

EDITORIAL

11

INVESTIGACIÓN

Vigencia del método de Roth para la determinación de fuerzas de cortocircuito en devanados de transformadores

Roth method validity for the determination of short-circuit forces in transformer windings

13

GUILLERMO APONTE MAYOR, DIEGO FERNANDO GARCÍA GÓMEZ, HÉCTOR CADAVID RAMÍREZ, GUILLERMO ANDRÉS DÍAZ FLÓREZ, WILVER CORREA BRAVO, ANDRÉS FELIPE ZÚNIGA CALVACHE

Estimación emisiones de compuestos orgánicos volátiles, plantel de distribución de combustibles Recope, el Alto de Ochomogo, Cartago, Costa Rica

Estimation of emissions of volatile organic compounds in the fuel marketing terminal Recope, Alto de Ochomogo, Cartago, Costa Rica

25

LAURA VANESSA QUESADA CARVAJAL, MACARIO PINO GÓMEZ, RODOLFO ELIZONDO HERNÁNDEZ

ESTUDIO DE CASO

Evaluación del riesgo por deslizamiento de una ladera en la ciudad de Tijuana, México

Landslide risk assessment of a slope in Tijuana city, Mexico

34

ALDO ONEL OLIVA GONZÁLEZ, ROMEL JESÚS GALLARDO AMAYA

Determinación de los componentes entrópicos de la accidentalidad: el trinomio vehículo/usuario/camino en la metrópoli de Guadalajara, México

51

Determination of the entropic components of the accident: the trinomial vehicle-user-road in the metropolis of Guadalajara, Mexico

FERNANDO GARCÍA DE QUEVEDO NAJAR, MARIO GUADALUPE GONZALEZ PÉREZ, YEFER ASPRILLA LARA

REVISIÓN DE TEMA

Taxonomía de las bases de datos espaciotemporales con objetos en movimiento. Revisión de tema

66

Databases spatiotemporal taxonomy with moving objects. Theme review

SERGIO ALEJANDRO ROJAS BARBOSA

Instrucciones para los autores

79

Instructions for authors

87

SUSCRIPCIÓN

95

SIGN UP

96

Tecnura

p-ISSN: 0123-921X
Volumen 22 - Número 55
Enero - Marzo de 2018

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Revista Tecnura • Volumen 22 – Número 55 • Enero - Marzo de 2018
p-ISSN: 0123-921X • e-ISSN: 2248-7638 • Bogotá D.C. Colombia

Tecnura

Tecnología y cultura, afirmando el conocimiento

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica

Vigencia del método de Roth para la determinación de fuerzas de cortocircuito en devanados de transformadores

Evaluación del riesgo por deslizamiento de una ladera en la ciudad de Tijuana, México

Taxonomía de las bases de datos espaciotemporales con objetos en movimiento. Revisión de tema

ISSN 0123-921X



9 770123 921001

Tecnura

Tecnología y cultura, afirmando el conocimiento

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica

Volumen 22 - Número 55

Enero - Marzo de 2018

p-ISSN: 0123-921X

e-ISSN: 2248-7638



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Revista *TECNURA*
Tecnología y cultura, afirmando el conocimiento
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica

p-ISSN: 0123-921X - e-ISSN: 2248-7638

EDITOR

Ph.D. Ing. César Augusto García Ubaque
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

COMITÉ EDITORIAL

Ph.D. Ing. Electo Eduardo Silva
Universidad Federal de Itajuba, Brasil

Ph.D. Ing. Manuel Karim Sapag
Universidad Nacional de San Luis, Argentina

Ph.D. Ing. José Antonio Velásquez Costa
Universidad Ricardo Palma, Perú

Ph.D. Ing. Johan José Sánchez Mora
Universidad Simón Bolívar, Venezuela

Ph.D. Ing. Mario Ricardo Arbulu Saavedra
Universidad de La Sabana, Colombia

Ph.D. Ing. Edgar Francisco Vargas
Universidad de Los Andes, Colombia

Ph.D. Ing. Jorge Mario Gómez
Universidad de Los Andes, Colombia

Ph.D. Ing. Ingrid Patricia Páez Parra
Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Ph.D. Ing. César Augusto García Ubaque
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Ph.D(c). Ing. César Augusto Hernández Suárez
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

COMITÉ CIENTÍFICO

Ph.D. Ing. Enrique Rodríguez de la Colina
Universidad Autónoma Metropolitana, México

Ph.D. Ing. Alfonso Prieto Guerrero
Universidad Autónoma Metropolitana, México

Ph.D. Ing. Fernando Martirena
Universidad Central de Las Villas, Cuba

Ph.D. Ing. Juan Antonio Conesa
Universidad de Alicante, España

Ph.D. Ing. Steven M. LaValle
University of Illinois, Estados Unidos

Ph.D. Ing. Graciela Perera Olivares
Youngstown University, Estados Unidos

Ph.D. Ing. Clara Inés Buritica
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

EVALUADORES

PhD. Celestino González Nicieza
Universidad de Oviedo, España

PhD. Fredy Hernán Martínez Sarmiento
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá

PhD. José Armando Molina Zamora
Universidad Autónoma de Guadalajara Campus Tabasco,
México

PhD. Álvaro Orozco Gutiérrez
Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia

PhD. Gustavo Gatica
Universidad Andrés Bello, Chile

PhD. Ricardo Azambuja Silveira
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

MEng. Fernando Martínez Santa
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá

MEng. John Camilo Cifuentes Taborda
Universidad Católica de Manizales, Colombia

MEng. José David Cortés
Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga

MEng. William Mauricio Giral Ramírez
Universidad Santo Tomas, Colombia

ASISTENTES DE LA REVISTA TECNURA

MEng. Diego Armando Giral Ramírez

COORDINACIÓN EDITORIAL

Fernando Piraquive
Centro de investigaciones y desarrollo tecnológico-CIDC
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Tecnura

Vol. 21 No. 54

Enero - Marzo de 2018

REVISTA *TECNURA*

La revista *Tecnura* es una publicación institucional de la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas de carácter científico-tecnológico, arbitrada mediante un proceso de revisión entre pares de doble ciego. La periodicidad de la conformación de sus comités Científico y Editorial está sujeta a la publicación de artículos en revistas indexadas internacionalmente por parte de sus respectivos miembros.

PERIODICIDAD

Es una publicación de carácter científico-tecnológico con periodicidad trimestral, que se publica los meses de enero, abril, julio y octubre. Su primer número apareció en el segundo semestre del año 1997 y hasta la fecha ha mantenido su regularidad.

COBERTURA TEMÁTICA

Las áreas temáticas de interés de la revista *Tecnura* están enfocadas a todos los campos de la ingeniería, como la electrónica, telecomunicaciones, electricidad, sistemas, industrial, mecánica, catastral, civil, ambiental, entre otras. Sin embargo, no se restringe únicamente a estas, también tienen cabida los temas de educación y salud, siempre y cuando estén relacionados con la ingeniería. La revista publicará únicamente artículos de investigación científica y tecnológica, de reflexión y de revisión.

MISIÓN

La revista *Tecnura* tiene como misión divulgar resultados de proyectos de investigación realizados en el área de la ingeniería, a través de la publicación de artículos originales e inéditos, realizados por académicos y profesionales pertenecientes a instituciones nacionales o extranjeras del orden público o privado.

PÚBLICO OBJETIVO

La revista *Tecnura* está dirigida a docentes, investigadores, estudiantes y profesionales interesados en la actualización permanente de sus conocimientos y el seguimiento de los procesos de investigación científico-tecnológica, en el campo de la ingeniería.

INDEXACIÓN

Tecnura es una publicación de carácter académico indexada en los índices regionales Scielo Colombia (Colombia) y Redalyc (México); además de las siguientes bases bibliográficas: INSPEC del Institution of Engineering and Technology (Inglaterra), Fuente Académica Premier de EBSCO (Estados Unidos), CABI (Inglaterra), IndexCopernicus (Polonia), Informe Académico de Gale Cengage Learning (México), Periódica de la Universidad Nacional Autónoma de México (México), Oceanet (España) y Dialnet de la Universidad de la Rioja (España); también hace parte de los siguientes directorios: Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal Latindex (México); Índice Bibliográfico Actualidad Iberoamericana (Chile), e-Revistas (España), DOAJ (Suecia), Ulrich de Proquest (Estados Unidos).

FORMA DE ADQUISICIÓN

La revista *Tecnura* se puede adquirir a través de compra, canje o suscripción.

SUSCRIPCIÓN

El precio unitario de la revista es de 10000 pesos (el precio no incluye el valor del envío). La suscripción anual tiene un costo de 45000 pesos para Colombia, 40 USD para América Latina y el Caribe, 60 USD para otras regiones (el precio incluye el valor del envío). Para suscribirse utilice el formato ubicado al final de la revista.

REPRODUCCIÓN

Se autoriza la reproducción total o parcial de los artículos de esta revista para uso académico o interno de las instituciones citando la fuente y el autor. Las ideas expresadas se publican bajo la exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento del Comité Editorial de la revista.

DIRECCIÓN POSTAL

Enviar a Ing. Cesar Augusto García Ubaque,
Ph.D. Director y Editor Revista *Tecnura*
Sala de Revistas, Bloque 5, Oficina 305.
Facultad Tecnológica
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Transversal 70B No. 73A-35 sur
Teléfono: 571-3238400, extensión: 5003
Celular: 57-3153614852
Bogotá, D.C., Colombia
Correo electrónico:
tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co, tecnura@gmail.com
Tecnura en internet:
<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>

DISEÑO ORIGINAL

Julián Hernández-Taller de Diseño

CORRECCIÓN DE ESTILO PARA ESPAÑOL

Fernando Carretero Padilla

CORRECCIÓN DE ESTILO PARA INGLES

Laura Ximena García

DIAGRAMACIÓN Y DISEÑO DE CUBIERTA

Julián Hernández-Taller de Diseño
director@julianhernandez.co

IMPRESIÓN

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Formato: 21.5 x 28 cm
Papel: Bond 75g
Fuente: Optima LT Std
Tiraje: 400 ejemplares



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Tecnura
Technology And Culture, Affirming Knowledge
District University Francisco José De Caldas
Faculty Of Technology

p-ISSN: 0123-921X - e-ISSN: 2248-7638

EDITOR

Ph.D. Ing. Cesar Augusto García Ubaque
District Francisco José de Caldas University, Colombia

EDITORIAL COMMITTEE

Ph.D. Ing. Electo Eduardo Silva
Universidade Federal de Itajuba, Brasil

Ph.D. Ing. Manuel Karim Sapag
Universidad Nacional de San Luis, Argentina

Ph.D. Ing. José Antonio Velásquez Costa
Universidad Ricardo Palma, Perú

Ph.D. Ing. Johan José Sánchez Mora
Universidad Simón Bolívar, Venezuela

Ph.D. Ing. Mario Ricardo Arbulu Saavedra
Universidad de la Sabana, Colombia

Ph.D. Ing. Edgar Francisco Vargas
Universidad de los Andes, Colombia

Ph.D. Ing. Jorge Mario Gomez
Universidad de los Andes, Colombia

Ph.D. Ing. Ingrid Patricia Páez Parra
Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Ph.D. Ing. Cesar Augusto García Ubaque
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Ph.D. Ing. Cesar Augusto Hernández Suárez
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

SCIENTIFIC COMMITTEE

Ph.D. Ing. Enrique Rodríguez de la Colina
Universidad Autónoma Metropolitana, México

Ph.D. Ing. Alfonso Prieto Guerrero
Universidad Autónoma Metropolitana, México

Ph.D. Ing. Fernando Martirena
Universidad Central de Las Villas, Cuba

Ph.D. Ing. Juan Antonio Conesa
Universidad de Alicante, España

Ph.D. Ing. Steven M. LaValle
University of Illinois, Estados Unidos

Ph.D. Ing. Graciela Perera Olivares
Youngstown University, Estados Unidos

Ph.D. Ing. Clara Inés Buritica
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

EVALUATORS

PhD. Celestino González Nicieza
Universidad de Oviedo, España

PhD. Fredy Hernán Martínez Sarmiento
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá

PhD. José Armando Molina Zamora
Universidad Autónoma de Guadalajara Campus Tabasco,
México

PhD. Álvaro Orozco Gutiérrez
Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia

PhD. Gustavo Gatica
Universidad Andrés Bello, Chile

PhD. Ricardo Azambuja Silveira
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

MEng. Fernando Martínez Santa
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá

MEng. John Camilo Cifuentes Taborda
Universidad Católica de Manizales, Colombia

MEng. José David Cortés
Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga

MEng. William Mauricio Giral Ramírez
Universidad Santo Tomas, Colombia

TECNURA JOURNAL ASSISTANTS

MEng. Diego Armando Giral Ramírez

EDITORIAL COORDINATION

Fernando Piraquive
Centro de investigaciones y desarrollo tecnológico - CIDC
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Tecnura

Vol 21 No. 51

January - March de 2018

TECNURA JOURNAL

Tecnura Journal is an institutional scientific-technological publication from the Faculty of Technology at District University Francisco José de Caldas, arbitrated by means of a double-blinded peer review process. The periodicity for its Scientific and Editorial committees line-up is subject to the publication of articles in internationally indexed magazines by its own members.

PERIODICITY

Tecnura journal is a scientific-technological publication with quarterly periodicity, published in January, April, July and October. Its first edition appeared in the second term, 1997 and its editions have normally continued from that year and on.

THEMATIC COVERAGE

The thematic areas of interest at Tecnura journal are focused on all fields of engineering such as electronical, telecommunications, electrical, computer, industrial, mechanical, cadastral, civil, environmental, etc. However, it is not restricted to those, there is also room for education and health topics as well, as long as they are related to engineering. The journal will only publish scientific and technological research, reflection and review articles.

MISSION

Tecnura journal is aimed at publishing research project results carried out in the field of engineering, through the publishing of original and unpublished articles written by academics and professionals from national or international public or private institutions.

TARGET AUDIENCE

Tecnura journal is directed to professors, researchers, students and professionals interested in permanent update of their knowledge and the monitoring of the scientific-technological research processes in the field of engineering.

INDEXING

Tecnura is an academic publication indexed in the Regional Index Scielo Colombia (Colombia) and Redalyc (México); as well as the following bibliographic databases: INSPEC of the Institution of Engineering and Technology (England), Fuente Académica Premier of EBSCO (United States), CABI (England), Index Copernicus (Poland), Informe Académico of Gale Cengage Learning (México), Periódica of the Universidad Nacional Autónoma de México (México), Oceanet (Spain) and Dialnet of the Universidad de la Rioja (Spain); it is also part of the following directories: Online Regional Information System for Scientific journals from Latin America, Caribbean, Spain and Portugal Latindex (México), bibliographic index Actualidad Iberoamericana (Chile), e-Revistas (Spain), DOAJ (Sweden), Ulrich of Proquest (United States).

FORM OF ACQUISITION

Tecnura journal is available through purchase, exchange or subscription.

SIGN UP

The unit price of the journal is 6 USD (the price does not include shipping). The annual sign up is 28 USD for Colombia; 40 USD in Latin America and the Caribbean; 60 USD in other regions (the price includes shipping). To sign up, use the format located at the end of the journal.

REPRODUCTION

The total or partial reproduction of the articles of this journal is authorized for academic or internal purpose of the institutions citing the source and the author. Ideas expressed are published under exclusive responsibility of the authors and they do not necessarily reflect the thought of the editorial committee of the journal.

POSTAL ADDRESS

Send to Engr. Cesar Augusto García Ubaque, Ph.D. Director and Editor Revista Tecnura
Sala de Revistas, Bloque 5, Oficina 305.
Faculty of Technology
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Transversal 70B No. 73A - 35 sur
Telephone Number: 571 - 3238400, extension: 5003
Cell phone Number: 57 - 3153614852
Bogotá D.C., Colombia
E-mail:
tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co, tecnura@gmail.com
Tecnura on internet: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>

ORIGINAL DESIGN

Julián Hernández - Taller de Diseño
director@julianhernandez.co

STYLE CORRECTION IN SPANISH

Fernando Carretero Padilla

STYLE CORRECTION IN ENGLISH

Laura Ximena García

LAYOUT AND TITLE PAGE DESIGN

Julián Hernández - Taller de Diseño

PRINTED BY

Universidad Distrital Francisco José de Caldas Press
Format: 21.5 x 28 cm
Paper: Bond 75g
Font: Optima LT Std
Printing: 400 copies

DECLARACIÓN DE ÉTICA Y BUENAS PRÁCTICAS

El comité editorial de la revista *Tecnura* está comprometido con altos estándares de ética y buenas prácticas en la difusión y transferencia del conocimiento, para garantizar el rigor y la calidad científica. Es por ello que ha adoptado como referencia el Código de Conducta que, para editores de revistas científicas, ha establecido el Comité de Ética de Publicaciones (COPE: Committee on Publication Ethics) dentro de los cuales se destaca:

Obligaciones y responsabilidades generales del equipo editorial

En su calidad de máximos responsables de la revista, el comité y el equipo editorial de *Tecnura* se comprometen a:

- Aunar esfuerzos para satisfacer las necesidades de los lectores y autores.
- Propender por el mejoramiento continuo de la revista.
- Asegurar la calidad del material que se publica.
- Velar por la libertad de expresión.
- Mantener la integridad académica de su contenido.
- Impedir que intereses comerciales comprometan los criterios intelectuales.
- Publicar correcciones, aclaraciones, retractaciones y disculpas cuando sea necesario.

Relaciones con los lectores

Los lectores estarán informados acerca de quién ha financiado la investigación y sobre su papel en la investigación.

Relaciones con los autores

Tecnura se compromete a asegurar la calidad del material que publica, informando sobre los objetivos y normas de la revista. Las decisiones de los editores para aceptar o rechazar un documento para su publicación se basan únicamente en la relevancia del trabajo, su originalidad y la pertinencia del estudio con relación a la línea editorial de la revista.

La revista incluye una descripción de los procesos seguidos en la evaluación por pares de cada trabajo recibido. Cuenta con una guía de autores en la que se presenta esta información. Dicha guía se actualiza regularmente y contiene un vínculo a la presente declaración ética. Se reconoce el derecho de los autores a apelar las decisiones editoriales. Los editores no modificarán su decisión en la aceptación de envíos, a menos que se detecten irregularidades o situaciones extraordinarias. Cualquier cambio en los miembros del equipo editorial no afectará las decisiones ya tomadas, salvo casos excepcionales en los que confluían graves circunstancias.

Relaciones con los evaluadores

Tecnura pone a disposición de los evaluadores una guía acerca de lo que se espera de ellos. La identidad de los evaluadores se encuentra en todo momento protegida, garantizando su anonimato.

Proceso de evaluación por pares

Tecnura garantiza que el material remitido para su publicación será considerado como materia reservada y confidencial mientras que se evalúa (doble ciego).

Reclamaciones

Tecnura se compromete responder con rapidez a las quejas recibidas y a velar para que los demandantes insatisfechos puedan tramitar todas sus quejas. En cualquier caso, si los interesados no consiguen satisfacer sus

reclamaciones, se considera que están en su derecho de elevar sus protestas a otras instancias.

Fomento de la integridad académica

Tecnura asegura que el material que publica se ajusta a las normas éticas internacionalmente aceptadas.

Protección de datos individuales

Tecnura garantiza la confidencialidad de la información individual (por ejemplo, de los profesores y/o alumnos participantes como colaboradores o sujetos de estudio en las investigaciones presentadas).

Seguimiento de malas prácticas

Tecnura asume su obligación para actuar en consecuencia en caso de sospecha de malas prácticas o conductas inadecuadas. Esta obligación se extiende tanto a los documentos publicados como a los no publicados. Los editores no sólo rechazarán los manuscritos que planteen dudas sobre una posible mala conducta, sino que se consideran éticamente obligados a denunciar los supuestos casos de mala conducta. Desde la revista se realizarán todos los esfuerzos razonables para asegurar que los trabajos sometidos a evaluación sean rigurosos y éticamente adecuados.

Integridad y rigor académico

Cada vez que se tenga constancia de que algún trabajo publicado contiene inexactitudes importantes, declaraciones engañosas o distorsionadas, debe ser corregido de forma inmediata.

En caso de detectarse algún trabajo cuyo contenido sea fraudulento, será retirado tan pronto como se conozca, informando inmediatamente tanto a los lectores como a los sistemas de indexación.

Se consideran prácticas inadmisibles, y como tal se denunciarán las siguientes: el envío simultáneo de un mismo trabajo a varias revistas, la publicación duplicada o con cambios irrelevantes o parafraseo del mismo trabajo, o la fragmentación artificial de un trabajo en varios artículos.

Relaciones con los propietarios y editores de revistas

La relación entre editores, editoriales y propietarios estará sujeta al principio de independencia editorial. *Tecnura* garantizará siempre que los artículos se publiquen con base en su calidad e idoneidad para los lectores, y no con vistas a un beneficio económico o político. En este sentido, el hecho de que la revista no se rija por intereses económicos, y defienda el ideal de libre acceso al conocimiento universal y gratuito, facilita dicha independencia.

Conflicto de intereses

Tecnura establecerá los mecanismos necesarios para evitar o resolver los posibles conflictos de intereses entre autores, evaluadores y/o el propio equipo editorial.

Quejas/denuncias

Cualquier autor, lector, evaluador o editor puede remitir sus quejas a los organismos competentes.

CODE OF ETHICS AND GOOD PRACTICE

The editorial board of *Tecnura* journal is committed to ethics high standards and good practice for knowledge dissemination and transfer, in order to ensure rigour and scientific quality. That is why it has taken as reference the Code of Conduct, which has been established by the Committee on Publication Ethics (COPE) for scientific journal editors; outlining the following:

General duties and responsibilities of the editorial board

As most responsible for the journal, *Tecnura* committee and the editorial board are committed to:

- Joining efforts to meet the readers and authors' needs.
- Tending to the continuous improvement of the Journal.
- Ensuring quality of published material.
- Ensuring freedom of expression.
- Maintaining the academic integrity of their content.
- Prevent commercial interests compromise intellectual standards.
- Post corrections, clarifications, retractions and apologies when necessary.
- Relations with readers
- Readers will be informed about who has funded research and their role in the research.

Relations with authors

Tecnura is committed to ensuring the quality of published material, informing the goals and standards of the journal. The decisions of publishers to accept or reject a paper for publication are based solely on the relevance of the work, originality and pertinence of the study with journal editorial line.

The journal includes a description of the process for peer evaluation of each received work, and has an authors guide with this information. The guide is regularly updated and contains a link to this code of ethics. The journal recognizes the right of authors to appeal editorial decisions. Publishers will not change their decision in accepting or rejecting articles, unless extraordinary circumstances or irregularities are detected. Any change in the editorial board members will not affect decisions already made, except for unusual cases where serious circumstances converge.

Relations with evaluators

Tecnura makes available to reviewers a guide to what is expected from them. Reviewers' identity is protected at all times, ensuring anonymity.

Peer review process

Tecnura ensures that material submitted for publication will be considered private and confidential issue while being reviewed (double blind).

Claims

Tecnura is committed to respond quickly to complaints and ensure that dissatisfied claimant can process all

complaints. In any case, if applicants fail to satisfy their claims, the journal considers that they have the right to raise their protests to other instances.

Promoting Academic Integrity

Tecnura ensures that the published material conforms to internationally accepted ethical standards.

Protection of individual data

Tecnura guarantees the confidentiality of individual information (e.g. participant teachers and/or students as collaborators or subjects of study in the presented research).

Tracking malpractice

Tecnura accepts the obligation to act accordingly in case of suspected malpractice or misconduct. This obligation extends both to publish and unpublished documents. The editors not only reject manuscripts with doubts about possible misconduct, but they are considered ethically obligated to report suspected cases of misconduct. From the journal every reasonable effort is made to ensure that works submitted for evaluation are rigorous and ethically appropriate.

Integrity and academic rigour

Whenever evidence that a published work contains significant misstatements, misleading or distorted statements, it must be corrected immediately.

In case of any work with fraudulent content is detected, it will be removed as soon as it is known, and immediately informing both readers and indexing systems.

Practices that are considered unacceptable and as such will be reported: simultaneous sending of the same work to various journals, duplicate publication with irrelevant changes or paraphrase of the same work, or the artificial fragmentation of a work in several articles.

Relations with owners and journal editors

The relation between editors, publishers and owners will be subject to the principle of editorial independence. *Tecnura* will ensure that articles are published based on their quality and suitability for readers, and not for an economic or political gain. In this sense, the fact that the journal is not governed by economic interests, and defends the ideal of universal and free access to knowledge, provides that independence.

Conflict of interest

Tecnura will establish the necessary mechanisms to avoid or resolve potential conflicts of interest between authors, reviewers and/or the editorial board itself.

Complaints / allegations

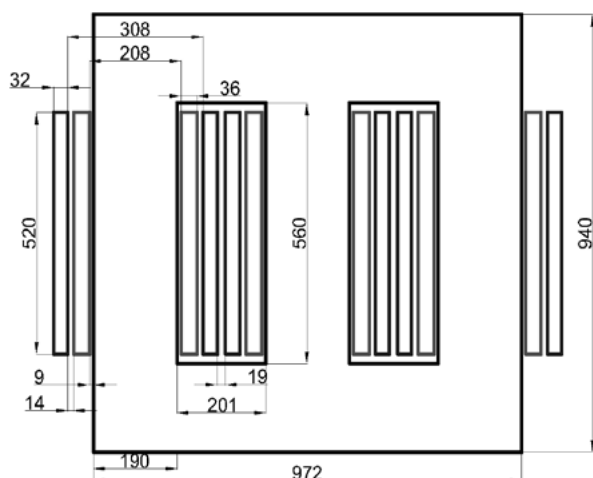
Any author, reader, reviewer or editor may refer their complaints to the competent authorities.

Contenido

EDITORIAL

11

INVESTIGACIÓN



Vigencia del método de Roth para la determinación de fuerzas de cortocircuito en devanados de transformadores

Roth method validity for the determination of short-circuit forces in transformer windings

GUILLERMO APONTE MAYOR, DIEGO FERNANDO GARCÍA GÓMEZ, HÉCTOR CADAVID RAMÍREZ, GUILLERMO ANDRÉS DÍAZ FLÓREZ, WILVER CORREA BRAVO, ANDRÉS FELIPE ZÚÑIGA CALVACHE

13

Estimación emisiones de compuestos orgánicos volátiles, plantel de distribución de combustibles Recope, el Alto de Ochomogo, Cartago, Costa Rica 25

Estimation of emissions of volatile organic compounds in the fuel marketing terminal Recope, Alto de Ochomogo, Cartago, Costa Rica

LAURA VANESSA QUESADA CARVAJAL, MACARIO PINO GÓMEZ, RODOLFO ELIZONDO HERNÁNDEZ

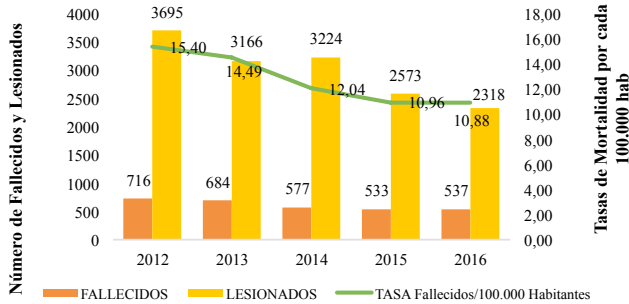
ESTUDIO DE CASO



Evaluación del riesgo por deslizamiento de una ladera en la ciudad de Tijuana, México 34

Landslide risk assessment of a slope in Tijuana city, Mexico

ALDO ONEL OLIVA GONZÁLEZ, ROMEL JESÚS GALLARDO ÁMAYA



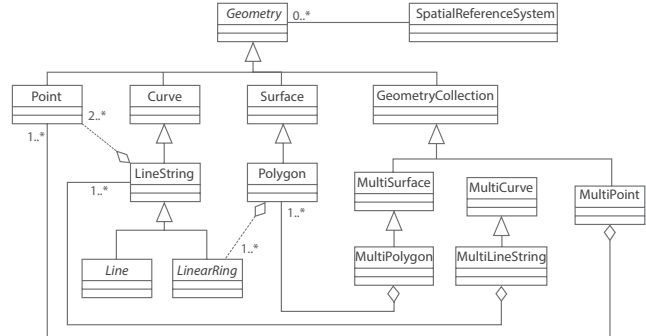
Determinación de los componentes entrópicos de la accidentalidad: el trinomio vehículo/usuario/camino en la metrópoli de Guadalajara, México

51

Determination of the entropic components of the accident: the trinomial vehicle-user-road in the metropolis of Guadalajara, Mexico

FERNANDO GARCÍA DE QUEVEDO NAJAR, MARIO GUADALUPE GONZALEZ PÉREZ, YEFER ASPRILLA LARA

REVISIÓN DE TEMA



Taxonomía de las bases de datos espaciotemporales con objetos en movimiento. Revisión de tema

66

Databases spatiotemporal taxonomy with moving objects. Theme review

SERGIO ALEJANDRO ROJAS BARBOSA

Instrucciones para los autores

79

Instructions for authors

87

SUSCRIPCIÓN

95

SIGN UP

96

EDITORIAL

Recientemente PUBLINDEX dio a conocer los resultados de la convocatoria para Indexación de Revistas Científicas Especializadas en Colombia, del cual forma parte nuestra revista TECNURA. Por tratarse de un tema de mucho interés para nuestra comunidad académica, he querido aprovechar esta y la próxima Editorial, para comentar estos resultados.

EL DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN –COLCIENCIAS, es el ente rector en Colombia del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTel). Una de sus funciones, asignada por el Ministerio de Educación Nacional, es la indexación y homologación de publicaciones especializadas en ciencia, tecnología e innovación, a través del Índice Bibliográfico Nacional – IBN Publindex.

En el año 2015 Colciencias inició una estrategia para rediseñar el Publindex con el fin de construir un sistema de valoración de las revistas nacionales a partir de criterios existentes y comúnmente aceptados para evaluar su gestión editorial, calidad de contenido, nivel de citación, regularidad y accesibilidad, en donde el objetivo principal era facilitar su inclusión en los sistemas internacionales de valoración de revistas científicas. En ese mismo año se comenzó a construir la Política y el Modelo de clasificación de revistas científicas con el cual se pretende valorar la generación de artículos y revistas especializadas, haciendo particular énfasis en su visibilidad e impacto, considerando que hacen parte de los productos derivados de las actividades de CTel a nivel nacional. En definitiva, se pretende incrementar el número de revistas científicas nacionales incluidas en Índices Bibliográficos de Citaciones (IBC), con base en una nueva clasificación que considera el impacto académico como aspecto principal en este proceso.

El Modelo de clasificación de revistas científicas – 2016 estuvo conformado por tres fases las cuales requirieron la participación de las instituciones que editan las revistas y de Colciencias como ente verificador, para asegurar el cumplimiento de las condiciones definidas para cada una de ellas. Dichas fases fueron:

Fase I: Declaración de cumplimiento del proceso de gestión editorial.

Fase II: Validación del proceso de evaluación y de la visibilidad.

Fase III: Impacto de la revista científica nacional- Cálculo del H5.

Las principales condiciones y requisitos establecidos en este proceso fueron:

- Que el porcentaje de autores de la propia institución editora, debe ser igual o menor al 50%.
- Que el editor de la revista no publique más de un artículo al año en la revista que edita.
- Que al menos el 80% de los miembros del comité editorial/científico sea de filiación externa a la entidad editora.

- Que al menos el 50% de los miembros del comité editorial o comité científico sean reconocidos por Colciencias como investigadores. Esto para investigadores vinculados a entidades colombianas; y/o en su defecto, tener un título de posgrado y un índice H5 mayor a 2. Esto último para investigadores no vinculados a entidades colombianas.
- Que al menos el 60% de los pares evaluadores que apoyan los procesos de evaluación no pertenezcan al comité editorial/científico, ni a la entidad editora.
- Adicionalmente, la revista debe cumplir al menos una de las siguientes condiciones:
Estar incluida en al menos un índice bibliográfico de citas–IBC (JCR / SJR).
Estar incluida en al menos un índice bibliográfico–IB.
Estar incluida en al menos en una base bibliográfica con Comité Científico de Selección–BBCS.

En cualquiera de las tres condiciones, las bases debían formar parte de la versión vigente del listado de los Sistemas de Indexación y Resumen – SIR anexo al *Modelo de clasificación de revistas científicas*, publicado por Colciencias.

De acuerdo con estas condiciones, las revistas fueron clasificadas en las siguientes categorías:

- A1 Revistas ubicadas en el cuartil 1: 25% superior de JCR [SCI y SSCI] o SJR.
- A2 Revistas ubicadas en el cuartil 2: Entre el 50% y el 24,9 % superior de JCR [SCI y SSCI] o SJR.
- B Revistas ubicadas en el cuartil 3: Entre el 25% y el 49,9 % superior de JCR [SCI y SSCI] o SJR o ubicada en cuartil 1 de H5: 25% superior de su gran área de conocimiento.
- C Revistas ubicadas en el cuartil 4: En el 24,9% inferior de JCR [SCI y SSCI] o SJR o ubicada en cuartil 2 de H5: entre el 50% y el 74,9 %.

Se clasificó un total de 244 revistas de las 583 avaladas por las instituciones editoras (Fase I), de acuerdo al cumplimiento de los criterios (Fase II) y evaluación del factor de impacto (Fase III), se asignaron las categorías de la siguiente manera: A1: 1 revista; A2: 14 revistas; B: 104 revistas; C: 125 revistas. Este resultado corresponde al 41,85% de las 583 revistas que fueron avaladas para participar en la Convocatoria para indexación de revistas científicas colombianas especializadas – Publindex año 2016. Las revistas clasificadas cuentan con vigencia de dos años a partir de la publicación de resultados de la convocatoria (15 de septiembre de 2017).

CÉSAR AUGUSTO GARCÍA-UBAQUE
Director

EDITORIAL

Recently, PUBLINDEX announced the results of Specialized Scientific Journals Indexing in Colombia, of which TECNURA is a member. Because it is a great interest topic to our academic community, I will comment these results in this and next Editorial.

ADMINISTRATIVE DEPARTMENT OF SCIENCE, TECHNOLOGY AND INNOVATION – COLCIENCIAS (by its initials in Spanish), is government agency in Colombia of the National System of Science, Technology and Innovation (SNCTeI–by its initials in Spanish); and one of its functions, assigned by the National Education Ministry, is specialized publications in science, technology and innovation indexing and homologation, through the National Bibliographic Index–IBN Publindex.

Colciencias initiated in 2015, a strategy to redesign the Publindex in order to build a system for assessing national journals based on existing and commonly accepted criteria to evaluate their editorial management, content quality, citation level, regularity and accessibility. The main objective was to facilitate its inclusion in the international evaluation systems of scientific journals. Scientific Journals Policy and Classification Model were created in the same year, to assessing generation of articles and specialized magazines, with particular emphasis on their visibility and impact, considering that they are part of the products derived from CTel activities at the national level. Ultimately, it is intended to increase the number of national scientific journals included in Bibliographic Citation Indexes (BCI), based on a new classification that considers academic impact as a main aspect in this process.

Classification of Scientific Journals Model–2016 was made up in three phases which required participation journals publishers and Colciencias as a verifying agency, to ensure compliance with the conditions defined. These phases were:

Phase I: Declaration of compliance with editorial management process.

Phase II: Validation of the evaluation process and visibility,

Phase III: National scientific journal Impact–H5.

- The main conditions and requirements established in this process were:
- Percentage of own publishing institution authors must be equal to or less than 50%.
- Magazine Editor does not publish more than one article per year in the journal.
- At least 80% of editorial / scientific committee members must be of external affiliation to the publishing entity.

- At least 50% of editorial / scientific committee members must be recognized by Colciencias as researchers. This for researchers linked to Colombian institutions. In case of not linked to Colombian institutions researchers, they must have a postgraduate degree and an H5 index higher than 2.
- At least 60% of the peer reviewers that support the evaluation processes do not belong to the editorial / scientific committee of publishing institution, nor the institution.
- Additionally, the Journal must meet at least one of the following conditions:
 - Be included in at least one Citation Bibliographic Index–CBI (JCR / SJR).
 - Be included in at least one Bibliographic Index–BI.
 - Be included in at least one Bibliographic Database with Scientific Selection Committee–BBCS.

In any of these three conditions, the bases should be part of the current version of Indexing and Summary Systems listing–SIR annexed to the Scientific Journal Classification Model, published by Colciencias.

In accordance with these conditions, the journals were classified into the following categories:

- A1 Journals located in quartile 1: 25% higher than JCR [SCI and SSCI] or SJR.
- A2 Journals located in quartile 2: Between 50% and 24.9% superior of JCR [SCI and SSCI] or SJR.
- B Journals located in quartile 3: Between 25% and 49.9% superior of JCR [SCI and SSCI] or SJR, or located in quartile 1 with H5: 25% higher than its large area of knowledge.
- C Journals located in quartile 4: In the bottom 24.9% of JCR [SCI and SSCI] or SJR, or located in quartile 2 with H5: between 50% and 74.9%.

244 journals were classified from 583 endorsed by the publishing institutions (Phase I), according to the fulfillment of the criteria (Phase II) and evaluation of the impact factor (Phase III). Categories were assigned as follows: A1: 1 Journal; A2: 14 Journals; B: 104 Journals; C: 125 Journals. The number of classified journals corresponds to 41.85% of the 583 journals that were endorsed to participate in the announcement for indexing of specialized Colombian scientific journals–Publindex 2016. The classification is valid for two years from the results publication date (September 15, 2017).

CÉSAR AUGUSTO GARCÍA-UBAQUE
Director



Vigencia del método de Roth para la determinación de fuerzas de cortocircuito en devanados de transformadores

Roth method validity for the determination of short-circuit forces in transformer windings

Guillermo Aponte Mayor¹, Diego Fernando García Gómez², Héctor Cadavid Ramírez³, Guillermo Andrés Díaz Flórez⁴, Wilver Correa Bravo⁵, Andrés Felipe Zúñiga Calvache⁶

Fecha de recepción: 3 de febrero de 2017

Fecha de aceptación: 28 de noviembre de 2017

Cómo citar: Aponte M., G., García G., D.F., Cadavid R., H., Díaz F., G.A., Correa B., W. y Zúñiga C., A.F. (2018). Vigencia del método de Roth para la determinación de fuerzas de cortocircuito en devanados de transformadores. *Revista Tecnura*, 22(55), 13-24. <https://doi.org/10.14483/22487638.11578>

Resumen

Contexto: Debido a la dificultad para realizar la prueba de aptitud al cortocircuito en transformadores de gran potencia, la norma IEC 60076-5 2006 de la Comisión Electrotécnica Internacional acepta como método alternativo la estimación de las fuerzas y esfuerzos a través de cálculo y consideraciones de diseño.

Método: En este artículo se presenta la implementación del método analítico de Roth para el cálculo de las fuerzas axiales y radiales de cortocircuito en un transformador trifásico con núcleo tipo columnas de 630kVA.

Resultados: Las fuerzas máximas obtenidas con el método de Roth son comparables con las calculadas a través de métodos modernos para el diseño de transformadores como el método de elementos finitos, las diferencias entre los cálculos fueron mínimas a excepción de la fuerza axial máxima del devanado de baja tensión.

Conclusiones: Aunque el método de Roth es una herramienta tradicional para solución de problemas de electromagnetismo, este es adecuado para hacer una estimación rápida y sencilla de parámetros magnéticos y fuerzas de cortocircuito en transformadores.

- 1 Ingeniero electricista, magíster en Ingeniería Eléctrica Institute of Science and Technology, doctor en Ingeniería Universidad del Valle. Profesor titular Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica Universidad del Valle. Cali, Colombia.
Contacto: guillermo.aponte@correounivalle.edu.co
- 2 Ingeniero electricista, magíster en Ingeniería Eléctrica Universidad del Valle, doctor en Ingeniería Eléctrica Universidad Carlos III Madrid. Profesor asistente Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica Universidad del Valle. Cali, Colombia.
Contacto: diego.garcia@correounivalle.edu.co
- 3 Ingeniero electromecánico, magíster en Ingeniería Instituto Superior Energético Moscú, doctor en Ingeniería Instituto Superior Energético Moscú. Profesor Titular Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica Universidad del Valle. Cali, Colombia. Contacto: hector.cadavid@correounivalle.edu.co
- 4 Ingeniero electricista, doctor en Ingeniería Eléctrica Universidad de San Juan Argentina. Profesor Facultad de Ingeniería Universidad de La Salle. Bogotá, Colombia.
Contacto: guillermoandresdiaz@gmail.com
- 5 Ingeniero electricista, asistente de investigación Grupo de Investigación en Alta Tensión (Gralta). Universidad del Valle. Cali, Colombia.
Contacto: wilver.correa@correounivalle.edu.co
- 6 Ingeniero electricista, especialista en Sistemas de Transmisión y Distribución de Energía, asistente de investigación Grupo de Investigación en Alta Tensión (Gralta). Universidad del Valle. Cali, Colombia.
Contacto: andres.felipe.zuniga@correounivalle.edu.co

Palabras clave: fuerzas electrodinámicas, cortocircuito, devanados, métodos analíticos, esfuerzo mecánico.

abstract

Context: Due to the difficulty of testing large power transformers, the International Electrotechnical Commission standard IEC 60076-5 2006 accepts as an alternative method to validate the short-circuit withstand ability, the forces and dynamic stresses estimation by means of calculation and design considerations.

Method: In this paper, the Roth analytical method was used to calculate the axial and radial

short-circuit forces in a three-phase 630kVA core type transformer.

Results: The calculated forces provided by the Roth method are comparable to the values obtained through modern methods used for electrical transformers design as the finite element method, the difference among calculated values were minimum except the maximum axial force

Conclusions: Although the Roth method is a traditional tool to solve electromagnetism problems, it is still suitable to compute magnetic parameters and transformers short-circuit forces in a fast and simple way.

Keywords: electrodynamic forces, short circuit, windings, analytical methods, mechanical stress

INTRODUCCIÓN

Durante la operación de los transformadores se pueden presentar fallas de cortocircuito que conducen a un aumento excesivo en la corriente de los devanados; esta condición origina un incremento súbito en las fuerzas electrodinámicas que pueden generar afectaciones mecánicas sobre las bobinas y las estructuras de sujeción (Rosentino, 2010).

Las fallas en los transformadores generan interrupciones del suministro y problemas en los sistemas eléctricos; por tal razón, se ha despertado el interés de fabricantes, usuarios y operadores de red por mejorar el diseño de estos equipos y validar su comportamiento ante condiciones de falla (Bueno y Pérez, 2007; Estrada, Mora y Pérez, 2008).

La capacidad que tiene un transformador para soportar los esfuerzos de cortocircuito se puede determinar a través de la prueba de aptitud al cortocircuito definida en las normas IEC 60076-5 de 2006 e IEEE C57.12.00 de 2016 (International Electrotechnical Commission, 2006b; Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2016). El ensayo requiere de una fuente de alimentación de gran potencia con niveles variables de tensión, de tal forma que se garantice condiciones de voltaje nominal durante las pruebas. Debido a las

exigencias normativas existen pocas instalaciones en el mundo aptas para realizar el ensayo en transformadores de gran potencia (Smeets y Paske, 2009). Considerando estas dificultades, la norma IEC 60076-5 en su actualización del año 2006 incluyó la posibilidad de validación teórica de la aptitud al cortocircuito en transformadores. El procedimiento de validación teórica tiene dos alternativas: la primera se basa en el cálculo de fuerzas y esfuerzos claves, estos valores se comparan con los obtenidos en un transformador de referencia sometido exitosamente al ensayo; la segunda consiste en calcular los valores de fuerzas y esfuerzos máximos del transformador y compararlos con los límites de diseño establecidos por el fabricante (International Electrotechnical Commission, 2006b).

En este trabajo se describen las fuerzas electrodinámicas generadas durante una condición de cortocircuito y los efectos mecánicos que producen; luego se presentan algunos métodos utilizados para el modelado magnético y cálculo de fuerzas de cortocircuito en transformadores, y finalmente, se aplica el método analítico de Roth para el cálculo de las fuerzas en un caso particular, comparando los resultados con los obtenidos por el método de elementos finitos (MEF); esto demuestra la validez de la aplicación. Este artículo es

producto de un trabajo de grado desarrollado en la escuela de ingeniería eléctrica y electrónica de la Universidad del Valle (Correa, 2014).

FUERZAS ELECTRODINÁMICAS DE CORTOCIRCUITO

De acuerdo con la ley de Ampere, cada elemento rectilíneo de un conductor con longitud dl , transportando una corriente I , en un campo magnético de densidad de flujo B , perpendicular a la longitud dl , se somete a una fuerza df , como se indica en la ecuación (1). La fuerza es perpendicular al plano formado por el vector de densidad de flujo magnético y el diferencial de longitud dl , aunque las fuerzas de cortocircuito tienen un origen electromagnético son conocidas como fuerzas electrodinámicas debido al efecto producido sobre los devanados y las estructuras de soporte del transformador (Aslam, 2007).

$$df = I \times B \, dl \quad (1)$$

Si el análisis de fuerzas es hecho en dos dimensiones con la densidad de corriente en el eje Z, la

densidad de flujo magnético en cualquier punto puede ser resuelta en dos componentes: uno en la dirección radial (B_x) y otro en la dirección axial (B_y). Las fuerzas radiales (F_x) se originan por la interacción entre la corriente y la densidad de flujo magnético axial y las fuerzas axiales (F_y) por la interacción entre la corriente y la densidad de flujo magnético radial.

En transformadores con núcleo tipo columna, las fuerzas más significativas son las radiales, mientras que en transformadores con núcleo tipo acorazado las fuerzas axiales son predominantes (International Electrotechnical Commission, 2006a). En la figura 1 se observa el sentido de las fuerzas y la distribución de las líneas de campo magnético para diferentes tipos de transformadores.

FUERZAS DE CORTOCIRCUITO EN TRANSFORMADORES CON NÚCLEO TIPO COLUMNAS

Las fuerzas radiales tienden a comprimir el devanado interior hacia el centro del núcleo y expandir el devanado exterior; estas fuerzas producen esfuerzos mecánicos de tensión en los conductores

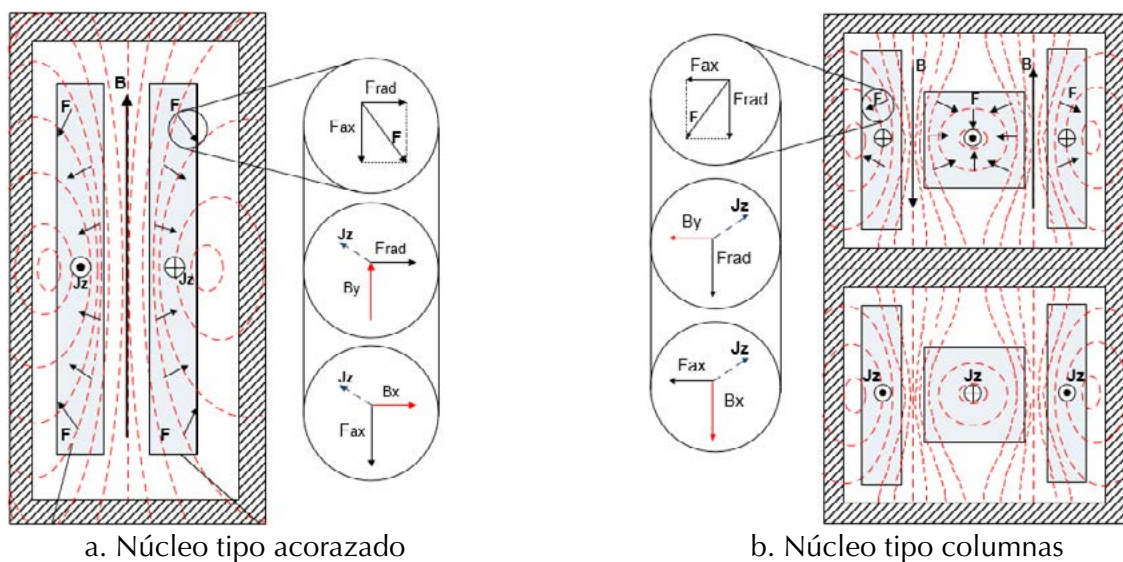


Figura 1. Líneas de campo magnético y fuerzas en transformadores

Fuente: Bertagnolli (2006).

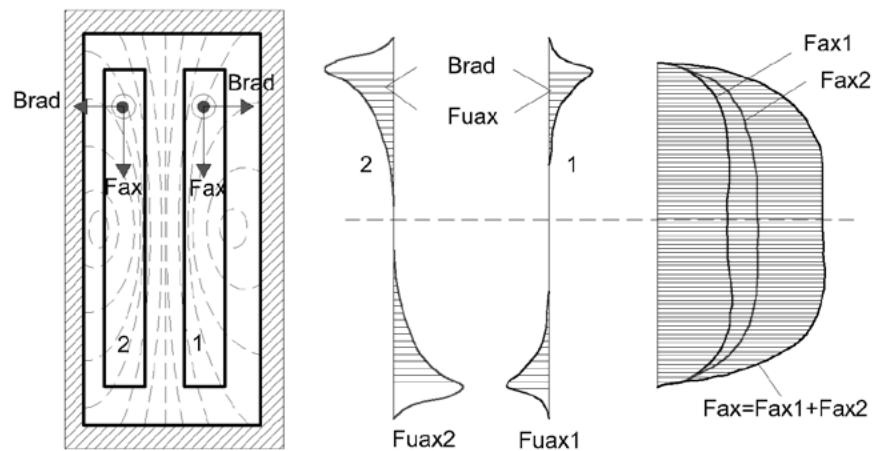
del devanado exterior y de compresión en los conductores del devanado interior (Ahn *et al.*, 2012).

Las fuerzas axiales aparecen como consecuencia del establecimiento de líneas de campo magnético en la dirección radial, esta variación tiene lugar en la parte superior e inferior de las bobinas. En un transformador de dos devanados concéntricos, si las bobinas tienen alturas geométricas iguales, están alineadas radialmente y presentan una distribución uniforme de la fuerza magneto-motriz, las fuerzas axiales por unidad de longitud del conductor serán máximas en las espiras ubicadas en los extremos de los devanados; sin embargo, la fuerza de compresión axial total (acumulativa) será máxima en el centro de cada devanado, la distribución de las fuerzas axiales en transformadores con núcleo tipo columna se muestra en la figura 2.

Cuando los centros magnéticos de los devanados no están alineados o existe un desequilibrio de la fuerza magneto-motriz, la densidad de flujo magnético radial aumenta y las fuerzas axiales tienden a desplazar los devanados e incrementar el desbalance de los centros magnéticos (Kulkarni y Khaparde, 2004).

Las fuerzas de cortocircuito tienen un carácter oscilatorio en el tiempo y actúan sobre un sistema mecánico compuesto por los conductores, el aislamiento y las estructuras de sujeción. Las fuerzas dinámicas transmitidas a varias partes del transformador pueden ser muy diferentes a las fuerzas de origen electromagnético generadas en los conductores, esto depende de las frecuencias naturales del sistema mecánico (Patel, 1973). En la dirección radial las frecuencias naturales son mayores a 100 y 120 Hz; por tanto, las probabilidades de que se produzca un fenómeno de resonancia mecánica son mínimas. En la dirección axial la cantidad de aislamiento es significativa, principalmente en transformadores de mediana y gran potencia, conllevando a que las frecuencias naturales mecánicas estén cerca de las frecuencias de oscilación de las fuerzas axiales, incrementando la probabilidad de aparición de resonancia mecánica; este fenómeno produce grandes desplazamientos de las bobinas y colapso de las estructuras de soporte (Kulkarni y Khaparde, 2004).

En transformadores con núcleo tipo columnas las fuerzas radiales producen esfuerzos de tensión



a. Patrón de líneas de campo magnético

b. Fuerza axial por unidad de longitud

c. Compresión axial en los devanados

Figura 2. Fuerzas axiales en transformadores con núcleo tipo columna

Fuente: International Electrotechnical Commission (2006a).

circunferencial que tratan de estirar los conductores del devanado externo, si la tensión ejercida supera la tensión máxima del material la falla se manifiesta como ruptura del conductor. En el devanado interno las fuerzas radiales de compresión producen flexión del conductor entre soportes o pandeo, por su parte, las fuerzas axiales generan dos modos de falla los cuales son flexión entre separadores radiales e inclinación de los conductores (Bertagnolli, 2006).

La severidad de un cortocircuito en un transformador depende de las características del sistema donde está instalado, por tanto, dentro de la planeación de los sistemas eléctricos se deben considerar estrategias de protección que minimicen el tiempo de duración de las fallas, de esta manera se asegura la confiabilidad del suministro de energía eléctrica y la integridad del transformador (Solaniella, Hincapié y Gallego, 2015).

ESTUDIO DE LAS FUERZAS Y ESFUERZOS DE CORTOCIRCUITO

La determinación precisa de los esfuerzos mecánicos asociados a la condición de cortocircuito en transformadores implica que el problema se enfoque desde el punto de vista dinámico, sin embargo, estos cálculos son complejos y requieren información específica de los materiales constructivos utilizados por los fabricantes (International Electrotechnical Commission, 2006a).

Desde 1950 se han desarrollado estudios para analizar el comportamiento dinámico de los devanados de los transformadores. Inicialmente, estos se limitaron al modelamiento del comportamiento axial ya que se asumía que los devanados eran capaces de soportar los esfuerzos radiales, los modelos de análisis dinámico propuestos fueron simplificados para reducir tiempos de cálculo (Aslam, 2007).

Dentro de los estudios llevados a cabo desde el punto de vista dinámico se pueden destacar los propuestos por Tournier *et al.* en 1962, quienes desarrollaron un modelo para estimar el movimiento

axial considerando los espaciadores radiales como resortes lineales; Patel en 1972 evaluó el comportamiento de los devanados y su sistema de sujeción ante fuerzas axiales de cortocircuito; Kurita *et al.* en 1971 llevaron a cabo un estudio experimental para investigar el comportamiento radial y axial de los devanados; Saravolac *et al.* en 2000 estudiaron la deformación radial de diferentes tipos de bobinas sometidas a fuerzas radiales uniformes (Aslam, 2007). En el año 2005, el Instituto de Investigaciones Eléctricas de Rusia publica un libro recopilatorio de los trabajos realizados sobre fuerzas electrodinámicas de cortocircuito, los estudios abarcaron transformadores de distribución y potencia implementando sistemas de medida, análisis numérico y ensayos sobre unidades completas (Lurie *et al.*, 2005).

Los cálculos dinámicos pueden contribuir al entendimiento del fenómeno; sin embargo, definir un método general para demostrar la habilidad de los transformadores para soportar los esfuerzos dinámicos de cortocircuito aplicable a todas las prácticas de diseño resulta ser una tarea desafiante, por esta razón el enfoque dado por el procedimiento de validación teórica de la norma IEC 60076-5 de 2006 está limitado al cálculo estático de fuerzas radiales y axiales máximas y la evaluación de esfuerzos mecánicos claves según la forma constructiva del transformador (International Electrotechnical Commission, 2006b).

Métodos para el cálculo de fuerzas

El cálculo de las fuerzas de cortocircuito requiere la estimación del flujo magnético de dispersión en la región ocupada por los devanados, producido por el valor instantáneo de las corrientes de cortocircuito, para este propósito se pueden utilizar métodos analíticos que permiten modelar geometrías sencillas, requieren poca información y menor tiempo de cálculo comparado con métodos numéricos. Por otra parte, el estudio de transformadores elaborados con bobinas en conductores laminados se debe realizar utilizando metodologías que

consideren la variación de la distribución de la corriente por el efecto de la densidad de flujo magnético radial, en este caso los métodos analíticos tradicionales resultan imprecisos. En la tabla 1 se muestran algunos métodos utilizados para el modelado magnético y cálculo de fuerzas de cortocircuito en transformadores (Díaz, 2013).

Tabla 1. Métodos para el modelado magnético de transformadores y cálculo de fuerzas de cortocircuito

Métodos aproximados	Métodos analíticos
Formulas sencillas Método de volts por espira Método de ampere vuelta residual	Método de Roth Método de Rabins Método de las imágenes
Métodos numéricos	Métodos conductores laminados
Método de elementos finitos Método de redes de reluctancia Método de elementos de frontera	Método de Mullineux Método de El Missiry Metodología semianalítica integral

Fuente: elaboración propia.

Los métodos de Roth y Rabins tienen similitud en cuanto al procedimiento utilizado para la solución del flujo magnético de dispersión en la ventana del núcleo; sin embargo, el método de Rabins requiere de funciones especiales de Bessel y Struve haciendo más compleja su implementación. Con el método de Roth para el cálculo de fuerzas máximas, se han reportado errores de hasta el 9 % comparado con la solución a través del método de elementos finitos (Saffari, Faiz, Fereidunian y Ebrahimi, 2014).

Método de Roth

Entre 1927 y 1938 el ingeniero francés Edouard Roth desarrolló un método para la solución de problemas de ingeniería eléctrica con condiciones de potencial vectorial magnético igual a cero en la frontera, para su aplicación a problemas de campos magnéticos en máquinas eléctricas. El método consiste en resolver la ecuación de Laplace-Poisson

que relaciona el potencial vectorial magnético en cualquier punto con la densidad de fuerza magneto-motriz (FMM), asumiendo una geometría plana en coordenadas cartesianas en 2D (Bharat Heavy Electricals Limited, 2003).

Para determinar la fuerza es necesario conocer el valor pico de la corriente de cortocircuito asimétrica i , la cual se calcula a través de la ecuación (2). I_{sc} es el valor eficaz de la corriente de cortocircuito simétrica, U es el voltaje de línea y Z es la impedancia equivalente en el punto de conexión del transformador, k es el factor de asimetría de la corriente y depende de la resistencia R y reactancia X del circuito (International Electrotechnical Commission, 2006b).

$$i = I_{sc} \cdot \sqrt{2} \cdot k \quad I_{sc} = \frac{U}{Z \cdot \sqrt{3}} \quad k = 1 + e^{-\left(\frac{\pi R}{X}\right)} \quad (2)$$

El potencial vectorial magnético A en la región de la ventana del núcleo se describe a través de las ecuaciones diferenciales de Laplace y Poisson (3), μ_0 es la permeabilidad magnética del espacio libre y J es la densidad de corriente, a partir de estas expresiones se obtienen las condiciones de contorno que se muestran en la ecuación (4).

$$\frac{\partial^2 A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A}{\partial y^2} = 0 \quad \frac{\partial^2 A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A}{\partial y^2} = -\mu_0 \cdot J \quad (3)$$

$$(A_x)_{|y=0} = \left(\frac{\partial A}{\partial y}\right)_{|y=0} = 0 \quad (A_x)_{|y=h} = \left(\frac{\partial A}{\partial y}\right)_{|y=h} = 0 \quad (4)$$

$$(A_y)_{|x=0} = \left(\frac{\partial A}{\partial x}\right)_{|x=0} = 0 \quad (A_y)_{|x=w} = \left(\frac{\partial A}{\partial x}\right)_{|x=w} = 0$$

La densidad de corriente se calcula a partir de la ecuación (5), N_j es el número de espiras de la bobina j , mientras que w_j , h_j , w'_j y h'_j representan las coordenadas del devanado j -ésimo.

$$J_j = \frac{N_j \cdot I_j}{(w'_j - w_j) \cdot (h'_j - h_j)} \quad (5)$$

La solución para el potencial vectorial magnético A en la ventana del núcleo puede expresarse

como una doble serie de Fourier como se observa en la ecuación (6), m y n corresponden a los términos de la serie. Los factores M_m y N_n se determinan a partir de la ecuación (7).

$$A = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} C_{m,n} \cdot \cos(M_m \cdot x) \cdot \cos(N_n \cdot y) \quad (6)$$

Para $m \neq 1$ y $n \neq 1$.

$$C_{m,n} = \frac{4 \cdot \mu_0}{w \cdot h} \cdot \frac{1}{M_m^2 + N_n^2} \cdot \sum_{j=1}^q J_j \cdot \frac{\sin(M_m \cdot w'_j) - \sin(M_m \cdot w_j)}{M_m} \cdot \frac{\sin(N_n \cdot h'_j) - \sin(N_n \cdot h_j)}{N_n} \quad (8)$$

Para $m=1$ y $n \neq 1$

$$C_{m,n} = \frac{2 \cdot \mu_0}{w \cdot h} \cdot \sum_{j=1}^q J_j \cdot (w'_j - w_j) \cdot \frac{\sin(N_n \cdot h'_j) - \sin(N_n \cdot h_j)}{N_n} \quad (9)$$

Para $m \neq 1$ y $n=1$.

$$C_{m,n} = \frac{2 \cdot \mu_0}{w \cdot h} \cdot \sum_{j=1}^q J_j \cdot (h'_j - h_j) \cdot \frac{\sin(M_m \cdot w'_j) - \sin(M_m \cdot w_j)}{M_m} \quad (10)$$

Una vez definido el potencial vectorial magnético se calculan los componentes de la densidad de flujo magnético en la dirección radial (B_x) y axial (B_y) a través de la ecuación (11).

$$B_x = \frac{\partial A}{\partial y} \quad B_y = -\frac{\partial A}{\partial x} \quad (11)$$

Las fuerzas radiales F_{rj} y axiales F_{aj} para un filamento de área $d_x \cdot d_y$ se calculan según las ecuaciones integrales (12) y (13).

$$f_{rj} = J_j \int_{h_j}^{h'_j} \int_{w_j}^{w'_j} B_y dx dy = -J_j \int_{h_j}^{h'_j} \int_{w_j}^{w'_j} \frac{\partial A}{\partial x} dx dy \quad (12)$$

$$f_{aj} = J_j \int_{h_j}^{h'_j} \int_{w_j}^{w'_j} B_x dx dy = J_j \int_{h_j}^{h'_j} \int_{w_j}^{w'_j} \frac{\partial A}{\partial y} dx dy \quad (13)$$

Finalmente, las fuerzas radiales y axiales por unidad de longitud del devanado quedan definidas por las ecuaciones (14) y (15) respectivamente (Saffari *et al.*, 2014).

$$F_{rj} = -J_j \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} C_{m,n} \cdot \frac{(\cos(M_m \cdot w'_j) - \cos(M_m \cdot w_j)) \cdot (\sin(N_n \cdot h'_j) - \sin(N_n \cdot h_j))}{N_n} \quad (14)$$

$$F_{aj} = J_j \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} C_{m,n} \cdot \frac{(\sin(M_m \cdot w'_j) - \sin(M_m \cdot w_j)) \cdot (\cos(N_n \cdot h'_j) - \cos(N_n \cdot h_j))}{M_m} \quad (15)$$

El método de Roth para el cálculo de la densidad de flujo magnético y fuerzas de cortocircuito en transformadores se implementó en el *software Matlab®*.

METODOLOGÍA

Se calcularon las fuerzas de cortocircuito en un transformador trifásico de dos devanados con núcleo tipo columnas de 630kVA (Deaconu *et al.*, 2009). En la tabla 2 se muestran las características nominales del transformador utilizado para el análisis y en la figura 3 se incluyen las dimensiones. En este trabajo se evaluaron varios casos de estudio para analizar el efecto del número de armónicos sobre el cálculo de las fuerzas; los resultados fueron comparados con los obtenidos a través del

método de elementos finitos (MEF) tomados de Deaconu *et al.* (2009).

Tabla 2. Especificaciones técnicas del transformador de estudio

Especificación	Valor
Potencia nominal [kVA]	630
Tensión nominal del primario [kV]	10
Tensión nominal del secundario [kV]	0,4
Impedancia de cortocircuito [%]	5,58
Espiras del primario/espiras del secundario	1082/25
Grupo de conexión	Dy5
Factor de asimetría (k)	1,8
Corriente de cortocircuito simétrica alta tensión (kA)	0,65
Corriente de cortocircuito simétrica baja tensión (kA)	16,29

Fuente: tomado de Deaconu *et al.* (2009).

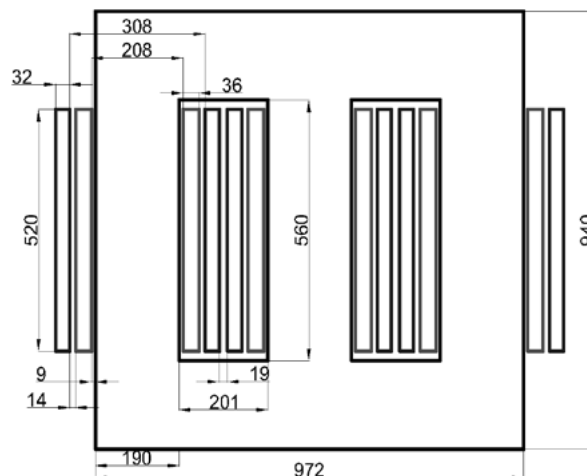


Figura 3. Dimensiones en milímetros del transformador utilizado para el caso de estudio

Fuente: Deaconu *et al.* (2009).

RESULTADOS

Se calcularon las fuerzas con el método de Roth evaluando el efecto del número de armónicos de la serie de Fourier, para este análisis se asumió que el devanado de alta tensión es el exterior (devanado 1), y el devanado de baja tensión es el interior (devanado 2).

En la figura 4 se muestran las fuerzas radiales y axiales obtenidas con 20 armónicos y 100 divisiones sobre la altura de los devanados, con estos armónicos las gráficas de las fuerzas axiales presentan ondulaciones que alteran el valor de la fuerza en cada división de la altura.

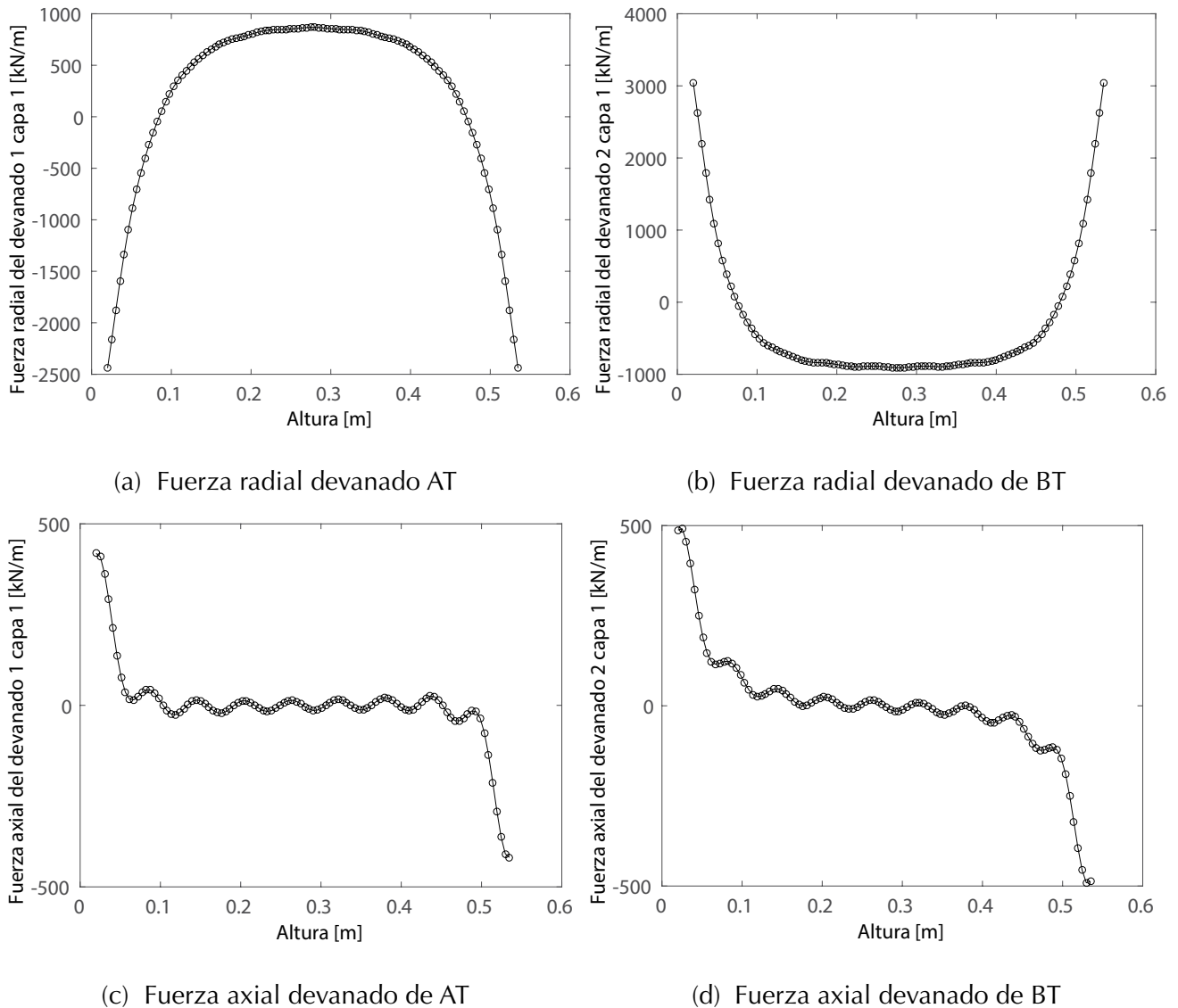


Figura 4. Fuerzas calculadas con 20 armónicos y 100 divisiones en la altura

Fuente: elaboración propia.

En la figura 5 se ilustran las fuerzas radiales y axiales calculadas con 30 armónicos y 100 divisiones sobre la altura de los devanados, la gráfica de fuerzas axiales presenta menos ondulaciones que las obtenidas con 20 armónicos; por tanto, se

considera que 30 armónicos son suficientes para obtener una curva más suave que permite estimar el valor de la fuerza axial a lo largo de la longitud del devanado.

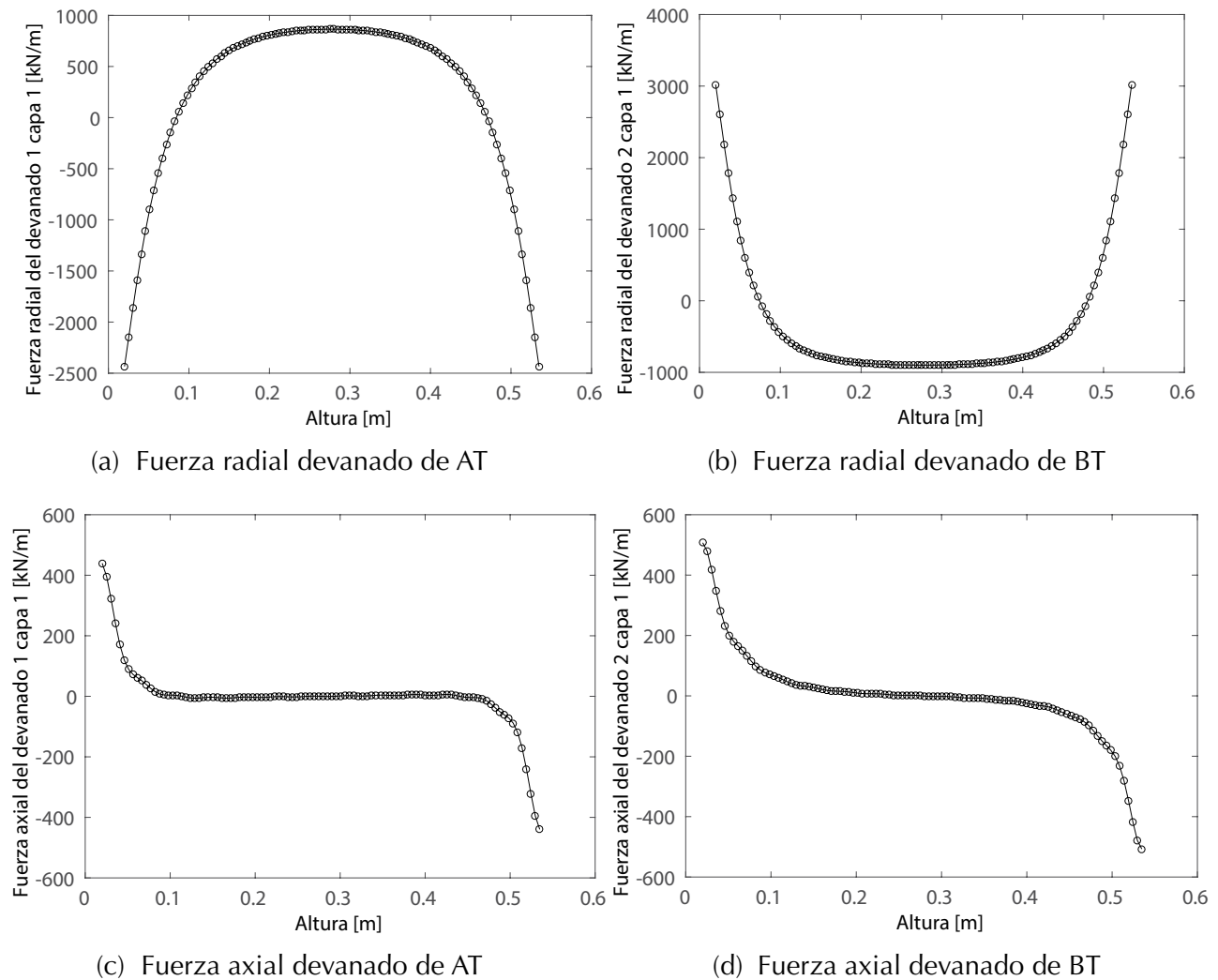


Figura 5. Fuerzas calculadas con 30 armónicos y 100 divisiones en la altura

Fuente: elaboración propia.

El patrón de las curvas es el típico para las fuerzas tanto axiales como radiales, sin embargo, las curvas de fuerzas radiales muestran un desplazamiento sobre el eje de las ordenadas, teóricamente las fuerzas radiales en los devanados son unidireccionales, el devanado externo se somete a fuerzas de tensión y el devanado interno a fuerzas de compresión, aunque se presentó este desplazamiento de las curvas los valores máximos de las fuerzas no se afectaron.

En la tabla 3 se resumen las fuerzas máximas obtenidas para los diferentes casos de estudio; los valores calculados a través del MEF fueron

tomados de Deaconu *et al.* (2009). Las fuerzas radiales máximas calculadas con 20, 30 y 60 armónicos presentan diferencias mínimas con respecto a los resultados del MEF, igual comportamiento se obtuvo con la fuerza axial máxima del devanado 1; sin embargo, en la fuerza axial máxima del devanado 2 se encontró una diferencia mayor, esto puede producirse debido a que la bobina de baja tensión es elaborada con conductores laminados y el método de Roth en este caso no proporciona los mejores resultados, este tema se continuará investigando en futuros trabajos.

Tabla 3. Comparación de resultados obtenidos con el método de Roth para diferentes casos de estudio

Armónicos	20		30		60		MEF (kN/m)	
	Fuerza máxima	Roth (kN/m)	Error [%]	Roth (kN/m)	Error [%]	Roth (kN/m)		Error [%]
F _{radial máxima dev1}		868,21	4,7	865,09	5,1	864,16	5,2	911,22
F _{radial máxima dev2}		-908,41	0,5	-899,14	1,6	-898,89	1,6	913,4
F _{axial máxima dev1}		21,72	-5,1	20,63	0,2	20,81	-0,7	20,67
F _{axial máxima dev2}		42,69	60,9	41,83	57,6	41,99	58,2	26,54

Fuente: elaboración propia, resultados MEF (Deaconu *et al.*, 2009).

Utilizar un número mayor a 30 armónicos para el cálculo de fuerzas axiales o radiales no representa un cambio significativo en los errores promedio comparando el método de Roth con MEF.

Debido a las diferencias encontradas en la distribución grafica de las fuerzas radiales y el valor máximo de la fuerza axial del devanado 2 (devanado de baja tensión), se programó el método de Roth en el *software Mathematica®*, encontrándose las mismas diferencias evidenciadas en *Matlab®*, con esto se descarta algún inconveniente en el algoritmo programación del método de Roth.

CONCLUSIONES

En este artículo se presentó una aplicación del método de Roth para el cálculo de la densidad de flujo magnético y fuerzas de cortocircuito en transformadores con núcleo tipo columnas y devanados concéntricos circulares; a través de los resultados se demuestra la vigencia del método para el cálculo magnético de transformadores, por lo que es una alternativa frente a métodos modernos los cuales requieren herramientas de *software* especializadas y tiempos de modelado y cálculo prolongados.

De acuerdo a los resultados, se puede afirmar que la aplicación del método de Roth es adecuada cuando se desean conocer las fuerzas máximas de cortocircuito; la distribución de las fuerzas radiales a lo largo del devanado presenta ciertas diferencias, las cuales se podrían revisar evaluando las ecuaciones originales propuestas en la

metodología de Roth o implementando el método analítico de Rabins para efectos de comparación.

El cálculo de las fuerzas máximas de cortocircuito a través del método de Roth representa la etapa inicial del procedimiento de validación teórica de la aptitud para soportar cortocircuitos en transformadores; a partir de estas se estiman esfuerzos en los conductores y estructuras de soporte del devanado, posteriormente estos valores son comparados con los límites definidos en la norma para demostrar teóricamente la aptitud al cortocircuito del equipo.

El método de Roth es una de las primeras herramientas para el cálculo magnético de transformadores con núcleo tipo columnas y devanados circulares concéntricos, a pesar de su antigüedad aún está vigente y sus resultados pueden compararse con técnicas modernas de diseño como el método de elementos finitos. La ventaja de este radica en su facilidad de implementación y en la velocidad de cálculo, lo que facilita realizar análisis en la etapa de diseño de transformadores.

REFERENCIAS

- Ahn, H.-M., Oh, Y.-H., Kim, J.-K., Song, J.-S. y Hahn, S.-C. (2012). Experimental Verification and Finite Element Analysis of Short-Circuit Electromagnetic Force for Dry-Type Transformer. *IEEE Transactions on Magnetics*, 48(2), 819-822. <http://doi.org/10.1109/TMAG.2011.2174212>
- Aslam M., M.S. (2007). *Dynamic Behaviour of Transformer Winding under Short-Circuits*. Johannesburg: University of the Witwatersrand.

- Bertagnolli, G. (2006). *The ABB Approach to Short-circuit duty of power Transformers*. 3a. ed. Zúrich: ABB Management Services.
- Bharat Heavy Electricals Limited (2003). *Transformers*. 2a. ed. Nueva Delhi: Tata McGraw-Hill Education Pvt. Ltd.
- Bueno, M. y Pérez, L. (2007). Utilización de un método algorítmico y un sistema neurodifuso para localización de fallas en sistemas de distribución radiales. *Tecnura*, 20(10), 65-77.
- Correa, W. (2014). *Análisis de los esfuerzos dinámicos generados en un transformador de hasta 10 MVA durante una condición de cortocircuito franco*. Cali: Universidad del Valle.
- Deaconu, I., Chirilă, A., Ghiță, C., Năvrănescu, V. y Chicco, G. (2009). Analytical computation method for electrodynamic forces acting over electrical transformer windings. *UPB-Scientific Bulletin*, 71(series C), 143-154.
- Díaz, G. (2013). *Nueva metodología para el modelado magnético de transformadores con devanados en conductor laminado*. Buenos Aires: Universidad Nacional de San Juan.
- Estrada, N., Mora, J. y Pérez, S. (2008). Análisis y selección de los parámetros de configuración para un localizador de fallas monofásicas aplicado a sistemas de distribución. *Tecnura*, 11(22), 73-83.
- Kurita, K., Kuriyama, T., Hiraishi, K., Kusumoto, S., Shida, S., & Hori, Y. (1969). Mechanical Strength of Transformer Windings under Short-Circuit Conditions. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, PAS-88(3), 222-230. <http://doi.org/10.1109/TPAS.1969.292310>
- Institute of Electrical and Electronics Engineers (2016). *IEEE Std C57.12.00-2015 Standard for General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers*. Nueva York.
- International Electrotechnical Commission (2006a). *IEC 60076-5 Annex B Calculation method for the demonstration of the ability to withstand the dynamic effects of Shortcircuit*. Ginebra.
- International Electrotechnical Commission (2006b). *IEC 60076-5 Power transformers-Part 5: Ability to withstand short circuit*. 3a. ed. Ginebra.
- Kulkarni, S.V. y Khaparde, S.A. (2004). *Transformer Engineering: Design and Practice*. 4a. ed. Mumbai, India: Taylor & Francis.
- Lurie, A., Zenova, V., Panibratets, A., Leviskaya, E., Drovishevskij, A., Milman, L. y Cadavid, H. (2005). *Elektrodinamicheskaya stoikost' transformatorov i reaktorov pri korotkikh zamykaniyakh (Electrodynamical Resistance of Transformers and Reactors under Short Circuits)*. Moscú: Znak.
- Patel, M. (1973). Dynamic Response of Power Transformers Under Axial Short Circuit Forces Part I-Winding and Clamp as Individual Components. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, PAS-92(5), 1558-1566. <http://doi.org/10.1109/TPAS.1973.293702>
- Rosentino P., A.J. (2010). *Estimativa dos esforços eletromecânicos em transformadores submetidos a um curto-circuito trifásico*. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia.
- Saffari, S., Faiz, J., Fereidunian, A. y Ebrahimi, B.M. (2014). Analytical estimation of short circuit axial and radial forces on power transformers windings. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 8(2), 250-260. <http://doi.org/10.1049/iet-gtd.2013.0268>
- Saravolac, M. P., Vertigen, P. A., Sumner, C. A., & Siew, W. H. (2000). Design Verification Criteria for Evaluating the Short Circuit Withstand Capability of Transformer Inner Winding. En *CIGRE Session*.
- Smeets, R. y Paske, L. (2009). 13 Years Of Test Experiences with Short-Circuit Withstand Capability of Large Power Transformers. *EnergoEkspert*, 15(4), 1-84.
- Solanilla, A.M., Hincapié, R.A. y Gallego, R.A. (2015). Planeación óptima de sistemas de distribución considerando múltiples objetivos: costo de inversión, confiabilidad y pérdidas técnicas. *Tecnura*, 19(43), 106-118.
- Tournier, Y., Ebersohl, G., Ciniero, A., Yakov, S., Madin, A. B., & Whitaker, J. D. (1962). A study of the dynamic behaviour of transformer windings under short-circuit conditions. En *Cigré Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques Haute Tension*.





Estimación emisiones de compuestos orgánicos volátiles, plantel de distribución de combustibles Recope, el Alto de Ochomogo, Cartago, Costa Rica

Estimation of emissions of volatile organic compounds in the fuel marketing terminal Recope, Alto de Ochomogo, Cartago, Costa Rica

Laura Vanessa Quesada Carvajal¹, Macario Pino Gómez²
Rodolfo Elizondo Hernández³

Fecha de recepción: 1 de octubre de 2017

Fecha de aceptación: 28 de noviembre de 2017

Cómo citar: Quesada C., L.V., Pino G., M. y Elizondo H., R. (2018). Estimación emisiones de compuestos orgánicos volátiles, plantel de distribución de combustibles Recope, el Alto de Ochomogo, Cartago, Costa Rica. *Revista Tecnura*, 22(55), 25-33. <https://doi.org/10.14483/22487638.12543>

Resumen

Contexto: Este estudio presenta la estimación de las emisiones evaporativas generadas en el plantel de distribución de combustibles en el Alto de Ochomogo, Cartago, Costa Rica, y la selección del sistema de recuperación adecuado para reducir la emisión de estos gases a la atmósfera, disminuyendo así los efectos adversos provocados por estos compuestos en el ambiente y la salud de las poblaciones cercanas.

Método: Se estimó la tasa de emisiones fugitivas en el proceso de carga de vehículos cisternas, usando factores de emisión de pérdidas de carga, y en el almacenamiento de combustibles, a través de un *software* especializado. Posteriormente, se seleccionó el sistema de tratamiento adecuado, considerando la capacidad de flujo de la corriente gaseosa que cada tecnología puede tratar

Resultados: Se determinó que la generación de COV es mayor en el área de cargaderos que en los tanques de almacenamiento, ya que estas corresponden a un

95 % y 5 %, respectivamente. En consecuencia, la propuesta del sistema de tratamiento de vapores de gasolina se enfoca en la zona de carga de combustible, con la selección de la condensación criogénica como tratamiento de recuperación no destructivo.

Conclusiones: La estimación de tasa de emisiones fugitivas permitió tener una base para establecer una estrategia para la reducción de estas emisiones en pro de la salud de los trabajadores que están constantemente expuestos a ellas.

Para disminuir las emisiones directas a la atmósfera durante la carga de las cisternas, se deben realizar los cambios necesarios para adaptarlos a un sistema hermético que permita enviar los vapores de gasolina que se generan por la presencia de producto residual en las paredes de los camiones y por la turbulencia que se provoca durante la carga del nuevo producto, a la unidad de recuperación de vapores que se instale.

Palabras clave: compuestos orgánicos volátiles (COV), inventario de emisiones, plantel de distribución de combustible, factores de emisión, Recope.

1 Ingeniera química, especialista en Emisiones Atmosféricas con énfasis en Tratamiento de Gases, máster en Dirección Medioambiental. Docente del Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. Contacto: laura.quesada@itcr.ac.cr

2 Ingeniero sanitario, especialista en Tratamiento de Residuos. Docente del Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. Contacto: mpino@itcr.ac.cr

3 Ingeniero electromecánico, especialista en Manejo de Refrigerantes, máster en Administración de Ingeniería Electromecánica. Docente del Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica Contacto: relizondo@itcr.ac.cr

Abstract

Context: This study presents the estimation of the evaporative emissions generated in the fuel distribution plant in El Alto de Ochomogo, Cartago, Costa Rica and the selection of the adequate recovery system to reduce the emission of these gases into the atmosphere, thus decreasing the adverse effects caused by these compounds in the environment and the health of nearby populations.

Method: The fugitive emission rate estimated in the tanker vehicle loading process, using load loss emission factors, and fuel storage, through specialized software. Subsequently, we proceeded to make the selection of the appropriate treatment system, considering the flow capacity of the gaseous current that each technology can treat.

Results: It was determined that the generation of VOC is greater in the loading area than in the storage tanks, since they correspond to 95% and 5%

respectively. Due to this, the proposal of the vapor treatment system focuses on the fuel-loading zone, selecting the cryogenic condensation as non-destructive recovery treatment.

Conclusions: The estimation of the fugitive emission rate allowed to have a base to establish a strategy for the reduction of these emissions in favor of the health of the workers who are constantly exposed to them.

To reduce direct emissions to the atmosphere during the loading of tanks. Necessary changes must be made to adapt them to an airtight system. That allows sending gasoline vapors that generated by the presence of residual product on the walls of trucks and due to the turbulence that arises during the loading of the new product, to the vapor recovery unit.

Keywords: emission factors, emissions inventory, fuel distribution facilities, Recope, volatile organic compounds (VOC).

INTRODUCCIÓN

Entre las metas instauradas en el Plan Nacional de Energía 2008-2021 (Dirección Sectorial de Energía, 2008), se establece que Costa Rica disponga de un suministro energético confiable y en armonía con la naturaleza, promoviendo el desarrollo de la infraestructura necesaria y la constante investigación e innovación. Uno de los objetivos estratégicos es la modernización y el fortalecimiento integral del sector energético, con el fin que los procesos sean más eficientes y amigables con el ambiente. La implementación de mejoras tecnológicas y de control en los procesos de transformación de materias primas (Arango, Sierra y Silva, 2014) son acciones importantes que debe desarrollar la Refinadora Costarricense de Petróleo (Recope), como la instalación de sistemas de recuperación de vapores de combustibles, tanto en la flotilla de transporte de combustibles como en los planteles de distribución, así como la instalación de sistemas de carga por debajo, con el fin de

aumentar la seguridad durante estas operaciones y, al mismo tiempo, disminuir la emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV) a la atmósfera.

Los COV son hidrocarburos que contienen de 2 a 20 átomos de carbono por molécula y se clasifican en COV ligeros, aquellos que poseen de 2 a 11 átomos de carbono, y pesados los que tienen de 12 a 20 átomos de carbono (Sánchez *et al.*, 2004). A 293,15 K, presentan una presión de vapor de 0,01 kPa o más, o una volatilidad equivalente en las condiciones particulares de uso (Real Decreto 117/2003, 2003).

Dichos compuestos pueden dar lugar a otros secundarios, como el ozono troposférico que es un contaminante que afecta las vías respiratorias (Cárdenas, 2009)

Actualmente la empresa se dedica solo al almacenamiento y distribución de productos terminados livianos y pesados. El primer tipo se caracteriza por su baja viscosidad, menor de cuatro *centistokes*, estos corresponden a las gasolinas superior y regular, diésel automotriz, kerosene, AV-gas, jet

fuel y gas licuado de petróleo (GLP). El producto negro presenta una viscosidad mayor a cuatro *centistokes*, los productos que se encuentran en esta categoría son el búnker (*fuel oil*), diésel térmico, gasóleo, asfalto y emulsiones asfálticas. Los combustibles más livianos son transportados mediante el oleoducto desde la refinería hasta los demás planteles (Recope, 2011).

El Plantel El Alto almacena y vende producto limpio (excepto los combustibles de aviación y GPL) y producto negro. Se caracteriza por abastecer principalmente a la zona metropolitana de San José y por ser el único que cuenta con una planta de producción de asfalto y emulsión asfáltica.

El análisis preliminar del sistema de distribución del Plantel El Alto arroja que podemos tener diversas fuentes individuales, y es importante que todas estas fuentes sean contabilizadas en un sistema de inventario. En general, en las terminales de distribución de productos derivados del petróleo, las emisiones principales tienen tres orígenes diferentes: fugas y derrames de la red de tuberías y depósitos; pérdidas por evaporación en los tanques de almacenamiento; vapores procedentes de las estaciones de carga y trasiego (Cordero, 2013).

Sin embargo, basados en un estudio realizado en 2002 por el Instituto Mexicano del Petróleo para determinar la contribución del ciclo de distribución de gasolina en la emisión de compuestos orgánicos volátiles en el área metropolitana de Ciudad de México, en el cual por medio de factores de emisión de las actividades vinculadas al trasiego y almacenamiento de productos derivados del petróleo presentes en la metodología AP-42 de la EPA, indican que las pérdidas evaporativas en la carga de los camiones representan el 90,8 % del total de las emisiones, en los tanques de almacenamiento alrededor de un 6,7 % y en los accesorios de las tuberías un 2,5 % (Instituto Mexicano del Petróleo, 2002).

El objetivo propuesto en este estudio fue realizar el diagnóstico preliminar de la operación del plantel mediante la estimación de la tasa de emisiones fugitivas en el proceso de carga de vehículos

cisternas y en el almacenamiento de combustibles a través de un inventario de emisiones de COV. Una vez obtenida la cantidad de vapores orgánicos que se emiten, se procedió a realizar la selección del sistema de tratamiento de dichas emisiones, revisando la capacidad de flujo de la corriente gaseosa que cada tecnología puede tratar, así como otras características de su diseño, de manera que la elegida esté en la capacidad de reducir la emisión de estos gases a la atmósfera y, así, disminuir los efectos adversos provocados por estos compuestos en el ambiente y la salud.

METODOLOGÍA

Estimación de las emisiones de COV en el área de cargaderos de producto limpio

Inicialmente se analizaron las hojas de especificaciones de cada producto que se maneja en el plantel, tomando como referencia el *Manual de productos* (Recope, 2011) para seleccionar aquellos que serían objeto de estudio, dada su volatilidad e inflamabilidad.

La estimación de las emisiones se realizó a partir de la metodología expuesta en el capítulo 5.2 del AP-42 de la EPA (US EPA, 1995a), la ecuación (1) se empleará para estimar los factores de emisión.

$$EFUL = 12,46X \frac{SPM}{T} \quad (1)$$

Donde:

EFUL = factor de emisión de pérdida de carga (lb/1000 gal).

S = factor de saturación, depende del tipo de llenado de los camiones cisterna.

P = presión de vapor real de la gasolina (libras por pulgada cuadrada absoluta (psia).

M = masa molar de los vapores (lb/lb-mol).

T = temperatura promedio del líquido cargado (°R).

La presión de vapor real de los productos se calculó mediante los métodos que se encuentran

en la sección 7.1 del AP-42 (US EPA, 1995a), correspondiente a la estimación de las emisiones en los tanques de almacenamiento de líquidos orgánicos y a partir de la ecuación (2).

$$P = e^{\left(\frac{A-B}{T_i}\right)} \quad (2)$$

Donde:

P = presión de vapor real (psi).

A = constante en la ecuación (adimensional).

B = constante en la ecuación (°R).

T_i = temperatura promedio de líquido (°R).

Las constantes A y B de la ecuación (2) están en función de la presión de vapor de Reid y de la pendiente "S", la cual corresponde a la pendiente de destilación a un 10 % de volumen evaporado del producto de interés y cuyo valor reportado para gasolina es 3,0 y para su determinar sus valores se utilizan las ecuaciones (3) y (4).

$$A = 15,64 - 1.854S^{0.5} - (0,8742 - 0,3280S^{0.5}) \ln(PVR) \quad (3)$$

$$B = 8,742 - 1.042S^{0.5} - (1,049 - 179,4S^{0.5}) \ln(PVR) \quad (4)$$

Donde:

$S = 3,0$.

PVR = presión de vapor de Reid (psi).

Interpolando y usando los valores reportados en la tabla 1, se determinó el peso molecular de un producto determinado, utilizando la ecuación (5) (Randian International LLC, 1997).

Tabla 1. Propiedades físicas de la gasolina

Presión de vapor Reid de la gasolina. PVR (psi)	Peso molecular del vapor a 60 °F	Presión de vapor real (psi)						
		40 °F	50 °F	60 °F	70 °F	80 °F	90 °F	100 °F
13	62	4,7	5,7	6,9	8,3	9,9	11,7	13,8
10	66	3,4	4,2	5,2	6,2	7,4	8,8	10,5
8,3	68	2,7888	3,444	4,2188	5,1284	6,1891	7,4184	8,8344

Fuente: US EPA (1995a).

$$MM_i = MM_x + \left(\frac{PVR_x - PVR_i}{PVR_x - PVR_n} \right) (MM_n - MM_x) \quad (5)$$

Donde:

MM_i = peso molecular del vapor interpolado para PVR de interés.

MM_x = peso molecular del vapor a la PVR máxima en el intervalo de interpolación.

MM_n = peso molecular del vapor a la PVR mínima en el intervalo de interpolación.

PVP_i = PVR interpolada (9).

PVP_x = PVR valor superior.

PVP_n = PVR valor inferior.

Una vez obtenidas las variables de la ecuación (1) se realizó el cálculo de los factores de emisión para cada uno de los productos de estudio, y al final, las pérdidas totales de la carga de camiones cisterna se calcularon a partir de la ecuación (6) (Randian International LLC, 1997).

$$Tasa\ de\ Emisión = \sum_{i=1}^n EF_{UL,CLV} \times Combustible_i \quad (6)$$

Donde:

Tasa de emisión = emisiones totales de la carga de camiones cisterna (lb/año).

$EF_{UL,CLV}$ = factor de emisión de la carga controlada de vehículos cisterna para el modo de operación o el tipo de combustible i (lb/1000 gal).

Combustible i = cantidad anual de combustible entregado por cada modo de operación o tipo de combustible i (gal/año).

Para obtener el volumen de gases por tratar, se divide la masa de emisiones por la densidad de los vapores de las gasolinas. Dicha densidad se calcula por medio de la ecuación (7), tal como lo indica el capítulo 7.1 del AP-42 de la EPA (US EPA, 1995a).

$$\rho = \frac{PM \times P}{T \times R} \quad (7)$$

Donde:

PM = peso molecular de los vapores de gasolina (lb/lb-mol).

T = temperatura promedio diaria de la gasolina (°R).

P = presión de vapor de la gasolina a la temperatura promedio diaria (psi).

R = constante de los gases ideales 10,731 psi p³ / (lb/ lb-mol °R).

Estimación de las emisiones en los tanques de almacenamiento de gasolina regular y superior

Se utilizó el *software* TANKS 4.0.9d de la EPA (US EPA, 1996), para modelar las pérdidas de vapores de gasolina en los tanques de almacenamiento. Inicialmente se seleccionó el tipo de tanque a analizar, indicando tanques de techo flotante interior; posteriormente, el programa despliega una ventana con cinco pestañas, las cuales se describen así:

- *Identificación*: Se introdujo el número de identificación del tanque, una descripción general, la provincia, la ciudad y la compañía a la cual pertenece.

- *Características físicas*: Se incorporaron datos de diseño del tanque considerando el tipo de tanque previamente seleccionado.
- *Tipo de sellos*: Se seleccionó el sistema de sellado que se utiliza para controlar las pérdidas por evaporación entre el espacio anular entre el perimetro o borde de la cubierta y el cuerpo del tanque, para permitir que se mueva el techo flotante dentro de este.
- *Características de la plataforma*: Se incorporan datos de tipo de techo flotante y de la configuración de los accesorios.
- *Selección del sitio*: Se indicó que la estimación de las emisiones se realizara en el plantel de Recope ubicado en el Alto de Ochoмого y se introdujeron los datos climatológicos correspondientes al lugar del estudio provisto por el Instituto Meteorológico Nacional.
- *Contenido del tanque*: Se seleccionó un destilado de petróleo que corresponde a la gasolina PVR 9.
- *Cálculos mensuales*: En esta última sección, se generó el reporte I de la estimación de las emisiones. Se debe indicar al programa que los resultados se quieren presentar mensualmente y de manera detallada.

Selección del sistema de tratamiento de emisiones de COV para el Plantel El Alto

Para la selección del sistema de tratamiento de emisiones de COV se caracterizaron las tecnologías existentes que no fuesen destructivas, se determinó su rango de aplicación según caudal, concentración y las características generales de diseño de las mismas. Además, se analizaron las ventajas y desventajas de cada sistema de tratamiento de esos gases.

Se comparó el valor del flujo volumétrico de la corriente de vapores de gasolina por tratar, calculado con el inventario de emisiones en la zona de cargaderos con los valores reportados por la literatura para seleccionar la tecnología de tratamiento aplicable para nuestro caso de estudio.

RESULTADOS

Estimación de las emisiones de COV

Para obtener los factores de emisión calculados a partir de la ecuación (1) se utilizaron las propiedades fisicoquímicas de los combustibles seleccionados reportados en la tabla 2.

Para la estimación de las emisiones de COV se tomó un año base de venta de producto limpio, por medio del Departamento de Distribución del

Plantel El Alto, se obtuvo el historial de ventas de cada producto en estudio. La tasa de emisión generada por la carga de los camiones cisternas y el flujo volumétrico estimado a tratar se presenta en la tabla 3.

Como se indicó en la metodología, cuando se introdujeron los datos solicitados por el programa TANKS 4.0.9d de la EPA (US EPA, 1996), se obtuvo la estimación de las emisiones de COV en los tanques de almacenamiento, cuyos valores se muestran en la tabla 4. Las primeras cuatro filas

Tabla 2. Propiedades de las gasolinas regular y superior empleadas en la estimación de las emisiones de COV

Producto	Temperatura (°R)	Presión de vapor de Reid (psi)	Masa molar (lb/lb-mol)	Presión de valor real (psi)
Regular	529,47	9,42	66,69	5,83
Superior	529,47	9,21	66,92	5,70

Fuente: Cordero (2013).

Tabla 3. Estimación de las emisiones de vapores de gasolinas generadas en los patios de carga de combustible del Plantel El Alto

Producto	Gasolina regular	Gasolinasúper
Factor de emisión (lb/1000 gal)	5,49	5,39
Volumen anual de ventas (gal)	67 873 506	45 824 590
Emisiones (kg/año)	169 031	112 003
Total (kg/año)	281 034	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Estimación de las emisiones de COV de los tanques de almacenamiento de gasolina regular y superior del Plantel El Alto

Tanque	Pérdidas mensuales estimadas (kg)												Total
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
101-S	133	133	135	138	139	139	138	139	139	138	135	133	1 638
102-S	133	133	135	138	139	139	138	139	139	138	135	133	1 638
103-S	133	134	136	138	140	140	138	139	139	138	135	134	1 644
108-S	135	135	138	140	142	142	141	141	142	140	137	136	1 669
106-R	110	111	112	114	116	116	115	115	115	114	112	111	1 362
107-R	137	137	139	142	144	144	142	143	143	142	139	137	1 689
121-R	271	272	276	281	285	284	282	284	284	282	276	273	3 350
122-R	271	271	275	281	284	283	281	283	283	281	275	272	3 339
Pérdida total/anual (kg)												16 329	

Fuente: elaboración propia.

muestran las pérdidas mensuales estimadas en cada tanque que contiene gasolina súper (-S) y las filas restantes muestran los mismos resultados, pero en los tanques con gasolina regular (-R).

La comparación de los resultados de las tasas de emisión en la zona de cargaderos, y de los tanques de almacenamiento de gasolina regular y súper del Plantel El Alto, arrojó que el área en donde se generan mayores pérdidas de vapores de gasolina es la de los cargaderos, y corresponde a 281 ton/año, lo que representa un 95 % de las emisiones. Esto debido a que, en la actualidad, se realiza la carga de combustibles por la parte superior de la cisterna y hace descender parcialmente la manguera de llenado para servir la gasolina dentro del tanque de carga. Durante esta operación, se presenta turbulencia y contacto entre el vapor y el líquido lo que resulta en altos niveles de generación y pérdida de COV (US EPA, 1999).

Por otro lado, el nivel de emisiones de vapores obtenido en los tanques de almacenamiento corresponde a 16,3 ton anuales representado un 5 % del total de las emisiones fugitivas analizadas y es justificable, consideramos que estos poseen un techo flotante, que se coloca directamente sobre la superficie del líquido permitiendo que se desplace según las variaciones del nivel del líquido, siendo una barrera que disminuye el escape de vapores de gasolina producto de la operación de llenado y descarga de los tanques (US EPA, 1995b).

Es importante señalar que existen diversos métodos para estimar la tasa de emisión de los vapores

de COV, que varían según su grado de confiabilidad y costo, siendo el monitoreo continuo de las emisiones generadas ideal desde el punto de vista de confiabilidad, pero incorporando los mayores costos de implementación. Sin embargo, el uso de factores de emisión nos permite realizar una primera estimación de los valores esperados (Carmona *et al.*, 2016) y es justificable, si se considera el control continuo de las calidades de las gasolinas y los procedimientos establecidos por la empresa durante el desarrollo de la operación de carga de producto limpio en el Plantel El Alto.

Selección del sistema de tratamiento

Para la selección adecuada del sistema de tratamiento de emisiones de COV, se tomó el valor estimado de flujo de volumétrico de vapores de gasolina que se genera durante el proceso de carga de camiones cisterna, que corresponde a 54 m³/h y se ubicó dentro de los rangos aplicables de flujo para cada tecnología existente de acuerdo con los parámetros establecidos en la tabla 5.

Se optó por la criocondensación como la tecnología de recuperación de vapores de gasolina para el Plantel El Alto, ya que de acuerdo con el análisis realizado por Cordero (2013), el nitrógeno empleado como refrigerante es muy eficiente y no es una sustancia agotadora de la capa de ozono a diferencia de los refrigerantes comúnmente utilizados en los sistemas de condensación convencionales. Además, es una tecnología compacta, posee

Tabla 5. Características generales de los sistemas de tratamiento de emisiones de COV

Sistema de tratamiento	Eficiencia promedio	Rango de aplicación (m ³ /h)	Concentración (g/m ³)	Presión (atm)
Separación con membranas selectivas	90-99,9 %	10-100	No reportado	No reportado
Condensación	50-98 %	100-100 000	50-100	No reportado
Criocondensación	95-99,95 %	10-10 000	2-50	0,02 -20
Adsorción regenerativa	95-99,99 %	100-100 000	0,1-10	1 -20
Absorción	95-99,99 %	100-100 000	10-50	No reportado

Fuente: Jiménez (2007).

una alta eficiencia para la recuperación de COV y permite reciclar el nitrógeno gaseoso. También, es importante considerar algunas atenciones durante la implementación de este sistema de recuperación; por ejemplo, se requiere de etapas de tratamiento previas para eliminar la humedad que puede estar presente en la corriente de gases a recuperar para evitar la formación de hielo dentro del intercambiador, y es necesario contar con un proveedor de nitrógeno líquido.

CONCLUSIONES

Las estimaciones realizadas y la caracterización de los diferentes combustibles permiten concluir que las gasolinas regular y súper son los productos que presentan mayor volatilidad, debido a que se reportan valores de PVR cercanos a 9 psi.

La generación de vapores orgánicos volátiles en el Plantel El Alto, es mayor en el área de cargaderos que en los tanques de almacenamiento, ya que las emisiones corresponden a un 95 % y un 5 % del total, respectivamente.

La masa de emisión de COV durante la carga de las gasolinas regular y súper fue de 281 ton/año. Mientras que la emisión anual total en los tanques de almacenamiento fue de 16,3 ton/año. Estos hallazgos son coherentes con los resultados planteados por Evequoz *et al.*, (2005); Stiver y Mackay (1984), y el Instituto Mexicano del Petróleo (2002).

Para disminuir las emisiones directas a la atmósfera durante la carga de los tanques cisterna, se deben realizar los cambios necesarios en las cisternas para adaptarlos al sistema de carga por debajo, ya que este es hermético y permite enviar los vapores de gasolina que se generan por la presencia de producto residual en las paredes de los camiones y por la turbulencia que se provoca durante la carga del nuevo producto, a la unidad de recuperación de vapores que se instale.

Se seleccionó la criocondensación como la tecnología de tratamiento de vapores de gasolina más apropiada para el Plantel El Alto, ya que es una

tecnología compacta, posee una alta eficiencia para la recuperación de COV y permite reciclar el nitrógeno gaseoso.

Se recomienda realizar mediciones directas con equipos especializados en la zona de cargaderos para determinar un flujo volumétrico de la corriente gaseosa por tratar y concentración de COV que sea más representativo en el momento que se dimensiona el sistema de recuperación de vapores.

FINANCIAMIENTO

Esta investigación es parte del proyecto de investigación y desarrollo denominado "Diseño de un sistema de control de pérdidas de COV para reducir el impacto ambiental de las emisiones fugitivas en los patios de trasiego del Plantel de Recope Ochomogo", financiado por la Refinería Costarricense de Petróleo (Recope) y el Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC). Los autores agradecen a todas las personas u organizaciones que colaboraron de alguna manera para el desarrollo de este proyecto.

REFERENCIAS

- Arango G., J., Sierra V., F.E. y Silva L., V. (2014). Análisis exploratorio de investigaciones sobre los motores de combustión interna que trabajan con biogás. *Tecnura*, 18(39), 152-164.
- Cárdenas F., H. (2009). Consideraciones del material particulado en Bogotá. Alternativas tecnológicas de medición de calidad de la calidad del aire. *Tecnura*, 13(25), 107-118.
- Carmona A., L., Rincón P., L., Castillo R., A., Galvis R., B., Sáenz P., H., Manrique F., R. y Pachón Q., J. (2016). Conciliación de inventarios top-down y bottom-up de emisiones de fuentes móviles en Bogotá, Colombia. *Tecnura*, 20(49), 59-74.
- Cordero, L. (2013). *Propuesta del sistema de tratamiento de emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV), en el plantel de Recope ubicado en El Alto de Ochomogo*. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

- Dirección Sectorial de Energía (2008). *Plan Nacional de Energía 2008-2021*. San José: Sistema de Información Energética Nacional.
- Evequoz, O., Sbarato, D., Koroch, A., Rivarola, E., Sbarato, V., Ortega, J., Salort, M. y Campos, M. (2005). *Pérdidas evaporativas por almacenamiento y distribución de combustibles en estaciones de servicio. Análisis de su problemática y propuesta de marco regulatorio local*. Córdoba: Centro de Información y Documentación Regional, Universidad Nacional de Córdoba.
- Instituto Mexicano del Petróleo (2002). *Contribution of the Gasoline Distribution Cycle to Volatile Organic Compound Emissions in the Metropolitan Area of Mexico City*. Recuperado de <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/10473289.2002.10470803>
- Jiménez, J. (2007). *Análisis de la problemática de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles en un centro de refino*. Sevilla: Escuela Técnica Superior de Ingeniería.
- Randian International LLC (1997). *Cuaderno de trabajo para la capacitación avanzada en la metodología para el proyecto del inventario de emisiones de México*. México.
- Real Decreto 117 de enero de 2003. *Sobre limitación de emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes en determinadas actividades*. Madrid. Recuperado de <http://www.istas.net/risctox/abreenlace.asp?idenlace=2926>
- Refinadora Costarricense de Petróleo (Recope) (2007). *Instructivo para la revisión de camiones cisterna que ingresan al plantel*. AF-04-03-001. Cartago.
- Refinadora Costarricense de Petróleo (Recope) (2011). *Manual de productos*. Recuperado de <https://www.recope.go.cr/manual-de-productos/>
- SEMARNAT (1998). *Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México*. Recuperado de <http://148.206.53.231/UAM7190.PDF>
- Stiver, W. y Mackay, D. (1984). Evaporation rate of spills of hydrocarbons and petroleum mixtures. *Environmental Science & Technology*, 18(11), 834-840.
- United States Environmental Protection Agency (US EPA) (1995a). *AP-42 Compilación de factores de emisión de contaminantes atmosféricos*. Recuperado de <https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/>
- United States Environmental Protection Agency (US EPA) (1995b). *Tanques de almacenamiento de líquidos orgánicos*. Carolina del Norte.
- United States Environmental Protection Agency (US EPA) (1996). *Programa TANKS 3.0*. Carolina del Norte: Oficina de Calidad del Aire.
- United States Environmental Protection Agency (US EPA) (1999). *Sección 3. Controles de COV*. Carolina del Norte. Recuperado de <http://www.epa.gov/ttn/dir2/cs3-1ch1-s.pdf>





Evaluación del riesgo por deslizamiento de una ladera en la ciudad de Tijuana, México

Landslide risk assessment of a slope in Tijuana city, Mexico

Aldo Onel Oliva González¹, Romel Jesús Gallardo Amaya²

Fecha de recepción: 25 de mayo de 2017

Fecha de aceptación: 28 de noviembre de 2017

Cómo citar: Oliva G., A.O. y Gallardo A., R.J. (2018). Evaluación del riesgo por deslizamiento de una ladera en la ciudad de Tijuana, México. *Revista Tecnura*, 22(55), 34-50. <https://doi.org/10.14483/22487638.12063>

Resumen

Contexto: La reducción del riesgo y prevención de eventos desastrosos producidos por deslizamientos de tierra en laderas urbanas requiere de una evaluación integral que considere los factores condicionantes y desencadenantes de carácter natural y antrópico. Dicha evaluación constituye una valiosa herramienta de prevención/mitigación para las comunidades en riesgos y para las autoridades competentes.

Método: En este trabajo de investigación se estudió y aplicó una metodología general para evaluar el riesgo por deslizamiento de una ladera urbana, considerando la interrelación entre la amenaza y vulnerabilidad física existentes en la zona de estudio. La amenaza se determinó a través de métodos probabilísticos y determinísticos; mientras que la vulnerabilidad de los elementos expuestos se obtuvo considerando los tipos de edificaciones y su distribución espacial, el estado de integridad estructural, la profundidad de las cimentaciones y el volumen probable de la masa de terreno inestable.

Resultados: Se obtuvieron factores de seguridad por debajo de los aceptables para garantizar la estabilidad de la ladera objeto de estudio, y los factores de valuación del análisis cualitativo indican que la

ladera es inestable y requiere de atención urgente. Lo anterior confirma y valida la alta probabilidad de ocurrencia de deslizamientos en la zona, obtenida de los registros históricos.

Conclusiones: Se encontró que el riesgo por deslizamiento de la ladera es alto debido a la elevada probabilidad de ocurrencia, con tres posibles direcciones de movimiento que pueden impactar varias edificaciones que se encuentran en la zona. La evaluación constituye una herramienta de trabajo para las instituciones y autoridades que tienen como misión reducir el riesgo por deslizamientos, como forma de prevenir y mitigar eventos generadores de desastres.

Palabras clave: amenaza, análisis de estabilidad, deslizamiento de ladera, riesgo, vulnerabilidad.

Abstract

Context: Risk reduction and prevention of disasters events produced by landslides on urban slopes, requires an integral assessment considering conditioning and triggering natural and human factors. Such an assessment is a valuable prevention and mitigation tool for communities under risk and also for authorities involved in the process.

Method: In this research, a general methodology for the assessment of landslides on an urban slope was

1 Ingeniero civil, especialista en Geotecnia, doctor en Ingeniería. Docente e investigador de la Universidad de las Californias Internacional. Tijuana, México. Contacto: aldo.oliva@udc.edu.mx

2 Ingeniero civil, especialista en Ingeniería Ambiental, magíster en Geotecnia. Docente e investigador del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Ocaña, Colombia. Contacto: rjgallardo@ufps.edu.co

studied and applied, considering the relationship between hazard and physical vulnerability in the zone of study. Hazard was determined by probabilistic methods, whereas vulnerability of the exposed elements was obtained taking into account two kinds of buildings and their spatial distribution, their structural integrity state, their foundation depth and the unstable terrain probable mass volume.

Results: Safety factors were obtained under allowable levels to warrant stability of the slope under study, and valuation factors of the qualitative analysis indicate that the slope is unstable and that requires urgent maintenance. This confirms and validates the

high probability of occurrence in the zone, obtained from historic records.

Conclusions: It was found that landslide risk in the slope is high due to the high probability of its occurrence, with three possible movement directions that may impact on several buildings located in the zone. Assessment constitutes a work tool for institutions and authorities related with risk reduction due to landslides, as a way of prevent and mitigate disaster prone events.

Keywords: hazard, stability analysis, landslide, risk, vulnerability.

INTRODUCCIÓN

Para que en una ladera se generen deslizamientos se debe materializar la acción conjunta de factores geológicos, hidrológicos y geomorfológicos, y la alteración de estos por procesos geodinámicos, presencia de vegetación y de actividad antrópica, así como por la frecuencia e intensidad de fenómenos naturales como terremotos y precipitaciones. Además, en la ocurrencia de los deslizamientos se presenta mucha incertidumbre debido a que estos pueden tener diversas formas de falla, velocidad de movimiento y diversas condiciones de los materiales de la ladera. A esto se suma el hecho de que los parámetros y modelos matemáticos usados para el análisis de estabilidad, también tienen incertidumbre (Morgenstern, 1997).

Lo anterior hace que el valor del factor de seguridad de una ladera, obtenido como forma de evaluar su estabilidad, pueda ser más o menos confiable en función de considerar (o no) los mencionados factores de incertidumbre.

El riesgo producido por deslizamientos depende de la amenaza y la vulnerabilidad y puede expresarse según la ecuación (1).

$$R_{te} = f(A_i \cdot V_e)_t \quad (1)$$

La anterior ecuación significa que, si conocemos la amenaza dada por la probabilidad de que se presente un deslizamiento con cierta intensidad durante un periodo de tiempo específico, y la vulnerabilidad, entendida como la predisposición de los elementos expuestos a sufrir daños ante la ocurrencia del suceso, se puede determinar el riesgo, como la probabilidad de que se presenten pérdidas en los elementos expuestos.

La probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento puede variar entre 0 y 1. Donde el valor *cero* expresa la imposibilidad de que ocurra el evento y *uno* es la certeza. Dicha probabilidad se puede expresar de acuerdo con lo recomendado por IUGS Working Group on Landslides Committee on Risk Assessment (1997), en función de:

- La cantidad de deslizamientos en un año que pueden ocurrir en el área objeto de estudio.
- La probabilidad de que en una ladera se presenten deslizamientos en un periodo dado.
- Las fuerzas desequilibrantes que exceden las fuerzas estabilizadoras en términos de probabilidad, sin considerar una frecuencia anual (factor de seguridad).

En este trabajo se aplican métodos y procedimientos de análisis para evaluar el riesgo generado

por el posible deslizamiento de una ladera urbana en la ciudad de Tijuana, México.

Antecedentes

Los deslizamientos de laderas en la ciudad de Tijuana se presentan repetidamente en distintas zonas del área urbana, causando la destrucción total y parcial de gran cantidad de viviendas e infraestructuras. Debido al crecimiento urbano no planificado e incontrolado de las últimas décadas, más del 30 % de la población vive en terrenos inestables y poco resistentes ubicados en lomeríos con laderas de grandes pendientes. Esto, unido a la complejidad geológica y geotécnica y a la fuerte actividad tectónica de la región, hace que la inestabilidad de laderas sea una amenaza permanente y que el riesgo de ocurrencia de movimientos de

masas de suelo y rocas alcance niveles difíciles de predecir (Oliva *et al.*, 2014).

METODOLOGÍA

La zona objeto de estudio es la urbanización Lomas Conjunto Residencial, seleccionada debido a la aparición, en agosto de 2011, de una fractura en forma de grieta semicircular que parece indicar el inicio de un deslizamiento de ladera (figura 1).

El presunto movimiento del terreno, afectó directamente varias estructuras ubicadas en las inmediaciones de la fractura (figura 2). Según reportes de la Dirección Municipal de Protección Civil de Tijuana (DMPCT), existen antecedentes de movimientos de laderas en sitios cercanos, que han dañado severamente viviendas de urbanizaciones ubicadas en los sectores sur y suroeste de la zona de estudio.



Figura 1. Zona de riesgo potencial por deslizamiento

Fuente: adaptado de Google Earth.

Ubicación y características del sitio

El área de estudio se ubica en el centro-sur de la ciudad de Tijuana y en el sector norte de la urbanización Lomas Conjunto Residencial, en la delegación La Mesa (figura 3). Se localiza en las coordenadas $32^{\circ} 29'15,65''$ y $116^{\circ} 57'29,34''$ (WGS84).

Caracterización del área de estudio

En esta etapa se realizaron los siguientes trabajos:

- Levantamiento topográfico del sitio para caracterizar geoméricamente el área afectada (o de potencial afección) y determinar con precisión: alturas, pendientes y formas de los taludes y laderas que fueron considerados en el posterior análisis de la estabilidad. Además, se realizó una cartografía de los agrietamientos geotécnicos y estructurales existentes.

- Estudios geológicos y geotécnicos que incluyeron la exploración y muestreo para caracterizar geológica y geotécnicamente el terreno en el área de estudio. Se obtuvieron perfiles estratigráficos del subsuelo y parámetros físico-mecánicos de los materiales. Además, se realizaron estudios geofísicos para corroborar algunos de los resultados obtenidos en las pruebas de campo y laboratorio.
- Instrumentación de dos sondeos para el monitoreo y control de movimientos horizontales mediante sonda inclinométrica.

Análisis de la estabilidad

En esta etapa se realizaron análisis cuantitativo y cualitativo de la estabilidad de la ladera objeto de estudio. El primero, mediante métodos de equilibrio límite y tensodeformacionales; y el segundo, utilizando factores de valuación.



Figura 2. Daños en edificaciones ubicadas en el área de estudio

Fuente: elaboración propia.



Figura 3. Ubicación del área de estudio

Fuente: elaboración propia.

Evaluación del riesgo

Para la evaluación, el riesgo fue considerado como una función de la amenaza, dada por la interrelación susceptibilidad/probabilidad de ocurrencia; y de la vulnerabilidad obtenida considerando la probabilidad de que el deslizamiento impacte a los elementos expuestos analizados y produzca daños en sus estructuras.

RESULTADOS

Topografía

Se realizó un levantamiento topográfico de la zona, se establecieron puntos de control para verificar movimientos del terreno y se obtuvieron perfiles topográficos representativos para generar los modelos geométricos utilizados en el análisis de estabilidad. En la figura 4 se muestra la planta topográfica y los perfiles utilizados en el análisis de la estabilidad.

Geología

En el área de estudio, las Formaciones San Diego y Otay se encuentran sobre la Formación Rosarito Beach y, en ocasiones, se observa la Formación Lindavista en las capas superficiales.

La Formación San Diego (Plioceno-Pleistoceno) se caracteriza por areniscas micáceas estratificadas con tonalidades gris claro y amarillo naranja. Intercaladas con estas areniscas se encuentran arenas con tamaños de partícula que van de finos a medios y conglomerados constituidos por gravas y boleos de tamaño variable.

La Formación Otay se considera del Plioceno, aunque algunos autores le han asignado edades miocénicas, como el equivalente lateral del sur de la Formación Rosarito Beach. Descansa sobre una superficie erosionada de rocas del Eoceno, está constituida por sedimentos de origen no marinos y reflejan la deposición en una cuenca alargada norte-sur. En el área de Tijuana, la Formación se caracteriza por la presencia de tobas arenáceas de

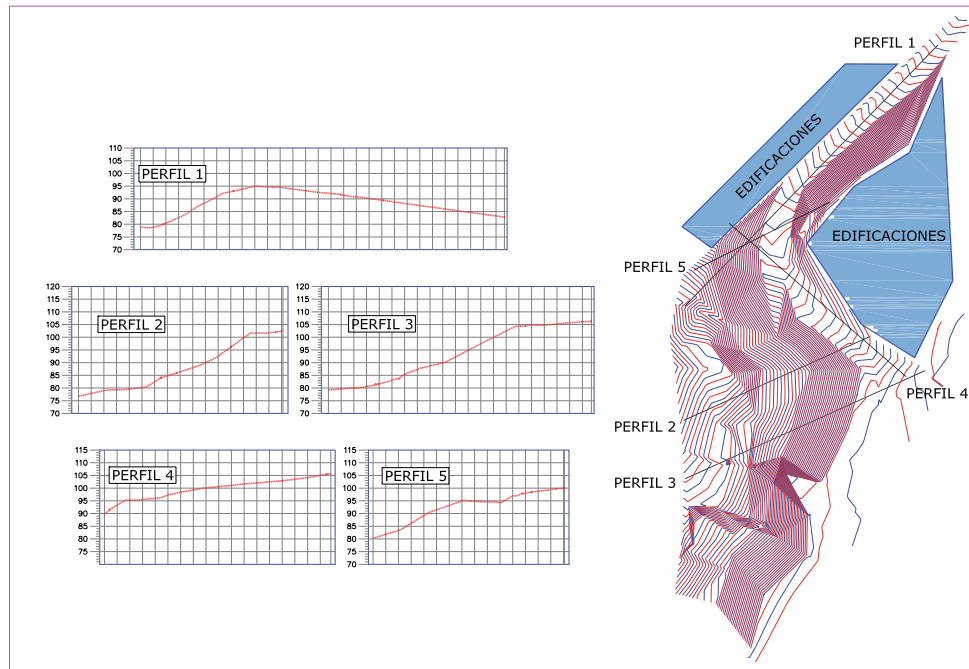


Figura 4. Planta y perfiles topográficos del área de estudio

Fuente: elaboración propia.

grano fino con arcilla muy impermeable de color café claro a gris que, a cierta profundidad, producen bloques litificados muy erráticos del mismo material.

La Formación Lindavista (Pleistoceno) está compuesta por areniscas y conglomerados de color café-rojizo; un alto porcentaje de clastos de material metavolcánico con cantidades menores de material riolítico y cuarcitas. Las arenas depositadas cerca de la línea de costa presentan una interstratificación de conglomerados con cementante ferruginoso, principalmente limonita.

Tectónica

La actividad sismotectónica en el norte de Baja California muestra cierta complejidad debido al contacto de tipo transcurrente entre las placas tectónicas de Norteamérica y Pacífico, así como a la existencia de varios grupos de fallas activas en la región (Suárez-Vidal *et al.*, 1991; Correa y Alfaro, 2011).

En el área objeto de estudio, el marco tectónico está condicionado por fallas que atraviesan las sierras peninsulares, como Agua Blanca, Ojos Negros y el sistema San Miguel-Vallecitos (figura 5), cuya actividad afecta directamente a la zona urbana de Tijuana (Cruz-Castillo, 2002; Cyment, 1979; Hung, 1997). La respuesta más común al marco tectónico dominante en la zona es la intensa actividad sísmica de forma perceptible e imperceptible (microsismicidad). Esta última puede ser indicativo de un proceso de movimientos en diferentes niveles de la corteza terrestre, que cuando rebasan ciertas magnitudes son agentes disparadores de los deslizamientos.

Geotecnia

Se realizaron dos sondeos mecánicos a una profundidad de 25 metros cada uno, en los cuales se hicieron pruebas de penetración estándar (SPT, por su sigla en inglés) y se tomaron muestras en cada metro de avance (figura 6). Dichas muestras fueron

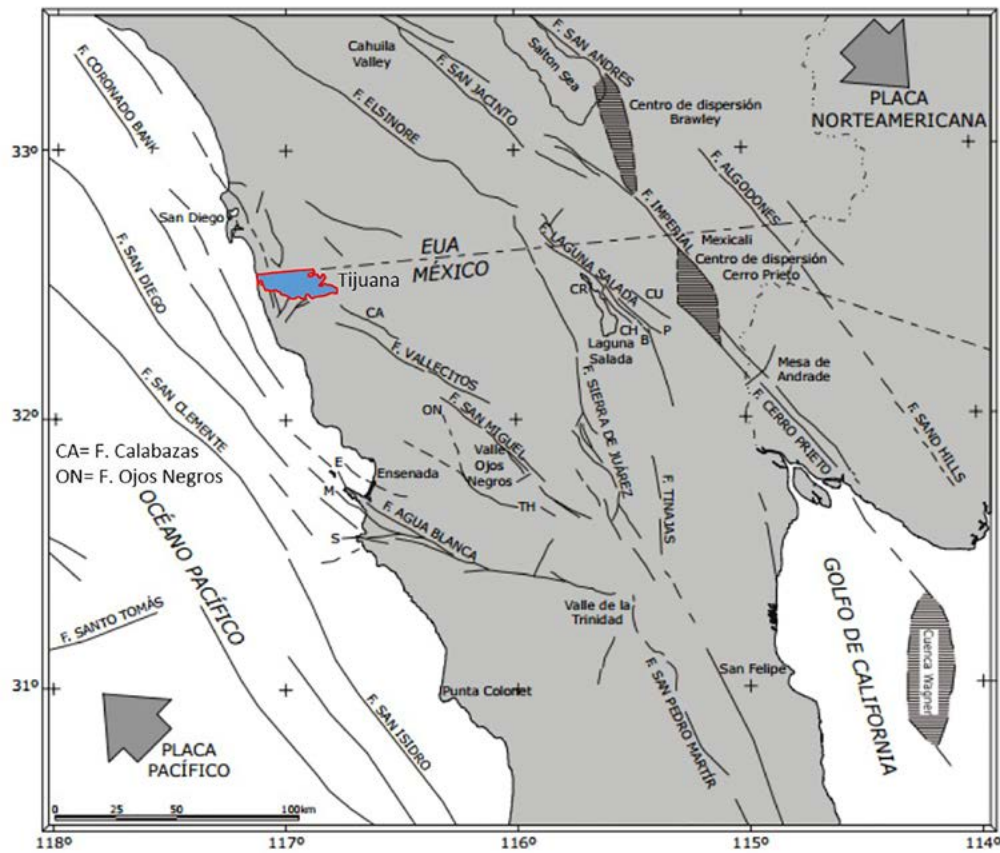


Figura 5. Situación sismotectónica de la ciudad de Tijuana

Fuente: modificado de Acosta-Chang *et al.* (2009) (Fondo Nacional para la Prevención de Desastres Naturales [FOPREDEN], 2012; Cruz-Castillo, 2002).



Figura 6. Ubicación de los sondeos

Fuente: elaboración propia.

sometidas a diferentes pruebas de laboratorio para obtener los parámetros físico-mecánicos de los materiales predominantes en el sitio.

La tabla 1 muestra las características principales de los materiales que conforman el perfil estratigráfico del área de estudio.

Análisis cuantitativo de la estabilidad

Tuvo por finalidad determinar los factores de seguridad críticos para las condiciones más desfavorables de equilibrio y sus respectivas superficies de rotura; así como los desplazamientos y vectores de movimientos del terreno en la ladera objeto de estudio. Se consideraron los esfuerzos estáticos

producidos por el peso propio del terreno y la condición dinámica debido a los sismos o microsismicidad característicos de la zona.

Para considerar el efecto de la sismicidad y evaluar su influencia en la formación de los agrietamientos existentes en la zona de estudio, se consideraron las aceleraciones generadas por sismos de magnitudes superiores a 3 grados, registrados en la región dos meses antes de la aparición de la fractura, así como las amplificaciones de dichas aceleraciones por efecto de sitio (Acosta-Chang et al., 2009).

La tabla 2 muestra los factores de seguridad mínimos obtenidos considerando los esfuerzos estáticos y dinámicos en la ladera.

Tabla 1. Perfil estratigráfico del área de estudio

Estrato	Espesor (m)	Descripción	Parámetros físico-mecánicos
Material 1	7,00 – 13,00	Conglomerados con boleas de tamaño variable en una matriz arenosa de grano medio a grueso (Formaciones Lindavista y San Diego).	Peso volumétrico = 19 – 20 kN/m ³ Ángulo de fricción = 35 – 38 ° Cohesión = 40 – 50 kN/m ² E = 291257 – 296160 kN/m ² G = 100027 – 101989 kN/m ² v = 0,45
Material 2	4,00 – 12,00	Tobas arenáceas de color café claro y gris; con arena fina, limos y arcilla (Formación Otay).	Peso volumétrico = 18 – 20 kN/m ³ Ángulo de fricción = 25 – 35 ° Cohesión = 20 – 25 kN/m ² E = 2450682 – 3176374 kN/m ² G = 845039 – 1095403 kN/m ² v = 0,45
Material 3	Más de 14,00	Tobas arenáceas compactas (Formación Otay)	Peso volumétrico = 18 – 20 kN/m ³ Ángulo de fricción = 25 – 35 ° Cohesión = 35 – 50 kN/m ² E = 24849075 – 51216220 KN/m ² G = 8568758 – 17660799 KN/m ² v = 0.45

E: módulo de elasticidad; G: módulo cortante y v: módulo de poisson.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Factores de seguridad mínimos

No. de perfil	Factor de seguridad estático	Factor de seguridad dinámico
1	2.160	1.094
2	1.930	0.994
3	2.288	1.136
4	2.295	1.285
5	1.988	1.076

Fuente: elaboración propia.

Los resultados indican que los perfiles 1, 2 y 5 alcanzan condiciones críticas de equilibrio ante el efecto de la sismicidad, siendo la condición más desfavorable de inestabilidad la del perfil 2. La figura 7 muestra el modelo de análisis del perfil 2, donde se observan las superficies de deslizamientos calculadas. La zona de color verde representa la masa de terreno con mayor probabilidad de falla

(factor de seguridad mínimo) y la de color rojo, otras posibles superficies de deslizamiento.

Un análisis tensodeformacional en el perfil 2 permitió obtener la variación del factor de seguridad en función de la aceleración sísmica y el comportamiento de los desplazamientos en la zona donde se encuentra la grieta (figura 8).

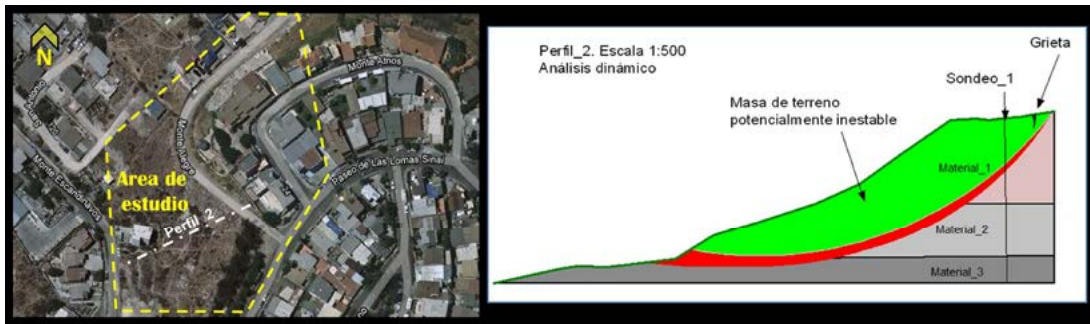


Figura 7. Resultados del análisis de estabilidad en el perfil 2

Fuente: elaboración propia.

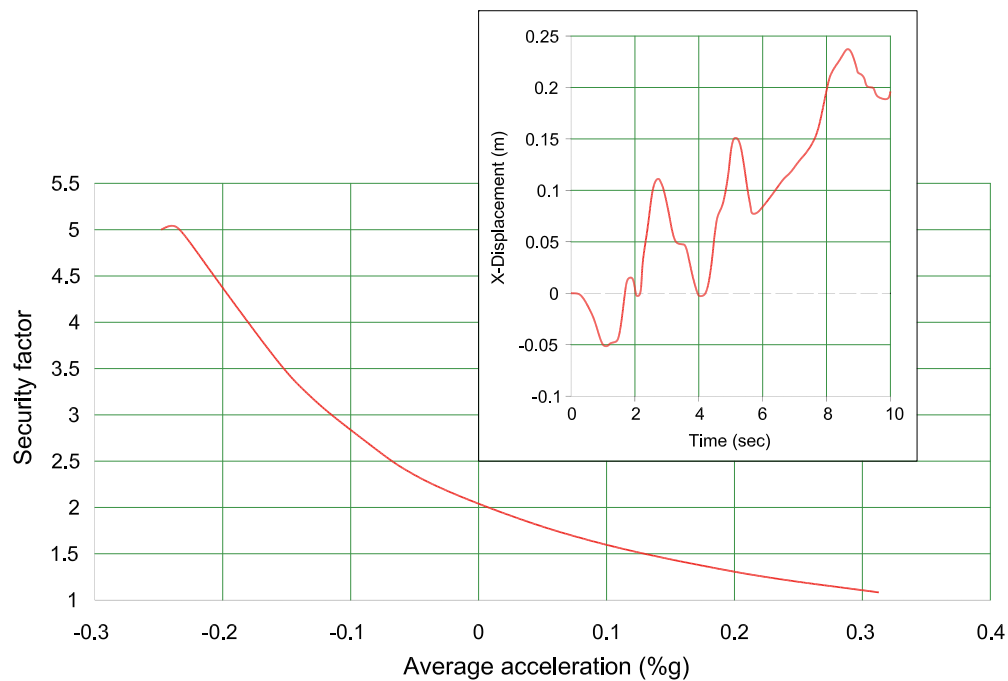


Figura 8. Factor de seguridad y desplazamientos en el entorno de la grieta (perfil 2)

Fuente: elaboración propia.

Análisis cualitativo de la estabilidad

Se realizó con el objetivo de evaluar la susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamientos en la zona de estudio, considerando la influencia de diversos factores condicionantes y desencadenantes de la inestabilidad. Para ello, se utilizaron los factores de valuación que se describen en la tabla 3 (Cuanalo, Oliva y González, 2007; Cuanalo, Oliva y Gallardo, 2012).

A los factores de valuación se le asignaron intervalos de valores ponderados comprendidos

entre 0 y 1, que indican su efecto sobre la estabilidad (Cuanalo, Oliva y González, 2007). El valor 0 corresponde a un efecto nulo o mínimo sobre la estabilidad (no influye o influye muy poco); y el 1 corresponde al de mayor impacto sobre la estabilidad (influye significativamente). La tabla 4 muestra los intervalos y niveles de influencia utilizados para evaluar la estabilidad.

Los resultados del análisis cualitativo de la estabilidad en la ladera de la zona de estudio se muestran en la tabla 5.

Tabla 3. Factores de valuación considerados en el análisis

Factor de valuación	Concepto	Obtenidos en función de:	
Dependiente de las características intrínsecas de la ladera	Morfología y topografía	Forma e inclinación de la ladera.	
	Mecánica de suelos	Suelos friccionantes	Inclinación de la ladera y ángulo de fricción interna.
		Suelos finos (limos y arcillas)	Inclinación de la ladera, altura, peso volumétrico y resistencia no drenada.
	Hidrogeología	Inclinación de la ladera y grado de saturación del suelo. Espesor del suelo.	
	Vegetación		Tipo de vegetación. Densidad de follaje. Área cubierta. Tipo de raíz.
Terremotos		Coefficiente sísmico.	
Erosión y socavación			Características del suelo superficial. Área de la cuenca. Características del sistema de drenaje.
	Actividad humana		Cortes o excavaciones. Sobrecargas. Deforestación.
		Superficie de rotura	Profundidad.
Dependientes del análisis cuantitativo de la estabilidad	Factor de seguridad	Valor.	

Fuente: Cuanalo, Oliva y González (2007).

Tabla 4. Intervalos y nivel de influencia de los factores de valuación

Factor de valuación	Nivel de influencia	Consideraciones
< 0,5	Bajo	No tiene problemas
0,5 ÷ 0,75	Medio	Requiere atención
> 0,75	Alto	Atención urgente

Fuente: Cuanalo, Oliva y González (2007).

Tabla 5. Evaluación cualitativa de la ladera objeto de estudio

Factor de valuación	Valor
Morfología y topografía	0,45
Mecánica de suelos	0,90
Hidrogeología	0,75
Vegetación	0,86
Actividad sísmica	1,00
Erosión y socavación	0,72
Actividad humana	0,70
Análisis cuantitativo de estabilidad	0,75
Factor general	0,766

Fuente: elaboración propia.

El factor de valuación general superior a 0,75 indica que los factores condicionantes y desencadenantes analizados tienen alto nivel de influencia

sobre la inestabilidad de la ladera, por lo que la situación requiere de atención urgente (tabla 4).

Instrumentación, monitoreo y control de movimientos

Para conocer la evolución y características de los movimientos horizontales en la ladera, se acondicionaron los dos sondeos mecánicos del estudio geotécnico con tubería inclinométrica de ABS, la cual se solidariza al terreno mediante inyección de lechada de cemento.

Las lecturas inclinométricas realizadas durante un año permitieron definir los límites de la masa de terreno con mayor probabilidad de inestabilidad y la tendencia de los movimientos (figura 9) (Valbuena, García y Granados, 2017).

**Figura 9.** Área de terreno inestable y tendencias de movimiento

Fuente: elaboración propia.

Evaluación del riesgo

Amenaza

La amenaza en la zona de estudio se evaluó considerando la probabilidad de que ocurran deslizamientos según los criterios: rango de frecuencia o periodo de retorno de los deslizamientos en la zona de estudio (tabla 6); y factores de seguridad obtenidos (tabla 7).

- *Rango de frecuencia*

La tabla 6 muestra una clasificación de la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos, en función del rango de frecuencia o periodo de retorno de los mismos en la zona de estudio.

Tabla 6. Escala de probabilidades recomendadas para magnitudes o intensidades de deslizamientos

Término	Rango de frecuencia (1/año)
Muy alta probabilidad	> 1/20
Alta	1/100 – 1/20
Media	1/500 – 1/100
Baja	1/2500 – 1/500
Muy Baja	< 1/2500

Fuente: Modificado de Hungr (1997).

Los registros de deslizamientos de laderas ocurridos en sitios cercanos al área de estudio, con similares características geológicas, geotécnicas, geomorfológicas y de actividad humana, indican que la frecuencia o periodo de retorno de deslizamientos en la zona es de uno en tres años (1/3), que es una probabilidad muy alta de ocurrencia.

El comportamiento de la probabilidad de ocurrencia será expresado matemáticamente mediante la ecuación (2).

$$P_x = 1 - (1 - P_a)^x \quad (2)$$

Donde,

P_a es la probabilidad para un período específico de tiempo (en nuestro caso, 1 año). En nuestra zona de estudio será 0,33.

P_x es la probabilidad a largo plazo.

x es un número dado de años.

- *Factores de seguridad*

Los factores de seguridad dinámicos obtenidos en el análisis cuantitativo de la estabilidad (tabla 2) indican que la amenaza de deslizamiento por efectos de la sismicidad en la mayoría de los perfiles estudiados es media-alta, según las escalas recomendadas en la tabla 7.

Tabla 7. Recomendaciones para evaluar la amenaza por deslizamientos

Amenaza	Factor de seguridad estático	Factor de seguridad dinámico
Baja	Superiores a 1,5	Superiores a 1,15
Media	Entre 1,2 y 1,5	Entre 1,0 y 1,15
Alta	Inferiores a 1,2	Inferiores a 1,0

Fuente: Modificado de Suarez (2012).

Los análisis anteriores permiten evaluar la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento en la zona como alta y considerar su valor igual a la probabilidad anual ($P_a = 0,33$).

Vulnerabilidad

Se refiere al grado de pérdida de los elementos en riesgo, como resultado de la ocurrencia probable de un deslizamiento en el área de estudio. Su valor representa el grado de pérdidas o nivel de daños potenciales de dichos elementos expuestos, y se expresa en una escala de 0 a 1.

Para evaluar la vulnerabilidad se consideraron las tres direcciones de posibles movimientos de la ladera y los daños que estos pueden producir en las edificaciones existentes en la zona de estudio, que constituyen los elementos expuestos (figura 10).

La tabla 10 muestra los elementos expuestos y sus vulnerabilidades físicas, obtenidas teniendo en cuenta el rango de pérdidas esperado por efecto espacial (Imiriland, 2002) y considerando la profundidad de las cimentaciones respecto a la profundidad del deslizamiento (Ragozin y Tikhvinsky, 2000).



Figura 10. Elementos susceptibles a sufrir daños por los movimientos de la ladera

Fuente: elaboración propia.

Tabla 10. Vulnerabilidad de los elementos expuestos

Dirección del movimiento (figura 10)	Elemento expuesto	Vulnerabilidad (V)
1	I	1
	II	1
	III	1
	IV	0,3
2	IV	0,7
	VII	0,5
	VIII	1
3	IX	0,7
	IV	1
	III	1
	VII	0,5
	II	0,5
	VI	0,3
	V	0,3

Fuente: elaboración propia.

Riesgos

Para evaluar el riesgo en la zona objeto de estudio, se consideraron: el riesgo específico $R(S)$; el valor del riesgo específico $R(SV)$; y el riesgo múltiple $R(M)$.

El riesgo específico (*specific risk*) es el grado de pérdidas o daños esperados en un elemento expuesto específico, como resultado del deslizamiento y se expresa según la ecuación (3).

$$R(S) = P(H) * V \quad (3)$$

Donde V es la vulnerabilidad del elemento expuesto.

El valor del riesgo específico (*value of specific risk*) consiste en las pérdidas o daños en un elemento expuesto específico (excluyendo la vida humana) como resultado de la ocurrencia de un deslizamiento y se expresa según la ecuación (4).

$$R(SV) = P(H) * (V \cdot E) \quad (4)$$

Siendo E el valor del elemento expuesto.

Cuantitativamente, $R(SV)$ se expresa en las mismas unidades que el término $V \times E$.

El riesgo múltiple (*multiple risk*) es el riesgo de más de un elemento expuesto ante un deslizamiento, o el de un elemento expuesto específico ante más de un movimiento.

En la tabla 11 se presenta la evaluación cuantitativa de los diferentes riesgos generados por el deslizamiento potencial de la ladera, en función de la amenaza y vulnerabilidad existentes.

En la figura 11 se presenta la estimación del comportamiento del riesgo en los elementos expuestos para la amenaza y vulnerabilidades existentes en el momento en que se hizo el estudio.

Tabla 11. Evaluación de riesgos en la zona de estudio

Dirección del deslizamiento (figura 10)	Elemento expuesto	Amenaza $P(H)$	Vulnerabilidad (V)	Valor del elemento expuesto E (USD)	$(V \times E)$	Riesgo específico $R(S)$	Valor del riesgo específico $R(SV)$	Valor del riesgo múltiple $R(MV)$
1	I	0,3	1	\$ 122.726,54	\$ 122.726,54	0,3	\$ 36.817,96	
	II	0,3	1	\$ 122.726,54	\$ 122.726,54	0,3	\$ 36.817,96	
	III	0,3	1	\$ 87.137,00	\$ 87.137,00	0,3	\$ 26.141,10	\$139.818,08
	IV	0,3	0,3	\$ 444.900,62	\$ 133.470,18	0,09	\$ 40.041,06	
	IV	0,3	0,7	\$ 444.900,62	\$ 311.430,43	0,21	\$ 93.429,13	
2	VII	0,3	0,5	\$ 87.137,00	\$ 43.568,50	0,15	\$ 13.070,55	
	VIII	0,3	1	\$ 122.726,54	\$ 122.726,54	0,3	\$ 36.817,96	\$161.616,41
	IX	0,3	0,7	\$ 87.137,00	\$ 60.995,90	0,21	\$ 18.298,77	
	IV	0,15	1	\$ 444.900,62	\$ 444.900,62	0,15	\$ 66.735,09	
	III	0,15	1	\$ 87.137,00	\$ 87.137,00	0,15	\$ 13.070,55	
3	VII	0,15	0,5	\$ 87.137,00	\$ 43.568,50	0,075	\$ 6.535,28	\$103.387,74
	II	0,15	0,5	\$ 122.726,54	\$ 61.363,27	0,075	\$ 9.204,49	
	VI	0,15	0,3	\$ 87.137,00	\$ 26.141,10	0,045	\$ 3.921,17	
	V	0,15	0,3	\$ 87.137,00	\$ 26.141,10	0,045	\$ 3.921,17	

Fuente: elaboración propia.

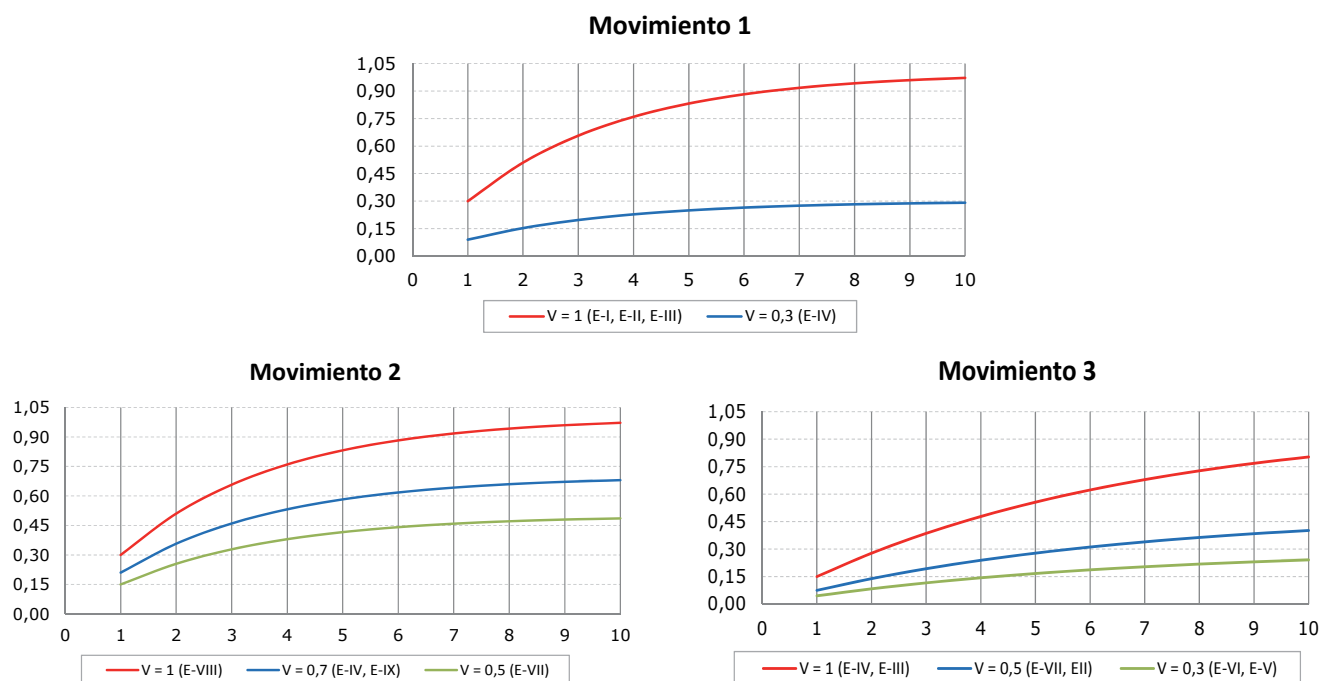


Figura 11. Comportamiento del riesgo de los elementos expuestos en las tres direcciones de movimiento esperadas

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

La frecuencia con que se presentan deslizamientos en sitios cercanos a la zona de estudio y con características geológicas, geotécnicas, geomorfológicas y de actividad humana similares, indican una alta probabilidad de ocurrencia de estos fenómenos. Lo anterior se confirma y valida en el análisis cuantitativo de la estabilidad, donde se obtienen factores de seguridad por debajo de los valores considerados aceptables; y con los resultados del análisis cualitativo, donde los factores de valuación indican que la ladera es inestable y requiere de atención urgente.

Los resultados del análisis de estabilidad en diferentes perfiles y las lecturas inclinométricas en los sondeos, indican que la ladera tiene tres direcciones posibles de movimiento, las cuales influyen de manera importante en la evaluación del riesgo.

Las edificaciones ubicadas en la zona con mayores probabilidades de sufrir daños, constituyen elementos expuestos al deslizamiento y su vulnerabilidad física varía entre 0,3 y 1, dependiendo del tipo y distribución espacial de las edificaciones, su estado de integridad estructural, profundidad de las cimentaciones en relación a la profundidad del deslizamiento, y del volumen probable de la masa de terreno inestable.

La existencia de una alta probabilidad de deslizamiento, tres posibles direcciones de movimiento y varias edificaciones expuestas al impacto de los mismos, genera riesgos múltiples altos que elevan significativamente el nivel de riesgo total en la zona.

Los resultados del estudio no solo permitieron identificar los factores condicionantes y desencadenantes de la inestabilidad en la ladera y sus influencias, sino que constituyen una valiosa

herramienta de trabajo para las instituciones y autoridades que tienen como misión reducir el riesgo por deslizamientos, como forma de prevenir, mitigar y corregir eventos generadores de desastres en las comunidades expuestas.

FINANCIAMIENTO

El artículo se deriva del proyecto de investigación “Diagnóstico, evaluación y modelación del riesgo por inestabilidad de laderas en el sector norte del Fraccionamiento Lomas Conjunto Residencial de la Delegación La Mesa, en la ciudad de Tijuana, Baja California, México”.

Entidad financiadora: Ayuntamiento de Tijuana.

Entidad que avala: Dirección Municipal de Protección Civil de Tijuana.

REFERENCIAS

- Acosta Chang, J., Arellano Zepeda, G., Ruiz Cruz, E., Mendoza Garcilazo, L., Reyes Serrano, R., & Rocha Guerrero, E. (2009). Microzonación sísmica en la zona urbana de Tijuana, BC. México: CICESE, Dirección Estatal de Protección Civil, FOPREDEN.
- Correa Leguizamón, M., y Alfaro Castillo, A. (2011). Necesidad de la revisión de los estudios de amenaza sísmica a raíz del sismo de Tohoku de 2011. *Tecnura*, 15(30), 82-93. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2011.2.a08>
- Cuanalo C., O.A., Oliva G., A.O. y González N., C. (2007). Estabilidad de laderas. Análisis mediante factores de valuación. *Revista IngeoPres*, (164), 38-44.
- Cuanalo C., O.A., Oliva G., A.O. y Gallardo A., R.J. (2012). *Inestabilidad de laderas: Procesos constructivos de estabilización. Análisis mediante factores de valuación*. España: Editorial Académica Española.
- Cruz-Castillo, M. (2002). Catálogo de las fallas regionales activas en el norte de Baja California, México. *GEOS, Unión Geofísica Mexicana*, 22, 37-42.
- Cyment, D. (1979). *The Human settlements on the San Andreas Fault*. Recuperado de https://books.google.com.co/books/about/The_Human_settlements_on_the_San_Andreas.html?id=UBVOAQAAIAAJ&redir_esc=y
- Fondo Nacional para la Prevención de Desastres Naturales. (2009). *Microzonificación sísmica de Tijuana*. Tijuana. Recuperado de <http://www.proteccioncivil.tijuana.gob.mx/pdf/planes/estudios/Informe%20Final%20de%20Microzonificacion%20Sismica%20de%20Tijuana%202009.pdf>
- Hungr, O. (1997). Some methods of landslide hazard intensity mapping. En *Landslide risk assessment. Proceedings of the international workshop on landslide risk assessment* (pp. 215–226). Honolulu: Balkema, Rotterdam.
- Imiriland. (2002). *Identification and Mitigation of Large Landslide Risks in Europe. Project Imiriland D 16. Relevant criteria to assess vulnerability and risk*. Recuperado http://drm.cenn.org/training_materials/Session%2005%20Vulnerability%20assessment.pdf
- IUGS Working Group on Landslides, & Committee on Risk Assessment. (1997). Quantitative risk assessment for slopes and landslides—The state of the art. En *Landslide risk assessment. Proceedings of the international workshop on landslide risk assessment* (pp. 15–23). Honolulu: Balkema, Rotterdam
- Morgenetern, N. R. (1997). Toward landslide risk assessment in practice. En *Landslide risk assessment. Proceedings of the international workshop on landslide risk assessment* (pp. 15–23). Honolulu: Balkema, Rotterdam.
- Oliva G., A.O. et al. (2014). Hillside instability in the Tijuana metropolitan area. Analysis of landslide-provoked building collapse. *Engineering Failure Analysis*, 46, 166-178. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2014.08.004>
- Ragozin, A.L. y Tikhvinsky I.O. (2000). Landslide Hazard, vulnerability and risk assessment. En E. Bromhead (ed.), *Landslides in Research, Theory and Practice* (pp. 1257-1262). Cardiff, Gales: Thomas Telford.
- Suarez, J. (2012). Deslizamientos. Análisis Geotécnico. Recuperado de <http://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico.html>

Suarez-Vidal, F., Armijo, R., Morgan, G., Bodin, P., & Gastil, R. G. (1991). Framework of Recent and Active Faulting in Northern Baja California: Chapter 16: Part III. Regional Geophysical and Geology (pp. 285-300). Tulsa, Oklahoma: AAPG Memoir.

García Ubaque, C., Valbuena Porras, S., & Granados Soler, M. (2017). Metodología para el monitoreo estructural y patológico de viviendas afectadas por deslizamientos. *Tecnura*, 21(52), 79-87. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2017.2.a06>





Determinación de los componentes entrópicos de la accidentalidad: el trinomio vehículo/usuario/camino en la metrópoli de Guadalajara, México

Determination of the entropic components of the accident: the trinomial vehicle-user-road in the metropolis of Guadalajara, Mexico

Fecha de recepción: 19 de septiembre de 2017

Fecha de aceptación: 28 de noviembre de 2017

Fernando García De Quevedo Najar¹, Mario Guadalupe Gonzalez Pérez²,
Yefer Asprilla Lara³

Cómo citar: García de Quevedo N. F., González P., M.G. y Asprilla L., Y. (2018). Determinación de los componentes entrópicos de la accidentalidad: el trinomio vehículo/usuario/camino en la metrópoli de Guadalajara, México. *Revista Tecnura*, 22(55), 51-65. <https://doi.org/10.14483/22487638.13245>

Resumen

Contexto: El reciente incremento de accidentes, percances o siniestros viales en los sistemas urbanos con características metropolitanas ha originado preocupación en las autoridades encargadas de planificar la movilidad y los subsistemas de transporte. Efectivamente, se tiene convergencia que la ocurrencia de este tipo de eventos se aleja de factores puramente estocásticos, que son resultado de anomalías asociadas con la interacción intrasistémica del vehículo, el usuario y el camino. En este sentido, el objetivo de este trabajo consiste en determinar por medio del análisis sistémico los componentes que están provocando entropía en la segunda metrópoli más importante de México.

Método: En este análisis se utilizan los preceptos de la teoría de los sistemas; de tal forma que a través de la triangulación de datos obtenidos *in situ* y solventados documentalmente se determinan los componentes causales de entropía intrasistémica. Para ello,

se elabora una derivación modificada del modelo presión/estado/respuesta que identifica la homeostasia en la que se encuentra el sistema urbano.

Resultados: Las altas tasas de exposición obliga al usuario a ocupar el subsistema vial por largos periodos de tiempo, lo cual detona en errores humanos voluntarios e involuntarios complementados con los requisitos laxos para la obtención de permisos de conducción. De aquí, los componentes que producen accidentes engloban en la parte camino a los pavimentos en mal estado, ausencia de señalización, diseño deficiente de intersecciones, entre otras; en la parte del vehículo, fallas mecánicas por vida útil de los componentes internos, marcos normativos flexibles, etc.; en la parte del usuario por incumplimiento de la normatividad, factores fisiológicos entre otros.

Conclusiones: Desde el análisis sistémico la movilidad es una temática de estudio valiosa para detectar los desequilibrios en el trinomio vehículo/usuario/

1 Ingeniero civil, *magíster in science in Civil Engineering*, estudiante de doctorado en Movilidad, Urbana, Transporte y Territorio, Universidad de Guadalajara. Profesor del Instituto Tecnológico de Monterrey. Guadalajara, México. Contacto: fdoquevedo@itesm.mx

2 Ingeniero civil, *magíster en Ingeniería Civil*, doctor en Ciudad, Territorio y Sustentabilidad. Profesor titular de la Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México. Contacto: mario.gonzalez@academico.udg.mx

3 Ingeniero civil, especialista en Infraestructura Vial y Transporte, *magíster en Ingeniería Civil*, estudiante doctorado en Movilidad, Urbana, Transporte y Territorio, Universidad de Guadalajara. Profesor asociado de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Contacto: yasprilla@udistrital.edu.co

camino (V-U-C), que nos lleven a generar medidas preventivas y correctivas que supriman la accidentalidad, la morbilidad y la mortalidad en la metrópolis; o en otros términos para reducir los niveles de entropía en el sistema.

Palabras clave: camino, entropía, negentropía, usuario, vehículo.

Abstract

Context: The recent increase in accidents, mishaps or road accidents in urban systems with metropolitan characteristics has caused concern in the authorities responsible for planning the issue of mobility and transport subsystems. Indeed, there is convergence that the occurrence of this type of events is away from purely stochastic factors, but are the result of anomalies associated with the intrasystemic interaction of the vehicle, the user and the road. In this sense, the objective of this work is to determine through systemic analysis the components that are causing entropy in the second most important metropolis in Mexico.

Method: In this analysis the precepts of systems theory are used; in such a way that through the triangulation of data obtained in situ and solved documentarily

the causal components of intrasystemic entropy are determined. To do this, a modified derivation of the Pressure-State-Response model that identifies homeostasis in the urban system is elaborated.

Results: The high exposure rates force the user to occupy the road subsystem for long periods of time, which triggers voluntary and involuntary human errors complemented by the lax requirements for obtaining driving licenses. From here, the components that produce accidents include in the road part the pavements in poor condition, absence of signaling, poor design of intersections, among others; in the vehicle part, mechanical failures due to the useful life of the internal components, flexible regulatory frameworks, and other; in the part of the user for breach of the regulations, physiological factors among others.

Conclusions: From the systemic analysis, mobility is a subject of valuable study to detect the imbalances in the trinomial Vehicle-User-Road (V-C-U), which lead us to generate preventive and corrective measures that suppress metropolitan accidents, morbidity and mortality in the metropolis; or in our terms to reduce entropy levels in the system.

Keywords: entropy, negentropy, road, user, vehicle.

INTRODUCCIÓN

Cotidianamente ocurren en el mundo cientos de miles de eventos relacionados con alguna anomalía en la interacción de los componentes intrasistémicos; a tal grado que, en el menor de los casos, la presencia de estos eventos genera costos económicos significativos en la infraestructura de transporte; sin embargo, también se tienen costos sociales de complejas magnitudes asociadas a la cuantificación y cualificación de lesionados y decesos. En este sentido, el accidente puede representar un “hecho no planeado ni controlado” (Mangosio, 2002). Sin embargo, según algunas posturas estos eventos no son aleatorios, sino que se deben a un conjunto de posibles combinaciones de

los elementos asociados con el trinomio vehículo/usuario/camino (VUC).

En función de lo anterior, la figura 1 muestra las cifras de la Organización Mundial de la Salud (2016) relacionada con el número de decesos por accidentes viales a nivel global.

Efectivamente, es posible observar en la figura anterior que aparentemente México, Brasil y algunos países adyacentes a este último, contenían índices importantes de mortalidad por accidentalidad vial en América Latina; sin embargo, al introducir el concepto de tasa de mortalidad por cada 100.000 habitantes, el panorama latinoamericano se vuelve alarmante en países como Ecuador, Bolivia o Paraguay; toda vez que conforme con la tabla 1 evidencian entropías en la interacción

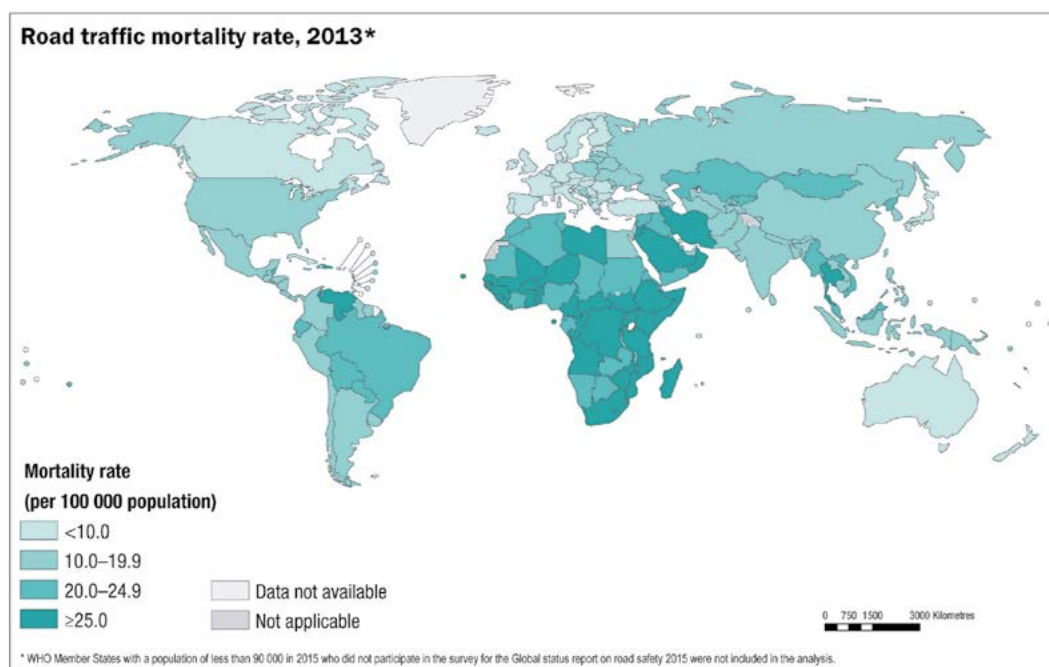


Figura 1. Número de decesos totales en accidentes de tránsito por país para el año 2013

Fuente: OMS (2016).

intrasistémica de los componentes constituyentes de la movilidad urbana.

De acuerdo con los datos de la OMS (2016), en Ecuador, Bolivia o Paraguay, la tasa de mortalidad por accidentes de tránsito contrastaba en 2013 con los indicadores de México, Chile y Argentina, los cuales muestran las menores tasas de mortalidad

para 2013; no obstante, estos países aún se encuentran lejos de mostrar políticas públicas exitosas en la prevención de accidentes, como sí ocurre en Dinamarca, Noruega, Suecia, Inglaterra y otros, donde las tasas son iguales o menores a 6 decesos por cada 100.000 habitantes, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 1. Índice de mortalidad en algunos países de América Latina para el año 2013

País	Número de decesos	Tasa de mortalidad (%)
Argentina	5619	13,6
Bolivia	2476	23,2
Brasil	46935	23,4
Chile	2179	12,4
Colombia	8107	16,8
Ecuador	3164	20,1
México	15062	12,3
Paraguay	1408	20,7
Perú	4234	13,9
Uruguay	567	16,6
Venezuela	No hay datos	No hay datos

Fuente: elaboración propia con datos de la OMS (2016).

Tabla 2. Índice de mortalidad en algunos países desarrollados para el año 2013

País	Número de decesos	Tasa de mortalidad (%)
Alemania	3540	4,3
Australia	1252	5,4
Austria	455	5,4
Canadá	2114	6,0
Dinamarca	196	3,5
Francia	3268	5,1
Inglaterra	1827	2,9
Italia	3721	6,1
Japón	5971	4,7
Noruega	192	3,8
Suecia	272	2,8

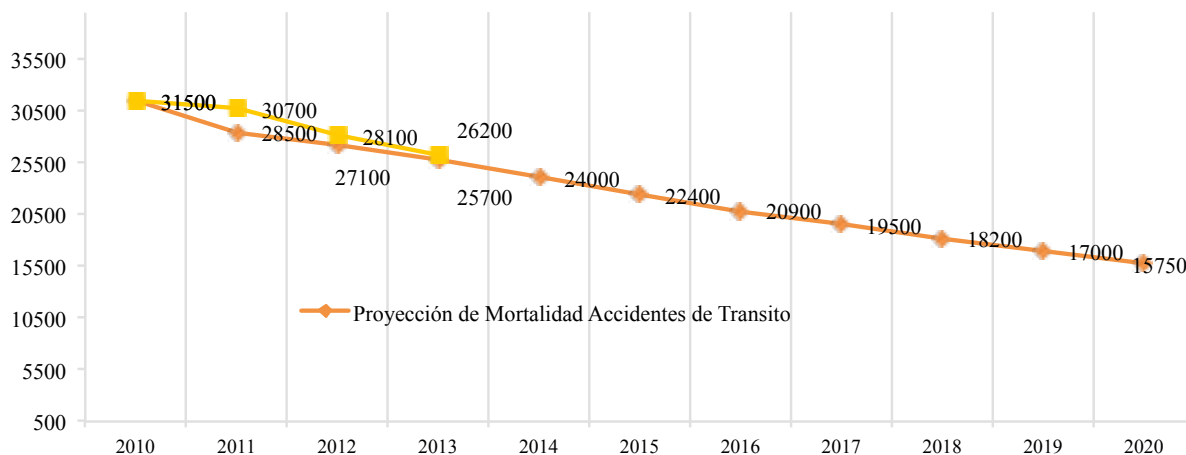
Fuente: elaboración propia con datos de la OMS (2016).

En la mayoría de los países europeos se han implementado políticas públicas tendientes al desarrollo de hábitos de movilidad para la prevención de accidentes y la mitigación de morbilidad y mortalidad. En este sentido, en una prospección de la Comisión Europea (2014) desde 2010 hasta 2020, la tendencia de la mortalidad se torna decreciente (figura 2).

En el caso de México, el estado de Jalisco ha generado altas tasas de accidentalidad, morbilidad y mortalidad, las cuales están por encima de la media nacional mexicana respecto a estados que

tienen mayor población y parque vehicular, como el Estado de México o la Ciudad de México. De acuerdo con el Secretariado Técnico del Consejo Nacional de Prevención de Accidentes (STCON-APRA), en 2015, la media de tasa de mortalidad fue de 14,6 y 13,4 defunciones por cada 100.000 habitantes en el país, mientras que en el estado de Jalisco se tuvieron tasas de mortalidad de 19,5 y 17,2. En este sentido, Ciudad de México presentó tasas inferiores, con el 8,7; casi la mitad de las presentadas por el estado de Jalisco (figura 3).

Figura 2. Prospección 2010-2020 de la mortalidad por accidentes viales en Europa



Fuente: Comisión Europea (2014)

Por otro lado, el área metropolitana de Guadalajara perteneciente al estado de Jalisco, en los últimos años ha experimentado un descenso en las tasas de accidentalidad pasando de 15,40 fallecidos por cada 100.000 habitantes en 2012 a 10,88 en 2016, como se indica en la figura 4. Lo anterior se explica debido a la introducción de control en la velocidad a través de radares y del programa conocido como “Torito” que realiza una inspección de alcoholimetría en los principales ejes viales de la metrópoli.

Estudios realizados en Suecia, Inglaterra, Holanda, Estados Unidos, Australia y Nueva Zelanda, muestran que, a mayores tasas de motorización, existe un grado mayor de exposición a los accidentes (Marchesini y Weijermars, 2010; Johnston, 2010). Esto es evidente en Estados Unidos donde aún se mantienen altas tasas de mortalidad y morbilidad en accidentes de tránsito. Asimismo, Collazos (1982) encontró que Colombia, en una década, el parque vehicular había crecido casi dos



Figura 3. Tasa de mortalidad por entidad federativa en México en 2015

Fuente: STCONAPRA (2017).

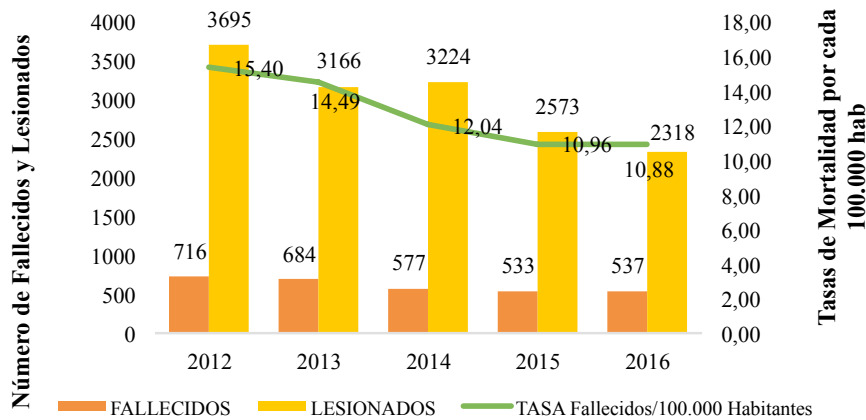


Figura 4. Fallecidos y lesionados por accidentes viales en el AMG 2012-2016

Fuente: elaboración propia, con datos de la SEMOV Jalisco 2017

y media veces y el número de defunciones en accidentes de tránsito en más del 100 %.

En función de lo anterior, la Administración Federal de Carreteras (FHWA) realizó hace cerca de cuatro décadas un estudio exhaustivo de causalidad de accidentes de vehículos, y determinó que los errores humanos o deficiencias fueron la causa definitiva entre el 90 % y el 93 % de todos los casos analizados (Centro de Estudios para el Internet y la Sociedad de la Facultad de Derecho de la Universidad de Stanford, 2013). De igual forma, Hatakka *et al.* (2002) observaron que la participación de conductores inexpertos está asociada a un mayor número de accidentes de tránsito. Por su parte, Gregersen *et al.* (2000) también encontraron que retrasar permisos (licencias) para proveer mayores horas de práctica e incrementar las habilidades de manejo hasta convertirse en destreza, representa una disminución de accidentes en conductores inexpertos.

No obstante, varios años antes en Japón, Renge (1983) encontró una relación semejante a la encontrada en los países escandinavos; ya que, a mayores horas de práctica para la obtención de la licencia de manejo, se observó una disminución en accidentes y violaciones a las leyes de movilidad. Sin embargo, los conductores más hábiles que eran capaces de aprobar los requisitos de licenciamiento con pocas horas de práctica se ven comúnmente involucrados en accidentes e infracciones, lo que demuestra que el desarrollo del hábito de conducción segura es insuficiente con poca supervisión y práctica.

El Centro de Investigación de Accidentes de la Universidad Monash, en Australia (2005) identifica al error humano y a las capacidades disminuidas como el principal factor de accidentes con un valor del 95 % en todos los choques y accidentes estudiados. Otro estudio publicado en Estados Unidos en 2001 reporta que los errores en el comportamiento humano fueron los causantes del 99 % de todos los choques de vehículos investigados (Centro de Estudios para el Internet de la Facultad de Derecho de la Universidad de Stanford,

2013). En el caso de México, Cuevas, Pérez, Mayoral y Mendoza (2012) del Instituto Mexicano del Transporte reportaban que el error humano fue el causante de accidentes viales en un 73 % a nivel nacional.

De Quevedo, Asprilla y González (2017) comentan que la carente planificación sistémica en la metrópoli de Guadalajara ha generado un escenario complejo con elementos que determinan en términos inciertos la morfología; sobre todo, porque la movilidad de los habitantes está supeditada al automóvil y a los autobuses públicos de bajo volumen, los cuales han contribuido con grandes externalidades (accidentalidad, mortalidad, morbilidad, congestión vial, entre otras). En este sentido, el objetivo de este trabajo consiste en determinar por medio del análisis sistémico los componentes que están provocando entropía en la metrópoli de Guadalajara, México; para ello se hace énfasis en las determinantes del vehículo, usuario y camino. Esto con la intención de incidir en la adopción de mejores prácticas de prevención vial, tanto para tomadores de decisión, planificadores y población usuaria.

METODOLOGÍA

De acuerdo con Leplat (1982) y Cuny (1979), “un accidente es un síntoma de disfuncionamiento de un sistema” (p. 300), o en otros términos de ciertas anomalías en la interacción intrasistémica del trío vehículo/usuario/camino. En este sentido, en las interfaces entre los sistemas donde se producen la mayor cantidad de accidentes, ambos autores sugieren analizar los componentes del sistema y, particularmente, las zonas de intersección o las denominadas interfaces. Adicionalmente, las condiciones medioambientales pueden presentarse en forma de condiciones atmosféricas o climáticas que afecten la percepción o el intercambio de información en el sistema, como lluvia, niebla, nieve, calor excesivo, cambio de condiciones diurnas a nocturnas, ruido, luces brillantes y otros (Cal y Mayor y Cárdenas, 2010).

Metodológicamente, el estudio se estructura en tres fases de análisis sistémico: a) análisis del vehículo, b) análisis del usuario y c) análisis del camino. Posteriormente, se aplica los fundamentos modificados del modelo presión/estado/respuesta (PER), identificando que la *presión* la ejercen los componentes entrópicos intrasistémicos en el trinomio vehículo/usuario/camino, que el *estado* es la homeostasis del sistema urbano o, en otros términos, las condiciones de accidentalidad y mortalidad, y la *respuesta* es el conjunto de acciones tendientes a reducir los niveles de entropía (componentes negentrópicos). Este modelo se fundamenta en las premisas del enfoque sistémico, con aplicabilidad en

problemáticas de orden medioambiental; por tanto, provee un marco descriptivo a través de un conjunto de indicadores de intervención para mitigar los impactos antrópicos ejercidos en el ambiente. Esta metodología fue implementada por la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (2002), con el objetivo de evaluar el estado del medio ambiente en sus países miembros (figura 5).

En este estudio se elabora un esquema considerando la estructura del modelo anterior: *presión*, *estado* y *respuesta*, pero trasladando la temática de la movilidad urbana y la accidentalidad en el sistema urbano de la metrópoli de Guadalajara, tal y como se muestra en la figura 6.

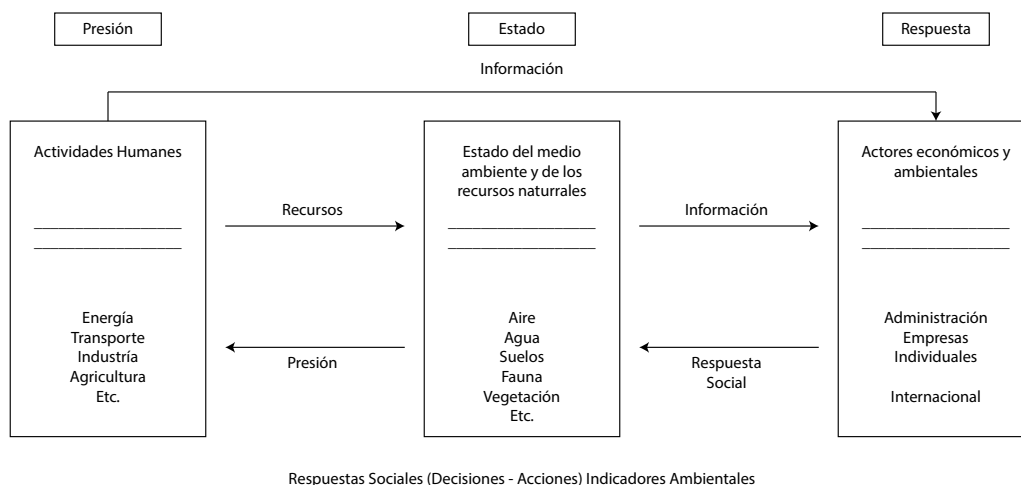


Figura 5. Estructura del modelo PER

Fuente: SIASEG (2012).

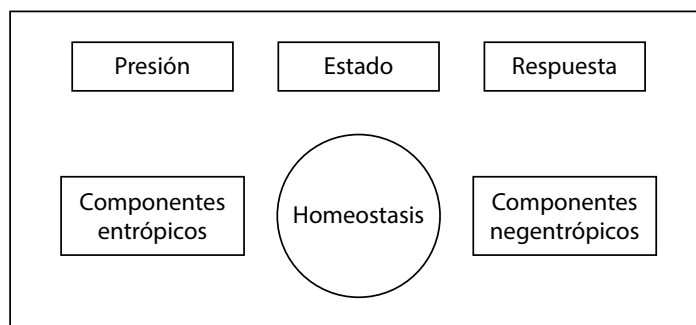


Figura 6. Esquema PER modificado

Fuente: elaboración propia.

RESULTADOS

Desde el punto de vista sistémico, el congestionamiento vial crónico como lo denomina ONU-Hábitat (2015). En la metrópoli de Guadalajara genera altas tasas de exposición que obliga a conductores y ocupantes de diversos modos de transporte a ocuparlos por largos periodos de tiempo, lo cual detona en errores humanos voluntarios e involuntarios asociados con el incremento de la velocidad, el sobre calentamiento del vehículo o el sistema de frenado necesario para proveer seguridad (García, Acosta y Flórez, 2015, p. 53). Sin embargo, el estado de Jalisco como la mayoría de los estados de México, tiene requisitos muy laxos para la obtención de una licencia de manejo de un automóvil.

Los requisitos se resumen en presentar documentación relacionada con la clave única de registro de población (CURP), identificación oficial, comprobante de domicilio y tipo de sangre. Adicionalmente, se requiere aprobar examen de conocimientos viales y examen práctico de manejo, y realizar el pago correspondiente (Gobierno del Estado de Jalisco, 2017). Sin embargo, no existen programas formativos formales de educación vial y el desarrollo de estas habilidades se da bajo la supervisión de padres, hermanos mayores, y para una minoría de la población por medio de instructores especializados que brindan sus servicios por medio de empresas privadas.

En la actualidad, los planes educativos no incluyen en ningún nivel cursos enfocados al desarrollo de habilidades para la movilidad; de tal forma que no sorprende que muchos conductores habituales no hayan alcanzado ni siquiera el nivel de habilidades de expertos presentado por Falkmer y Gregersen (2001). De aquí, se desprende que el desconocimiento de las leyes de movilidad y la falta de experiencia y como consecuencia de habilidades mínimas para la conducción estén ausentes y den como resultados causales que producen errores y accidentes, tal y como se observa en las figuras 7 y 8.



Figura 7. Invasión de ciclovías

Fuente: Periódico Máspermás (2016)



Figura 8. Obstrucción de acceso

Fuente: Nacho García (vía Twitter, 2017).

El error humano también está influenciado por el medio ambiente y el mantenimiento deficiente de la infraestructura como elemento básico. No obstante, en la metrópoli una grave problemática son los pavimentos en mal estado, que obligan a los conductores a reaccionar de manera imprevista para evitar daños a sus vehículos, por lo general, estas maniobras evasivas implican movimientos súbitos con invasión frecuente de otros carriles o frenadas de emergencia que ocasionan colisiones traseras. En la figura 9 se muestra un pavimento que exhibe grandes baches y deformación superficial.

En este orden de ideas, la metrópoli de Guadalajara aglutina en su extensa red vial casi dos millones de vehículos de pasajeros y de carga; y más de cinco mil autobuses urbanos. Según el Diario Oficial de la Federación (2012), el parque vehicular en México promedia los 16,3 años, lo cual representa una flota de vehículos envejecida en la cual la posibilidad de fallas en el elemento *máquina* sea algo muy factible; sobre todo, porque la mayoría de estos vehículos emplean sistemas de frenado de baja y media eficiencia (sistemas disco/tambor) aunado a sistemas de suspensión y

dirección con alto deterioro; inclusive, el equipamiento de sistemas de frenado antibloqueo (ABS), de asistencia al frenado (BAS), control de tracción y bolsas de aire todavía no es obligatorio ni siquiera en automóviles nuevos, conforme se puede observar en la figura 10.

Los efectos del uso de distractores en la movilidad constituyen en sí un cuerpo de conocimiento a ser desarrollado en extenso; sin embargo, algunas ciudades en México empiezan a arrojar ciertas cifras de esta perniciosa relación, por ejemplo, la ciudad de Culiacán en el estado de Sinaloa. El coordinador del área de prevención de accidentes de Cruz Roja en ese municipio estima que 54 % de los accidentes de tránsito se han dado por el uso de teléfonos inteligentes como distractores durante la conducción (López, 2017). Igualmente, a estas conductas riesgosas, la intención de movilizarse en estado de ebriedad o intoxicación por alguna sustancia legal o ilegal es algo frecuente, no solo en conductores de automóviles, autobuses y choferes del transporte de carga sino en ciclistas e inclusive peatones (tablas 3 y 4).



Figura 9. Grave deterioro de pavimento en la metrópoli de Guadalajara

Fuente: elaboración propia.



Figura 10. Vehículo con más de 15 años de antigüedad

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Defunciones en choques de conductores entre 18 y 34 años en la metrópoli de Guadalajara del 1-01-2012 al 31-03-2017

Municipio	Total de Autopsias	Positivos de alcohol	% de autopsias positivas de alcohol	Positivos de toxicologico	% de autopsias positivas otras sustancias	% de autopsias positivas a alcohol u otras sustancias
El Salto	20	6	30,0%	2	10,0%	40,0%
Guadalajara	306	47	15,4%	27	8,8%	24,2%
Ixtlahuacán de los Membrillos	5	1	20,0%	0	0,0%	20,0%
Tlajomulco de Zúñiga	65	16	24,6%	1	1,5%	26,2%
Tlaquepaque	35	7	20,0%	0	0,0%	20,0%
Tonalá	25	11	44,0%	2	8,0%	52,0%
Zapopan	89	34	38,2%	2	2,2%	40,4%
Zapotlanejo	26	11	42,3%	0	0,0%	42,3%
Juanacatlan	0	0	0,0%	0	0,0%	0,0%
Totales	571	133	23,3%	34	6,0%	29,2%

Fuente: elaboración propia, a partir de Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses (2017).

El Gobierno de Jalisco ha emprendido una cruzada para sancionar a conductores ebrios desde noviembre de 2013 a la fecha. El último reporte de la Secretaría de Movilidad (SEMOV), concentra información desde noviembre del 2013 a enero

de 2017. Estos datos, se presentan en la figura 11, con un promedio de 26,53 pruebas positivas, y con una tendencia a la baja, sin embargo, en muchos meses se exceden estos valores.

Tabla 4. Defunciones por volcamientos de conductores entre los 18 y 34 años en la metrópoli de Guadalajara del (1-01-2012 al 31-03 2017)

Municipio	Total de Autopsias	Positivos de alcohol	% de autopsias positivas de alcohol	Positivos de toxicológico	% de autopsias positivas otras sustancias	% de autopsias positivas a alcohol u otras sustancias
El Salto	11	5	45,5%	0	0,0%	45,5%
Guadalajara	84	22	26,2%	9	10,7%	36,9%
Ixtlahuacán de los Membrillos	8	3	37,5%	1	12,5%	50,0%
Tlajomulco de Zúñiga	27	17	63,0%	4	14,8%	77,8%
Tlaquepaque	12	7	58,3%	0	0,0%	58,3%
Tonalá	7	2	28,6%	0	0,0%	28,6%
Zapopan	35	11	31,4%	0	0,0%	31,4%
Zapotlanejo	23	14	60,9%	0	0,0%	60,9%
Juanacatlan	0	0	0,0%	0	0,0%	0,0%
Totales	207	81	39,1%	14	6,8%	45,9%

Fuente: elaboración propia a partir de Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses (2017).



Figura 11. Promedio diario de pruebas positivas de alcoholemia por mes 2013 a 2017

Fuente: elaboración propia con datos de la SEMOV (2017).

El operativo *Salvando Vidas* de la SEMOV solo tiene la capacidad de detección de alcohol en el aliento y en la sangre; por tanto, conductores con consumo de sustancias tóxicas no son detectados por este programa.

En la metrópoli, en su sistema de movilidad presenta anomalías en todo el trinomio (VUC), y no es de sorprender que las altas tasas de accidentalidad,

morbilidad y mortalidad; pues, esta última es la primera causa de muerte en jóvenes entre los 15 y 24 años; y la segunda entre los 5 y 14 años y también entre los 25 y 34 años (INEGI, 2015).

En la figura 12 se indican los componentes entrópicos y negentrópicos que se han determinado en función del trinomio VUC en la metrópoli de Guadalajara.

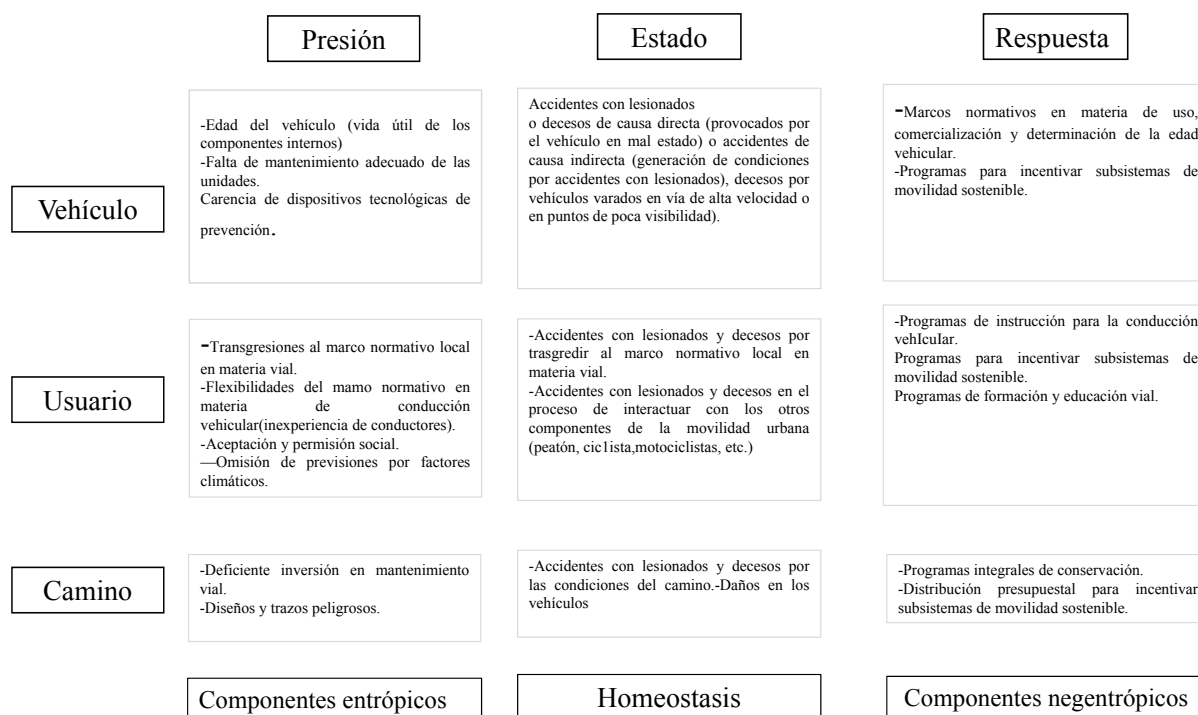


Figura 12. El modelo PER aplicado al trinomio VUC

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

Es evidente que México, al igual que diversos países de Latinoamérica deben redoblar sus esfuerzos en mecanismos de respuesta en materia de movilidad urbana con un especial énfasis en la incentivación y consolidación de programas de movilidad sostenible; sin embargo, en el ejercicio de la movilidad motorizada es prioritario establecer marcos que instruyan de manera profunda a los futuros

conductores en el proceso de la circulación de vehículos; así como también la supervisión continua del tránsito de vehículos viejos.

En la metrópoli de Guadalajara, la convivencia cotidiana entre los cerca de 5 millones de habitantes y los poco más de dos millones de vehículos ha generado fricciones intrasistémicas, sobre todo cuando la presencia vehicular se impone y se prioriza versus los otros sujetos de la movilidad. Esto implica que, en las relaciones entre los usuarios,

los modos de transporte y el medio ambiente urbano se origina entropía, manifiesta en una homeostasia de incrementos de accidentalidad y con ellos lesionados y decesos.

No obstante, la tarea no es fácil, ya que las cifras presupuestales destinadas a la construcción de vialidades, obras complementarias para la agilización vehicular favorecen las altas tasas de motorización, y estas a la vez detonan en una mayor demanda que satura más pronto que tarde la capacidad de carga de las vías urbanas. Además, la utilización de vehículos envejecidos, carentes de mantenimiento preventivo y ausentes de dispositivos de seguridad tecnológica complican aún más la homeostasia del sistema urbano.

En términos sistémicos, el subsistema vial experimenta entropía no solo por la operatividad del propio sistema a través del desgaste vehicular inducido, sino por la presencia de fuerzas externas como el clima que van deteriorando su funcionamiento, pero que también se suman al error humano con infraestructura complementaria insuficiente para el desalojo del agua pluvial, o procesos constructivos y materiales de mala calidad. Adicionalmente, se presentan conductas sociales que suprimen la señalética o el equipamiento urbano; lo cual reduce el margen visual preventivo. Sobre esto último, hay que precisar que la ausencia de conocimiento, falta de capacitación y desarrollo de habilidades en la conducción motorizada fungen como componentes precursores de accidentes; en otros términos, como componentes entrópicos que omiten las restricciones normativas como los límites de velocidad, el uso inadecuado o no uso de equipo de seguridad y la intoxicación por consumo de bebidas alcohólicas o sustancias durante el ejercicio de la movilidad motorizada.

Recientemente, se han implementado estrategias negentrópicas a nivel municipal y estatal, a través de diversos programas enfocados en la prevención de accidentes como lo son: banquetas libres y cruceros seguros, o el programa *Salvando Vidas* con diversos ejes como el control de alcoholimetría, sancionar los excesos de velocidad, uso

del casco uso del cinturón de seguridad. Adicionalmente, todos los niveles de gobierno incluyendo al federal han realizado esfuerzos para mejorar la infraestructura para la movilidad. Sin embargo, sigue faltando un tema crucial que es la educación vial y sobre todo la consolidación de un tema todavía germinal en diversas urbes de México: *la movilidad sustentable*. La educación para la movilidad urbana sustentable, debe ser coordinada por la autoridad, pero solo será fructífera si las instituciones educativas desde los niveles básicos hasta la universidad se comprometan con educar y desarrollar habilidades y valores en los usuarios de la movilidad que centren sus principios en la inclusión social, la sustentabilidad y el respeto a todos los componentes intrasistémicos. Finalmente, desde el análisis sistémico la movilidad es una temática de estudio valiosa para detectar los desequilibrios en el trinomio VUC, que nos lleven a generar medidas preventivas y correctivas que supriman la accidentalidad, la morbilidad y la mortalidad en la metrópolis de Guadalajara; o en nuestros términos para reducir los niveles de entropía en el sistema.

El estado actual del sistema de movilidad urbana en la metrópoli de Guadalajara (homeostasis) se encuentra en desequilibrio dinámico, debido a que la entropía (desestabilización sistémica) generada por la industria inmobiliaria y su cadena de distribución, la industria automotriz y de autopartes, los proveedores del servicio de transporte, las empresas de venta de combustibles y lubricantes, y en general los intereses de los grupos que ostentan temporalmente la representación social son mayores a la capacidad de carga del sistema, y por tanto, rebasan al conjunto de fuerzas tendientes a generar neguentropía (estabilización sistémica).

REFERENCIAS

- Cal y Mayor, R. y Cárdenas, J. (2010). *Ingeniería de tránsito: fundamentos y aplicaciones*. Alfa Omega: México.
- Centro de Investigación de Accidentes de la Universidad Monash (2005). *Human error and road*

- transport.* Australia. Recuperado de http://www.monash.edu/__data/assets/pdf_file/0010/216946/muarc256.pdf
- Centro de Estudios para el Internet y la Sociedad de la Facultad de Derecho de la Universidad de Stanford (2013). *Human error as a cause of vehicle crashes*. EE. UU. Recuperado de <http://cyberlaw.stanford.edu/blog/2013/12/human-error-cause-vehicle-crashes>
- Collazos P., H. (1982). Epidemiología de los accidentes de tránsito en las principales ciudades de Colombia. *Ingeniería e Investigación*, 40-45. Colombia. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4902517.pdf>
- Comisión Europea (2014). *Working together for safer roads in Europe: 10 highlights of Commission road safety work 2010-2014*. Bélgica. Recuperado de http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-14-245_en.htm
- Cuevas, A.C., Pérez, J.G., Mayoral, E.F. y Mendoza, A. (2015). *Anuario Estadístico de Accidentes en Carreteras Federales (2013)*. México: Instituto Mexicano del Transporte. Recuperado de <http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/DocumentoTecnico/dt61.pdf>
- Cuny, X. (1979). *Les Accident de Travail*. PUF París: Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0376634982900402>
- De Quevedo, F., Asprilla, Y. y González, M. (2017). Entropías de la movilidad urbana en el espacio metropolitano de Guadalajara: transporte privado y calidad del aire. *Revista Tecnura*, 21(53), 138-149. Recuperado de <https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/article/view/10725/13025>
- Diario Oficial de la Federación (2012). *Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2009-2012*. México. Recuperado de http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5121860
- Falkmer, T. y Gregersen, N. (2001). *The Trainer Project-Development of a New Cost-Effective Pan-European Driver Training Methodology and How to Evaluate it*. Proceeding of the Conference: Road Safety in Three Continents. Rusia.
- García, R.A., Acosta, M.A. y Flórez, E. (2015). Análisis del comportamiento de los frenos de disco de los vehículos a partir de la aceleración del proceso de corrosión. *Tecnura*, 19(45), 53-63.
- Gobierno del Estado de Jalisco (2017). *Trámites y servicios en línea. Licencia Nueva de automovilista*. México. Recuperado de <http://tramites.jalisco.gob.mx/tramite/8358>
- Gregersen, N.P., Berg, H.Y., Engström, I., Nolén, S., Nyberg, A. y Rimmö, P.A. (2000). Sixteen years age limit for learner drivers in Sweden: an evaluation of safety effects. *Accident Analysis and Prevention*, 32(1), 25-35. Recuperado de [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(99\)00045-7](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(99)00045-7)
- Hatakka, M., Keskinen, E., Gregersen, N.P., Glad A. y Hernetkoski, K. (2002). From control of the vehicle to personal self-control; broadening the perspectives to driver education. *Transportation Research Part F*, 5(3), 201-215. Recuperado de [https://doi.org/10.1016/S1369-8478\(02\)00018-9](https://doi.org/10.1016/S1369-8478(02)00018-9)
- Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses (2017). *Sistema estadístico sobre autopsias*. Recuperado de http://cienciasforenses.jalisco.gob.mx/estadisticas_sist1.php
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2015). *Transporte. Índice de motorización por entidad federativa, 2000-2014*. Recuperado de <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/sisept/default.aspx?t=mamb137&s=est&c=21690>
- Johnston, I. (2010). Beyond "best practice" road safety thinking and systems management. *Safety Science*, 9(48), 1175-1181. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.12.003>
- Lepalt, J. (1982). *Accidents and incidents production: Methods of analysis*. Journal of Occupational Accidents, 4(2-4), Pages 299-310. [https://doi.org/10.1016/0376-6349\(82\)90040-2](https://doi.org/10.1016/0376-6349(82)90040-2)
- López, T. (2017). El uso de teléfono inteligente es la principal causa de accidentes en Culiacán. *AND Informativo*. Recuperado de <http://adnportal.mx/el-uso-de-telefono-inteligente-es-la-principal-causa-de-accidentes-en-culiacan/>
- Mangosio, J. (2002). *Investigación sobre Accidentes*. Buenos Aires: Universidad Católica de Argentina, Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas e Ingeniería.
- Marchesini, P. y Weijermars, W. (2010). *The relationship between road safety and congestion on motorways*.

- Países Bajos: Institute for Road Safety Research. Recuperado de <https://www.swov.nl/sites/default/files/publicaties/rapport/r-2010-12.pdf>
- Máspormás (2016). *Deja la ciclovía, o paga*. Recuperado de <https://www.maspormas.com/2016/05/12/deja-la-ciclovía-paga/>
- Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) (2002). *Rumo a um Desenvolvimento Sustentável Indicadores Ambientais: indicadores Ambientais*. Série Cadernos de Referência. Salvador, Brasil.
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2016). *Road traffic mortality rate, 2013*. Recuperado de http://gamapserver.who.int/mapLibrary/Files/Maps/Global_RoadTraffic_Mortality_2013.png
- Organización de las Naciones Unidas (ONU-Hábitat) (2015). *Reporte nacional de movilidad urbana en México 2014-2015*. Recuperado de <http://conurbamx.com/home/wp-content/uploads/2015/07/Reporte-Nacional-de-Movilidad-Urbana-en-Mexico-2014-2015-Final.pdf>
- Renge, K. (1983). *Junge Kraftfahrer in Japan*. Bereich Unfallforschung, Alemania: Bundesanstalt für Straßenwesen.
- Secretariado Técnico del Consejo Nacional para la Prevención de Accidentes (STCONAPRA) (2017). *Perfil nacional y perfiles estatales de seguridad vial*. Recuperado de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/242263/Jalisco.pdf>
- Secretaría de Movilidad del Estado de Jalisco (SEMOV) (2017). *Reporte Salvando Vidas*. Recuperado de http://semov.jalisco.gob.mx/sites/semov.jalisco.gob.mx/files/osv_acumulado_2013-2017.pdf
- Sistema de Indicadores Ambientales y de Sustentabilidad (Siasseg) (2012). *Modelo P-E-R*. México: Instituto de Ecología, Gobierno de Guanajuato. Recuperado de <http://ecologia.guanajuato.gob.mx/sitio/micro/siasseg/modeloper.php>





Taxonomía de las bases de datos espaciotemporales con objetos en movimiento. Revisión de tema

Databases spatiotemporal taxonomy with moving objects. Theme review

Fecha de recepción: 12 de junio de 2017

Fecha de aceptación: 28 de noviembre de 2017

Sergio Alejandro Rojas Barbosa¹

Cómo citar: Rojas B., S.A. (2018). Taxonomía de las bases de datos espaciotemporales con objetos en movimiento. Revisión de tema. *Revista Tecnura*, 22(55), 66-76. <https://doi.org/10.14483/22487638.12192>

Resumen

Contexto: En la última década, las bases de datos han evolucionado tanto que ya no solo se habla de bases de datos espaciales, sino también de bases de datos espacio-temporales. Esto quiere decir que el evento o registro cuenta con una variable espacial o de localización, y con una variable de temporalidad, que permite la actualización del registro almacenado anteriormente.

Método: En este trabajo se presenta una revisión bibliográfica sobre conceptos, modelos de datos espacio-temporales, específicamente los modelos de datos de objetos en movimiento.

Resultados: Se presentan consideraciones taxonómicas de las consultas en los modelos de datos de objetos en movimiento, de acuerdo a la perspectiva de la consulta (tiempo, localización, movimiento, objeto y patrones), así como también las diferentes propuestas de índices y estructuras.

Conclusiones: La implementación desordenada de las propuestas tanto de modelos, como de índices y estructuras puede conllevar a problemas de estandarización es por esto, que deben estar normalizadas bajo las normas y estándares de la OGC (Open Geospatial Consortium).

Palabras clave: bases de datos espaciotemporales, bases de datos de objetos en movimiento, modelos de datos, series de tiempo, trayectorias temporales.

Abstract

Context: In the last decade, databases have evolved so much that we no longer speak only of spatial databases, but also of spatial and temporal databases. This means that the event or record has a spatial or localization variable and a temporality variable, which allows updating the previously stored record.

Method: This paper presents a bibliographic review about concepts, spatio-temporal data models, specifically the models of data in movement.

Results: Taxonomic considerations of the queries are presented in the models of data in movement, according to the persistence of the query (time, location, movement, object and patterns), as well as the different proposals of indexes and structures.

Conclusions: The implementation of model proposals, such as indexes and structures, can lead to standardization problems. This is why it should be standardized under the standards and standards of the OGC (Open Geospatial Consortium).

Keywords: Spatio-temporal databases, data models, moving object databases, time series and time trajectories

¹ Ingeniero en telecomunicaciones, especialista en Sistemas de Información Geográfica, candidato a magíster en Ciencias de la Información y Comunicaciones, investigador de apoyo del Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica (CIAF). Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Bogotá, Colombia. Contacto: sergio.rojas@igac.gov.co

INTRODUCCIÓN

Los avances en la tecnología móvil aumentaron la necesidad de utilizar, cada vez más, eficientes sistemas de almacenamiento que se caracterizan por incorporar aspectos espaciales (semántica especial junto con funciones) en el modelo de datos y el sistema gestor para su adecuada manipulación en una base de datos espacial. Estos aspectos espaciales definen el marco de referencia para establecer la localización geográfica y la relación entre los objetos que la componen.

Los objetos espaciales que componen una base de datos espacial (geográfica) están representados por geometrías, como puntos, líneas, polígonos, sus colecciones, combinaciones y las relaciones espaciales entre ellos (relaciones topológicas) (Paredaens y Kuijpers, 1998; Paredaens, Van den Bussche y Van Gucht, 1994) como se evidencia en la figura 1. Las geometrías mencionadas se conocen también como datos vectoriales, que se representan en un modelo de datos vectorial y se caracterizan por su naturaleza georreferenciada y multidireccional.

Por un lado, la naturaleza georreferenciada alude a la posición relativa o absoluta del objeto espacial y, por el otro, la multidireccional define las

relaciones complejas no lineales, de acuerdo con la primera ley de la geografía: “Todo está relacionado con todo, pero las cosas más cercanas están más relacionadas que las cosas más lejanas” (Tobler, 1970); es decir, que la relación no puede ser unidireccional. Así como los datos vectoriales se representan a partir del modelo de datos vectorial, existe también el modelo de datos conformado por una grilla de un número finito de puntos o píxeles, también llamado modelo *raster*, obtenido a partir de información espectral de imágenes ortorrectificadas y georreferenciadas utilizadas comúnmente en agricultura de precisión (Camacho, Vargas y Arguello, 2016). Además de los anteriores modelos de datos espaciales, que son los más usados, diferentes autores han propuesto algunos nuevos, como el modelo de datos de triángulos irregulares TIN (*triangulated irregular network*) (Nguyen, 2010), el polinomial y el topológico (Kanellakis, Kuper y Revesz, 1995; Erwig *et al.*, 1998; Donoso, 2011).

Todos estos tipos de modelos de datos geográficos se han empleado para representar y analizar eventos o elementos que ocurren en un determinado sitio, por ejemplo, sedimentos acumulados en el corredor vial Bogotá-Soacha (Zafra, Peña y Álvarez, 2013), emisiones de fuentes móviles en Bogotá (Carmona *et al.*, 2016),

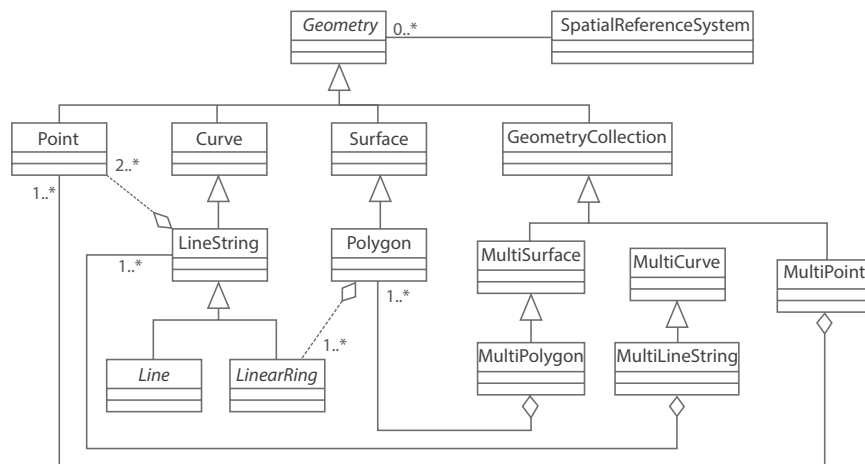


Figura 1. Tipos y jerarquía de datos vectoriales

Fuente: García (2012).

Tanto en el modelo de datos vectorial como en el raster se define la posición absoluta o relativa de la localización geográfica de los objetos espaciales, pero estos también presentan cambios en el tiempo, en aspectos como:

- Posición o localización espacial.
- Forma o geometría.
- Densidad.

Los modelos de datos espaciales básicos no permiten la representación de estos cambios y con el desarrollo de los servicios basados en localización (*location based services*, LBS) (Abul, Bonchi y Nanni, 2008; Djafri, Fernandes, Paton y Griffiths, 2002) como SECONDO (Behr y Güting, 2005; De Almeida, Güting y Behr, 2006; Güting, 2007), DOMINO (Wolfson, Xu, Chamberlain y Jiang, 1998), EDPC (Wu *et al.*, 2011) se requirió el diseño de una nueva base de datos para representar y que soporten consultas con localizaciones y tiempo (Behr, Teixeira de Almeida y Güting, 2006). Estas bases de datos espacio-temporales (Armstrong, 1988) no solo soportan aspectos de tiempo tradicional definido por el usuario, como el atributo de fecha (Ozsoyoglu y Snodgrass, 1995), sino también aspectos de tiempo que permiten cualquier actualización o cambio sin que se pierda el estado anterior y se almacene el nuevo mediante etiquetas de tiempo.

Los componentes de las bases de datos espacio-temporales son definidos con un conjunto finito de puntos en un espacio (Pfoser, Jensen y Theodoridis, 2000) que cambian en el tiempo (posición, geometría y densidad) ante determinados eventos (Shrestha, Miller, Zhu y Zhao, 2013). La información almacenada en las bases de datos espacio-temporales depende de ciertas características, a saber:

- Dominio espacial.
- Dominio temporal.
- Movimiento y cambio.

La última característica hace referencia, por un lado, al movimiento debido a las alteraciones en la

posición en el espacio a lo largo del tiempo; por el otro, el cambio se ocupa de cómo el objeto espacial sufre la transformación en su extensión.

Es así como existen, al igual que los modelos de bases de datos espaciales (Huibing *et al.*, 2012), los modelos espaciotemporales (Jianqiu Xu, 2012), como los que aparecen a continuación (Rojas, 2010; Rodríguez, Zambrana y Bernabé, 2009):

1. Modelo de datos *Snapshot*, (Martínez-Rosales y Levachkine, 2014; Gutiérrez, 2007; Armstrong, 1988).
2. Modelo de datos basado en *time-stamping* (Tao y Dimitris, 2001).
3. Modelo de datos espacio-temporales con objetos en movimiento.
4. Modelo espacio-temporal entidad/relación (Zapata y Durango, 2013).
5. Modelo de datos espacio-temporales orientado a objetos (Durango, 2014; Brodsky, Segal, Chen y Exarkhopoulo, 1999).
6. Modelo de datos espaciotemporales polinomiales (Rojas, 2010).
7. Modelo compuesto de espacio-tiempo STC (Nadi y Delavar, 2003)
8. Modelo de datos orientado a eventos ESTDM (Lohfink, Carnduff, Thomas y Ware, 2007).

Las bases de datos que parten del modelo de datos espaciotemporales con objetos en movimiento son de interés para el presente artículo, ya que solo representan cambios relacionados con los movimientos y cambios de los objetos, a diferencia de las demás bases espacio-temporales, donde la identidad de la componente geográfica también cambia en el tiempo (Correa, Ortiz y Gagliardi, 2004).

BASES DE DATOS ESPACIOTEMPORALES CON OBJETOS EN MOVIMIENTO

Las bases de datos espacio-temporales con objetos en movimiento capturan y etiquetan la posición de objetos que están moviéndose en el espacio a

través del tiempo (Trajcevski *et al.*, 2006). En estas bases ocurre que los objetos cambian sus ubicaciones o formas a través del tiempo, es decir, se modifica la posición geográfica del objeto (Praing y Schneider, 2007; Qi y Schneider, 2012).

Los movimientos se definen como un segmento de líneas conectadas, definidas comúnmente como trayectorias que, mediante métodos de regresión, permiten modelar los cambios de localización en variables (Abdessalem, Decreusefond y Moreira, 2006) de forma continua del objeto en movimiento (Ortiz, 2014).

Para representar en los sistemas estas trayectorias se emplea la abstracción *moving point*, o si se quiere registrar sus variaciones geométricas (tanto el crecimiento como la disminución del mismo) se emplea *moving region* (Rojas, 2010; Behr, Texeira de Almeida y Güting, 2006; Erwig, Güting, Schneider y Vazirgiannis, 1999; Olsen y Mckenney, 2013).

Taxonomía

Hay una diferencia crítica en la estructura de los objetos que se mueven y la estructura de objetos estáticos. Con los objetos estáticos, las estructuras de datos espaciales asumen que los objetos son constantes, mientras que los objetos en movimiento requieren actualizaciones frecuentes de sus

ubicaciones (Alamri, Taniar y Safar, 2014; Martínez-Rosales y Levachkine, 2014), como se observa en la figura 2.

De acuerdo con Alamri, Taniar y Safar (2014), los objetos en movimiento, debido a su propia naturaleza, muestran nuevas características, como dirección, velocidad y patrones de movimiento. Las consultas de objetos en movimiento comprenden cinco perspectivas (Viqueira y Lorentzos, 2007):

1. Localización: incluye consultas espaciales básicas comunes en las bases de datos espaciales (Join, Reverse Nearest Neighbor [RNN], K, vecinos más cercanos, rangos y otros) (Chunming, 2013).
2. Movimiento: que cubre las consultas de dirección, velocidad, distancia y desplazamiento. El movimiento puede ser observado mediante la vinculación de una referencia a un objeto en movimiento y medir su cambio de ubicación con respecto al otro marco de referencia. Los vectores de movimiento se clasifican como: velocidad, dirección, distancia y desplazamiento.
3. Objeto: incluye las consultas de tipo y de forma del objeto. La primera lo examinará desde una perspectiva de tipo único o tipos múltiples, y la forma podría consultar características de longitud y área.

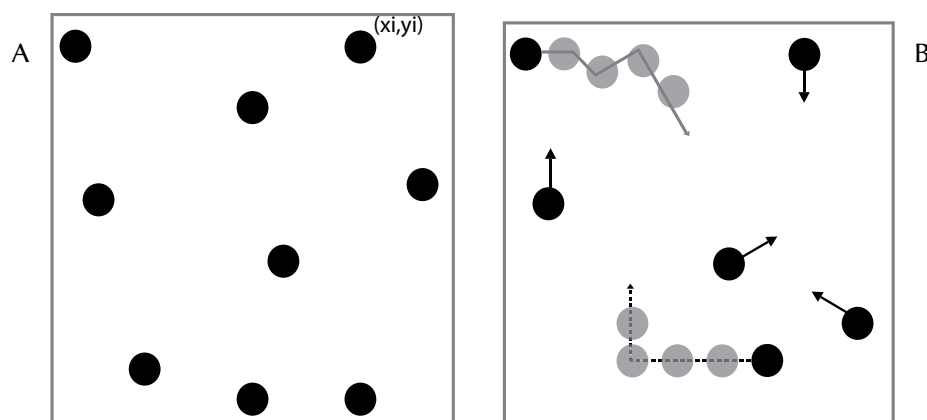


Figura 2. A. Objetos estáticos. B. Objetos en movimiento.

Fuente: Alamri, Taniar y Safar (2014).

4. Temporal: define la trayectoria y marcas de tiempo (*timestamped*), y se relaciona con consultas como: *inside*, *disjoint*, *meet*, *equal*, *contain*, superposición y consultas de periodos. Donde, las consultas pueden ser históricas (temporales), actuales o futuras (predicciones) para los objetos que se desplazan de un lugar a otro dada una trayectoria de acuerdo a la figura 4.
5. Patrones de movimiento: donde los objetos están utilizando el movimiento indefinido o patrones de movimiento predefinidos, que pueden ser los patrones de movimiento espacial y patrones de movimiento temporales. Las consultas se clasifican en tres patrones espaciales, espacio-temporales. De estos tres, este artículo solo detallará el de movimiento espaciotemporal.

Al considerar que los objetos se mueven en un espacio bidimensional (x, y) como el mostrado en la figura 2, y que pueden ser representados en el espacio tridimensional (x, y, t) (Erwig *et al.*, 1999), donde x y y son variables espaciales, y t representa la variable temporal. El espacio tridimensional está definido desde diferentes entornos, y el conocimiento del entorno o ambiente de movimiento de los objetos es esencial, ya que, dependiendo del tipo de ambiente, se debe ilustrar el tipo de consulta. Los diferentes entornos de movimiento

incluyen el espacio euclidiano que es un ambiente sin restricciones, la red de caminos espaciales que es un ambiente restringido a una red de caminos y celdas espaciales que es un ambiente restringido (Giraudi *et al.*, 2007) observados en la figura 3.

La diferencia básica entre las celdas espaciales, el espacio euclidiano y las redes de caminos espaciales es la dependencia de la representación geométrica de la propiedad espacial. Las consultas en el espacio euclidiano o en la red espacial de caminos tienen en cuenta los movimientos de los objetos entre pares de coordenadas, mientras que las consultas en las celdas espaciales se basan en notaciones de celdas, por ejemplo: ¿Cuáles son los objetos que se mueven en la celda C1? (Alamri, Taniar y Safar, 2014). De forma que, en un espacio geométrico, tanto la posición actual como las posiciones futuras son representadas como n-tuplas coordenadas, en forma de puntos, áreas y volúmenes.

En las consultas históricas temporales de trayectorias, el valor de un objeto será diferente en dos estados de bases de datos respectivas; por tanto, las consultas de tiempo se pueden clasificar como etiqueta de tiempo pasada, etiqueta de tiempo actual, etiqueta de tiempo futura y el intervalo (rango) de etiquetas de tiempo.

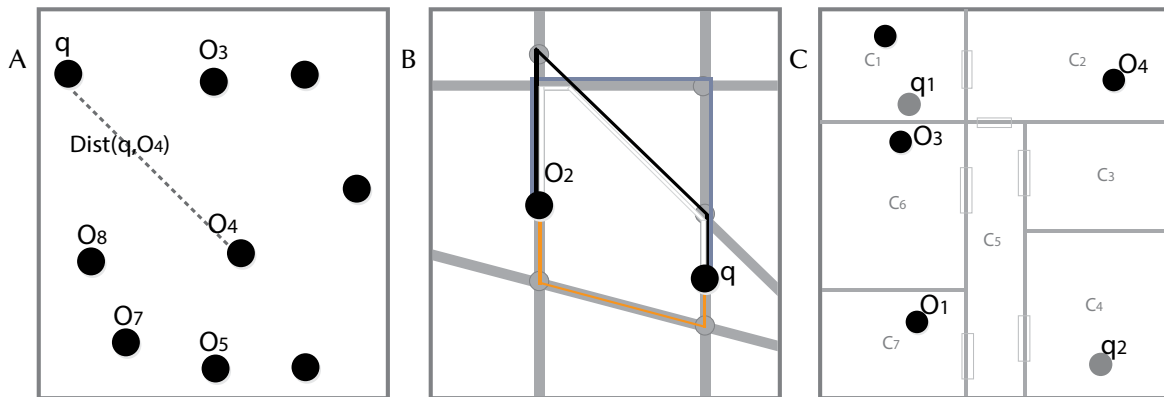


Figura 3. Entornos de movimiento de los objetos espaciales: A. Espacio euclidiano. B. Red espacial de caminos. C. Celdas espaciales

Fuente: Alamri, Taniar y Safar (2014).

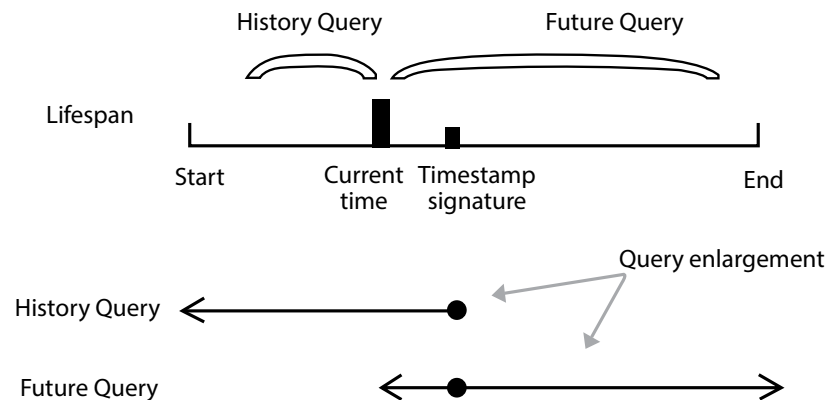


Figura 4. Etiquetas de tiempo

Fuente: Alamri, Taniar y Safar (2014).

Índices y estructuras de datos de objetos en movimiento

Este tipo de consultas debe contar con la indexación adecuada (Giraudi *et al.*, 2007; Correa, Ortiz y Gagliardi, 2004), por esto las estructuras de índices han evolucionado iniciando con el índice de estructura árbol: *R-tree* y el *B-tree*, que son los padres de los objetos en movimiento. El primero permite el acceso a la extensión espacial y el segundo aporta la extensión temporal (Marín y Rodríguez, 2010; Yim, Joo y Park, 2011), lo que genera el índice *RB-tree* que brinda una indexación espacio-temporal, pero que no soporta consultas sobre trayectorias. Por esto se han propuesto índices derivados de índices espaciotemporales considerando las cinco perspectivas de consultas objeto en movimiento mencionadas por Alamri, Taniar y Safar (2014).

Algunos índices más novedosos como *TPR-tree* (parámetros de tiempo *R-tree*), *DV-TPR*-tree* (dirección y velocidad *-tree*), *STAR-tree* (Lin, 2012), *TB-tree* (trayectoria pasada *-tree*) (Lange, Dürr y Rothermel, 2008), *REXP-tree* no solo permiten el acceso a los modelos de este tipo de datos, sino que también soporta procesamiento en múltiples dimensiones y permite indexar movimientos de trayectorias pasadas, actuales y futuras estimadas (Lin, 2012).

Se encuentran otras propuestas que van dirigidas directamente a aplicaciones sobre redes fijas (Correa, Ortiz y Gagliardi, 2004) como el índice *I+-MON-Tree* y el índice *Statistics and trace-based meta-index (STM-index)* que es diseñado para resolver intervalo de tiempo o intervalo de tiempo de las consultas y las consultas sobre la ubicación de un objeto en particular, en un instante de tiempo dado (Marín y Rodríguez, 2010; Giraudi *et al.*, 2007).

Mientras *Indoor-tree* registra movimientos dentro de las celdas espaciales (Alamri, Taniar y Safar, 2014). Otras propuestas de estructuras e índice incluyen la capacidad de procesar datos de objetos en movimientos considerando objetos vecinos también en movimiento como el *M2TPR-tree* (Chunming, 2013).

Por otro lado, también existen herramientas que permiten el modelaje de estos índices y tipos de objetos en movimiento, como el denominado *STXER* (Jin, Wan y Yue, 2008).

Patrones espaciotemporales

De acuerdo con Alamri, Taniar y Safar (2014), estos patrones abordan las características espaciales y temporales, en conjunto, de los objetos en movimiento; algunos de los patrones espaciotemporales son los incidentes, los constantes, los

secuenciales, los periódicos, los de agrupación y los de *cluster* en movimiento. Los patrones de movimientos incidentes entre objetos se pueden dividir en cuatro tipos:

1. Concurrencia: patrón que contiene un conjunto de entidades que tiene valores similares de atributos de movimiento para cierta duración de tiempo.
2. Coincidencia: un tipo específico de la incidencia que tiene en cuenta la similitud de las posiciones de los objetos en movimiento. Puede haber completa coincidencia, lo que significa que los mismos lugares se alcanzan al mismo tiempo, o coincidencia con rezago, que significa que las mismas ubicaciones se alcanzan después de un retardo de tiempo.
3. Oposición: arreglo multipolar de valores de parámetros de movimiento, como un grupo repentino de movimiento de objetos hacia dos direcciones opuestas.
4. Dispersión: movimiento no uniforme o concurrencia opuesta.

Los patrones constantes ocurren cuando el movimiento se compone de parámetros de los mismos valores o solo cuando cambia ligeramente para una duración determinada. Por ejemplo, un grupo de coches se están moviendo en una carretera recta a una velocidad específica, y la dirección y los parámetros derivados siguen siendo los mismos para una duración particular.

Además, los patrones secuenciales son una serie de lugares que han sido visitados como una lista ordenada. Este tipo de patrón indica un punto de inicio y uno final conocido en el espacio y tiempo. Por ejemplo: un grupo de turistas que visita un conjunto de lugares, como el zoológico, el museo y la galería, en secuencia particular en una duración de tiempo determinado.

Así mismo, los patrones periódicos muestran un patrón cíclico a través de un periodo de tiempo. Este tipo muestra una repetición regular del movimiento (periodicidad espacio-temporal) para una duración

determinada. Por ejemplo: los coches de seguridad patrullando regularmente y que monitorean lugares específicos en cada periodo de tiempo.

El patrón de agrupación consiste en un conjunto de objetos en movimiento agrupados en una particular localización. Por ejemplo, en la figura 5, un grupo de niños se reúnen para tomar el mismo bus.

Finalmente, los *cluster* de movimiento son un conjunto de objetos que quedan cerca uno del otro mientras se mueven en un camino similar por una duración específica; por ejemplo, las tropas en movimiento en un campo de batalla.

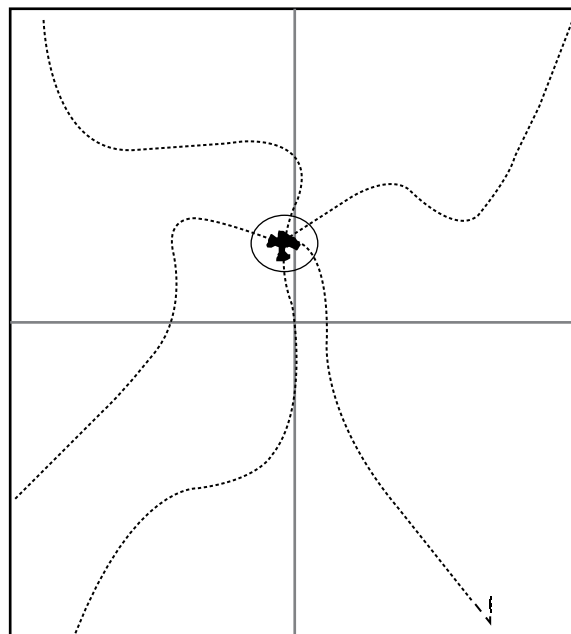


Figura 5. Patrón espacio temporal de agrupación

Fuente: Alamri, Taniar y Safar (2014).

CONCLUSIONES

Con el desarrollo de GPS y wifi, el correcto registro de los lugares se ha convertido en una fuente de generación de información; así mismo, este registro se emplea para el desarrollo de diferentes aplicaciones de seguridad, tráfico, servicios de taxi y ambientales que permiten ser consultadas en las bases de datos de los objetos en movimiento.

Debido a la gran cantidad de aplicaciones de servicios basados en localización que tienen las bases de datos de los objetos en movimiento, se considera que podrían usarse para, por ejemplo, seguir a las personas, lo cual afectaría la privacidad. Por esto últimamente se han iniciado investigaciones para que, aunque se usen aparatos digitales como iPad y *smartphones*, se pueda mantener la privacidad (Abul, Bonchi y Nanni, 2010).

REFERENCIAS

- Abdessalem, T., Decreusefond, L. y Moreira, J. (2006). Evaluation of probabilistic queries in moving objects databases. *Proceedings of the 5th ACM International Workshop on Data Engineering for Wireless and Mobile Access-MobiDE '06*, 11. <https://doi.org/10.1145/1140104.1140109>
- Abul, O., Bonchi, F. y Nanni, M. (2008). Never walk alone: Uncertainty for anonymity in moving objects databases. *Proceedings-International Conference on Data Engineering, 0*, 376–385. <https://doi.org/10.1109/ICDE.2008.4497446>
- Abul, O., Bonchi, F. y Nanni, M. (2010). Anonymization of moving objects databases by clustering and perturbation. *Information Systems*, 35(8), 884–910. <https://doi.org/10.1016/j.is.2010.05.003>
- Alamri, S., Taniar, D. y Safar, M. (2014). A taxonomy for moving object queries in spatial databases. *Future Generation Computer Systems*, 37, 232–242. <https://doi.org/10.1016/j.future.2014.02.007>
- Armstrong, M.P. (1988). Temporality in spatial databases. En *GIS/LIS 88 Proceedings: Accessing the World*. Volume II. (pp. 880-889) Falls Church, VA: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
- Behr, T. y Güting, R.H. (2005). Fuzzy spatial objects: An algebra implementation in SECONDO. *Proceedings-International Conference on Data Engineering*, 1137–1138. <https://doi.org/10.1109/ICDE.2005.70>
- Behr, T., Teixeira de Almeida, V. y Güting, R.H. (2006). Representation of periodic moving objects in databases. *Proceedings of the 14th Annual ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems-GIS '06*, 43. <https://doi.org/10.1145/1183471.1183480>
- Bodolay, M., y Escobar-Molano, M. L. (2000). A schema-less spatio-temporal database system. En *Proceedings of the 2000 ACM symposium on Applied computing-Volume 1* (pp. 366–373). Italy: ACM. <https://doi.org/10.1145/335603.335839>
- Brodsky, A., Segal, V.E., Chen, J. y Exarkhopoulo, P. A. (1999). The CCUBE constraint object-oriented database system. *ACM SIGMOD Record*, 28(2), 577–579. <https://doi.org/10.1145/304181.304582>
- Camacho V., A., Vargas G., C. A. y Argüello F., H. (2016). A comparative study of target detection algorithms in hyperspectral imagery applied to agricultural crops in Colombia. *Tecnura*, 20(49), 86-99. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.3.a07>
- Carmona A., L.G., Rincón P., M.A., Castillo R., A.M., Galvis R., B.R., Sáenz P., H.E., Manrique F., R.A. y Pachón Q., J.E. (2016). Conciliación de inventarios top-down y bottom-up de emisiones de fuentes móviles en Bogotá, Colombia. *Tecnura*, 20(49), 59-74. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.3.a04>
- Chunming, A. (2013). Studies on kNN Query of Moving Objects for Location Management in Spatial Database, Proceedings 2013 International Conference on Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Computer (MEC). IEEE Xplore Digital Library.
- Correa, M. L., Ortiz, N. J., y Gagliardi, E. O. (2006). I+MON-Tree: índice espacio-temporal para objetos en movimiento. En *XII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación* (pp. 321–331). Argentina.
- De Almeida, V.T., Güting, R.H. y Behr, T. (2006). Querying moving objects in SECONDO. *Proceedings-IEEE International Conference on Mobile Data Management, 2006*. <https://doi.org/10.1109/MDM.2006.133>
- Djafari, N., Fernandes, A.A.A., Paton, N.W. y Griffiths, T. (2002). Spatio-Temporal Evolution: Querying Patterns of Change in Databases. *Proceedings of the 10th ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems*, 35–41. <https://doi.org/10.1145/585147.585156>

- Donoso, V. (2011). *Sistema de información geográfica con Oracle Spatial*. Tesis de Licenciatura. Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de Informática. Madrid.
- Durango, C.E. (2014). Asociación de datos espacio-temporales en bases de datos Oracle. *Ingenierías USBmed*, 5(2), 100–108.
- Erwig, M., Schneider, M., Güting, R.H., Hagen, F., Iv, P.I. y Hagen, D. (1998). Temporal Objects for Spatio-Temporal Data Models and a Comparison of Their Representations. *Int. Workshop on Advances in Database Technologies, LNCS 1552*, 1–12.
- Erwig, M., Güting, R.H., Schneider, M. y Vazirgiannis, M. (1999). Spatio-temporal data types: An approach to modeling and querying moving objects in databases. *Geoinformatica*, 3(3), 269–296. <https://doi.org/10.1023/A:1009805532638>
- García, M. (2012). *OGC y el Simple Feature Model*. Recuperado de http://geotalleres.readthedocs.io/es/latest/postgis-simple-feature-model/simple_feature_model.html
- Giraudi, D. C., Segura Guzmán, G. S., Gagliardi, E. O., Hernández Peñalver, G., y Gutiérrez Retamal, G. A. (2007). Aproximaciones en el estudio de Bases de Datos Espacio-Temporales y Ruteo sobre redes móviles. En *IX Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación* (pp. 332–336). Argentina.
- Gutiérrez, G.A. (2007). Métodos de acceso y procesamiento de consultas espacio-temporales. [Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias]. Universidad de Chile. Santiago de Chile. Recuperado de <https://www.dcc.uchile.cl/~gnavarro/algoritmos/tesisGilberto.pdf>
- Güting, R.H. (2007). How to build your own moving objects database system. *Proceedings-IEEE International Conference on Mobile Data Management*, 1–2. <https://doi.org/10.1109/MDM.2007.9>
- Huibing, W., Xinming, T., Bing, L., Ping, Y., & Haifeng, C. (2005). MODELING SPATIAL-TEMPORAL DATA IN VERSION-DIFFERENCE MODEL. En *International Symposium on Spatiotemporal Modeling, Spatial Reasoning, Analysis, Data Mining and Data Fusion*. Beijing, China: Citeseer.
- Jin, P.J.P., Wan, S.W.S. y Yue, L.Y.L. (2008). Conceptual Modeling for Moving Objects Database Applications. *The Ninth International Conference on Mobile Data Management (Mdm 2008)*, 217–218. <https://doi.org/10.1109/MDM.2008.21>.
- Kanellakis, P. C., Kuper, G.M. y Revesz, P.Z. (1995). Constraint query lenguajes. *Journal of Computer and System Sciences*, 51(1), 26-52. <https://doi.org/10.1006/jcss.1995.1051>.
- Lange, R., Dürr, F. y Rothermel, K. (2008). Scalable Processing of Trajectory-based Queries in Space-partitioned Moving Objects Databases. *Proceedings of the 16th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems*.
- Lin, H. Y. (2012). Using compressed index structures for processing moving objects in large spatio-temporal databases. *Journal of Systems and Software*, 85(1), 167–177. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2011.08.005>.
- Lohfink, A., Carnduff, T., Thomas, N., & Ware, M. (2007). An Object-oriented Approach to the Representation of Spatiotemporal Geographic Features. En *Proceedings of the 15th Annual ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems* (p. 35:1—35:8). New York, NY, USA: ACM. <http://doi.acm.org/10.1145/1341012.134105>
- Marín, M. y Rodríguez, M. A. (2010). A meta-index for querying distributed moving object database servers. *Information Systems*, 35(6), 637–661. <https://doi.org/10.1016/j.is.2009.11.001>.
- Martínez-Rosales, M. y Levachkine, S. (2014). Modelo conceptual de entornos geográficos dinámicos. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 15(2), 163–174. [https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(14\)72207-3](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(14)72207-3).
- Nadi, S. y Delavar, M. (2003). Spatio-temporal modeling of dynamic phenomena in GIS. *ScanGIS*, (January 2003), 215–225.
- Nguyen, V. T. (2010). Building TIN (triangular irregular network) problem in topology model. *2010 International Conference on Machine Learning and Cybernetics, ICMLC*

- 2010, 1(July), 14-21. <https://doi.org/10.1109/ICMLC.2010.5581100>.
- Olsen, B. y Mckenney, M. (2013). Storm system database: A big data approach to moving object databases. *Proceedings-2013 4th International Conference on Computing for Geospatial Research and Application, COM. Geo 2013*, 142-143. <https://doi.org/10.1109/COMGEO.2013.30>.
- Ortiz, A. (2014). Memorias-Trayectorias en Bases de Datos de Objeto en Movimiento. *XVI Simposio Internacional SELPER 2014*. Sociedad Latinoamericana de Especialistas en Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial. Colombia
- Ozsoyoglu, G. y Snodgrass, R.T. (1995). Temporal and real-time databases: a survey. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 7(4), 513-532. <https://doi.org/10.1109/69.404027>.
- Paredaens, J. y Kuijpers, B. (1998). Data models and query languages for spatial databases. *Data & Knowledge Engineering*, 25(1-2), 29-53. [https://doi.org/10.1016/S0169-023X\(98\)00052-4](https://doi.org/10.1016/S0169-023X(98)00052-4).
- Paredaens, J., Van den Bussche, J. y Van Gucht, D. (1994). Towards a theory of spatial database queries (extended abstract). *Proceedings of the Thirteenth ACM SIGACT-SIGMOD-SIGART Symposium on Principles of Database Systems-PODS '94*, 279-288. <https://doi.org/10.1145/182591.182640>.
- Pfoser, D., Jensen, C. y Theodoridis, Y. (2000). Novel approaches to the indexing of moving object trajectories. *Proceedings of VLDB*, 395-406.
- Praing, R. y Schneider, M. (2007). Modeling historical and future movements of spatio-temporal objects in moving objects databases. *Proceedings of the Sixteenth ACM Conference on Conference on Information and Knowledge Management-CIKM '07*, 183. <https://doi.org/10.1145/1321440.1321469>.
- Qi, L. y Schneider, M. (2012). MONET: Modeling and Querying Moving Objects in Spatial Networks. *Proceedings of the Third ACM SIGSPATIAL International Workshop on Geo-Streaming-IWGS '12*, (c), 48-57. <https://doi.org/10.1145/2442968.2442975>.
- Rodríguez G., M.J., Zambrana U., A. y Bernabé, M.A. (2009). Diseño de herramientas de análisis espacio-temporales para el estudio de bases de datos históricas. *Gtdee 2009*, 16. Recuperado de http://www.02.idee.es/resources/presentaciones/GTIDEE_Murcia_2009/ARTICULOS_JIDEE2009/Articulo-60.pdf.
- Rojas, A.M. (2010). Bases de datos espacio-temporales aplicadas al control de velocidades. Tesis de Licenciatura. Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de Informática. Madrid.
- Shrestha, A., Miller, B., Zhu, Y. y Zhao, Y. (2013). Storygraph: Extracting patterns from spatio-temporal data. *Proceedings of the ACM SIGKDD Workshop on Interactive Data Exploration and Analytics-IDEA '13*, 95-103. <https://doi.org/10.1145/2501511.2501525>.
- Tao, Y., & Papadias, D. (2001). The mv3r-tree: A spatio-temporal access method for timestamp and interval queries. En *Proceedings of Very Large Data Bases Conference (VLDB)* (pp. 431-440). Rome.
- Tobler, W. (1970). A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region. *Economic Geography*, 46, 234-240. Doi:10.2307/143141.
- Trajcevski, G., Cao, H., Scheuermann, P., Wolfson, O. y Vaccaro, D. (2006). On-line data reduction and the quality of history in moving objects databases. *ACM International Workshop on Data Engineering for Wireless and Mobile Access*, 19-26. <https://doi.org/10.1145/1140104.1140110>.
- Viqueira, J.R.R. y Lorentzos, N.A. (2007). SQL extension for spatio-temporal data. *VLDB Journal*, 16(2), 179-200. <https://doi.org/10.1007/s00778-005-0161-9>.
- Wolfson, O., Xu, B., Chamberlain, S. y Jiang, L. (1998). Moving objects databases: issues and solutions. *Proceedings. Tenth International Conference on Scientific and Statistical Database*

- Management (Cat. No.98TB100243)*. <https://doi.org/10.1109/SSDM.1998.688116>.
- Wu, C.L., Zhang, Y., Li, Q., Guo, Z.T. y Gao, X. (2011). An environmental database and temporal and spatial distribution of Chinese paleo-anthropological sites. *Chinese Science Bulletin*, 56(31), 3281–3283. <https://doi.org/10.1007/s11434-011-4669-7>
- Yim, J., Joo, J. y Park, C. (2011). A Kalman filter updating method for the indoor moving object database. *Expert Systems with Applications*, 38(12), 15075–15083. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.05.037>.
- Zapata, C. y Durango, E. (2013). Representación Del Conocimiento En Datos Espacio–Preconceptuales Knowledge Representation in Spatio–Temporal Data for Gis: an Approach Based on Pre–Conceptual Schemas Répresentation De La Connaissance Sur Donneés Spatio-, 4(1), 47–55.
- Zafra M., C., Peña V., N. y Álvarez P., S. (2013). Contaminación por metales pesados en los sedimentos acumulados sobre el corredor vial Bogotá-Soacha. *Tecnura*, 17(37), 99-108. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2013.3.a09>.





UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

Revista *TECNURA*
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica

CONTENIDO

- Alcance y política editorial de la revista
- Tipos de artículos aceptados
- Formato del artículo
- Envío de artículos
- Procedimiento para la publicación
- Arbitraje de artículos
- Contacto

1. ALCANCE Y POLÍTICA EDITORIAL DE LA REVISTA

La revista *Tecnura* es una publicación institucional de la Facultad Tecnológica de la Universidad Francisco José de Caldas, de carácter científico-tecnológico con periodicidad trimestral, que se publica los meses de enero, abril, julio y octubre. Su primer número apareció en el segundo semestre del año 1997 y hasta la fecha ha mantenido su regularidad.

Las áreas temáticas de interés de la revista *Tecnura* están enfocadas a todos los campos de la ingeniería, como la electrónica, telecomunicaciones, electricidad, sistemas, industrial, mecánica, catastral, civil, ambiental, entre otras. Sin embargo, no se restringe únicamente a estas, también tienen cabida los temas de educación y salud, siempre y cuando estén relacionados con la ingeniería. La revista publica únicamente artículos de investigación científica y tecnológica, de reflexión y de revisión. En consecuencia, durante la fase de evaluación editorial inicial se rechazarán los artículos cortos y reportes de caso.

La revista *Tecnura* está dirigida a docentes, investigadores, estudiantes y profesionales interesados en la actualización permanente de sus conocimientos y el seguimiento de los procesos de investigación científico-tecnológica, en el campo de las ingenierías. Tiene como misión divulgar resultados de proyectos de investigación realizados en el área de las ingenierías, a través de la publicación de artículos originales e inéditos, realizados por académicos y profesionales pertenecientes a instituciones nacionales o extranjeras del orden público o privado. Los artículos presentados deben ser trabajos inéditos escritos en español o inglés; sin embargo, tendrán preferencia los artículos que muestren conceptos innovadores de gran interés, que traten sobre asuntos relacionados con el objetivo y cobertura temática de la revista.

Tecnura es una publicación de carácter académico indexada en los Índices Regionales Scielo Colombia (Colombia) y Redalyc (México), además de las siguientes bases bibliográficas: INSPEC del Institution of Engineering and Technology (Inglaterra), Fuente Académica Premier de EBSCO (Estados Unidos), CABI (Inglaterra), Index Copernicus (Polonia), Informe Académico de Gale Cengage Learning (México), Periódica de la Universidad Nacional Autónoma de México (México), Oceanet (España) y Dialnet de la Universidad de la Rioja (España). También hace parte de los siguientes directorios: Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal Latindex (México), Índice Bibliográfico Actualidad Iberoamericana (Chile), e-Revistas (España), DOAJ (Suecia), Ulrich de Proquest (Estados Unidos).

Tecnura es una revista arbitrada mediante un proceso de revisión entre pares de doble ciego. La periodicidad de la conformación de sus comités Científico y Editorial está sujeta a la publicación de artículos en revistas indexadas internacionalmente por parte de sus respectivos miembros.

La Universidad Distrital Francisco José de Caldas, sus directivas, el Editor, el Comité Editorial y Científico no son responsables por la opinión y criterios expresados en el contenido de los artículos y estos se publican bajo la exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento del Comité Editorial.

Además de la versión impresa, la revista *Tecnura* tiene también una versión digital disponible en su página web: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>

2. TIPOS DE ARTÍCULOS ACEPTADOS

De acuerdo con la clasificación del Índice Nacional de Publicaciones Científicas y Tecnológicas (Publindex-Colciencias), la revista *Tecnura* recibe postulaciones de artículos inéditos de los siguientes tipos:

Artículos de investigación científica y tecnológica: documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de proyectos de investigación. La estructura generalmente utilizada contiene cuatro apartes importantes: introducción, metodología, resultados y conclusiones.

Artículos de reflexión: documento que presenta resultados de investigación desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico y recurriendo a fuentes originales.

Artículo de revisión: documento resultado de una investigación donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de las investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo en ciencia o tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica de al menos 50 referencias.

3. FORMATO DEL ARTÍCULO

3.1 Del lenguaje y estilo apropiado para la redacción de artículos

- Deben emplearse estructuras de oraciones simples, evitando las que sean demasiado largas o complejas.
- El vocabulario empleado debe ser básico y común. Los términos técnicos deben explicarse brevemente; asimismo, el significado de las siglas debe presentarse la primera vez que estas aparecen en el texto.
- Los autores son responsables de que su trabajo sea conducido de una manera profesional y ética.

3.2 De la extensión de los documentos

Los artículos no deben tener una extensión de más de 25 páginas en tamaño carta y a doble espacio, con márgenes simétricas de 3 cm. Solo en el caso de los artículos de revisión las 25 páginas no incluyen las referencias bibliográficas.

3.3 Del formato de presentación

Los artículos presentados deben ser trabajos inéditos escritos en español o inglés y deben digitalizarse en Microsoft Word (2003 en adelante), cumpliendo con las siguientes indicaciones:

Letra *Times New Roman* de 12 puntos (a excepción de que se requiera lo contrario para algunos apartados).

- Una columna a doble espacio.
- Todas las márgenes de 3 cm.
- Los párrafos se justifican, y no debe haber espacio entre los consecutivos.
- No incluir saltos de página o finales de sección.
- Si se desea resaltar palabras o frases del texto, no usar letra negrita sino letra cursiva.
- Los decimales se deben señalar con coma (,) y no con un punto.

- Los millares y millones se deben señalar con un espacio fino.
- Evitar las notas de pie de página.
- Se debe utilizar nomenclatura arábica hasta el tercer nivel únicamente.

3.4 De la estructura del documento

Los trabajos deben tener la siguiente estructura y cumplir con los siguientes requisitos:

Composición de un artículo

Todos los artículos remitidos para su evaluación y posible publicación por parte de la revista *Tecnura* deben tener por lo menos los siguientes componentes:

- Título en español e inglés.
- Información de los autores.
- Resumen en español e inglés.
- Palabras clave en español e inglés.
- Introducción.
- Conclusiones.
- Trabajo futuro (opcional).
- Agradecimientos (opcional).
- Referencias bibliográficas.

Si el artículo es de investigación científica y tecnológica deben tener, además de lo anterior, los siguientes componentes:

- Metodología.
- Resultados.
- Financiamiento.

Título

El título del artículo deberá ser corto o dividido en título y subtítulo, atractivo para el lector potencial y escrito en mayúscula sostenida. Este debe aparecer centrado entre las márgenes, escrito con letra *Times New Roman*, en negrita, tamaño de fuente 18. El título del artículo debe ir en español e inglés separado por un espacio doble. Máximo 20 palabras.

Autores

Después del título debe escribirse el (los) nombre(s) completo(s) del (los) autor(es), acompañado de los datos biográficos básicos: título de pregrado, título de posgrado, ocupación o cargo, afiliación institucional (institución donde labora), dependencia, ciudad, país y correo electrónico. La información anterior debe ir inmediatamente debajo del nombre del autor.

Resumen

Debe establecer el objetivo y alcance del trabajo, una descripción clara y concisa de la metodología, los resultados y las conclusiones obtenidas. Máximo 250 palabras.

Palabras clave

Debe escogerse entre tres y diez palabras clave, escritas en español con letra *Times New Roman*, en negrita y cursiva.

Las palabras clave deben estar escritas en orden alfabético y ser de uso estandarizado, para lo cual se sugiere utilizar bases de datos internacionales según el área del conocimiento. Por ejemplo, en el área de Eléctrica y Electrónica se sugiere utilizar el tesoro de la UNESCO que se pueden encontrar en la página: <http://databases.unesco.org/thessp>.

Abstract

Debe ser una traducción correcta y precisa al idioma inglés del texto que aparece en el resumen en español.

Keywords

Debe ser una traducción correcta y precisa al idioma inglés de la lista de palabras clave en español.

Las *keywords* deben estar escritas en el orden de las palabras clave y ser de uso estandarizado, para lo cual se sugiere utilizar bases de datos internacionales según el área del conocimiento. Por ejemplo, en el área de Eléctrica y Electrónica se sugiere utilizar los Tesoros de la IEEE y/o World Bank que se pueden encontrar en las siguientes páginas respectivamente: http://www.ieee.org/documents/2009Taxonomy_v101.pdf, <http://multites.net/mtsql/wb/site/default.asp>

Introducción

Debe describir el planteamiento general del trabajo, así como contexto, antecedentes, estado de arte de la temática abordada, objetivo y posible alcance del trabajo.

Metodología

La redacción de este apartado debe permitir a cualquier profesional especializado en el tema replicar la investigación.

Resultados

Explicación e interpretación de los hallazgos. Si es necesario, se puede presentar una discusión breve y enfocada a la interpretación de los resultados.

Conclusiones

Implicación de los resultados y su relación con el objetivo propuesto.

Financiamiento

Mencionar la investigación asociada de la cual se derivó el artículo y la entidad que avaló y financió dicha investigación.

Agradecimientos

Preferiblemente deben ser breves y deben incluir los aportes esenciales para el desarrollo del trabajo.

Ecuaciones

Deben aparecer centradas con respecto al texto principal. Las ecuaciones deben ser referenciadas con números consecutivos (escritos entre paréntesis cerca al margen derecho). Las ecuaciones se citan en el texto principal empleando la palabra ecuación y seguida del número entre paréntesis. Las ecuaciones deben ser elaboradas en un editor de ecuaciones apropiado y compatible con el paquete de software InDesign, por ejemplo, el editor de ecuaciones de Windows.

Tablas

Para el caso de realización de tablas se recomienda que estas no sean insertadas como imágenes,

considerando que en este formato no pueden ser modificadas. El encabezado de cada tabla debe incluir la palabra Tabla (en negrita) seguida del número consecutivo correspondiente y de un breve nombre de la tabla. El encabezado debe estar escrito con letra Times New Roman, en cursiva y tamaño de fuente 9.

No se presentan cuadros sino tablas y estas se deben levantar automáticamente desde el procesador de textos. Las tablas deben ir nombradas y referenciadas en el artículo, en estricto orden. Toda tabla debe tener en su parte inferior la fuente de la que fue tomada, o mencionar que es autoría de los autores si es el caso.

Figuras

Todas las figuras o fotografías deben enviarse en formato PNG o TIFF con una resolución mínima de 300 DPI, adaptadas a escala de grises.

El pie o rótulo de cada figura debe incluir la palabra Figura (en negrita) seguida del número consecutivo correspondiente y de una breve descripción del contenido de la figura. El pie de figura debe estar escrito con letra Times New Roman, en cursiva y tamaño de fuente 9. Las figuras deben ir nombradas y referenciadas en el artículo, en estricto orden. Toda figura debe tener también la fuente de la que fue tomada, o mencionar que es autoría de los autores si es el caso.

Símbolos

Los símbolos de las constantes, variables y funciones en letras latinas o griegas –incluidos en las ecuaciones– deben ir en cursiva; los símbolos matemáticos y los números no van en cursiva. Se deben identificar los símbolos inmediatamente después de la ecuación. Se deben utilizar las unidades, dimensiones y símbolos del sistema internacional.

Cuando se empleen siglas o abreviaturas, se debe anotar primero la equivalencia completa, seguida de la sigla o abreviatura correspondiente entre paréntesis y en lo subsecuente se escribe solo la sigla o abreviatura respectiva.

Referencias bibliográficas

El estilo de citación de referencias adoptado por la revista **Tecnura** es APA sexta edición. Las citas, referencias bibliográficas e infografía se incluyen al final del artículo. Las referencias bibliográficas deben ordenarse alfabéticamente de acuerdo con el primer apellido del primer autor, sin numeración.

Solo deben aparecer las referencias que fueron citadas en el texto principal del trabajo, en las tablas o en las figuras. Es decir, en la lista no deben aparecer otras referencias aunque hayan sido consultadas por los autores para la preparación del trabajo. Sugerimos utilizar herramientas como: *Citas y bibliografía* de Microsoft Word (para APA sexta edición versión 2013 o superior), *Zotero*, *Mendeley*, entre otras.

El llamado de una referencia bibliográfica se inserta en el texto, en el punto pertinente, bajo ciertas características:

- Si la oración incluye el apellido del autor, solo se debe escribir la fecha dentro de un paréntesis, ejemplo:
Cuando Vasco (2012), analizó el problema de presentado en
- Cuando no se incluye el autor en la oración, debe ir entre el paréntesis el apellido y la fecha.
La investigación de materiales dio una visión en el área (Martínez, 2012).
- Si el documento u obra tiene más de dos autores, se debe citar la primera vez con todos los apellidos.
1990. (Fernández Morales, Villa Krieg & Caro de Villa, 2008)
- En las menciones siguientes, solo se debe escribir el primer apellido del autor, seguido de un "et al".
En cuanto al estudio de las aguas, Fernández Morales et al. (2008) encontraron que ...
- Cuando el documento u obra tiene más de seis autores, se debe utilizar desde la primera mención el "et al".

A continuación se describen una serie de ejemplos de las referencias más utilizadas, según

el estilo de referencias adoptado por la revista *Tecnura*:

Publicaciones Periódicas:

Forma Básica

Apellidos, A. A., Apellidos, B. B. & Apellidos, C. C. (Fecha). Título del artículo. *Título de la publicación*, volumen (número), pp. xx-xx. doi: xx.xxxxxxx

Artículo básico

Guevara López, P., Valdez Martínez, J., Agudelo González, J., & Delgado Reyes, G. (2014). Aproximación numérica del modelo epidemiológico SI para la propagación de gusanos informáticos, simulación y análisis de su error. *Revista Tecnura*, 18(42), 12 -23. doi:<http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2014.4.a01>

Artículo web

Rodríguez Páez, S., Fajardo Jaimes, A., & Páez Rueda, C. (2014). Híbrido rat-race miniaturizado para la banda ISM 2,4 GHZ. *Revista Tecnura*, 18(42), 38-52. Recuperado de <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/article/view/8059/9675>

Libros:

Forma Básica

Apellidos, A. A. (Año). *Título*. Ciudad: Editorial.
Apellidos, A. A. (Año). *Título*. Recuperado de <http://www.xxxxxx.xxx>
Apellidos, A. A. (Año). *Título*. doi: xx.xxxxxxx
Apellidos, A. A. (Ed.). (Año). *Título*. Ciudad: Editorial.

Libro con autor

Goleman, D. (2000). *La inteligencia emocional: Por qué es más importante que el cociente intelectual*. México: Ediciones B.

Libro con editor:

Castillo Ortiz, A. M. (Ed.). (2000). *Administración educativa: Técnicas, estrategias y prácticas gerenciales*. San Juan: Publicaciones Puertorriqueñas

Libro versión electrónica:

Montero, M. & Sonn, C. C. (Eds.). (2009). *Psychology of Liberation: Theory and applications*. [Versión de Springer]. doi: 10.1007/978-0-387-85784-8

Informe técnico:

Forma Básica

Apellidos, A. A. (Año). *Título*. (Informe Núm. xxx). Ciudad: Editorial

Informe con autores

Weaver, P. L., & Schwagerl, J. J. (2009). U. S. *Fish and Wildlife Service refuges and other nearby reserves in Southwestern Puerto Rico*. (General Technical Report IITF-40). San Juan: International Institute of Tropical Forestry.

Informe de una agencia del gobierno

Federal Interagency Forum on Child and Family Statistics. *America's Children: Key National Indicators of Well-Being, 2009*. Washington, DC: U.S. Government Printing Office. Recuperado de <http://www.childstats.gov/pubs/index.asp>

Tesis

Forma Básica

Apellidos, A. A. (Año). *Título*. (Tesis inédita de maestría o doctorado). Nombre de la institución, Localización.

Tesis inédita, impresa

Muñoz Castillo, L. (2004). *Determinación del conocimiento sobre inteligencia emocional que poseen los maestros y la importancia que le adscriben al concepto en el aprovechamiento de los estudiantes*. (Tesis inédita de maestría). Universidad Metropolitana, San Juan, PR.

Tesis de base de datos comercial

Santini Rivera, M. (1998). *The effects of various types of verbal feedback on the performance of selected motor development skills of adolescent males with Down syndrome*. (Tesis doctoral). Disponible

en la base de datos ProQuest Dissertations and Theses. (AAT 9832765).

Tesis web

Aquino Ríos, A. (2008). *Análisis en el desarrollo de los temas transversales en los currículos de español, matemáticas, ciencias y estudios sociales del Departamento de Educación*. (Tesis de maestría, Universidad Metropolitana). Recuperado de http://suagm.edu/umet/biblioteca/UMTESIS/Tesis_Educacion/ARAquinoRios1512.pdf

Estándares o patentes

Forma Básica

Apellidos, A. A. Título de la patente. País y número de la patente. Clasificación de la patente, fecha de concesión oficial. Número y fecha de solicitud de la patente, paginación.

Hernández Suárez, C. A., Gómez Saavedra, V. A., & Peña Lote, R. A. Equipo medidor de indicadores de calidad del servicio de energía eléctrica para usuario residencial. Colombia., 655. G4F 10/0, 15 de Marzo 2013. 27 de Octubre 2011, 147

4. ENVÍO DE ARTÍCULOS

Los autores deben enviar sus artículos a través de la aplicación para tal fin del Open Journal System en formato digital, adjuntando la carta de presentación y el formato de información artículo-autores.

4.1 Carta de presentación

El artículo debe ir acompañado de una carta de presentación dirigida al director y editor de la revista, Ing. Cesar Augusto García Ubaque, donde incluya:

- Solicitud expresa de considerar su artículo para publicarlo en la revista Tecnura.
- Título completo del trabajo.
- Nombres completos de todos los autores del trabajo.
- Certificación de la originalidad y el carácter inédito del trabajo.

- Exclusividad de su remisión a la revista *Tecnura*.
- Confirmación de la autoría con la firma de todos los autores.

Esta carta deberá estar firmada por todos los autores, escanearse y enviarse junto con los demás documentos solicitados.

4.2 Formato de información artículo-autores

El artículo además debe ir acompañado de un formato de información sobre el artículo y sus autores, el cual se puede descargar de la página web de la revista *Tecnura*: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>, en la sección "Formatos y Documentos". Es importante completar todos los campos de información solicitados, algunos de ellos tienen comentarios para aclarar mejor lo que se está solicitando. El formato no debe escanearse.

4.3 Artículo

Artículo en formato digital (Word 2003 en adelante) que cumpla con todas las normas de presentación descritas en el capítulo 3, "Formato del artículo", de la presente en las instrucciones a los autores.

5. PROCEDIMIENTO PARA LA PUBLICACIÓN

El procedimiento que sigue la revista *Tecnura* para la evaluación y posible publicación de los trabajos enviados por los autores es el siguiente en orden cronológico:

1. Envío del artículo acompañado de la carta de presentación y el formato de información por parte de los autores.
2. Notificación al autor de correspondencia de la recepción del artículo.
3. Verificación del tema del artículo con respecto a las áreas de interés de la revista.
4. Verificación de las normas de presentación por parte del monitor de la revista.
5. Notificación al autor de correspondencia de la evaluación de las normas de presentación.

6. Envío de las correcciones realizadas por los autores con respecto a la evaluación de las normas de presentación.
7. Envío del artículo a los árbitros seleccionados.
8. Notificación del inicio del proceso de arbitraje del artículo.
9. Notificación a los autores de la decisión tomada por el Comité Editorial y de las evaluaciones hechas por los árbitros.
10. Envío de las correcciones realizadas por los autores con respecto a las evaluaciones de los árbitros.
11. Estudio de la versión final del artículo y de las evaluaciones de los árbitros por parte del Comité Editorial.
12. Envío por parte de los autores de la carta de cesión de derechos al editor de la revista.
13. Envío de la versión con corrección de estilo y diagramada a los autores.
14. Verificación de errores y aprobación final de la versión con corrección de estilo y diagramada por parte de los autores.
15. Publicación del artículo en el número correspondiente de la revista *Tecnura*.
16. Notificación a los autores de la publicación del número de interés.
17. Envío de un ejemplar de la revista a cada autor del artículo publicado.

6. PROCESO DE ARBITRAJE DE ARTÍCULOS

Considerando la periodicidad trimestral de la revista, el Comité Editorial realiza cuatro convocatorias anuales para la recepción de artículos, aproximadamente en los meses de febrero, mayo, agosto y noviembre. Los artículos serán recibidos hasta la fecha máxima establecida en cada convocatoria.

Una vez recibidos los artículos el monitor de la revista realizará una primera evaluación de forma para verificar que cumplan con todos los elementos mencionados en esta guía de instrucciones a los autores. Luego de recibir nuevamente el artículo con las correcciones de forma solicitadas por el

monitor de la revista, este será sometido a evaluación por tres pares académicos (paulatinamente se espera incorporar un mayor número de pares externos que participen en el proceso).

Cada artículo remitido a la revista *Tecnura* es revisado por dos pares académicos externos a la institución de los autores, mediante un proceso de “revisión entre pares” (*Peer-review*) de doble-ciego, garantizando el anonimato de los autores y evaluadores; se considera confidencial todo trabajo recibido y así se le exige a sus evaluadores.

Las posibles conclusiones de los resultados de la evaluación por parte de los árbitros son únicamente tres: publicar el artículo sin modificaciones, publicar el artículo con modificaciones o no publicar el artículo.

Posteriormente, el Comité Editorial toma la decisión de publicar o no los artículos, con base en los resultados de las evaluaciones realizadas por los árbitros asignados. En caso de existir contradicciones en las evaluaciones con respecto a la publicación de un artículo, el Comité Editorial enviará el artículo a un tercer árbitro y se inclinará por las dos evaluaciones que tengan el mismo concepto respecto a la publicación del artículo.

En cada convocatoria el autor de correspondencia debe sugerir al menos cuatro posibles evaluadores externos a su institución laboral, los cuales deben ser especialistas en el tema específico del artículo remitido, tener al menos maestría y por lo menos dos deben ser internacionales. Los posibles evaluadores pueden pertenecer a una universidad o industria, pública o privada; de estos se debe proporcionar el nombre completo, su formación académica más alta, su afiliación institucional y su correo electrónico. Estos cuatro potenciales

evaluadores serán analizados por el Comité Editorial a fin de ampliar la base de datos de los árbitros de la revista *Tecnura*.

El Comité Editorial de la revista *Tecnura* se reserva los derechos de impresión, reproducción total o parcial del artículo, así como el de aceptarlo o rechazarlo. Igualmente, se reserva el derecho de hacer cualquier modificación editorial que estime conveniente; en tal caso el autor recibirá por escrito recomendaciones de los evaluadores. Si las acepta, deberá entregar el artículo con los ajustes sugeridos dentro de las fechas fijadas por la revista para garantizar su publicación dentro del número programado.

6. CONTACTO

Para cualquier solicitud de información adicional puede comunicarse a través del correo electrónico de la revista *Tecnura*: tecnura@udistrital.edu.co, tecnura@gmail.com, o por mensajería con el Ing. Cesar Augusto García Ubaque, Director y Editor de la revista *Tecnura*, a la dirección:

Revista Tecnura
Sala de Revistas, Bloque 5, Oficina 305.
Facultad Tecnológica
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Transversal 70 B N. 73 a 35 sur
Teléfono: 571 – 3239300 Extensión: 5003
Celular: 57–3153614852
Bogotá D.C., Colombia
Email:
tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co, tecnura@gmail.com
Página web:
<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

Tecnura journal District francisco José de caldas university Faculty of technology

CONTENT

- **Scope and editorial policy of the journal**
- **Type of accepted articles**
- **Article format**
- **Article submission**
- **Publication procedure**
- **Article arbitration**
- **Contact**

SCOPE AND EDITORIAL POLICY OF THE JOURNAL

Tecnura journal is an institutional publication of the Faculty of Technology from University Francisco José de Caldas. It is a scientific and technological publication with quarterly periodicity, which is published in January, April, July and October. The first issue appeared in the second semester of 1997 and up to now it has maintained its regularity.

The areas of interest of *Tecnura journal* are focused on all engineering fields such as electronics, telecommunications, electricity, systems, industrial, mechanics, cadastral, civil, environmental, among others. However, it is not restricted to those; it also has room for education and health issues, as long as they are related to engineering. The journal will only publish concerning scientific and technological research, reflection and revision. In consequence, during the initial editorial evaluation, short articles and case reports will be rejected.

Tecnura Journal is addressed for professors, researchers, students and professionals interested in permanent update of their knowledge and follow-up of scientific-technologic processes in the field of engineering. *Tecnura Journal* has as mission

to disseminate results of research projects in the areas of engineering, through the publication of original and unpublished articles, conducted by academics and professionals accredited by public or private national or foreign institutions. Articles submitted to *Tecnura journal* must be unpublished works written in Spanish or English; nevertheless, preference will be given to articles that show innovative concepts of great interest, related to the objective and scope of the journal.

Tecnura is an academic publication indexed in the Regional Index Scielo Colombia (Colombia) and Redalyc (México); as well as of the following bibliographic databases: INSPEC of the Institution of Engineering and Technology (England), Fuente Académica Premier of EBSCO (United States), CABI (England), Index Copernicus (Poland), Informe Académico of Gale Cengage Learning (México), Periódica from the Universidad Nacional Autónoma de México (México), Oceanet (Spain) and Dialnet from the Universidad de la Rioja (Spain). It is also part of the following directories: Online Regional Information System for Scientific journals from Latin America, Caribbean, Spain and Portugal Latindex (México), Bibliographic Index Actualidad Iberoamericana (Chile), e-Revistas (Spain), DOAJ (Sweden) and Ulrich of Proquest (United States).

Tecnura is a journal arbitrated by a revision process among double blind peers. The schedule of the conformation of its scientific and editorial committee is subject to the publication of articles in internationally indexed journals by their members.

District University Francisco José de Caldas, its directors, the editor, the editorial and scientific committee are not responsible for the opinions and the criteria expressed in the content of the articles

and they are published under the exclusive responsibility of the authors and do not necessarily reflect the ideas of the editorial committee.

In addition to the printed version, Tecnura journal also has a digital version available in its web page: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/index>

TYPE OF ARTICLES ACCEPTED

According to the classification of the Scientific and Technological Publications National Index (Publindex-Colciencias), *Tecnura* journal receives nominations of unpublished articles on the following topics:

- ***Scientific and technological research articles:*** document that presents, in a detailed manner, the original results of research projects. The generally used structure contains four main parts: introduction, methodology, results and conclusions.
- ***Reflection articles:*** document that presents research results from an analytic, interpretative or critic perspective from the author, dealing with a specific topic and adopting original sources.
- ***Review article:*** document that results from a research where the results of published or unpublished research on a science or technology field are analyzed, systematized and integrated, in order to state the advances and tendencies in development. It is characterized for presenting a careful bibliographical review of at least 50 references.

ARTICLE FORMAT

About the appropriate language and style for articles writing

- Authors must use simple sentence structures, avoiding those too long or complex.
- The vocabulary used must be basic and common. Technical language must be briefly explained; also, the meaning of the acronyms must be given the first time they appear in the text.
- The authors are responsible for their work to be conducted in a professional and ethic manner.

About the length of articles

The articles should not exceed 25 pages in letter size and double space, with symmetric margins of 3 cm. Only in the case of review articles, these 25 pages do not include references.

About the presentation format

Submitted articles must be unpublished works written in Spanish or English, and must be typed in Microsoft Word (2003 and beyond), complying with the following indications:

- *Times New Roman* letter, 12 point (except it is required for some sections).
- One column, double-spaced.
- All the margins 3 cm.
- Paragraphs should be justified without spaces between consecutives and without cutting words.
- Do not include page breaks or section finals.
- If you want to emphasize words or phrases from the text, do not use bold letters but italic.
- Decimals should be pointed with comma (,) and not with period (.).
- Thousands and millions should be pointed with a fine space.
- Avoid footnotes.
- Arabic nomenclature must be used only until the third level.

About the article structure

The papers must have the following structure and comply with the following requirements:

Composition of an article

All the articles submitted for evaluation and possible publication by the Tecnura Journal must have at least the following components:

- Title in Spanish and English.
- Information about the authors.
- Abstract in Spanish and English.

- Key words in Spanish and English.
- Introduction.
- Conclusions.
- Future work (optional).
- Acknowledgements (optional).
- Bibliographical references.

If the article is related to scientific and technological research must have, in addition to the above, the following components:

- Methodology.
- Results.
- Financing.

Title

The title of the article must be short or divided in title and subtitle, attractive for the potential reader and written in capital letters. It should appear centered between the margins, written in *Times New Roman* letter, in bold, font size 18. The title of the article has to be in Spanish and English separated by double space. Maximum 20 words.

Authors

After the title the complete name(s) of the author(s) must be written, with their basic biographical data: undergraduate degree, graduate degree, occupation or position, institutional affiliation (institution where they work), dependency, city, country and e-mail. The above information must be immediately below the author's name.

Abstract

The scope and purpose of the work must be established giving a clear and concise description of the methodology, results presented and the conclusions obtained. Maximum of 250 words.

Keywords

Between three and ten keywords must be chosen, written in English with *Times New Roman* letter in bold and italic.

Key words must be written in alphabetic order and must be as standard as possible, for which it is suggested the use of international databases according to the area of knowledge. For example, in the area of Electrics and Electronics it is suggested to use the IEEE thesaurus and World Bank thesaurus that can be accessed at the following web pages respectively:

http://www.ieee.org/documents/2009Taxonomy_v101.pdf

<http://multites.net/mtsql/wb/site/default.asp>

Abstract in Spanish

Translation to the Spanish language of the text that appears in the abstract, it must be correct and precise.

Keywords in Spanish

Translation to the English language of the keywords in Spanish, they must be correct and precise.

Keywords must be written in the order of the English version and must be as standard as possible, for which it is suggested the use of international databases according to the area of knowledge. For example, in the area of Electrics and Electronics it is suggested to use the UNESCO thesaurus that can be found at the following web pages:

<http://databases.unesco.org/thessp>

Introduction

The general idea of the work must be described, its context, backgrounds, state of the art of the topic, objectives and possible scope of the work.

Methodology

The writing of this part must allow any specialized professional in the topic to replicate the research.

Results

Explanation and interpretation of the findings. If necessary, a brief discussion focused on the interpretation of the results can be presented.

Conclusions

Implication of the results and their relation to the proposed objective.

Financing

Mention the associated research from which the article was derived and the entity that endorsed and financed the research.

Acknowledgments

They should preferably be brief and include the essential contributions for the development of the paper.

Equations

Equations must appear centered with respect to the main text. They must be referenced with consecutive numbers (written in parenthesis close to the right margin). Equations are cited in the main text employing the word equation, and followed by the number in parenthesis. Equations must be made in an appropriate equation editor and compatible with "InDesign" software, as for example the equation editor of Windows.

Tables

In the case of implementation of tables, it is recommended that these are not inserted as images, considering that in that format they cannot be modified. The title of each table must include the word table (in italic) followed by the corresponding consecutive number and a brief name of the table. The heading must be written in TNR letter, italic and font size 9.

Charts are not presented but tables and they should be automatically raised from the text processor. Tables should be named and referenced in the article, in strict order. Every table must have at the bottom the source from which it was taken, or to mention self-authorship if it is the case.

Figures

All the figures or pictures have to be sent in JPG or PNG format with a minimum resolution of 300 DPI, adapted to gray scale.

The footnote or name of each figure must include the word figure (in italic) followed by the corresponding consecutive number and a brief description of the content of the figure. The footnote of the figure must be written in *Times New Roman* letter, italic and font size 9. Figures must be named and referenced in the article, in strict order. Every figure must have at the bottom the source from which it was taken, or to mention self-authorship if it is the case.

Symbols

The symbols of the constants, variables and functions in Latin or Greek letters –included in the equations- must be in italic; the mathematical symbols and the numbers do not go in italic. The symbols must be identified immediately after the equation. Units, dimensions and symbols of the international system must be used

When using acronyms or abbreviations, the complete equivalence should be written first, followed by the corresponding acronym or abbreviation in parenthesis and from there it is only written the respective acronym or abbreviation.

Bibliographic references

The adopted reference citation style by *Tecnura* journal is APA sixth edition. The cites, bibliographic references and infography are included in the last part of the article. The bibliographic references must be alphabetically ordered according to the author's first surname, without numbering.

There should only appear the cited references in the main body of the work, in tables or in figures. It means, in the list there should not appear other references although they have been consulted by the authors for the work preparation. We suggest using tools such as: Cites and bibliography from Microsoft Word (for APA sixth edition version 2013 or superior), Zotero, Mendeley, among others.

The call for a bibliographic reference is inserted in the text, at the pertinent point, under certain characteristics:

- If the sentence includes the author's surname, it should only be written the date into a parenthesis, for instance:

Cuando Vasco (2012), analizó el problema de presentado en

- When the author is not included in the sentence, surname and date must be into a parenthesis.

La investigación de materiales dio una visión en el área (Martínez, 2012).

- If the document or work has more than two authors, the first cite must include all the surnames. 1990. (Fernández Morales, Villa Krieg & Caro de Villa, 2008)

- In the following mentions, it must only be written the author's first surname, followed by "et al."

En cuanto al estudio de las aguas, Fernández Morales et al. (2008) encontraron que ...

- When the document or work has more than six authors, it must be used from the first mention "et al."

Next it is described a series of examples of the more used references, according to the reference style adopted by *Tecnura* journal:

Periodical Publications:

Basic Form

Surnames, A. A., Surnames, B. B. & Surnames, C. C. (Date). Article's title. *Title of the publication*, volume (number), pp. xx-xx. doi: xx.xxxxxxx

Basic article

Guevara López, P., Valdez Martínez, J., Agudelo González, J., & Delgado Reyes, G. (2014). Aproximación numérica del modelo epidemiológico SI para la propagación de gusanos informáticos, simulación y análisis de su error. *Revista Tecnura*, 18(42), 12 -23. doi:http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2014.4.a01

Web article

Rodríguez Páez, S., Fajardo Jaimes, A., & Páez Rueda, C. (2014). Híbrido rat-race miniaturizado para la banda ISM 2,4 GHz. *Revista Tecnura*, 18(42),

38-52. Recuperado de <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/article/view/8059/9675>

Books:

Basic Form

Surnames, A. A. (Year). *Title*. City: Editorial.

Surnames, A. A. (Year). *Title*. Recovered from <http://www.xxxxxx.xxx>

Surnames, A. A. (Year). *Title*. doi: xx.xxxxxxxx

Surnames, A. A. (Ed.). (Year). *Title*. City: Editorial.

Book with author

Goleman, D. (2000). *La inteligencia emocional: Por qué es más importante que el cociente intelectual*. México: Ediciones B.

Book with editor:

Castillo Ortiz, A. M. (Ed.). (2000). *Administración educativa: Técnicas, estrategias y prácticas gerenciales*. San Juan: Publicaciones Puertorriqueñas

Book electronic version:

Montero, M. & Sonn, C. C. (Eds.). (2009). *Psychology of Liberation: Theory and applications*. [Versión de Springer]. doi: 10.1007/ 978-0-387-85784-8

Technical report:

Basic Form

Surnames, A. A. (Year). *Title*. (Report No. xxx). City: Editorial

Report with authors

Weaver, P. L., & Schwagerl, J. J. (2009). *U. S. Fish and Wildlife Service refuges and other nearby reserves in Southwestern Puerto Rico*. (General Technical Report IITF-40). San Juan: International Institute of Tropical Forestry.

Report from a Government agency

Federal Interagency Forum on Child and Family Statistics. *America's Children: Key National Indicators of Well-Being, 2009*. Washington, DC: U.S. Government Printing Office. Recuperado de <http://www.childstats.gov/pubs/index.asp>

Thesis**Basic form**

Surnames, A. A. (Year). Title. (Unpublished master or doctorate thesis). Institution name, Location.

Unpublished thesis, printed

Muñoz Castillo, L. (2004). *Determinación del conocimiento sobre inteligencia emocional que poseen los maestros y la importancia que le adscriben al concepto en el aprovechamiento de los estudiantes*. (Tesis inédita de maestría). Universidad Metropolitana, San Juan, PR.

Commercial database thesis

Santini Rivera, M. (1998). *The effects of various types of verbal feedback on the performance of selected motor development skills of adolescent males with Down syndrome*. (Tesis doctoral). Disponible en la base de datos ProQuest Dissertations and Theses. (AAT 9832765).

Web thesis

Aquino Ríos, A. (2008). *Análisis en el desarrollo de los temas transversales en los currículos de español, matemáticas, ciencias y estudios sociales del Departamento de Educación*. (Tesis de maestría, Universidad Metropolitana). Recuperado de http://suagm.edu/umet/biblioteca/UMTESIS/Tesis_Educacion/ARAquinoRios1512.pdf

Standards or patents**Basic form**

Surnames, A. A. Title of the patent. Country and number of the patente. Classification of the patent, date of official license. Number and date of patent request, pagination.

Hernández Suárez, C. A., Gómez Saavedra, V. A., & Peña Lote, R. A. Equipo medidor de indicadores de calidad del servicio de energía eléctrica para usuario residencial. Colombia., 655. G4F 10/0, 15 de Marzo 2013. 27 de Octubre 2011, 147

ARTICLE SUBMISSION

Authors must submit their articles through the application Open Journal System in digital format, attaching the cover letter and the article-authors format.

Cover letter

The article must be submitted with a cover letter addressed to the director and editor of the journal, Engineer Cesar Augusto Garcia Ubaque, including:

- Specific request to consider your article to be published in Tecnura journal.
- Full title of the article.
- Full names of all the authors of the paper.
- Certification of the originality and unpublished character of the paper.
- Exclusivity of submission to Tecnura journal.
- Authoring confirmation with signature of all the authors.

This letter must be signed by all the authors, scanned and sent with the remaining requested documents.

Article-authors information format

The article has to be submitted with an information format about the article and its authors which can be downloaded from the web page of Tecnura journal <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/index>, in the section "Forms and Documents". It is important to complete all the fields of information requested, some of them have comments to clarify better what is being requested. The format must not be scanned.

Article

Article in digital format (Word 2003 and later editions) that complies with all the presentation rules described in chapter three, "Article structure", of this guide of instructions for authors.

PUBLICATION PROCEDURE

The procedure to be followed by Tecnura journal for the evaluation and possible publication of the papers sent by the authors is the following in chronological order:

1. Delivery of the article with the cover letter and the information format by the authors.
2. Notification to the author about the reception of the article.
3. Verification of the presentation rules by the monitor of the journal.
4. Notification to the author about the evaluation of the presentation rules.
5. Submission of corrections made by the authors related to the evaluation of presentation rules.
6. Submission of the articles to the selected arbitrators.
7. Notification of the beginning of the arbitration process of the article.
8. Notification to the authors about the decision made by the editorial committee, and about the evaluations made by the arbitrators.
9. Delivery of the corrections made by the authors with respect to the evaluations made by the arbitrators.
10. Study of the final version of the article and the evaluations of the arbitrators by the editorial committee.
11. Delivery by the authors of the letter that surrenders right to the editor of the journal.
12. Submission of the version with style corrections and diagrammed to the authors.
13. Verification of errors and final approval of the version with style corrections and diagrammed by the authors.
14. Publication of the article in the corresponding number of Tecnura journal.
15. Notification to the authors of the number of interest.
16. Delivery of a copy of the journal to each one of the authors of the published article.

ARTICLE ARBITRATION PROCESS

Considering the quarterly periodicity of the journal, the Editorial Committee makes four calls every year for the submission of articles, approximately in the months of February, May, August and November. The articles will be received until the date established in the call.

Once received the articles, the monitor of the journal will make an initial form evaluation to verify the completion of the elements mentioned in this guide of instructions to authors. After receiving again the article with the requested corrections by the journal's monitor, the paper will be submitted to evaluation by three academic peers (through time it is expected to include more external peers to participate in the process).

Each article sent to Tecnura journal is checked by two expert academic peers external to the institution of the authors, by a process of "Peer-review" of double blind, guaranteeing the anonymity of authors and evaluators; every paper sent is considered confidential and so it is demanded to evaluators.

Possible conclusions of the result of the evaluation by the judges are only three: publish the article without modifications, publish the article with modifications and not publish the article.

Subsequently, the Editorial Committee takes the decision to publish or not the articles, based on the results of the evaluations made by the assigned arbitrators. In case of contradictions in the evaluations with respect to the publication of an article, the editorial committee will send the article to a third peer and will be inclined for the two evaluations that have the same concept with respect to the publication of the article.

In each call the main author must suggest at least four possible external arbitrators to his work institution evaluators, who must be specialists in the specific topic of the article sent and must have at least Masters level, and at least two must to be international. Potential evaluators can belong to a university or industry, public or private; their

complete names must be provided, highest academic formation, institutional affiliation and e-mail. The editorial committee will analyze these four potential evaluators in order to enrich the database of arbitrators of *Tecnura* journal.

The Editorial Committee of *Tecnura* journal reserves the right to print, reproduce total or partially the article, as the right to accept or reject it. In the same way, it has the right to make any editorial modification that considers necessary; in this case the author will receive written recommendations from the evaluators. If accepted, authors must deliver the article with the suggested adjustments within the dates given by the journal to guarantee its publication in the programmed number.

CONTACT

For any additional information request, please send an e-mail to *Tecnura* journal tecnura@udistrital.edu.co, tecnura@gmail.com or by mail to Cesar Augusto Garcia Ubaque, Director and Publisher of *Tecnura* Journal, to the following address:

Tecnura Journal
Journals Room, Block 5, Office 305.
Faculty of Technology
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Transversal 70 B N. 73 a 35 sur
Phone: 571-3239300 Extension: 5003
Mobile: 57-3153614852
Bogotá D.C., Colombia
Email:
tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co, tecnura@gmail.com
Web page:
<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/index>



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

SUSCRIPCIÓN

Revista *Tecnura*

Nombre completo: _____

Institución u organización: _____

Factura a nombre de: _____

Dirección de envío: _____

Ciudad: _____ Departamento, Estado o provincia: _____

Código postal: _____ Apartado aéreo / P.O. Box: _____

País: _____ Correo electrónico: _____

Teléfono: _____ Fax: _____ Firma: _____

Tabla de costos de suscripción:

Región	1 Año	2 Años
Bogotá	40 000 COP	70 000 COP
Colombia	45 000 COP	80 000 COP
América Latina y el Caribe	40 USD	70 USD
Estados Unidos y Canadá	40 USD	70 USD
Otras regiones	60 USD	100 USD

Nota: los precios tanto en dólares como en pesos incluyen el valor del envío.

Diligenciar el formato de suscripción y enviarlo por correo junto con la copia del recibo de consignación a la dirección postal que aparece en el parte inferior de esta página o escaneado a los correos electrónicos tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co y tecnura@gmail.com. La consignación nacional se realiza en el Banco de Occidente a nombre de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en la cuenta de ahorros número 230-81461-8.

Canje y suscripciones

Enviar a Ing. César Augusto García Ubaque, PhD.

Director y Editor Revista *Tecnura*

Biblioteca

Facultad Tecnológica

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Transversal 70B No. 73A - 35 sur

Teléfono: +57 - 1 - 7311542

Celular: +57 - 3153614852

Bogotá, D.C., Colombia

Correo electrónico: tecnura@udistrital.edu.co tecnura@gmail.com

Tecnura en internet: <http://tecnura.udistrital.edu.co>



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

SIGN UP

Tecnura journal

Full name: _____
Institution or organization: _____
Invoice name: _____
Mailing address/address: _____
City: _____ Department, state or province: _____
Zip code: _____ P.O. Box: _____
Country: _____ E-mail: _____
Phone number: _____ Fax: _____ Signature: _____

Table of subscription costs:

Región	1 year	2 year
Bogotá	23 USD	40 USD
Colombia	26 USD	46USD
Latin America and The Caribbean	40 USD	70 USD
The United States of America and Canada	40 USD	70 USD
Other regions	60 USD	100 USD

Note: prices in both dollars and pesos include the value of the shipment.

Fill out the subscription form and mail it along with a copy of the receipt of consignment to the e-mail address that appears in the bottom of this page or scanned to the following E-mails: tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co and tecnura@gmail.com. The national bank deposit is done in Banco de Occidente in the name of Universidad Distrital Francisco José de Caldas in the savings account number 230-81461-8.

Exchange and Subscription

Send Ing Cesar Augusto Garcia Ubaque PhD.
Editor and Publisher Tecnura Journal

Library

Technology Faculty
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Transversal 73A No. 70B-35 Sur
Phone: +57 - 1 - 7311542
Mobile: +57-3153614852
E-mail: tecnura@udistrital.edu.co, tecnura@gmail.com