,037	0,343	0,007	17.37
Largo del estaminoide	0,580	0,092	0,588	0,019	15.86
Largo del estilo	0,280	0,029	0,130	0,006	10.36
Largo del Ovario	0,208	0,009	0,045	0,002	4.33
Ancho del Ovario	0,185	0,022	0,214	0,004	11.89
Forma de la lígula	3,192	0,542	3,901	0,109	0.02
Largo del pedúnculo	2,013	0,342	4,116	0,069	0.02

Fuente: Alvarado B. Arturo, 2015.

Los valores de estas variables florales fueron sometidos a un análisis de regresión donde se tomó como variable de referencia o variable independiente el largo del sépalo (y). Las significaciones estadísticas de estos coeficientes de regresión aparecen en la Tabla 17, siendo significativos: ancho de sépalo, largo del ovario, forma de la lígula y largo del pedúnculo.

$$Y \text{ (largo/sépalo)} = I + X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_9$$

Donde:

Y = Largo del sépalo

I = Intersección

X₁ = Ancho del sépalo

X₂ = Largo de la lígula

X₃ = Ancho de la lígula

X₄ = Largo del estaminoide

X₅ = Largo del estilo

X₆ = Largo del ovario

- X_7 = Ancho del ovario
 X_8 = Forma de la lígula
 X_9 = Largo del pedúnculo

$$Y_{(\text{largo/sépalo})} = 0.289 + 1.090x_1 - 0.021x_2 + 0.136x_3 - 0.146x_4 + 0.125x_5 + 1.386x_6 + 0.334x_7 + 0.056x_8 - 0.063x_9$$

Tabla 17

Variables relacionadas con en el Largo del Sépalo

VARIABLES	COEFICIENTE	PROBABILIDAD
Intercepción	0,289	0,128
Ancho de sépalo	1,091	0,017*
Largo de la lígula	-0,021	0,891
Ancho de la lígula	0,136	0,391
Largo del estaminoide	-0,146	0,091
Largo del estilo	0,125	0,498
Largo del Ovario	1,386	0,030*
Ancho del Ovario	0,334	0,174
Forma de la lígula	0,056	0,001*
Largo del pedúnculo	-0,063	7,4E-05*

Datos de probabilidad y significancia al 0.05

Fuente: Alvarado B. Arturo, 2015.

Variables de acuerdo con el Tipo de Variedades o Razas de Cacao.

Los valores medidos u observados de variables en plantas de acuerdo con su variedad muestran los siguientes resultados.

La variable número de semillas por fruto es muy similar entre las 4 variedades presentes en el cantón Naranjal siendo el promedio más alto el perteneciente al cacao tipo forastero con un valor de 34.46 semillas por fruto sobre el resto de las variedades (Tabla 18).

Tabla 18

Resultados de la Comparación de Medias para el Número de Semillas por Frutos por Variedades

Nº	VARIETADES	PROMEDIOS	Significancia
1	Forastero	34,46	a
2	Trinitario	32,00	a
3	Nacional	31,68	a
4	Criollo	30,27	a
	P. GENERAL	32,10	
	C. V.	20,06	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Fuente: Alvarado B. Arturo, 2015.

La Tabla 19 muestra que la forma predominante de los tipos forastero y trinitario es cundeamor con expresión intermedia entre cundeamor y angoleta en los tipos criollo y nacional.

Tabla 19*Resultados de la Comparación de Medias para Forma del Fruto por Variedades*

N°	VARIEDADES	PROMEDIOS	Significancia
1	Forastero	2,38	a
2	Trinitario	2,00	a
3	Nacional	1,74	a
4	Criollo	1,68	a
P. GENERAL		1.95	
C. V.		47,18	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Fuente: Alvarado B. Arturo, 2015.

El color del fruto, según la escala nominal empleada mostró un coeficiente de variación muy elevado (57.27%). La variedad forastera obtuvo una coloración entre anaranjado y morado, el nacional mostró coloración entre rojo y anaranjado, mientras que el trinitario presentó coloración rojiza, así mismo el criollo es el que muestra coloración amarilla (Tabla 20).

Tabla 20*Resultados de la Comparación de Medias para el color del Fruto por Variedades*

N°	VARIEDADES	PROMEDIOS	Significancia
1	Forastero	3,77	a
2	Nacional	2,32	b
3	Trinitario	2,00	bc
4	Criollo	1,14	c
P. GENERAL		2.31	
C. V.		57,27	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Fuente: Alvarado B. Arturo, 2015.

La Tabla 21 referente a la variable rugosidad del fruto del fruto, de acuerdo con la escala nominal empleada, muestra que la variedad forastera tiene un fenotipo con pericarpio liso, por su parte el tipo trinitario ofrece una textura entre semi-rugoso y liso, la variedad nacional con rugosidad también entre semi-rugoso y liso, mientras tanto el de tipo criollo muestra pericarpio rugoso.

Tabla 21*Resultados de la Comparación de Medias para la textura del Fruto por Variedades*

N°	VARIEDADES	PROMEDIOS	Significancia
1	Forastero	3,00	a
2	Trinitario	2,50	b
3	Nacional	2,32	b
4	Criollo	1,05	c
P. GENERAL		2.22	
C. V.		20,27	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Fuente: Alvarado B. Arturo, 2015.

De acuerdo con la Tabla 22 referente a la constricción basal, los datos ofrecidos por la escala aplicada indica que las variedades tipo trinitario, forastero y nacional presentan una

constricción basal entre escasa e intermedia, y la del tipo criollo de una constricción basal entre ausente y escasa.

Tabla 22

Resultados de la Comparación de Medias para la Constricción Basal Fruto por Variedades

Nº	VARIETADES	PROMEDIOS	Significancia
1	Trinitario	2,50	a
2	Forastero	2,46	a
3	Nacional	2,37	a
4	Criollo	1,76	b
P. GENERAL		2.27	
C. V.		24,08	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Fuente: Alvarado B. Arturo, 2015.

En la Tabla 23 se muestran resultados relativos a la forma del ápice, indicando forma obtusa en las variedades de tipo criollo, nacional, trinitario y aguda en el caso del forastero.

Tabla 23

Resultados de la Comparación de Medias para la Forma del Ápice en las diferentes variedades

Nº	VARIETADES	PROMEDIOS	Significancia
1	Criollo	3,05	a
2	Nacional	2,95	a
3	Trinitario	2,75	a
4	Forastero	2,46	a
P. GENERAL		2.80	
C. V.		38,41	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Fuente: Alvarado B. Arturo, 2015

Los promedios para largo del fruto se presentan en la Tabla 24, no muestran diferencias significativas entre las 4 variedades, siendo el promedio más alto el de la variedad de tipo criollo con un valor de 17.69 (cm). Sobre el resto de variedades.

Tabla 24

Valores Promedio del largo del fruto por variedades

Nº	VARIETADES	PROMEDIOS	SIGNIFICANCIA
1	Criollo	17,69	a
2	Forastero	16,38	a
3	Trinitario	16,25	a
4	Nacional	15,93	a
P. GENERAL		17.10	
C. V.		16,63	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Fuente: Alvarado B. Arturo, 2015

Los promedios del ancho del fruto aparecen en la Tabla 25, sin diferencias significativas entre las variedades, logrando el promedio mayor la variedad de tipo trinitario con 8.59cm.

Tabla 25*Valores Promedio de Ancho del Fruto por variedades*

Nº	VARIETADES	PROMEDIOS	SIGNIFICANCIA
1	Trinitario	8,99	a
2	Criollo	8,59	a
3	Forastero	8,52	a
4	Nacional	8,47	a
P. GENERAL		8.64	
C. V.		10,89	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Fuente: Alvarado B. Arturo, 2015

Discusión

Peña (2003) indica que para realizar una caracterización morfológica no se deben tomar en cuenta las características físicas del árbol en si como las antes mencionadas ya que pueden existir diferencias en esta variable de acuerdo con la zona y manejo del cultivo, índice de sombreado, etc. En este estudio los coeficientes de variación fueron variables, por ejemplo, resultaron del 10,89% para el ancho de semillas; y 20,26% para el número de semillas/fruto en variables no codificadas a escala; de 20,27% en la rugosidad del fruto; y 57,21% variables codificadas mediante escalas utilizadas de forma arbitraria.

Pesantes (2014), indicó que al caracterizar cacao de tipo nacional en la Estación Experimental Litoral Sur del INIAP, los valores para el coeficiente de variación resultaron de 6.30% para el largo de semillas y 26.28% para el peso total de semillas por fruto, otros autores señalan valores entre 9.22% y 33.85%. Pesantes (2014) señaló que las variables más importantes para realizar un trabajo de caracterización en frutos son el peso del fruto y el número de semillas por fruto teniendo como promedios del peso del fruto 611.97 y la media para número de semillas por fruto 32.69, valores que se asemejan al presente trabajo de investigación.

Conclusiones

Las variedades encontradas entre las fincas evaluadas son la variedad de tipo forastero con un 13.68%, criollo con un 62.11%, nacional con un 20% y trinitario con un 4.21%.

Los caracteres de mayor importancia para la caracterización se encuentran en el fruto entre los cuales se tienen en cuenta la forma del fruto, coloración del fruto forma del ápice, constricción basal, rugosidad del fruto, peso del fruto, largo del fruto, ancho del fruto, número de semillas por fruto, peso de lascara. Mientras que en la flor se tiene como características importantes el largo del estilo, largo del sépalo, largo de la lígula, largo del ovario, ancho del ovario, y numero de óvulos por ovario lo cual tiene relación con el número de semillas por fruto.

En este trabajo de caracterización no se ha tomado en cuenta el aspecto fisiológico, físico y molecular de las plantaciones de cacao, lo cual podría generar información específica para producir nuevos materiales genéticos.

Referencias

Águila L, Alfonso M., Jimenez C. y Mesías M., 2012. Caracterización morfológica y sensorial del cacao nacional (teobroma cacao) a nivel de fincas en el cantón las naves, provincia bolívar. Tesis De Grado. Repositorio Universidad Estatal de Bolivar. Enlace del recurso

<http://dspace.ueb.edu.ec/handle/123456789/1031>. Rights openAccess

- Arguello M., 2001. Tipos de Cacao. Tesis, Agroedit, Cuenca.
- Ayestas, E., et al. 2013. Caracterización de árboles promisorios de cacao en fincas orgánicas de Waslala, Nicaragua. Agroforestería en las Americas: 1-8.
- Bartley B.G.D., 2000. An Explanation of the Meaning of the Term and its relationship to the Introductions from Ecuador. B.G.D.
- Braudeau, J. 2000. «El cacao. Colección Agricultura Tropical.» Barcelona ES. (Editorial Blume.): 304 p.
- Dejean, M. (1984). Floración del cacao. Boletín informativo del Cacao, San José, CR, 1(3), 1-3.
- End MJ, Daymond AJ, Hadley P, editors. 2010. Technical guidelines for the safe movement of cacao germplasm (Revised from the FAO/IPGRI Technical Guidelines No. 20). Global Cacao Genetic Resources Network (CacaoNet), Bioversity International, Montpellier, France. ISBN 978-92-9043-871-7
- Enríquez, G., 2004. Cacao orgánico: Guía para productores ecuatorianos. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Quito: Quito Ediciones, segunda edición, 360p.
- Enríquez, G., & Soria, V. (1967). Selección y estudio de los caracteres útiles de la flor para la identificación y descripción de cultivares de cacao. Cacao, (Costa rica) 12(1): 8-16.
- Franco, T. L. e Hidalgo, R. (eds.). 2003. Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos. Boletín técnico no. 8, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia. 89 p.
- MAG/IICA. 2001. Identificación de mercados y tecnología para productos agrícolas tradicionales de exportación. Quito, Ecuador. 45 p.
- Mosquera, B. 2015. Importancia económica del cacao orgánico (*Theobroma cacao*) en el Ecuador. Tesis de pregrado. Universidad de Babahoyo. <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/9226/E-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000302.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Motomayor J.C., Risterucci A.M., López P.A., Ortiz C.F., Moreno A.Lanaud C. 2002. Cacao domestication I: The origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Heredity* 89, 380–386.
- Municipalidad de Naranjal, 2010. Estadísticas Agropecuarias. Naranjal. Guayas, Ecuador.
- Ostendorf, F. W. (1965). Identifying characters for cacao clones crop. Reuniao do Comitê Técnico Interamericano do Cacau, VI Salvador, Bahia, Brasil, 89-110.
- Peña Monserrate, G.R. (2003). Caracterización morfológica de 57 accesiones de cacao (*Theobroma cacao* L.) tipo nacional del banco de germoplasma de la Estación Experimental Tropical Pichilingue. (Tesis de Ingeniería). Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ingeniería Agronómica, Escuela de Agronomía, Manabí, Ecuador.
- Pérez, A. 1996. Variedades de Cacao y sus Características. Cali, Colombia: Ed. Lucas.
- Pesantez, A. 2014. Caracterización morfológica y de rendimiento de 26 clones de cacao (*theobroma cacao* l.) considerando características de 6 genotipos identificados en la zona de Yaguachi provincia del Guayas. 2014tesis de ingeniero agrónomo. Guayaquil. Tesis de pregrado Repositorio Universidad Agraria del Ecuador. <https://cia.uagraria.edu.ec/index.php>
- Pound, F. (1933) Criterios y Métodos de Selección en Cacao. Segundo Informe Anual de Investigaciones sobre Cacao, 27-29.
- Quiróz J.G. 1997. Recolección de Genotipos y Establecimiento de un Banco de Germoplasma de Cacao Nacional. Estación Experimental Tropical Pichilingue INIAP Boletín Técnico 75.

Quiroz, J. 2009. La producción de cacao, programa de capacitación a facilitadores y agricultores en la cadena de cacao. Quito Ecuador: Consorcio Camaren.

Romero C, et al 2010. Identificación varietal de plantas de cacao. Tecnológica ESPOL, 2: 5.

Williams, J.T.; Damania, A.B. 1981. IPGRI. (International Plant Genetic Resources Institute), Industrial Crops: Cacao, Coconut, Pepper, Sugarcane and Tea. 50 p.

Anexos

Anexo 1: Ubicación de las fincas productoras de cacao del cantón Naranjal



Fuente: Google earth

TIC e Ingenierías



Metodología para administración de falla, desgaste y obsolescencia en gestión de activos industriales

Methodology for management of failure, wear and obsolescence in industrial asset management

Víctor Martín Pérez Moreno¹ <https://orcid.org/0000-0001-9466-7954>

¹Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela
vmperezm@gmail.com



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.

Enviado: 2022/03/15

Aceptado: 2022/12/13

Publicado: 2022/12/30

Resumen

Este estudio permite instrumentar técnicas para administrar fallas, evaluar el desgaste y parametrizar la obsolescencia de equipos industriales, con el fin de disminuir la incertidumbre y garantizar el acompañamiento guiado del equipo natural de trabajo con el propósito de aportar confiabilidad en el ciclo de vida, mitigar las averías y remplazos, y promover el cumplimiento de la gestión de activos, asociando la integridad mecánica y la formulación de aleaciones. Según el análisis de resultados, se fortalecen las conceptualizaciones de estudios en tribología e ingeniería, además de establecer mejoras para no conducir a diagnósticos errados y malas decisiones. Se concluye que el estudio permite garantizar mayor utilidad y eficiencia productiva y económica en operaciones industriales en el cumplimiento de las órdenes de trabajo, además de instrumentar procedimientos rutinarios con las herramientas formuladas, tanto cuantitativas como cualitativas, que permitan pronosticar mejoras en la vida remanente de las máquinas y en los sistemas de producción, con miras a la sostenibilidad.

Palabras clave: fallas, desgaste, obsolescencia, gestión de activos, producción.

Abstract

This study allows the implementation of techniques to manage failures, evaluate wear and parameterize the obsolescence of industrial equipment to reduce uncertainty and guarantee the guided monitoring of the natural work team to provide reliability in the life cycle, reduce breakdowns and replacements, and promote asset management compliance, associate mechanical integrity and alloy formulation. According to the analysis of results, the

Sumario: Introducción, Desarrollo, Discusión y Resultados, y Conclusiones.

Como citar: Pérez, V. (2022). Metodología para Administración de Falla, Desgaste y Obsolescencia en Gestión de Activos Industriales. *Revista Tecnológica - Espol*, 34(4), 99-119.
<http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/887>

conceptualizations of studies in tribology and engineering are strengthened, in addition to establishing improvements so as not to lead to wrong diagnoses and bad decisions. It is concluded that the study allows to guarantee greater usefulness and productive and economic efficiency in industrial operations in the fulfillment of work orders, in addition to implementing routine procedures with the formulated tools, both quantitative and qualitative, that permit forecasting improvements in the remaining life of machines and production systems with a view to sustainability.

Keywords: failures, wear, obsolescence, asset management, production.

Introducción

De acuerdo con la Organización Internacional del Trabajo – OIT (2006), la Ingeniería en general tiene entre sus funciones construir, reparar y mantener objetos y productos que son empleados en estudios y aplicaciones industriales. Desde esa perspectiva, Francés (2006) establece la formulación de estrategias como garantía del éxito en la planeación, ejecución y control. En ese sentido, el presente estudio expone un planteamiento que concibe garantizar la vida remanente de los activos a través de ilustraciones, que permitan formular instrumentaciones para tomar decisiones en relación con el deterioro involuntario a que están sometidos los activos industriales, tanto estáticos como dinámicos (Pérez, 2020), y que en términos productivos afecta los estándares de una gestión, que exige generar habilidad para fundamentar la toma de decisiones acertadas.

Considerando estas premisas, en este artículo se propone una visión moderna para minimizar las fallas, el desgaste y la obsolescencia de equipos industriales. Dicha propuesta se expone a través de ámbitos mecánicos, metalúrgicos, estadísticos e industriales, y con fundamento en la mejora continua del proceso Gestionar Activos, permitiendo un estudio cualitativo y cuantitativo (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2012) a fin de estimular una producción de clase mundial y con base en la Tribología y en sus mecanismos de desgaste, fricción, adhesión, lubricación, abrasión y corrosión (Bustamante y Restrepo, 2005).

Ello se justifica ya que se establece un esquema investigativo de la tasa y probabilidad de fallas, causas y efectos sobre el sistema y mantenimiento de dichos equipos, propiciando aplicaciones para mitigar desgastes y estudiar aleaciones con diferente tenacidad y aumento de la resistencia y dureza de los metales, de acuerdo con los planteamientos de Suárez (2011), la Norma Española UNE-EN 16646 (2015), Sydney (1976), American Society for Metals (1948 y 1961), American Society for Testing Materials (1937) y Zum (1987).

El desgaste y los rasgos destructivos de los metales y superficies sólidas, en contacto y sin ningún tipo de lubricación, van a depender del tipo de irregularidades superficiales que compongan la pieza (Zum, 1987). En tal sentido, se destaca en este esquema metodológico argumentativo un enfoque donde la gestión de activos se realiza bajo estudios de análisis de fallas y la Ley de Archard, lo que permite predecir la variación de las áreas desgastadas de componentes mecánicos, además de valorar desde esta óptica su vida útil y mantenibilidad (Bustamante & Restrepo, 2005), facilitando la mitigación de la falla como un tópico especial en un estado de uso (o abuso) en índices de mantenibilidad y aplicaciones predictivas, a condición de reducir tiempos para el reparo (Duffuao, 2002 y Ávila, 1992).

En esta indagatoria se destacan criterios de obsolescencia investigados por el autor para instituir reemplazos y conjugar componentes principales como: el cumplimiento de la vida útil, la incapacidad de producción, la indisponibilidad de repuestos, el avance tecnológico, el

ambiente y seguridad; en estos factores se consideran las orientaciones de autores como Beichelt (2001). Así mismo, se considera la última etapa del ciclo de vida del activo (ISO 55000, 2014) y se propone una mayor atención a las máquinas; al respecto, se enfatiza en el mantenimiento, considerando a Mora (2009) y Mullor (2009).

Tomando en cuenta estas deducciones, la metodología planteada en este artículo se fundamenta en la premisa de que la principal función del mantenimiento es trabajar (actividades y frecuencias) para que los activos no se dañen. Desde ese enfoque, y desde el punto de vista filosófico, se destaca el Mantenimiento Productivo Total, según Nakajima (1991), como una corriente utilizada en muchos países, que involucra métodos eficaces.

En otra vertiente, este estudio considera enérgicamente la preservación del ambiente y la seguridad de la gente, destacando el criterio de dar espacio a futuras investigaciones, en correspondencia a lo que pudiera ser la Terotecnología y sus componentes principales, que se pueden medir estadísticamente y relacionarlos con otros elementos que potencien la calidad de la Gestión de activos, fortaleciendo así los cimientos filosóficos y conceptuales sujetos a estudios, tal como se plantea en Pérez (2018) y en Pérez (2020).

Cabe destacar ciertas ilustraciones innovadoras que impulsen la confiabilidad operacional y a factores como los desarrollados por Guillen (2018), sobre la gestión de activos y el ciclo de vida de los activos físicos, así como la confiabilidad, tasas de fallas y modelos matemáticos (Suárez, 2011), lo que permite establecer elementos fundamentales para la calidad del mantenimiento.

En este artículo también se persigue estudiar sobre los aspectos tecnológicos en ciencias de los materiales en determinadas aleaciones, lo que se perfila como una contribución para la toma de decisiones en el diseño de componentes para equipos en procesos industriales, relacionados a mantener la continuidad de la producción (Villanueva, Pérez-Tagle & De León, 1989), y minimizar fallas, así como en la creación para mantener equipos con miras a la productividad operacional.

Ante tal fin, se plantea en esta indagatoria que el tiempo de vida útil y la confiabilidad de los activos están relacionados a la calidad de los mismos luego de revisiones de estudios en tribología, que experimentan enseñanzas planteadas por Vite, et. Al (1994).

Considerando el momento en que se da inicio a la construcción de los primeros mecanismos, se presenta el desgaste de los elementos que los conforman (Tristancho, Higuera, & Flórez, 2007), obteniendo de estas argumentaciones como objetivo central el fortalecimiento moderno para la ingeniería de la gestión de activos (Guillen, 2018), lo que permite innovar a través de una composición en este estudio del desgaste, fallas y obsolescencias de manera práctica y conceptual, para así proporcionar conocimientos que maximicen la eficiencia en el acompañamiento del ciclo de vida del activo (Tristancho, Higuera, & Flórez, 2007), facilitando la disminución del impacto al administrar fallas y adecuar el modelo a la magnitud del desgaste y sus distintas variables estudiadas, como lo son velocidad y la naturaleza de las superficies en contacto, y la eficacia de técnicas de mitigación destacadas por Sydney (1976). En tal sentido, se hace énfasis en el artículo de la posibilidad de generar mediciones y evaluar el desempeño en cada tópico objeto de estudio, así como promover un esquema modelado para alcanzar las metas empresariales dentro del contexto de la Ingeniería Industrial (El-Akruti, Dwight, Zhang & Al-Marsumi, 2015).

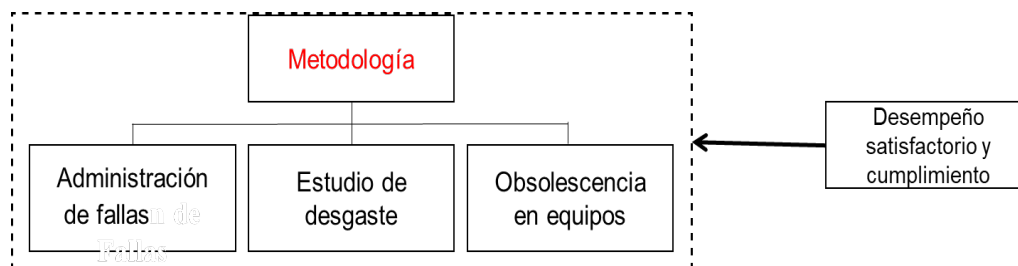
La formulaci3n de este estudio tiene como prop3sito acompa1ar, a trav3s del equipo natural de trabajo, y apoyado en la Familia de Normas Británicas (ISO 55000, 2014), lo relativo a la gesti3n de activos desde un esbozo operativo de polític3s de remplazo y desgastes, adem3s de caracterizar las fallas seg3n la Normas COVENIN 3049-93 (1993) y OREDA(2012), de manera de garantizar el 3xito de la gesti3n de activos con aplicaciones industriales y mecánicas de amplio valor pr3ctico y en la b3squeda de mejoras en la producci3n y aumento de los tiempos de buen funcionamiento, siempre apegados a la Norma Espa1ola UNE-EN 16646 (2015) de los activos, y sin descuidar el ambiente y seguridad, as3 como a la Norma Internacional ISO 14001 (2015) y la Norma Internacional ISO 45001 (2018) para la gesti3n de operaciones en la direcci3n de activos, tal como lo establece Malav3 (2015) en su tesis doctoral referida a la posible mejora de la gesti3n de activos f3sicos. Agregándose desde otro punto de vista la inventiva y la evoluci3n y el manejo de activos de mucho uso, como es caso de estudio del Departamento de Transporte del Estado de New York (2013). Sin embargo, cabe destacar que a3n hay vacíos en la ciencia para definir e instrumentar la gesti3n de activos como un proceso sistemático y multidisciplinario, aplicable para el manejo beneficioso de un buen n3mero de procesos industriales y sus relaciones multivariantes, base para pr3ximas investigaciones.

Para los dedicados a la gesti3n de activos, se plantea la siguiente metodol3gía compuesta por parámetros, procedimientos, t3cnicas y herramientas notables para mejorar el impacto en el desempe1o satisfactorio, bajo una visi3n de administraci3n de fallas con atenci3n de manera especial en el estudio del desgaste, para luego plantear una esquematizaci3n sobre aplicaciones de obsolescencia. Esta relaci3n metodol3gica, planteada en la relaci3n del trinomio estudiado, est3 instrumentada por hallazgos que permitieron desarrollar este m3todo considerando el estado del arte sobre el tema objeto de estudio, y considerando normas nacionales e internacionales, adem3s de tener en cuenta regulaciones de cumplimiento con miras a la sostenibilidad, justificando la importante atenci3n a la Seguridad y el Medio Ambiente.

Todo esto logra un objetivo en com3n que es mejorar el desempe1o y cumplimiento satisfactorio, ya que se identificaron los componentes principales y los factores que inciden en cada uno de los elementos, y la instrumentaci3n de todo lo descrito en el m3todo se explica en el desarrollo del art3culo. En la Figura 1, se muestra el esquema conceptual donde se destaca la relaci3n que persigue la metodol3gía planteada en este estudio.

Figura 1

Esquema Conceptual



Es por ello que este estudio argumentativo fortalece el c3mo instrumentar la gesti3n de activos mediante estrategias para la mejora de la producci3n y la confiabilidad, adem3s de distintas 3reas vinculadas a sistemas de gesti3n de la producci3n y operaciones industriales (Chase, et. al., 2000) bajo recomendaciones de la Norma UNE 60300-3-3:2017 (2017), en confiabilidad para desarrollar objetivos operacionales e identificar oportunidades de mejora, y

para construir políticas para el control y dirección de los activos, fortaleciendo los sistemas de gestión para una buena producción.

Al respecto, se consideró en este estudio elementos novedosos de la ISO Organización (2021), en la Norma ISO 37301:2021 en sistemas de gestión de cumplimiento, al implementar, desarrollar, evaluar, mantener, auditar y mejorar el sistema de gestión para prevenir riesgos de incumplimiento; se presentan los siguientes planteamientos ampliados en el artículo, Tabla 1:

Tabla 1

Metodología, Componentes Principales y Factores que Instrumentan el Estudio.

A. Desempeño satisfactorio y cumplimiento	Conformación del equipo natural de trabajo (ENT).
	Mantenibilidad.
	Mantenimiento Predictivo.
B. Administración de fallas	✓ <i>Estudio Causa raíz.</i>
	✓ <i>Clasificación de las fallas</i>
C. Estudio de desgaste	✓ <i>Referencia al desgaste y ley de Archard.</i>
	✓ <i>Protección contra el desgaste</i>
	✓ <i>Principios de las aleaciones resistentes al desgaste.</i>
D. Obsolescencia en equipos	✓ <i>Cumplimiento de la vida útil</i>
	✓ <i>Incapacidad de producción.</i>
	✓ <i>Indisponibilidad de repuestos.</i>
	✓ <i>Avance tecnológico.</i>
	✓ <i>Ambiente y seguridad.</i>

Metodológicamente, este estudio plantea mejorar el desempeño centrado en administración de fallas y en el estudio del desgaste y obsolescencia en las operaciones industriales. Al respecto, se establece un arqueo documental descriptivo (Arias, 2006), apoyado en el Modelo Argumentativo de Toulmin (Toulmin, 2003) y en aportes de Pinochet (2015), desarrollado en el Laboratorio para Investigación y Enseñanza del Mantenimiento (LIEMA) además de estudios preliminares en el Centro de I+D en Termo-fluidodinámica y Mantenimiento (CTYM).

Desarrollo

Desempeño Satisfactorio y Cumplimiento

En el desarrollo del artículo, se describen procedimientos bajo una combinación provechosa de factores cualitativos y cuantitativos (Blanchard, 1997), permitiendo conocer cuando el equipo falla y estudio del desgaste mecánico y la obsolescencia (Leemis, 1995). A continuación, se menciona y explica cada uno de los aspectos que contempla este método.

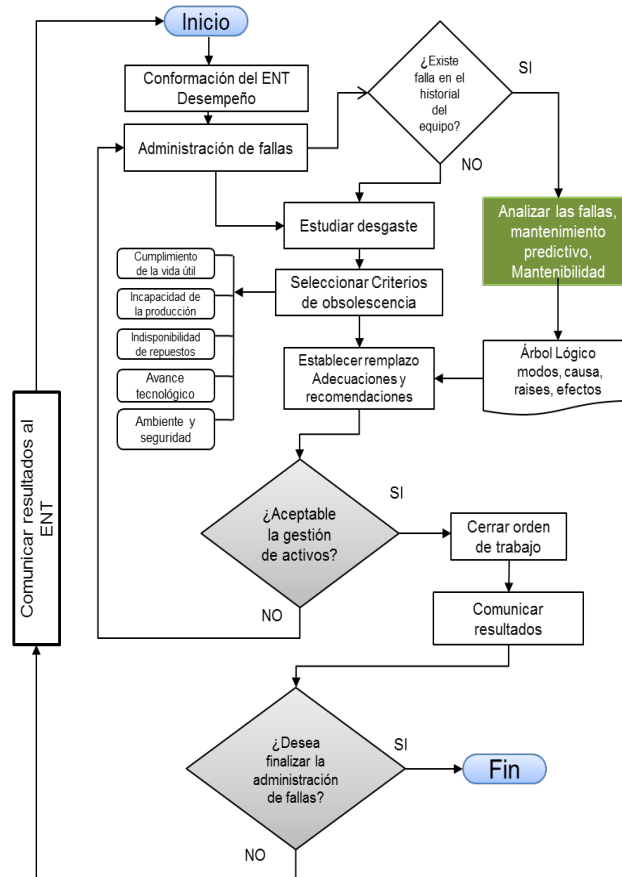
Conformación del equipo natural de trabajo (ENT)

Se propone la conformación del equipo de trabajo, según Pérez (2018), para promover dinámicas argumentativas y recolección de información bajo una serie de actividades grupales, para poner en funcionamiento las variables del estudio y fortalecer el cúmulo de conocimientos a través de distintas visiones para originar un buen análisis de fallas y recoger todos los datos, según la metodología.

En la Figura 2, se presenta un esquema donde se expone el planteamiento metodológico en un diagrama de secuencia lógica y práctica.

Figura 2

Esquema de Investigación para el Estudio de Falla, Desgaste y Obsolescencia en Gestión de Activos Industriales:



Mantenibilidad

Cabe destacar que el factor, a la hora de devolver un principio de funcionamiento, es la mantenibilidad (Ver Ecuación 1) relacionada con la duración de las paradas por mantenimiento. Es interesante destacar estudios donde se fortalecen criterios teóricos y estadísticos con los de los autores Pérez, V. (2020), (Suárez, 2011).

$$M_{(t)} = P(T \leq t) = e^{-e^{-[a(t-\mu)]}} \quad (1)$$

Donde:

T: Tiempo requerido para reestablecer el equipo a sus condiciones de operación normal.

t: Tiempo preestablecido por la organización.

μ : Parámetro de escala.

a: Parámetro de dispersión.

Mantenimiento Predictivo

Establecer Mantenimiento Predictivo como un conjunto de técnicas que estudian la condición del activo. Al respecto, se destacan termografía, vibración, balanceo, ultrasonidos,

análisis y lubricantes (mejoran el diagnóstico), y se utilizarán equilibradamente de acuerdo con la naturaleza y la necesidad de los elementos a monitorear en el proceso.

Administración de las Fallas

Permite establecer una práctica sistemática y logística para determinar probabilidad, causas y consecuencias al estudiar y mitigar, destacando:

- Identificar los equipos y/o componentes que fallan.
- Estimar la probabilidad y tasa de fallas.
- Causas, consecuencias y efectos en el sistema.
- Mejorar los programas de mantenimiento, basados en fallas.

Se dice que un componente o equipo ha fallado cuando no puede o ha perdido la capacidad para cumplir su objetivo a satisfacción, ya sea en cantidad, calidad u oportunidad (Charles, 1997).

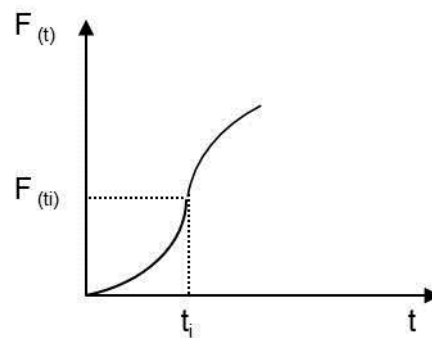
Matemáticamente, se propone la probabilidad de falla $F(t)$ de un equipo mediante la Ecuación 2:

$$F_{(1)} = \int_0^t f_{(1)} dt \quad t \geq 0 \quad (2)$$

A continuación, se describe la simulación del comportamiento de la probabilidad de falla en la Figura 3:

Figura 3

Curva Típica de Probabilidad de Falla:



Para argumentar el comportamiento estadístico, se presenta la tasa de fallas $\lambda(t)$ expresada según: (Suárez, 2011).

- falla/unidad de tiempo.
- Ciclos/unidad de tiempo.
- Km. Recorridos/unidad de tiempo.

En el estudio se propone las ecuaciones 3 y 4 para el cálculo de la tasa de falla $\lambda(t)$ para ensayos al argumentar reemplazo. Se recomienda fortalecer con parámetros de obsolescencia para argumentar las decisiones de reemplazo:

Caso 1. Los elementos que fallan son reemplazados en un instante Δt :

$$\lambda_{(t)} = \frac{C_{(\Delta t)}}{N_o * \Delta t} \quad (3)$$

Caso 2. Los elementos que fallan no son reemplazados (o no reparados):

$$\lambda_{(t)} = \frac{C_{(\Delta t)}}{Ns_{(t)} * \Delta t} = \frac{Ns_{(t)} - Ns_{(t+\Delta t)}}{Ns_{(t)} * \Delta t} \quad (4)$$

Donde:

No: Número inicial de piezas o partes.

$Ns_{(t)}$: Número de sobrevivientes al instante t.

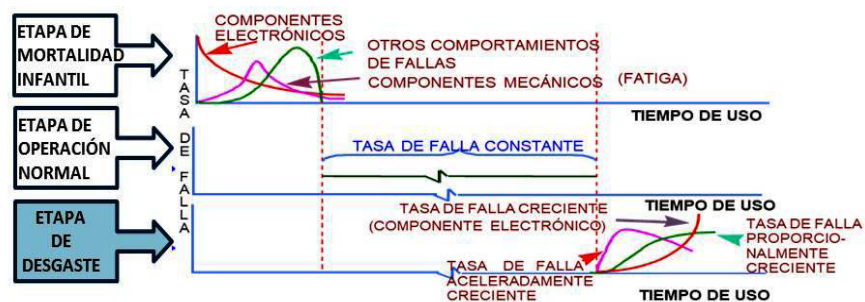
$Ns_{(t+\Delta t)}$: Número de sobrevivientes al instante t+ Δt .

$C_{(\Delta t)} = Ns_{(t)} - Ns_{(t+\Delta t)}$: Número de fallas durante el intervalo Δt .

La etapa de desgaste en las dimensiones tasa de falla y tiempo (ver Figura 4), donde en ella se destacan 3 casos de comportamientos en componentes mecánicos y electrónicos establecidos en el LIEMA.

Figura 4

Etapa de Desgaste:



A continuación, se simulan diferentes casos y comportamientos como argumentos resaltados en estudios de Suárez (2011):

- Tasa de falla creciente (exponencial positiva), componente electrónico.
- Tasa de falla que crece aceleradamente y luego decrece gradualmente (fatiga), componente mecánico.
- Tasa de falla proporcionalmente creciente, otro comportamiento.

El estudio establece generalidades, aunque cabe destacar que la tasa de falla aumenta con el tiempo y el equipo sufre un proceso de deterioro físico por el roce mecánico, que se encuentra entre las otras consideraciones o elementos que generan pérdidas de material estudiadas en este artículo en el tópico de desgaste, además de las causas que ocurren en buena medida por deterioro mecánico, fatiga, corrosión y deformación, las cuales normalmente generan puntos de acumulación de esfuerzos.

Estudio causa raíz

Se propone esta técnica para mitigar, destacando dos fortalezas:

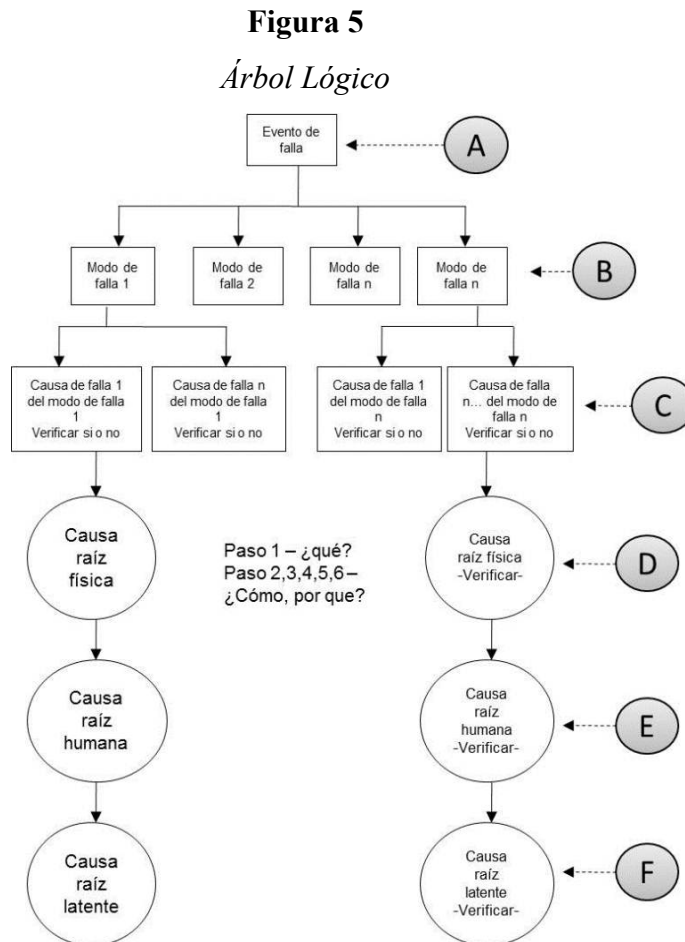
- Ampliar los periodos de buen funcionamiento.

- Análisis de fallas en componentes y equipos de manera física, humana y latente.

Clasificación de las fallas

Destacando internacionalmente clasificaciones como críticas, degradantes, incipientes y desconocidas; y, según la norma COVENIN 3049-93 (COVENIN, 1993), se clasifican de acuerdo con su alcance, velocidad de aparición, impacto y dependencia.

Buscando en este estudio su minimización y vigilancia para restaurar la funcionalidad a niveles aceptables de desempeño (Rigney, 1994), se destaca el siguiente esquema en la Figura 5 para mitigar fallas.



Estudio de Desgaste

Zum (1987) establece que el desgaste y la fricción de dos superficies sólidas en contacto y sin ningún tipo de lubricación dependen en gran parte del tipo de irregularidades superficiales que se involucren, estableciendo:

- Deformación elástica y plástica.
- Micro cortes.
- Perturbación de la adhesión.
- Ruptura.

De acuerdo con la revisión bibliográfica y la literatura referida a este estudio, se evidencia que en el momento en el cual se inicia la construcción de los primeros mecanismos, se presenta el desgaste de los materiales que los conforman, considerando desde el punto de

vista térmico que los trabajos desarrollados por investigadores, muestran como las temperaturas promedios en la superficie y el nivel de las asperezas son lo suficientemente elevadas para modificar drásticamente las propiedades mecánicas.

Por lo tanto, se propone a la ciencia algunas consideraciones como la regularidad de las tensiones en la zona de contacto, destacando así un elemento interesante para predecir la falla correctamente, así como la consideración de los mecanismos de desgaste de sistemas tribológicos; ello es sin duda la disciplina que estudia la interacción entre superficies en movimiento (desgaste, fricción, adhesión, y lubricación).

Se exhibe, en el caso particular del tópic, el desgaste a válvulas de motores de combustión interna que los siguientes requerimientos demandan: disminución de las emisiones gaseosas tóxicas, más potencia en el motor, menos consumo de combustible y aceite. El mecanismo en el fundamento del diseño que domina el proceso depende de los componentes del motor, de las condiciones de operación, las configuraciones del asiento y de la válvula, los materiales, y el tren de válvulas, entre otros.

El comportamiento de los componentes de máquinas y de materiales necesita ser optimizado para reducir los costos de operaciones. Este hecho ha impulsado la Tribología, destacando la fricción, la lubricación y el desgaste, y pone participaciones en estudios preliminares en el Centro de I+D en Termo-fluidodinámica y Mantenimiento (CTYM).

A modo de ejemplo, con una válvula donde se produce desgaste mecánico entre los siguientes componentes: válvula-asiento, guía-vástago, y leva-punta de válvula, se propone lo siguiente:

En referencia al desgaste y Ley de Archard, al emplear la expresión de Archard, ampliamente utilizada en la actualidad, se hace la salvedad que en diferentes investigaciones se aplica un modelo clásico formulado en 1953, el cual se emplea para el desgaste por deslizamiento en seco, pues plantea una variación del desgaste inversamente proporcional a la dureza del material y directamente proporcional a la carga aplicada.

Este estudio está en sintonía con el análisis de fallas en componentes mecánicos que pueden presentarse de cuatro formas diferentes de desgaste: abrasivo, adhesivo, corrosivo, fatiga.

Regularmente, las válvulas de admisión no se encuentran expuestas a químicos que produzcan oxidación, lubricación o restos de componentes como la combustión y el desgaste.

Se considera en este artículo la ecuación constitutiva para comprobar el volumen de material perdido por efecto del desgaste, formulada por Holm en 1946 y Archard en 1953. Así, la Ley Holm-Archard se evidencia en la Ecuación 5.

$$V = \frac{K * F_N * u_t}{H} \quad (5)$$

Donde:

V: Volumen de material perdido por efecto del desgaste.

F_N : Componente normal de la fuerza entre los cuerpos en contacto.

u_t : Desplazamiento relativo de los cuerpos en contacto.

H: Dureza del material.

K: Coeficiente dependiente de la rugosidad del material, lubricación entre los cuerpos en contacto, transferencia de calor (radiación, conducción, convección), etc. Su valor puede variar en un rango de 10^{-3} a 10^{-8} dependiendo de las condiciones de funcionamiento del componente aproximadamente.

Con el parámetro K se podría predecir el desgaste que se produce en componentes mecánicos. Se advierte que, para la obtención de valores de desgaste precisos, es necesaria una correcta caracterización con el modelo de Archard para cada par de materiales en contacto, considerando para futuros estudios temperaturas y condiciones de lubricación (Espinoza, 2011).

A partir de la expresión de Archard, (Modelo de contactos múltiples en superficies rugosas y modelo de desgaste mecánico), se destaca la Ecuación 6:

$$\Delta h = K \int_0^{L_t} \frac{\lambda(u_t) du_t}{H * A_a} \quad (6)$$

Donde:

H: es la altura de desgaste.

λ : es el multiplicador de Lagrange que denota la fuerza de contacto función del desplazamiento tangencial.

u_t y A_a : es el área de contacto.

Integrando numéricamente la Ecuación 6 y utilizando un esquema Backward Euler, se tiene la siguiente Ecuación 7:

$$\begin{cases} \Delta h_{n+1}^{desg} = \Delta h_n + K \frac{\lambda_{n+1} \Delta u_t}{H * A_{a_{n+1}}}, \\ \Delta h_{n+1}^{desg} = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Luego de estudiar estos modelos matemáticos, se proponen algunos materiales y procedimientos para la selección de aleaciones, a saber:

Protección contra el desgaste

Al establecer la elección del material, se requiere un análisis completo de las condiciones reales y conocimientos de las posibilidades de aplicación y limitaciones del procedimiento, del material elegido y del costo.

Así mismo, se proponen algunas técnicas que permitirán proteger ciertos materiales del desgaste, destacando que el contacto entre superficies ocurre bajo la influencia de los materiales, enfatizando superficies rozantes y la aparición de fallas:

- Recubrimientos electrolíticos.
- Oxidación anódica.
- Difusión.
- Metalizado.
- Recargues con metal duro.

- Tratamiento t́rmico.

Principios de las aleaciones resistentes al desgaste

Se presenta una clasificaci3n adecuada de aleaciones resistentes al desgaste en la Figura 5. Se argumenta que la tenacidad es inversamente proporcional al contenido en carbono, variando dentro de cada grupo el contenido en este elemento y obteniendo una amplia gama de aleaciones.

Exaltando de manera enriquecedora a la gesti3n de activos y para mejoras continuas en procesos industriales a propiedades mecánicas de máquinass, se tienen las siguientes aleaciones propuestas a continuaci3n en la Figura 6:

Figura 6

Clasificaci3n Simplificada de las Aleaciones Resistentes al Desgaste, Acotando la Descripci3n Pertinente en este Estudio

• Carburo de tungsteno	Máxima resistencia a la abrasión; las superficies desgastadas adquieren un aspecto rugoso.
• Fundiciones altas en cromo	Excelente resistencia a la erosión; resistencia a la oxidación.
• Fundiciones martensíticas	Excelente resistencia a la abrasión; gran resistencia a la compresi3n.
• Aleaciones de base cobalto	Resistencia a la corrosión; resistencia a la oxidación, resistencia en caliente y resistencia al creep.
• Aleaciones de base níquel	Resistencia a la corrosión; pueden tener también resistencia a la oxidación y al creep.
• Aceros martensíticos	Buena combinaci3n de la resistencia a la abrasión y al choque; buena resistencia a la compresi3n.
• Aceros perlíticos	Bajo costo; resistencia a la abrasión y al choque regulares.
• Aceros austeníticos	Endurecimiento por deformaci3n.
• Aceros inoxidabless	
• Aceros al manganeso	Resistencia a la corrosión.
• Metal babbitt (aleaciones de base de estaño, plomo, antimonio y cobre)	
	Resistencia a la fricci3n y desgaste usado en cojinetes.

Se puede decir en esta discusi3n de resultados que el tiempo de vida útil y confiabilidad de los componentes están íntimamente relacionados con sus propiedades tribol3gicas (resistencia a la fricci3n y al desgaste).

Con base en los mecanismos mostrados al inicio de este t3pico de desgaste, bajo estudios actualmente aceptados a nivel mundial, se observan distintos mecanismos de desgaste, como lo es la deformaci3n plástica. En el caso de la remoci3n por grumos, opera un mecanismo de tipo adhesivo y un mecanismo de “fatiga” a nivel superficial, asociado con el “ratchetting”, que es un comportamiento en el que la deformaci3n plástica se acumula debido a la tensi3n mecánica o t́rmica cíclica.

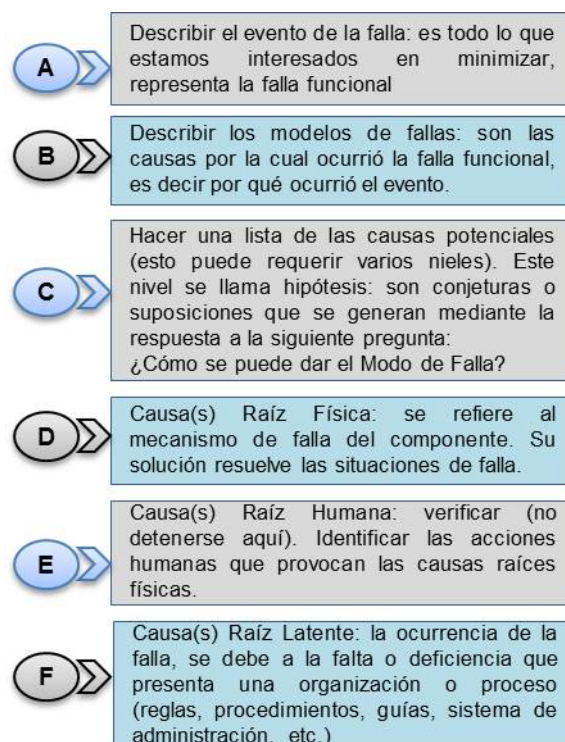
En este orden de ideas, se describen las etapas del árbol lógico establecido en la Figura 4 en materia de reemplazo en el ciclo de vida en la gestión de activos (Ver Figura 7).

La implementación de la metodología, además del estudio del material, ayuda a:

- Describir el evento de la falla en forma clara y concisa (que se desea minimizar).
- Reunir evidencias operacionales del evento.
- Realizar dinámicas de generación de consensos sobre las causas de la falla para:
 - Detectar las posibles causas de fallas.
 - Verificar las consecuencias de las fallas.
 - Efectos en el sistema.

Figura 7

Descripción de Etapas Representadas en el Proceso del Análisis Causa Raíz



Se habla de obsolescencia cuando se llega a la caída en desuso de un equipo, no por mal funcionamiento de éste, sino por un insuficiente desempeño de su función en comparación con los nuevos equipos introducidos en el mercado.

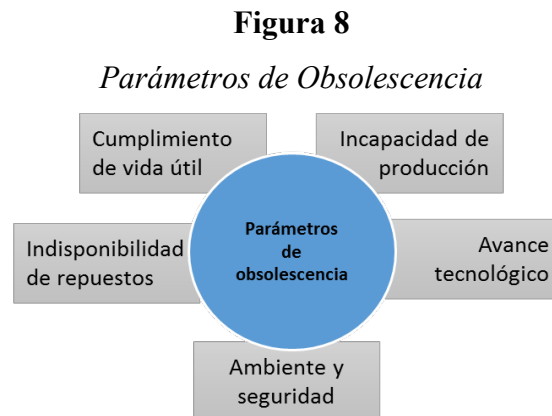
Obsolescencia de Equipos

Esta metodología se establece con el propósito de asegurar que la información sea comparable y discutida bajo una dinámica grupal del equipo natural de trabajo, buscando estabilidad en producción y el fortalecimiento de la toma de decisiones en la gestión de activos.

Esta indagatoria formula un sostén al equipo natural de trabajo, teniendo en cuenta consideraciones ya establecidas en tópicos anteriores, producto de una descomposición conceptual. En un estudio del Laboratorio para la Investigación y Enseñanza del Mantenimiento Industrial (LIEMA), se perfilan parámetros como: cumplimiento de la vida útil, incapacidad de producción, indisponibilidad de repuestos, avance tecnológico, ambiente y

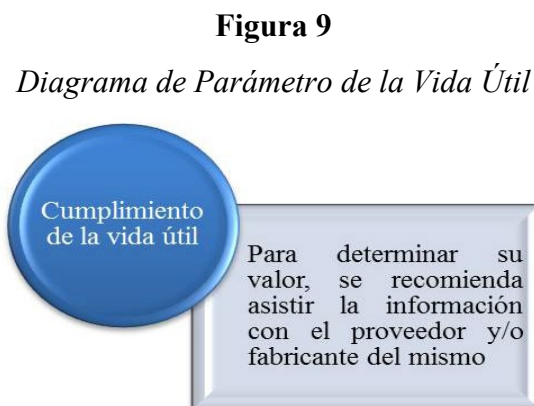
seguridad para adecuar la política de remplazos. Dichos parámetros están contemplados en el estado del arte donde se destacan criterios de los siguientes autores (Suárez, 2011 y Pérez, V. (2020), Duffuao, R. (2002), Mora, A. (2009), Pérez, V. (2018).

Luego de haber analizado cada uno de los parámetros que se obtienen sobre la población de equipos, tanto estáticos como dinámicos objetos de estudio, al respecto pudieran aplicar estadísticos como la media, la varianza y pronósticos, en donde es necesario establecer una selección argumentada en la deliberación de estos parámetros. En tal sentido, se propone una ponderación a cada una del 20% con la finalidad de que el valor final no exceda de cien por ciento (100%), y así poder evaluar el resultado o el proceso, destacando las siguientes variables cualitativas, expuestas en la Figura 8.



Cumplimiento de Vida Útil

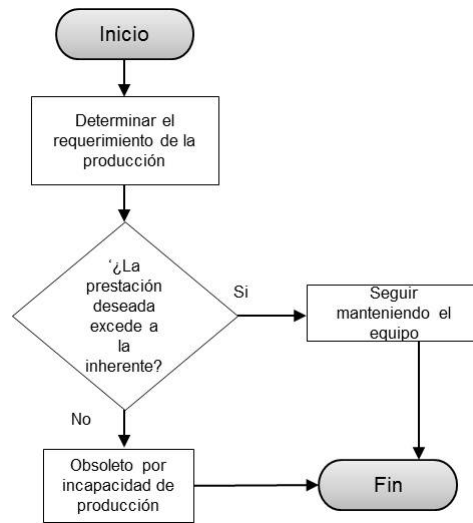
Esto se evidencia cuando el equipo presenta un alto nivel de desgaste y deterioro, originando una deficiencia técnica del mismo. Para conocer la vida útil del equipo, este estudio sugiere consultar al proveedor o fabricante. (Ver Figura 9).



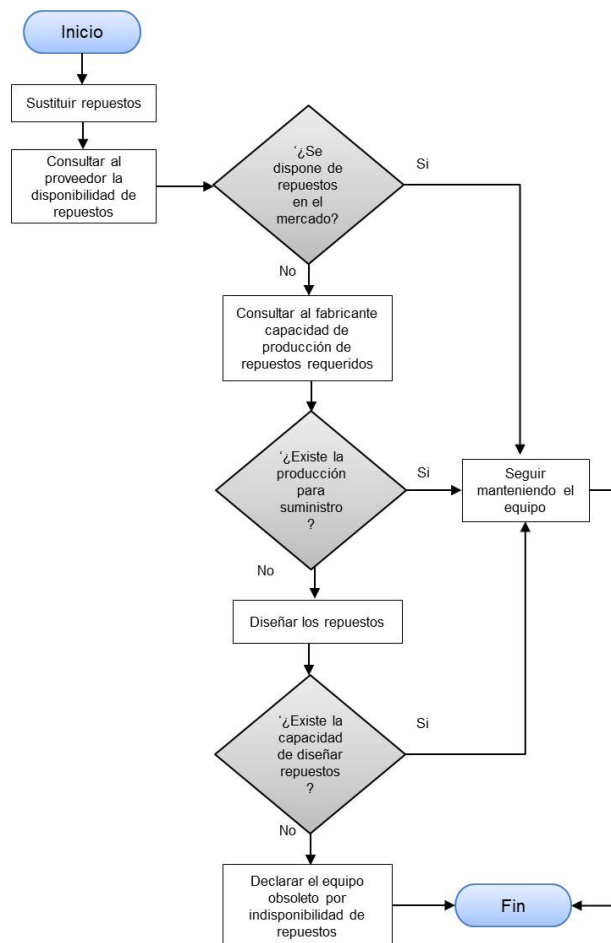
Incapacidad de Producción

Este parámetro sobreviene cuando el equipo no cumple con los requerimientos establecidos; es decir, no está en capacidad de lo exigido en meta o estándar de producción. El mismo se ve afectado por el crecimiento de los requerimientos de manufactura, ocasionada por un aumento de esta, independientemente de horas de trabajo.

Para saber si el equipo es afectado por el parámetro antes mencionado, se sugiere seguir el diagrama que se muestra en la Figura 10.

Figura 10*Diagrama del Parámetro de Incapacidad de Producción***Indisponibilidad de Repuesto**

Ocurre cuando el fabricante de dicho equipo notifique la discontinuidad en la producción de éste y/o no garantice el suministro de repuestos. Para analizar este parámetro, se sugiere aplicar el diagrama de la Figura 11.

Figura 11*Diagrama del Parámetro de Disponibilidad de Repuestos*

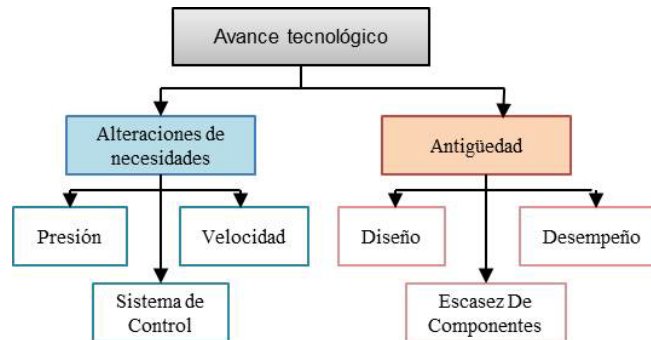
Avance Tecnológico

Este parámetro se da por descubrimiento de nuevos procedimientos de producción y/o el perfeccionamiento de los equipos que provocan una tendencia en sustituir a los actuales por otros que presenten mayor rendimiento y funcionamiento más estable y seguro, además de llevar implícito una reducción en los costos de mantenimiento y mejor mantenibilidad.

Para determinar si el equipo es obsoleto, se muestra la Figura 12.

Figura 12

Diagrama del Parámetro del Avance Tecnológico:



Ambiente y seguridad

Este estudio está amparado en la justificación de la función de mantenimiento que busca maximizar la seguridad y salud en el trabajo como lo contempla la Norma ISO 45001 (2018), que establece las herramientas necesarias para implantar un Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, dando la destreza para que la organización formule una política de los equipos y del personal, y de igual importancia minimizar el efecto negativo sobre el medio ambiente.

Luego de determinar los parámetros que fundamentan la toma de decisión, se establecen indicadores cuantitativos que permitirán al equipo natural de trabajo medir el nivel del parámetro (Ver Tabla 2).

Tabla 2

Parámetros de Obsolescencia

Parámetros de obsolescencia																
Equipos	Cumplimiento de la vida útil			Incapacidad de producción			Indisponibilidad de repuestos			Avance tecnológico			Ambiente y seguridad			Total (ER) (0 - 100%)
	NB	NM	NA	NB	NM	NA	NB	NM	NA	NB	NM	NA	NB	NM	NA	
	0%	10%	20%	0%	10%	20%	0%	10%	20%	0%	10%	20%	0%	10%	20%	

Nota: para medir el nivel de obsolescencia se consideran los siguientes criterios (ver Tabla 3): Nivel Bajo (NB) para un valor del 0%, Nivel Medio (NM) para un valor del 10% , y un Nivel Alto (NA) para un valor de un 20%. Composición en laboratorio.

Tabla 3
Criterios de Obsolescencia

Criterios Ponderados de Obsolescencia	Ponderación	Nivel	Criterios	
			Evaluar Reemplazo	Acciones
	0%	Bajo	$0 > ER \leq 30$	No Tomar Correctivos (Ausencia del Criterio) No Tomar Decisiones que Afecte el Equipo y la Producción de Bienes
10%	Medio	$30 > ER \leq 60$	Mejora Sustancial del Equipo	
			Paliativos cuando sea Técnica y Económicamente Factible	
20%	Alto	$60 > ER \leq 100$	Correctivos Inmediatos (Reemplazar, Repotenciar, Mejoramiento)	
			Tomar Decisiones para la Continuidad Operativa Deseada	

Una vez que se obtiene la ponderación total del equipo, se compara con los criterios de obsolescencia y de acuerdo con el intervalo, para así tomar una decisión si el equipo debe ser reemplazado o no.

En líneas generales, conforme al esquema metodológico formulado en Figura 1 y con el consenso del equipo natural de trabajo, y luego se adecua y dinamiza la Orden de Trabajo conforme a su recorrido, finalizando el procedimiento de ser necesario.

Discusión y Resultados

Se logró presentar a la comunidad científica un modelo para estudio de falla, desgaste, y obsolescencia en gestión de activos industriales para alcanzar un desempeño satisfactorio y amparado en una serie de normas, destacando la UNE 60300-3-3:2017 para gestión de la confiabilidad y el mejoramiento de las operaciones, así como la novedosa Norma ISO 37301:2021 para sistemas de gestión del cumplimiento, al presentar la secuencia en el equilibrio sistémico del esquema metodológico que permitirá reforzar la ingeniería de un modelo de gestión de activos, cuando se trabaja con equipos mixtos, tanto estáticos (baja probabilidad de fallas y alta consecuencia), así como dinámicos (alta probabilidad de fallas y baja consecuencia), permitiendo conocer cuando el equipo falla y considerando el desgaste mecánico, destacando que con el parámetro K se podría predecir el desgaste que se produce en componentes mecánicos, y así dar recomendaciones en la etapa de diseño en el ciclo de vida.

En materia de administración de fallas de activos, en el caso citado en el estudio de las válvulas es válido destacar que las mismas sufren deterioros durante el funcionamiento del motor; regularmente en el caso de las válvulas de admisión, el desgaste es claramente abrasivo, y en las válvulas de escape es abrasivo y corrosivo. Por lo tanto, se propone el diseño con aleaciones de Níquel-Cromo, ya que son los materiales mejor usados para válvulas de escape porque están sometidas a mayores temperaturas y corrosión que las válvulas de admisión.

El Laboratorio para la Investigación y Enseñanza del Mantenimiento establece que mediante el estudio de fallas se podrán conocer las causas de aparición y sus efectos negativos, además de generar soluciones de posibles materiales para reducir ocurrencias de fallas y mejorar la gestión de activos, logrando disminuir los tiempos fuera de servicio, mejorar la mantenibilidad en aplicaciones de técnicas de mantenimiento bajo distintos criterios de obsolescencias, aprovechando los recursos teóricos y prácticos de esta publicación e instrumentar las decisiones en materia de ingeniería.

El estudio permite sugerir la formulación de manera esquematizada en la Figura 1, y desarrollada en la sección 2, para una gestión de activos donde se verifica su aceptación en líneas generales, destacando consideraciones teórico/prácticas presentadas metodológicamente en los distintos planteamientos ampliados en el artículo, compuestos por la administración de fallas, estudio de desgaste y obsolescencia en equipos, logrando así un mayor nivel de precisión en la Gestión de Activos a través del marco normativo ISO, COVENIN y UNE, conforme al esquema propuesto en la Figura 12, luego de dinámicas grupales y consensos del equipo natural de trabajo (ENT).

En este sentido, se recomienda adecuar y dinamizar la Orden de Trabajo conforme a su recorrido, sujeto al sistema de mantenimiento, capacidad humana y carga de trabajo. Finalizando el procedimiento establecido, se presenta un régimen que permite minimizar la incertidumbre en aplicaciones Industriales, partiendo de un conjunto de técnicas descritas en este estudio donde de manera concisa, luego de una profunda discusión e interpretación de resultados, se busca equilibrar la toma de decisiones y minimizar diagnósticos errados bajo una propuesta multidisciplinaria de acuerdo con las dimensiones estudiadas en sistemas de Gestión de Activos.

Para lo señalado, se propone el siguiente procedimiento metodológico, sintetizado en la Figura 13, planteándole a la comunidad científica de que el trabajo presentado contempla determinaciones apropiadas en los órdenes de trabajo y remplazos acertados, así como en la realización de predicciones en mejoras de la vida remanente de máquinas en el sistema de producción, considerando ambiente y seguridad en miras a la sostenibilidad, y enfatizando en la promoción del Centro de I+D en Termo-fluidodinámica y Mantenimiento (CTYM) en materia de Gestión de Activos.

Figura 13

Equilibrio Sistémico de Gestión de Activo, Asociado a la Administración de Fallas y al Estudio de Desgaste y Obsolescencia, en Equipos Industriales



Conclusiones

La periodicidad al analizar fallas permite a la gestión de activos garantizar la calidad de los sistemas industriales, generando mayor confiabilidad y disponibilidad, permitiendo la consolidación de una gestión exitosa al interactuar a través de dinámicas grupales del equipo natural de trabajo, además de la captación de información que genera una falla para estudiar el desgaste, las imperfecciones, las causas de la falla y los efectos sobre el sistema, para luego determinar un criterio de obsolescencia.

En esta investigación se recomienda la utilización de la metodología propuesta para la toma de decisiones en mantenimiento industrial bajo un proceso analítico, táctico y jerárquico

de sus componentes y factores principales que permiten instrumentar un procedimiento diseñado para cualificar y cuantificar, además de ayudar a robustecer los criterios, juicios u opiniones gerenciales sobre la importancia relativa de cada uno de los elementos empleados en el procedimiento.

El método planteado genera ventajas competitivas que permiten a las organizaciones un análisis práctico y sistematizado para resolver conjeturas y problemas en distintos niveles y aspectos, al considerar los métodos globales de las alternativas en la administración de fallas y el estudio del desgaste y obsolescencia.

La ingeniería propuesta en la metodología permite un equilibrio sistémico al asignar técnicas que facilitan las tareas de "planificar, dirigir y controlar", proporcionando decisiones técnicas y manejo de información en forma confiable y permitiendo detectar y mejorar dentro de ciertos límites las fallas humanas e incoherencia de los decisores humanos.

Surge la necesidad de fomentar metodologías, herramientas o modelos que permitan equilibrar los parámetros de mantenimiento y sus relaciones directas con factores humanos, técnicos y económicos, que interactúan en todo el ciclo de vida de los activos donde sería atractivo estudiar estadísticamente una relación dentro de la gestión de activos, la confiabilidad operacional y la Terotecnología, la cual serviría como nuevo abordaje para futuras investigaciones, que generen un esquema estratégico que den espacio a la mejora continua y continuidad de la producción al minimizar fallas para llevar mayor rendimiento y productividad a la gestión, atendiendo a su naturaleza multivariante.

Referencias

- American Society for Metals. (1948 y 1961). *Metals Handbook*. Ohio, USA: Metals Park.
- American Society for Testing Materials. (1937). *Symposium on Wear of Metals*. Filadelfia, Pa., USA.
- Arias, F. (2006). *El Proyecto de Investigación*. Caracas, Venezuela: Editorial Episteme.
- Ávila Espinoza, R. (1992). *Fundamentos del Mantenimiento. Guías Económicas, Técnicas y Administrativas* [libro]. (L. Ray Buckendalelectura). Society of Automotives Engineers, Inc Palo Alto: Warrendale. ISBN: 0898833043.
- Beichelt, F. A. (2001). Replacement Policy Based on Limiting the Cumulative Maintenance Cost. *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 18, N° 1, p. 76, 2001.
- Blanchard, B. (1997). *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. (M. U. Ltd, Ed.) An Enhanced Approach for Implementing Total Productive Maintenance in the Manufacturing Environment, 3(2), pp. 69-80.
- Bustamante, F. A. S. & Restrepo, J. M. V. (2005). Estudio del Modelo de Desgaste Propuesto por Archard. *Dyna, Dyna*. ISSN: 0012-7353, 72 (146), 27-43. Colombia.
- Charles, E. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. Boston, Massachusetts: Editorial Mc. Graw-Hill.
- Chase, R. B., et. al. (2000). *Administración de Producción y Operaciones: Manufactura y Servicios*. IRWIN: 2000.
- COVENIN. (1993). Norma Venezolana 3049-93: Mantenimiento. Definiciones. Elaborada por el Comité Técnico de Normalización. CT-3 Construcción aprobada por la COVENIN en su reunión de 1993. Vol. 124.

- Departamento de Transporte del Estado de New York, N. (2013). Green LITES: Recognizing Leadership in Transportation Environmental Sustainability. New York: NYSDOT.
- Duffuao, R. (2002). *Sistemas de Mantenimiento, Planeación y Control*. México. S/c: Edit. Limusa.
- El-Akruti, K., Dwight, R., Zhang, T. & Al-Marsumi, M. (2015). The Role of life Cycle Cost in Engineering Asset Management. In *Engineering Asset Management-Systems, Professional Practices and Certification* (pp. 173-188). Springer, Cham. Chase.
- Espinoza, H. (2011). La Normalización de las Concentraciones de Partículas de Desgaste en Aceite Aplicada a Motores Diesel. *Avances: Investigación en Ingeniería*, 2011. Vol. 8. No. 2. pp. 67-72.
- Francés, A. (2006). *Estrategias y Planes para la Empresa con el Cuadro de Mando Integral*. México: Pearson/Prentice Hall.
- Guillen López, A. J. (2018). *Diseño de Soluciones Avanzadas de CBM/PHM en Sistemas Inteligentes de Gestión de Activos*. (Tesis Doctoral Inédita). Universidad de Sevilla. España.
- Hutchings, I. M. (1992). *Tribology, Friction and Wear of Engineering Materials*. Ed. Edward Arnold, a Division of Hodder Headline PLC, 1992. p 103-105 Suárez, F.A.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2012). *Glosario de Estadística Básica*. México. Recuperado de: https://portalsocial.guanajuato.gob.mx/sites/default/files/documentos/2014_INEGI_Glosario_estadistica_basica.pdf.
- ISO Organization. (2021). *ISO 37301:2021. Compliance Management Systems — Requirements With Guidance For Use*.
- Leemis, L. M. (1995). *Reliability: Probabilistic Models and Statistical Methods*. p. 288. New Jersey: Prentice Hall.
- Malavé Depool, A. T. (2015). *Mejora de la Gestión de Activos F́sicos seǵn PAS 55-ISO 55000 Evaluando el Desempeño de los Roles del Marco de Competencias del IAM*. Tesis Doctoral.
- Mora, A. (2009). *Mantenimiento: Planeación, Ejecución y Control*. México: Alfaomega Grupo Editor.
- Mullor, R. (2009). *Desarrollo y Validación de un Procedimiento para Optimizar los Intervalos de Mantenimiento Preventivo de Equipos Reparables*. España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Nakajima, S. (1991). *Introducción al TPM. Programa para el Desarrollo*. (Publicaciones e Impresos en Graficas del Mar. ISBN: 84-87022-81-2 ed.). (G. a. Cuesta, Trad.) Madrid, España: Editorial Fundación Repsol.
- Norma Española UNE 60300-3-3:2017. (2017). *Gestión de la Confiabilidad. Parte 3-3: Guía de Aplicación. Cálculo del Coste del Ciclo De Vida*. (Ratificada por la Asociación Española de Normalización). España.
- Norma Española UNE-EN 16646. (2015). *Mantenimiento en la Gestión de Activos F́sicos*. España: Editorial AENOR.
- Norma Internacional ISO 45001. (2018). *Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo – Requisitos con Orientación para su Uso*. 1º edición del 2018.
- Norma Internacional ISO 14001. (2015). *Sistema de Gestión Ambiental – Requisitos con Orientación para su Uso*. 3º edición del 2015.
- Norma Internacional ISO 55000. (2014). *Enfoque de Gestión de Activos*. Traducción oficial. Primera edición.
- OREDA (2012). *Offshore Reliability Data*. [sector del Libro]. Trondheim: OREDA and DNV Veritas. Fourth edition. ISBN 82-14-02705-5.

- Organización Internacional del Trabajo – OIT. (2006). Clasificación Internacional Uniforme de Ocupaciones (CIUO). Documento emitido en 1988. Ginebra, Suiza. Recuperado de: <https://www.ilo.org/public/spanish/bureau/stat/isco/index.htm>
- Pérez, V. (2018). Principios Terotecnológicos en Gestión de Activos para Aplicaciones Industriales. *Revista Ingeniería y Sociedad – UC. Carabobo, Venezuela*. [Citado: Enero - Julio de 2018], ISSN: 1856-352X. Recuperado de: <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/index1.htm>. 9)
- Pérez, V. (2020). Fundamentos terotecnológicos para reemplazo de equipos industriales en la gestión de activos. *Revista Ingeniería Industrial*, 19(1), 57-74.
- Pinochet, J. (2015). El Modelo Argumentativo de Toulmin y la Educación en Ciencias: Una Revisión Argumentada. *Ciência & Educação*, 21(2), 307-327.
- Rigney, D. A. (1994). The Roles of Hardness in Sliding Behavior of Metals. *Wear* No.175 (1994). Pp. 63- 69.
- Rosique, A. (2017). Marco de Referencia para la Gestión de Activos de Alta Capitalización: Definición de Procesos de Negocio y de Técnicas Avanzadas de Soporte a la Gestión. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla. España.
- Suárez, D. (2011). *Confiabilidad de Equipos y Sistemas Industriales*. Primera Edición. Maracaibo-Venezuela.
- Sydney H. A. (1976). American Society for Metals: *Metals Handbook*. Ediciones 1948 y 1961. Ohio, USA: Metals Park.
- Toulmin, S. E. (2003). *The Uses of Argument*. Inglaterra: Cambridge University Press.
- Tristancho, J. L., Higuera, O. F. & Flórez, L. C. (2007). Evaluación del Desgaste Adhesivo del Acero AISI–SAE 1020. *Scientia et Technica* 1.36.
- Villanueva, E. D., Pérez-Tagle, J. F. D., & De León, C. L. (1989). *La Productividad en el Mantenimiento Industrial*. México: Compañía Editorial Continental.
- Vite Torres, M, et. al. (1994). Necesidades de la Enseñanza de la Tribología en los Programas de Ingeniería de las Universidades Públicas Mexicanas. México.
- Zum, K. (1987). Institute of Materials Technology. *Microstructure and Wear of Materials*. University of Siegen. New York, USA: Elsevier Science Publisher B. V.

Topologías en el Internet de las Cosas Médicas (IoMT), revisión bibliográfica

Topologies in the Internet of Medical Things (IoMT), literature review

Wilson Chango¹ <https://orcid.org/0000-0003-3231-0153>,
Teresa Olivares² <https://orcid.org/0000-0001-9512-2745>, Francisco Delicado² <https://orcid.org/0000-0002-2150-7797>

¹*Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador*
wilson.chango@epoch.edu.ec

²*Universidad de Castilla – La Mancha, Ciudad Real, España*
teresa.olivares@uclm.es, frencisco.delicado@uclm.es



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.

Enviado: 2022/07/03

Aceptado: 2022/12/13

Publicado: 2022/12/30

Resumen

La revisión bibliográfica es una fase fundamental en un proyecto de investigación, y debe garantizar la obtención de la información más relevante en el campo de estudio. El objetivo principal de este proyecto es conocer los trabajos relacionados con el Internet de las Cosas Médicas, en adelante (IoMT). Se analiza un total de 535 artículos buscados en Association for Computing Machinery, en Adelante ACM, Web of Science y Scopus el dominio de búsqueda fue IoMT. Se establecieron tres parámetros, (problemática, artefacto y evaluación del artefacto), esto de acuerdo a la Investigación de la Ciencia del Diseño, en Adelante DSR, es un enfoque de investigación para la construcción de artefactos para proporcionar una solución útil a un problema en cada dominio. La ecuación (Internet de las cosas Y malla) dio como resultado 535, (Internet de las cosas Y medicina) un total de 417 y finalmente (Internet de las cosas Y malla médica) con 8, esto significa que hay mucho por indagar en este dominio de investigación. Las ventajas identificadas en este tipo de topología es llevar los mensajes de un nodo a otro por diferentes caminos, no puede haber absolutamente ninguna interrupción en las comunicaciones, cada servidor tiene sus propias comunicaciones con todos los demás servidores. Los grandes datos procedentes de los dispositivos IoMT han influido drásticamente en las cuestiones de salud e informática. En este documento, se realiza una revisión de la literatura científica y se mapean las tendencias de investigación sobre el paradigma IoMT en

Sumario: Introducción, Metodología, Organización y discusión de la información encontrada, Análisis de los resultados de la investigación, El Problema de La Topología De La Red y Conclusiones.

Como citar: Chango, W., Olivares, T. & Delicado, F. (2022). Topologías en el Internet de las Cosas Médicas (IoMT), revisión bibliográfica. *Revista Tecnológica - Espol*, 34(4), 120-136.
<http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/960>

el ámbito de la salud. Por último, este documento amplía la literatura, y los resultados de este estudio pueden servir de base para futuras investigaciones.

Palabras clave: IoMT, LPWAN, revisión bibliográfica, topologías de red, configuraciones de malla.

Abstract

The bibliographic review is a fundamental phase in a research project, and it must guarantee that the most relevant information in the field of study is obtained. Our main objective was to know the works related to the Internet of medical things, from now on (IoMT). We analyzed a total of 535 articles searched in Association for Computing Machinery in Adelante ACM, Web of Science and Scopus the search domain was IoMT, we established 3 parameters, (problematic, artifact and artifact evaluation), this according to the Research of Design Science in Adelante DSR, is a research approach for the construction of artifacts to provide a useful solution to a problem in each domain. The equation (Internet of things AND mesh) resulted in 535, (Internet of things AND medicine) a total of 417 and finally (Internet of medical things AND mesh) with 8, this means that there is a lot to investigate in this research domain. The advantages identified in this type of topology is to carry messages from one node to another by different paths, there can be absolutely no interruption in communications, each server has its own communications with all other servers. Health and IT issues have been drastically influenced by the large data from IoMT devices. In this paper, we conducted a review of the scientific literature and mapped research trends on the IoMT paradigm in the health domain. Finally, this paper expands on the literature, and the findings of this study can serve as a basis for future studies.

Keywords: IoMT, LPWAN, bibliographic review, network topologies, mesh configurations.

Introducción

El Internet de las Cosas Médicas (IoMT), capta o analiza datos y los envía a otros dispositivos donde los usuarios finales son el personal sanitario. Esta información es útil para la toma de decisiones por parte de estas unidades médicas. Las propuestas para implementar este sistema utilizando las redes LPWAN como medio de comunicación aportan importantes ventajas sobre otras similares en cuanto a coste, cobertura y fácil adaptabilidad. Pero, ¿son las actuales topologías de red utilizadas para transmitir esta información las mejores opciones para el IoMT? Este artículo trata de responder a esta importante pregunta de investigación.

El IoMT ha introducido un cambio revolucionario al facilitar la gestión de las enfermedades, mejorar los métodos de diagnóstico y tratamiento de las mismas y reducir los costes y los errores de la asistencia sanitaria. Este cambio ha tenido un gran impacto en la calidad de la asistencia sanitaria tanto para los pacientes como para el personal sanitario de primera línea. El IoMT es una combinación de dispositivos y aplicaciones médicas que se conectan a través de redes.

Muchos proveedores de servicios sanitarios están aprovechando las últimas tendencias de TI, como la virtualización, la nube, la movilidad y el análisis de grandes datos, para sentar las bases de las instalaciones de próxima generación. La mayoría de los proveedores están considerando cuidadosamente cómo las comunicaciones de datos, específicamente la red, pueden permitir la movilidad de los cuidadores, conectar el ecosistema de médicos, pacientes y dispositivos médicos, proporcionar una plataforma escalable para nuevos modelos de atención y, en última instancia, salvaguardar los datos de los pacientes. Los proveedores de

servicios sanitarios deben tener en cuenta cinco requisitos esenciales para cumplir la promesa de prestar una atención continua: Ofrecer rendimiento, flexibilidad, seguridad, sencillez y economía (Performance, 2018).

Las LPWAN, son redes de largo alcance, alta cobertura y bajo consumo de energía. Esto se consigue realizando pequeñas transmisiones de datos con poco ancho de banda, ahorrando energía para una mayor penetración. Algunos ejemplos de estas redes son: Narrowband IoT (NB-IoT), Sigfox o LoRaWAN, una especificación de red creada por la LoRa Alliance. Sigfox y NB-IoT utilizan bandas con licencia, de ahí su coste de uso. Mientras que LoRa utiliza la banda libre, por lo que no tiene coste de uso. LoRaWAN tiene un bajo consumo de energía, un bajo ancho de banda y está pensada para un tráfico casi exclusivamente ascendente y una topología en estrella.

El principal interés de esta investigación consiste mejorar las redes y garantizar que se cumplan los objetivos de rendimiento (disponibilidad de conexión, cobertura global y, en ocasiones, en tiempo real), flexibilidad, seguridad, simplicidad y economía (bajo consumo de batería para los sensores). Este problema se llevará a cabo con la verificación de la comunicación entre dispositivos utilizando una topología adecuada, esto permite que los datos lleguen sin ningún problema a las unidades de salud para su respectivo análisis y toma de decisiones. Como se ha mencionado anteriormente, la topología utilizada en LoRaWAN es una topología en estrella. Creemos que sería bueno ampliar esta topología en estrella en determinados casos para aumentar principalmente la cobertura y evitar problemas de saturación y colisión en la pasarela de destino. Por lo tanto, este trabajo tiene como objetivo hacer un estudio de las topologías y soluciones de comunicación más utilizadas en el IoMT, analizar sus pros y sus contras e identificar aquellos aspectos de la comunicación del IoMT que requieren un mayor desarrollo e investigación para cumplir con los requisitos impuestos por el IoMT.

En este trabajo, por lo tanto, se realiza una revisión de la literatura científica y se mapea las tendencias de investigación sobre el paradigma de IoMT en el dominio de la salud, centrándose en las topologías, de las tres ecuaciones "Internet de las cosas Y malla", "Internet de las cosas Y medicina" e "Internet de las cosas Y malla médica" la última obtuvo un valor mínimo en comparación con las otras, esto significa que hay mucho por investigar en este dominio de investigación. Las ventajas identificadas en este tipo de topología es llevar los mensajes de un nodo a otro por diferentes caminos, no puede haber absolutamente ninguna interrupción en las comunicaciones, cada servidor tiene sus propias comunicaciones con todos los demás servidores.

En este trabajo se analizan las topologías más utilizadas en IoMT. El esquema del trabajo es el siguiente: En la sección 2 se presenta la metodología utilizada para el análisis bibliográfico aplicando criterios de búsqueda, en la sección 3 se describen las investigaciones realizadas en IoT e IoMT según la clasificación especificada en la sección 2, mientras que en la sección 4 se presentan los objetivos del trabajo en referencia a las topologías utilizadas en IoMT y, por último, en la sección 5 se presentan las conclusiones obtenidas del trabajo.

Metodología

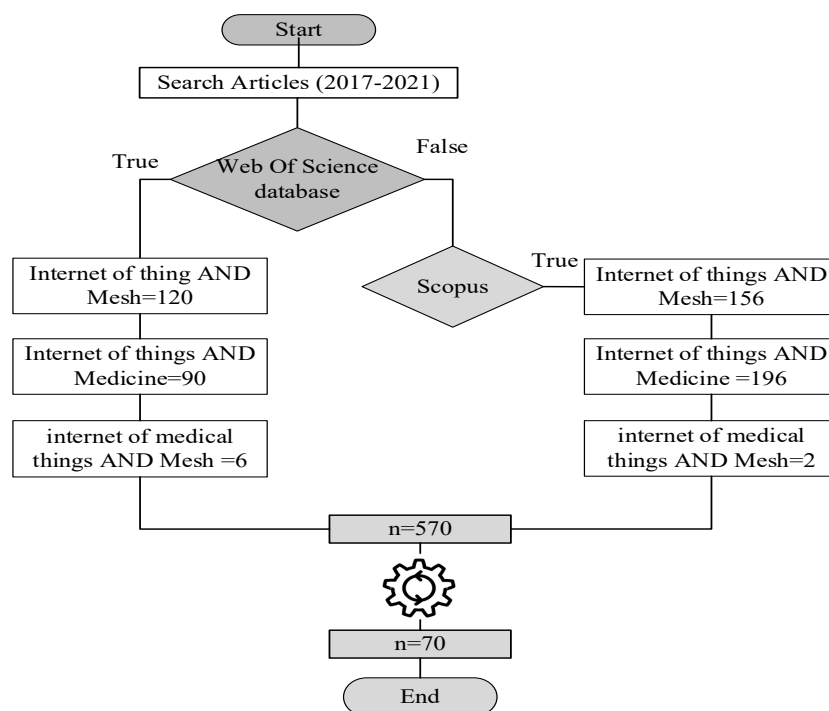
Para abordar el objetivo general identificado anteriormente, se revisaron 570 artículos científicos de la web del sitio y la base de datos Scopus, las palabras clave que se utilizaron para encontrar estos artículos fueron IoT, 'IoMT', 'Mesh Topology', en un rango de fechas de 2016-2021. Los artículos de investigación se clasificaron en tres grupos generales y se resumieron según el problema, el artefacto y la evolución del artefacto. La ecuación (Internet de las cosas Y malla) dio como resultado 276, (Internet de las cosas Y medicina) un total de

286 y finalmente (Internet de las cosas médicas Y malla) con solo 8. Esto significa que todavía queda mucho trabajo por hacer en las comunicaciones de IoMT y de redes de malla.

Para facilitar el proceso de búsqueda, las palabras clave debían estar presentes al menos en el título y en el resumen, además, los artículos debían estar publicados en inglés, se excluyeron los artículos que no estaban dentro del rango de fechas establecido, los que se encontraron duplicados en WoS, Scopus y los que no pertenecían a la informática, obteniendo un total de 570 artículos para analizar y, finalmente, seleccionar los 70 más relevantes.

Figura 1

Esquema de la revisión del artículo



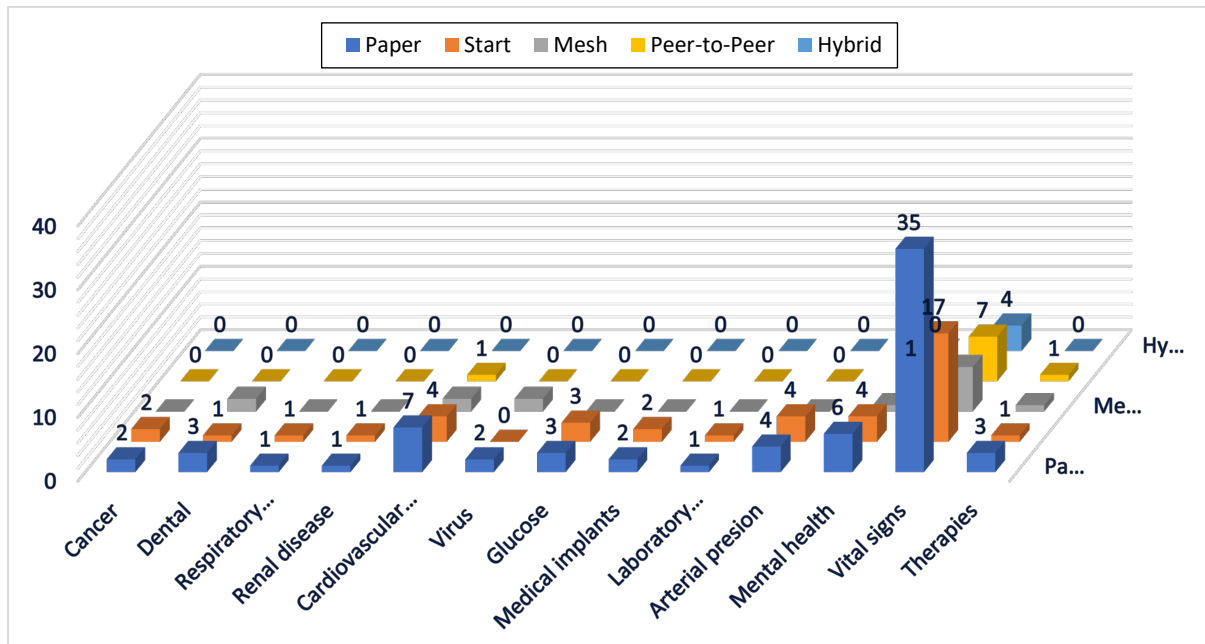
Organización y discusión de la información encontrada

Journal Citation Reports (JCR) cubre las publicaciones revisadas por pares más citadas del mundo y permite buscar el factor de impacto de una revista o grupo de revistas concreto y hacer comparaciones entre ellas. Cada grupo temático de revistas se divide en cuatro cuartiles: Q1, Q2, Q3, Q4, que corresponden respectivamente al grupo conformado por el primer 25% de las revistas del listado, el grupo que ocupa del 25 al 50%, el que se posiciona entre el 50 y el 75% y, por último, el que se ubica entre el 75 y el 100% del ranking ordenado. se confirma por aquellas que ocupan el primer cuartil Q1.

Posteriormente, mediante la lectura de los títulos, se excluyó cualquier artículo que no estuviera claramente relacionado con la medicina y el uso de cualquier topología, quedando una lista de 70 artículos, mientras que el resto se consideró de poca relevancia. La relevancia se refería principalmente a la conexión del artículo con el tema estudiado y a las publicaciones revisadas por pares más citadas en el mundo que permiten buscar el factor de impacto de una revista o grupo de revistas en particular y hacer comparaciones entre ellas. Cada grupo temático de revistas se divide en cuatro cuartiles (Q1, Q2, Q3, Q4), cuatro topologías de red (Start, Peer-to-Peer, Mesh, Hybrid) y el protocolo de comunicación utilizado en cada una de las investigaciones (ver Figura 2).

Figura 2

Organización de la información

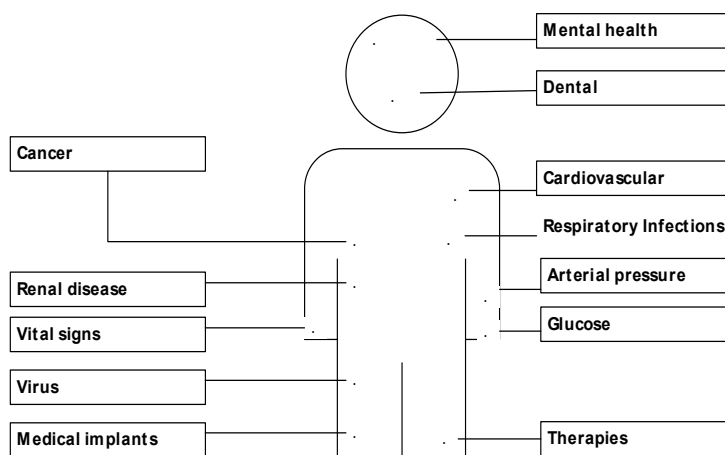


La Figura 2 muestra las investigaciones realizadas en el ámbito de la medicina (Cáncer Dental, Sistema Respiratorio, Enfermedades Renales, Enfermedades Cardiovasculares, Enfermedades Digestivas, Virus, Glucosa, Implantes Médicos, Monitorización de Laboratorio, Presión Arterial, Salud Mental, Signos Vitales, Signos Vitales -Seguridad, Terapias) frente a la topología de red

Análisis de los resultados de la investigación

Figura 3

Aplicación principal en un Internet de las Cosas Médicas (IoMT).



En la Tabla 1 se puede observar las aplicaciones en medicina con sus respectivas topologías. En cuanto al modelo de estrella se tiene un total de 41 de 70, esto significa que su uso es mayor; sin embargo, esta topología se basa en la centralización del cómputo, almacenamiento y control.

Tabla 1*Clasificación de los trabajos en grupos de enfermedades y topologías*

Medicine	Estrella	Malla	Híbrido
Cáncer	(Palani & Venkatalakshmi, 2019),(Khan et al., 2019)		
Dental	(Liu et al., 2020)	(Alarifi et al., 2019),(Vellappally et al., 2019)	
Sistema Respiratorio	(Haoyu et al., 2019)		
Enfermedad Renal	(Arulanthu & Perumal, 2020)		
Cardiovascular	(Huang et al., 2019),(Al-Kaisey et al., 2020),(Pirbhulal et al., 2019) (Cubillos-Calvachi et al., 2020)	(Karthick & Manikandan, 2019),(Kan et al., 2015)	
Virus		(Rani et al., 2019),(Song et al., 2018)	
Glucosa	(Leahy, 2008),(Gupta et al., 2019),(Cappon et al., 2017)		
Implantes Médicos	(Santagati et al., 2020)		
Laboratorio	(Kang et al., 2018)		
Presión arterial	(Sood & Mahajan, 2019),(da Silva et al., 2019),(Farahani et al., 2020) (Sharman et al., 2020)		
Salud Mental	(Sayeed et al., 2019),(Zilani et al., 2020),(Yadav et al., 2019) (Rachakonda et al., 2020),(Sarmiento et al., 2020),(Rachakonda et al., 2019)		
Signos vitales	(Awan et al., 2019),(Zanjil & Talmale, 2016),(Díaz de León-Castañeda, 2019) (Xing et al., 2018),(Evangeline & Lenin, 2019),(Ullah et al., 2017) (Hedrick et al., 2020),(Ng et al., 2020),(Rajasekaran et al., 2019) (Sánchez et al., 2019),(Mavrogiorgou et al., 2019),(Han et al., 2020) (Ignacio et al., 2019),(Qureshi & Krishnan, 2018),(Morzy et al., 2013) (Chen et al., 2020),(Nørfeldt et al., 2019)	(Kodali et al., 2016),(Cui et al., 2020)(Peng et al., 2017),(Plageras et al., 2016)(Medeiros et al., 2019),(Rajput & Brahimi, 2019a) (Rajput & Brahimi, 2019b),(Silvestre-Blanes et al., 2020)	(Kang et al., 2018),(Quincozes et al., 2019)(Garbhapu & Gopalan, 2017),(Choi et al., 2019)
Terapias	(Lam et al., 2020)	(Yu, 2020)	

En cuanto a las redes Peer-to-Peer, se tiene un valor de 10 y su estructura consiste en que todos los nodos de la red están conectados entre sí por un enlace. De este modo, los nodos de una topología Peer-to-Peer están conectados punto a punto con los demás nodos de la red, mientras que los dispositivos finales están conectados al nodo de red más cercano. Así, este tipo de configuración se adapta a la situación en la que se encuentra la red con respecto al tráfico de información. Por último, las redes Mesh, un total de 15, se componen básicamente de tres clases de nodos: gateways o Dispositivos de Funcionalidad Completa (FFD), sensores/actuadores-routers o Dispositivos de Funcionalidad Reducida (RFD).

Por último, la topología híbrida con un valor de 4 se deriva de la unión de dos topologías de red (topología estrella-autobús topología estrella-anillo). Su implementación es debido a la complejidad de la solución de red y tiene un costo muy alto debido a su administración y mantenimiento. También proporciona los beneficios que ofrecen los otros diseños. Esto significa que puede tener la facilidad de localizar problemas de la organización en estrella o las facilidades económicas que ofrece la red de bus. A continuación, se describen de forma general las investigaciones realizadas en cada área de la medicina, considerando las topologías descritas en el apartado anterior.

Tabla 2*Clasificación de los trabajos en grupos de enfermedades y tecnologías*

Medicine	Zigbee	WIFI	3G/4G/5G	LoraWan
Cáncer		(Palani & Venkatalakshmi, 2019),(Khan et al., 2019)		
Dental	(Alarifi et al., 2019)		(Liu et al., 2020)	(Vellappally et al., 2019)
Sistema Respiratorio		(Haoyu et al., 2019)		
Enfermedad Renal			(Arulanthu & Perumal, 2020)	
Cardiovascular		(Huang et al., 2019),(Al-Kaisey et al., 2020),(Pirbhulal et al., 2019) (Cubillos-Calvachi et al., 2020),(Ali et al., 2020),(Karthick & Manikandan, 2019)	(Kan et al., 2015)	
Virus			(Rani et al., 2019),(Song et al., 2018)	
Glucosa	(Leahy, 2008)	(Leahy, 2008),(Gupta et al., 2019)	(Cappon et al., 2017)	
Implantes Médicos		(Mumtaz et al., 2018)		
Laboratorio		(Kang et al., 2018)		
Presión arterial		(Sood & Mahajan, 2019),(da Silva et al., 2019),(Farahani et al., 2020) (Sharman et al., 2020)		
Salud Mental	(Sayeed et al., 2019),(Rachakonda et al., 2020)	(Rachakonda et al., 2020)	(Yadav et al., 2019),(Sarmento et al., 2020)	
Signos vitales	(Kodali et al., 2016),(Ullah et al., 2017),(Hedrick et al., 2020) (Peng et al., 2017),(Rajasekaran et al., 2019),(Kang et al., 2018) (Garbhapu & Gopalan, 2017),(Elsts et al., 2018),(Latif et al., 2020) (Mavrogiorgou et al., 2019),(Rajput & Brahim, 2019a),(Rajput & Brahim, 2019b) (Han et al., 2020),(Silvestre-Blanes et al., 2020)	(Zanjal & Talmale, 2016),(Díaz de León-Castañeda, 2019),(Xing et al., 2018) (Evangeline & Lenin, 2019),(Ullah et al., 2017),(Quincozes et al., 2019) (Plageras et al., 2016),(Medeiros et al., 2019),(Sánchez et al., 2019) (Ignacio et al., 2019),(Qureshi & Krishnan, 2018),(Toor et al., 2020) (Rubí & Gondim, 2019),(Choi et al., 2019),(Morzy et al., 2013) (Chen et al., 2020),(Nørfeldt et al., 2019)	(Cui et al., 2020),(Zanjal & Talmale, 2016)	
Terapias		(Yu, 2020),(Lam et al., 2020),(Sanders et al., 2019)		

El cáncer

Es una enfermedad grave que ha matado a muchas personas durante los últimos años debido al hábito alimenticio de los seres humanos. En 2019, (Palani & Venkatalakshmi, 2019) proponen un nuevo modelado predictivo basado en el Internet de las Cosas (IoT) mediante el uso del aumento de clústeres difusos y la clasificación para predecir la enfermedad del cáncer de pulmón; sin embargo, no se discute qué tipo de topologías, protocolos y tecnologías utiliza, pero propone una arquitectura, utiliza una topología de estrella como diseño de red y para la comunicación de dispositivos IoT se realiza por WIFI.

Los dispositivos basados en WIFI necesitan una buena batería de respaldo si uno quiere utilizarlos por más de 10 horas aproximadamente, una sola red basada en WIFI puede tener un tamaño de red de hasta 2007 nodos, el WIFI ha sido estandarizado de acuerdo al estándar IEEE

802.11.x. Existen varias versiones del protocolo donde la x se sustituye por a, b, g, n, etc. que son diferentes versiones de WiFi, utilizadas para redes de área PAN y WLAN con un alcance medio de 30 a 100 metros, (Khan et al., 2019) propone una infraestructura, en la que los mensajes no se envían directamente, es decir, tienen que pasar por un nodo de acceso (módem/routers), lo que podemos concluir que es una topología en estrella y utiliza la tecnología WIFI.

Dental

En 2020, (Liu et al., 2020) proponen un sistema inteligente de salud dental-IoT basado en hardware inteligente, aprendizaje profundo y terminal móvil, con el objetivo de explorar la viabilidad de su aplicación en el cuidado de la salud dental en el hogar.

La arquitectura de red del sistema iHome dental health-IoT consta de tres capas de red: 1) capa de servicio médico dental; 2) capa de servicio dental inteligente; 3) capa de adquisición de datos de imágenes dentales. Los datos de las imágenes dentales se cargan en la capa de servicio dental inteligente a través de la red (Wi-Fi, 3G/4G). A continuación, (Alarifi et al., 2019) examinan continuamente los patrones faciales, las patologías y la discrepancia cefalométrica para tomar la decisión sobre el proceso de extracción y no extracción de dientes. Toda la información relacionada con los dientes se transmite a través de la señal de radiofrecuencia, las redes Zigbee transmiten en radiofrecuencia, esto implica que si se utiliza Zigbee como Z-Wave vamos a requerir un hub, puente o concentrador que será el punto del sistema que se conecta a internet. Esta señal Wi-Fi se compartirá entre el resto de dispositivos de la red sin necesidad de que cada uno de ellos se conecte al router de forma individual. Tanto Zigbee como Z-Wave funcionan a través de una red de malla.

Enfermedades respiratorias

Está relacionado con el sueño. La prueba de referencia para el diagnóstico es la polisomnografía, que requiere mucho tiempo y es cara. (Haoyu et al., 2019), propone la siguiente arquitectura, todos los datos pasan por un nodo o Gateway esto significa que en esta investigación se utiliza la topología de estrella junto con la tecnología WIFI. La parte principal de esta sección es el sensor de pulso y proximidad MAX3010X conectado al ESP32 que puede servir como un módulo de transmisión de datos portátil a través de Wi-Fi. Para la comunicación se establece una frecuencia de muestreo de 60 Hz con una resolución de 10 bits. Una conexión en serie a través de Wi-Fi se utiliza para enviar estas señales al módulo de remodelación y detección de errores, las ventajas y desventajas de esta tecnología se describieron en la sección de cáncer.

Enfermedad renal

(Arulanthu & Perumal, 2020), presentan un sistema de apoyo a las decisiones médicas en línea (OMDSS) para la predicción de la enfermedad renal crónica (ERC). El modelo presentado incluye un conjunto de etapas, a saber, la recopilación de datos, el preprocesamiento y la clasificación de datos médicos para la predicción de la enfermedad renal crónica, habiendo dicho que se propone un nuevo OMDSS para la predicción de la ERC y ofrece servicios sanitarios eficaces a los pacientes.

Los datos de los pacientes son recogidos por dispositivos IoT. En general, el sensor conectado al ser humano recoge datos regularmente en un intervalo de tiempo específico. El OMDSS presentado hace uso de la red 4G para transmitir los datos observados al CDS. Hay dos conceptos fundamentales que sustentan el éxito de las redes de telefonía 4G, uno es el modelo de banda ancha móvil y el otro es la convergencia de redes.

Enfermedades cardiovasculares

(Huang et al., 2019) presentan un sistema para la adquisición de datos de lípidos en sangre basado en un smartphone para controlar el nivel de lípidos en sangre, la propuesta de adquisición de datos fotoquímicos de lípidos en sangre basada en un smartphone con la tira reactiva y la arquitectura IoMT para la gestión de los lípidos en sangre. Esta información se envía al smartphone a través del cable OTG. Esta parte puede considerarse como la capa de recogida de parámetros de la función de lípidos en sangre en la arquitectura IoMT. Los datos serán finalmente subidos a la nube para su cálculo y almacenamiento los pacientes y los médicos pueden acceder a los datos en la nube desde sus respectivos terminales a través de la conexión WIFI.

(Al-Kaisey et al., 2020) también utilizan para la comunicación un nodo de entrada para el latido de las señales de ECG, también utiliza una topología en estrella, por su parte (Pirbhulal et al., 2019) proponen una arquitectura para resolver un problema crítico en la implementación de la seguridad para la transmisión de la información de salud, esto permite proporcionar la privacidad de los datos y la validación de la información de un paciente sobre el entorno de la red de manera eficiente en el uso de los recursos.

Virus

El mosquito es uno de los insectos fatales que sopla varios patógenos como el Chikungunya, que es una enfermedad instintiva que se propaga rápidamente en varias partes del país, por lo tanto, hay una necesidad de medidas preventivas para esta enfermedad, los nodos sensores y los teléfonos celulares se utilizan para detectar y recopilar datos para la comunicación utilizando 4G y una topología de malla (Rani et al., 2019). Estos datos son procesados antes de ser transmitidos a la nube.

Dicho lo anterior, (Song et al., 2018) utilizan una topología de malla y diseñaron una plataforma de cribado móvil basada en teléfonos inteligentes, sencilla y barata, denominada "smart connected cup" (SCC), para realizar diagnósticos moleculares rápidos, conectados y cuantitativos. Esta plataforma combina el ensayo bioluminiscente en tiempo real y la amplificación isotérmica mediada por bucle (BART-LAMP) con la detección basada en el teléfono inteligente, la transmisión de los resultados de las pruebas al registro del paciente y al consultorio del médico; y la comunicación de las pruebas se realiza con el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y 4G, el uso de teléfonos inteligentes mejora las capacidades más allá de lo que está disponible con los instrumentos existentes.

Glucosa

El suministro de insulina a través de sensores a personas con diabetes en un reto para el IoT, la terapia de reemplazo celular más prometedora para niños con diabetes tipo 1 es un páncreas artificial de bucle cerrado que incorpora sensores de glucosa continuos y bombas de insulina, (Leahy, 2008) combina una bomba externa y un sensor con un algoritmo de tasa de infusión de insulina variable diseñado para emular las características fisiológicas de la célula, para la comunicación utiliza tecnología WIFI y topología en estrella, (Cappon et al., 2017) realizan la conexión de un sensor - App móvil - Transmisor inteligente para la monitorización de la glucosa en personas con diabetes, los resultados muestran una mejora estadísticamente significativa de todas las métricas glucémicas.

Se puede observar un sensor de aguja mínimamente invasivo, generalmente insertado en el tejido subcutáneo, el abdomen o el brazo, que mide una señal de corriente eléctrica generada por la reacción de la glucosa oxidasa. Esta señal es proporcional a la concentración de glucosa disponible en el líquido intersticial, que se convierte en una concentración de

glucosa mediante un procedimiento de calibración que suele realizarse dos veces al día. Los dispositivos se conectan mediante WIFI para enviar la información.

Implantes médicos

El mayor obstáculo para los implantes en red es la naturaleza dieléctrica del cuerpo humano, (Santagati et al., 2020) han demostrado que se pueden generar y recibir ondas ultrasónicas de forma eficiente con componentes milimétricos de baja potencia, y que a pesar de la pérdida de conversión que introducen los transductores ultrasónicos, a partir de esta investigación fundamental, construyó un prototipo que puede ser la base para construir futuros implantes médicos y dispositivos vestibles.

Por último, (Mumtaz et al., 2018) se dieron cuenta de que el uso de un enfoque de estimación de la transmisión para mejorar la precisión de la fiabilidad de la transmisión y la estimación de acuerdo con la dinámica del sistema, luego se optimizó mediante la formulación de un problema de minimización restringido.

Signos vitales

Se está investigando mucho para reducir el costo y aumentar la eficiencia en la industria médica, (Awan et al., 2019) diseñan un protocolo de enrutamiento entre los nodos de sensores de tal manera que tiene un retraso mínimo y un mayor rendimiento para los paquetes de emergencia utilizando IoT y un consumo de energía óptimo para una mayor vida útil de la red, así como la utilización eficiente de los recursos escasos. El rendimiento del protocolo propuesto se evalúa con dos técnicas de enrutamiento del estado de la técnica iM-SIMPLE y enrutamiento optimizado rentable y eficiente de la energía, esto es crucial para el seguimiento de la atención de la salud de los pacientes que no pueden tener el acceso rápido a un hospital. Los datos fluyen a través de un nodo de acceso (routers) y los dispositivos se comunican utilizando el WIFI.

Terapias

La lentitud, la falta de fiabilidad y la desorganización en el sistema de diagnóstico médico de lesiones deportivas, (Yu, 2020) lo mejora mediante una aplicación para el diagnóstico móvil y la gestión de datos del usuario. En primer lugar, la capa de aplicación, la capa de red y la estructura de la capa de percepción IoT se utilizan para planificar la jerarquía general del sistema médico de lesiones deportivas, y luego el sistema se divide en tres módulos, que son el módulo de adquisición de parámetros fisiológicos del usuario, el módulo de procesamiento de parámetros fisiológicos del usuario y el módulo de diagnóstico de daños por movimiento. Por último, los sensores (red de malla), los servidores, los protocolos de comunicación específicos, representan un cambio inteligente hacia procesos de fabricación más interconectados en los que las entidades individuales dentro de la cadena de suministro se comunican entre sí para lograr una mayor flexibilidad y capacidad de respuesta en la fabricación general y una fabricación más eficiente para reducir el costo de producción (Lam et al., 2020), esto debido a que un gran número de personas deben utilizar prótesis (Sanders et al., 2019).

Salud mental

La epilepsia se caracteriza por la recurrencia de convulsiones espontáneas y tiene un impacto negativo considerable en la calidad y la esperanza de vida del paciente. La tecnología UWB solo transmite en distancias cortas (hasta 10 metros), pero tiene la ventaja de lograr un ancho de banda muy elevado (hasta 480 Mbps), consumiendo poca energía. Es ideal para la transferencia inalámbrica de contenidos multimedia de alta calidad, como vídeos, entre dispositivos electrónicos de consumo y periféricos informáticos (Sayeed et al., 2019). Además, los métodos de evaluación de la Ataxia son engorrosos y no permiten un control y seguimiento

regular de los pacientes. Una de las tareas más difíciles es detectar las diferentes anomalías de la marcha en los pacientes con Ataxia (Zilani et al., 2020). El estrés crónico, el consumo de alimentos incontrolado o no supervisado y la obesidad están estrechamente relacionados, incluso implicando ciertas adaptaciones neurológicas (Rachakonda et al., 2020). En conclusión, los accidentes cerebrovasculares se encuentran entre las tres principales causas de muerte en todo el mundo. Además, los accidentes cerebrovasculares son una de las principales causas de morbilidad, hospitalizaciones y discapacidades adquiridas (Sarmiento et al., 2020).

Presión arterial

La hipertensión es una enfermedad crónica que provoca riesgo de diferentes tipos de trastornos, como ataques de hipertensión, accidentes cerebrovasculares, insuficiencia renal y enfermedades cardiovasculares (Sood & Mahajan, 2019), lo más importante es controlar las prescripciones designadas y revisar constantemente la presión arterial para evitar el conocido "efecto bata blanca" (da Silva et al., 2019). Del mismo modo, la relación entre la tecnología y la atención sanitaria, debido al auge del Internet de las cosas inteligentes (IoT), la inteligencia artificial (IA) y la rápida adopción pública de wearables de grado médico, se ha transformado drásticamente en los últimos años. En el mismo contexto, (Farahani et al., 2020) proponen una arquitectura holística de IoT eHealth impulsada por la IA y basada en el concepto de aprendizaje automático colaborativo, en la que la inteligencia se distribuye a través de la capa del dispositivo, la capa del borde/la niebla y la capa de la nube, actualmente hay más de 3. 000 dispositivos de AP disponibles en el mercado, pero muchos de ellos no tienen publicados datos de pruebas de precisión según los estándares científicos establecidos (Sharman et al., 2020).

Laboratorio de monitorización

Las operaciones ininterrumpidas y la continuidad del negocio son requisitos clave para cualquier edificio altamente automatizado situado bajo el paradigma de la industria 4.0, para lo cual la Calidad de la Energía juega un papel importante. (Alonso-Rosa et al., 2018) describen un novedoso sensor de bajo coste para el Internet de las Cosas que mide y analiza la calidad de la energía a la entrada de cualquier dispositivo de corriente alterna (CA), proporcionando un sistema de detección y análisis temprano que monitoriza aquellas variables críticas que varían dentro de la instalación y permite anticiparse a los fallos con alertas en fase temprana basadas en el procesamiento del flujo de datos.

El Problema de La Topología De La Red

Existen tres modelos topológicos básicos para la IOT: el modelo en estrella, el modelo en malla y el modelo híbrido. Estructuralmente, el modelo en estrella se basa en la centralización de la computación, el almacenamiento y el control. En una red Star IoT, un dispositivo final solo está conectado a un único nodo de red, que actúa como nodo central para el dispositivo. A su vez, cada uno de estos nodos de red está conectado a un nodo servidor, que podría ser una conexión a otro nodo de red con capacidades superiores o funcionalidades diferentes, cumpliendo este último el papel de nodo central de mayor jerarquía (K. & Desai, 2016).

De esta forma, para que dos dispositivos finales se comuniquen entre sí, la información debe viajar hasta el nodo central que comunica las rutas a ambos dispositivos y luego completar el camino desde el nodo central hasta el destinatario. Este tipo de estructura de red tiene ventajas en un entorno IoT debido a su facilidad de configuración, refiriéndose a ella como añadir y eliminar dispositivos finales y detectar fallos. Además, esta configuración, normalmente cargada en un dispositivo central que supervisa la resolución de todas esas complejas situaciones, permite que el rendimiento de la red sea consistente, predecible y bueno: baja latencia y suficiente ancho de banda. La latencia, una preocupación para las aplicaciones

de IoT, disminuiría con el uso de este tipo de topologías, ya que se reduce el número de saltos necesarios para transportar la información hasta el destino. A pesar de todo esto, las redes en estrella tienen serias desventajas que afectan al rendimiento en entornos IoT. La centralización de las funcionalidades resuelve muchos problemas, pero presenta una de las desventajas más graves: un único punto de fallo. Si el dispositivo central con el que se comunican los diferentes nodos de la red falla, el rendimiento de la red se ve completamente perjudicado. En cambio, si los nodos más cercanos a los dispositivos finales fallan -hablando de una red en estrella en forma jerárquica- el sector de la red que falla puede aislarse rápidamente, mientras el resto de la red funciona correctamente. Las redes en estrella también suelen tener dificultades con respecto a las interferencias de radio, el alcance de la transmisión (limitado al alcance de la transmisión del dispositivo que actúa como nodo central) y el consumo de energía, que depende de la distancia entre los dispositivos conectados, recordando que los dispositivos de la IO funcionan en su mayoría con baterías.

Tabla 3

Topologías Usadas en IoT

Topologías	Resultado
Start	41
Peer-to-Peer	10
Mesh	15
Hybrid	4
Sum	70

En cuanto a las redes Peer-to-Peer, tienen una estructura en la que todos los nodos de la red están conectados entre sí, es decir, existe un enlace permanente entre cada nodo de la red. De este modo, este tipo de configuración permite una conexión adaptativa a la situación en la que se encuentra la red con respecto al tráfico de información. Las redes peer-to-peer no son tan fáciles de configurar, ya que es necesario establecer los enlaces entre cada uno de los nodos de la red añadidos y los existentes, y luego conectar los dispositivos finales a ellos. En una topología de malla cada nodo de la red está conectado a al menos otros dos nodos, mientras que la topología híbrida se divide en topología estrella y topología anillo (Montiveros et al., 2018).

Conclusiones

En este artículo se presenta una metodología para realizar una revisión bibliográfica, como es la Ciencia del Diseño que es una metodología de investigación en tecnologías de la información basada en resultados analizando tres parámetros importantes como son el problema, el artefacto y la forma en que el artefacto fue evaluado, a través de una macro búsqueda que permite identificar los documentos relacionados con el tema de investigación. Las estrategias de búsqueda, organización y análisis de la información, permiten tanto la obtención de los documentos referentes a un tema de investigación, como su sistematización y estructuración para analizar las principales características del conjunto de documentos en estudio. Se presentó un caso sobre un tipo de aplicación de IoT, el tema se denomina "Internet de las cosas médicas (IoMT) un reto en la topología", donde los principales problemas son las topologías utilizadas.

Referencias

- Al-Kaisey, A. M., Koshy, A. N., Ha, F. J., Spencer, R., Toner, L., Sajeev, J. K., Teh, A. W., Farouque, O., & Lim, H. S. (2020). Accuracy of wrist-worn heart rate monitors for rate control assessment in atrial fibrillation. *International Journal of Cardiology*, 300, 161–164. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2019.11.120>

- Alarifi, A., AlZubi, A. A., & Al-Maitah, M. (2019). Study of soft-tissues borderline class I malocclusion on tooth extraction and non-extraction process using medical IoT device. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, *134*, 923–929. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.11.087>
- Ali, M. M., Haxha, S., Alam, M. M., Nwibor, C., & Sakel, M. (2020). Design of Internet of Things (IoT) and Android Based Low Cost Health Monitoring Embedded System Wearable Sensor for Measuring SpO₂, Heart Rate and Body Temperature Simultaneously. *Wireless Personal Communications*, *111*(4), 2449–2463. <https://doi.org/10.1007/s11277-019-06995-7>
- Alonso-Rosa, M., Gil-de-Castro, A., Medina-Gracia, R., Moreno-Munoz, A., & Cañete-Carmona, E. (2018). Novel internet of things platform for in-building power quality submetering. *Applied Sciences (Switzerland)*, *8*(8). <https://doi.org/10.3390/app8081320>
- Arulanthu, P., & Perumal, E. (2020). An intelligent IoT with cloud centric medical decision support system for chronic kidney disease prediction. *International Journal of Imaging Systems and Technology*, *30*(3), 815–827. <https://doi.org/10.1002/ima.22424>
- Awan, K. M., Ashraf, N., Saleem, M. Q., Sheta, O. E., Qureshi, K. N., Zeb, A., Haseeb, K., & Sadiq, A. S. (2019). A priority-based congestion-avoidance routing protocol using IoT-based heterogeneous medical sensors for energy efficiency in healthcare wireless body area networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, *15*(6). <https://doi.org/10.1177/1550147719853980>
- Cappon, G., Acciaroli, G., Vettoretti, M., Facchinetti, A., & Sparacino, G. (2017). Wearable continuous glucose monitoring sensors: A revolution in diabetes treatment. *Electronics (Switzerland)*, *6*(3), 1–16. <https://doi.org/10.3390/electronics6030065>
- Chen, C. L., Yang, T. T., Deng, Y. Y., & Chen, C. H. (2020). A secure Internet of Things medical information sharing and emergency notification system based on nonrepudiation mechanism. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, February, 1–21. <https://doi.org/10.1002/ett.3946>
- Choi, J., Choi, C., Kim, S. H., & Ko, H. (2019). Medical information protection frameworks for smart healthcare based on IoT. *ACM International Conference Proceeding Series*. <https://doi.org/10.1145/3326467.3326496>
- Cubillos-Calvachi, J., Piedrahita-Gonzalez, J., Gutiérrez-Ardila, C., Montenegro-Marín, C., Gaona-García, P., & Burgos, D. (2020). Analysis of stress's effects on cardiac dynamics: A case study on undergraduate students. *International Journal of Medical Informatics*, *137*(September 2019). <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2020.104104>
- Cui, F., Ma, L., Hou, G., Pang, Z., Hou, Y., & Li, L. (2020). Development of smart nursing homes using systems engineering methodologies in industry 4.0. *Enterprise Information Systems*, *14*(4), 463–479. <https://doi.org/10.1080/17517575.2018.1536929>
- da Silva, V. J., Souza, V. da S., da Cruz, R. G., de Lucena, J. M. V. M., Jazdi, N., & Junior, V. F. de L. (2019). Commercial devices-based system designed to improve the treatment adherence of hypertensive patients. *Sensors (Switzerland)*, *19*(20), 1–31. <https://doi.org/10.3390/s19204539>
- Díaz de León-Castañeda, C. (2019). Electronic health (e-Health): a conceptual framework for its implementation in health services facilities. *Gaceta de México*, *155*(2), 161–168. <https://doi.org/10.24875/gmm.m19000251>
- Elsts, A., Fafoutis, X., Woznowski, P., Tonkin, E., Oikonomou, G., Piechocki, R., & Craddock, I. (2018). Enabling Healthcare in Smart Homes: The SPHERE IoT Network Infrastructure. *IEEE Communications Magazine*, *56*(12), 164–170. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1700791>
- Evangeline, C. S., & Lenin, A. (2019). Human health monitoring using wearable sensor. *Sensor Review*, *39*(3), 364–376. <https://doi.org/10.1108/SR-05-2018-0111>
- Farahani, B., Barzegari, M., Shams Alice, F., & Shaik, K. A. (2020). Towards collaborative intelligent IoT eHealth: From device to fog, and cloud. *Microprocessors and Microsystems*, *72*, 102938.

<https://doi.org/10.1016/j.micpro.2019.102938>

- Garbhapu, V. V., & Gopalan, S. (2017). IoT Based Low Cost Single Sensor Node Remote Health Monitoring System. *Procedia Computer Science*, 113, 408–415. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.08.357>
- Gupta, A., Chakraborty, C., & Gupta, B. (2019). *Smartphone Under IoT Framework*. 283–308. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-7399-2>
- Han, T., Zeng, M., Zhang, L., & Sangaiah, A. K. (2020). A Channel-Aware Duty Cycle Optimization for Node-to-Node Communications in the Internet of Medical Things. *International Journal of Parallel Programming*, 48(2), 264–279. <https://doi.org/10.1007/s10766-018-0587-5>
- Haoyu, L., Jianxing, L., Arunkumar, N., Hussein, A. F., & Jaber, M. M. (2019). An IoMT cloud-based real time sleep apnea detection scheme by using the SpO2 estimation supported by heart rate variability. *Future Generation Computer Systems*, 98, 69–77. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.12.001>
- Hedrick, T. L., Hassinger, T. E., Myers, E., Krebs, E. D., Chu, D., Charles, A. N., Hoang, S. C., Friel, C. M., & Thiele, R. H. (2020). Wearable technology in the perioperative period: Predicting risk of postoperative complications in patients undergoing elective colorectal surgery. *Diseases of the Colon and Rectum*, 4, 538–544. <https://doi.org/10.1097/DCR.0000000000001580>
- Huang, X., Li, Y., Chen, J., Liu, J., Wang, R., Xu, X., Yao, J., & Guo, J. (2019). Smartphone-Based Blood Lipid Data Acquisition for Cardiovascular Disease Management in Internet of Medical Things. *IEEE Access*, 7, 75276–75283. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2922059>
- Ignacio, J., Luna, V., Javier, F., Rangel, S., Francisco, J., & Aceves, C. (2019). *MONITOREO DE SIGNOS VITALES USANDO IoT*. 41(134), 751–769.
- K., J., & Desai, A. (2016). IoT: Networking Technologies and Research Challenges. *International Journal of Computer Applications*, 154(7), 1–6. <https://doi.org/10.5120/ijca2016912181>
- Kan, C., Chen, Y., Leonelli, F., & Yang, H. (2015). Mobile sensing and network analytics for realizing smart automated systems towards health Internet of Things. *IEEE International Conference on Automation Science and Engineering, 2015-October*, 1072–1077. <https://doi.org/10.1109/CoASE.2015.7294241>
- Kang, S., Baek, H., Jun, S., Choi, S., Hwang, H., & Yoo, S. (2018). Laboratory environment monitoring: Implementation experience and field study in a tertiary general hospital. *Healthcare Informatics Research*, 24(4), 371–375. <https://doi.org/10.4258/hir.2018.24.4.371>
- Karthick, T., & Manikandan, M. (2019). Fog assisted IoT based medical cyber system for cardiovascular diseases affected patients. *Concurrency Computation*, 31(12), 1–9. <https://doi.org/10.1002/cpe.4861>
- Khan, S. U., Islam, N., Jan, Z., Din, I. U., Khan, A., & Faheem, Y. (2019). An e-Health care services framework for the detection and classification of breast cancer in breast cytology images as an IoMT application. *Future Generation Computer Systems*, 98, 286–296. <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.01.033>
- Kodali, R. K., Swamy, G., & Lakshmi, B. (2016). An implementation of IoT for healthcare. *2015 IEEE Recent Advances in Intelligent Computational Systems, RAICS 2015, December*, 411–416. <https://doi.org/10.1109/RAICS.2015.7488451>
- Lam, C., Van Velthoven, M. H., & Meinert, E. (2020). Application of internet of things in cell-based therapy delivery: Protocol for a systematic review. *JMIR Research Protocols*, 9(3), 1–6. <https://doi.org/10.2196/16935>
- Latif, G., Shankar, A., Alghazo, J. M., Kalyanasundaram, V., Boopathi, C. S., & Arfan Jaffar, M. (2020). I-CARES: advancing health diagnosis and medication through IoT. *Wireless Networks*, 26(4), 2375–2389. <https://doi.org/10.1007/s11276-019-02165-6>
- Leahy, J. L. (2008). Fully Automated Closed-Loop Insulin Delivery Versus Semiautomated Hybrid Control in Pediatric Patients With Type 1 Diabetes Using an Artificial Pancreas. *Yearbook of Endocrinology*, 2008, 55–57. [https://doi.org/10.1016/s0084-3741\(08\)79222-9](https://doi.org/10.1016/s0084-3741(08)79222-9)

- Liu, L., Xu, J., Huan, Y., Zou, Z., Yeh, S. C., & Zheng, L. R. (2020). A Smart Dental Health-IoT Platform Based on Intelligent Hardware, Deep Learning, and Mobile Terminal. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 24(3), 898–906. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2019.2919916>
- Mavrogiorgou, A., Kiourtis, A., Perakis, K., Pitsios, S., & Kyriazis, D. (2019). IoT in Healthcare: Achieving Interoperability of High-Quality Data Acquired by IoT Medical Devices. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 19(9). <https://doi.org/10.3390/s19091978>
- Medeiros, V. N., Silvestre, B., & Borges, V. C. M. (2019). Multi-objective routing aware of mixed IoT traffic for low-cost wireless Backhauls. *Journal of Internet Services and Applications*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s13174-019-0108-9>
- Montiveros, M., Murazzo, M., Garabetti, M. M., Ros, J. S., & Rodríguez, N. (2018). Análisis de las Topologías IoT en Entornos Fog Computing mediante simulación. *Libro de Actas JCC&BD 2018*, 90–100.
- Morzy, T., Härder, T., & Wrembel, R. (2013). Advances in Intelligent Systems and Computing: Preface. In *Advances in Intelligent Systems and Computing: Vol. 186 AISC*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-37218-7>
- Mumtaz, S., Bo, A., Al-Dulaimi, A., & Tsang, K. F. (2018). Guest Editorial 5G and beyond Mobile Technologies and Applications for Industrial IoT (IIoT). *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(6), 2588–2591. <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2823311>
- Ng, C. L., Reaz, M. B. I., & Chowdhury, M. E. H. (2020). A Low Noise Capacitive Electromyography Monitoring System for Remote Healthcare Applications. *IEEE Sensors Journal*, 20(6), 3333–3342. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2019.2957068>
- Nørfeldt, L., Bøtker, J., Edinger, M., Genina, N., & Rantanen, J. (2019). Cryptopharmaceuticals: Increasing the Safety of Medication by a Blockchain of Pharmaceutical Products. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 108(9), 2838–2841. <https://doi.org/10.1016/j.xphs.2019.04.025>
- Palani, D., & Venkatalakshmi, K. (2019). An IoT Based Predictive Modelling for Predicting Lung Cancer Using Fuzzy Cluster Based Segmentation and Classification. *Journal of Medical Systems*, 43(2). <https://doi.org/10.1007/s10916-018-1139-7>
- Peng, Y., Wang, X., Guo, L., Wang, Y., & Deng, Q. (2017). An efficient network coding-based fault-tolerant mechanism in WBAN for smart healthcare monitoring systems. *Applied Sciences (Switzerland)*, 7(8). <https://doi.org/10.3390/app7080817>
- Performance, D. (2018). *Five Requirements of a Good Strategy.pdf*.
- Pirbhulal, S., Samuel, O. W., Wu, W., Sangaiah, A. K., & Li, G. (2019). A joint resource-aware and medical data security framework for wearable healthcare systems. *Future Generation Computer Systems*, 95, 382–391. <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.01.008>
- Plageras, A. P., Psannis, K. E., Ishibashi, Y., & Kim, B. G. (2016). IoT-based surveillance system for ubiquitous healthcare. *IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference)*, 0, 6226–6230. <https://doi.org/10.1109/IECON.2016.7793281>
- Quincozes, S., Emilio, T., & Kazienko, J. (2019). MQTT protocol: Fundamentals, tools and future directions. *IEEE Latin America Transactions*, 17(9), 1439–1448. <https://doi.org/10.1109/TLA.2019.8931137>
- Qureshi, F., & Krishnan, S. (2018). Wearable hardware design for the internet of medical things (IoMT). *Sensors (Switzerland)*, 18(11). <https://doi.org/10.3390/s18113812>
- Rachakonda, L., Mohanty, S. P., & Kougiianos, E. (2020). ILog: An Intelligent Device for Automatic Food Intake Monitoring and Stress Detection in the IoMT. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 66(2), 115–124. <https://doi.org/10.1109/TCE.2020.2976006>
- Rachakonda, L., Mohanty, S. P., Kougiianos, E., & Sundaravadivel, P. (2019). Stress-Lysis: A DNN-Integrated Edge Device for Stress Level Detection in the IoMT. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*,

65(4), 474–483. <https://doi.org/10.1109/TCE.2019.2940472>

- Rajasekaran, M., Yassine, A., Hossain, M. S., Alhamid, M. F., & Guizani, M. (2019). Autonomous monitoring in healthcare environment: Reward-based energy charging mechanism for IoMT wireless sensing nodes. *Future Generation Computer Systems*, 98, 565–576. <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.01.021>
- Rajput, A., & Brahim, T. (2019a). Characterizing internet of medical things/personal area networks landscape. In *Innovation in Health Informatics: A Smart Healthcare Primer*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819043-2.00015-0>
- Rajput, A., & Brahim, T. (2019b). Characterizing IOMT/personal area networks landscape. *ArXiv*, 1–29.
- Rani, S., Ahmed, S. H., & Shah, S. C. (2019). Smart health: A novel paradigm to control the chickungunya virus. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(2), 1306–1311. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2802898>
- Rubí, J. N. S., & Gondim, P. R. L. (2019). IoMT platform for pervasive healthcare data aggregation, processing, and sharing based on oneM2M and openEHR. *Sensors (Switzerland)*, 19(19), 1–25. <https://doi.org/10.3390/s19194283>
- Sánchez, A. A., González Guerrero, E., & Barreto, L. E. (2019). Modelo informático integrado AmI-IoT-DA para el cuidado de personas mayores que viven solas. *Revista Colombiana de Computación*, 20(1), 59–71. <https://doi.org/10.29375/25392115.3607>
- Sanders, J. E., Garbini, J. L., McLean, J. B., Hinrichs, P., Predmore, T. J., Brzostowski, J. T., Redd, C. B., & Cagle, J. C. (2019). A motor-driven adjustable prosthetic socket operated using a mobile phone app: A technical note. *Medical Engineering and Physics*, 68, 94–100. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2019.04.003>
- Santagati, G. E., Dave, N., & Melodia, T. (2020). Design and performance evaluation of an implantable ultrasonic networking platform for the internet of medical things. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 28(1), 29–42. <https://doi.org/10.1109/TNET.2019.2949805>
- Sarmiento, R. M., Vasconcelos, F. F. X., Filho, P. P. R., & de Albuquerque, V. H. C. (2020). An IoT platform for the analysis of brain CT images based on Parzen analysis. *Future Generation Computer Systems*, 105, 135–147. <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.11.033>
- Sayeed, M. A., Mohanty, S. P., Kougiannos, E., & Zaveri, H. P. (2019). Neuro-Detect: A Machine Learning-Based Fast and Accurate Seizure Detection System in the IoMT. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 65(3), 359–368. <https://doi.org/10.1109/TCE.2019.2917895>
- Sharman, J. E., O'Brien, E., Alpert, B., Schutte, A. E., Delles, C., Hecht Olsen, M., Asmar, R., Atkins, N., Barbosa, E., Calhoun, D., Campbell, N. R. C., Chalmers, J., Benjamin, I., Jennings, G., Laurent, S., Boutouyrie, P., Lopez-Jaramillo, P., McManus, R. J., Mihailidou, A. S., ... Stergiou, G. (2020). Lancet Commission on Hypertension group position statement on the global improvement of accuracy standards for devices that measure blood pressure. *Journal of Hypertension*, 38(1), 21–29. <https://doi.org/10.1097/HJH.0000000000002246>
- Silvestre-Blanes, J., Sempere-Payá, V., & Albero-Albero, T. (2020). Smart sensor architectures for multimedia sensing in iomt. *Sensors (Switzerland)*, 20(5), 1–16. <https://doi.org/10.3390/s20051400>
- Song, J., Pandian, V., Mauk, M. G., Bau, H. H., Cherry, S., Tisi, L. C., & Liu, C. (2018). Smartphone-Based Mobile Detection Platform for Molecular Diagnostics and Spatiotemporal Disease Mapping. *Analytical Chemistry*, 90(7), 4823–4831. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.8b00283>
- Sood, S. K., & Mahajan, I. (2019). IoT-fog-based healthcare framework to identify and control hypertension attack. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(2), 1920–1927. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2871630>
- Toor, A. A., Usman, M., Younas, F., Fong, A. C. M., Khan, S. A., & Fong, S. (2020). Mining massive e-health data streams for IoMT enabled healthcare systems. *Sensors (Switzerland)*, 20(7), 1–24. <https://doi.org/10.3390/s20072131>

- Ullah, F., Habib, M. A., Farhan, M., Khalid, S., Durrani, M. Y., & Jabbar, S. (2017). Semantic interoperability for big-data in heterogeneous IoT infrastructure for healthcare. *Sustainable Cities and Society*, 34, 90–96. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.06.010>
- Vellappally, S., Al Kheraif, A. A., Anil, S., & Wahba, A. A. (2019). IoT medical tooth mounted sensor for monitoring teeth and food level using bacterial optimization along with adaptive deep learning neural network. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 135, 672–677. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.11.078>
- Xing, F., Peng, G., Liang, T., & Jiang, J. (2018). Challenges for deploying IoT wearable medical devices among the ageing population. In *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics): Vol. 10921 LNCS*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91125-0_25
- Yadav, N., Jin, Y., & Stevano, L. J. (2019). AR-IoMT Mental Health Rehabilitation Applications for Smart Cities. *HONET-ICT 2019 - IEEE 16th International Conference on Smart Cities: Improving Quality of Life Using ICT, IoT and AI*, 166–170. <https://doi.org/10.1109/HONET.2019.8907997>
- Yu, H. (2020). Research and optimization of sports injury medical system under the background of Internet of things. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 31(12), 1–14. <https://doi.org/10.1002/ett.3929>
- Zanjali, S. V., & Talmale, G. R. (2016). Medicine Reminder and Monitoring System for Secure Health Using IOT. *Physics Procedia*, 78(December 2015), 471–476. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.02.090>
- Zilani, T. A., Al-Turjman, F., Khan, M. B., Zhao, N., & Yang, X. (2020). Monitoring movements of ataxia patient by using UWB technology. *Sensors (Switzerland)*, 20(3), 1–16. <https://doi.org/10.3390/s20030931>

Uso de algoritmos de aprendizaje automático para analizar los datos de energía eléctrica facturada en la Región Metropolitana de Chile durante el período 2015-2021

Use of machine learning algorithms to analyze data on electricity billed in the Metropolitan Region of Chile during the period 2015-2021

César A. Yajure Ramírez¹ <https://orcid.org/0000-0002-3813-7606>

¹Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela
cyajure@gmail.com



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.

Enviado: 2022/08/18

Aceptado: 2022/12/01

Publicado: 2022/12/30

Resumen

En la presente investigación se hace el análisis de los datos de energía eléctrica facturada a los clientes regulados en la región metropolitana de Chile durante el período 2015-2021, con el fin de establecer las características de la estructura de los datos, la relación entre las variables, predecir las clases de los registros nuevos, e identificar los patrones subyacentes en los datos. Para ello se utilizó el análisis estadístico descriptivo y los algoritmos de aprendizaje automático K-Means y K-NN. Se pudo establecer que, para el período de estudio, el consumo de energía unitario promedio para clientes residenciales fue de 453 kWh, y de 10.315 kWh para clientes no residenciales. Asimismo, se estableció que hay dependencia entre el número de clientes y la energía eléctrica facturada, al igual que entre la comuna y la empresa distribuidora. Por otra parte, con el algoritmo K-Means se obtuvo un modelo que agrupó los datos de acuerdo con el tipo de cliente, así como también de acuerdo con el tipo de empresa de distribución eléctrica que abastece a los clientes regulados. Por medio del algoritmo K-NN se obtuvo un modelo para predecir el tipo de cliente de los registros nuevos, con una exactitud del 99,73%.

Palabras clave: Ciencia de datos, clientes regulados, tipos de clientes, K-NN, K-Means.

Abstract

This research presents the data analysis of electrical energy billed to regulated clients in the

Sumario: Introducción, Metodología, Resultados y Discusión y Conclusiones.

Como citar: Yajure, C. (2022). Uso de algoritmos de aprendizaje automático para analizar los datos de energía eléctrica facturada en la Región Metropolitana de Chile durante el período 2015-2021. *Revista Tecnológica - Espol*, 34(4), 137-152. <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/963>

metropolitan region of Chile during 2015-2021 to establish the characteristics of the data structure and the relationship between the variables. It also aims to predict the classes of new records, and to identify underlying patterns in the data. This study uses descriptive statistical analysis, and the K-Means and K-NN machine learning algorithms. For this study period, it was established that the average unit energy consumption for residential customers was 453 kWh, and 10,315 kWh for non-residential customers. Likewise, there is a dependency between the number of clients and the electricity billed, as well as between the commune and the distribution company. On the other hand, the K-Means algorithm suggests a model that groups the data according to the type of customer and the type of electricity distribution company that supplies regulated customers. The application of the K-NN algorithm resulted in a model to predict the type of client of the new records, with an accuracy of 99.73%.

Keywords: Data Science, regulated customers, types of clients, K-NN, K-Means.

Introducción

En Chile se tienen tres sistemas eléctricos independientes, el sistema eléctrico nacional compuesto por las instalaciones de generación eléctrica, transmisión y consumo que abarcan el territorio desde las regiones de Arica Parinacota, hasta la Isla Grande de Chiloé, en la región de Los Lagos. El Sistema de Aysén en la región del mismo nombre, y el Sistema de Magallanes que abarca la región de Magallanes y la Antártica Chilena.

Desde el punto de vista de los usuarios, la normativa chilena establece dos segmentos principales en el área de consumo de energía eléctrica: clientes regulados y clientes libres. De acuerdo con la Sociedad Alemana de Cooperación Internacional (2020, p. 30), “el segmento de clientes regulados lo conforman consumidores con una potencia conectada igual o inferior a 5 MW, pero aquellos con una potencia conectada entre 500 kW y 5 MW, y que están ubicados en el área de concesión de una empresa distribuidora, pueden optar a ser clientes libres”. Por el contrario, el segmento de clientes libres está compuesto por consumidores cuya potencia conectada es superior a 5 MW, y que pueden pactar libremente los precios y condiciones con sus suministradores. Aquellos con potencia superior a 500 kW que opten a ser clientes libres, deben permanecer al menos 4 años en esta categoría. La principal razón que impulsa el traspaso de clientes regulados a clientes libres es el monto que se debe pagar por el consumo de electricidad, y según García Bernal (2019) desde el año 2018 el monto por el kWh de energía ha sido mayor en la tarifa de clientes regulados con respecto a la de los clientes libres, y se espera que se mantenga esa tendencia, por lo menos hasta el año 2028.

Por su definición, los clientes regulados se relacionan únicamente con la empresa de distribución eléctrica. Ésta deberá contratar el suministro de energía y potencia y traspasar estos costos, además de los cargos de transmisión, al cliente. Además, debe recaudar el valor agregado de distribución, es decir, los costos de generación, transmisión y distribución se traspasan al cliente final. Según lo indican Argüello y García (2020, p. 1), “el costo de la energía asociado al segmento de generación se calcula a través del precio de nudo promedio”. En cuanto a la transmisión, el costo debe considerar el uso de las instalaciones a nivel nacional y zonal, además de los sistemas de interconexión internacional. Por último, las empresas de distribución reciben sus ingresos a través del llamado valor agregado de distribución. La Comisión Nacional de Energía (CNE), es el ente encargado de fijar las tarifas que pueden cobrar las empresas por la distribución de electricidad, esto lo realiza cada cuatro años. Como lo indican Argüello y García, para los clientes residenciales todos los costos mencionados se establecen de manera regulada, a través de decretos.

La normativa vigente chilena establece distintas opciones tarifarias para los clientes regulados, y define dos niveles de voltaje para los tipos de tarifas. Según (Azócar Rojas, 2018) los clientes en alta tensión son aquellos que se conectan a la red con un voltaje superior a los 400 voltios, mientras que los clientes en baja tensión se conectan a la red con un voltaje igual o inferior a los 400 voltios. Para los clientes residenciales se tienen las tarifas: BT1a, BT1b, TRBT2, TRBT3, TRAT1, TRAT2, TRAT3, y para los clientes no residenciales se tienen las tarifas: BT2, BT3, BT4.1, BT4.2, BT4.3, BT5, AT2, AT3, AT4.1, AT4.2, AT4.3, AT5. En cuanto a las tarifas para clientes no residenciales, en la consultoría desarrollada por Mercados Energéticos Consultores (2014) se indica que las tarifas BT2 y AT2 son utilizadas principalmente por clientes comerciales, y las tarifas BT3, BT4, AT3 y AT4, son utilizadas principalmente por usuarios industriales.

Ahora bien, con el fin de definir y/o hacer seguimiento a las políticas públicas en el área energética y/o mejorar la gestión del servicio que se presta desde las empresas distribuidoras de electricidad, es conveniente conocer el desempeño del consumo de energía eléctrica, a través del análisis de datos de consumo o de facturación de la energía eléctrica de los clientes del servicio. En ese sentido, en la presente investigación, tomando en cuenta los datos estadísticos oficiales de la CNE, se realizó el análisis de los datos de energía eléctrica facturada mensual por tipo de cliente, tipo de tarifa, y ubicación geográfica de los usuarios, durante el período 2015-2021, en la región metropolitana de Chile. Los objetivos fueron describir, a partir de los resultados cuantitativos obtenidos, sus características principales, descubrir patrones en la energía eléctrica facturada, y predecir categorías en los datos nuevos. Para lograrlo, se hizo uso de algoritmos de aprendizaje automático, tanto de aprendizaje supervisado como de no supervisado. Específicamente, se utilizó el algoritmo K-Means para encontrar patrones en los datos de energía eléctrica facturada, y el algoritmo K-NN para predecir las categorías de nuevos datos.

Se encontró una gran variedad de investigaciones sobre uso de algoritmos de aprendizaje automático para detectar patrones y/o hacer predicciones a partir de datos de consumo de energía eléctrica. La mayoría de ellas está orientada al consumo eléctrico residencial y/o al uso de algoritmo K-Means para definir perfiles de usuarios, principalmente con datos de consumo horario. Por ejemplo, en Rajabi et al. (2020) desarrollan un estudio comparativo de técnicas de agrupamiento para patrones de segmentación de carga eléctrica, utilizando datos de consumo diario de energía eléctrica, y haciendo uso de distintas métricas para comparar los distintos algoritmos empleados, siendo K-Means el algoritmo de mejor desempeño con respecto a las métricas MSE y tiempo de procesamiento. De igual forma, en (M. Shapi, Ramli, & Awal, 2021) se utilizan algoritmos de aprendizaje automático para predecir el consumo de energía en edificios inteligentes. Aplicaron los algoritmos Máquina de Soporte Vectorial y K vecinos más cercanos, junto a redes neuronales, utilizando la plataforma Azure. El algoritmo Máquina de Soporte Vectorial tuvo el mejor desempeño en términos de las métricas NRMSE, RMSE, y MAPE. Por otra parte, (Yilmaz, Chambers, Li, & Patel, 2021) desarrollaron un análisis comparativo de patrones de uso de la electricidad, utilizando técnicas de minería de datos. Más específicamente, utilizaron el algoritmo de agrupamiento K-Means sobre un conjunto de datos de mil edificios en Suiza, obteniendo patrones de uso de la electricidad significativamente diferentes entre sí. Adicionalmente, (Valgaev, Kupzog, & Schme, 2017) realizaron una investigación para predecir la demanda de energía eléctrica de edificios, utilizando un predictor basado en el algoritmo de K vecinos más cercanos, que resultó significativamente más preciso que otros modelos utilizados previamente.

El resto del artículo se organiza de la siguiente manera. En la sección 2 se presenta la metodología utilizada en la investigación. Seguidamente, en la sección 3 se presenta el

desarrollo de la metodología aplicada y la discusión de los resultados obtenidos. En la sección 4 se presentan las conclusiones que se derivaron de la investigación realizada.

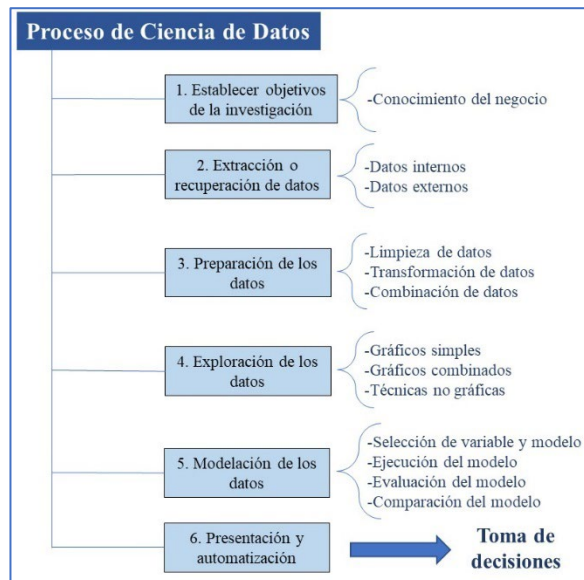
Metodología

Este trabajo tiene rasgos de una investigación descriptiva, asociados al análisis exploratorio de los datos, pero también rasgos de una investigación explicativa relacionados con la aplicación de los algoritmos de aprendizaje automático. Pues, tal como lo indica Bernal (2010), en la investigación descriptiva se refieren las características del fenómeno objeto de estudio. Adicionalmente Bernal plantea que en la investigación de tipo explicativa se analizan causas y efectos de la relación entre variables existentes.

Por otra parte, para realizar el análisis de grandes cantidades de datos, con el fin de extraer de ellos la información pertinente para la toma de decisiones se utiliza lo que se conoce como la Ciencia de Datos. De acuerdo con Cielen y otros (2016), la Ciencia de Datos involucra el uso de métodos para analizar cantidades masivas de datos y extraer el conocimiento que contienen. La extracción de información y/o conocimiento a partir de los datos se lleva a cabo a través de dos etapas claramente diferenciadas: el análisis exploratorio de los datos y la modelación de los datos. La primera usualmente se ejecuta utilizando medios visuales y estadística descriptiva, mientras que la etapa de modelación se lleva a cabo aplicando algoritmos de aprendizaje automático para generar modelos que nos permitan detectar patrones en los datos, predecir categorías, predecir valores de una variable objetivo, entre otras características. En ese sentido, las etapas que conforman un proceso de Ciencia de Datos se presentan en la Figura 1.

Figura 1

Etapas del proceso de la Ciencia de Datos



De la Figura 1 se puede observar que la primera etapa consiste en establecer los objetivos de la investigación, la cual requiere tener un conocimiento básico del negocio del que se generan los datos a analizar. En esta investigación se desarrollan las seis etapas del proceso y se aplican a los datos de energía eléctrica facturada mensual en la Región Metropolitana (RM) de Chile, durante el período 2015-2021. La etapa 2 se presenta en esta sección, y las restantes etapas se presentan en la siguiente sección.

Extracción y descripción del conjunto de datos

Los datos utilizados se extrajeron el 16/07/2022 de la plataforma online “Energía Abierta” de la Comisión Nacional de Energía de Chile (2022), la cual es el ente regulador del mercado energético chileno. Estos datos corresponden a la energía eléctrica facturada mensual para clientes regulados en Chile, durante el período 2015-2021.

El conjunto de datos tiene 338.652 filas y 11 columnas. Las columnas equivalen a las 11 variables existentes, las cuales son: el año en que se consume esta energía facturada (“Year”), el mes en que se consume la energía facturada (“Mes”), la comuna donde la empresa distribuidora hace el retiro de esta energía para los clientes regulados (“Comuna”), el tipo de clientes ya sean residenciales o no residenciales (“Tipo_clientes”), el tipo de tarifa correspondiente para los tipos de clientes (“Tarifa”), la cantidad de clientes que son abastecidos con la energía eléctrica retirada del punto de suministro (“Numero_Clientes”), la energía eléctrica base en kWh facturada a los clientes regulados durante el período informado (“E1_kwh”), la energía eléctrica adicional de invierno en kWh facturada a los clientes regulados (“E2_kwh”), la energía eléctrica total en kWh facturada a los clientes regulados durante el período informado (“Energia_kwh”), el precio equivalente de la energía en pesos por kWh (PEE), el precio equivalente de la potencia en pesos por kW (PEP).

Cada una de las 338.652 filas corresponden a un lote de energía eléctrica retirado del punto de suministro por parte de la empresa distribuidora durante el período informado, para abastecer a un determinado número de clientes, que tienen un mismo tipo de tarifa, y que están ubicados en la misma región y comuna del país.

Resultados y Discusión

Seguidamente, se aplican las etapas restantes del proceso de Ciencia de Datos, y se discuten los resultados obtenidos.

Preparación de los datos

La limpieza y preparación de los datos se hizo aplicando las técnicas mencionadas por (McKinney, 2018), utilizando el lenguaje de programación Python. Incluyó, entre otras técnicas, la verificación del formato adecuado de los datos, corrigiendo cuando era necesario, verificación de datos faltantes, y en caso de haberlos, aplicación de la técnica de imputación adecuada, verificación de datos duplicados, transformación de datos, y combinación de datos.

Los datos numéricos y los categóricos deben tener el formato correcto, de acuerdo con su naturaleza. Para los datos categóricos se utiliza el formato “object”, y para los datos numéricos se utilizan los formatos “int” (entero) o “float” (decimal). En esta investigación, solo fue necesario ajustar el formato del número de clientes de decimal a entero.

Adicionalmente, se detectaron un total de 25 datos faltantes, uno en la variable “Numero_Clientes”, doce en la variable “E1_kwh”, y 12 en la variable “E2_kwh”. Estos 25 datos correspondieron a 13 filas del conjunto de datos, las cuales fueron alrededor del 0,004% del total de filas, por lo que fueron eliminadas. Por otra parte, se comprobó la posible existencia de filas duplicadas, de las cuales sólo se encontró una de ellas, y fue eliminada, quedando 338.638 filas sin datos faltantes, y sin duplicación.

Ahora, haciendo una revisión más relacionada con el área de negocios de los datos analizados, se detectaron filas que no tenían clientes asociados, es decir, el número de clientes era nulo. Las filas con esta característica de número de clientes nulos no tenían sentido, puesto que el conjunto de datos está referido a la energía eléctrica facturada a un número determinado

de clientes regulados. El número de filas con esta situación fue de 4.468, representando sólo el 1,32% del total filas, por lo que fueron eliminadas del conjunto de datos, quedando 334.170 filas. Posteriormente, se filtraron los datos de manera tal de trabajar sólo con los de la Región Metropolitana, después de lo cual quedaron 50.960 filas. A continuación, se consideró que la energía eléctrica facturada se puede tomar como un proxy del consumo de energía, por lo que se combinaron las columnas “Número_Clientes” y “Energía_kwh” para calcular el consumo unitario en kWh y agregarlo como una columna adicional (“ConsUnit_kwh”). Finalmente, se agregó una columna con la empresa distribuidora de electricidad correspondiente a cada grupo de clientes abastecidos.

Análisis exploratorio de los datos

Consistió en el desarrollo de un análisis descriptivo de los datos, utilizando tanto herramientas visuales como analíticas, con el fin de obtener un mayor entendimiento de éstos, y de la interacción entre las variables. El conjunto de datos disponibles en este punto está compuesto por 50.960 filas y 13 columnas, correspondientes a los datos de la energía eléctrica facturada en la RM.

En primer lugar, se comprueba que en los datos hay tarifas para clientes residenciales y para clientes no residenciales. Para clientes residenciales se tiene únicamente la tarifa BT1a. Para clientes no residenciales se tienen las tarifas: BT2, BT3, BT4.1, BT4.2, BT4.3, AT2, AT3, AT4.1, AT4.2, AT4.3.

Del conjunto de datos analizados se puede establecer que, durante el período de estudio, se abastecieron mensualmente, en promedio, 2.741.233 clientes regulados, equivalentes a un promedio anual de 29.654.800 clientes. Del total del período, el 97,22% correspondió a clientes regulados residenciales con el tipo de tarifa BT1a, mientras que sólo el 1,04% correspondió a clientes regulados con tarifa BT2. En la Tabla 1 se muestran los datos para todo el período de estudio.

Tabla 1

Cantidad de clientes abastecidos por tipo de tarifa

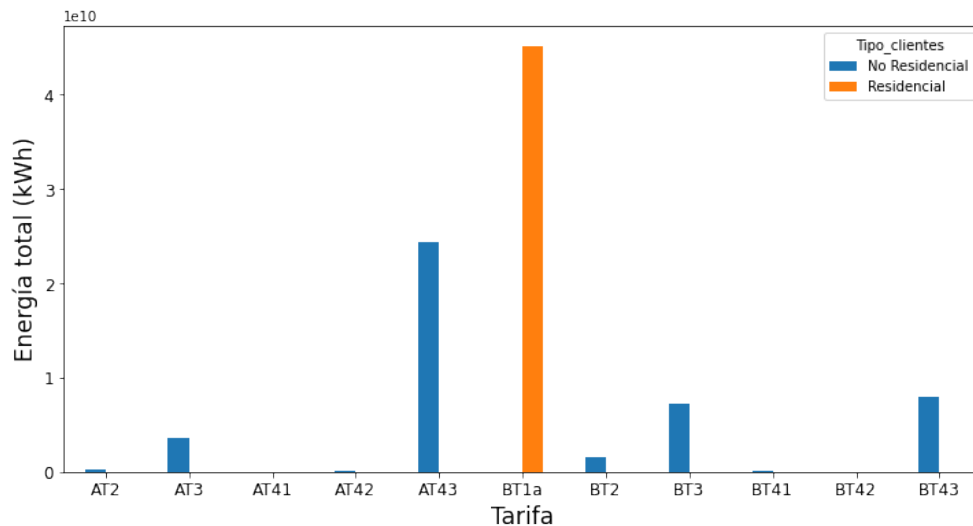
Tarifa	Numero_Clientes	%
BT1a	201.809.155	97,218
BT3	2.166.553	1,0437
BT43	1.474.378	0,7103
BT2	1.137.571	0,5480
AT43	550.715	0,2653
AT3	240.765	0,1160
AT2	175.825	0,0847
BT41	14.605	0,0070
AT42	9.146	0,0044
BT42	2.750	0,0013
AT41	2.135	0,0010

Por otra parte, durante el período de estudio se facturó un total de 90.230.754 MWh, siendo aproximadamente 50% a clientes regulados no residenciales, y el otro 50% a clientes residenciales. El consumo unitario promedio para clientes residenciales fue de aproximadamente 453 kWh, mientras que para los clientes no residenciales fue 10.315 kWh. Sin embargo, es importante mencionar que entre los años 2015 y 2019 el consumo unitario

residencial fue en promedio de 224 kWh, pero en el año 2020 en el que ocurrieron las cuarentenas por la pandemia de la Covid-19, subió a 1.759,28 kWh, cayendo nuevamente en el año 2021 hasta 258,92 kWh. El aumento del consumo durante el año 2020 coincide con lo presentado por (Moreno, y otros, 2020), quienes indican que, durante el mes de junio del 2020 el consumo residencial aumentó 17% con respecto al mismo mes del año 2019. En la Figura 2 se presenta la energía total facturada por tipo de cliente y por tipo de tarifa, de la cual se puede observar que, en cuanto a los clientes regulados no residenciales, aquellos con tarifas AT43 y BT43, fueron los de mayor energía eléctrica facturada.

Figura 2

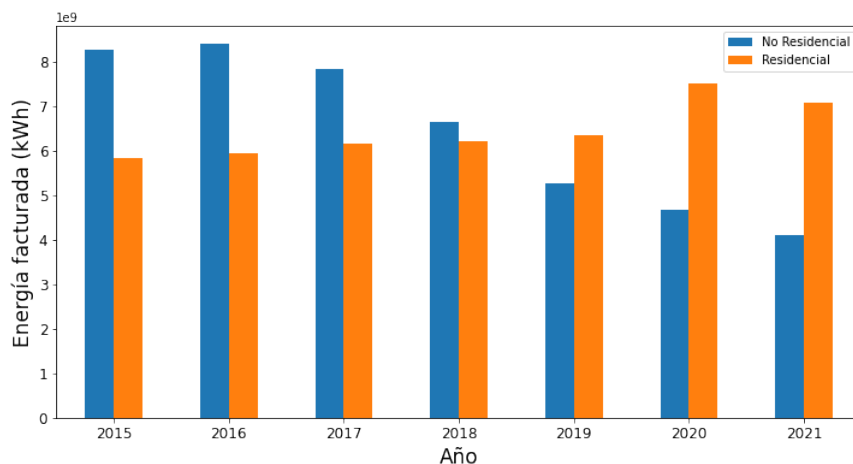
Energía facturada por tarifa y tipo de cliente



Por otra parte, la energía facturada total anual a clientes regulados para el año 2015, el primero del período de estudio, fue de 14.325.878,7 MWh. Este valor aumentó 1,48% durante el año 2016, pero luego ha disminuido continuamente, 2,37% en el año 2017, 8,14% en el año 2018, y 9,69% durante el año 2019. Luego aumentó 4,87% durante el año 2020 impulsada por el sector residencial, pero finalmente cayó 8,09% durante el año 2021. En total, durante el período de estudio, cayó casi 21%. En la Figura 3 se presenta la información completa, mostrando la energía facturada total anual por tipo de cliente regulado.

Figura 3

Energía facturada por año y tipo de cliente

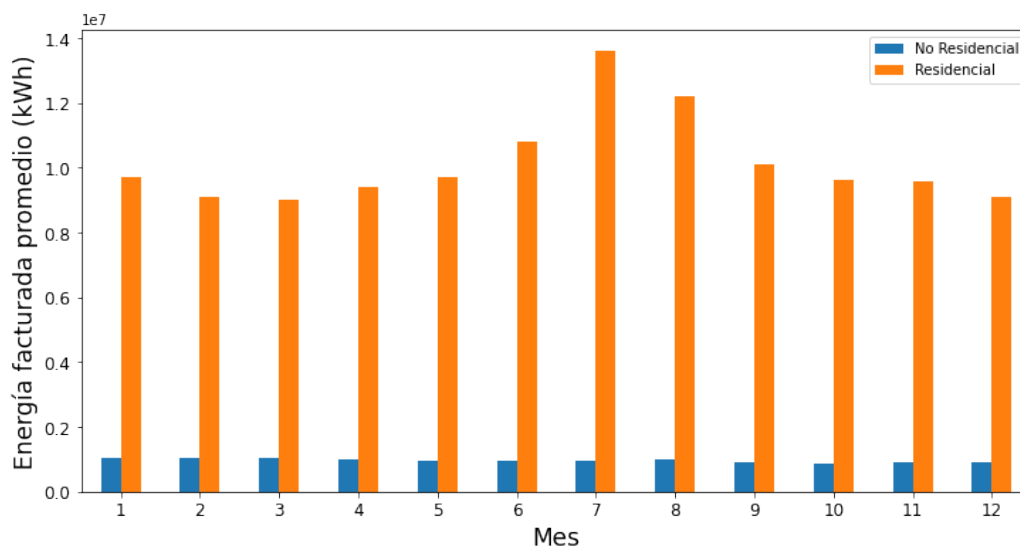


De la Figura 3 se puede observar que entre el año 2015 y el año 2018, los clientes no residenciales tuvieron una mayor facturación de energía eléctrica. A partir del año 2019 la situación cambió, siendo los clientes residenciales los que tuvieron una mayor facturación. De hecho, desde el año 2017, la energía facturada a los clientes no residenciales ha disminuido constantemente, mientras que la facturación de energía a los clientes residenciales ha aumentado desde el año 2015. En cuanto al número de clientes no residenciales, para el año 2021 hay 9,7% menos de lo que había en el año 2019. Estos resultados coinciden con lo presentado por Salazar Córdova (2018), quien en su investigación plantea que, durante el año 2017 hasta 1100 clientes con potencia instalada entre 500 kW y 5000 kW emigraron desde el segmento de clientes regulados al segmento de clientes libres.

Respecto a la energía facturada mensual, en promedio se muestra un mayor consumo de energía durante los meses de junio, julio y agosto, siendo la mayor facturación en el mes de julio. Los meses de menor facturación promedio corresponden a los meses del verano, específicamente los meses de diciembre, febrero y marzo, siendo marzo el mes de menor facturación promedio de energía eléctrica, durante el período de estudio. La información completa se presenta en la Figura 4.

Figura 4

Energía facturada promedio por mes y tipo de cliente



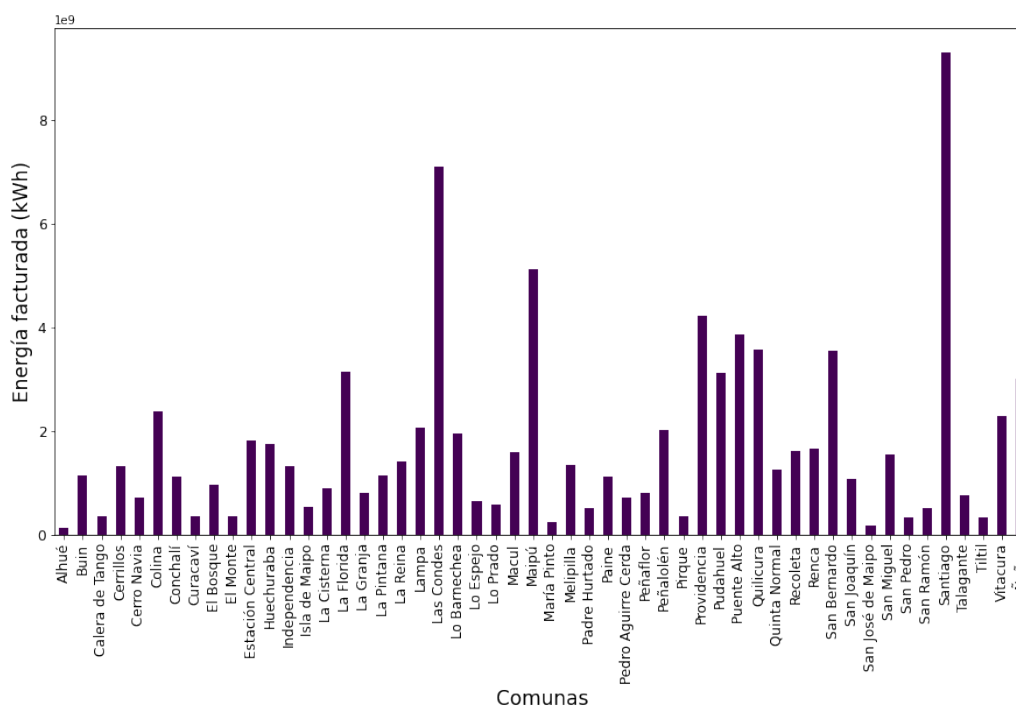
De la Figura 4 también se puede observar que la energía facturada promedio mensual para los clientes no residenciales se mantiene aproximadamente constante, y la variación mensual de la energía promedio la establecen los clientes residenciales; esto coincide con lo mostrado en (Mellado Leal, 2021) en cuanto al consumo promedio de energía eléctrica de los clientes residenciales. Es importante indicar que para los clientes no residenciales se nota una pequeña reducción durante los meses con alto número de feriados, por ejemplo, el mes de septiembre.

Referente a las comunas, se tiene que, durante el período de estudio, Santiago es la comuna en la que ha habido mayor energía eléctrica facturada con un total de 9.317.092,7 MWh y un promedio para el año 2021 de 21.590 clientes, seguida de Las Condes con 7.113.678,2 MWh y un promedio para el año 2021 de 13.811,7 clientes. La comuna de Alhué es la que ha tenido la menor cantidad de energía facturada con 131.683,4 MWh para un

promedio de 218,7 clientes para el año 2021. En la Figura 5 se presenta la información completa sobre la energía eléctrica facturada por comuna durante el período de estudio.

Figura 5

Energía facturada por comuna



De la Figura 5 se observa que la comuna de Maipú es la tercera con mayor energía eléctrica facturada con 5.136.314,6 MWh y con un promedio para el año 2021 de 13.373,8 clientes, el cual es mayor al de Las Condes que sin embargo tiene un 27,8% más de energía facturada. En ese sentido, el consumo unitario de energía promedio mensual en la comuna de Las Condes es de 262,27 kWh para clientes residenciales y de 20.495,51 kWh para clientes no residenciales, mientras que en la comuna de Maipú es de 207,02 kWh y 18.168,24 kWh, respectivamente. Para el caso de la comuna de Santiago se tienen 185,41 kWh y 14.566,21 kWh, y en la comuna de Alhué se tienen 199,17 kWh y 13.789,7 kWh, respectivamente.

Aplicación de algoritmos de aprendizaje automático

A continuación, se presenta la aplicación de los algoritmos de aprendizaje automático al conjunto de datos, y los resultados correspondientes. En ese sentido, se aplicó el algoritmo de agrupamiento K-Means para generar un modelo que permite detectar patrones dentro del conjunto de datos. Adicionalmente, se aplicó el algoritmo de predicción K-NN, para generar un modelo que permite predecir la clase de los registros nuevos que se incorporen al conjunto.

Aplicación de algoritmo K-Means

El algoritmo de agrupamiento o clustering K-Means, es un algoritmo de aprendizaje no supervisado que busca principalmente definir grupos dentro de los datos, de tal forma que cada dato dentro de un grupo tenga una variación mínima respecto a los otros integrantes del grupo. De acuerdo con Igual y Seguí (2017), el agrupamiento por K-Means consiste en agrupar juntos objetos que sean similares entre sí. Puede haber más de un grupo, siempre y cuando los objetos de un mismo grupo o clúster sean similares entre sí, y los objetos de grupos diferentes tengan características diferentes entre sí.

En la presente investigación se utiliza K-Means para detectar patrones en los datos, tal como lo hacen en Pizarro Herrera (2017), con la salvedad que ellos utilizan datos de consumo diario de energía. Ahora, previo a la aplicación del algoritmo, se hace un análisis de correlación entre las variables numéricas para reducir la dimensionalidad del conjunto de datos. Como no se tiene un conocimiento previo de la posible normalidad de los datos, se procede a realizar el análisis de correlación considerando tres métodos: Pearson, Spearman y Kendall. Según lo planteado por Amat Rodrigo (2022), el coeficiente de Pearson funciona bien para datos cuantitativos y distribuidos normalmente, pero cuando no se cumple la condición de normalidad se deben utilizar alternativas no paramétricas, como el estadístico Rho de Spearman o el estadístico Tau de Kendall.

Luego de realizar el análisis, se encontró que hay una alta correlación (mayor a 0,65 en magnitud) entre las variables: “Energía_kwh”, “E1_kwh”, y “Numero_Clientes”. Este resultado se obtiene para cada uno de los tres métodos aplicados, y era de esperarse puesto que la energía facturada se mueve en la misma dirección que se mueve el número de clientes que consumen dicha energía. Adicionalmente, la energía facturada base es la componente principal de la energía total facturada. Los valores de coeficiente de correlación con respecto a la energía total facturada (“Energía_kwh”) se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2

Coefficientes de correlación con la variable Energía_kwh

Variable	Pearson	Spearman	Kendall
Energía_kwh	1,0000	1,0000	1,0000
E1_kwh	0,9995	1,0000	0,9996
Numero_Clientes	0,7714	0,8474	0,6668
E2_kwh	0,4781	0,4223	0,3413
ConsUnit_kwh	0,1662	0,2970	0,2439
Year	0,0299	0,0231	0,0165
PEE	0,0196	0,0231	0,0168
PEP	0,0111	0,0012	0,0009
Mes	0,0052	0,0088	0,0061

Posteriormente, se desarrolla un análisis de dependencia de las variables categóricas, puesto que se presume que hay dependencia entre los tipos de clientes y las tarifas, así como entre las distribuidoras y las comunas. Para llevar a cabo el análisis, se crean tablas de contingencia entre cada par de variables, y a cada una de esas tablas se les aplica la Prueba de Independencia de Chi-Cuadrado para variables categóricas. Se concluye, con un nivel de significancia del 5%, que las variables “Tipo_clientes” y “Tarifa” son dependientes, así como también las variables “Distribuidora” y “Comuna”.

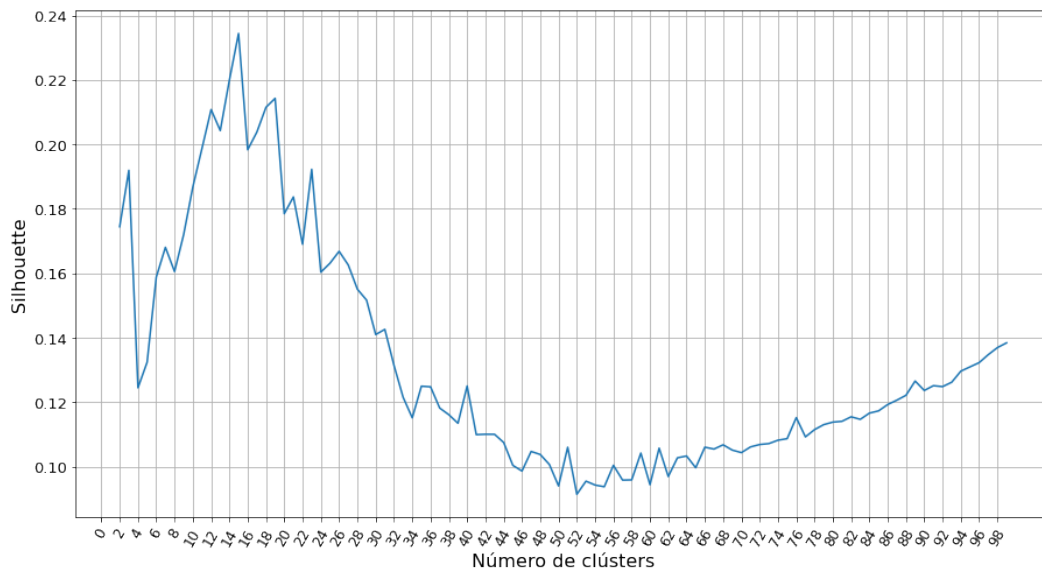
Por consiguiente, para la aplicación del algoritmo K-Means se descartan las variables “E1_kwh” y “Numero_Clientes”, debido al análisis de correlación. Adicionalmente, se descartan las variables: “Tarifa” y “Comuna”, debido al análisis de dependencia de las variables categóricas.

El algoritmo K-Means tiene como hiperparámetro el número de clústers K, cuyo valor debe ser definido por el usuario. Sin embargo, tal como lo indican Umargono et al. (2020), se puede utilizar una metodología para obtener el valor óptimo de K. Ésta se conoce como el “método del codo”, para lo cual debe definirse una métrica de optimización. Según lo indicado por Russano y Ferreira (2020), la inercia es una métrica muy popular, que se utiliza para

obtener el valor óptimo de K, y no es más que el cuadrado de la distancia euclidiana entre cada punto del clúster y su centroide. En su investigación, Kong et al. (2021) utilizan el método del codo con la inercia como métrica para seleccionar el K óptimo, pero también utilizan la técnica de maximizar el valor de la métrica Silhouette. En esta investigación, luego de aplicar el método del codo utilizando la inercia como métrica, se obtiene que el valor óptimo de K es 16. De igual manera, se utilizó la métrica Silhouette para obtener el K óptimo, resultando el valor de 15. La ilustración del método utilizando la métrica Silhouette se presenta en la Figura 6.

Figura 6

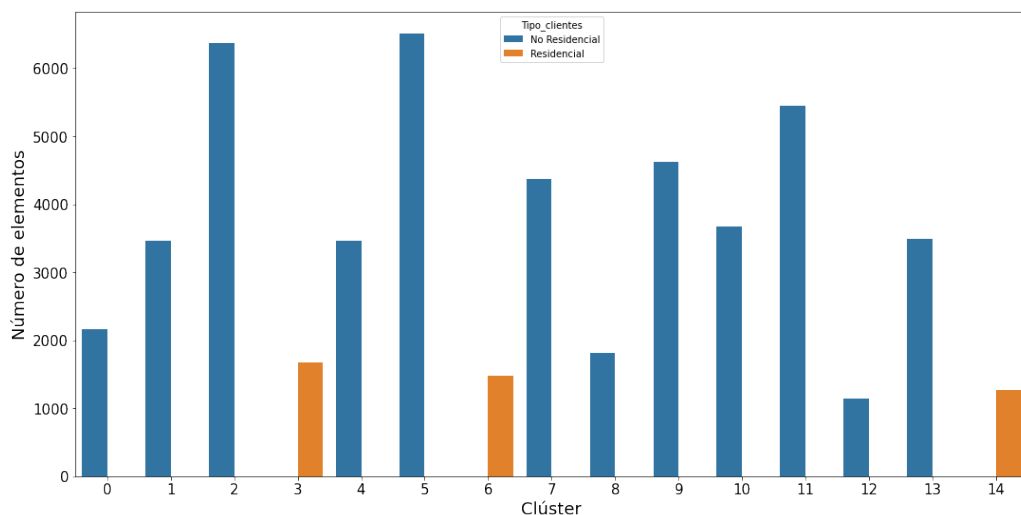
Curva para obtener el número óptimo de clústers K



De la Figura 6 se puede observar que el valor máximo de la métrica se alcanza cuando el número de clústers es igual a 15. Con ese valor de K=15, se aplica el algoritmo K-Means para detectar patrones en los datos. En la Figura 7, se presentan los clústers obtenidos y su relación con los tipos de clientes. Se puede observar que los clientes residenciales se agrupan únicamente en los clústers 3, 6 y 14. Los clientes no residenciales se agrupan en el resto de los clústers.

Figura 7

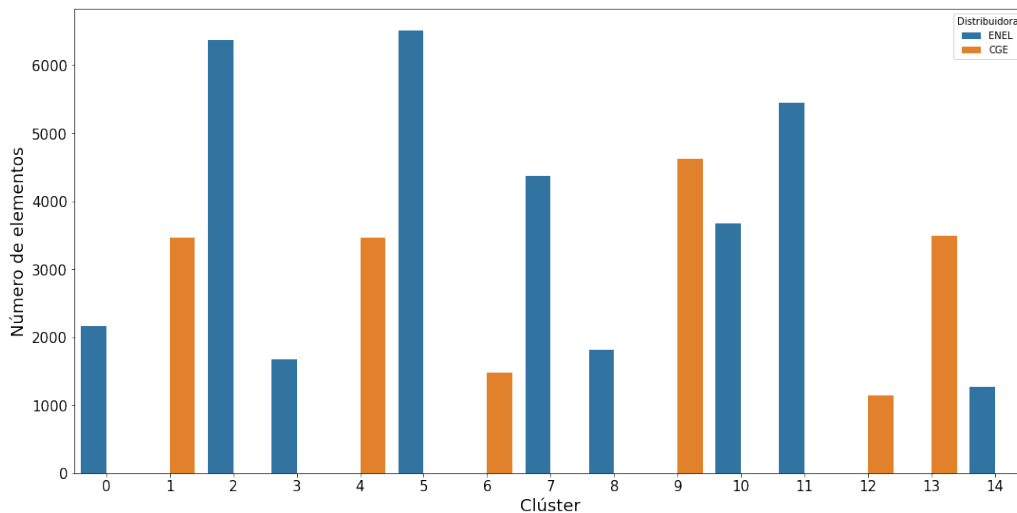
Clústers vs. Tipo de clientes



Igualmente, la forma en que se relacionan las empresas distribuidoras con los clústers se muestran en la Figura 8. Se puede ver en la figura que las empresas distribuidoras se agrupan en clústers diferentes. Los registros asociados a la empresa CGE se agrupan en los clústers 1, 4, 6, 9, 12, y 13. Los registros correspondientes a la empresa ENEL se agrupan en los restantes clústers.

Figura 8

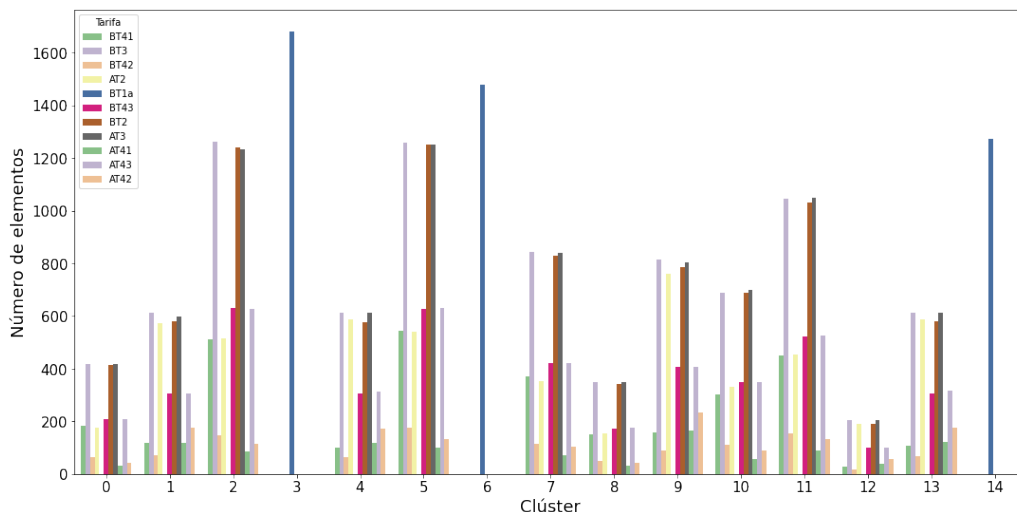
Clústers vs. Distribuidora



Dado que las tarifas se relacionan con los tipos de clientes, en los clústers 3, 6 y 14 hay sólo registros de clientes residenciales con la tarifa BT1a, tal como se observa en la Figura 9.

Figura 9

Clústers vs. Tipo de tarifa



En este punto, es importante recordar que los elementos de los clústers están compuestos por cada una de las filas del conjunto de datos, y que cada fila está asociada a un lote de usuarios y no a un usuario en particular.

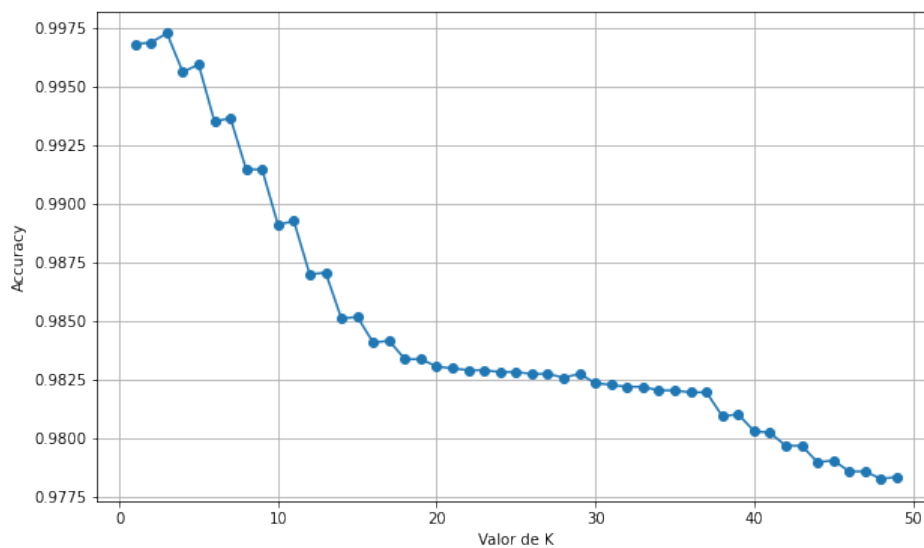
Aplicación del algoritmo K-NN

El algoritmo de los K vecinos más cercanos K-NN, es un algoritmo de aprendizaje automático supervisado para clasificación, mediante el cual se busca predecir la clase o categoría de un conjunto de datos, a partir de un grupo de variables predictoras. De acuerdo con Lee (2019), K-NN es uno de los algoritmos más simples dentro de los algoritmos de aprendizaje automático supervisado para clasificación. Funciona comparando la distancia entre cada instancia de referencia y las otras muestras del set de entrenamiento, seleccionando los K vecinos más cercanos a ellas. En su investigación, Raschka y Mirjalili (2017) plantean que es un algoritmo que no genera una función discriminativa para clasificar los puntos de datos nuevos.

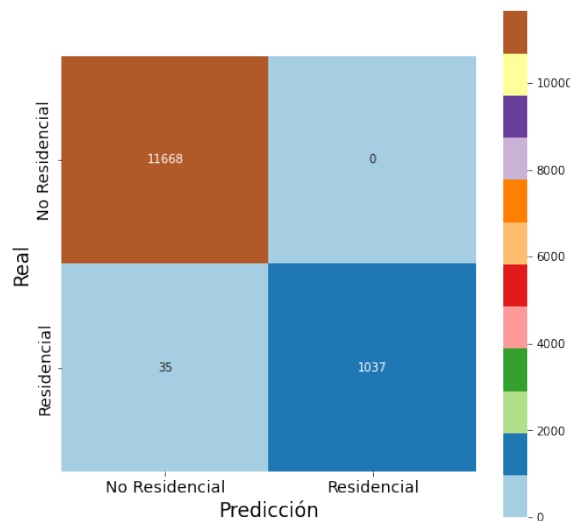
Para este algoritmo, se trabaja con la variable “Tipo_clientes” como variable objetivo, es decir, el modelo obtenido debe predecir si la instancia que se pruebe pertenece a clientes regulados residenciales o no residenciales. Para generar el modelo, inicialmente se debe establecer el número de vecinos K, pero se puede obtener el valor de K más adecuado optimizando alguna métrica de desempeño. En esta investigación se utilizó la métrica exactitud (accuracy), la cual de acuerdo con Fenner (2020, p. 163) “es la métrica que tenemos para evaluar que tan bien nuestra conjetura o predicción coincide con la realidad”. Los resultados obtenidos para obtener el K óptimo se presentan en la Figura 10, de la cual se puede observar que el valor óptimo de K es 3, pues es el valor para el cual se alcanza el valor máximo posible de la exactitud, cuyo valor es 99,73%.

Figura 10

Curva para obtener el número óptimo de vecinos K



Una vez obtenido el K óptimo, se aplica el algoritmo K-NN para generar el modelo de predicción del tipo de clientes de cada una de las instancias. El conjunto de datos se divide en: el set de entrenamiento correspondiente al 75% de los datos, y el set de prueba correspondiente al 25% restante de los datos. Con el set de entrenamiento se genera el modelo, y con el set de prueba se evalúa el modelo. Como resultado de la evaluación, se obtiene la matriz de confusión, que es una matriz cuadrada en la que las celdas tienen la siguiente información: los verdaderos negativos y los verdaderos positivos en la diagonal principal, y los falsos negativos y los falsos positivos en las otras celdas. Para nuestro caso se obtuvo una matriz de 2x2 ya que se tienen sólo dos categorías para clasificar los datos. La matriz se presenta en la Figura 11.

Figura 11*Matriz de confusión*

De la Figura 11 se puede decir que el conjunto de prueba estuvo compuesto por 12.740 filas del conjunto de datos, el cuál es el 25% de los datos originales. Adicionalmente, 11.668 filas eran de clientes no residenciales y el modelo clasificó a todas estas filas de manera correcta. Por otra parte, 1.037 filas eran de clientes residenciales y el modelo los clasificó de esa manera, pero 35 filas de clientes residenciales fueron clasificadas como no residenciales. Este modelo podría ser muy útil, por ejemplo, para determinar el tipo de cliente, y por lo tanto el tipo de tarifa a aplicar, cuando por alguna razón no se tiene esa información.

Conclusiones

La energía eléctrica facturada por los clientes regulados, durante el período de estudio, se dividió en partes iguales entre los clientes residenciales y los clientes no residenciales. Los datos presentan una estacionalidad mensual, presentándose una mayor facturación durante los meses de la estación de invierno, en comparación con los otros meses del año. La estacionalidad fue impuesta por la facturación de los clientes residenciales.

El consumo unitario promedio de los clientes residenciales fue de 453 kWh durante el período de estudio, mientras que los clientes no residenciales tuvieron un consumo unitario promedio de 10.315 kWh. Los clientes residenciales tuvieron un consumo unitario promedio anual alrededor de 225 kWh durante la mayor parte del período de estudio, pero durante el año 2020 se disparó a 1.759,28 kWh, cayendo nuevamente para el año 2021.

La energía eléctrica facturada por los clientes regulados residenciales aumentó continuamente desde el año 2015 hasta el año 2020, cuando alcanzó su valor máximo durante el período de estudio, impulsado por las cuarentenas impuestas ese año debido a la pandemia de la Covid-19. Por el contrario, la energía facturada a los clientes regulados no residenciales ha disminuido constantemente desde el año 2017 al año 2021, coincidiendo con las estadísticas de traspaso de clientes regulados a libres, permitido por la normativa vigente a los clientes no residenciales.

Para la aplicación del algoritmo K-Means, se obtuvo el número óptimo de clústers igual a 15, maximizando la métrica Silhouette. El modelo obtenido a través del algoritmo agrupó perfectamente los datos de acuerdo con el tipo de cliente de cada uno de los registros. De igual

manera, todos los datos dentro de un clúster particular pertenecen a una sola empresa de distribución de electricidad.

Para el desarrollo del modelo de predicción del tipo de clientes, los datos se dividieron en dos partes, 75% para entrenar el modelo y 25% para evaluar el modelo. Al aplicar el algoritmo K-NN se obtuvo un modelo que permite predecir, con una exactitud del 99,73%, el tipo de cliente regulado para los registros nuevos que requieran ser evaluados. Se obtuvo el valor óptimo del hiperparámetro K igual a 3, al maximizar la métrica exactitud.

Referencias

- Amat Rodrigo, J. (s.f.). *Ciencia de Datos, Estadística, Machine Learning y Programación*. (Joaquin Amat Rodrigo) Recuperado el 16 de Julio de 2022, de <https://www.cienciadedatos.net/documentos/pystats05-correlacion-lineal-python.html>
- Argüello Verbanaz, S., & García Bernal, N. (2020). *Componentes y determinación de la tarifa eléctrica para los clientes regulados*. Santiago de Chile: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.
- Azócar Rojas, M. A. (2018). *Estudio y análisis del Nuevo Decreto Tarifario 11 T. Aplicable a los suministros sujetos a precios*. Valparaíso: Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- Bernal, C. A. (2010). *Metodología de la Investigación - administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. Bogotá: Pearson Educación.
- Cielen, D., Meysman, A., & Ali, M. (2016). *Introducing Data Science*. Shelter Island, NY: Manning Publications Co.
- Comisión Nacional de Energía. (16 de Julio de 2022). *Estadísticas*. Obtenido de Energía Abierta: <http://energiaabierta.cl/categorias-estadistica/electricidad/>
- Fenner, M. E. (2020). *Machine Learning with Python for Everyone*. Boston: Pearson Education.
- García Bernal, N. (2019). *Traspaso de clientes regulados a libres*. Valparaíso: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.
- Igual, L., & Seguí, S. (2017). *Introduction to Data Science - A Python Approach to Concepts, Techniques and Applications*. Switzerland: Springer International Publishing.
- Kong, W., Wang, Y., Dai, H., Zhao, L., & Wang, C. (2021). Analysis of energy consumption structure based on K-means clustering algorithm. *E3S Web of Conferences* 267, 01054 (2021). Beijing: E3S. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126701054>
- Lee, W.-M. (2019). *Python Machine Learning*. Indianapolis: John Wiley & Sons, Inc.
- M. Shapi, M. K., Ramli, N. A., & Awalim, L. J. (2021). Energy consumption prediction by using machine learning for smart building: Case study in Malaysia. *Developments in the Built Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100037>.
- McKinney, W. (2018). *Python for Data Analysis*. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, Inc.
- Mellado Leal, B. M. (2021). *Aplicaciones de Data Science para la mejora de la medición y cobro de la distribución de la energía eléctrica en contextos de pandemia mundial*. Santiago de Chile: Tesis de Pregrado, Universidad de Chile.
- Mercados Energéticos Consultores. (2014). *Análisis de consumo eléctrico en el corto, mediano y largo plazo*. Santiago de Chile: Mercados Energéticos Consultores.
- Moreno, R., Sánchez, M., Suazo, C., Negrete, M., Olivares, D., Alvarado, D., . . . Basso, L. (2020). Impactos del COVID-19 en el Consumo Eléctrico Chileno. *Revista Ingeniería de Sistemas*.

- Pizarro Herrera, G. N. (2017). *Reconocimiento de patrones y pronóstico de consumo eléctrico*. Valparaíso: Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- Rajabi, A., Eskandari, M., Jabbari Ghadi, M., Li, L., & Zhang, J. (2020). A comparative study of clustering techniques for electrical load pattern segmentation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109628>.
- Raschka, S., & Mirjalili, V. (2017). *Python Machine Learning - Machine Learning and Deep Learning with Python, Scikit-Learn, and TensorFlow*. Birmingham: Packt Publishing Ltd.
- Russano, E., & Ferreira Avelino, E. (2020). *Fundamentals of Machine Learning Using Python*. Oakville, Canadá: Arcler Press.
- Salazar Córdova, M. A. (2018). *Impactos de la emigración de clientes regulados al mercado libre. Catastro, evolución y efectos en los clientes y en las empresas proveedoras (generación y distribución)*. Santiago de Chile: Tesis de Maestría, Universidad Técnica Federico Santa María.
- Sociedad Alemana de Cooperación Internacional. (2020). *Las Energías No Renovables en el Mercado Eléctrico Chileno*. Santiago de Chile: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
- Umargono, E., Suseno, J. E., & S.K, V. G. (2020). K-Means Clustering Optimization Using the Elbow Method and Early Centroid Determination Based on Mean and Median Formula. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research, volume 474*. DOI:10.2991/assehr.k.201010.019.
- Valgaev, O., Kupzog, F., & Schme, H. (2017). Building power demand forecasting using K-nearest neighbours model – practical application in Smart City Demo Aspern project. *CIREN, Open Access Proc. Journal* (págs. 1601–1604). IET. DOI:10.1049/oap-cired.2017.0419.
- Yilmaz, S., Chambers, J., Li, X., & Patel, M. K. (2021). A comparative analysis of patterns of electricity use and flexibility potential of domestic and non-domestic building archetypes through data mining techniques. *Journal of Physics: Conference Series*. DOI:10.1088/1742-6596/2042/1/012021.

El impacto del Internet y las hipermediaciones en los jóvenes de la sociedad actual, las transformaciones y la disrupción tecnológica hasta los metaversos

The impact of the Internet and hypermediations on the youth of today's society, the transformations and technological disruption to the metaverses

Yamil Lambert Sarango¹ <https://orcid.org/0000-0003-3538-0966>

¹ *Universidad de las Artes Guayaquil, Ecuador*
yamil.lambert@uartes.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.

Enviado: 2022/08/19

Aceptado: 2022/12/10

Publicado: 2022/12/30

Resumen

El impacto en el consumo de contenido audiovisual en jóvenes universitarios que usan el Internet en la sociedad ecuatoriana actual, plantean poder identificar patrones de cómo estos jóvenes están desarrollando competencias y estrategias de aprendizaje con los nuevos medios, cuál es el aporte teórico y explicación desde la sociedad en red, sociedad virtual, las hipermediaciones, las interfaces hasta los metaversos. El objetivo de este estudio es analizar y reflexionar sobre cómo la disrupción tecnológica a través del Internet, las redes sociales y el consumo audiovisual transforma lo social. La metodología usada es de tipo mixta en un único estudio donde primero se hizo una revisión bibliográfica documental y como segundo momento, se realizó una encuesta donde se definió un grupo focal de jóvenes universitarios con estudios en diferentes disciplinas artísticas, la muestra fue de 376 jóvenes de una población de 16.540. Se concluye que los ciudadanos que estén informados y articulados a las nuevas tecnologías son aquellos que serán más capaces de crear, producir conocimiento, información y, en último término, valor en una economía que es de la información y el conocimiento. Los jóvenes entran en contacto con las nuevas tecnologías a edades cada vez más tempranas. La virtualidad en la que se vive es una de las dimensiones fundamentales de la realidad, se vive con Internet y la conexión entre lo virtual y lo presencial, no hay dos sociedades, lo que hay son dos formas de relación y actividad social.

Palabras clave: hipermediaciones, Internet, redes sociales, nuevos medios, audiovisual.

Sumario: Introducción, Objetivos de la investigación, Revisión de literatura, Metodología y Conclusiones.

Como citar: Lambert, Y. (2022). El impacto del Internet y las hipermediaciones en los jóvenes de la sociedad actual, las transformaciones y la disrupción tecnológica hasta los metaversos. *Revista Tecnológica - Espol*, 34(4), 153-173. <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/965>

Abstract

The impact on the consumption of audiovisual content in young university students who use the Internet in current Ecuadorian society, proposes to be able to identify patterns of how these young people are developing skills and learning strategies with the new media, what is the theoretical contribution and explanation from the network society, virtual society, hypermediations, interfaces to metaverses. The objective of this study is to analyze and reflect on how technological disruption through the Internet, social networks and audiovisual consumption transforms the social. The methodology used is of a mixed type in a single study where first a documentary bibliographical review was made and as a second moment, a survey was carried out where a focus group of university students with studies in different artistic disciplines was defined, the sample was 376 young people. out of a population of 16,540. It is concluded that citizens who are informed and articulated to new technologies are those who will be more capable of creating, producing knowledge, information and, ultimately, value in an economy that is based on information and knowledge. Young people enter into contact with new technologies at ever younger ages. The virtuality in which one lives is one of the fundamental dimensions of reality, one lives with the Internet and the connection between the virtual and the face-to-face, there are not two societies, what there are are two forms of relationship and social activity.

Keywords: hypermediations, Internet, social networks, new media, audiovisual.

Introducción

No es extraño que la primera imagen que salte a nuestra mente cuando decimos tecnología sea la computadora, la televisión, el teléfono celular o el internet. En la ciencia ficción queda muy claro que la tecnología es sinónimo de metal, de circuitos y focos brillando, pero distraídos por los reflejos del metal pulido, nos olvidamos de que cosas tan básicas como el alfabeto fueron y son avances tecnológicos.

Las teorías que comprenden la comunicación digital interactiva exponen el progreso que ha tenido la tecnología junto a la vida cotidiana, permiten comprender mejor a los medios de comunicación y cómo estos van evolucionando progresivamente. Esto permite tener una concepción más amplia de qué es la comunicación y cuáles son los nuevos medios que se vinculan con las TICs, es así como se hace necesario comprender cada evento histórico y cómo ha sido posible entender el Internet, sus paradigmas y cuáles han sido los medios que han logrado transformar la sociedad a lo largo del tiempo.

En términos de liderazgo cultural y político es una época en que los flujos de información a través del espacio en Internet y del espacio de la comunicación son dominantes. Los últimos datos de la International Telecommunication Union (ITU) muestran que la adopción de Internet se ha acelerado. En 2019, 4.100 millones de personas, o el 54 % de la población mundial, utilizaban Internet. Sin embargo, la cantidad de usuarios ha aumentado en 800 millones para llegar a 4.900 millones de personas en 2021, o 63% de la población (International Telecommunication Union, 2021, pág. 1).

Analizar las transformaciones sociales a través de la irrupción del Internet, las redes sociales y el audiovisual en nuestros jóvenes podría explicar patrones de consumo y su vínculo como prosumidores de contenido, además, el contraste entre la comunicación de masas y la comunicación digital interactiva permitiría identificar cambios que se han vivido desde principios de los años 90 con la llegada de la red, la web y la tecnología digital. Los procesos de producción y consumo cultural evidencia cambios, posibles explicaciones se encuentran en la disrupción tecnológica transformando lo social, se ve como las redes digitales están cada día

en mayor contacto con los jóvenes y tienen un efecto transformador mucho más allá que los otros medios tradicionales como la radio, la televisión y los medios impresos.

En los nuevos medios y un contexto hipermediático se identifican preferencias de prosumidor, así también, el impacto del Internet y los mundos virtuales con el advenimiento de los nuevos metaversos en la cotidianidad.

Objetivos de la investigación

General

- “Analizar y reflexionar sobre cómo la disrupción tecnológica a través del Internet, las redes sociales y el consumo audiovisual transforma lo social”.

Específicos

- Identificar bases teóricas sobre la evolución y aportes del Internet como metamedio a través de un análisis bibliográfico desde sociedad red, hipermediaciones, la web, los nuevos medios hasta los metaversos y su contemporaneidad.
- Identificar patrones de uso de las redes sociales y plataformas audiovisuales que expliquen las nuevas experiencias de consumo de los jóvenes a través de una encuesta a un grupo de jóvenes.
- Analizar los resultados de los instrumentos usados y sus datos para las discusiones y conclusiones al objeto de estudio.

Revisión de literatura

Sociedad en red

Los aspectos tecnológicos, sociales, políticos y económicos son los que hay que saber vincular e integrar, por eso, los países que sean capaz de hacerlo serán líderes. En términos generales, la noción de las redes en el marco del análisis en la sociedad red propuesto por Castells, parte de que actualmente se incorporaron aspectos propios de la web 2.0. La radio y la televisión han perdido ese monopolio por la aparición de Internet y la nueva cultura digital, las redes sociales y las plataformas audiovisuales son parte de esta última.

Según el informe Digital 2022, el crecimiento de los usuarios de las redes sociales sigue con una tendencia al alza. Hay 4.620 millones de usuarios de redes sociales en todo el mundo, lo que significa un crecimiento interanual de más del 10%, casi unos 425 millones de nuevos usuarios. Actualmente más del 58% de la población total del mundo son usuarios de las redes sociales (We Are Social, 2022).

En términos generales, la noción de las redes en el marco del análisis en la sociedad red propuesto por Castells, parte de que, actualmente, se incorporaron aspectos propios de la web 2.0 tales como el hipertexto y el pasaje del concepto de audiencia pasiva a usuarios activos, siendo la interactividad la característica principal de esta, Castells establece como sociedad red: “La estructura social que caracteriza a la sociedad a principios del siglo XXI, una estructura social construida alrededor de (pero no determinada por) las redes digitales de comunicación” (Castells, 2009, pág. 24).

Es decir, un conjunto de nodos interconectados que tienen como finalidad absorber y procesar información de forma eficiente para que la red se sostenga, por lo tanto, las redes son estructuras comunicativas en el sentido de que se encargan de transmitir flujos de información de un nodo a otro o de una red a otra.

En otras palabras, las redes van creciendo y complejizándose conforme se van sumando actores sociales y se produzcan más interacciones, a su vez, los nodos o puntos de conexión se reconfiguran o eliminan cuando ya no son necesarios. La capacidad de las redes para introducir nuevos actores y contenidos en el proceso de organización social con relativa independencia de los centros de poder se incrementó a lo largo del tiempo.

Según Castells (2009), las redes se caracterizan por tres rasgos: flexibilidad, adaptabilidad y capacidad de supervivencia; y definen el poder como la capacidad relacional que permite a un actor social influir de forma asimétrica en las decisiones de otros actores sociales, de modo que, se favorezcan la voluntad, los intereses y los valores del actor que tiene el poder.

Para Caballero Toro es propicio también resaltar las experiencias en el espacio digital y establece que:

La virtualidad es otra forma de realidad concreta que aporta y afecta a los sujetos en sus maneras de existir y condiciona la virtualidad como lugar donde se dan experiencias, por tanto, espacios donde la fantasía, la creación, la expresión cultural virtual, la posibilidad de otra realidad (...) (Caballero Toro, 2015).

Con estas experiencias, el llamado espacio digital tiene una cultura virtual llena de sentidos y significaciones que movilizan las propiedades de las percepciones, argumentos y lenguaje basados en el punto de vista del sujeto. Sobre los medios de comunicación tradicionales, Cordero y Alberich establecen que:

Los medios de comunicación tradicionales han perdido el monopolio de la información. Internet y la nueva cultura digital son testimonios de la expansión a campos abiertos y comunales de los procesos de producción, distribución, creación informativa y consumo cultural (...) (Cordero Sánche & Alberich Pascual, 2015).

Sociedad física y sociedad virtual

Manuel Castells establece que la virtualidad en la que se vive es una de las dimensiones fundamentales de la realidad, o sea que se vive con Internet, no se vive en Internet o para Internet, no se sale de Internet (Castells, 2006). Según Nelson Manrique (1997), la definición de sociedad real es: “La sociedad real es en la que nacemos, en la que estamos inmersos cotidianamente; la sociedad virtual es intangible, depende de la real, pero posee sus propias características” (Manrique, 1997).

Internet está presente en la vida cotidiana, entonces en Internet hay espacios de comunicación y de interacción de personas como espacios de trabajo, pero es que no se sale nunca de Internet es desde el principio del día hasta el final del día, todo lo que se hace, se lo hace con Internet. Esto es una de las razones por las cuales la fracción de población que todavía no utiliza Internet, que es fundamentalmente una población mayor y un poco más joven, acceda también a esa capacidad, sino serán marginados y excluidos antes de tiempo. El uso de medios de comunicación social digital puede reducir la percepción de soledad y/o aislamiento en personas mayores, lo que generaron mayor contacto entre este grupo poblacional y sus familias, además, de convertirse ser una fuente de apoyo, dar mayor sentido de pertenencia a una comunidad y reducir la soledad (Kusumota, y otros, 2022).

Según Castells la población mayor tiene un bloqueo psicológico, no es de aprendizaje técnico; es psicológico de ¿qué es este mundo? Porque no solamente es el mundo de los niños

y los jóvenes, es el mundo de la mayoría de las personas en este momento en la sociedad (Castells, 2006).

El vínculo entre lo virtual y lo presencial es que la conexión la hacen las personas y no hay dos sociedades, lo que hay son dos formas de relación y actividad social (Castells & Himanen, 2002).

La cooperación es superior a la competición o como mínimo es un correctivo muy importante de la competición, por ejemplo, si en los mercados financieros globales hubieran funcionado con cooperación y competición al mismo tiempo no se hubieran dado las catástrofes que han pasado como la gran depresión de 1929 o el mismo colapso de las Dot.com del 2000.

Lo que permite Internet y la comunicación móvil es desarrollar los viejos principios de la cooperación y la producción cooperativa. La gente en Internet continuamente puede enviar mensajes, deseos y programas, pueden también relacionarse entre ellos horizontalmente a través de blogs, de foros de discusiones; es decir, hay una voz plural y hay una voz interactiva y participativa. Si algún político quiere realmente representar a la gente y no solo dirigirla a partir de controlarla, entonces Internet es un enorme instrumento de desarrollo político, pues permite ganar batallas con menos recursos versus máquinas políticas mucho más potentes. Un ejemplo de ello, es el caso de Barack Obama en Estados Unidos, cuando movilizó a la gente joven a través de internet (Sociología Contemporánea, 2021).

Para Muros, Aragón y Bustos (2013), la ocupación del tiempo libre de jóvenes en el uso de videojuegos y redes ha merecido comprender sus compartimentos. Lo esencial en este momento es que, a través de la tecnología de comunicación móvil, todo lo que era Internet y todo lo que sigue siendo con los espacios de relación social, espacios de información, espacios de foros de discusión, también son espacios comerciales, espacios políticos (Sociología Contemporánea, 2021).

El Software y los nuevos medios

Una pregunta muy importante es ¿qué es el software?, en la actualidad, todas las tareas que se llevan a cabo se realizan gracias a la implementación de un software, es decir, programas que están diseñados para facilitar el trabajo a los usuarios, principalmente, cuando se trata de tareas específicas que requieren un sistema especializado. Según la Real Academia de la Lengua la definición de software es: “Conjunto de programas, instrucciones y reglas informáticas para ejecutar ciertas tareas en una computadora.” (REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, 2022)

Según la Software Engineering Standards: “Es el conjunto de los programas informáticos, procedimientos, reglas, documentación y datos asociados que forman parte de las operaciones de un sistema de computación.” (IEEE Software Engineering Standard, 1993)

Según Lev Manovich, para explicar dónde reside la inteligencia dentro del software hay que retroceder al pasado, anteriormente, la fuente de información eran los ancianos y, por lo tanto, existía una inteligencia individual, gracias al software todos comparten un mismo código, en consecuencia, se está ante una inteligencia compartida, un ejemplo de ello es Wikipedia, en esta página web se encuentra todo tipo de información expuesta por distintos usuarios. Según la definición que plantea Manovich el software es:

(...) pienso en el software como una capa que impregna todos los ámbitos de las sociedades contemporáneas. Por lo tanto, si queremos comprender las técnicas contemporáneas de control, comunicación, representación, simulación, análisis, toma de decisiones, memoria, visión, escritura e interacción, nuestro análisis no puede estar completo hasta que consideremos esta capa de software. (Manovich, 2013, pág. 15).

A medida que se sigue la evolución del medio computacional a mediados de los años 2.000 para enfatizar en la llamada hibridación, con ella los diferentes medios empiezan a actuar como especies en una ecología común, es decir en un ambiente compartido de software, a medida que avanza esta etapa llegaban los medios y las redes sociales a la web, en los siguientes años su expansión a plataformas móviles y el desarrollo de mercados para las app de estas plataformas llevó a nuevos tipos de híbridos (Manovich, 2013).

3.4 Principios de los nuevos medios

Con el advenimiento de las tecnologías de la información e Internet, se ha producido una revolución en la comunicación, cuya influencia se refleja directamente en el desarrollo de los medios antiguos como: la imprenta, la fotografía, la televisión, la fotografía y la escultura, los dos últimos como codificación continua, pero la mayoría presenta una combinación de codificación continua y discreta.

La revolución de los medios informáticos afecta a todas las fases de la comunicación, y abarca la captación, la manipulación, el almacenamiento y la distribución; así como afecta también a los medios de todo tipo, ya sean textos, imágenes fijas o en movimiento, sonidos o construcciones espaciales. (Manovich, 2006, pág. 64).

Manovich (2006) en su interpretación de los nuevos medios, resume este cambio con una expresión: “El nuevo medio es el metamedio del computador digital”.

González propone analizar a los nuevos medios y vincularlos con otras aportaciones teóricas y conceptuales que permitan profundizar en el lenguaje y la significación social de los nuevos medios, pero establece que:

“(...) en realidad, esto de distinguir entre lo nuevo y lo viejo no es tan sencillo; que hay más continuidades que las aparentes; que incluso en los nuevos medios hay características que no son, para nada, enteramente nuevas (...)” (2017, pág. 41)

Estos cambios que provocan nuevas formas culturales redefinen las ya existentes, cambiando también el propio concepto de la cultura, así el concepto de los nuevos medios queda sintetizado en la informatización de la cultura y el computador como soporte de la cultura universal y establece que su principal efecto es la transformación de los mass media en datos numéricos y como tales, en computables.

Teoría de las Hipermediaciones

Carlos Scolari señala que cuando se habla de hipermediaciones se tocan dos cosas, por un lado, una búsqueda, un concepto que trata de ser descriptivo que decuenta de todos los cambios que se han vivido desde principios de los años 90, desde la llegada de Internet, la web y la tecnología digital, los que han cambiado los procesos de producción, de consumo cultural, los textos y las narrativas y, por otro lado, las hipermediaciones como una posible teoría debido al conjunto de conversaciones teóricas de interlocutores que se han entrelazando entre sí y que buscan teorizar estos fenómenos (2008).

Los antiguos paradigmas de la comunicación se vieron derrumbados con la llegada de los nuevos medios digitales interactivos, además, la comunicación es vista como una ciencia inestable y frágil; y al mismo tiempo muy joven. Este contexto se suscita porque diferentes discursos a lo largo del tiempo han estado rondando lo que lleva a la transdisciplinariedad, esta última vista como la comunicación atravesada por diferentes campos del saber, lo que se conoce como la teoría de la comunicación frente al fantasma digital, según Serrano (1982) como la capacidad que poseen algunos seres vivos de relacionarse con otros seres vivos intercambiando información.

Entre la comunicación de masas y la comunicación digital interactiva se hacen diferentes variaciones de tecnología tales como: la tecnología analítica, la tecnología digital, la hipertextualidad, la reticularidad, la interactividad y la multimedialidad. Scolari ha realizado estudios sobre datos en la comunicación, la cultura y los medios, introduce fórmulas como la de apocalípticos e integrados de Umberto Eco o la de tecnófilos y los tecnófobos, analiza diferentes reflexiones complejas sobre la comunicación con posturas de autores y sus textos que soportan ciertas posiciones a través de discursos utópicos como el discurso socialista de Hans Magnus Enzensberger, el discurso digital de Nicholas Negroponte o el desmonte de los mitos discursivos (Scolari C. , 2008).

Las hipertextualidades son el resultado de procesos no secuenciados a través de un computador, ya que estos permiten crear estructuras generales de mayor complejidad con ramificaciones hacia distintas direcciones. Es decir, son estructuras complejas no secuenciales y la multimedialidad supone la integración en el hipertexto de distintos medios. Los documentos hipertextuales pueden ser textuales, gráficos, sonoros, animados, audiovisuales o una combinación de parte o de todas estas morfologías; por lo que, el término hipertexto puede tener características multimedia (Scolari C. , 2008).

La web ha generado un espacio donde todo el mundo puede estar conectado, asimismo, evidencia cómo las relaciones interpersonales están más fijadas en este; se ha creado una barrera a nuestro cuerpo, donde ya no se está seguro al dar puntos de vista frente a cualquier situación. Los medios de comunicación van a ir a la par de la evolución de la sociedad, por eso, se es más rápido; las hipermediaciones están relacionadas con distintas áreas de la comunicación y también con sus diversas teorías que dan para nuevos estudios y debates constantes (Barbero, 1987).

Teoría de la Ecología de los Medios

Sí se observa lo que está pasando en el mundo de los medios desde el punto de vista de la metáfora de la ecología de los medios, que no es sólo una metáfora, se los analiza desde una corriente teórica incipiente llamada como “Media Ecology” o “Ecología de los Medios”, un planteamiento que nació en los años 60 con Marshall McLuhan y otros investigadores que se ha ido desarrollando y consolidando poco a poco, no es uno de los grandes paradigmas teóricos en el mundo de la comunicación porque queda mucho por investigar, pero es útil para entender lo que está pasando (Scolari C. A., 2015). Scolari la define como:

“(…) se trata de una teorización expandida que abarca, según el teórico enunciador elegido, casi todos los aspectos de los procesos de comunicación, desde las relaciones entre los medios y la economía hasta las transformaciones perceptivas y cognitivas que sufren los sujetos a partir de su exposición a las tecnologías de la comunicación” (Scolari C. A., 2015, pág. 17).

En esta ecología de los medios se tiene un ecosistema de medios donde estaba la radio, la prensa, el cine y la televisión, en los años 80 emerge la web, es interesante apuntar que algunos investigadores de la comunicación decían que este es otro medio más como la radio, como la televisión, pero la web no es, es otra cosa.

Las redes digitales están cambiando y han cambiado las finanzas, han cambiado los sistemas de producción y comercialización, han tenido efecto disruptivo mucho más allá que los otros medios; la televisión cambió la política, aportó a la educación, modificó la publicidad, pero no los sistemas del capitalismo financiero, no alteró la circulación de los bienes culturales, la red sí lo está haciendo (Scolari C. A., 2015).

Nuevas Interfaces

Generalmente, cuando se habla de interfaz se hace referencia a lo que se denomina la interfaz-usuario, esta relación entre el sujeto y la tecnología, entre el sujeto y el objeto, el concepto de interfaz puede abrir nuevas formas de ver y transformar la realidad. Con el advenimiento de los nuevos medios aparecen nuevas interfaces en las aplicaciones para tabletas como los libros para niños, un ejemplo, es “The Fantastic Flying Books of Mr. Morris Lessmore” del 2011, es interesante ver un fenómeno que se puede decir es multimedia, de convergencia del lenguaje de medios, donde la pregunta es si es un libro, es un videojuego, un rompecabezas, es un instrumento musical, es un libro para colorear. La Real Academia de la Lengua define a la interfaz como: “Conexión, física o lógica, entre una computadora y el usuario, un dispositivo periférico o un enlace de comunicaciones.” (REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, 2022)

Como bien sostiene Scolari, en el volumen *Les Technologies de l’Intelligence* de Pierre Lévy de 1992, propone una nueva interpretación de la interfaz y establece que:

La interfaz reenvía a las operaciones de traducción, de puesta en contacto de ambientes heterogéneos. En este sentido evoca a la comunicación (o al transporte) y a los procesos transformadores necesarios para el éxito de la transmisión. La interfaz mantiene unidas las dos dimensiones del devenir: el movimiento y la metamorfosis. Es la operadora del pasaje (Scolari C. A., 2022).

En términos semióticos, Manovich argumenta que:

(...) la interfaz del ordenador actúa como un código que transporta mensajes culturales en una diversidad de soportes, Cuando usamos Internet, todo a lo que accedemos - texto, música, video, espacios navegables – pasa a través de la interfaz del navegador y luego, a su vez, por la del sistema operativo (Manovich, 2006).

Se establece que cada medio tenía su interfaz, su ámbito de interacción con el espectador, con el lector, con el oyente y se está en un momento que hay una gran aparición de nuevas interfaces, hibridaciones de interfaces y mezclas, es decir, aparecen nuevas plataformas multimedia digital como una mezcla de web, televisión y radio, son formatos híbridos donde se están mezclando las cosas, es parte de esta hibridación en la ecología.

Se establece que las interfaces nunca desaparecen, pueden desaparecer los soportes materiales, pero los componentes de la interfaz van reapareciendo en otras interfaces.

El Metaverso

Al igual que el Internet, el metaverso reúne a personas, empresas y productos en entornos virtuales y reales para crear nuevas oportunidades económicas y de participación. Las personas y las organizaciones que intervienen obtienen una experiencia nueva, conocen a los clientes, desarrollan fuentes de ingresos e incluso dan forma a la cultura del metaverso. Entonces la pregunta es ¿cómo encontrar las oportunidades adecuadas en esta era de rápido movimiento? Ejemplos de esto es la conexión esencial entre los entornos, las empresas, la comunidad y los productos digitales del metaverso (Lueth, Di Bartolo, & Hackl, 2022).

El término metaverso de repente está en todas partes, desde las portadas de los periódicos nacionales y las últimas tendencias de la moda hasta los planes de las empresas más poderosas de la historia. Ya está dando forma a las plataformas políticas del gobierno de EE. UU., la Unión Europea y el Partido Comunista Chino.

Pero ¿qué es exactamente el metaverso? Como explica el teórico Matthew Ball (2022), se trata de una red persistente e interconectada de mundos virtuales en 3D que eventualmente servirá como puerta de entrada a la mayoría de las experiencias en línea y también sustentará gran parte del mundo físico. Durante décadas, estas ideas se han limitado a la ciencia ficción y los videojuegos, pero ahora están listas para revolucionar todas las industrias y funciones, desde las finanzas y la atención médica hasta la educación, los productos de consumo, la planificación urbana, las citas y mucho más.

El metaverso es una de las grandes tendencias tecnológicas del momento, algo que quedó claro cuando la empresa de Facebook se rebautizó como Meta. En palabras de Marc Zuckerberg el CEO de Meta: “La próxima plataforma será aún más envolvente, un Internet en el que tú mismo estarás presente y donde no te limitarás a mirar y lo llamamos el Metaverso.” (Zuckerberg, 2021)

Una definición según Ortiz, Rojas y Gómez: “Los metaversos son mundos virtuales para dejar volar la imaginación de los usuarios, dentro de esta experiencia los avatares son parte crucial a la hora de llevar su imaginación a otro mundo.” (Anaconda Ortiz, Millán Rojas, & Gómez Cano, 2019)

Es decir, un Internet para sumergirse, pero Zuckerberg no inventó el Metaverso, ya que el término se utilizó en el año de 1992 en la novela de ciencia ficción *Snow Crash* de Neal Stephenson, una de las primeras obras del género cyberpunk donde también se usa por primera vez la palabra avatar para referirse a la imagen de identidad en Internet, su adaptación cinematográfica está planificada para 2024.

El metaverso es un mundo virtual paralelo en el que las personas viven como avatares y, 30 años después de su concepción inicial, sigue siendo una visión hacia futuro, el cual se planea que en algún momento las plataformas existentes podrían conectarse para formar un nuevo universo digital, pero lo que hay hoy es más bien una multitud de mundos virtuales que compiten entre sí.

Villa Hermosa establece que: “Con el paso del tiempo el metaverso ha evolucionado hasta convertirse en un espacio de realidad virtual donde los usuarios pueden interactuar con un entorno generado por ordenador y con otros usuarios (Villa Hermosa, 2022, pág. 6).

No existe aún un metaverso plenamente desarrollado e implementado, lo que hay son algunos mundos virtuales tipo criptojuegos como The Sandbox, Decentraland y Roblox, estos

permiten desarrollar una vida virtual para el avatar con su propia casa, viajes a islas virtuales como el de la heredera Paris Hilton en Roblox, pagando una entrada. Se puede pagar y ganar dinero, algo que es posible en muchos metaversos gracias a las criptomonedas específicas de cada plataforma como en el videojuego Axie Infinity, donde se puede ganar creando monstruos y haciendo que compitan con otras criaturas o en Horizon Worlds, el mundo virtual de meta, donde se pueden construir cosas, jugar y conocer a otros usuarios y el plan de Microsoft es que Mesh traslade el mundo laboral al espacio virtual, donde los compañeros se convertirán en hologramas.

Con la creciente cantidad de usuarios también aumenta el valor de los inmuebles digitales, sin embargo, si el metaverso pierde popularidad el precio de la vivienda podría caer. Se trata de la compra de píxeles futuros en plataformas futuras, este sector se basa en una tecnología que en líneas generales aún no ha sido desarrollada y crea mucha expectativa en cómo se desarrollara esta tecnología y sus plataformas en los próximos años.

Metodología

La metodología usada es de tipo mixta (cuantitativa y cualitativa) en un único estudio donde primero se hizo un análisis cualitativo, usando como instrumento la revisión bibliográfica documental y, como segundo momento, se realizó una encuesta donde se definió un grupo focal de jóvenes universitarios con estudios en diferentes disciplinas artísticas, la discusión se fundamenta en la fenomenología y la interpretación de los datos.

Materiales y métodos

Para desarrollar el análisis cualitativo, se aplicó el método inducción-deducción y el análisis-síntesis partiendo de la descomposición del objeto de estudio, realizando un análisis de contenido cualitativo, estudiándolo de manera holística e integral. Esto permitió alcanzar conclusiones generales a partir del análisis de las perspectivas teóricas en las que se apoyó la investigación sobre Internet, redes sociales y plataformas audiovisuales y contribuyó a hacer un recorrido por el objeto de estudio desde sus elementos generales hasta los particulares.

Las técnicas de investigación aplicadas para llevar a cabo el estudio incluyeron la revisión bibliográfico-documental y la encuesta con 10 preguntas como técnica de recolección cuantitativa. Para generar teoría se tomaron como referentes las etapas de diseño investigativo, recolección, ordenamiento y análisis planteados por Naresh (1996).

Las bases teóricas para fundamentar el análisis y reflexionar sobre cómo la disrupción tecnológica a través del Internet, las redes sociales y el consumo audiovisual transforma lo social son producto de un estudio cualitativo bibliográfico, además, se aplicó el método inducción-deducción y el análisis-síntesis, partiendo de la descomposición del objeto Internet en diferentes categorías analíticas.

Técnicas a aplicar

Las técnicas de investigación aplicadas para llevar a cabo el estudio incluyeron la revisión bibliográfico-documental, una encuesta, el análisis de contenido cualitativo y el uso de varios métodos de fuentes de datos, teorías y ambientes sobre el objeto de estudio.

Se aplicó la revisión bibliográfica-documental como herramienta para organizar el levantamiento de datos y así obtener, seleccionar, compilar, organizar, interpretar y analizar información, asimismo, se sistematizaron teorías factibles para profundizar en el conocimiento del objeto de estudio. La revisión bibliográfico-documental se obtuvo de textos clásicos y contemporáneos junto a una encuesta con muestra probabilística cuantitativa de jóvenes.

Integración cuantitativa/cualitativa

Recopilación de datos, análisis de datos, consulta bibliográfica y documentos relevantes al tema.

La población o universo

Para el año 2018, según cifras obtenidas de los registros del SIIES¹ de la Senescyt², el registro de matrícula en universidades y escuelas politécnicas de estudiantes universitarios en el Ecuador fue de 632.541 (Senescyt, 2020).

Diseño de la muestra

Como subgrupo de la población, la muestra fue de tipo probabilística, con una muestra cuantitativa a un grupo de jóvenes estudiantes universitarios. La unidad de análisis fue una muestra de estudiantes jóvenes hombres y mujeres que estudian en instituciones de educación superior en Humanidades y Arte en el Ecuador, cada uno contestó 10 preguntas de un cuestionario sobre sondeo de experiencias con Internet y de redes sociales, al 2018 según la Senescyt son 16.540 estudiantes que sustenta la muestra de 376 estudiantes encuestados. (Senescyt, 2020)

Fórmula para la muestra finita

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Parámetro	Valor
n	16.540
Z	1.96
p	50%
q	50%
e	5%

Nivel de confianza	Z _{alfa}
99.7%	3
99%	2,58
98%	2,33
96%	2,05
95%	1,96
90%	1,645
80%	1,28
50%	0,674

Cálculo de la muestra

$n = (16.540 * (1.96 * 1.96) * 50% * 50%) / ((5% * 5%) * (16.540-1)) + ((1.96 * 1.96) * 50% * 50%)$, donde $n = 375,46$

Como parte de los instrumentos de investigación se usó una encuesta de manera cuantitativa a un grupo de jóvenes estudiantes universitarios con los siguientes datos:

- Población o Universo: Estudiantes Universitarios en Ecuador: 632.541.
- Unidad de análisis: Instituciones de Educación Superior en Artes: 16.540
- Muestra: 376, nivel de confianza: 95% y margen de error: 5%

¹ Sistema Integral de Información de la Educación Superior del Ecuador

² Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación del Ecuador

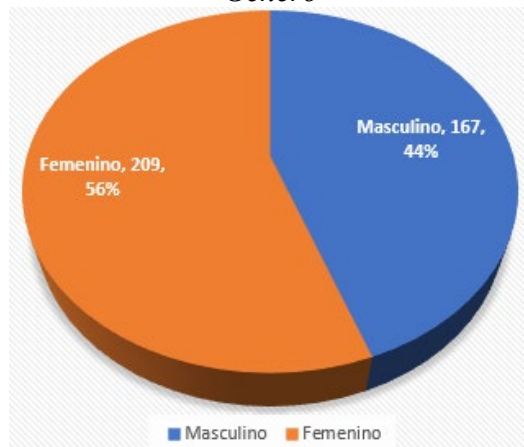
Resultados

A continuación, se muestran los resultados para el análisis y discusión:

Variable: Género, dimensión: Sociodemográfica

Figura 1

Género



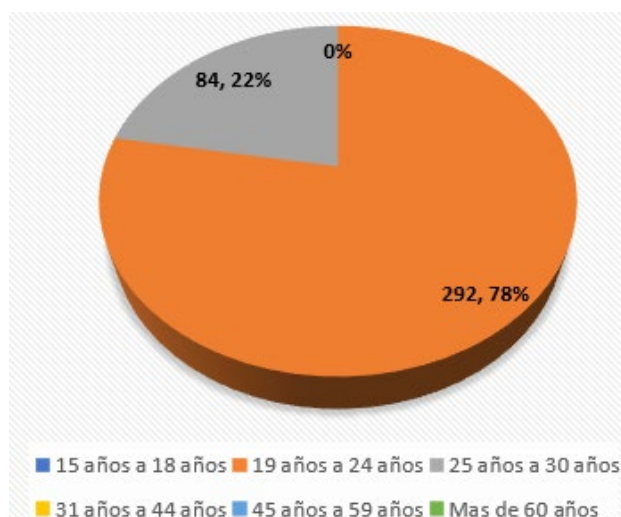
Fuente: Elaborado por el autor, abril 2022

El 44% fue masculino y 56% femenino de los encuestados.

Variable: Edad, dimensión: Sociodemográfica

Figura 2

Edad



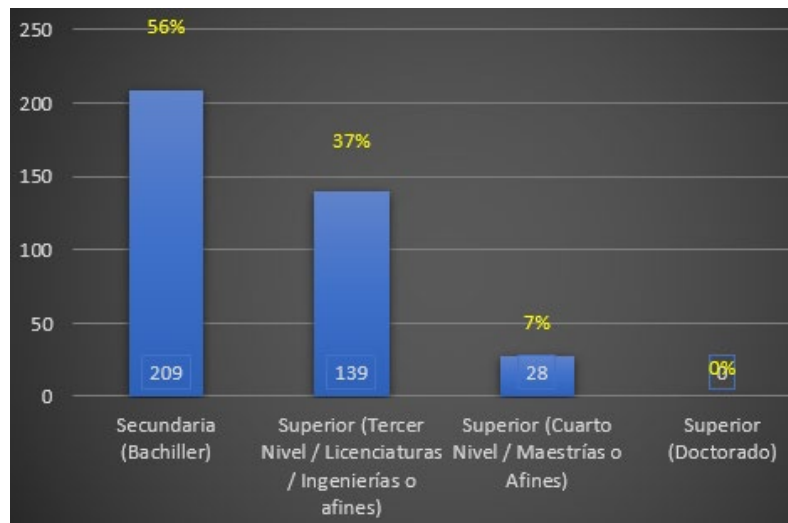
Fuente: Elaborado por el autor, abril 2022

El 78% tenían edades entre “19 a 24 años” y el 22% entre “25 a 40 años” de los encuestados.

Variable: Educación, dimensión: Sociodemográfica

Figura 3

Nivel de Educación



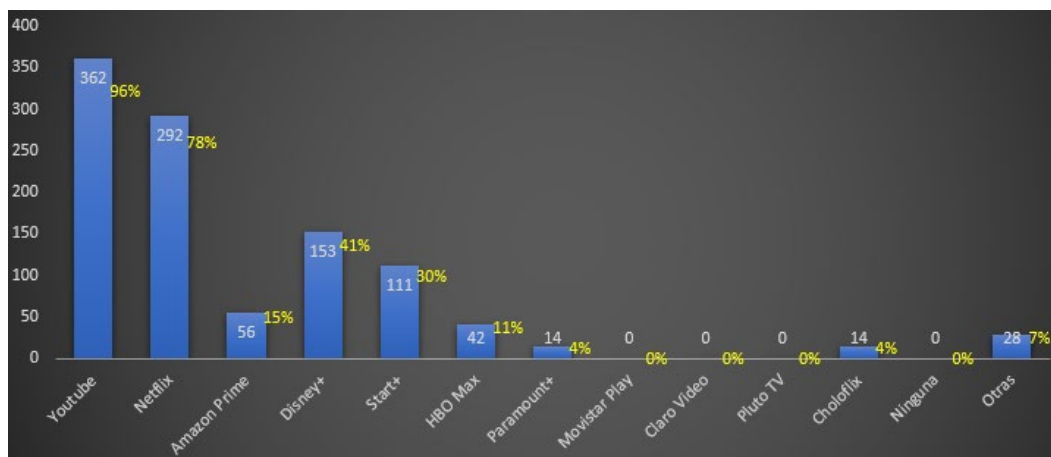
Fuente: Elaborado por el autor, abril 2022

El 56% tenían un título de bachiller, pero algunos encuestados eran estudiantes de tercer nivel activos con el 37% y el 7% fueron estudiantes de maestría.

Variable: Plataformas Audiovisuales, dimensión: Relación preferencia – plataformas

Figura 4

Plataformas Audiovisuales



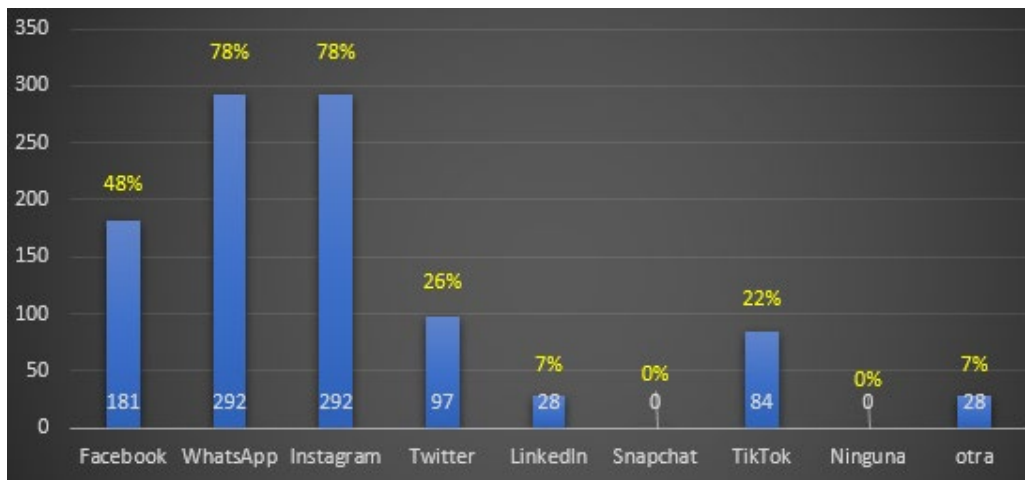
Fuente: Elaborado por el autor, abril 2022

De las 13 plataformas propuestas se identifican las siguientes cinco en preferencia de consumo: YouTube (96%), Netflix (78%), Disney+ (41%), Start+ (30%) y el 7% conoce otras plataformas audiovisuales.

Variable: Redes Sociales, dimensión: Relación preferencia - redes sociales

Figura 5

Redes Sociales



Fuente: Elaborado por el autor, abril 2022

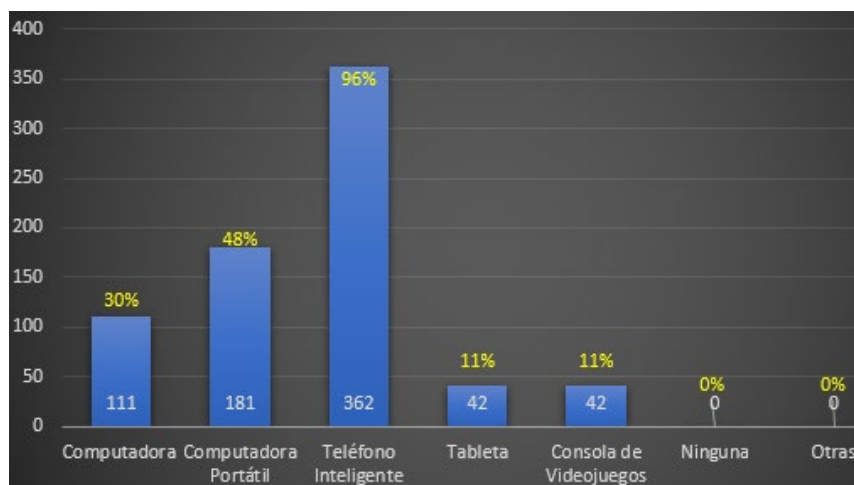
Tanto la red social de WhatsApp e Instagram son las preferidas con el 78% mientras que Facebook solo es favorita por el 48%, seguida por Twitter y Tiktok.

Variable: Dispositivos

Dimensión: Relación preferencia – dispositivo

Figura 6

Dispositivos preferidos



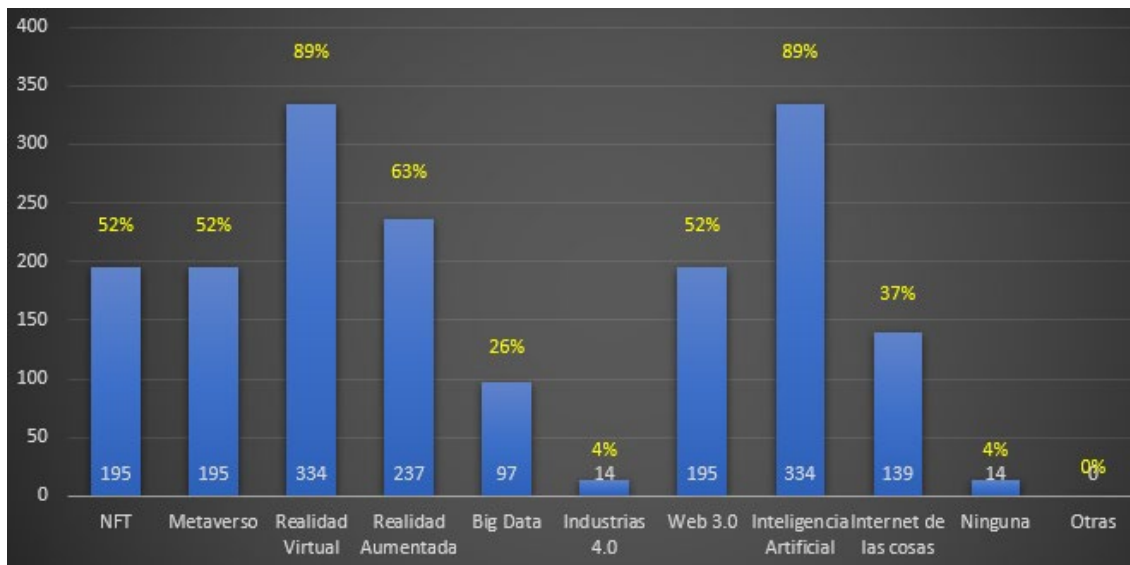
Fuente: Elaborado por el autor, abril 2022

Los tres dispositivos preferidos son teléfono inteligente con 96%, computadora portátil con el 48% y la computadora de escritorio con el 30%.

Variable: Tecnologías, dimensión: Relación Conocimiento - tecnología

Figura 7

Conceptos tecnológicos



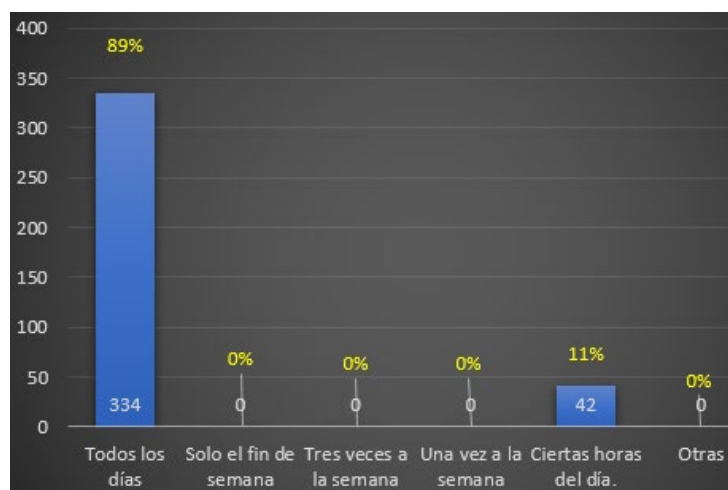
Fuente: Elaborado por el autor, abril 2022

Los jóvenes conocen de realidad virtual e inteligencia artificial ambas con el 89%, la realidad aumentada con el 63% y la Web 3.0 con el 52%.

Variable: Internet, dimensión: Relación Internet - Uso

Figura 8

Frecuencia de uso de Internet y redes sociales



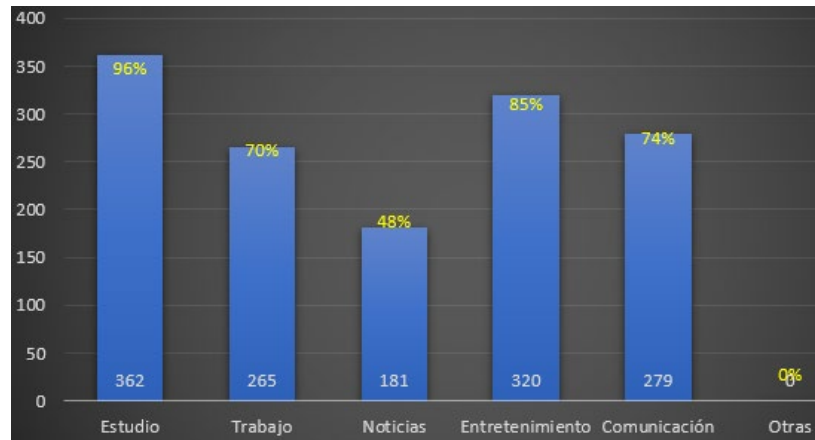
Fuente: Elaborado por el autor, abril 2022

El 89% de jóvenes están todos los días conectados en Internet.

Variable: Internet, dimensión: Relación Internet - Uso

Figura 9

Motivo de uso de internet y las redes sociales



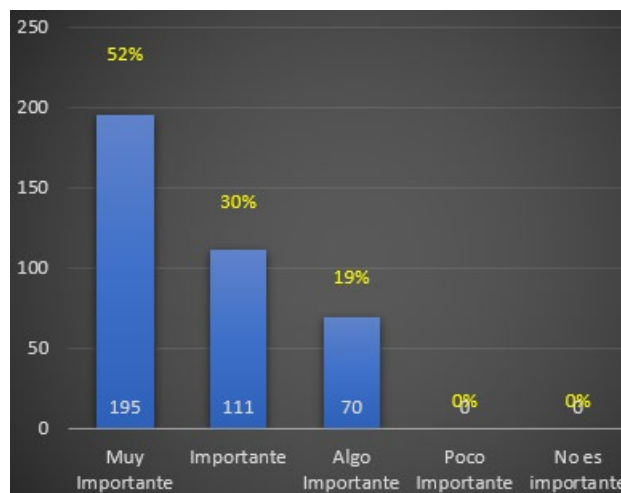
Fuente: Elaborado por el autor, abril 2022

Los encuestados usan internet por estudio (96%) y entretenimiento (85%), se destaca el uso de redes sociales y plataformas audiovisuales, es importante señalar que el 48% solo las utiliza para consumir noticias.

Variable: Internet, dimensión: Relación Internet - importancia.

Figura 10

Importancia de Internet, redes sociales y las plataformas audiovisuales



Fuente: Elaborado por el autor, abril 2022

El 81% de los jóvenes considera entre “importante” y “muy importante” el internet, sus servicios y plataformas.

Conclusiones

Eje: Epistemología de la comunicación y Sociedad en red

Los ciudadanos que estén informados y articulados a las nuevas tecnologías son aquellos que serán más capaces de crear, producir conocimiento, información y, en último término, valor en una economía que es de la información y el conocimiento; siendo la interactividad la característica principal de la sociedad red, porque en tiempos pasados la fuente de información era una inteligencia individual, gracias al software todos comparten un mismo código, por lo tanto, se está ante una inteligencia compartida que enfatiza la hibridación y con ella los diferentes medios empiezan a actuar como especies en una ecología común.

Se enfrenta una revolución mediática con la llegada de la informática e Internet, con un efecto directo, reflejado en la evolución de los viejos medios de comunicación; el computador ha transformado a los nuevos medios convirtiéndose en un metamedio en sí mismo. La comunicación de masas y la comunicación digital interactiva con sus diferentes variaciones produce cuestionamientos y reflexiones sobre si es necesario crear nuevos modelos teóricos o si es posible aplicar las antiguas teorías de la comunicación a los nuevos paradigmas comunicacionales.

En la ecología de los medios se tiene un ecosistema de medios donde estaba la radio, la prensa, el cine y la televisión, pero a fines de los años 80 emerge la web como un punto de inflexión y transformación. Cada medio tiene su interfaz, su ámbito de interacción con el espectador, con el lector, con el oyente, pero hoy se ve una gran aparición de nuevas interfaces, hibridaciones y mezclas.

Eje: Análisis de los datos

De los datos de la encuesta y su equidad demográfica por género, la selección por edad entre jóvenes y jóvenes adultos, incluyendo su educación, se pudo concluir que las diferencias generacionales no marcan una brecha amplia entre ellas: 9 de cada 10 personas con acceso a el Internet usa alguna de las plataformas audiovisuales. En los grupos encuestados se evidencia una preferencia marcada a consumir audiovisual en YouTube y Netflix, la primera siendo gratuita y la segunda de pago, pero también se evidencia un desconocimiento amplio de plataformas locales, tomando en cuenta su tamaño y difusión.

De los encuestados, el 44% fue masculino y 56% femenino, la edad es una dimensión central para el estudio en la composición de la población y sus determinantes; aunque el Internet, las redes sociales y las plataformas audiovisuales siempre se han relacionado con niños y jóvenes; el 78% están entre 19 a 24 años, no obstante, el 22% son jóvenes adultos de 25 a 40 años, otras edades no se identificaron en la muestra.

El 96% de los jóvenes universitarios usan la plataforma de YouTube para consumir audiovisual, el 4% expresa conocer plataformas locales ecuatorianas como Choloflix y el 7% usa otras plataformas que no estaban listadas. De las 13 plataformas propuestas se identifican las siguientes cinco en preferencia de consumo: YouTube (96%), Netflix (78%), Disney+ (41%), Start+ (30%) y el 7% conoce otros medios audiovisuales.

Se identifican patrones de consumo de redes sociales que otros estudios han concluido como lo son Whatsapp e Instagram, pero es de mencionar que la primera tiene un uso primario para comunicación y poco de audiovisual como la segunda, además que redes como TikTok van marcando tendencias de consumo al alza. Los resultados de esta investigación confirman la tendencia de consumo de las diferentes plataformas audiovisuales a través de los teléfonos inteligentes, 9 de cada 10 hace uso de este medio, marcando singularidades con la tradicional

computadora portátil o de escritorio, es importante señalar que las tabletas y las videoconsolas tienen 48% de preferencia, marcando cierta tendencia.

Los jóvenes entran en contacto con las nuevas tecnologías a edades cada vez más tempranas, los datos identifican que conocen de realidad virtual e inteligencia artificial ambas con el 89%, la realidad aumentada con el 63% y la Web 3.0 con el 52%, pero existe un desconocimiento en otras áreas tecnológicas como industrias 4.0 o bigdata, por ejemplo, lo que puede generar otras discusiones. La frecuencia de uso de Internet por adolescentes es alta, 9 de cada 10 jóvenes están conectados todo el día a ella, marcando un uso en áreas académicas y de entretenimiento, sin dejar de lado como medio de comunicación o índole laboral. Esto marca el alto grado de importancia para este segmento de la población de estar conectados a el Internet y sus servicios, en especial las plataformas de consumo audiovisual y multimedia.

Los resultados de la encuesta plantean algunas preguntas para ampliar la discusión, ¿Cómo los jóvenes están desarrollando competencias y estrategias de aprendizaje fuera de las instituciones académicas o el hogar?, ¿por qué cuando un joven tiene un problema tecnológico no va a la escuela, sino que entra a un foro, llama por videoconferencia a un amigo, aprenden de otros o se dirigen a algunas de las plataformas de videos como Youtube para aprender o simplemente buscan en la Internet ¿cómo aprenden a usar todo esto? ¿quién les enseña?, ¿por qué no pensar en una educación fundada en herramientas tecnológicas?, un poco lo que está pasando en la vida de los jóvenes, todo un mundo cultural mediático.

Eje: Sociedad Virtual

La virtualidad en la que se vive es una de las dimensiones fundamentales de la realidad, se vive con Internet y la conexión entre lo virtual y lo presencial, no hay dos sociedades, lo que hay son dos formas de relación y actividad social. Gracias al software todos comparten un mismo código, por lo tanto, se está ante una inteligencia compartida que enfatiza la hibridación y con ella los diferentes medios que empiezan a actuar como especies en una ecología común.

Eje: Nuevas tecnologías Metaversos

Actualmente, el desarrollo del metaverso sigue siendo fragmentario, muchos actores impulsan una amplia gama de iniciativas, pero Rosenberg (2022) y otros pioneros piden que se aprenda de los errores de las redes sociales y se adopte desde ya un conjunto de normas que garanticen la privacidad y protejan la identidad digital en el mundo virtual. Otro problema son los lentes de realidad virtual, ya que no están disponibles en todas partes y aun son caros, así también, se vuelven incómodos en poco tiempo, por eso, muchos ven el futuro no en la realidad virtual, sino en un mundo real enriquecido con elementos digitales. El metaverso aumentado sustituirá al actual ecosistema de teléfonos y tabletas que se utilizan para acceder a la información, se accederá a esta a través de lentes, en ese contexto, la realidad actual con la gente caminando por la calle, mirando su celular, parecerá ridícula, pero formará parte de nuestro entorno y será algo natural, envolvente e intuitivo.

Se propone organizar el metaverso de forma descentralizada en lugar de las grandes empresas tecnológicas para que los usuarios tengan más control. Se identifica la revolución mediática con la llegada de la informática e Internet, con un efecto directo reflejado en la evolución de los viejos medios de comunicación; por lo que, se puede confirmar que el nuevo medio es el metamedio del computador digital. La transformación de la comunicación, amparada en la tecnología, avanza y la sociedad avanza con ella, presenta a los mensajes comunicacionales como un producto y al público como los consumidores. La comunicación de masas y la comunicación digital interactiva con sus diferentes variaciones produce cuestionamiento y reflexiones.

Eje: Convergencia digital

La convergencia digital conduce cada vez más a un espacio online de juego al que se puede acceder desde diferentes plataformas incluso las nuevas como los dispositivos móviles. Los jóvenes utilizan Internet y las redes sociales por diversión, por entretenimiento: jugar por jugar sin mayor complicación, pero esto abre un mundo de posibilidades de experiencias lúdicas y narrativas que se pueden aprovechar, la estrategia estará en el mensaje comunicacional que se desea transmitir y su uso.

Es interesante pensar la lógica del transmedia y en vez de contar todo en un libro, hacerlo diferentes plataformas, pero lo más importante es pasar del contenido generado por el usuario (User-generated content) al estudiante generador de contenido (Student Generated Content), pasar de la cuestión pasiva de consumir un relato, aunque sea transmedia sino convertirse en productor.

Pasar de una enunciación individual a una enunciación colectiva, una sociedad más polifónica, del monomedia al transmedia, el docente más que un mediador entre el libro, el saber y el alumno pasa a ser un agitador comunicacional, más que un enunciador único la clase sería polifónica, que hablen todos, que se expresen, que confronten ideas, más que un consumidor pasivo que repite el alumno se vuelve un coproductor y productor de contenidos.

Eje: Ecología de los viejos y nuevos medios

La web como un metamedio genera nuevas experiencias de comunicación. Cada medio tiene su interfaz, su ámbito de interacción con el espectador, con el lector, con el oyente, pero hoy se ve una gran aparición de nuevas interfaces, hibridaciones y mezclas como potenciales ámbitos de estudio.

La radio y la televisión han perdido ese monopolio por la aparición de Internet y la nueva cultura, por lo que, se propone reflexionar históricamente los procesos tecnológicos comunicativos y relacionarlos con los nuevos medios de comunicación digital, las teorías y conceptos teóricos. Este estudio hace evidente el impacto que ha tenido Internet desde su invención en nuestra sociedad, pero identifica al contenido audiovisual multimedia como un protagonista contemporáneo en los jóvenes, el estar conectados tecnológicamente incide en los procesos de intercambio, producción y consumo. Estas transformaciones y la disrupción tecnológica impulsan otros medios como los metaversos, razón por la cual, se propone la articulación y el debate de nuevas teorías de comunicación digital e interactiva, aprovechando estos nuevos espacios en las aulas de clases.

Referencias

- Anaconda Ortiz, J. D., Millán Rojas, E. E., & Gómez Cano, C. A. (2019). *Aplicación de los metaversos y la realidad virtual en la enseñanza*. Entre Ciencia e Ingeniería vol.13 no.25 Pereira Jan. doi:<https://doi.org/10.31908/19098367.4015>
- Ball, M. (2022). *The Metaverse: And How it Will Revolutionize Everything*. Nueva York: Liveright.
- Barbero, M. J. (1987). *De los medios a las mediaciones. Comunicación, cultura y hegemonía*. México: Gustavo Gili.
- Caballero Toro, A. F. (2015). *La Red Social Virtual: Construcción de Imagen subjetiva de forma Imaginaria en Facebook*. Cali: Universidad de San Buenaventura Cali. Recuperado el 21 de marzo de 2022, de http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/bitstream/10819/3394/1/Red_social_virtual_caballero_2015.pdf
- Castells, M. (2006). *La sociedad red: una visión global*. Madrid: Alianza.

- Castells, M. (2009). *Comunicación y poder*. Madrid: Alianza Editorial.
- Castells, M., & Himanen, P. (2002). *La sociedad de la información y el Estado del bienestar: el modelo finlandés*. Madrid: Alianza.
- Cordero Sánchez, I., & Alberich Pascual, J. (2015). *Revisión de usos sociales y formas de ejercer la política a través de los nuevos medios*. El profesional de la información. doi:<https://doi.org/10.3145/epi.2015.nov.13>
- González, L. (2017). Comprender los nuevos medios. Una lectura posible sobre la obra de Lev Manovich. *Universidad Nacional de General Sarmiento*, 37 a 54. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6340639>
- IEEE Software Engineering Standard. (1993). *Glossary of Software Engineering Terminology*. IEEE Computer Society Press.
- International Telecommunication Union. (2021). *Measuring digital development Facts and figures 2021*. Geneva: ITUPublications. Obtenido de <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/facts/FactsFigures2021.pdf>
- Kusumota, L., Andreotti Diniz, M. A., Mendonça Ribeiro, R., Costa da Silva, I. L., Galhardo Figueira, A. L., Resende Rodrigues, F., & Partezani Rodrigues, R. A. (2022). Impacto de los medios de comunicación social digitales en la percepción de soledad y aislamiento social en las personas mayores. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*. doi:<https://doi.org/10.1590/1518-8345.5641.3572>
- Lueth, D., Di Bartolo, T., & Hackl, C. (2022). *Navigating the Metaverse: Your Guide to Limitless Possibilities in a Web 3.0 World*. New Jersey: Wiley.
- Manovich, L. (2006). *El lenguaje de los nuevos medios de comunicación: la imagen en la nueva era digital*. Buenos Aires: Paidós.
- Manovich, L. (2013). *El software toma el mando*. Barcelona: UOCPress.
- Manrique, N. (1997). *La sociedad virtual y otros ensayos*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Muros, B., Aragón, Y., & Bustos, A. (2013). La ocupación del tiempo libre de jóvenes en el uso de videojuegos y redes. *Comunicar*, 9. Obtenido de <https://www.revistacomunicar.com/index.php?contenido=detalles&numero=40&articulo=40-2013-05>
- Naresh, P. (1996). *The Creation of Theory: A Recent Application of the Grounded Theory Method*. The Qualitative Report, 2(4), 1-15. doi:<https://doi.org/10.46743/2160-3715/1996.2054>
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. (2 de Abril de 2022). *Diccionario de la lengua española, 23.ª ed., [versión 23.5 en línea]*. Obtenido de <https://dle.rae.es/software>
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. (21 de marzo de 2022). *Diccionario de la lengua española, 23.ª ed., [versión 23.5 en línea]*. Obtenido de <https://dle.rae.es/interfaz>
- Scolari, C. (2008). *Hipermediaciones: Elementos para una Teoría de la Comunicación Digital*. Barcelona: Gedisa.
- Scolari, C. A. (2015). *Ecología de los medios: Entornos, evoluciones e interpretaciones*. Barcelona: Gedisa.
- Scolari, C. A. (21 de marzo de 2022). *Hipermediaciones*. Obtenido de LAS LEYES DE LA INTERFAZ: <https://hipermediaciones.com/2018/02/04/las-leyes-de-la-interfaz/>
- Senescyt. (2020). Boletín Anual: Educación superior, ciencia, tecnología e innovación. Recuperado el 4 de Enero de 2021, de <https://sia.senescyt.gob.ec/download/boletin-anual-2/?wpdmdl=10874&refresh=625e1f149cb8f1650335508>
- Serrano, M. M. (1982). *Teoría de la Comunicación*. Madrid: UCM.

- Sociología Contemporánea. (6 de Diciembre de 2021). *sociologiac.net*. Obtenido de Sociologiac:
<https://sociologiac.net/2009/09/04/entrevista-a-manuel-castells-en-citilab-segunda-parte/>
- Villa Hermosa, R. (2022). *La Nueva Revolución Digital para Principiantes*. Comprehensive Technological Research.
- We Are Social. (Enero de 2022). *wearesocial.com*. Obtenido de
<https://wearesocial.com/es/blog/2022/01/digital-report-2022-el-informe-sobre-las-tendencias-digitales-redes-sociales-y-mobile/>
- Zuckerberg, M. (28 de Octubre de 2021). The Metaverse and How We'll Build It Together -- Connect 2021. Obtenido de <https://youtu.be/Uvufun6xer8>

Uso de supercondensadores para brindar soporte de frecuencia en una microrred aislada

Use of supercapacitors for providing frequency-support in an island-mode microgrid

Danny Ochoa¹ <https://orcid.org/0000-0001-5633-1480>,
Edisson Villa¹ <https://orcid.org/0000-0002-2766-5913>, Vinicio Iñiguez¹ <https://orcid.org/0000-0001-7494-191X>,
Ciro Larco¹ <https://orcid.org/0000-0002-7801-1514>, Rodrigo Sempértegui¹ <https://orcid.org/0000-0002-0764-8657>

¹Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador
danny.ochoac@ucuenca.edu.ec, edisson.villa2809@ucuenca.edu.ec,
vinicio.iniguez@ucuenca.edu.ec, ciro.larco@ucuenca.edu.ec,
rodrigo.sempertegui@ucuenca.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.

Enviado: 2022/08/07

Aceptado: 2022/12/20

Publicado: 2022/12/30

Resumen

Este artículo presenta la implementación práctica de una técnica de control de frecuencia (inercia virtual) en un sistema de almacenamiento energético basado en el uso de supercondensadores (SAE-SC). La propuesta estuvo diseñada para brindar soporte de frecuencia a una microrred eléctrica aislada real que integra fuentes de generación renovable (solar fotovoltaica, 15 kWp), generación síncrona convencional (térmico diésel, 44 kVA) y sistemas de almacenamiento energético (SAE-SC, 30 kW). Tomando como caso base la operación en condiciones normales de una microrred híbrida solar-diésel (una situación típica de sistemas insulares), se comprobó la efectividad de las labores de soporte de frecuencia provisto por el SAE-SC y se evaluó la resiliencia de la microrred en términos de esta variable. Los resultados experimentales mostraron que la implementación de la propuesta permitió reducir las fluctuaciones de frecuencia de la microrred en un 30%, representando una mejora significativa en la calidad del suministro eléctrico. Los experimentos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Micro-Red del Centro Científico, Tecnológico y de Investigación Balzay (CCTI-B) de la Universidad de Cuenca.

Palabras clave: microrred, supercondensadores, respuesta rápida de frecuencia, inercia virtual, sistemas de almacenamiento energético.

Sumario: Introducción, Materiales y Métodos, Resultados y Discusión y Conclusiones.

Como citar: Ochoa, D., Villa, E., Iñiguez, V., Larco, C. & Sempértegui, R. (2022). Uso de supercondensadores para brindar soporte de frecuencia en una microrred aislada. *Revista Tecnológica - Espol*, 34(4), 174-185. <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/961>

Abstract

This article presents the practical implementation of a frequency control technique (virtual inertia) in an energy storage system based on supercapacitors (ESS-SC). The design of this proposal provides frequency support to a real isolated microgrid that integrates renewable generation sources (solar photovoltaic, 15 kWp), conventional synchronous generation (diesel thermal, 44 kVA), and energy storage systems (ESS-SC, 30 kW). The base case is a hybrid solar-diesel microgrid (typical situation of insular systems) operating in normal conditions. Frequency support tasks' effectiveness provided by the SAE-SC checks out, and the resilience of the microgrid are evaluated in terms of this variable. The experimental results show that the implementation of the proposal allows reducing the frequency fluctuations of the microgrid by 30%, representing a significant improvement in the quality of the electricity supply. The experiments were carried out in the Microgrid Laboratory of the Centro Científico, Tecnológico y de Investigación Balzay (CCTI-B) of the Universidad de Cuenca.

Keywords: microgrid, supercapacitors, fast-frequency response, virtual inertia, energy storage system.

Introducción

En muchas regiones del mundo, la participación de agentes de generación, basados en el aprovechamiento de fuentes energéticas renovables, particularmente la energía eólica y solar, ha aumentado sustancialmente como resultado de las políticas, los incentivos y la economía de escala que ha supuesto una reducción de los costos de inversión (Ahmed et al., 2022). Este hecho ha dado lugar a que en los sistemas eléctricos de potencia tradicionales proliferen los recursos energéticos distribuidos (DER, por sus siglas en inglés) que, de manera gradual, han ido transfigurando al sistema hacia un modelo más distribuido, con agentes de generación de pequeña y mediana potencia más cerca de los puntos de consumo energético. Este cambio de paradigma en la concepción de un sistema eléctrico va dando paso, en mayor o menor medida, a la aparición de microrredes eléctricas (Györfvári & Vokony, 2017; Smith & Ton, 2013).

De acuerdo con Stadler & Naslé (2019), una microrred eléctrica es un grupo de cargas y recursos energéticos distribuidos interconectados, dentro de unos límites eléctricos claramente definidos, que actúa como una sola entidad controlable con respecto a la red eléctrica principal. Una microrred puede conectarse y desconectarse de la red eléctrica principal para operar tanto en modo conectado como en modo isla (Samanta et al., 2019). Los sistemas eléctricos insulares remotos, que por sus limitaciones geográficas, técnicas y económicas no pueden conectarse a una red eléctrica continental, suelen también considerarse ejemplos prácticos de microrredes aisladas: la isla de San Cristóbal–Ecuador (Ochoa & Martínez, 2019), la isla de El Hierro–España (Martínez-Lucas et al., 2020), las islas Feroe–Dinamarca (Thomsen et al., 2014), etc. En todos estos casos, estos sistemas eléctricos se caracterizan por poseer generación síncrona de pequeña capacidad y una integración importante de generación renovable, con o sin sistemas de almacenamiento energético.

El uso cada vez mayor de DERs con interfaces de conexión a la red basada en convertidores electrónicos de potencia (inversores) supone un riesgo constante para la estabilidad de frecuencia en una microrred aislada (Györfvári & Vokony, 2017). Esto se debe, en primer lugar, a que la incorporación de potencia, proveniente de generadores renovables no convencionales, reduce la cantidad de unidades de generación tradicionales que pueden proporcionar una reserva de energía primaria para el control primario/secundario de frecuencia, lo que lleva a que se produzcan mayores desviaciones de frecuencia y al debilitamiento de la

estabilidad de la microrred. En segundo lugar, los DER, normalmente, poseen una inercia baja o inexistente debido al empleo de inversores, lo que implica una reducción significativa de la inercia total del sistema. Este empobrecimiento inercial provoca que la frecuencia del sistema sufra cambios rápidos y severos, incluso ante pequeñas perturbaciones. Estos problemas pueden conducir a la inestabilidad de la microrred y, en el peor de los casos, a la pérdida total del suministro (Pazmiño et al., 2022).

En respuesta a los desafíos de estabilidad causados por la baja inercia del sistema debido a la alta penetración de DER, en la literatura se han propuesto nuevos conceptos para la provisión de soporte rápido de frecuencia en el contexto de una microrred (Tamrakar et al., 2017; Ochoa & Martínez, 2018; Fernández-Guillamón et al., 2020; Pazmiño et al., 2021; Ali et al., 2021; Sarmiento-Vintimilla et al., 2022). Casi la totalidad de las soluciones consultadas explotan el concepto de “inercia virtual” y precisan de un colchón energético (propio o externo) para que factibilicen su implementación práctica. La inercia virtual se consigue implementando lazos de control adicionales en el controlador de potencia de los inversores tales que ofrezcan, en el punto de conexión a la red, una potencia activa que sea sensible a las variaciones de la frecuencia del sistema, similar a como lo haría un generador síncrono convencional. Debido a que la respuesta conseguida por el inversor es forzada, emulada y controlada, de ahí el nombre de inercia virtual o sintética, como se ha venido acuñando en la literatura en los últimos años. Las pruebas basadas en simulación y en experimentación han demostrado que la aplicación de estas técnicas consiguen mejorar la inercia del sistema, las propiedades de amortiguación y la estabilidad de frecuencia (Bevrani et al., 2014; D’Arco et al., 2015), permitiendo una transferencia de energía ininterrumpida entre generación y demanda dentro de los distintos agentes de la microrred, tanto en modo isla y como cuando está conectada a la red principal.

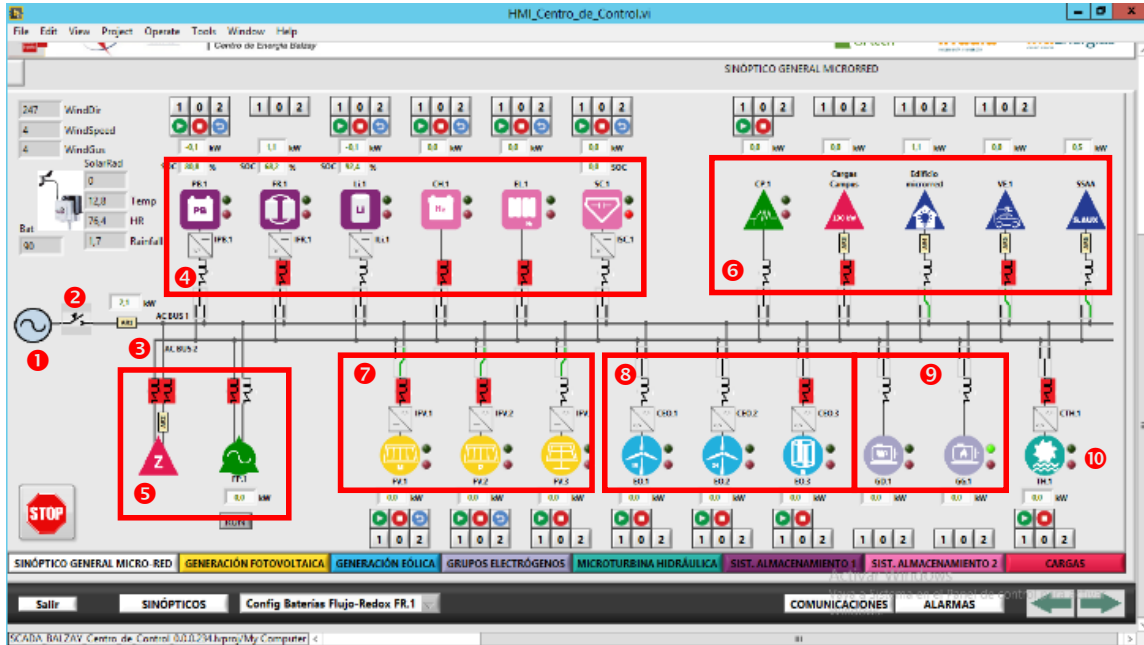
Este artículo presenta la implementación práctica de una técnica de control de inercia virtual en los controladores preexistentes de un sistema de almacenamiento de energía basado en supercondensadores (SAE-SC). La propuesta está diseñada para facultar al SAE-SC a dar soporte de frecuencia a una microrred aislada real que integra fuentes de generación renovables, generación síncrona convencional y sistemas de almacenamiento de energía. El banco de pruebas experimental está montado en el Laboratorio de Micro-Red del Centro Científico, Tecnológico y de Investigación Balzay (CCTI-B) de la Universidad de Cuenca-Ecuador.

Materiales y Métodos

Esta investigación tuvo por objeto estudiar la dinámica de una microrred operando en modo aislado ante perturbaciones de potencia ocasionadas por la integración de una cantidad importante de generación solar fotovoltaica y evaluar la resiliencia del sistema en términos de frecuencia. Además, se buscó evaluar una solución basada en el uso de supercondensadores para contribuir al mejoramiento de la respuesta dinámica de la frecuencia de la microrred al momento de absorber la inyección de potencia solar fotovoltaica intermitente. Las labores de experimentación se llevaron a cabo en el Laboratorio de Micro-Red del Centro Científico, Tecnológico y de Investigación Balzay (CCTI-B) de la Universidad de Cuenca. Este laboratorio cuenta con una variedad de agentes de generación, consumo y almacenamiento energético y con la posibilidad de trabajar conectado a la red principal de distribución (grid-connected mode) o en modo isla (island-mode) (Espinoza et al., 2017; Rey et al., 2022). La Figura 1 muestra una representación esquemática de los principales componentes del laboratorio.

Figura 1

Representación esquemática de los principales componentes del Laboratorio de Micro-Red del CCTI-B: 1. Red principal de distribución, 2. Barra de conexión a la red (B-01), 3. Barra de servicio para operación aislada de la red (B-02), 4. Componentes de almacenamiento energético, 5. Cargas y fuentes programables, 6. Otras cargas, 7. Generación solar fotovoltaica, 8. Generación eólica, 9. Generación térmica, 10. Generación hidráulica



Sistema eléctrico en estudio

De acuerdo con los intereses investigativos de este estudio, se definió como sistema de pruebas una microrred eléctrica híbrida solar-diésel, como se aprecia en la Figura 2. Esto se consiguió en el laboratorio del CCTI-B transfiriendo a la barra de servicio B-02 los siguientes equipos: un generador diésel de 44 kVA, un sistema de generación fotovoltaica de 15 kWp y una carga trifásica programable de 150 kW. Inicialmente, el sistema de almacenamiento energético, basado en supercondensadores (SAE-SC) de 30 kW, estuvo deshabilitado, hasta cuando se implementaron las tareas de compensación. La Figura 3 muestra los componentes del sistema de pruebas en el laboratorio.

En sistemas eléctricos con estas características es de esperar que el régimen variable de la generación fotovoltaica incorporada introduzca una potencia activa muy cambiante con el tiempo, lo que trae consigo una afectación importante a la dinámica de la frecuencia del sistema y a la tensión trifásica en el punto de conexión común (PCC, por sus siglas en inglés). En la microrred en estudio, las labores de control de frecuencia y de tensión fueron llevadas a cabo únicamente por la generación síncrona diésel, mientras que, la generación fotovoltaica se limitó a inyectar una potencia activa que obedece a criterios de eficiencia mediante la aplicación de un algoritmo de seguimiento del punto de potencia máxima (MPPT, por sus siglas en inglés). A fin de tener un entorno de pruebas controlado, la carga trifásica programable fue mantenida en un valor constante e igual a 20 kW.

Como resultado, se esperaría que la operación dinámica del sistema esté caracterizada por un generador diésel procurando en cada momento mantener el balance entre la potencia total generada y la potencia demandada; condición que es violada permanentemente por la integración de una potencia fotovoltaica intermitente. Esta labor de compensación hace que la velocidad de giro del eje del generador diésel sufra constantes desvíos respecto a su valor

nominal, lo que se traduce en una dinámica fluctuante de la frecuencia de las variables eléctricas trifásicas del sistema. En este estudio, se evaluó la resiliencia del sistema en términos del desvío máximo de la frecuencia respecto a su valor nominal (60 Hz). La prueba experimental aquí descrita constituyó el caso base de estudio. En el esquema de la Figura 3, los interruptores S_A , S_B y S_C se encuentran cerrados durante las pruebas. Para habilitar la compensación con el SAE-SC, se tuvo que repetir el experimento con el interruptor S_D cerrado.

Figura 2

Diagrama unifilar de microrred aislada en estudio

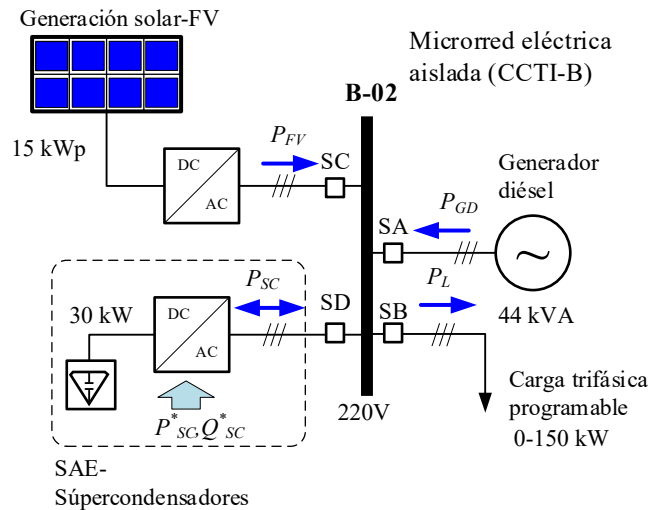
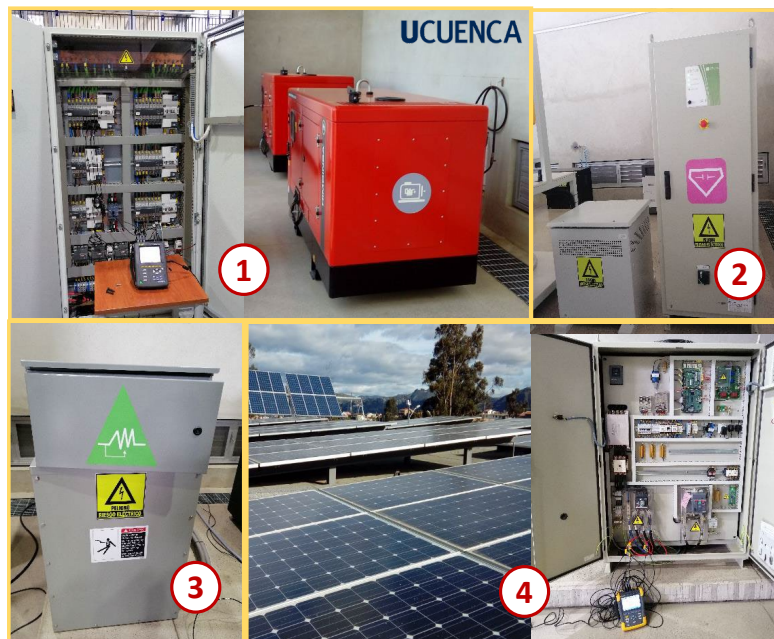


Figura 3

Componentes del sistema de pruebas implementado en el laboratorio: 1. Generador diésel, 2. SAE-Supercondensadores, 3. Carga programable, 4. Módulos fotovoltaicos e inversor



Soporte de frecuencia provista por el SAE-Supercondensadores

El Laboratorio de Micro-Red del CCTI-B cuenta con un banco de supercondensadores (10 unidades de 130 F y 56 V conectadas en serie) con interfaz de conexión a la red basado en convertidor electrónico de potencia (CEP). El CEP asociado al SAE-SC tiene una capacidad

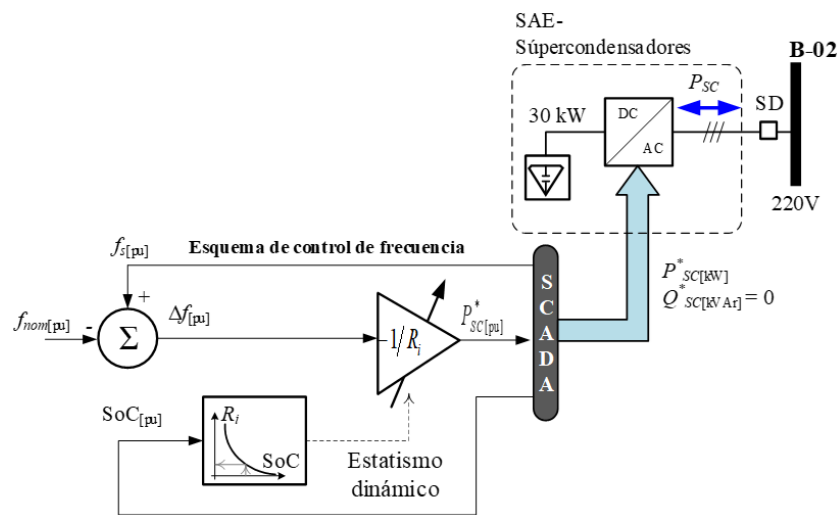
de 30 kW y obedece a consignas de potencia activa y reactiva, P_{SC}^* , Q_{SC}^* , que son generadas desde la interfaz HMI del sistema SCADA (Figura 1). Para cumplir con los objetivos de este estudio, la señal de referencia P_{SC}^* que se diseñó para contribuir en las tareas de control de frecuencia del sistema, fue generada en tiempo real y de forma controlada por el esquema de control que se describe en la siguiente subsección.

Esquema de control de frecuencia a implementarse en el SAE-SC

La Figura 4 muestra el esquema de control de frecuencia propuesto en esta investigación, el cual ha sido tomado de Martínez et al. (2019) y acondicionado para las particularidades de esta aplicación. Este esquema fue implementado en una rutina de MATLAB para generar, en tiempo real, la consigna de potencia activa que deberá presentar el SAE-SC en sus bornes con miras a mitigar las fluctuaciones de frecuencia del sistema. Si el lector precisa de mayores detalles respecto a la topología, control y operación del convertidor electrónico de potencia asociado al SAE-SC y la configuración del lazo de control PQ, puede consultar el trabajo reportado en Ochoa (2021).

Figura 4

Esquema de la estrategia de control de frecuencia implementada en el SAE-SC



La rutina de control propuesta inició con la medición de la frecuencia de la microrred en los bornes del inversor del SAE-SC. Este dato se comparó con un valor de referencia correspondiente a la frecuencia nominal del sistema eléctrico ecuatoriano, 60 Hz, a fin de generar una señal de error que fue necesaria para el control correctivo. Luego, esta señal de error alimentó una función de estatismo de ganancia variable, R_i , la cual, se actualizó constantemente en función del estado de carga actual del SAE-SC (SoC, por sus siglas en inglés), esta constituyó una segunda variable de entrada del esquema. A la salida de la función de estatismo, se generó una señal de consigna de potencia activa instantánea, P_{SC}^* , que fue enviada al SCADA que comanda el SAE-SC. La inyección/absorción de la potencia activa del SAE-SC, controlada por el esquema propuesto, brindó un importante respaldo al generador diésel en las labores de seguimiento de potencia de la carga alimentada, lo que se tradujo en una reducción de las fluctuaciones de frecuencia de la microrred.

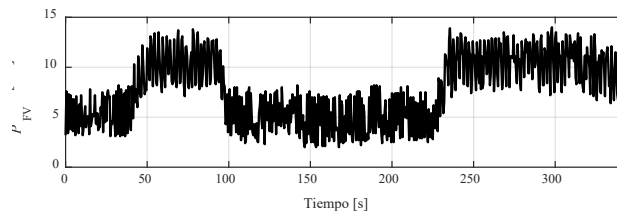
Resultados y Discusión

Con el objeto de representar la operación dinámica que tendría un sistema eléctrico de potencia débil y aislado que integra cantidades importantes de potencia provenientes de fuentes energéticas renovables no convencionales, se permitirá que la instalación fotovoltaica del

laboratorio de microrred inyecte la potencia máxima disponible en cada instante de tiempo, P_{FV} . La instalación fotovoltaica usada en este estudio tiene una potencia nominal de 15 kWp y un perfil temporal como el que se muestra en la Figura 5. Si se compara esta potencia fotovoltaica máxima con la capacidad del generador diésel del laboratorio (44 kVA), se estaría representando un escenario de penetración de energía solar fotovoltaica del 34%.

Figura 5

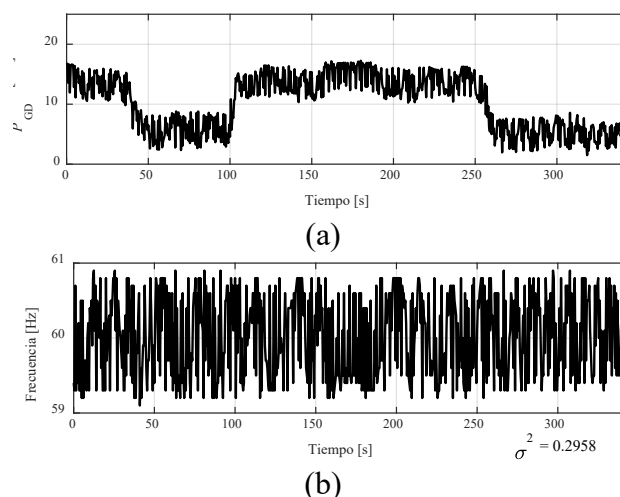
Perfil de la potencia fotovoltaica registrado en los experimentos



La Figura 6 muestra el comportamiento de ciertas variables de interés para un horizonte temporal de una hora, durante el día en el que se realizaron las pruebas experimentales. Esta prueba constituye el caso base de estudio. En esta figura se evidencian los efectos derivados de la inyección de un recurso energético de alta variabilidad (Figura 5) sobre la potencia activa y velocidad de giro (frecuencia) de un generador diésel. La Figura 6(a) muestra la dinámica de la potencia desarrollada por el generador diésel, P_{GD} , en su esfuerzo por mantener el balance entre generación y demanda, lo que implica mantener la frecuencia de la red en un valor cercano a 60 Hz. Se observa además que, en una microrred débil y aislada, la incorporación de generación fotovoltaica cambiante se traduce en importantes fluctuaciones de frecuencia en condiciones normales de operación (Figura 6(b)). De estos resultados preliminares, salta a la vista la necesidad de implementar soluciones técnicas de compensación de potencia a fin de reducir la alta variabilidad de la frecuencia, que en este caso se estima en un $\sigma^2 = 0.2958$ para el horizonte de tiempo graficado.

Figura 6

Dinámica de las variables de interés obtenida en los experimentos (caso base)



A continuación, se procede a repetir el experimento en el laboratorio, pero, en este caso, con la función de compensación del SAE-SC habilitada. En este estudio, se han seguido las recomendaciones de Martínez et al. (2019), para definir el valor de la función de estatismo del esquema de la Figura 4, R_i , quedando como sigue:

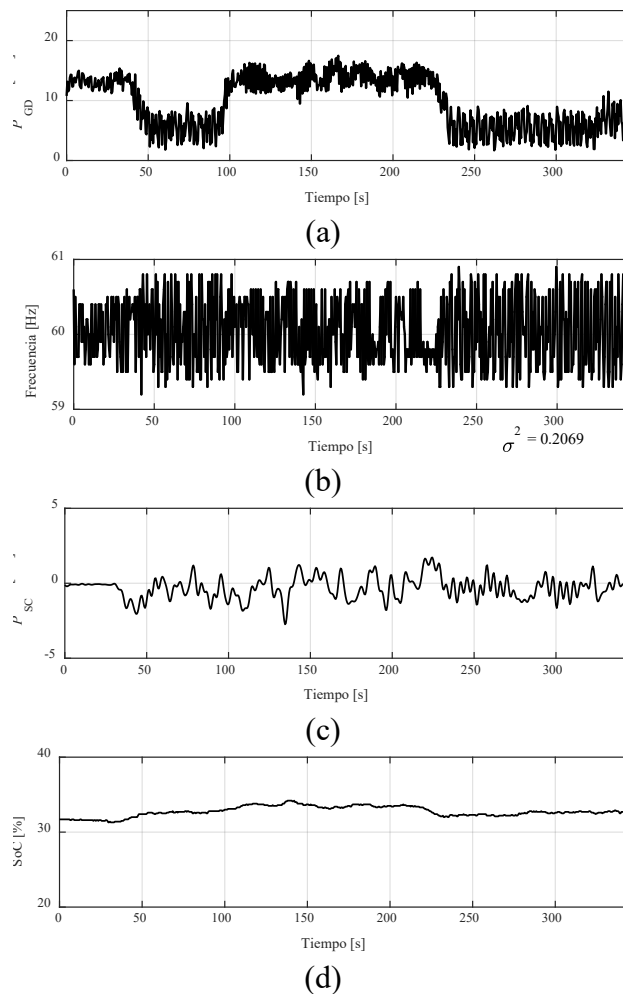
$$R_{i[\text{pu}]} = R_0 \frac{SOC_{\text{max}[\text{pu}]}}{SOC_{i[\text{pu}]}} = (0.02) \frac{1}{SOC_{i[\text{pu}]}} \quad (1)$$

Donde, R_0 es el estatismo fijo del esquema, SOC_{max} es el estado de carga máximo que admite el SAE-SC y SOC_i es el estado de carga actual del SAE-SC, que tiene que ser medido en tiempo real.

La Figura 7 muestra los resultados obtenidos luego de implementar la propuesta en el laboratorio. En esta se observa una respuesta correcta del SAE-SC (Figura 7(c)), en términos de potencia, P_{SC} , ante los desvíos de la frecuencia experimentados por la microrred aislada (Figura 7(b)). En este caso, la variabilidad de la frecuencia es considerablemente menor: $\sigma^2 = 0.2069$; un 30% menos fluctuante que en el caso base. El aporte del SAE-SC se refleja también en la nueva dinámica adoptada por la potencia activa inyectada por el generador diésel (Figura 7(a)), la cual se percibe menos agresiva que en el experimento anterior. Por último, estos resultados ponen en evidencia que la acción controlada de la propuesta mantiene el estado de carga del SAE-SC, SoC, en un valor más o menos constante y próximo a su condición inicial, logrando con esto una operación del SAE-SC lejos de sus límites de carga superior e inferior (Figura 7(d)).

Figura 7

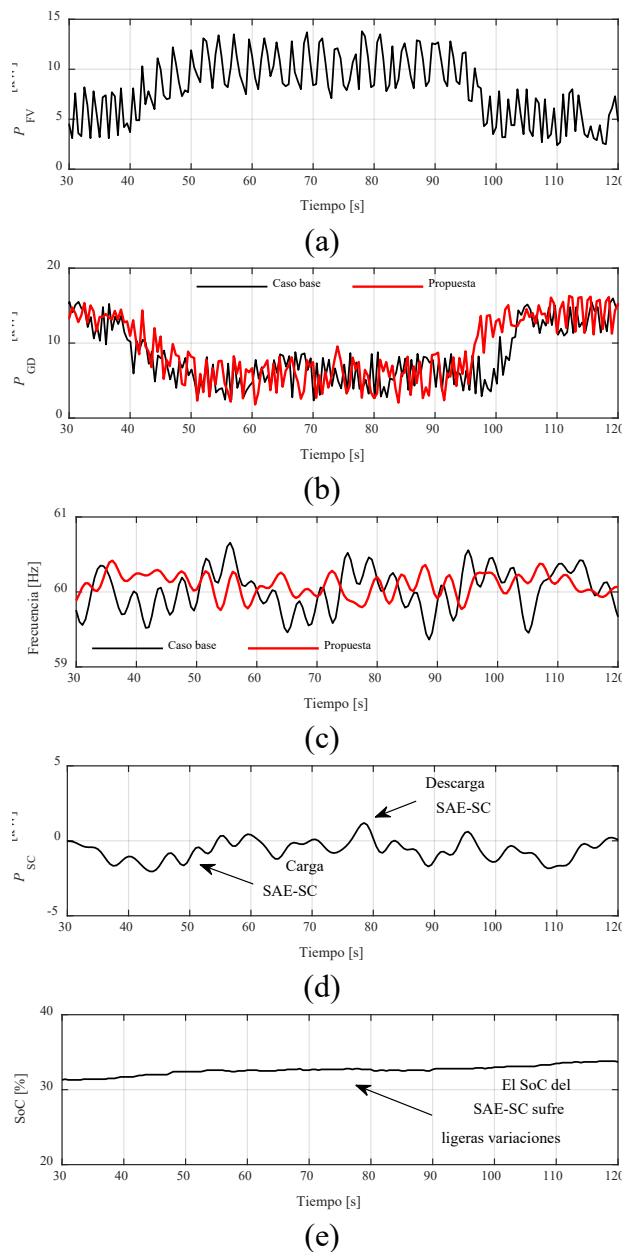
Dinámica de las variables de interés con la implementación de la propuesta



Finalmente, la Figura 8 evidencia la dinámica de las variables de interés: P_{FV} , P_{GD} , frecuencia, P_{SC} y SoC para un horizonte temporal más reducido que facilita verificar, con un mayor nivel de detalle, la efectividad del método propuesto.

Figura 8

Evaluación de la efectividad de la propuesta en el soporte de frecuencia de la microrred aislada para el intervalo ($30 \leq t \leq 120$ s)



Conclusiones

Los recursos energéticos distribuidos (DER) con interfaces de conexión a la red basada en convertidores electrónicos de potencia, han mostrado ser una solución técnica para la integración amigable de agentes de generación eléctrica renovable no convencional en los sistemas eléctricos continentales y en microrredes. No obstante, la presencia cada vez mayor de DER puede suponer un riesgo latente para la estabilidad de frecuencia de un sistema eléctrico débil y aislado, pues su incorporación implica reducir la cantidad de unidades de generación tradicionales que proporcionan reserva de energía primaria para el control

primario/secundario de frecuencia y la inercia necesaria para mantener a la red estable ante la presencia de perturbaciones de potencia. Esto se traduce en un empobrecimiento inercial que provoca que la frecuencia de tales sistemas sufra cambios rápidos y severos que pueden incluso conducir a la inestabilidad de la microrred y, en el peor de los casos, a la pérdida total del suministro eléctrico.

En este trabajo se ha estudiado la dinámica de una microrred operando en modo aislado ante perturbaciones de potencia ocasionadas por la integración de una cantidad importante de generación solar fotovoltaica en un entorno real de experimentación. Se verifica que en un sistema eléctrico débil y aislado, la incorporación de generación fotovoltaica con un nivel de penetración del 34% y alta variabilidad temporal, empobrece seriamente la característica inercial de la microrred, llevándola a presentar fuertes fluctuaciones de frecuencia en condiciones normales de operación ($\sigma^2 = 0.2958$). Ante tal situación, se ha procedido a implementar una técnica de control de inercia virtual en un sistema de almacenamiento energético basado en el uso de supercondensadores (SAE-SC) para respaldar a la generación síncrona convencional en las labores de control de frecuencia. Los resultados experimentales demuestran que la implementación de la propuesta en el SAE-SC en tiempo real, le faculta a este sistema de almacenamiento energético a responder con una potencia activa que hace frente al constante desequilibrio introducido por una potencia solar fotovoltaica intermitente. Esto se traduce en una notable reducción de las fluctuaciones de frecuencia de la microrred ($\sigma^2 = 0.2069$); un 30% menos que en el caso base, lo que representa una mejora significativa de la resiliencia del sistema en términos de frecuencia.

Finalmente, es posible establecer, con base a los resultados alcanzados en el laboratorio, que sí es factible integrar cantidades importantes de generación renovable no convencional en sistemas eléctricos débiles y aislados, siempre y cuando, se cuente con agentes energéticos habilitados para ofrecer una respuesta rápida de frecuencia cuando la naturaleza real de tales sistemas así lo demande.

Reconocimientos

Los autores agradecen a la Universidad de Cuenca por facilitar el acceso a las instalaciones del Laboratorio de Micro-Red del Centro Científico, Tecnológico y de Investigación Balzay (CCTI-B), por permitir hacer uso de sus equipos y por autorizar la provisión de soporte técnico por parte de su personal para la realización de los experimentos descritos en este artículo.

El trabajo documentado forma parte de las actividades ejecutadas en el proyecto titulado: “*Movilidad Eléctrica: retos, limitaciones y plan de implementación en el régimen especial de la Provincia de Galápagos enfocada en el desarrollo sostenible y su factibilidad en la Ciudad de Cuenca*”, dirigido y co-dirigido por los autores R. Sempértegui y D. Ochoa, respectivamente, en el marco del II Concurso de Proyectos de Investigación – Vinculación, organizado por el Vicerrectorado de Investigación y la Dirección de Vinculación con la Sociedad de la Universidad de Cuenca.

Referencias

Ahmed, I., Rehan, M., Basit, A., & Hong, K.-S. (2022). Greenhouse gases emission reduction for electric power generation sector by efficient dispatching of thermal plants integrated with renewable systems. *Scientific Reports*, 12(1). Scopus. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15983-0>

- Ali, H., Magdy, G., & Xu, D. (2021). A new optimal robust controller for frequency stability of interconnected hybrid microgrids considering non-inertia sources and uncertainties. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 128, 106651. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.106651>
- Bevrani, H., Ise, T., & Miura, Y. (2014). Virtual synchronous generators: A survey and new perspectives. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 54, 244-254. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2013.07.009>
- D'Arco, S., Suul, J. A., & Fosso, O. B. (2015). A Virtual Synchronous Machine implementation for distributed control of power converters in SmartGrids. *Electric Power Systems Research*, 122, 180-197. <https://doi.org/10.1016/j.epr.2015.01.001>
- Espinoza, J. L., González, L. G., & Sempértégui, R. (2017). Micro grid laboratory as a tool for research on non-conventional energy sources in Ecuador. 2017 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC), 1-7. <https://doi.org/10.1109/ROPEC.2017.8261615>
- Fernández-Guillamón, A., Martínez-Lucas, G., Molina-García, Á., & Sarasua, J.-I. (2020). Hybrid Wind-PV Frequency Control Strategy under Variable Weather Conditions in Isolated Power Systems. *Sustainability*, 12(18), 7750. <https://doi.org/10.3390/su12187750>
- Györfvári, B., & Vokony, I. (2017). Technical issues of solar- and gas engine based MicroGrids: Assessment on feasibility by using present technologies. 2017 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), 1-6. <https://doi.org/10.1109/EEEIC.2017.7977650>
- Martinez, S., Mendonca, H., de Castro, R. M., & Ochoa, D. (2019). Contribution of electric vehicles to power system ancillary services beyond distributed energy storage. En N. Kishor & J. Fraile-Ardanuy (Eds.), *ICT for Electric Vehicle Integration with the Smart Grid* (pp. 265-284). Institution of Engineering and Technology. https://doi.org/10.1049/PBTR016E_ch10
- Martínez-Lucas, G., Sarasúa, J. I., Pérez-Díaz, J. I., Martínez, S., & Ochoa, D. (2020). Analysis of the Implementation of the Primary and/or Inertial Frequency Control in Variable Speed Wind Turbines in an Isolated Power System with High Renewable Penetration. Case Study: El Hierro Power System. *Electronics*, 9(6), 901. <https://doi.org/10.3390/electronics9060901>
- Ochoa, D. (2021). Modelo simplificado de una interfaz de conexión a la red basada en un convertidor electrónico de potencia para estudios de red en régimen dinámico. *Ingenius*, 26, 87-98. <https://doi.org/10.17163/ingenius.n26.2021.08>
- Ochoa, D., & Martinez, S. (2018). Proposals for Enhancing Frequency Control in Weak and Isolated Power Systems: Application to the Wind-Diesel Power System of San Cristobal Island-Ecuador. *Energies*, 11(4), 910. <https://doi.org/10.3390/en11040910>
- Ochoa, D., & Martinez, S. (2019). Modeling an Isolated Hybrid Wind-Diesel Power System for Performing Frequency Control Studies. A Case of Study: San Cristobal Island, Galapagos-Ecuador. *IEEE Latin America Transactions*, 17(05), 775-787. <https://doi.org/10.1109/TLA.2019.8891946>
- Pazmiño, I., Martinez, S., & Ochoa, D. (2021). Analysis of Control Strategies Based on Virtual Inertia for the Improvement of Frequency Stability in an Islanded Grid with Wind Generators and Battery Energy Storage Systems. *Energies*, 14(3), 698. <https://doi.org/10.3390/en14030698>
- Pazmiño, I., Ochoa, D., Minaya, E. P., & Mera, H. P. (2022). Use of Battery Energy Storage Systems to Enhance the Frequency Stability of an Islanded Microgrid Based on Hybrid Photovoltaic-Diesel Generation. En M. I. A. Chauvin, M. Botto-Tobar, A. Díaz Cadena, & S. Montes León (Eds.), *Sustainability, Energy and City* (Vol. 379, pp. 48-58). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-94262-5_5
- Rey, J. M., Vera, G. A., Acevedo-Rueda, P., Solano, J., Mantilla, M. A., Llanos, J., & Sáez, D. (2022). A Review of Microgrids in Latin America: Laboratories and Test Systems. *IEEE Latin America Transactions*, 20(6), 1000-1011. <https://doi.org/10.1109/TLA.2022.9757743>

- Samanta, H., Pramanik, M., Das, A., Bhattacharjee, A., Bhattacharya, K. D., Deb, N. K., Sengupta, S., & Saha, H. (2019). Development of a novel controller for DC-DC boost converter for DC Microgrid. *TENCON 2019 - 2019 IEEE Region 10 Conference (TENCON)*, 1124-1129. <https://doi.org/10.1109/TENCON.2019.8929521>
- Sarmiento-Vintimilla, J. C., Torres, E., Larruskain, D. M., & Pérez-Molina, M. J. (2022). Applications, Operational Architectures and Development of Virtual Power Plants as a Strategy to Facilitate the Integration of Distributed Energy Resources. *Energies*, 15(3), 775. <https://doi.org/10.3390/en15030775>
- Smith, M., & Ton, D. (2013). Key Connections: The U.S. Department of Energy's Microgrid Initiative. *IEEE Power and Energy Magazine*, 11(4), 22-27. <https://doi.org/10.1109/MPE.2013.2258276>
- Stadler, M., & Naslé, A. (2019). Planning and implementation of bankable microgrids. *The Electricity Journal*, 32(5), 24-29. <https://doi.org/10.1016/j.tej.2019.05.004>
- Tamrakar, U., Shrestha, D., Maharjan, M., Bhattarai, B. P., Hansen, T. M., & Tonkoski, R. (2017). Virtual Inertia: Current Trends and Future Directions. *Applied Sciences*, 7(7), 654. <https://doi.org/10.3390/app7070654>
- Thomsen, B., Guerrero, J. M., & Thøgersen, P. B. (2014). Faroe Islands wind-powered space heating microgrid using self-excited 220-kW induction generator. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 5(4), 1361-1366. *Scopus*. <https://doi.org/10.1109/TSTE.2014.2339373>

Evaluación y propuesta de mejora del alumbrado público con sistemas fotovoltaicos de la avenida lateral de paso en la ciudad de Loja - Ecuador

Evaluation and improvement of public lighting with photovoltaic systems of a side avenue in Loja, Ecuador

Daniel Alexander Patiño Vásquez¹ <https://orcid.org/0000-0002-7286-7872>,
Mario Alejandro Orellana Sánchez¹ <https://orcid.org/0000-0001-8052-5138>, Valeria del Rosario
Herrera Salazar¹ <https://orcid.org/0000-0002-7215-5461>, Juan Carlos Solano Jiménez^{1, 2}
<https://orcid.org/0000-0002-8103-5429>

¹Universidad Nacional de Loja, Facultad de la Energía, Loja, Ecuador
daniel.patino@unl.edu.ec, mario.a.orellana@unl.edu.ec,
vherrera@unl.edu.ec

²Centro de Investigaciones Tecnológicas y Energéticas, (CITE), UNL, Loja, Ecuador
juan.solano@unl.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.

Enviado: 2022/09/28

Aceptado: 2022/12/23

Publicado: 2022/12/30

Resumen

El presente trabajo consiste en documentar el estado actual de los sistemas fotovoltaicos que sirven para el alumbrado público y que se encuentran instalados en la Avenida Lateral de Paso Ángel Felicísimo Rojas (Loja-Ecuador). El propósito es identificar las principales causas de su bajo rendimiento durante horas de la noche ya que afecta a la ciudadanía y a la comunidad universitaria debido a que dicha avenida es usada como ruta alternativa que une a varios sectores de la ciudad de Loja. Por otro lado, la agrupación de datos recolectados mediante la aplicación de una encuesta a moradores cercanos a la avenida permitió identificar el grado de satisfacción que tienen referente a las luminarias instaladas. Las principales conclusiones que se tienen del presente proyecto, indican que al emplear los sistemas fotovoltaicos se debe tener en cuenta su constante mantenimiento ya que se encuentran expuestos al aire libre. De la misma manera, se debe considerar bajo qué condiciones medio ambientales trabajan, en este caso es un clima cambiante.

Sumario: Introducción, Materiales y Métodos, Evaluación del sistema, Resultados, Discusión y Conclusiones.

Como citar: Patiño, D., Orellana, M., Herrera, V. & Solano, J. (2022). Evaluación y propuesta de mejora del alumbrado público con sistemas fotovoltaicos de la avenida lateral de paso en la ciudad de Loja - Ecuador. *Revista Tecnológica - Espol*, 34(4), 186-198.

<http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/981>

Palabras clave: alumbrado público, sistemas fotovoltaicos, paneles solares, energía solar.

Abstract

This documents the current state of the photovoltaic systems for public lighting in the side avenue of Loja, Ecuador. It aims to identify the principal causes of its low performance during night hours that affects the citizens and the university community since this avenue is an alternative route that links several sectors of Loja city. On the other hand, the grouping of data collected through the application of a survey of residents near the avenue made it possible to identify their degree of satisfaction with the installed lighting. The main conclusions of this study suggest that the constant maintenance of photovoltaic systems must be taken into account when they are exposed to the open air, as well as the environmental conditions under which they work; in this case, they work with a changing climate.

Keywords: street lighting, PV systems, solar panels, solar energy.

Introducción

La iluminación pública tiene un gran impacto en la seguridad de las avenidas, sin embargo, el coste energético que conlleva puede ser alto. Por ello, existen alternativas amigables con el medio ambiente como el uso de paneles solares fotovoltaicos. En el caso de la Avenida Lateral de Paso Ángel Felicísimo Rojas (Loja – Ecuador), al ser un proyecto nuevo construido en el 2015, se vio la posibilidad de implementar esta nueva tecnología y con ello conseguir la iluminación completa de la avenida. La utilización de esta energía resulta viable para escenarios de este estilo, pero requiere de un correcto mantenimiento para que cumplan con su tarea principal que es el alumbrado público en horas de la noche (Alvarado, 2015).

Hoy en día, el funcionamiento de las luminarias fotovoltaicas de la mencionada avenida es deficiente. En este momento presenta en tramos que la iluminación llega a ser inexistente, lo cual puede ser causa de accidentes de tránsito tanto de la ciudadanía en general como de la comunidad universitaria que transita dicha avenida con regularidad. Una iluminación adecuada durante horas nocturnas puede llegar a ser un factor crítico en la seguridad de conductores y peatones al punto de disminuir el nivel de accidentes en un 30% (Beyer & Ker, 2009; Klinjun et al., 2021).

En un principio, el proyecto de iluminación de la avenida contemplaba un total de 600 postes y 1200 luminarias, cada luminaria con su respectiva batería alimentada desde el panel solar. Actualmente, en la avenida existen un total de 587 postes los cuales acumulan 1174 luminarias, de las cuales 948 no son funcionales y solo 116 luminarias se desempeñan correctamente. Esto quiere decir que solo un 9.8% del total de la iluminación de la avenida funciona. Haciendo uso de la tecnología, en este caso de un dron, se pudo recolectar la evidencia suficiente para determinar que el mayor problema que enfrenta la avenida es el mal estado de sus baterías y el precario estado de los paneles fotovoltaicos ya que están expuestos a grandes cantidades de polvo y suciedad en general.

El precio estimado de los sistemas fotovoltaicos instalados a lo largo de toda la avenida es de aproximadamente 2.9 millones de dólares (*Solar Fotovoltaica - Soluciones Técnicas Integrales CIA. LTDA.*, 2015). Debido al poco mantenimiento que recibe, las personas optan por hacer uso de rutas alternas, ocasionando de este modo un incremento notable en el tráfico vehicular en la parte céntrica de la ciudad. Por esta razón, el presente trabajo se enfoca en la detección de los principales problemas que presenta esta avenida en relación al alumbrado

público, con el propósito de entregar un plan de acción en el cual se especifique las posibles soluciones al problema actual de iluminación.

El objetivo del presente trabajo de investigación es describir el estado actual de la avenida. Para la obtención de información se emplearán herramientas como: aplicación de encuestas a moradores cercanos a la avenida, entrevistas, cámaras térmicas, imágenes aéreas y asesoramiento con expertos. Con ello, se espera presentar una serie de propuestas de mejora que puedan servir como fuente de información para la autoridad encargada, en este caso, el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) al momento de repotenciar dicho proyecto.

Para el planteamiento de las posibles soluciones se toman en consideración ciertos factores que influyen directa o indirectamente en el sistema fotovoltaico. Entre los factores más influyentes está el polvo, climas cambiantes, poco mantenimiento de los paneles solares, días nublados con poca absorción de rayos solares hacia los paneles solares. Por otro lado, para la selección de nuevos sistemas fotovoltaicos se tuvo presente ciertas características como paneles resistentes y con mayor sensibilidad en la absorción de rayos solares. De la misma manera, se toma en consideración la certificación de su durabilidad y eficiencia al exponerse al polvo y suciedad en general.

Materiales y Métodos

Paneles fotovoltaicos instalados actualmente en la avenida lateral de paso

El proyecto de instalación de luminarias fotovoltaicas fue realizado en el 2015, duró aproximadamente tres meses (mayo-agosto). En un comienzo se instalaron correctamente un total de 600 postes solares de alumbrado público, cada uno de los postes tenían dos paneles fotovoltaicos, cuatro baterías de gel, dos luminarias y reguladores crepusculares.

A continuación, se detalla cada uno de los componentes que fueron tomados en consideración durante la instalación de dicho sistema:

Tabla 1

Componentes utilizados en el sistema de alumbrado público de la avenida lateral de paso

Dispositivo	Cantidad	Característica	Marca	Modelo
Paneles fotovoltaicos	1200	300 W _p	Resun Solar	RS8I550M
Baterías de Gel	2400	200 Ah/12 V _{cc}	JYC	JYC200AH12VDC
Luminarias LVD tipo luna	1200	120 W (2×60W)	GEL	60W×2 de avenidas y carreteras
Reguladores crepusculares	1200	24 V _{cc} /20 A	SRNE	SR-2L2420A

Estado actual de las luminarias

Existen varias causas del problema presente en el sistema de alumbrado público de la avenida, entre estos problemas se puede encontrar, el poco mantenimiento de las luminarias, el polvo, el estado de la avenida, las temperaturas, la inseguridad y fallos en las baterías, tal como se muestra en la Figura 1.

Uno de los principales factores para el mal funcionamiento del sistema de alumbrado público de la avenida es que no se ha tomado ninguna acción frente a la cantidad de polvo, y la suciedad que cubre los paneles solares tal como se muestra en la Figura 2. Está comprobado que las altas temperaturas y la acumulación de polvo puede llegar a afectar el rendimiento de estos sistemas y disminuir la eficiencia de un panel fotovoltaico hasta en un 60% (Garrido Jiménez, 2020; Sulaiman et al., 2014).

Figura 1

Sistemas fotovoltaicos expuestos al polvo



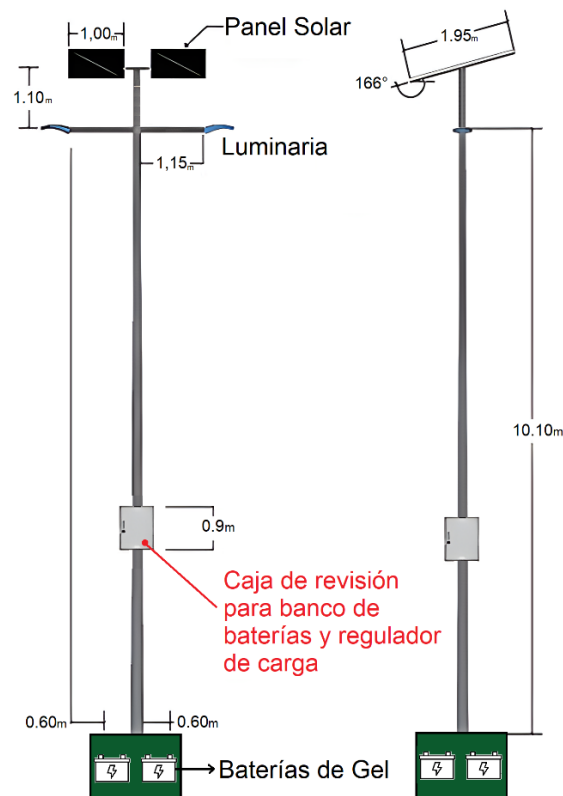
Figura 2

Poste en malas condiciones ubicado en la avenida lateral de paso, producto de la inestabilidad del terreno



Figura 3

Representación gráfica de los paneles fotovoltaicos y baterías presentes en los postes de alumbrado público ubicados a lo largo de la avenida lateral de paso



Así mismo el clima de la región es un aspecto que no beneficia mucho al momento de hablar de la eficiencia energética de las baterías que se encuentran actualmente instaladas. Dichas baterías se encuentran en la zona inferior del poste en un compartimento de hormigón. La disposición no es muy beneficiosa para las baterías, aun cuando las temperaturas de la ciudad de Loja oscilen entre los 23°C y 24°C, la temperatura dentro del compartimento puede llegar hasta los 35°C. Además, producto de las precipitaciones puede llegar a existir humedad lo cual puede acelerar corrosión provocada por el electrolito presente en las baterías (Bertran, 2017; Mosqueda Pérez & others, 2021).

Evaluación del sistema

Dentro del marco de la presente investigación se realizó el levantamiento de información referente al estado actual del sistema de alumbrado público instalado en toda la avenida lateral de paso Ángel Felicísimo Rojas. Del mismo modo se recolectó información del nivel de satisfacción de los moradores cercanos a la avenida, en cuanto al funcionamiento de las luminarias durante horas de la noche.

El estudio del nivel de satisfacción fue llevado a cabo mediante encuestas aplicadas a 115 moradores estratégicamente seleccionados, ellos tienen sus viviendas cercanas a la avenida lateral de paso, el objetivo fue captar respuestas más confiables.

Por otro lado, con el objetivo de proponer posibles soluciones frente al problema actual del sistema de alumbrado público, se llevó a cabo el análisis de los diferentes factores que influyen en el mal funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos. De ellos se encontró falta de mantenimiento de los paneles solares. Además, se pudo observar que el clima cambiante en la ciudad de Loja no ayuda con el correcto funcionamiento de los sistemas, puesto que en días nublados no se logra captar los rayos solares de una manera eficiente.

Resultados

Los sistemas de alumbrado público instalados en la avenida lateral de paso se encuentran compuestos por luminarias, paneles solares, baterías y reguladores. Todos estos componentes forman un sistema fotovoltaico autónomo, los cuales tienen la tarea principal de almacenar energía solar recolectada durante el día y posteriormente ser usada en horas de la noche. De esta forma ofrecen energía suficiente para iluminar la carretera por medio de las farolas LED.

Existen varias formas de abordar el problema vigente en el sistema de alumbrado público de la avenida. Los autores lo plantearon basándose en una investigación bibliográfica, adicionalmente, tomaron en consideración el estado actual de los sistemas instalados y se han determinado 5 posibles soluciones a ejecutar frente al problema presente.

La primera de las soluciones propuestas es un sistema híbrido (SFV con almacenamiento y con conexión a red) el cual consiste en el uso de energía fotovoltaica y la red eléctrica convencional. Este sistema es una combinación de diferentes tecnologías que se unen con el propósito de crear un sistema eléctrico unificado para diferentes objetivos, entre los más aplicados están la generación de corriente eléctrica para el alumbrado público, alumbrado de viviendas, entre otros. Esta propuesta será implementada como medida adicional de abastecimiento de energía, como bien se conoce las baterías instaladas pueden almacenar una cantidad limitada de energía, la cual es convertida en corriente eléctrica para dar funcionamiento a las farolas LED. Por lo tanto, lo que se pretende con esta propuesta es abastecer de corriente eléctrica tradicional y otorgar la energía suficiente para las farolas LED.

En esta propuesta, como primer paso, se considera la distancia que existe entre todos los paneles fotovoltaicos instalados en la avenida lateral de paso, dando un total de 15.5 km. Además, se utilizará cable de bandeja tipo VNTC el cual es adecuado para la implementación de la presente propuesta. Del mismo modo se consideró el uso de inversores de energía solar híbridos.

Tabla 2

Precio del cable de bandeja de nailon de vinilo

Precio / 100m	Nro. Conductores	Tamaño	Voltaje	Temperatura	Conductores	Diámetro
190 USD	3	14 AWG	600	8°C - 90°C	UL 66 NEC tipo TFN, UL 1277 tipo TC-ER	0.34 pulgadas

Tabla 3

Precio del inversor de energía solar híbrido

Precio / 100m	Entrada de CA	Entrada de CC	Salida	Dimensiones cm	Fabricante	Pilas
890 USD	Fase dividida 240V _{ac}	48 V _{cc}	6000 W continuo 18000 W pico	38.10 × 29.98 × 74.93	SafeGuard Power Solutions, LLC.	4 × 12V (Tipo de pila necesaria)

El tiempo aproximado de instalación de la red eléctrica para esta propuesta se podría considerar en 3 meses. Se tiene como base el tiempo que le tomó a la empresa ENERPRO (*Solar Fotovoltaica - Soluciones Técnicas Integrales CIA. LTDA.*, 2015) en instalar los paneles fotovoltaicos. Y el precio estimado de la propuesta es de 73 750.00 USD.

La segunda solución presentada es la sustitución de los sistemas fotovoltaicos por alternativas actuales y modernas. Dicha propuesta consiste en reemplazar todo el sistema instalado, por tecnologías que tengan mejores prestaciones, certificaciones, mayor eficiencia energética y que se puedan usar en las condiciones presentes a lo largo de la avenida lateral de paso. El sistema que se cambiaría se compone por paneles fotovoltaicos, baterías, luminarias y reguladores. El propósito principal de esta solución es emplear una tecnología más eficiente para obtener mayor energía con un uso moderado de los sistemas fotovoltaicos autónomos instalados. Actualmente, existen 587 postes, por lo tanto, se debe considerar que en cada poste irán instalados dos sistemas solares fotovoltaicos.

Tabla 4

Precio de sistemas de paneles solares

Precio / kits	2 Tipo	Potencia	Tensión	Batería	Cargador	Regulador Solar	Tensión máxima
1 150 USD	Aislada	2700 W	48 V 230 V	Litio	80 A	80 A MPPT	450 V

El tiempo estimado de instalación se podría prolongar a 2 meses y el importe estimado sería de 679 300.00 USD.

La tercera solución presentada es la eliminación del uso de energía fotovoltaica con el fin de utilizar la red eléctrica tradicional. Esta propuesta se enfoca en instalar la red eléctrica convencional, pues esta red es la que se encuentra actualmente funcionando en zonas urbana.

Este sistema de luminarias consiste en la instalación de un poste de hormigón y una lámpara la cual funciona con vapor de sodio. La implementación de esta propuesta es necesario que abarque toda la avenida que integra los paneles fotovoltaicos, con el propósito de implementar en ese mismo espacio el cableado de red eléctrica convencional. Cabe recalcar que esta solución solo sería implementada en el peor de los casos debido a que se estaría considerando el desecho o reciclaje de todos los paneles fotovoltaicos. Además, se debería considerar la reutilización de los postes de acero actualmente instalados, para esto se deberían hacer pruebas de resistencia a los postes ya que fueron instalados con el propósito principal de soportar únicamente un sistema de energía fotovoltaica autónoma.

Para esta propuesta se tendría que realizar un estudio general de toda la avenida y verificar la cantidad de cable a utilizar. Además, se debe verificar frente a qué tipo de condiciones ambientales debería resistir un poste de hormigón y el cable a implementar. Para la aplicación se tomará en consideración el mismo cable mencionado anteriormente en la primera propuesta, además, se debe tener en cuenta el análisis referente al funcionamiento de los postes instalados actualmente, de tal modo que se puedan usar los mismos en el mejor de los casos.

Tabla 5

Características de poste de hormigón

Precio	Tipo	Normas	Longitud	Carga	Diámetro en base	Diámetro en punta	Tipo de cemento
210 USD	Circular alivianada	NTE, INEN 1964, 1965-1	10 m	2000 kgf	38 cm	18 cm	Magno He

Así mismo, se considera la instalación de nuevas luminarias con vapor de sodio.

Tabla 6

Características de luminarias con vapor de sodio

Precio	Voltaje	Altura	Ancho	Voltios de lampara	Material de carcasa	Tipo de lente	Rango de potencia
152 USD	120 V _{ca}	68.58 cm	33.02 cm	100 W	Aluminio fundido a presión	Gota a acrílica	41 a 100 W

Ya que se tiene conocimiento de los diferentes dispositivos a utilizar se determinaría un tiempo aproximado de instalación completa de la propuesta que es de unos 5 meses, con una inversión de 335 418.00 USD.

Como cuarta propuesta se tiene la implementación de un BESS (BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM) en el cual se almacenará la energía generada por todos los paneles fotovoltaicos a lo largo de la avenida. La implementación de un BESS lleva consigo una mejora considerable de entre un 40% – 60% de fiabilidad en el funcionamiento de sistemas impulsados por energía fotovoltaica (Shamshiri et al., 2018). Esto a raíz de que un BESS es un sistema controlado que funciona bajo condiciones específicas como son, la temperatura, humedad, cantidad de ciclos de descarga de cada batería, etc. Esto implica que dichos sistemas poseen un mayor grado de tolerancia a los fallos a diferencia de un sistema descentralizado de baterías, en el cual las baterías se encuentran en diferentes condiciones. Otro punto a tomar en cuenta es que un BESS también puede funcionar de manera híbrida, esto a su vez resulta beneficioso,

puesto que, si no se llega a cumplir con la cuota diaria de energía necesaria para que las luminarias funcionen de manera óptima, existe la opción de utilizar la red eléctrica tradicional para suplir esta deficiencia energética lo que provee al sistema de una mayor fiabilidad.

Por norma general la temperatura recomendada para una batería oscila entre los 20 C° y 25 C°, si se excede este límite la batería mejorará su rendimiento (Se reduce la resistencia interna y se acelera la reacción química) a costa de un mayor desgaste en su vida útil si se supera este umbral durante periodos de tiempo prolongados. Por el contrario, el someter a una batería a temperaturas menores al umbral antes mencionado aumentará la resistencia interna y por consiguiente disminuirá su capacidad.

Para este caso se utilizarán las baterías previamente instaladas que cumplan con la especificación de estar al menos a un 60% de su vida útil. En caso de no contar con las suficientes se optará por baterías de Litio o gel dependiendo del poder adquisitivo del organismo encargado, con el fin de llegar a suplir la demanda energética de todas las luminarias de la avenida.

Tabla 7

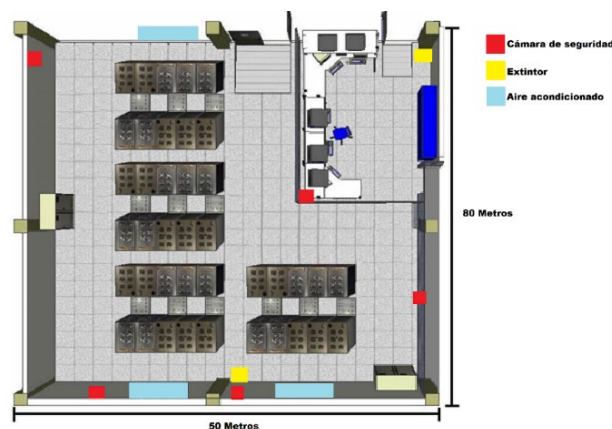
Baterías de gel sunpal 6-CNF-200

Vida útil	Precio	Voltaje de la batería	Capacidad de la batería	Dimensiones	Peso	Estructura
15 años	230 USD	12 V _{cc}	200 ah	240 × 224 × 522 mm	60 kg	Aleación de plomo y estaño de alta pureza

La propuesta está considerada para ser implementada en un lapso de 12 meses con una inversión de 458 890.00 USD y estará distribuido de la siguiente manera.

Figura 4

Diseño preliminar del sistema BESS



La quinta propuesta comprende la revisión y sustitución de paneles estropeados, baterías y luminarias, conservando los dispositivos funcionales. Tras la recolección de datos del estado actual del sistema de alumbrado público de la avenida, se ha visto la posibilidad de re-potenciar dicho sistema, de manera que se pueda reducir costos, preservando los activos funcionales en la iluminación e implementando alternativas más actuales en aquellas luminarias que ya no funcionan de la mejor manera.

Uno de los principales factores para el mal funcionamiento del sistema de alumbrado público de la avenida es que no se ha tomado ninguna acción frente a la cantidad de polvo, y la suciedad que cubre los paneles solares. Está comprobado que el polvo puede llegar a afectar en gran medida el rendimiento de estos sistemas, esto se puede corroborar en un artículo científico publicado en 2014 en el cual se detalla que la presencia de polvo puede llegar a disminuir la eficiencia de un panel fotovoltaico hasta en un 60% (Aghaei et al., 2022; Sulaiman et al., 2014).

Otro punto a considerar, es la inseguridad presente a lo largo de la avenida, esto ha producido que en varios de los postes los reguladores de carga hayan sido sustraídos debido a que se encuentran ubicados en un compartimento de fácil acceso para el personal encargado de su revisión.

Figura 5

Poste al cual se le ha sustraído su regulador de carga



Los paneles fotovoltaicos son los elementos más sensibles a las variaciones de su entorno, por lo cual se tendría que realizar una revisión del estado y prueba de cada uno de ellos, presentes a lo largo de la avenida.

En el caso que el panel fotovoltaico esté funcionando de forma correcta, pero esté generando menos corriente de lo normal, se tendrá que realizar un mantenimiento. Dicho mantenimiento consiste en retirar -una vez al mes- cualquier tipo de objeto, suciedad, etc., que pueda afectar a la correcta producción de los paneles fotovoltaicos, por ejemplo: excrementos de aves o polvo. El polvo acumulado o los restos de polución también deben ser eliminados en la medida de lo posible, ya que disminuirá la corriente eléctrica generada y si perduran en el tiempo podrían generar puntos calientes.

Para mantener limpio el panel solar basta con utilizar agua con una pequeña cantidad de jabón para que sea posteriormente más sencillo aclararlo. No se recomienda utilizar detergentes o materiales de limpieza ásperos ya que se puede dañar la superficie del panel permanentemente.

La implementación de la presente propuesta está considerada para un lapso de 5 meses, tomando como referencia el estado actual de los sistemas fotovoltaicos parcialmente funcionales, la inversión aproximada es de 402 500.00 USD.

La última propuesta comprende en la reutilización de los componentes presentes actualmente en el sistema de alumbrado público de la avenida lateral de paso para poder establecer una central fotovoltaica con almacenamiento centralizado y con conexión a la red eléctrica. En la actualidad en Ecuador, el sector energético se encuentra desarrollado en un 70% por fuentes de energía hidráulica, un 28% mediante la producción de energía térmica y tan solo el 2% en fuentes diferentes como lo son la eólica, la biomasa y la energía solar (de Electricidad y Energía Renovable, 2013). Por lo anterior, el país y la industria deben enfocar sus esfuerzos en la búsqueda e implementación de fuentes de energía que sean amigables con el medio ambiente y que a su vez mejoren los costos asociados a la generación de productos y servicios. Es por dicha razón, que se ha visto la posibilidad de aportar de manera significativa a la generación de energía eléctrica de la región, a través de un centro fotovoltaico.

El sistema de alumbrado público de la avenida lateral de paso, consta con aproximadamente 1 172 paneles fotovoltaicos, los cuales no están siendo aprovechados de la mejor manera, ya sea por la dificultad de su mantenimiento o por problemas en sus baterías. Además, actualmente la institución encargada de dicho sistema está planeando repotenciar este proyecto, a través de la inclusión de todo el sistema de alumbrado a la red eléctrica de la ciudad.

Con la finalidad de aprovechar estos activos se ha visto la posibilidad de plantear un proyecto de generación de energía fotovoltaica con todas las medidas necesarias para sacarle el mejor partido a los paneles presentes a lo largo de la avenida.

Tabla 8

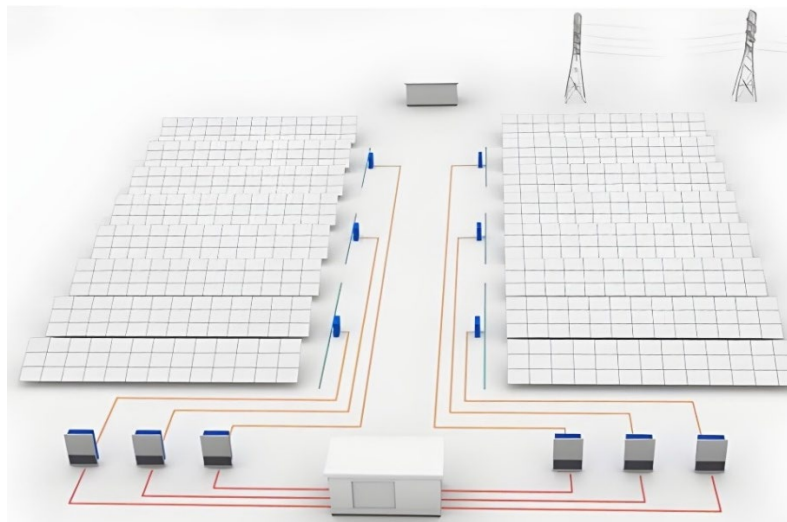
Características técnicas de los paneles actualmente instalados en el sistema de alumbrado público de la avenida lateral de paso

Vida útil	Precio	Modificación	Circuito V_{oc}	Potencia V_{mpp}	Corriente I_{sc}	Eficiencia	Dimensiones
30 años	225 USD	36 células, 4 × 9.5 Bushbars	24.10	20.39	11.99	21.06 %	1560×700×35 mm

El diseño preliminar de esta central se muestra a continuación:

Figura 6

Diseño preliminar de una central fotovoltaica con un sistema BESS



Esta propuesta está considerada para un lapso de 12 meses, con una inversión aproximada de 643 000.00 USD.

Discusión

Los hallazgos del presente estudio indican que al emplear tecnología fotovoltaica se deben tomar medidas que satisfagan todos los factores que implican el correcto funcionamiento del sistema instalado. De tal manera que se logre abarcar todos los posibles errores que se puedan presentar a medida que pasa el tiempo de funcionamiento, ya que de otra manera dichos sistemas instalados no lograrán cubrir con la expectativa deseada y se tendrá que recurrir a soluciones viables lo cual implica el gasto de nuevos recursos como es el caso de la presente investigación.

Para la presentación de propuestas de solución detalladas en el presente estudio fue necesario un trabajo en 3 fases:

Como primera fase se obtuvo información relevante con respecto a la tecnología empleada en los sistemas fotovoltaicos, actualmente instalados en la avenida lateral de paso. Además, se realizó una encuesta aplicada a moradores que viven a los alrededores de la avenida. Gracias a esta encuesta aplicada se pudo constatar un descontento por parte de los moradores en relación al mal funcionamiento del sistema de alumbrado público.

Por otro lado, en la segunda fase se realizó un estudio personal enfocado al estado actual de los paneles fotovoltaicos. Para el cumplimiento de dicho estudio fue necesario la utilización de un dron profesional con cámara de alta calidad para la obtención de imágenes aéreas de los paneles solares en los cuales se pudo evidenciar la presencia de polvo y residuo de aves. Además, gracias a las imágenes obtenidas se pudo constatar que ciertos paneles solares se encuentran erróneamente ubicados, influyendo en su rendimiento al captar los rayos solares.

En la tercera y última fase se crearon posibles soluciones entre las cuales se detalla desde un cronograma de instalación o aplicación de la solución propuesta hasta un precio estimado referencial que se detalla a continuación.

Tabla 9

Propuestas de solución presentadas

Nombre de la propuesta	Precio Estimado	Tiempo de ejecución (meses)
Instalación de Sistema Híbrido (SF con almacenamiento y con conexión a red) que consiste en el uso de energía fotovoltaica y la red eléctrica convencional.	73 750.00 USD	4
Sustitución de los sistemas fotovoltaicos por alternativas actuales.	679 300.00 USD	2
Eliminación del uso de energía fotovoltaica y utilizar la red eléctrica tradicional.	335 418.00 USD	5
Implementación de un BESS (BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM) en el cual almacenar la energía generada por todos los paneles fotovoltaicos a lo largo de la avenida	458 890.00 USD	12
Revisión y sustitución de paneles estropeados, baterías y luminarias, conservando los dispositivos funcionales.	402 500.00 USD	5
Central Fotovoltaica con almacenamiento centralizado y con conexión a la red eléctrica.	643 000.00 USD	12

Conclusiones

El sistema de alumbrado público de la avenida lateral de paso, al contar con tecnologías fotovoltaicas, implica la necesidad de un mantenimiento periódico para un correcto funcionamiento. Se recomienda realizar una limpieza entre 3 y 4 veces al año, o con mayor frecuencia si se trata de una zona con altos niveles de polvo y suciedad tal como es en el presente caso. Por tal motivo, en la actualidad, dicho sistema de alumbrado público no está funcionando de forma óptima. Debido al mal funcionamiento, aumenta la inseguridad al transitar esta avenida en horarios nocturno ya sea por la delincuencia o por problemas de tránsito.

Con el pasar del tiempo el rendimiento relacionado a la iluminación ha sido cada vez menos eficiente debido a la falta de mantenimiento hacia los paneles solares. Del mismo modo, el clima cambiante también afecta el rendimiento de los paneles dentro la avenida. El objetivo fundamental se pone de manifiesto a lo largo de la presente investigación al detallar que es posible proponer soluciones tomando en consideración el estado actual del sistema de alumbrado público integrado con sistemas fotovoltaicos, dichas soluciones proponen el uso de nuevas tecnologías y nuevas normas que cumplan con características específicas como la alta resistencia a climas cambiantes o presencia de suciedad.

Dichas soluciones buscan reducir el costo de implementación; además, en la medida de lo posible, hacer uso de los sistemas que se encuentran instalados en el caso de que se opte por utilizar otro tipo de tecnología, como los sistemas híbridos o la red eléctrica tradicional. El mayor logro que se puede conseguir es que una de las propuestas pueda llegar a ser implementada en un futuro no muy lejano, además se busca que la información derivada sirva de soporte para otros problemas en los cuales se relacione el uso de tecnología fotovoltaica, con el propósito de fomentar el correcto uso de dichos sistemas que están revolucionando el mercado de la energía limpia.

A base de la información expuesta y al estado actual de la avenida en cuestión, se considera factible implementar la propuesta del sistema híbrido, el cual consiste en la instalación de una red eléctrica en toda la avenida lateral de paso. Dicha red eléctrica abastecerá de energía suficiente a las farolas LED en caso de que los paneles solares no hayan recolectado la suficiente energía en las baterías durante el día, implementando dicha propuesta se asegura el rendimiento óptimo de la iluminación de la avenida en horas de la noche. Esta opción, al igual que las demás, fueron dadas a conocer a la entidad encargada, en este caso el MTOP, quienes constataron que dicha información sirve como fuente de información para el desarrollo de obras complementarias dentro de la infraestructura vial.

Referencias

- Aghaei, M., Fairbrother, A., Gok, A., Ahmad, S., Kazim, S., Lobato, K., Oreski, G., Reinders, A., Schmitz, J., Theelen, M., Yilmaz, P., & Kettle, J. (2022). Review of degradation and failure phenomena in photovoltaic modules. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 159, 112160. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112160>
- Alvarado, R. (2015). VICEPRESIDENTE INAUGURÓ VÍA DE INTEGRACIÓN BARRIAL. *Loja Para Todos*. <https://www.loja.gob.ec/noticia/2015-11/vicepresidente-inauguro-de-integracion-barrial>
- Bertran, J. M. (2017). *Métodos de estimación del estado de carga de baterías electroquímicas*. <https://core.ac.uk/download/pdf/87655074.pdf>
- Beyer, F., & Ker, K. (2009). Street lighting for preventing road traffic injuries. *Cochrane Database of Systematic Reviews (Online)*, 1, CD004728. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD004728.pub2>

- de Electricidad y Energía Renovable, M. (2013). *PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACIÓN 2013 - 2022* (pp. 2–23). <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/Vol4-Aspectos-de-sustentabilidad-y-sostenibilidad-social-y-ambiental.pdf>
- Garrido Jiménez, J. I. (2020). *Estudio de la influencia del ensuciamiento por polvo en la temperatura de un panel solar fotovoltaico mediante un modelo computacional unidimensional*.
- Klinjun, N., Kelly, M., Praditsathaporn, C., & Petsirasan, R. (2021). Identification of Factors Affecting Road Traffic Injuries Incidence and Severity in Southern Thailand Based on Accident Investigation Reports. *Sustainability*, 13(22). <https://doi.org/10.3390/su132212467>
- Mosqueda Pérez, A. R., & others. (2021). *ESTUDIO DE MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LOS ESTADOS INTERNOS DE UNA BATERÍA*.
- Shamshiri, M., Gan, C., Zolkifri, N. I., & Baharin, K. A. (2018). Battery energy storage system sizing for high penetration of solar photovoltaic systems in low voltage distribution network. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13, 8103–8109.
- Solar Fotovoltaica - Soluciones Técnicas Integrales CIA. LTDA.* (2015). <https://enerpro.com.ec/energias-renovables/solar-fotovoltaica/#1549755384029-e0a5f16e-0b0b>
- Sulaiman, S. A., Singh, A. K., Mokhtar, M. M. M., & Bou-Rabee, M. A. (2014). Influence of Dirt Accumulation on Performance of PV Panels. *Energy Procedia*, 50, 50–56. <https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2014.06.006>

Información para Autores



Evaluación por pares

La Revista Tecnológica Espol - RTE es una revista arbitrada que se rige por el sistema doble par anónimo. Los artículos enviados por los autores son evaluados en previamente por el Comité de Redacción para comprobar si se ajustan a las normas de edición y a las políticas temáticas de la revista. Cuando el artículo pasa ese primer filtro es enviado a dos evaluadores externos expertos en la temática abordada por el autor. Para cumplir y defender la ética de la investigación, estos evaluadores desconocen el nombre de el/los autores/as y la identificación de la/s institución/es a la que pertenece el artículo, encargándoseles dictaminar si responde a los intereses científicos de la revista y si procede su publicación. En la valoración final, los revisores deciden entre las siguientes opciones: publicable, publicable con modificaciones menores, publicable con modificaciones mayores o no publicable. En el caso de que haya disparidad de opinión entre revisores del Comité Científico, se someterá al juicio de un tercer experto, que dirimirá en conflicto de pareceres.

Las responsabilidades específicas de los revisores se encuentran declaradas en el link [Código de ética y buenas prácticas de publicación](#).

Derechos de autor (Copyright)

Los originales publicados, en las ediciones impresa y electrónica, de la Revista Tecnológica Espol - RTE, bajo derechos de primera publicación, son propiedad de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Guayaquil, República del Ecuador, siendo absolutamente necesario citar la procedencia en cualquier reproducción parcial o total de los contenidos (textos o imágenes) publicados. RTE proporciona un acceso abierto e inmediato a su contenido, pues creemos firmemente en el acceso público al conocimiento, lo cual no obsta para que la cita de la fuente sea obligatoria para todo aquél que desee reproducir contenidos de esta revista.

De igual modo, la propiedad intelectual de los artículos o textos publicados en la revista RTE pertenece al/la/los/las autor/a/es/as, quienes conservan sus derechos de autor y dominio irrestricto de su obra.

Esta circunstancia ha de hacerse constar expresamente de esta forma cuando sea necesario.

Todo el contenido de RTE mantiene una licencia de contenidos digitales otorgada por Creative Commons.



*Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.*

Directrices para autores

Los textos postulados deben:

1. *Corresponder a las categorías universalmente aceptadas como producto de investigación.*
2. *Ser originales e inéditos.*
3. *Sus contenidos responden a criterios de precisión, claridad y brevedad.*

Se clasifican en:

3.1 Artículos. *En esta sección se publican:*

3.1.1 Artículos de investigación científica o tecnológica: *presenta de manera detallada los resultados originales de proyectos terminados de investigación. La estructura generalmente utilizada contiene cuatro aportes importantes: introducción, metodología, resultados y conclusiones.*

3.1.2 Artículo de reflexión o ensayo: *presenta resultados de investigación terminada desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico recurriendo a fuentes originales.*

3.1.3 Artículo de revisión: *resultado de una investigación terminada donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones, publicadas o no, ya sea en el campo científico, artístico o artístico tecnológico, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo.*

Próximos Volúmenes

PROGRAMACIÓN

Vol. 35, N° 1

Volumen Regular

- Convocatoria abierta: hasta el 30 de abril de 2022*
- Notificación de artículo seleccionado por pares ciegos: hasta el 30 de mayo de 2022*
- Publicación del volumen: 30 de junio de 2022*

Próximos Volúmenes

PROGRAMACIÓN

Vol. 35, N° 2

Volumen Regular

- i. Convocatoria abierta: hasta el 30 de septiembre de 2023*
- ii. Artículos seleccionados para publicación: hasta el 30 de noviembre de 2023*
- iii. Publicación del volumen: 30 de diciembre de 2023*

PROGRAMACIÓN

Vol. 36, N° 1

Volumen Regular

- i. Convocatoria abierta: hasta el 30 de abril de 2024*
- ii. Artículos seleccionados para publicación: hasta el 30 de mayo de 2024*
- iii. Publicación del volumen: 30 de junio de 2024*

PROGRAMACIÓN

Vol. 36, N° 2

Volumen Regular

- i. Convocatoria abierta: hasta el 30 de septiembre de 2024*
- ii. Artículos seleccionados para publicación: hasta el 30 de noviembre de 2024*
- iii. Publicación del volumen: 30 de diciembre de 2024*

NOTE: For interest in publications of special issues, universities and organizations related to research are invited to contact us at nsolorza@espol.edu.ec

NOTA: Para interés en publicaciones de volúmenes especiales, se invita a universidades y organizaciones relacionadas con investigación a contactarnos a nsolorza@espol.edu.ec



espol



rte.espol.edu.ec