

ISSN 0123-921X

Tecnura

Tecnología y Cultura Afirmando el Conocimiento

Universidad Distrital Francisco José de Caldas • Facultad Tecnológica

ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN BASADO EN ENJAMBRES DE PARTÍCULAS CON COMPORTAMIENTO DE VORTICIDAD Y BÚSQUEDA INDIVIDUAL Y GRUPAL

HÍBRIDO RAT-RACE MINIATURIZADO PARA LA BANDA ISM 2,4 GHZ

ESTIMACION DEL ÍNDICE DE CONFIABILIDAD β DE LAS VIGAS DE UN PUENTE USANDO CONTEOS DE TRAFICO REAL (TPDS) MEDIANTE SIMULACIÓN

APROXIMACIÓN NUMÉRICA DEL MODELO EPIDEMIOLÓGICO SI PARA LA PROPAGACIÓN DE GUSANOS INFORMÁTICOS, SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE SU ERROR / Pedro Guevara López / Jorge Salvador Valdez Martínez / Jesús Audelo González / Gustavo Delgado Reyes •
ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN BASADO EN ENJAMBRES DE PARTÍCULAS CON COMPORTAMIENTO DE VORTICIDAD Y BÚSQUEDA INDIVIDUAL Y GRUPAL / Helbert Eduardo Espitia Cuchango / Jorge Iván Sofrony Esmerál • **HÍBRIDO RAT-RACE MINIATURIZADO PARA LA BANDA ISM 2,4 GHZ** / Sebastián Rodríguez Páez / Arturo Fajardo Jaimes / Carlos Iván Páez Rueda •
OPERACIÓN ECONÓMICA DE DISPOSITIVOS ALMACENADORES DE ENERGÍA PARA DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS / Alejandro Garcés Ruiz / Carlos Adrián Correa Flórez / Alejandro Sánchez Salcedo • **SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA DETERMINAR EL GRUPO DE CONEXIÓN EN EL TRANSFORMADOR TRIFÁSICO DL1080** / César Augusto Hernández Suárez / Víctor Alfonso Gómez Saavedra / Robin Alejandro Peña Lote • **ESTIMACION DEL ÍNDICE DE CONFIABILIDAD β DE LAS VIGAS DE UN PUENTE USANDO CONTEOS DE TRAFICO REAL (TPDS) MEDIANTE SIMULACIÓN** / Sergio Andrés Vanegas Herrera / Gustavo Chio Cho • **EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE PASIVOS AMBIENTALES MINEROS EN LA CANTERAVILLA GLORIA EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR, BOGOTÁ D.C.** / César Augusto García Ubaque / María Camila García Vaca / Carlos Fernando Agudelo Rodríguez • **EFFECTO DEL CONTENIDO DE AGUA SOBRE LA RESISTENCIA Y LA VELOCIDAD DE PULSO ULTRASONICO DEL CONCRETO** / Luz Amparo Quintero Ortiz / Ricardo Alfredo Cruz Hernández / Deyci Yamile Peña Santos • **VISUALIZATION TECHNIQUES THROUGH SEARCH INTERFACES IN LEARNING OBJECT REPOSITORIES** / Paulo Alonso Gaona García / Ana Feroso García / Salvador Sanchez Alonso / Elvis Eduardo Gaona García • **MATGEC: HACIA UN MARCO DE TRABAJO PARA LA GESTIÓN CUANTITATIVA DE PROCESOS DE DESARROLLO DE SOFTWARE EN PEQUEÑAS ORGANIZACIONES** / Carlos Alberto Ardila Albarracín / Francisco José Pino Correa / César Jesús Pardo Calvache / Luis Merchán Paredes •

Revista Tecnura • ISSN 0123-921X • Volumen 18 - Número 42 • UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Bogotá, D.C. ISSN 0123-921X. Volumen 18 - Número 42. Octubre - Diciembre de 2014



UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Consulte la colección completa de REVISTA TECNURA en <http://tecnura.udistrital.edu.co>



Categoría A2
Publindex

Tecnura

Tecnología y Cultura, Afirmando el Conocimiento

Volumen 18 - Número 42

Octubre - Diciembre, 2014

p-ISSN: 0123-921X

e-ISSN: 2248-7638

TECNURA JOURNAL

Volume 18 - Number 42

October - December 2014

p-ISSN: 0123-921X

e-ISSN: 2248-7638



**UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Facultad Tecnológica**

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

Ph.D (c). Ing. Cesar 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

Ph.D. Asdrúbal López Chau
Universidad Autónoma del Estado de México, México

Ph.D. Francisco Santamaría Piedrahita
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Ph.D. Geovanny Perdomo Charry
Universidad de Antioquia, Colombia

Ph.D. Luis Pastor Sánchez Fernández
Instituto Politécnico Nacional, México

Ph.D. Pedro Fernando Martín Gómez
Universidad de La Salle, Colombia

Ph.D. Sergio Suárez Guerra
Instituto Politécnico Nacional, México

M.Sc. Alejandro Sánchez Salcedo
Universidad de la Salle, Colombia

M.Sc. Bernabel Hernández Hernández
Universidad Autónoma de Ciudad del Carmen, México

M.Sc. Brenda Leticia Flores Ríos
Universidad Autónoma de Baja California, México

M.Sc. Cesar Leonardo González Pinzón
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México

M.Sc. Efraín Jácome Lobo
Escuela Colombiana de Carreras Industriales, Colombia

M.Sc. John Edwin Vera Vera
Escuela Colombiana de Carreras Industriales, Colombia

M.Sc. Karina Cela Rosero
Escuela Superior de las Fuerzas Armadas, España

M.Sc. Luis Fernando Ríos Sendoya
Fundación Universitaria los Libertadores, Colombia

M.Sc. Mauricio López González
Universidad de Antioquia, Colombia

M.Sc. Miguel Ehécatl Morales Trujillo
Universidad Nacional Autónoma de México, México

M.Sc. Ricardo Andrés Bolaños Ocampo
XM - Filial de ISA, Colombia

M.Sc. Rutilio Rodolfo López Barbosa
Universidad de Colima, México

ASISTENTES DE LA REVISTA *TECNURA*

Ing. Hans Raúl Márquez Ramos
Ing. Diego Armando Giral Ramírez

CUBIERTA

“Pirámide de Xochicalco”, Xochicalco - México
Fotografía: Diego Armando Giral Ramírez

CONTRACUBIERTA

“Templo de Quetzalcóatl”, Xochicalco - México
Fotografía: Diego Armando Giral Ramírez

PREPARACIÓN EDITORIAL Y DISEÑO

Editorial Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Miembro Asociación de Editoriales Universitarias de Colombia
- ASEUC

DIRECCIÓN

Rubén Eliécer Carvajalino Carvajalino

COORDINACIÓN EDITORIAL

María Elvira Mejía Pardo

CORRECCIÓN DE ESTILO PARA ESPAÑOL

Rodrigo Díaz Losada

CORRECCIÓN DE ESTILO PARA INGLÉS

Edward Stiven Valderrama Briñas

DIAGRAMACIÓN ELECTRÓNICA Y DISEÑO DE CUBIERTA

Emilio Simmonds

IMPRESIÓN

Imprenta Universidad Distrital

Formato: 21.5 x 28 cm

Papel: Bond 75 g

Fuente: Times New Roman

Tiraje: 400 ejemplares

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 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 el Índice Bibliográfico Nacional Publindex (IBN) de Colciencias (Colombia) en la categoría A2, 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), IndexCorpernicus (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) y 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.

DECLARACIÓN DE ÉTICA Y BUENAS PRÁCTICAS

La revista *Tecnura* está comprometida con altos estándares de ética y toma las medidas posibles para evitar las malas prácticas como el fraude y el plagio. Todos los autores deben declarar que sus artículos enviados son originales, inéditos y de su autoría, a través de una carta firmada para ser considerados por el Comité Editorial. La revista *Tecnura* también se compromete a garantizar una justa y objetiva revisión de los artículos a través del sistema de evaluación de doble ciego. Los autores reconocen que han dado a conocer cualquier conflicto real o potencial de intereses con su trabajo o de beneficios parciales asociados, a través de la cesión de derechos.

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. César 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@udistrital.edu.co,

tecnura@gmail.com

Tecnura en internet: <http://tecnura.udistrital.edu.co>



**UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Facultad Tecnológica**

EDITOR

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

EDITORIAL COMMITTEE

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 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 (c). 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 Buriticá
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

EVALUATORS

Ph.D. Asdrúbal López Chau
Universidad Autónoma del Estado de México, México

Ph.D. Francisco Santamaría Piedrahita
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Ph.D. Geovanny Perdomo Charry
Universidad de Antioquia, Colombia

Ph.D. Luis Pastor Sánchez Fernández
Instituto Politécnico Nacional, México

Ph.D. Pedro Fernando Martín Gómez
Universidad de La Salle, Colombia

Ph.D. Sergio Suárez Guerra
Instituto Politécnico Nacional, México

M.Sc. Alejandro Sánchez Salcedo
Universidad de La Salle, Colombia

M.Sc. Bernabel Hernández Hernández
Universidad Autónoma de Ciudad del Carmen, México

M.Sc. Brenda Leticia Flores Ríos
Universidad Autónoma de Baja California, México

M.Sc. Cesar Leonardo González Pinzón
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México

M.Sc. Efraín Jácome Lobo
Escuela Colombiana de Carreras Industriales, Colombia

M.Sc. John Edwin Vera Vera
Escuela Colombiana de Carreras Industriales, Colombia

M.Sc. Karina Cela Rosero
Escuela Superior de las Fuerzas Armadas, España

M.Sc. Luis Fernando Ríos Sendoya
Fundación Universitaria Los Libertadores, Colombia

M.Sc. Mauricio López González
Universidad de Antioquia, Colombia

M.Sc. Miguel Ehécatl Morales Trujillo
Universidad Nacional Autónoma de México, México

M.Sc. Ricardo Andrés Bolaños Ocampo
XM - Filial de ISA, Colombia

M.Sc. Rutilio Rodolfo López Barbosa
Universidad de Colima, México

TECNURA JOURNAL ASSISTANTS

Ing. Hans Raúl Márquez Ramos
Ing. Diego Armando Giral Ramírez

TITLE PAGE

“Xochicalco Pyramid”, Xochicalco - México
Photograph: Diego Armando Giral Ramírez

BACK COVER

“Quetzalcóatl temple”, Xochicalco - México
Photograph: Diego Armando Giral Ramírez

EDITORIAL AND DESIGN PREPARATION

Editorial Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Member Association of University Editorial of Colombia
- ASEUC

DIRECTED BY

Rubén Eliécer Carvajalino Carvajalino

EDITORIAL COORDINATION

María Elvira Mejía Pardo

STYLE CORRECTION IN SPANISH

Rodrigo Díaz Losada

STYLE CORRECTION IN ENGLISH

Edward Stiven Valderrama Briñas

ELECTRONIC LAYOUT AND TITLE PAGE DESIGN

Emilio Simmonds

PRINTED BY

Press Distrital University

Format: 21.5 x 28 cm

Paper: Bond 75 g

Font: Times New Roman

Printing: 400 copies

TECNURA JOURNAL

Tecnura Journal is an institutional publication scientific-technological of the Technological Faculty of the District Francisco José de Caldas University, checked by means of an evaluation process between double-blind peer. The periodicity of team up its Scientific and Editorial committees is attached to the publication of articles in indexed magazines internationally by its own members.

PERIODICITY

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

THEMATIC COVERAGE

The interested thematic areas of *Tecnura* journal are focused on all fields of engineering such as electronical, telecommunications, electrical, computer, industrial, mechanical, cadastral, civil, environmental, etc, however, these ones are not restricted only, topics about education and health topics as well, if they are related to engineering. The journal will only publish scientific and technological articles of researching, reflection and revision.

MISSION

Tecnura journal has as mission to publish research projects scores done in engineering by means of original and unpublished articles achieved by academics and professionals from national or international public or private institutions.

TARGET AUDIENCE

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

INDEXING

Tecnura is an academic publication indexed in the Índice Bibliográfico Nacional Publindex (IBN) de Colciencias (Colombia) in the category A2, in the Regional Index Scielo Colombia (Colombia) and Redalyc (México); besides 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 of the Universidad Nacional Autónoma de México (México), Oceanet (Spain) and Dialnet of the Universidad de la Rioja (Spain); also part of the following directories: regional information system for scholarly journals online 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).

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 the value of the shipment). The annual sign up is 28 USD for Colombia; 40 USD in Latin America the Caribbean; 60 USD in other regions (the price include the value of the shipment). To sign up, use the format located at the end of the journal.

DECLARATION OF ETHICS AND GOOD PRACTICES

As a scientific journal, *Tecnura* is committed to the highest ethical standards, and so it is our duty to take all possible actions to prevent inappropriate practices like fraud and plagiarism. All authors must clearly state that the materials sent to the journal are original, unpublished, and correspond to the ideas of the authors, by submitting a letter signed with their names. This letter is to be considered by the editorial committee. *Tecnura* is also committed to guarantee fair and unbiased revision of all articles by implementing a double-blind revision system. Authors must also acknowledge any factual or potential conflict of interest with their job or position within an organization, or any other conflict of collateral partial benefits, by signing a cession-of-rights letter.

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 not necessarily shown the thought of the editorial committee of the journal.

POSTAL ADDRESS

Send to Ing. Cesar Augusto García Ubaque Ph.D. Director and Editor Revista *Tecnura*

Sala de Revistas, Bloque 5, Oficina 305.

Technological Faculty

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Transversal 70B No. 73A - 35 sur

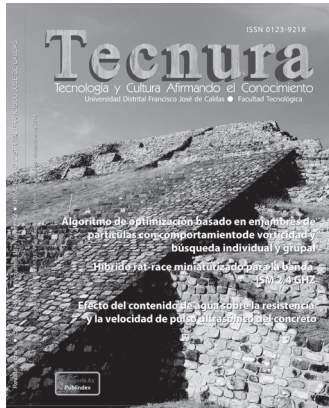
Telephone Number: 571 - 3238400, extension: 5003

Cell phone Number: 57 - 3153614852

Bogotá D.C., Colombia

E-mail: tecnura@udistrital.edu.co, tecnura@gmail.com

Tecnura on internet: <http://tecnura.udistrital.edu.co>



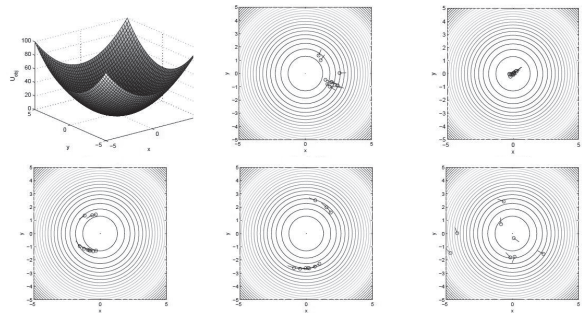
Revista *Tecnura*
 Volumen 18 - Número 42
 p-ISSN: 0123-921X
 e-ISSN: 2248-7638
 Octubre - Diciembre de 2014

TABLA DE CONTENIDO

EDITORIAL 8

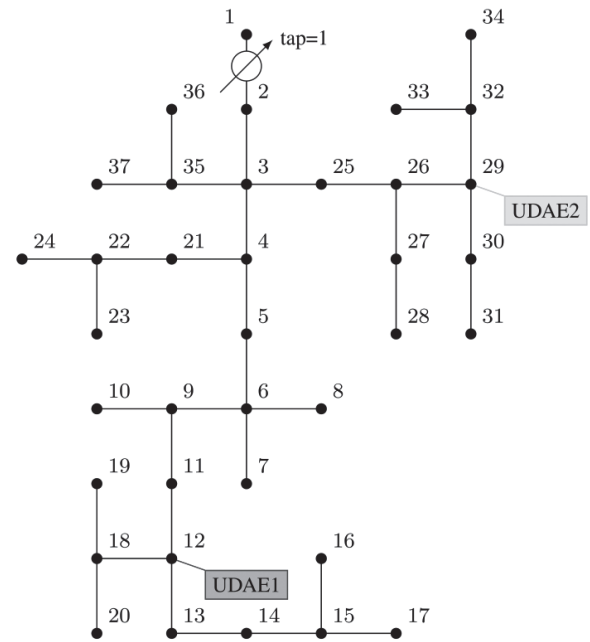
INVESTIGACIÓN

APROXIMACIÓN NUMÉRICA DEL MODELO EPIDEMIOLÓGICO SI PARA LA PROPAGACIÓN DE GUSANOS INFORMÁTICOS, SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE SU ERROR 12
Numerical Approaching of Si Epidemic Model for Spreading of Computer Worms, Simulation and Error Analysis
 Pedro Guevara López / Jorge Salvador Valdez Martínez
 Jesús Audelo González / Gustavo Delgado Reyes



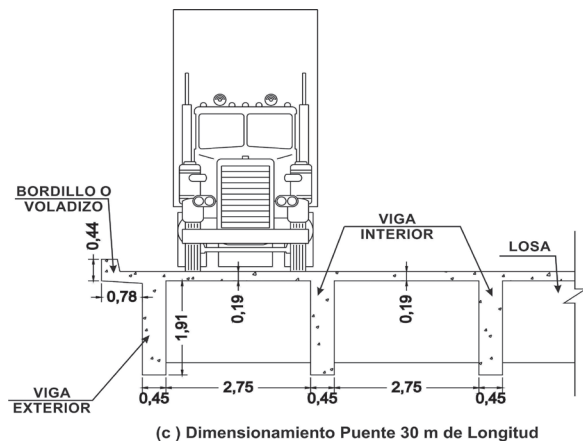
ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN BASADO EN ENJAMBRES DE PARTÍCULAS CON COMPORTAMIENTO DE VORTICIDAD Y BÚSQUEDA INDIVIDUAL Y GRUPAL 24
Vortex Particle Swarm Optimization with Individual and Group Search
 Helbert Eduardo Espitia Cuchango / Jorge Iván Sofrony Esmeral

HÍBRIDO RAT-RACE MINIATURIZADO PARA LA BANDA ISM 2,4 GHZ 38
Miniaturized Rat-Race Hybrid for 2,4 GHZ ISM Band
 Sebastián Rodríguez Páez / Arturo Fajardo Jaimes
 Carlos Iván Páez Rueda



OPERACIÓN ECONÓMICA DE DISPOSITIVOS ALMACENADORES DE ENERGÍA PARA DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS 53
Optimal Operation of Distributed Energy Storage Units for Minimizing Energy Losses
 Alejandro Garcés Ruiz / Carlos Adrián Correa Flórez
 Alejandro Sánchez Salcedo

SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA DETERMINAR EL GRUPO DE CONEXIÓN EN EL TRANSFORMADOR TRIFÁSICO DL1080 65
Data Acquisition System for Determining Group of Connection in the Phase Transformer DL1080
 César Augusto Hernández Suárez / Víctor Alfonso Gómez Saavedra
 Robín Alejandro Peña Lote



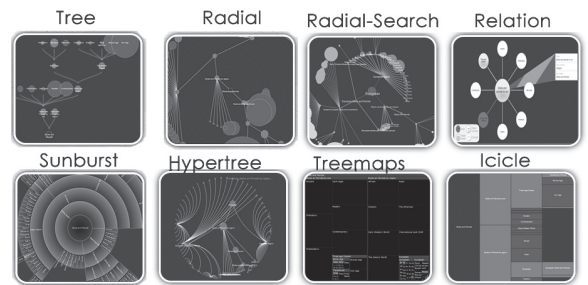
ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CONFIABILIDAD β DE LAS VIGAS DE UN PUENTE USANDO CONTEOS DE TRÁFICO REAL (TPDS) MEDIANTE SIMULACIÓN **78**
Reliability Index β Evaluation of the Girders of a Bridge Using Counts of Real Traffic (TPDS) by Simulation
 Sergio Andrés Vanegas Herrera / Gustavo Chio Cho



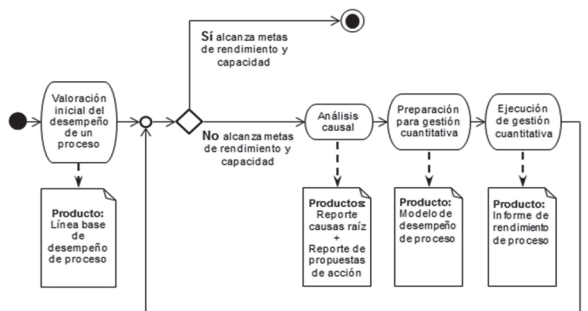
EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE PASIVOS AMBIENTALES MINEROS EN LA CANTERA VILLA GLORIA EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR, BOGOTÁ D.C. **90**
Assessment and Diagnosis of Mining Environmental Liabilities in Villa Gloria Quarry in Ciudad Bolivar, Bogota D.C.
 César Augusto García Ubaque / María Camila García Vaca / Carlos Fernando Agudelo Rodríguez

EFFECTO DEL CONTENIDO DE AGUA SOBRE LA RESISTENCIA Y LA VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO DEL CONCRETO **103**
Effect of the Water Content on the Strength and the Ultrasonic Pulse Velocity of Concrete
 Luz Amparo Quintero Ortiz / Ricardo Alfredo Cruz Hernández / Deyci Yamile Peña Santos

INVESTIGACIÓN



VISUALIZATION TECHNIQUES THROUGH SEARCH INTERFACES IN LEARNING OBJECT REPOSITORIES **114**
Técnicas de visualización sobre interfaces de búsqueda en repositorios de objetos de aprendizaje
 Paulo Alonso Gaona García / Ana Feroso García / Salvador Sanchez Alonso / Elvis Eduardo Gaona García



MATGeC: HACIA UN MARCO DE TRABAJO PARA LA GESTIÓN CUANTITATIVA DE PROCESOS DE DESARROLLO DE SOFTWARE EN PEQUEÑAS ORGANIZACIONES **126**
MaTGeC: Towards A Framework For Quantitative Process Management Of Software Development In Very Small Entities
 Carlos Alberto Ardila Albarracín / Francisco José Pino Correa César Jesús Pardo Calvache / Luis Merchán Paredes

ANEXOS

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES	139
ÍNDICE PERIÓDICO DE AUTORES	160
ÍNDICE PERIODICO DE ARTICULOS	171
SUSCRIPCIÓN	175

El nuevo modelo de clasificación y reconocimiento de grupos de investigación considera como una de sus variables dentro de la medición, la formación del recurso humano en CTI (Ciencia, Tecnología e Innovación), y uno de los indicadores tenidos en cuenta dentro de esta variable son los trabajos de grado.

Ha sido común para la inmensa mayoría de quienes alcanzan un título universitario que cuando se está a punto de terminar el proceso académico, bien sea en pregrado o en posgrado, se vive una mezcla de sensaciones entre alegría, preocupación, desconcierto y algunas veces hasta temor, porque aunque se sabe que esta etapa está por terminar y se ve luz al final del camino, para muchos no todo es felicidad: ¡Se requiere, el trabajo de grado! Es ahí donde se genera caos, porque a pesar de los años de exposición al conocimiento, de toda la formación académica y de interactuar en la sociedad desempeñando diferentes papeles, donde se espera que TODAS las personas sepan hablar, comunicarse, o “echar carreta” como se dice coloquialmente, ¿cómo se puede exponer una idea que convenza al lector y que contribuya al conocimiento, es decir, que deje huella?

Es importante encontrar el por qué se dificulta tanto este proceso. Una de las principales razones es porque se carece de tema. Otra razón es que no se tiene claridad sobre dónde buscar. Pero si ya se ha escogido el tema, la dificultad que aparece es la falta de herramientas para abordarlo. Es por ello que quiero compartir dos lecturas que tuve al alcance cuando preparaba mi trabajo de grado de maestría. La primera, *The Craft of Research (La habilidad para investigar)*, que a través de sus páginas orienta sobre cómo estructurar el fondo de una investigación, y la segunda, *A Rulebook for Arguments (Libro de reglas para la argumentación)*, que aporta las herramientas para dar a conocer los resultados de la investigación, es decir, cómo transmitirlos. El autor de esta última afirma en la introducción que argumentar consiste en dar una serie de razones o evidencias que soportan una conclusión y ayudan a discernir cuál es el mejor punto de vista (Weston, 1997).

Por su parte, los autores de la primera obra explican que lo primero que se debe hacer es indagar por la información que se necesita para responder la pregunta que ayudará a resolver el problema. Es ahí donde escribir se vuelve importante, para no olvidar nada y ver claramente la relación entre la ideas. Se escribe porque ello permite pensar mejor, recordar más y ver con más claridad el panorama (Both, Colomb y Williams, 1996).

En *A Rulebook for Arguments* se enuncian 30 recomendaciones para tener en cuenta en la redacción, entre las que se destacan:

- Distinguir las premisas y las conclusiones
- Presentar las ideas en orden natural
- Empezar por premisas reales
- Usar lenguaje definido, específico y concreto
- No utilizar lenguaje recargado

- Usar términos consistentes
- Utilizar solo un significado por cada palabra
- Preguntarse: ¿hay más que un solo ejemplo?
- Revisar si los ejemplos son representativos
- Tener en cuenta los antecedentes de la información
- Identificar si existen contraejemplos
- Si se utilizan analogías, estas requieren un ejemplo relevante similar
- Deben citarse las fuentes
- Conocer si las fuentes están bien informadas
- Saber si las fuentes son imparciales
- Las fuentes se deben cruzar
- Tener en cuenta que los ataques personales no descalifican una fuente
- La argumentación explica cómo las causas conducen a los hechos
- La conclusión propone la causa más probable
- Los eventos correlacionados no están necesariamente relacionados
- Los eventos correlacionados deben tener una causa común
- Alguno de los dos eventos correlacionados puede ser la causa del otro
- Las causas pueden ser complejas.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede concluir que el drama de los trabajos de grado y las tesis consiste en que al tener que afrontar una gran responsabilidad, se puede experimentar la sensación de no estar preparado para asumirla. Es parte de nuestra labor como investigadores y docentes, volver a trabajar en desmitificar la escritura académica y promover que nuestros estudiantes desarrollen estas habilidades, ya que con ello se puede llegar a contribuir más a la producción científica de nuestros grupos que incluso con grandes inversiones en equipos de laboratorio, sin que estos últimos dejen de ser necesarios o tenidos en cuenta a la hora de considerar y optar por estrategias que fortalezcan los procesos de investigación.

REFERENCIAS

Both W. C., Colomb, G. y Williams, J. (1996). *The Craft of Research*.

Weston, A. (1997). *A Rulebook for Arguments*.

César Augusto García-Ubaque
Director

The new classification and recognition of research groups model includes as one of the measurement variables, human resources training in STI (Science, Technology and Innovation) and one of their indicators are the graduate thesis.

It has been common for many people who achieve a college degree, experience a mixture of feelings between joy, worry, confusion and even fear, because although this phase is ending and they can see the light at the end of the road; for many it's not totally happiness!: A graduate thesis is required! This is where chaos is generated, because despite years of exposure to knowledge and scholarship and to interact in society in different roles, is expected that ALL students can communicate and argue; how to expose an idea that convince the reader and contribute to knowledge, that leave its own mark.

It is important to find out why this process is so difficult. One of the main reasons is because the student does not have a theme to develop, another because is unclear where to seek about. But if he has already chosen the theme, the difficulty arises in the lack of communicating tools. That is why I want to share about two documents that I had available when I was preparing my master's degree thesis. The first, *The Craft of Research*, provides guidance on how to structure the research background, and the second, *A Rulebook for Arguments*, provides the tools to present the investigation results. Its author says: to argue is to give a number of reasons or evidence supporting a conclusion and helps to discern which the best point of view is (Weston, 1997).

The authors explain that the first thing you should do is to investigate the main information needed to answer the question that will help solve the problem. This is where writing becomes so important to remember everything and see more clearly the relationship between ideas. Write lets think better, remember more and see the whole picture (Both et al 1996).

The book *A Rulebook for Arguments* set out 30 recommendations to consider in drafting:

- Distinguish premises and conclusions.
- Present ideas in a natural order.
- Start by real premises.
- Use precise, specific and concrete language.
- Do not use ornate language.
- Use consistent terms.
- Use only one meaning for each word.
- Wondering: There is more than one example.
- Check if the examples are representative.
- Consider the information background.
- Identify if there counterexamples.

- If analogies are used, they require relevant examples.
- Sources should be cited.
- Know if the sources are well informed.
- Know if the sources are unbiased.
- Sources must be cross
- Personal attacks do not disqualify the source
- The argument explains the causes leading to the facts
- The conclusion suggests the most likely cause
- Correlated events are not necessarily related
- Correlated events should have a common cause
- Any of the two (2) correlated events can be the cause of another
- Causes can be complex

Given the above, it can be concluded that the drama of the grade work is based on the situation that having to face a great responsibility, the student can experience the feeling of not being prepared to assume it. Part of our work as researchers and teachers is to demystify academic writing and encourage our students to develop these skills. This can actually contribute more to the scientific production of our groups even large investments in laboratory equipment, without the latter no longer needed or taken into account when considering strategies that strengthen the research process.

REFERENCES

Both W. C., Colomb, G. y Williams, J. (1996). *The Craft of Research*.

Weston, A. (1997). *A Rulebook for Arguments*.

César Augusto García-Ubaque
Director

Aproximación numérica del modelo epidemiológico SI para la propagación de gusanos informáticos, simulación y análisis de su error

Numerical Approaching of Si Epidemic Model for Spreading of Computer Worms, Simulation and Error Analysis

PEDRO GUEVARA LÓPEZ

Ingeniero electricista, maestro en Ciencias de la Computación, doctor en Ciencias de la Computación, doctor en Filosofía de la Educación Iberoamericana, profesor investigador de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Distrito Federal, México.
Contacto: pguevara@ipn.mx

JORGE SALVADOR VALDEZ MARTÍNEZ

Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica con especialidad en Acústica, maestro en Tecnología Avanzada, candidato a doctor en Ciencias en Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica, profesor de la Universidad Tecnológica Emiliano Zapata, Morelos, México.
Contacto: jorgevaldez@utez.edu.mx

JESÚS AUDELO GONZÁLEZ

Ingeniero en Computación, maestro en Ciencias de Ingeniería en Microelectrónica, doctor en Ciencias en Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica, Distrito Federal, México. Contacto: jaudelo@ipn.mx

GUSTAVO DELGADO REYES

Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica, maestro en Ciencias de Ingeniería en Microelectrónica, candidato a Doctor en Ciencias en Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica Distrito Federal, México.
Contacto: gdelgador1200@alumno.ipn.mx

Fecha de recepción: 31 de agosto de 2013

Clasificación del artículo: investigación

Fecha de aceptación: 16 de mayo de 2014

Financiamiento: Instituto Politécnico Nacional de México

Palabras clave: algoritmo, bioinspirado, epidemia, gusano informático, simulación

Keywords: algorithm, bio-inspired, computer worm, epidemic, simulation

RESUMEN

En el entorno biológico se han creado modelos epidemiológicos que tratan de explicar la dinámica de propagación de una epidemia en una población de individuos, para predecir el comportamiento de posibles epidemias que afecten a la humanidad. Esto ha servido de inspiración para estudiar las epidemias por gusanos informáticos, debido a que estos tienen la propiedad de propagarse por sí solos, a partir de un *host* infectado, hacia toda la *red de hosts* susceptibles. En este trabajo se analizó el modelo Susceptible-Infectado (*SI*) que asume que en una comunidad con n individuos, el número de individuos en estado susceptible $S(t)$ entran en contacto directo con el número de individuos en estado infectado $I(t)$. Estos últimos pueden contagiar o cambiar a estado infeccioso con una velocidad de infección β . Este modelo, al estar basado en ecuaciones diferenciales, no es posible implementarlo directamente en un programa de computadora, debido a la complejidad que esto representa por la infinidad de cálculos implícitos. Por esta razón se propuso un modelo aproximado basado en ecuaciones en diferencias finitas para obtener un método numérico iterativo con operaciones aritméticas elementales y lograr una simulación de la epidemia mediante teoría de conjuntos y cardinalidades. Adicionalmente, al tratarse de un modelo aproximado, se tendrá presente un error de aproximación debido a truncamiento o redondeo, el cual es analizado a partir de un caso de estudio desarrollado en Simulink de Matlab, comparándose los resultados del modelo basado en ecuaciones en diferencias con el modelo aproximado por diferencias finitas.

ABSTRACT

In the biological environment, there has been created epidemiological models that attempt to explain the spread dynamics of an epidemic in a population to predict the behavior of possible epidemics that can affect humanity. Based on that, this paper focused on the study of epidemics worms because they can spread by themselves from one infected host to the entire network of susceptible hosts. In this paper we analyzed the susceptible-infected (*SI*) model which assumes that in a community with n individuals, the number of individuals in the susceptible state $S(t)$ are in direct contact with the number of individuals that are in infected state $I(t)$. These last individuals can spread the infection or switch to an infectious state with the factor β as a speed of infection. This model is based on differential equations so it cannot be implemented directly on a computer. Due to the complexity of this model, it is proposed an approximate model based on finite different equations to achieve a simulation of the epidemic using a set theory and cardinality obtaining an iterative numerical method which consists on basics arithmetic operations. Additionally, having in mind this is an approximate model, it will be presented an error due to truncation or rounding. At the end of this paper it will be presented a case of study developed in Simulink of Matlab software, and the results of the model based on difference equations is compared with the finite-difference approximate model including the analysis of approximation errors.

* * *

INTRODUCCIÓN

En la historia de la humanidad, debido a la aparición de epidemias como la peste negra en el siglo XIV, la epidemia de gripe de 1918 a 1919 y hoy

la pandemia del Síndrome de Inmunodeficiencia Adquirida (SIDA) o la gripe A (H1N1) —la cual causo la muerte de 18 000 personas en el mundo del 2009 al 2010—, se han creado modelos epidemiológicos que tratan de explicar la dinámica de

propagación de una epidemia en una población de individuos, tomando en consideración varios factores como la velocidad de diseminación, la inmunidad hacia la enfermedad, el número de individuos, etcétera, para predecir el comportamiento de posibles epidemias que pueden afectar a la humanidad. Pero esto no ha sucedido solamente en el ámbito biológico, sino también en el ámbito tecnológico debido a la aparición de gusanos informáticos. De acuerdo con Audelo *et al.* (2012) y Erbschloe (2005), un gusano informático es un código malicioso (*malware*) con la propiedad de propagarse por sí solo mediante el uso de los procesos del sistema operativo, que generalmente son invisibles al usuario. Desde que apareció el primero en 1979, los gusanos informáticos han causado grandes daños a instituciones gubernamentales, universidades y empresas, generando numerosas pérdidas económicas (Audelo *et al.*, 2012), situación esta que es un anticipo de las repercusiones económicas y sociales que pueden causar en el futuro. El avance tecnológico actual ha permitido el desarrollo de este tipo de programas, en forma tal que cada vez es más difícil protegerse de ellos. De ahí la importancia de usar modelos epidemiológicos biológicos para modelar matemáticamente la dinámica de propagación de epidemias de gusanos informáticos, de tal manera que permitan el desarrollo de herramientas para contraatacarlos rápida y efectivamente (Nazario, 2004). Cabe señalar que la representación mediante modelos matemáticos no siempre es fácil de resolver a partir de métodos analíticos. En algunos casos es imposible obtener una solución exacta y en otros implica análisis y procesos complejos que consumen una cantidad considerable de tiempo; además, debe considerarse la dificultad de emulación del fenómeno computacionalmente.

Hoy en día se usan diversos métodos numéricos para la solución de este tipo de problemas. Estos métodos constituyen una serie de técnicas basadas en procesos cíclicos o iterativos, partiendo de la aplicación de ecuaciones expresadas en forma

recursiva que relacionan dos o más elementos consecutivos de una sucesión de números, funciones, matrices, etc., lo cual permite formular problemas matemáticos que pueden resolverse con operaciones aritméticas realizadas por equipos de cómputo, obteniéndose aproximaciones numéricas que permiten acercarse a la solución con un cierto grado de aproximación (Iriarte, 2007). A este grado de aproximación o desviación del valor real se le llama error, el cual es acrecentado por los resultados de las operaciones aritméticas hechas por el equipo de cómputo, habida cuenta de que los valores obtenidos son truncados o redondeados y ello ocasiona que el error obtenido de la aproximación hecha con respecto a la desviación del valor real inicial (error inicial) permanezca constante o que vaya incrementándose conforme va evolucionando el sistema.

Por ello, en este trabajo se propone una aproximación numérica basada en la teoría de conjuntos y en el método numérico de diferencias finitas centrales, del modelo general epidemiológico Susceptible-Infectado (*SI*) que describe el comportamiento dinámico de uno de los modelos de propagación de enfermedades biológicas. Dicha aproximación es validada mediante el uso de medidas descriptivas basadas en el estudio del comportamiento de la desviación del valor real (error) conforme la evolución del tiempo. Lo que permite sugerir su uso para otros modelos epidemiológicos biológicos como el Modelo Susceptible-Infectado-Recuperado (*SIR*) o el Modelo Susceptible-Infectado-Recuperado-Susceptible (*SIRS*).

METODOLOGÍA

Los modelos matemáticos basados en el modelo general de Kermack-McKendrick (Kermack y McKendrick, 1927), que se utilizan para describir el comportamiento dinámico de la propagación de enfermedades biológicas, se definen como sistemas dinámicos, pues al ser razones de cambio

con respecto al tiempo de tres niveles de estado posibles: el estado Susceptible (S), el estado Infeccioso (I) y el estado Recuperado (R), pueden ser representados con ecuaciones diferenciales. Análogamente, estos sistemas dinámicos biológicos pueden ser utilizados para tratar de describir el comportamiento de la propagación de los gusanos informáticos, debido a que estos tienen la capacidad de propagarse sin necesidad de ninguna intervención del usuario.

Modelo epidemiológico Susceptible-Infectado (SI)

Para el caso de estudio, el modelo Susceptible-Infectado (SI), de acuerdo con Hincapié y Ospina (2007), este asume que en una comunidad con n individuos, el número de individuos en estado susceptible $S(t)$ entra en contacto directo con el número de individuos en estado infectado $I(t)$, quienes pueden contagiar o cambiar a estado infeccioso con una velocidad de infección β a los individuos en estado susceptible. El número total de individuos n será igual a la suma del número de individuos en estado susceptible $S(t)$, más el número de individuos en estado infectado $I(t)$. En la ecuación (1) se describe la dinámica del número de individuos susceptibles, en la ecuación (2) el número de individuos infectados y en la ecuación (3) el número total de individuos:

$$\frac{dS(t)}{dt} = -\frac{dI(t)}{dt} \quad (1)$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = \beta S(t) I(t) \quad (2)$$

$$n = S(t) + I(t) \quad (3)$$

En la tabla 1 se presenta la descripción de variables, en tanto que el diagrama a bloques se aprecia en la figura 1.

Tabla 1. Descripción de las variables para el modelo epidemiológico biológico SI

Variable	Descripción	Unidades
$S(t)$	Número de individuos susceptibles en el tiempo t	Individuos
$I(t)$	Número de individuos infectados en el tiempo t	Individuos
β	Velocidad de infección del proceso epidémico	Individuos/segundo
N	Número total de individuos	Individuos

Fuente: elaboración propia.



Figura 1. Diagrama de bloques del modelo epidemiológico biológico SI .

Fuente: elaboración propia.

El modelo epidemiológico biológico SI ha sido considerado por varios autores (Chang Chun *et al.*, 2002; Yang y Chenxi, 2003; Tao *et al.*, 2007; Onwubico *et al.*, 2005; Juan *et al.*, 2010) para modelar virus y gusanos informáticos en forma continua como un sistema dinámico basado en ecuaciones diferenciales, lo que dificulta la obtención y la programación de los algoritmos computacionales que hagan posible emular su dinámica en una computadora. Para ello es necesario contar con sus modelos aproximados. Sin embargo, en la literatura es complicado encontrar trabajos que basen su investigación en los modelos en forma discreta. Entre los encontrados está el presentado por Cohen (1992), que es uno de los principales trabajos en donde se puede observar un lenguaje formal para la descripción de los conceptos sobre gusanos informáticos. Además de Tassier (2005), en donde se trabaja con las bases matemáticas del modelo clásico SI de manera discreta, para modelar el comportamiento de gusanos informáticos. Esta problemática sirvió de motivación para el desarrollo de la siguiente sección.

Modelo SI expresado en aproximaciones por ecuaciones en diferencias

El método numérico de diferencias finitas consiste en una aproximación de las derivadas que aparecen en un problema de ecuaciones diferenciales ordinarias, de forma que se reduzca a resolver un sistema lineal en un número limitado de puntos seleccionados. Como resultado de la aproximación, la ecuación diferencial es reemplazada por un número finito de ecuaciones algebraicas en términos de los valores de la variable dependiente en puntos seleccionados (Hernández, 2010). Para el modelo epidemiológico SI usado para describir el comportamiento de propagación del gusano informático se consideran los instantes de tiempo $t_{k-1}, t_k, t_{k+1} \in \mathbf{R}^+ \wedge k \in \mathbf{N}$ con $\Delta t = t_{k+1} - t_k \vee \Delta t = t_k - t_{k-1}$; entonces, por diferencias finitas se consideraron las ecuaciones (4) y (5).

$$\frac{dS(t)}{dt} \approx \frac{|\bar{S}(t_{k+1})| - |\bar{S}(t_{k-1})|}{2\Delta t} \quad (4)$$

$$\frac{dI(t)}{dt} \approx \frac{|\bar{I}(t_{k+1})| - |\bar{I}(t_{k-1})|}{2\Delta t} \quad (5)$$

Con base en la figura 2 y considerando el concepto de diferencia finita como aproximación a la derivada de las ecuaciones (4) y (5), se propone el siguiente teorema para la solución numérica del modelo SI.

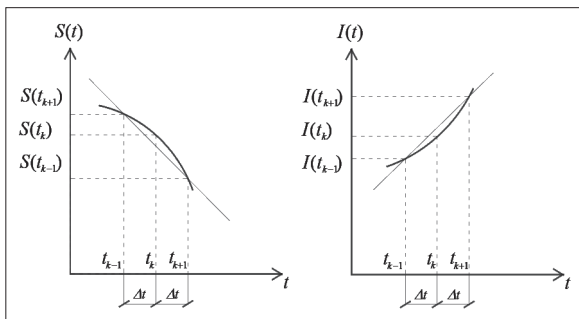


Figura 2. Curvas de la aproximación por diferencias finitas de $S(t_{k+1})$ e $I(t_{k+1})$

Fuente: elaboración propia.

Teorema 1. El modelo epidemiológico SI usado para describir la dinámica de propagación del gusano informático expresado en ecuaciones en diferencias está descrito por las ecuaciones (6), (7) y (8).

$$|\bar{S}(t_k)| = n - 2\Delta t\beta |\bar{I}(t_{k-1})| |S(t_{k-1})| - |\bar{I}(t_{k-2})| \quad (6)$$

$$|\bar{I}(t_k)| = 2\Delta t\beta |\bar{I}(t_{k-1})| |S(t_{k-1})| + |\bar{I}(t_{k-2})| \quad (7)$$

$$n = |\bar{S}(t_k)| + |\bar{I}(t_k)| \quad (8)$$

Cuya descripción de variables se puede apreciar en la tabla 2:

Tabla 2. Descripción de las variables para el teorema 1

Variable	Descripción	Unidades
$\bar{S}(t_k)$	Conjunto de hosts susceptibles	Hosts
$\bar{I}(t_k)$	Conjunto de hosts infectados	Hosts
β	Velocidad de infección del gusano informático	Hosts/segundo
n	Número total de hosts	Hosts
$ \bar{S}(t_k) $	Cardinalidad del conjunto de hosts susceptibles para el índice k	Hosts
$ \bar{I}(t_k) $	Cardinalidad del conjunto de hosts infectados para índice k	Hosts
k	Índice de las muestras de la epidemia	
Δt	Tiempo de muestreo de la epidemia	segundos

Fuente: elaboración propia.

Demostración. Partiendo del trabajo de Hincapié y Ospina (2007), se presenta una analogía de la dinámica del comportamiento del gusano informático con el modelo clásico epidemiológico SI expresado en ecuaciones diferenciales por (9), (10) y (11).

$$\frac{dS(t)}{dt} = -\frac{dI(t)}{dt} \quad (9)$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = \beta S(t) I(t) \quad (10)$$

$$n = S(t) + I(t) \quad (11)$$

En este caso la descripción de variables se presenta en la tabla 3.

Tabla 3. Descripción de las variables del modelo epidemiológico SI para la descripción de la dinámica de propagación del gusano informático

Variable	Descripción	Unidades
$S(t)$	Número de hosts susceptibles en el tiempo t	Hosts
$I(t)$	Número de hosts infectados en el tiempo t	Hosts
β	Velocidad de infección del gusano informático	Hosts/segundo
N	Número total de hosts	Hosts

Fuente: elaboración propia.

Considerando las ecuaciones (5) y (10) se obtienen las ecuaciones (12) y (13):

$$\frac{|\bar{I}(t_{k+1})| - |\bar{I}(t_{k-1})|}{2\Delta t} = \beta |\bar{I}(t_k)| |\bar{S}(t_k)| \quad (12)$$

$$|\bar{I}(t_{k+1})| = 2\Delta t \beta |\bar{I}(t_k)| |\bar{S}(t_k)| + |\bar{I}(t_{k-1})| \quad (13)$$

Reescribiendo la ecuación (13) y considerando un intervalo de tiempo anterior se obtiene la ecuación (14).

$$|\bar{I}(t_k)| = 2\Delta t \beta |\bar{I}(t_{k-1})| |\bar{S}(t_{k-1})| + |\bar{I}(t_{k-2})| \quad (14)$$

De las ecuaciones (11) y (14) se obtiene la ecuación (15).

$$|\bar{S}(t_k)| = n - 2\Delta t \beta |\bar{I}(t_{k-1})| |\bar{S}(t_{k-1})| - |\bar{I}(t_{k-2})| \quad (15)$$

Finalmente, de la ecuaciones (11), (14) y (15) se obtiene la ecuación (16).

$$n = |\bar{S}(t_k)| + |\bar{I}(t_k)| \quad (16)$$

Error y estabilidad numérica en la simulación por aproximaciones del modelo SI

El modelo aproximado SI, al obtenerse por diferencias finitas, proporciona un método numérico iterativo basado en operaciones aritméticas elementales (Nakamura, 1992). Al efectuar una serie de operaciones aritméticas para resolver un problema, se presentan algunas variaciones con respecto al valor real o a los errores que pueden clasificarse, de acuerdo con su origen, en tres tipos: *errores inherentes*, *errores por truncamiento*, *errores por redondeo*, los cuales se incrementan a lo largo de la evolución del sistema al efectuarse operaciones aritméticas elementales (Nakamura, 1992). Es bien sabido que los métodos iterativos no siempre proporcionan aproximaciones aceptables (Chapra, 2012), y en la mayoría de los casos el error que se obtiene al aplicarlos aumenta a medida que se incrementa el número de iteraciones. Por esa razón, es importante calcular el error generado por la aproximación, comparado con el modelo original, por lo que para el modelo de $S(t_k)$ se calculan el error absoluto $E_S(t_k)$ y el error relativo $e_S(t_k)$, mientras que para el modelo $I(t_k)$ se calculan el error absoluto $E_I(t_k)$ y el error relativo $e_I(t_k)$, definidos por las siguientes ecuaciones, basadas en Iriarte (2007) y representadas en las ecuaciones (17) y (18), donde $S(t_k)$ es la cardinalidad del conjunto de *hosts* susceptibles para el índice k y $S(t)$ es el número de *hosts* susceptibles en el tiempo t :

$$E_S(t_k) = |S(t) - |\bar{S}(t_k)|| \text{ con } t_k = t \quad (17)$$

$$e_S(t_k) = \frac{E_S(t_k)}{S(t)} \text{ con } t_k = t \quad (18)$$

Las ecuaciones (19) y (20) corresponden al error absoluto y al error relativo del conjunto de *hosts* infectados, donde $I(t_k)$ es la cardinalidad del conjunto de *hosts* infectados para el índice k e $I(t)$ es el número de *hosts* infectados en el tiempo t :

$$E_I(t_k) = |I(t) - \bar{I}(t_k)| \text{ con } t_k = t \quad (19)$$

$$e_I(t_k) = \frac{E_I(t_k)}{I(t)} \text{ con } t_k = t \quad (20)$$

Otra herramienta descriptiva que permite validar la aproximación numérica obtenida del método de aproximación es el estudio de la estabilidad numérica, la cual consiste en asegurarse de que tanto las aproximaciones numéricas como los sistemas reales, en su evolución temporal, no amplifiquen los errores iniciales, o que al menos no lo hagan de manera creciente y descontrolada (Zuazua, 2007).

Entonces, si por alguna razón el error absoluto de los modelos obtenidos $E_S(t_k)$ y $E_I(t_k)$ se incrementa en forma lineal, o aproximadamente lineal conforme k aumenta, entonces se dice que el método de aproximación es numéricamente estable, de acuerdo con las ecuaciones (21) y (22) (Suárez, 1997).

$$E_S(t_k) \approx c E_S(t_0) \text{ para los hosts susceptibles} \quad (21)$$

$$E_I(t_k) \approx c E_I(t_0) \text{ para los hosts infectados} \quad (22)$$

Expresando las ecuaciones (21) y (22) en forma de cocientes se obtienen las ecuaciones (23) y (24).

$$\frac{E_S(t_k)}{E_S(t_0)} \approx c \text{ para los hosts susceptibles} \quad (23)$$

$$\frac{E_I(t_k)}{E_I(t_0)} \approx c \text{ para los hosts infectados} \quad (24)$$

Para alguna constante $c < 1$ que no depende de k .

En caso de que el error absoluto de los modelos obtenidos $E_S(t_k)$ y $E_I(t_k)$ se incrementa en forma exponencial, o aproximadamente exponencial conforme k aumenta, entonces se dice que el

método de aproximación es numéricamente inestable. Esto se expresa en las ecuaciones (25) y (26) para los *hosts* susceptibles e infectados respectivamente (Suárez, 1997).

$$E_S(t_k) \approx c^k E_S(t_0) \text{ para los hosts susceptibles} \quad (25)$$

$$E_I(t_k) \approx c^k E_I(t_0) \text{ para los hosts infectados} \quad (26)$$

La cual se reescribe en forma de cocientes en las ecuaciones (27) y (28) de la siguiente manera:

$$\frac{E_S(t_k)}{E_S(t_0)} \approx c^k \text{ para los hosts susceptibles} \quad (27)$$

$$\frac{E_I(t_k)}{E_I(t_0)} \approx c^k \text{ para los hosts infectados} \quad (28)$$

Para alguna constante $c > 1$.

Entonces, al usar el error absoluto así como su estabilidad numérica como medidas descriptivas, se asegura que del método numérico usado se obtiene una aproximación numérica aceptable.

RESULTADOS

Como una demostración experimental de lo expuesto en la sección anterior, en este apartado se plantea hacer una comparación de los modelos expresados en forma continua, basados en ecuaciones diferenciales, y los modelos obtenidos a partir de las aproximaciones por ecuaciones en diferencias. A partir del modelo clásico de Susceptible-Infectado expresado en ecuaciones diferenciales, obtenido de Hincapié y Ospina (2007), las ecuaciones (9), (10) y (11) se simulan utilizando el entorno de diagramas de bloques para la simulación de sistemas continuos y discretos llamado Simulink de Matlab. Entonces, la representación por bloques para las ecuaciones del modelo *SI* en Simulink es la que se muestra en la figura 3.

Tomando como referencia este modelo, así como sus valores propuestos, se pretende hacer una comparación del modelo de propagación del gusano informático *SI*, expresado en ecuaciones diferenciales, y la

aproximación numérica obtenida a partir del método de diferencias finitas, variando la velocidad de infección β del gusano informático. Como resultado se obtienen las gráficas que se presentan en las figuras 4 y 5.

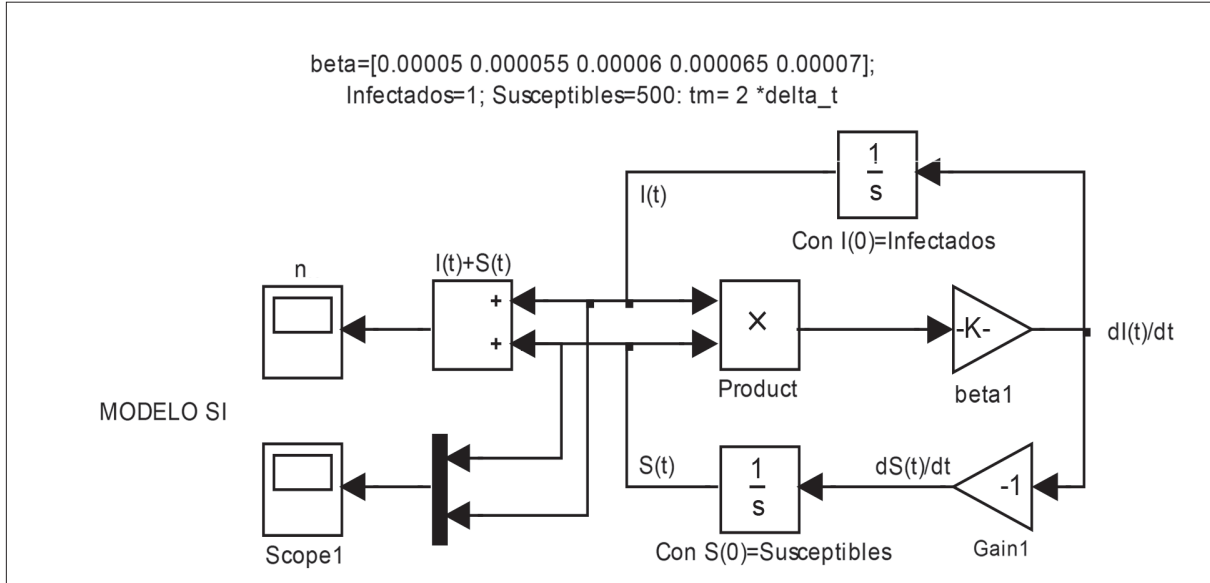


Figura 3. Modelo clásico epidemiológico Susceptible-Infectado hecho en Simulink.

Fuente: elaboración propia.

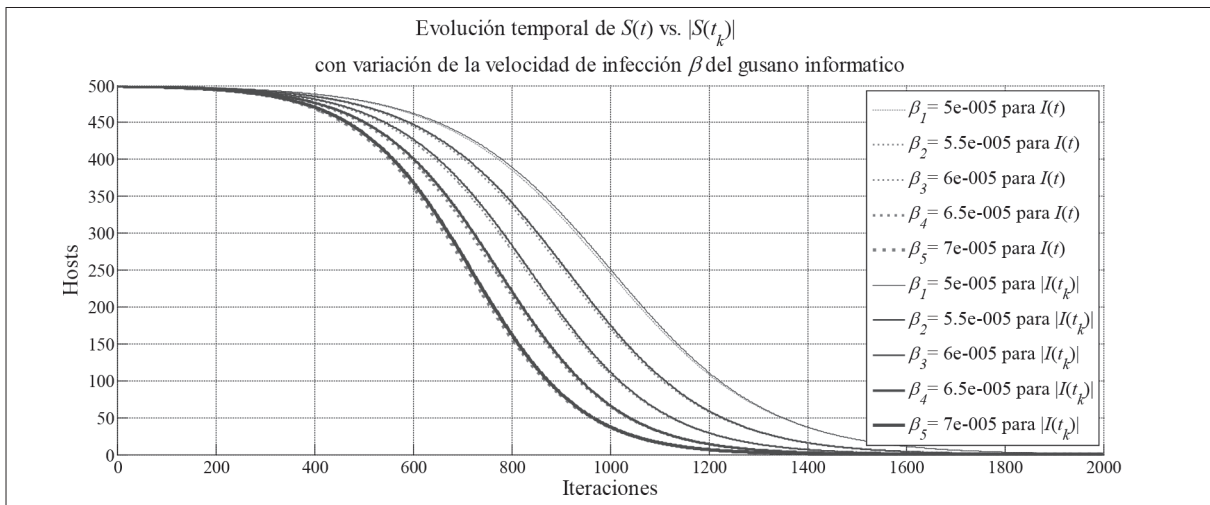


Figura 4. Comparación de la evolución temporal del número de hosts susceptibles en el intervalo k .

Fuente: elaboración propia.

En la figura 4 se puede apreciar que la aproximación numérica obtenida para el número de *hosts* en estado susceptible en el tiempo t $|\bar{S}(t_k)|$, utilizando el método de las diferencias finitas, tiende a un valor cercano de $S(t)$ del modelo de propagación del gusano informático basado en Hincapié y Ospina (2007) y evoluciona siguiendo la misma trayectoria para cuando se varía la velocidad de infección β del gusano informático en ambos modelos. Lo mismo se puede apreciar en la figura 5 para el caso de la evolución temporal de la aproximación numérica a partir del método de las diferencias finitas del número de *hosts* en estado infeccioso en el tiempo t $|\bar{I}(t_k)|$.

En este sentido, aunque gráficamente la aproximación numérica de $|\bar{S}(t_k)|$ e $|\bar{I}(t_k)|$ parece estar cerca de una región de valores reales de $S(t)$ y de $I(t)$, respectivamente, cuando $t_k = t$, no es suficiente decir que es una buena aproximación. Entonces, para validar los resultados de estas aproximaciones se plantea utilizar medidas descriptivas como el error absoluto a partir de las ecuaciones (17) y (19) de la aproximación numérica, así como su estabilidad numérica, considerando a las ecuaciones (23), (24), (27) y (28).

Para los errores absolutos $E_S(t_k)$ y $E_I(t_k)$ se obtienen las gráficas de la figura 6:

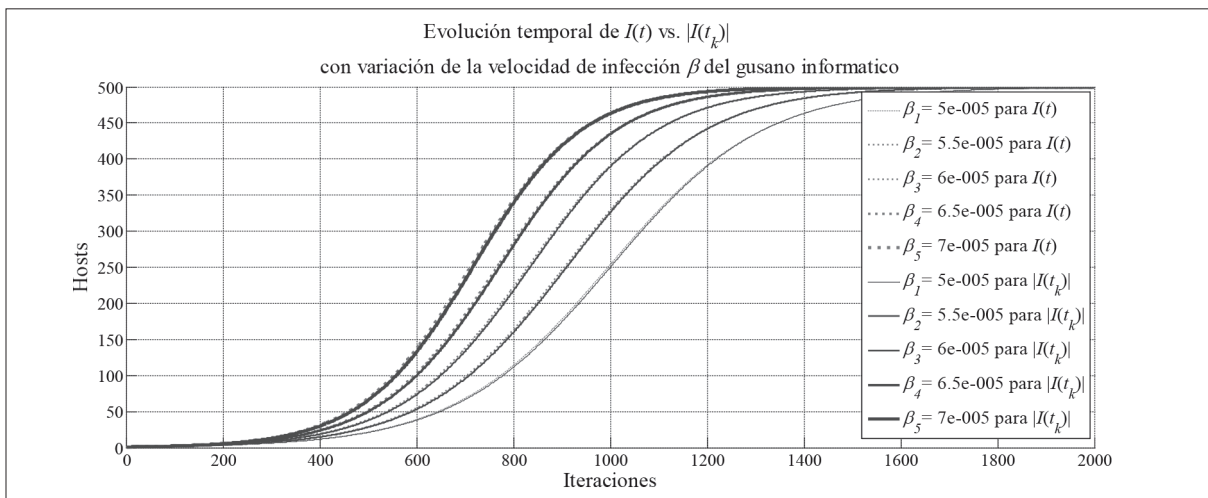


Figura 5. Comparación de la evolución temporal del número de *hosts* infectados en el intervalo k .

Fuente: elaboración propia.

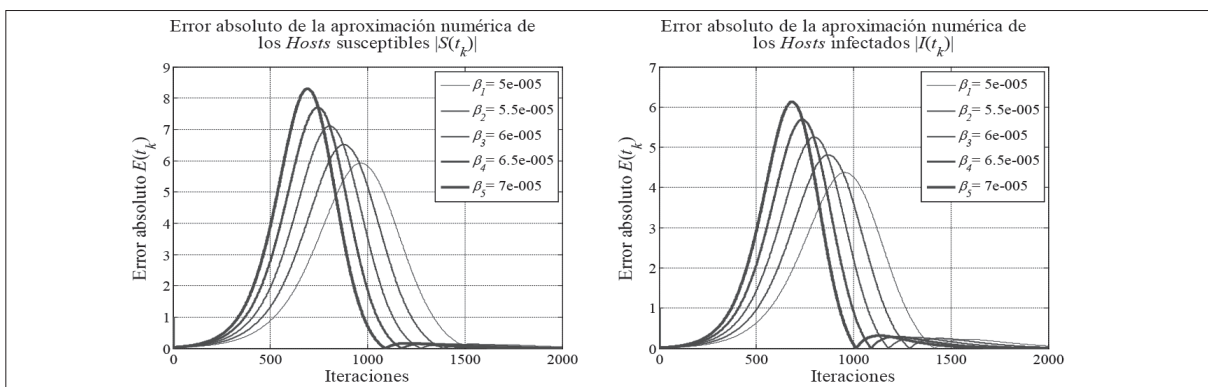


Figura 6. Errores absolutos $E_S(t_k)$ y $E_I(t_k)$ de las aproximaciones numéricas

Fuente: elaboración propia.

Considerando la figura 6, se observa que el error absoluto de la aproximación numérica del número de *hosts* susceptibles es $E_S(t_k) = 8297$ *hosts* para β_5 y de 5919 *hosts* para β_1 en donde $\beta_5 > \beta_1$, para cuando $n=500$. Por otra parte, el error absoluto de la aproximación numérica del número de *hosts* infectados es $E_I(t_k) = 6131$ *hosts* para β_5 , y $E_I(t_k) = 4373$ *hosts* para β_1 donde $\beta_5 > \beta_1$ cuando $n=500$. Al realizar la simulación de los modelos *SI* utilizando un muestreo $\Delta t_2 \ll \Delta t_1$, se destaca el hecho de que los errores absolutos $E_S(t_k)$ y $E_I(t_k)$ reducen su magnitud; sin embargo, considerando que $\beta_5 > \beta_1$, prevalece la ecuación (29).

$$E_S(t_k, \beta_1) < E_S(t_k, \beta_5) \text{ y } E_I(t_k, \beta_1) < E_I(t_k, \beta_5) \quad (29)$$

Con esto se puede concluir que el error absoluto de la aproximación numérica del modelo *SI* utilizando el método de las diferencias finitas, además de ser afectado por el periodo de muestreo, también lo es por la velocidad de infección β del gusano informático y aunque la reducción del error absoluto se suscita a medida que se utilizan tiempos de muestreo Δt cada vez menores, la condición que prevalece es que las magnitudes de los errores absolutos obtenidos para velocidades de infección grandes son mayores en comparación con los errores absolutos logrados a través de velocidades de infección pequeñas. Lo que permite concluir que el modelo de aproximación basado en diferencias finitas tiene, en general, un error mínimo comparado con el número total de *hosts* en la red computacional, que para este caso es de 500.

Para obtener la estabilidad numérica de la aproximación del modelo de propagación del gusano informático *SI* se parte del análisis de las gráficas mostradas en la figura 6.

A partir de la gráfica del error absoluto $E_S(t_k)$ para el caso de la aproximación numérica del número de *hosts* en estado susceptible en el tiempo $t \left| \bar{S}(t_k) \right|$, se puede observar que para las velocidades de propagación propuestas, al principio de la

simulación la estabilidad numérica tiene un comportamiento de tipo exponencial positivo, definido por la ecuación (27), llegando a un máximo de 8297 (en el caso de la velocidad de propagación β_5), para después tener un comportamiento exponencial negativo que va aproximándose hasta un valor cercano a cero, permaneciendo constante a lo largo de la evolución del sistema, lo que concuerda con lo mostrado en la ecuación (23). Lo mismo se puede decir de la estabilidad numérica para el caso de la aproximación numérica del número de *hosts* en estado infeccioso en el tiempo $t \left| \bar{I}(t_k) \right|$, a diversas velocidades de propagación del gusano informático β . Lo que permite concluir que, en general, el modelo de aproximación basado en diferencias finitas tiene un comportamiento numérico estable a lo largo de la evolución del sistema.

CONCLUSIONES

La aproximación numérica basada en teoría de conjuntos, combinada con el método de las diferencias finitas centrales del modelo de propagación *SI* utilizado para la descripción de la propagación de gusanos informáticos, es eficaz y puede ser usada para aproximar otros modelos de propagación de gusanos informáticos de mayor complejidad basados en los modelos epidemiológicos biológicos *SIR* y *SIRS*.

En la validación de la aproximación basada en diferencias finitas centrales, el error absoluto permite observar la desviación del valor obtenido con respecto al valor real obtenido del modelo basado en ecuaciones diferenciales, pues la trayectoria que sigue el valor del error absoluto $E_S(t_k)$ y $E_I(t_k)$ es aceptable en comparación con el número total n de *hosts* en la red computacional, ya que el valor máximo no se repite a lo largo de la evolución del sistema, pues permanece dentro de una región cercana a cero. También se observa la razón de cambio con respecto al tiempo de la misma trayectoria del valor del error absoluto

$E_s(t_k)$ y $E_i(t_k)$. La pendiente obtenida se dice que es pequeña, lo que permite afirmar que los valores de la aproximación numérica del modelo *SI* utilizando el método de las diferencias finitas son numéricamente estables, ya que en la curva mencionada no hay pendientes cercanas a uno.

FINANCIAMIENTO

Este trabajo se deriva del proyecto de investigación con título *Estimación de los Tiempos de Ejecución y de Transporte para Sistemas en Tiempo Real a Distancia Basados en TCP/IP*, con registro 20131795 de la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional de México (enero de 2013 - diciembre de 2013).

REFERENCIAS

- Audelo, J., Castañeda, A. y Guevara, P., “Gusanos informáticos: de los inicios a su primer impacto en los gobiernos”, *Revista Aleph Zero*, Año 17, No. 64, 2012, pp. 22-25. Recuperado el 5 de junio de 2013, de <http://www.comprendamos.org/az/alephzero/aleph64.pdf>.
- Chang Chun, C., Gong, W. y Towsley, D., “Code Red Worm Propagation Modeling and Analysis”, *CCS'02*, Washington DC, USA, 2002, pp. 1-10, Recuperado el 5 de junio de 2013, de <http://www-unix.ecs.umass.edu/~gong/papers/codered.pdf>
- Chapra, S. C., *Applied Numerical Methods with Matlab for Engineers and Scientists* (3rd Ed.), McGraw-Hill, 2012.
- Cohen, F., “A Formal Definition of Computer Worms and Some Related Results”, *Computers & Security*, Vol. 11, No. 7, 1992, pp. 641-52. Recuperado el 5 de junio de 2013, de <http://game.all.net/books/tech/wormdef.pdf>
- Erbschloe M., *Trojans, Worms, and Spyware: A Computer Security Professional's Guide to Malicious Code*, Massachusetts, USA, Butterworth-Heinemann (Elsevier), 2005. Recuperado el 5 de junio de 2013, de <http://edc.tversu.ru/elib/inf/0110.pdf>
- Hernández G., *El método de diferencias finitas*, Distrito Federal, México, Grupo de Geofísica Computacional, Universidad Nacional Autónoma de México, 2010. Recuperado el 5 de junio de 2013, de http://mmc2.geofisica.unam.mx/ghdez/hidrogeologia/NOTAS_MDF-06.pdf
- Hincapié, D. y Ospina, J., “Bases para la modelación de epidemias: el caso del síndrome respiratorio agudo severo en Canadá”, *Journal of Public Health*, Vol. 9, No. 1, 2007, pp. 117-128. Recuperado el 5 de junio de 2013, de <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/422/42290111.pdf>

- Iriarte, R., “Capítulo 1: Aproximación numérica y errores”, en *Métodos numéricos* (2ª ed.), Distrito Federal, México, Trillas, 2007, pp. 11-22.
- Juan, W., Chen Gyi, X. y Qifeng, L., “A Novel Model for the Internet Worm Propagation”, *VI ICNC 2010*, Shandong, China, 2010, pp. 2885-88. Recuperado el 5 de junio de 2013, de http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5584495
- Kermack, W. O. y Mckendrick, A. G., “A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics”, *Proceedings of the Royal Society of London, Series A*, Vol. 115, No. 772, 1927, pp. 700-21. Recuperado el 5 de junio del 2013, de <http://www.math.utah.edu/~bkohler/Journal-club/kermack1927.pdf>
- Nakamura S., *Métodos numéricos aplicados con software*, Estado de México, México, Prentice Hall Hispanoamericana, 1998.
- Nazario, J., *Defense and Detection Strategies against Internet Worms*, Massachusetts, USA, Editorial Artech House, 2004. Recuperado el 5 de junio del 2013, de <http://es.scribd.com/doc/59508754/Defense-and-Detection-Strategies-Against-Internet-Worms-2004#download>
- Onwubiko, C., Lenaghan, A. P. y Hebbes, L., “An Improved Worm Mitigation Model for Evaluating the Spread of Aggressive Network Worms”, *EUROCON 2005*, Belgrado, Serbia y Montenegro, 2005, pp. 1710-13. Recuperado el 5 de junio del 2013, de http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1630303
- Suárez, M., *Matemática numérica*, Distrito Federal, México, Ed. Del Instituto Politécnico Nacional, 1997.
- Tao L., Zhi-Hong, G., Zhen Ping, W. y Xian Young, W., “Stability Analysis of A Delayed Model of the Spread of Worms”, *2007 IEEE International Conference on Control and Automation*, Guangzhou, China, 2007, p. 3188-90. Recuperado el 5 de junio del 2013, de <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?reload=true&arnumber=5234704>
- Tassier, T., *SIR Model of Epidemics*, Nueva York, USA, Department of Economics, Fordham University, 2005. Recuperado el 5 de junio del 2013, de <http://www.fordham.edu/images/Undergraduate/economics/faculty/SIR.pdf>
- Yang, W. y Chenxi, W., “Modeling the Effects of Timing Parameters on Virus Propagation”, *WORM'03*, Washington DC, USA, 2003, pp. 1-6. Recuperado el 5 de junio de 2013, de <http://www.thehackademy.net/madchat/vxdevl/papers/avers/worm.pdf>
- Zuazua, E., *Métodos numéricos de resolución de ecuaciones en derivadas parciales*, Bilbao España, Basque Center for Applied Mathematics (BCAM), 2009.

Algoritmo de optimización basado en enjambres de partículas con comportamiento de vorticidad y búsqueda individual y grupal

Vortex Particle Swarm Optimization with Individual and Group Search

HELBERT EDUARDO ESPITIA CUCHANGO

Ingeniero electrónico, ingeniero mecatrónico, especialista en Telecomunicaciones Móviles, magíster en Ingeniería Industrial, magíster en Ingeniería Mecánica, docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.
Contacto: heespitiac@udistrital.edu.co

JORGE IVÁN SOFRONY ESMERAL

Ingeniero eléctrico, magíster en Sistemas de Control, doctor en Sistemas de Control, docente de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
Contacto: jsufronye@unal.edu.co

Fecha de recepción: 31 de agosto de 2013

Clasificación del artículo: investigación

Fecha de aceptación: 16 de mayo de 2014

Financiamiento: Universidad Nacional de Colombia

Palabras clave: algoritmo, comportamiento animal, optimización

Keywords: algorithm, animal behaviour, optimization

RESUMEN

En este documento se realiza la propuesta de un algoritmo de optimización basado en un enjambre de partículas con características de vorticidad, donde se considera una búsqueda grupal asociada al punto medio del enjambre y una búsqueda individual dada por la mejor posición de cada individuo. Con la búsqueda grupal se espera lograr la convergencia de todo el enjambre, mientras que la búsqueda individual permite una mejor exploración del espacio de búsqueda. El algoritmo presenta fases de convergencia y exploración dadas

por el modelo seleccionado, el cual se encuentra basado en el comportamiento de un enjambre de individuos. Para establecer el desempeño del algoritmo se emplea un conjunto de funciones de prueba en dos dimensiones.

ABSTRACT

In this document, it will be introduced the proposal for optimization algorithm based on particle swarms vorticity features, where a search group is considered through the association to the

midpoint of the swarm and an individual search is given for the best position of each individual. The search group seeks to achieve the convergence of the whole swarm, whereas the individual search allows better exploration in pursuit of space.

The algorithm has convergence and exploration behavior given by the selected model which is based on the behavior of a swarm of individuals. For establishing the algorithm performance, a set of test functions in two dimensions is used.

* * *

INTRODUCCIÓN

La descripción del comportamiento de muchos seres vivos se caracteriza por presentar movimiento cooperativo coordinado, tal como bandadas de aves, cardúmenes de peces e incluso microorganismos. Uno de los comportamientos de interés consiste en el movimiento circular de partículas alrededor de un punto denominado vórtice (Ebeling, 2002), ya que esta forma de locomoción puede ser una buena estrategia para la búsqueda de alimento y evasión de obstáculos y depredadores (García, 2007). Por las anteriores características estos comportamientos pueden ser empleados en la propuesta de algoritmos de optimización.

Comportamientos de enjambres

En la naturaleza se pueden apreciar diferentes comportamientos los cuales han sido estudiados y representados de forma analítica. En particular, las congregaciones de individuos son una temática interesante por los comportamientos emergentes que surgen (Sumpter, 2006). Entre los trabajos que se pueden resaltar se encuentra el presentado por Vicsek (1995), donde se desarrolla un modelo básico para representar un enjambre de individuos. Este último autor lleva a cabo una extensión de su trabajo (Vicsek, 2008), donde describe algunos patrones representativos de los enjambres. Por otro lado, Sumpter (2006) hace una revisión del comportamiento colectivo para la formación de enjambres observando propiedades de autorregulación y principios de comportamiento colectivo como: integridad, variabilidad, realimentación positiva, realimentación negativa, umbrales

de respuesta, dirección, inhibición, redundancia, sincronización y egoísmo.

Sobre los diferentes enfoques considerados para modelos de enjambres, Couzin (2005) analiza el efecto que tiene el liderazgo de un individuo, Bajec (2009) considera las diferentes formas de organización que presentan las aves y Zhang (2008) observa el efecto que tiene incorporar mecanismos de predicción en un modelo de enjambre.

Modelos de partículas con comportamiento de vorticidad

La vorticidad es un comportamiento que se presenta con frecuencia en los fluidos y se debe al acoplamiento que existe entre las fuerzas inerciales y las fuerzas viscosas (número de Reynolds [Berg, 1983]). El análisis de este comportamiento se realiza mediante las ecuaciones de Navier Stokes, las cuales suelen ser difíciles de resolver de forma analítica en casos generales (Çengel, 2003). El comportamiento de vorticidad se caracteriza por el movimiento de forma rotacional de partículas alrededor de un punto, el cual se denomina vórtice. Además de los fluidos, este tipo de comportamiento se presenta en enjambres de individuos como peces, aves y bacterias, entre otros. Existen dos modelos que son los más empleados para representar este comportamiento, uno consiste en el modelo de partícula autopropulsada (Levine, 2000; D'Orsogna, 2006) y el otro corresponde al de partícula activa browniana (Ebeling, 2006). Este último, a diferencia del primero, considera una componente estocástica. Por lo general, estos modelos suelen emplear

potenciales de Morse para representar la interacción entre individuos; sin embargo, en el trabajo de Erdmann (2005) se puede observar un modelo que emplea un potencial parabólico.

Algoritmos de enjambres de partículas con estrategias para evasión de mínimos locales

De los diferentes algoritmos de optimización bioinspirados, según Bratton (2007) los algoritmos PSO (*particle swarm optimization*) de enjambres de partículas son una buena alternativa; sin embargo, tienden a presentar convergencia temprana en mínimos locales (Evers, 2009; Schutte, 2002), y adicionalmente, son susceptibles de una mala selección de sus parámetros, tal como lo muestran Hvass (2010) y Van den Bergh (2001). Por lo anterior, se han desarrollado modificaciones y propuestas con las cuales se busca evadir mínimos locales, teniendo una mejor exploración del espacio de soluciones.

Una estrategia general para el escape de mínimos locales consiste en realizar un proceso de dispersión (explosión), luego de tener una convergencia a un mínimo local. Un ejemplo de este concepto se pueden apreciar en el trabajo de Mesa (2010) con el algoritmo de optimización Supernova, en el trabajo de Krishnanand (2009) para el algoritmo de optimización *Glowworm* y en el trabajo de Passino (2005) con el algoritmo de optimización basado en forrajeo de bacterias.

En particular, para el algoritmo PSO una primera modificación consiste en adicionar un factor de inercia modulada tal como lo proponen Feng (2007) y Yin (2009). Con este enfoque se busca controlar la exploración del algoritmo sobre el espacio de búsqueda. Los citados autores exponen que un factor grande de inercia acelera la convergencia mientras que un valor pequeño mejora la

capacidad de búsqueda. Una modificación adicional del algoritmo PSO consiste en reiniciarlo cuando se considera que hay un estancamiento de este (García, 1997).

Adicionalmente al enfoque de inercia modulada, Hendtlass (2005) propone un método denominado olas de enjambres de partículas (*Waves of Swarm Particles WoSP*), con el cual se busca impulsar el enjambre para que pueda escapar de un mínimo local y así continuar con el proceso de exploración. Por otro lado, Parsopoulos (2004) propone emplear técnicas de repulsión para cada mínimo local encontrado, así espera evadir soluciones encontradas previamente. Asimismo, Liang (2006) presenta una variante del algoritmo PSO denominada aprendizaje integral, la cual consiste en emplear la información histórica de las partículas para actualizar su velocidad. Este enfoque busca conservar la diversidad del enjambre evitando la convergencia prematura.

Finalmente, entre los algoritmos de optimización que emplean el concepto de vorticidad se encuentra el presentado por Menser (2006), donde se desarrolla un algoritmo basado en el comportamiento de un fluido en un sumidero (drenaje). A este se le denomina *Particle Swirl Algorithm* (PSA). Aunque emplea el concepto de vorticidad, difiere de la propuesta realizada en este documento, donde se busca emplear el concepto de vorticidad para lograr que el enjambre de partículas escape de un mínimo local y de esta forma pueda continuar el proceso de búsqueda. Un primer trabajo donde se plantea un algoritmo de optimización basado en comportamiento de enjambres con características de vorticidad es el de Espitia (2013), quien no considera la búsqueda individual para mejorar las características de exploración el enjambre. Con anterioridad este mismo concepto fue empleado para la planeación de trayectorias de robots móviles (Espitia, 2011a, 2011b).

METODOLOGÍA

La metodología empleada para el desarrollo del algoritmo de optimización consiste, en primera instancia, en la selección y revisión de un modelo de enjambre de partículas, seguida por su respectivo análisis matemático. Después se realiza la propuesta del algoritmo y por último se valida con funciones de prueba ampliamente conocidas en la literatura.

MODELO EMPLEADO

El modelo seleccionado para realizar la propuesta del algoritmo de optimización se basa en la forma de locomoción de zooplancton *Daphnia* (Ebeling, 2006). Con este modelo se busca aprovechar el comportamiento de vorticidad, ya que tal como lo muestra Abdel (2008) esta puede ser una buena estrategia para evadir mínimos locales. El modelo seleccionado se encuentra dado por las ecuaciones (1) y (2).

$$\frac{d\vec{r}_i}{dt} = \vec{v}_i \quad (1)$$

$$m_i \frac{d\vec{v}_i}{dt} = \vec{F}_{pro,i} + \vec{F}_{int,i} + \vec{F}_{esp,i} \quad (2)$$

La ecuación (1) permite establecer la posición \vec{r}_i de la i -ésima partícula conociendo su velocidad \vec{v}_i . La ecuación (2) relaciona la velocidad de las partículas con las fuerzas presentes sobre esta.

La fuerza de autopropulsión considerada corresponde a la ecuación (3).

$$\vec{F}_{pro,i} = (-\alpha + \beta \|v_i\|^2) \vec{v}_i \quad (3)$$

La fuerza de interacción de las partículas está dada por la ecuación (4).

$$\vec{F}_{int,i} = -a(\vec{r}_i - \vec{R}) \quad (4)$$

$$\vec{F}_{int,i} = -\frac{a}{N} \sum_{j=1}^N (\vec{r}_i - \vec{r}_j) \quad (5)$$

En este modelo \vec{R} corresponde al centro de masa del enjambre. La información del ambiente (en este caso la función objetivo) está dada por U_{esp} . La fuerza sobre cada partícula que se produce por el potencial U_{esp} se encuentra dada por la ecuación (6).

$$\vec{F}_{esp,i} = -k_f \nabla_i U_{esp}(\vec{r}_i) \quad (6)$$

Donde K_f es una constante que pondera la influencia de la función objetivo.

Análisis del enjambre de partículas

El algoritmo propuesto utiliza dos tipos de comportamiento. El primero corresponde a movimientos de traslación del enjambre hacia un punto (óptimo) y el segundo a un comportamiento de vorticidad. La estrategia principal consiste en lograr la convergencia del enjambre a un estado de equilibrio (posiblemente un mínimo) con velocidad baja y, una vez que se ha encontrado un mínimo, se incrementa la fuerza de propulsión para lograr un comportamiento de vorticidad, aumentando así la dispersión. Este comportamiento se espera que proporcione buenas capacidades de exploración y que permita que el enjambre escape de mínimos locales. El parámetro autopropulsión α se utiliza para cambiar el comportamiento de enjambre y se considera como una función del tiempo, de tal manera que $0 \leq \alpha(t) \leq \alpha_{max}$. Para el siguiente análisis se presentan dos casos extremos; estos son: $\alpha(t)=0$ y $\alpha(t)=\alpha_{max}$.

Análisis de energía

Siendo K_i y U_i la energía cinética y potencial de la i -ésima partícula, respectivamente. Estas cantidades están dadas por la ecuación (7).

$$K_i = \frac{1}{2} m_i \|\vec{v}_i\|^2 \quad U_i = U_{int}(\vec{r}_i) + k_f U_{esp}(\vec{r}_i) \quad (7)$$

La energía total de la i -ésima partícula se define como $E_i = K_i + U_i$ y la energía total del enjambre E_T corresponde a la suma de la energía total de todas las partículas. Tomando la derivada de tiempo de la energía total de cada partícula se tiene la ecuación (8).

$$\dot{E}_i = (\alpha(t) - \beta \|\vec{v}_i\|^2) \|\vec{v}_i\|^2 - a(\vec{r}_i - \vec{R})\vec{r}_i - \vec{R} \quad (8)$$

Mediante la adición de las contribuciones de cada partícula y empleando la igualdad $\sum_{i=1}^N (\vec{r}_i - \vec{R}) = 0$, entonces se tiene la ecuación (9).

$$\dot{E}_T = \sum_{i=1}^N \dot{E}_i = \sum_{i=1}^N (\alpha(t) - \beta \|\vec{v}_i\|^2) \|\vec{v}_i\|^2 \quad (9)$$

A partir de la ecuación (9) es posible observar que un estado constante de energía ($E_T = 0$) se logra cuando $\|\vec{v}_i\| = 0$ o con $\|\vec{v}_i\|^2 = \alpha(t) / \beta$. Se consideran particularmente dos casos para $\alpha(t)$: (i) $\alpha(t) = 0$ y (ii) $\alpha(t) = \alpha_{max}$, donde α_{max} es un valor positivo grande acotado. En el primer caso el enjambre converge a un punto de equilibrio, mientras que en el segundo caso el enjambre presenta un comportamiento de vorticidad.

En el primer caso (i), con $\alpha(t) = 0$, de la ecuación (9) se tiene la ecuación (10).

$$\dot{E} = - \sum_{i=1}^N (\beta \|\vec{v}_i\|^2) \|\vec{v}_i\|^2 \quad (10)$$

Dado que la energía del sistema tiene derivada en el tiempo definida negativa para todos $v_i \neq 0$, el sistema tiende a un estado de energía mínima con $\vec{v}_i = 0$.

En el caso (ii), el parámetro $\alpha(t)$ se fija en un valor grande, pero acotado α_{max} tal que se tiene la ecuación (11).

$$\dot{E} = \sum_{i=1}^N (\alpha_{max} - \beta \|\vec{v}_i\|^2) \|\vec{v}_i\|^2 \quad (11)$$

Si $\dot{E}_T = 0$, el sistema permanece en un estado de energía constante. Con $\|\vec{v}_i\| = 0$ las partículas deben encontrarse estáticas, en tanto que con $\|\vec{v}_i\| = \sqrt{\alpha_{max} / \beta}$ se logra el movimiento del enjambre con energía constante. Finalmente, al incrementar α_{max} se aumenta la velocidad máxima de las partículas y por lo tanto hay una mayor dispersión del enjambre.

Puntos de equilibrio

Los puntos de equilibrio se pueden establecer con las ecuaciones (12) y (13).

$$\frac{d\vec{r}_i}{dt} = 0 \quad (12)$$

$$m_i \frac{d\vec{v}_i}{dt} = 0 \quad (13)$$

Por consiguiente, se tiene $\vec{v}_i = 0$ y la ecuación (14).

$$0 = (-\alpha + \beta \|\vec{v}_i\|^2) \vec{v}_i \quad (14)$$

$$- \frac{a}{N} \sum_{j=1}^N (\vec{r}_i - \vec{r}_j) - k_f \vec{\nabla} U_{esp} |_{\vec{r}_i}$$

Considerando $\vec{v}_i = 0$, la ecuación (14) se reduce a la condición de equilibrio dada por la ecuación (15).

$$\vec{r}_i = \vec{R} - \frac{k_f}{a} \vec{\nabla} U_{esp} |_{\vec{r}_i} \quad (15)$$

En la ecuación (15) si $\vec{\nabla} U_{esp} |_{\vec{r}_i} = 0$ entonces $\vec{r}_i = \vec{R}$, por lo tanto, el enjambre converge a un mínimo local. En otros casos cuando $\vec{\nabla} U_{esp} |_{\vec{r}_i} \neq 0$, se logra un equilibrio en función de la posición de las partículas y la función objetivo.

SIMULACIÓN DEL MODELO

Con el fin de observar las características del modelo se realiza un conjunto de simulaciones con un potencial parabólico $U_{esp}=0.5(x_2+y_2)$ y parámetros $K_f=1$, $m_i=1$, $a=1$, $N=20$ y $\beta=1$, con α igual a 4 y 9. En la figura 1 se presentan los resultados para 200 iteraciones y condiciones iniciales aleatorias para la posición.

Esta figura muestra el comportamiento de vorticidad y la magnitud de la velocidad de las partículas, la cual tiende a ser $\|\vec{v}_i\| = \sqrt{\alpha/\beta}$. Para $\alpha=4$ se tienen las figuras a y b mientras que para $\alpha=9$ se tienen las figuras c y d.

ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA BASADA EN DISPERSIÓN

Con la estrategia propuesta se espera tener una exploración adecuada del espacio de búsqueda, de tal forma que después de encontrar un mínimo local se pueda escapar de este para seguir el proceso de búsqueda. Con el fin de lograr lo anterior se propone aumentar la energía de propulsión del enjambre α cuando se alcanza un mínimo local, y sólo se disminuye cuando el enjambre es capaz de escapar de este punto.

La propuesta de búsqueda emplea el comportamiento de vorticidad como un mecanismo de

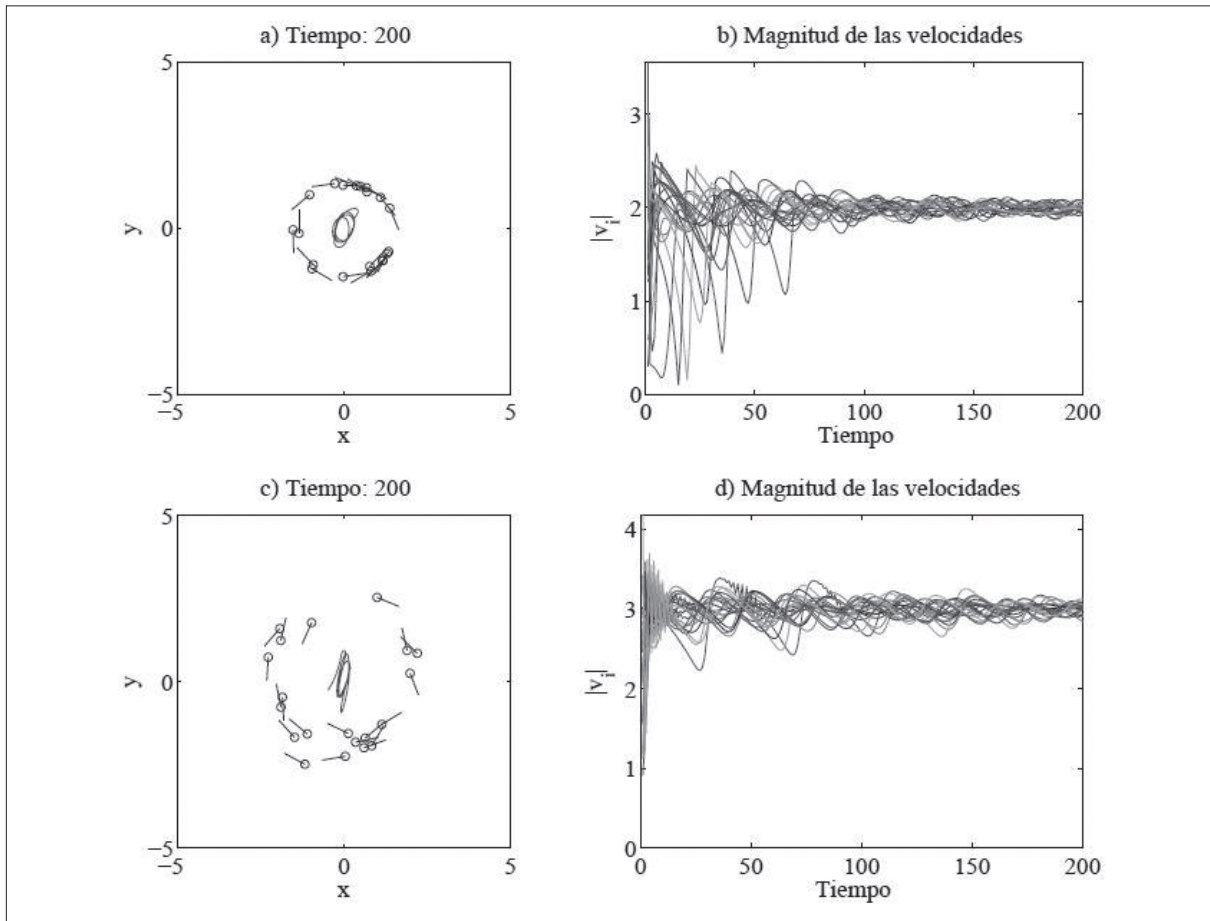


Figura 1. Distribución de las partículas y magnitud de velocidades.

Fuente: elaboración propia.

dispersión para lograr una búsqueda global. En la figura 2 se puede apreciar el diagrama de flujo para la estrategia de búsqueda propuesta. En un primer lugar se inicializa el enjambre y se procede a encontrar el mínimo local más cercano almacenando el valor del mínimo encontrado. Posteriormente, para lograr que el enjambre escape del mínimo encontrado, se realiza el proceso de dispersión, empleando para esto el comportamiento de vorticidad. Con el anterior proceso, mediante la búsqueda grupal e individual se espera encontrar un valor mínimo menor al encontrado previamente. En caso de que no se encuentre un valor

tal se detiene el algoritmo, considerando para esto una dispersión máxima de las partículas sobre el espacio de búsqueda.

Para lograr lo anterior el algoritmo presenta tres etapas:

1. Convergencia de búsqueda grupal: en esta etapa el algoritmo converge al punto de equilibrio de las partículas, el cual puede ser el mínimo local más cercano. En esta etapa el comportamiento del enjambre está dado por la función objetivo, observando para esto la posición media del enjambre.
2. Dispersión y búsqueda: cuando el enjambre encuentra un mínimo local se realiza el proceso de dispersión, buscando tener movimientos circulares de las partículas. En esta misma etapa se realiza la búsqueda de un mejor valor al encontrado previamente. Esta búsqueda se realiza tanto individual como grupalmente. En el caso de que se encuentre un mejor valor grupal o individual, se procede a realizar la respectiva convergencia.
3. Convergencia de búsqueda individual: en este caso una de las partículas encuentra un mejor valor, por lo cual el potencial de la función objetivo se reemplaza por un potencial de atracción hacia el mejor punto encontrado, de tal forma que el enjambre pueda converger a este punto.

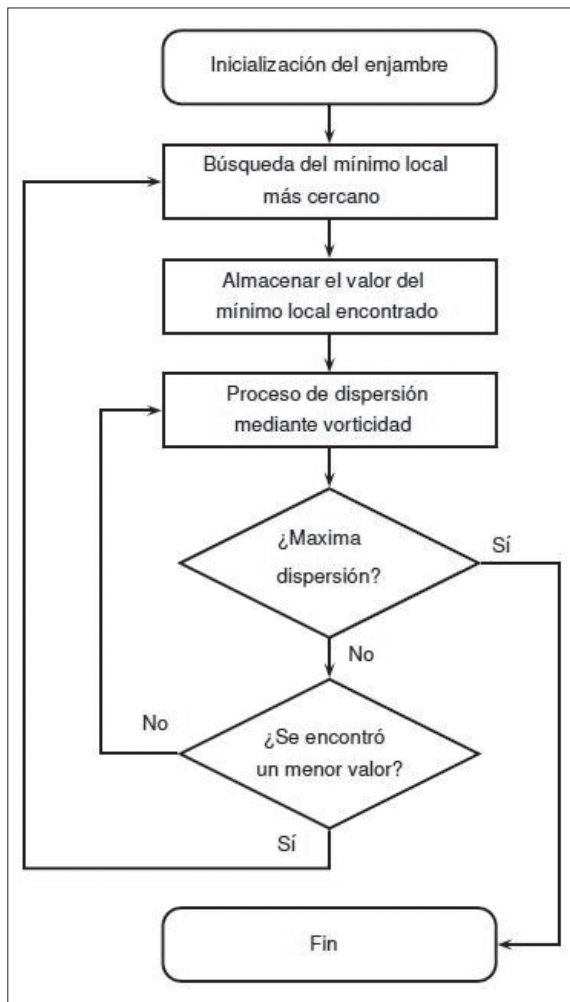


Figura 2. Esquema propuesto para el proceso de búsqueda

Fuente: elaboración propia.

Valor mínimo individual y grupal

Con el fin de establecer la fase del algoritmo se considera el valor mínimo encontrado por la posición media de las partículas U_{minG} y un valor mínimo dado por la mejor posición de las partículas de forma individual U_{minP} . Estos valores se determinan considerando la función objetivo U_{obj} .

El mejor valor del grupo se determina conociendo el promedio de las posiciones del enjambre \bar{R} mediante las ecuaciones (16) y (17).

$$\vec{R} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \vec{r}_j$$

$$U_{minG} = \begin{cases} U_{obj}(\vec{R}), & \text{si } U_{minG} \geq U_{obj}(\vec{R}); \\ U_{minG}, & \text{si } U_{minG} < U_{obj}(\vec{R}). \end{cases} \quad (17)$$

La mejor posición de la partícula está dada por la evaluación de cada partícula de la ecuación (18).

$$U_{minP} = \begin{cases} U_{obj}(\vec{r}_i), & \text{si } U_{minP} \geq U_{obj}(\vec{r}_i); \\ U_{minP}, & \text{si } U_{minP} < U_{obj}(\vec{r}_i). \end{cases} \quad (18)$$

Identificación de las fases del algoritmo

Para identificar la fase en la cual se encuentra el algoritmo existen las siguientes condiciones:

1. Convergencia de búsqueda grupal: $U_{minG} \geq U_{obj}(\vec{R})$. En este caso $\alpha=0$ y U_{esp} corresponde al potencial de la función objetivo U_{obj} .
2. Dispersión: $U_{minG} \leq U_{obj}(\vec{R})$. En este caso se incrementa la energía mediante $\alpha(t)$ y U_{esp} corresponde al potencial de la función objetivo U_{obj} .
3. Convergencia de búsqueda individual: $U_{minP} \geq U_{minG}$ y $U_{minG} \leq U_{obj}(\vec{R})$. En este caso $\alpha=0$ y U_{esp} corresponde a un potencial cuadrático asociado a la mejor posición encontrada.

Función objetivo

Considerando que \vec{r}_{ind} es la mejor posición encontrada por algún individuo, entonces U_{esp} se puede determinar con la ecuación (19).

$$U_{esp} = \begin{cases} k_F \|\vec{r}_{ind}\|^2, & \text{si } U_{minP} \geq U_{minG} \text{ y} \\ U_{obj}(\vec{r}_i), & \text{otrocaso.} \end{cases} \quad (19)$$

$$U_{minG} \leq U_{obj}(\vec{R});$$

Incremento de energía

La adición de energía se realiza mediante el factor de propulsión, el cual está dado por la ecuación (20).

$$\begin{cases} \frac{d\alpha}{dt} = g(t), & \text{si } U_{minG} \geq U_{obj}(\vec{R}); \\ \alpha = 0, & \text{si } U_{minG} < U_{obj}(\vec{R}). \end{cases} \quad (20)$$

Para la función $g(t)$ se considera un tiempo T_a asociado al incremento de energía y un tiempo T_e para la espera, momento en el cual las partículas se dispersan de forma circular sobre el espacio de búsqueda. El número total de iteraciones que toma este ciclo es $T_a + T_e$, donde se emplea la variable $cont$ para realizar la cuenta de las iteraciones. La función $g(t)$ está dada por la ecuación (21).

$$g(t) = \begin{cases} \tau_c, & \text{si } 0 \leq cont < T_a; \\ \alpha, & \text{si } T_a \leq cont < T_a + T_e. \end{cases} \quad (21)$$

Con la anterior estrategia se espera que la energía de propulsión aumente hasta que las partículas logren evadir el mínimo local. El aumento de la energía está dado por el parámetro τ_c , el cual corresponde a la tasa con la cual se incrementa la energía de autopropulsión.

Criterio de parada del algoritmo

Como se ha mencionado previamente, el algoritmo utiliza la dispersión para escapar de mínimos locales y explorar de manera eficiente el espacio de búsqueda. Por lo tanto, el nivel de dispersión se emplea como criterio de parada del algoritmo. Considerando lo anterior, el criterio de parada propuesto establece que si el número de partículas en el espacio de búsqueda es menor que un valor específico, entonces el algoritmo se detiene.

Implementación del algoritmo

Para implementar el modelo dinámico del enjambre en el algoritmo, las ecuaciones diferenciales

se convierten a tiempo discreto considerando un intervalo de tiempo Δt , de tal forma que se tienen las ecuaciones (22) y (23).

$$\vec{r}_i[n+1] = \vec{r}_i[n] + \vec{v}_i \Delta t \quad (22)$$

$$\vec{v}_i[n+1] = \vec{v}_i[n-1] + (\vec{F}_{pro,i} + \vec{F}_{int,i} + \vec{F}_{obj,i}) \Delta t / m_i \quad (23)$$

El cálculo de α en tiempo discreto se realiza con la ecuación (24).

$$\begin{cases} \alpha[n+1] = \alpha[n] + g[n] \Delta t, \\ \alpha[n+1] = 0, \end{cases} \quad (24)$$

$$\text{si } U_{minG} \geq U_{obj}(\vec{R});$$

$$\text{si } U_{minG} < U_{obj}(\vec{R}).$$

Finalmente, el algoritmo de optimización propuesto se puede apreciar en la figura 3.

ANÁLISIS CUALITATIVO DEL ALGORITMO

De los diferentes parámetros involucrados en el algoritmo de optimización se puede hacer la siguiente descripción:

- β : Factor de frenado de las partículas. Al aumentar, las partículas tienden a ir más lento.
- α : Factor de propulsión. Al incrementarse, las partículas aumentan su energía cinética, elevándose de esta forma su velocidad.
- a : Factor de interacción. Al aumentar, el enjambre de partículas tiende a unirse más y al disminuir se dispersan más.

```

Algoritmo 1: Algoritmo propuesto de optimización VPSO.
1 Inicializar el enjambre, posiciones aleatorias y velocidad cero;
2 begin
3   while Bajo algún criterio de finalización. Número de iteraciones o depresión. do
4     Establecer la posición media del enjambre  $\vec{R}$  empleando la ecuación 16;
5     Calcular  $U_{minG}$  y  $U_{minP}$  ecuaciones 17 y 18;
6     Establecer la fase de algoritmo;
7     Determinar  $\alpha$  empleando la expresión 24;
8     for  $i = 1$  hasta  $N$  do
9       Calcular la nueva posición de las partículas con la ecuación 22;
10      Calcular la nueva velocidad de las partículas empleando la ecuación 23;
11    end
12    Pasar a la siguiente iteración.
13  end
14  Establecer el valo óptimo encontrado por las partículas.
15 end
    
```

Figura 3. Algoritmo de optimización propuesto

Fuente: elaboración propia.

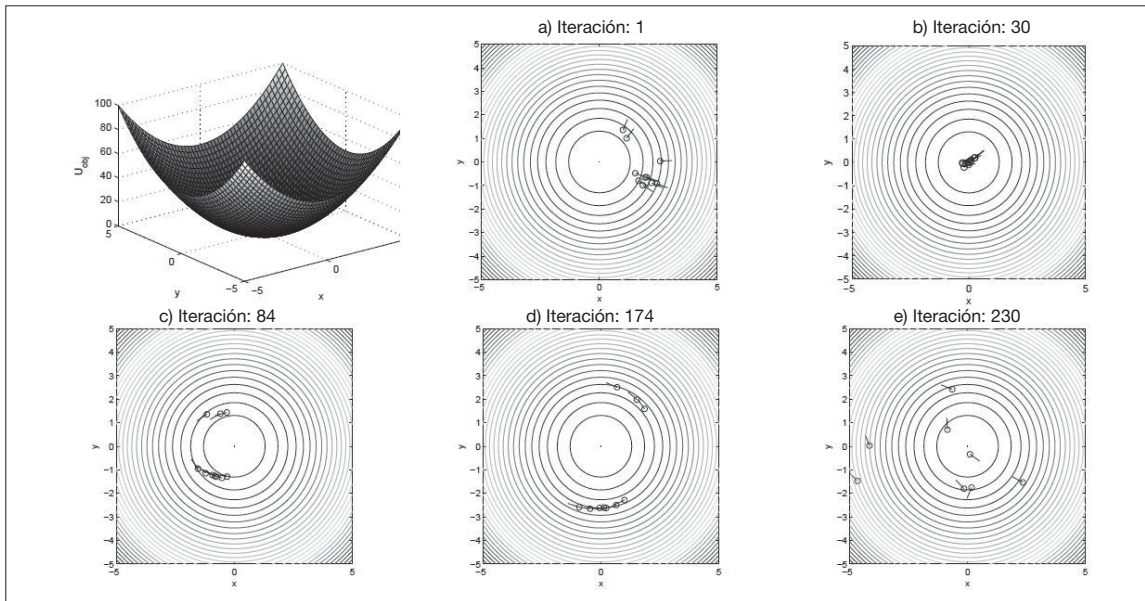


Figura 4. Representación gráfica del funcionamiento del algoritmo en un potencial parabólico

Fuente: elaboración propia.

- K_f : Factor de ponderación de la función objetivo. Al incrementarse, las partículas convergen rápidamente a un mínimo local, y al disminuir, estas se pueden mover, sobre todo el espacio de búsqueda.

Para mostrar el funcionamiento del algoritmo se realiza una simulación, considerando un potencial cuadrático de la forma $U_{obj} = 2(x^2 + y^2)$. En la figura 4 se puede apreciar el potencial y la evolución que tiene la posición de las partículas en la medida que pasan las iteraciones. Es de apreciar que luego de encontrar el mínimo local, las partículas inician el proceso de dispersión realizando un movimiento circular.

RESULTADOS

Para ilustrar el desempeño del algoritmo propuesto se considera un conjunto de funciones de prueba de 2 dimensiones, las cuales se pueden observar en Passino (2002) y Krishnanand (2009). En la figura 5 se puede apreciar la representación gráfica de las funciones objetivo empleadas.

Passino: esta función de prueba es una adaptación de la presentada en Passino (2002). En este caso la

$$\begin{aligned}
 U_{obj,1} = & 5e^{-0,8((x)^2+(y-1,7)^2)} \\
 & - 2e^{-0,64((x-1,7)^2+(y-0)^2)} \\
 & + 3e^{-0,64((x-3,3)^2+(y+1,7)^2)} \\
 & + 2e^{-0,8((x+1,7)^2+(y+1,7)^2)} \\
 & - 2e^{-4((x+3,3)^2+(y+1,7)^2)} \\
 & - 4e^{-0,8((x-0)^2+(y+3,3)^2)} \\
 & - 2e^{-4((x+2,3)^2+(y-3,3)^2)} \\
 & - 2e^{-4((x-2,0)^2+(y-3,3)^2)} \\
 & + 2e^{-4((x-3,3)^2+(y-0,3)^2)} \\
 & + 2e^{-4((x+3,3)^2+(y+0,3)^2)} \\
 & + 0,05(x^2 + y^2)
 \end{aligned} \tag{25}$$

función tiene un mínimo global en (0,113,-3,2597), cuyo valor es -3,4354 Esta función de prueba se encuentra descrita por la ecuación (25).

Peaks: esta función tiene dos mínimos locales y un mínimo global en (0,2282,-1,6199) que es igual a -6,4169. La ecuación (26) describe esta función de prueba.

$$\begin{aligned}
 U_{obj,2} = & 3(1-x)^2 e^{-(x^2+(y+1)^2)} \\
 & - 10\left(\frac{x}{5} - x^3 - y^5\right) e^{-(x^2+y^2)} - \frac{1}{3} e^{-((x+1)^2+y^2)}
 \end{aligned} \tag{26}$$

Rastrigins: esta función representa un problema bastante difícil debido a su gran número de locales mínimos y máximos. El mínimo global se encuentra en (0,0) con un valor de 0. Esta función se encuentra dada por la ecuación (27).

$$\begin{aligned}
 U_{obj,3} = & 0,1(20 + (x^2 - 10 \cos(2\pi x) \\
 & + y^2 - 10 \cos(2\pi y)))
 \end{aligned} \tag{27}$$

Circles: esta función presenta varios círculos concéntricos como regiones de máximos y mínimos locales. El mínimo global se encuentra en (0,0) con un valor de 0. La ecuación (28) describe esta función de prueba.

$$\begin{aligned}
 U_{obj,4} = & (x^2 + y^2)^{0,25} \\
 & ((\sin(50(x^2 + y^2)^{0,1}))^2 + 1,0)
 \end{aligned} \tag{28}$$

Equal Peaks: esta función tiene varios mínimos con un valor de 0 y situados periódicamente en x y y . Esta función se encuentra descrita por la ecuación (29).

$$U_{obj,5} = \cos(x)^2 + \sin(y)^2 \tag{29}$$

Himmelblaus: consiste en una adaptación de la función representada en Krishnanand (2009), la cual tiene cuatro mínimos con valor de -2 situados en (-1,5616,2,29260), (2,5616,2,1068), (2,5615,-2,1068) y (1,5616,-29260). La ecuación (30) describe esta función de prueba.

$$\begin{aligned}
 U_{obj,6} = & -0,01(200 - (x^2 + y^2 - 11)^2 \\
 & - (x + y^2 - 7)^2)
 \end{aligned} \tag{30}$$

Para la ejecución del algoritmo se toma: $m_i=1$, $\beta=1$, $\alpha_{max}=20$ y $\Delta t=0,1$. El rango del espacio de búsqueda considerado es $(-6 \leq x \leq 6)$ y $(-6 \leq y \leq 6)$. Las condiciones iniciales de las partículas son aleatorias en posición y cero en velocidad. Dos configuraciones de parámetros consideradas son: *Set 1* $a=1$, $K_f=1$; *Set 2* $a=0,5$, $K_f=0,5$. Por último, se realizan 30 ejecuciones

para cada conjunto de configuraciones. La tabla 1 muestra los valores máximos y mínimos encontrados durante el proceso de optimización (mejores y peores resultados), el valor medio y la desviación estándar (STD) de los resultados. También se aprecia el número de iteraciones empleadas por el algoritmo con cada función de prueba.

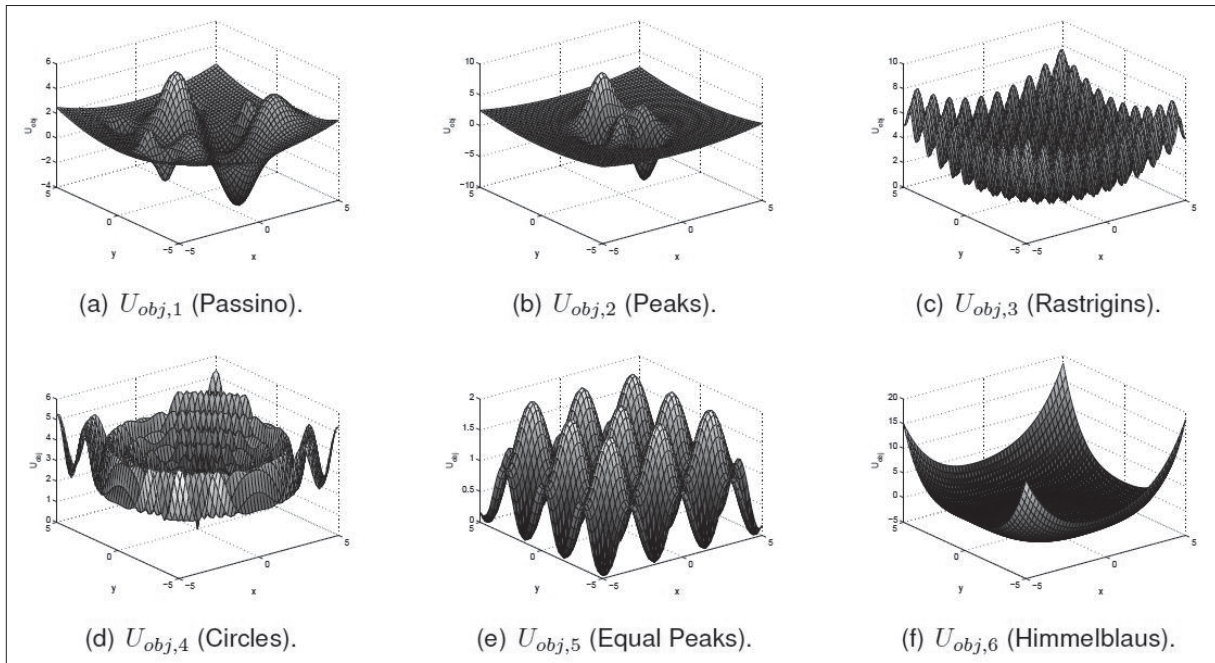


Figura 5. Funciones objetivo en 2D

Fuente: elaboración propia.

Tabla 1. Resultados para 30 ejecuciones

Configuración	Set 1		Set 2	
	Valor	Iteraciones	Valor	Iteraciones
Función 1				
Máximo	0,361	383	0,3751	447
Mínimo	-3,4354	178	-3,4353	175
Promedio	-2,4562	289,9	-2,508	283,7
STD	1,0601	52,6	1,1156	71,5
Función 2				
Máximo	-2,7524	754	0,2263	518
Mínimo	-6,4168	168	-6,4164	135
Promedio	-5,2747	431,1	-3,775	283,3
STD	1,6175	162,9	2,1602	90,6

Configuración	Set 1		Set 2	
	Valor	Iteraciones	Valor	Iteraciones
Función 3				
Máximo	0,754	681	1,2772	609
Mínimo	0,00008	157	0,0191	150
Promedio	0,2207	378,8	0,31	304,8
STD	0,1997	153,5	0,3483	99,5
Función 4				
Máximo	1,7705	795	1,559	745
Mínimo	0,0661	169	0,2213	123
Promedio	0,62	427,7	0,8181	283
STD	0,412	193,5	0,2875	127,1
Función 5				
Máximo	0,011	537	1,5746	772
Mínimo	0,0000057	212	0,000237	70
Promedio	0,0036	315,5	0,1066	284
STD	0,0037	73,3	0,312	124,8
Función 6				
Máximo	-1,8839	559	-1,5351	693
Mínimo	-2	222	-1,9999	165
Promedio	-1,9913	340,7	-1,9441	358,9
STD	0,0221	89,5	0,113	104,8

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

El modelo empleado fue seleccionado buscando tener una expresión compacta con pocos términos y que permita describir comportamientos de enjambre como desplazamientos uniformes y movimientos circulares, los cuales se observan en diferentes grupos de seres vivos.

El algoritmo propuesto es un proceso de optimización basado en un comportamiento emergente que utiliza la vorticidad de un enjambre de partículas para mejorar las capacidades de búsqueda y escapar de los mínimos locales. Los resultados que se presentan muestran la eficacia de la estrategia propuesta, donde el enjambre fue capaz de evitar los mínimos locales y encontrar una solución global (aproximada) de las funciones propuestas.

En los resultados de la tabla 1 se puede apreciar que hay un mejor desempeño del algoritmo para la primera configuración de parámetros (Set 1). Adicionalmente, en estos resultados se observa que en promedio el mayor número de iteraciones se encuentra en esta misma configuración de parámetros. También es de notar que en la mayoría de la funciones objetivo el algoritmo logra encontrar el mínimo global.

En particular la función objetivo *Circles* resulta de interés, debido a la simetría circular que presenta, lo cual puede dificultar el escape de las partículas de los mínimos locales. En la tabla 1 se puede observar que para esta función objetivo el algoritmo emplea el mayor número de iteraciones.

FINANCIAMIENTO

El financiamiento del presente proyecto se encuentra en el marco del proyecto con código 16332 de la Dirección de Investigación Sede Bogotá - Universidad Nacional de Colombia.

AGRADECIMIENTO

Los autores manifiestan su agradecimiento a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y a la Universidad Nacional de Colombia por el apoyo en el desarrollo de este trabajo.

REFERENCIAS

- Abdel, M. y McInnes, C., "Wall Following to Escape Local Minima for Swarms of Agents Using Internal States and Emergent Behavior", *International Conference of Computational Intelligence and Intelligent Systems ICCIIS*, 2008.
- Bajec, I. y Heppner, F., "Organized Flight in Birds", *Animal Behaviour*, Vol. 78, No. 4, 2009, pp. 777-89.
- Berg H., *Random Walks in Biology*, Princeton University Press, 1983.
- Bratton, D. y Kennedy, J., "Defining a Standard for Particle Swarm Optimization", *Proceedings of IEEE Swarm Intelligence Symposium SIS*, 2007.
- Çengel, Y., *Mecánica de fluidos*, McGraw-Hill, 2003.
- Couzin, I., Krause, J., Franks, N. y Levin, S., "Effective Leadership and Decision Making in Animal Groups on Themove", *Lettters to Nature*, Vol. 433, 2005, pp. 513-16.
- D'Orsogna, M., Chuang, Y., Bertozzi, A. y Chayes, L., "Self-Propelled Particles with Soft-Core Interactions: Patterns, Stability, and Collapse", *Physical Review Letters*, Vol. 96, 2006.
- Ebeling, W. y Erdmann, U., "Nonequilibrium Statistical Mechanics of Swarms of Driven Particles", *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol. 314, No. 1-4, 2002, pp. 92-96.
- Erdmann, U., Ebeling, W. y Mikhailov, A., "Noise-Induced Transition from Translational to Rotational Motion of Swarms", *Physical Review E*, Vol. 71, No. 5, 2005.
- Espitia, H. y Sofrony J., "Path Planning of Mobile Robots Using Potential Fields and Swarms of Brownian Particles", *IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, 2011, pp. 123-129.
- Espitia H. y Sofrony J., "Vortex Particle Swarm Optimization", *IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, 2013.
- Espitia, H., Sofrony, J. y González C., "Vortex Swarm Path Planning Algorithm", *IEEE Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference (CERMA)*, 2011, pp. 184-90.
- Evers, G., *An Automatic Regrouping Mechanism to Deal with Stagnation in Particle Swarm Optimization* (Master Thesis), University of Texas-Pan American, 2009.
- Feng, C., Cong, S. y Feng, X., "A New Adaptive Inertia Weight Strategy in Particle Swarm Optimization", *IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, 2007.
- García, J. y Alba, E., "Restart Particle Swarm Optimization with Velocity Modulation: A

- Scalability Test”, *Springer, Soft Computing - A Fusion of Foundations, Methodologies and Applications*, Vol. 1, 1997.
- García, R., Moss, F., Nihongi, A., Strickler, R., Göller, S., Erdmann, U., Schimansky, L. y Sokolov, I., “Optimal Foraging by Zooplankton within Patches: The Case of *Daphnia*”, *Elsevier, Mathematical Biosciences*, Vol. 2, 2007, pp. 165-88.
- Hendtlass, T., “A Particle Swarm Algorithm for High Dimensional, Multi-Optima Problem Spaces”, *IEEE Swarm Intelligence Symposium*, 2005.
- Hvass, M., *Tuning & Simplifying heuristical optimization* (Ph.D. Thesis), University of Southampton, UK, 2010.
- Krishnanand, K. y Ghose, D., “Glowworm Swarm Optimization for Simultaneous Capture of Multiple Local Optima of Multimodal Functions”, *Springer Science, Swarm Intelligence*, Vol. 3, No. 2, 2009, pp. 87-124.
- Levine, H., Rappel, W. y Cohen, I., “Self-Organization in Systems of Self-Propelled Particles”, *Physical Review E*, Vol. 63, No. 1, 2000.
- Liang, J., Qin, A., Suganthan, P. y Baskar, S., “Comprehensive Learning Particle Swarm Optimizer for Global Optimization of Multimodal Functions”, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Vol. 10, 2006.
- Menser, S. y Hereford, J., “A New Optimization Technique”, *Proceedings of the IEEE Digital Object Identifier Southeast Con*, 2006.
- Mesa, E., *Supernova: un algoritmo novedoso de optimización global* (tesis de maestría), Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, 2010.
- Parsopoulos, K. y Vrahatis, M., “On the Computation of all Global Minimizers through Particle Swarm Optimization”, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Vol. 8, 2004.
- Passino, K., “Biomimicry of Bacterian Foraging for Distributed Optimization and Control”, *IEEE Control Systems Magazine*, 2002.
- Passino, K., *Biomimicry for Optimization, Control, and Automation*, Springer-Verlag, London, UK, 2005.
- Schutte, J., *Particle Swarms in Sizing and Global Optimization* (Master’s Dissertation), University of Pretoria, 2002.
- Sumpter, D., “The Principles of Collective Animal Behaviour”, *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, Vol. 361, No. 1465, 2006, pp. 5-22.
- Van den Bergh, F., *An Analysis of Particle Swarm Optimizers* (PhD. Thesis), University of Pretoria, Pretoria, 2001.
- Vicsek T., “Universal Patterns of Collective Motion from Minimal Models of Flocking”, *Second IEEE International Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems*, 2008.
- Vicsek, T., Czirók, A., Ben, E., Cohen, I. y Shochet, O., “Novel Type of Phase Transition in a System of Self-Driven Particles”, *Physical Review Letters*, Vol. 75, No. 6, 1995.
- Yin, L. y Liu, X., “A PSO Algorithm Based on Biology Population Multiplication (PMP-SO)”, *Proceedings of the Second Symposium International Computer Science and Computational Technology (ISCST ’09)*, 2009.
- Zhang, H., Chen, M., Stan, G., Zhou, T. y Maciejowski, J., “Collective Behavior Coordination with Predictive Mechanisms”, *IEEE Circuits and Systems Magazine*, 2008.

Híbrido rat-race miniaturizado para la banda ISM 2,4 GHz

Miniaturized Rat-Race Hybrid for 2,4 GHz ISM Band

SEBASTIÁN RODRÍGUEZ PÁEZ

Ingeniero electrónico, magíster en Electrónica, profesor de cátedra de la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.

Contacto: jrodriguezp@javeriana.edu.co.

ARTURO FAJARDO JAIMES

Ingeniero electrónico, magíster en Electrónica, profesor asistente de la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.

Contacto: fajardoa@javeriana.edu.co

CARLOS IVÁN PÁEZ RUEDA

Ingeniero electrónico, especialista en Docencia e Investigación Universitaria, magíster en Eléctrica, profesor asociado de la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.

Contacto: paez.carlos@javeriana.edu.co

Fecha de recepción: 31 de agosto de 2013

Clasificación del artículo: investigación

Fecha de aceptación: 16 de mayo de 2014

Financiamiento: Pontificia Universidad Javeriana

Palabras clave: circuitos acopladores, circuitos de microondas, microcinta

Keywords: coupling circuits, microwave circuits, microstrip

RESUMEN

En este artículo se presenta el diseño, la implementación y la evaluación de un híbrido Rat-race miniaturizado, construido en un substrato CER-60 con líneas de transmisión (LxTx) tipo microcinta, siguiendo una curva de llenado fractal novedosa. Este circuito es el resultado principal del proyecto de investigación PS 3206 financiado por la Vicerrectoría Académica de la Pontificia Universidad Javeriana. El híbrido desarrollado logra una miniaturización del 73%, opera en la banda

ISM 2,4 GHz, con una frecuencia de operación óptima de 2,56 GHz y un ancho de banda fraccional de 17,15%.

ABSTRACT

This paper presents the design, implementation and evaluation of a miniaturized Rat-race hybrid implemented in substrate CER-60 with microstrip transmission lines in a novel space-filling curve. This circuit is the main research's result of the

project PS 3206 funded by the Pontificia Universidad Javeriana. The hybrid achieves a miniaturization of 73%, it operates in the 2.4 GHz ISM band,

with an optimum operating frequency 2.56 GHz and a fractional band width of 17.15%.

* * *

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de comunicaciones inalámbricos están conformados por circuitos digitales, circuitos de señal mixta y circuitos de radio frecuencia (RF). La evolución de los procesos de fabricación de los circuitos digitales ha producido una reducción significativa en los tamaños de este tipo de circuitos, aunque en contraste los circuitos de RF han disminuido muy poco su tamaño (Pucel, 2012).

Antes de 1950 los dispositivos de microondas usaban guías de onda. El uso de esta tecnología implicaba dimensiones físicas muy grandes, impidiendo la portabilidad de los equipos. Con la aparición de la tecnología de microcinta y la mejora en los procesos de fabricación de materiales dieléctricos, surgió la tecnología conocida como HMIC (Híbrido Microwaves Integrated Circuits), la cual utiliza una placa de sustrato metalizada para dar soporte a los componentes del circuito (resistencias, condensadores, transistores, chipsets, etc.) y para contener los campos producidos por su interconexión. En 1967 esta tecnología evolucionó a los MMIC monolíticos (MMIC). En esta tecnología los circuitos de microondas activos o pasivos se fabrican en un sustrato semiconductor por una combinación de técnicas que incluyen la difusión, la evaporación, la implantación y otros medios (Pucel, 2012). Hoy en día la tecnología MMIC es usada ampliamente para implementar sistemas electrónicos embebidos en los dispositivos de comunicación móviles que operan en la banda de la microondas (He-Xiu Xu, Guang-Ming Wang y Ke Lu, 2011), en los cuales uno de los principales retos para aumentar su portabilidad es la miniaturización de sus componentes (Chiou, Tsai, Wu y Kuo, 2008).

El híbrido de 180° es un circuito usado en una gran variedad de sistemas de RF. De forma convencional se implementa a través de un acoplador Rat-race (He-Xiu Xu *et al.*, 2011). En esta implementación, las dimensiones físicas del híbrido son proporcionales a longitud de onda (λ) de operación del acoplador. Recientemente se han realizado múltiples esfuerzos para lograr su miniaturización en la banda de bajas frecuencias de microondas (Chiou *et al.*, 2008; Ghali y Moselhy, 2004b; Jen-Tsai Kuo, Yi-Chyun Chiou y Juo-Shiuan Wu, 2007; Wen-Ling Chen y Guang-Ming Wang, 2007). Estos esfuerzos en reducción de tamaño se concentran en aquellas implementaciones que se pueden fabricar con facilidad en tecnología MMIC. Por lo tanto, la investigación se ha focalizado en implementaciones basadas en tecnologías planares de LxTx.

Los primeros esfuerzos por lograr la miniaturización del acoplador tipo *Rat-race* utilizaban componentes concentrados para reducir la longitud física de las LxTx sin disminuir su longitud eléctrica, o bien remplazaban completamente las LxTx por componentes concentrados. El principal problema de estas aproximaciones es que se aumenta el costo y la complejidad de fabricación en un proceso MMIC. En tiempos más recientes se pueden destacar tres diferentes técnicas de diseño: la primera utiliza LxTx artificiales con elementos concentrados (Wei-Shin Tung, Hsu-Hsiang Wu y Yi-Chyun Chiang, 2003), la segunda se enfoca en el uso de LxTx artificiales (Chao-Hsiung Tseng y Hsiang-Ju Chen, 2008; Chiou *et al.*, 2008; Jen-Tsai Kuo *et al.*, 2007) y la tercera utiliza LxTx con geometrías fractales (Chen y Wang, 2008; Ghali y Moselhy, 2004b; Rao, Subramanian y Kamki, 2010; Wen-Ling Chen y Guang-Ming Wang, 2007). En esta última

técnica se usa la propiedad de las curvas de llenado fractales de incrementar su perímetro manteniendo confinada su área. Usando esta técnica se ha reportado miniaturización del 85%, con un ancho de banda fraccional de 25% (Ghali y Moselhy, 2004b) y miniaturización del 81,5%, con un ancho de banda fraccional de 33% (Rao *et al.*, 2010).

En la mayoría de las investigaciones sobre miniaturización no se hace un análisis del impacto de esta en los parámetros de mérito del híbrido, en gran parte por que no existe una forma estándar de comparación, ni una definición precisa de tales parámetros. En los últimos años han aparecido algunos trabajos que comparan diferentes métodos de miniaturización (Duxiang Wang, Huynh, Hakansson, Ming Li y Shaofang Gong, 2008; Psychogiou y Hesselbarth, 2010). Estos se concentran en la comparación de parámetros de mérito de las salidas del híbrido (Rodríguez, Fajardo y Páez, 2011), o bien se proponen un grupo de parámetros de mérito que permiten comparar varias de las dimensiones de operación del circuito.

Lo que sigue se divide de la siguiente forma: en la segunda sección del artículo se introduce el concepto de curvas de llenado. En la tercera sección se presenta la metodología usada para definir la curva de llenado sectorizada aplicada a la miniaturización propuesta. Adicionalmente, se presenta el diseño y la implementación computacional del híbrido novedoso. Finalmente, en la cuarta sección se hace una comparación detallada del híbrido miniaturizado y el híbrido convencional, ambos diseñados e implementados en sustrato CER60 para la banda ISM de 2,4 GHz.

CURVAS DE LLENADO FRACTALES

En 1975 Mandelbrot introdujo el término fractal para describir una nueva geometría, opuesta a la geometría euclidiana y con características

de forma especiales. Por ejemplo, en un objeto fractal todas sus partes tienen la misma forma o estructura que el todo, aunque pueden presentarse a diferente escala y estar ligeramente deformadas. Las curvas de llenado de espacio pueden ser consideradas como parte del mundo fractal (Sagan, 1996). Estas curvas fueron introducidas por Peano en 1890, mucho antes de que el término fractal fuera inventado. Después de las curvas propuestas por Peano, aparecieron otras familias de curvas de llenado (p. ej., Hilbert, 1891; Moore, 1900; Osgood, 1903; Lehesgue, 1904; Sierpinski, 1912 y Wunderlich, 1954). Todas estas curvas tienen la característica de poder llenar el espacio planar completamente con una sola curva continua (Sagan, 1996). Las curvas de llenado fractales tienen la característica particular de aumentar su perímetro manteniéndose confinadas en la misma área (ver figura 1), lo cual las hace atractivas para la miniaturización de estructuras electromagnéticas. Recientemente algunas de estas curvas se han utilizado para reducir el tamaño de los dispositivos electromagnéticos y de los dispositivos electrostáticos (Chen y Wang, 2008; Ghali y Moselhy, 2004b; Moselhy, Ghali, Ragaie y Haddara, 2003).

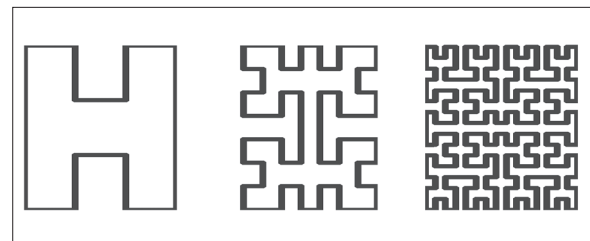


Figura 1. Geometría fractal Moore

Fuente: Ghali y Moselhy (2004a).

METODOLOGÍA

Aplicación sectorizada de curvas de llenado en el híbrido Rat-race

La implementación convencional del híbrido de 180° es conocida como Rat-race y tiene tres segmentos de longitud eléctrica de $\lambda/4$ y un segmento de longitud eléctrica de $3\lambda/4$ (Ludwig y Bogdanov, 2008). Esta implementación se ilustra en la

figura 2a. Para el diseño geométrico del híbrido novedoso se usaron curvas de llenado abiertas que permitieran hacer un remplazo de cada traza fundamental de su figura geométrica básica del convencional. Por esta razón, se generó un hexágono inscrito en el círculo que lo dividió en sub-áreas, en la que se confinaría la curva abierta de llenado fractal, como se ilustra en la figura 2b. Estas curvas formarían los segmentos $0,25 \lambda$ y $0,75 \lambda$ de las LxTx presentes en el circuito, esta construcción se ilustra en la figura 2c.

Para buscar las soluciones óptimas al problema propuesto, se implementó un programa que genera las diferentes curvas de llenado bajo la estructura propuesta, reemplazando cada línea del hexágono por una curva de llenado fractal abierta. Con esta metodología se analizaron las curvas de llenado tipo Gosper, Koch, Sierpinski y Moore, introduciendo variaciones en la simetría de construcción de la curva de llenado (Sagan, 1996). En la figura 3 se observan algunos ejemplos de los fractales analizados, ilustrando todas las posibles simetrías, manteniendo la misma curva fractal. En la figura 4 se ilustran las curvas de llenado implementadas manteniendo la simetría constante. De forma adicional se estudió la combinación de fractales,

utilizando en cada sub-área una curva de llenado particular. En esta última forma de remplazar las rectas del polígono se buscó que los fractales se complementaran en el llenado del área aumentando el perímetro, como se ejemplifica en la figura 5. Finalmente, para comparar de forma simple las figuras fractales generadas, se definió una métrica cuantitativa basada en el cálculo del área del cuadrado en que se confinaba la figura fractal y el porcentaje de relación con el área de una circunferencia de perímetro equivalente, para así determinar cuál lograba la mayor miniaturización.

Diseño del híbrido fractal novedoso

A partir del espacio de búsqueda obtenido se realizó un análisis cualitativo de las geometrías que presentaban porcentajes de miniaturización mayores al 70%, para escoger aquellas que tuvieran características que facilitarían su implementación y la ubicación de los puertos de RF, que presentaran mínima cercanía entre líneas para disminuir posibles acoples electromagnéticos y que no presentaran cruces. Posteriormente estas geometrías se analizaron con Ansoft Designer®, utilizando como dieléctrico un substrato cerámi-

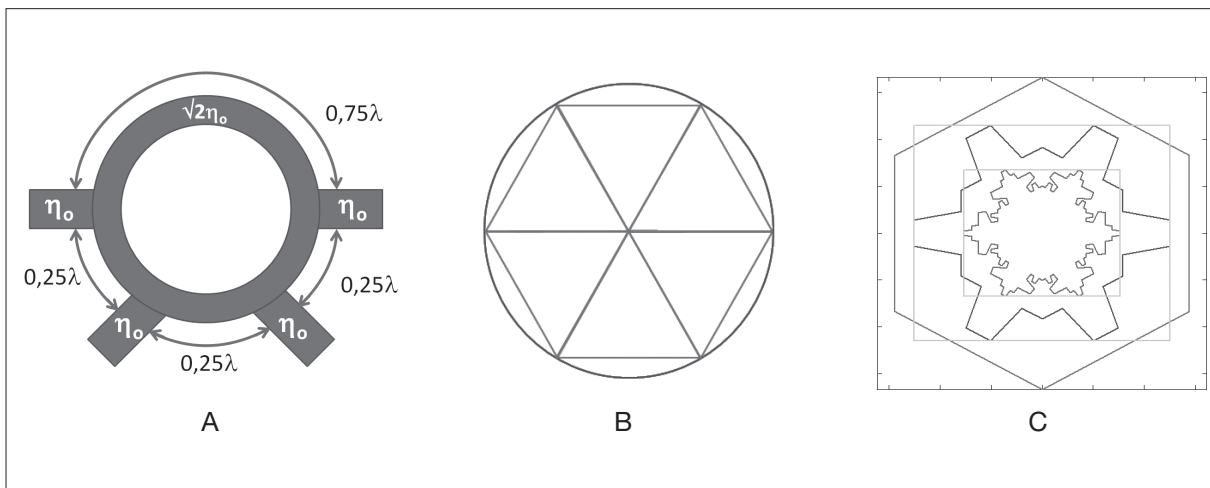


Figura 2. a) Esquema circuito híbrido de 180° tipo RatRace. Fuente: Ludwig y Bogdanov (2008).
 b) Segmentación del área del híbrido convencional. Fuente: elaboración propia.
 c) Construcción fractal basada en un hexágono. Fuente: elaboración propia.

investigación

co llamado CER10, el cual gracias a su alta permitividad ($\epsilon_r=10$) permite disminuir simultáneamente la longitud física y el ancho de las LxTx involucradas en el diseño del dispositivo. A través de la simulación se analizó el comportamiento electromagnético de las geometrías seleccionadas. Para cada geometría se realizó un análisis paramétrico del perímetro total de la estructura y de la posición de los puertos, con el fin de que la frecuencia de operación fuera de 2,45 GHz. A

partir del análisis comparativo de las simulaciones de las diferentes estructuras y sus parámetros de mérito, se escogió la estructura mostrada en figura 6b. Finalmente, se generaron los archivos de fabricación, tanto de la estructura propuesta como de la implementación convencional, ilustrados en la figura 7. Esta estructura produjo un porcentaje de miniaturización entre 73 y 68%, dependiendo de la métrica que se escoja para su cálculo, como se ilustra en la figura 8.

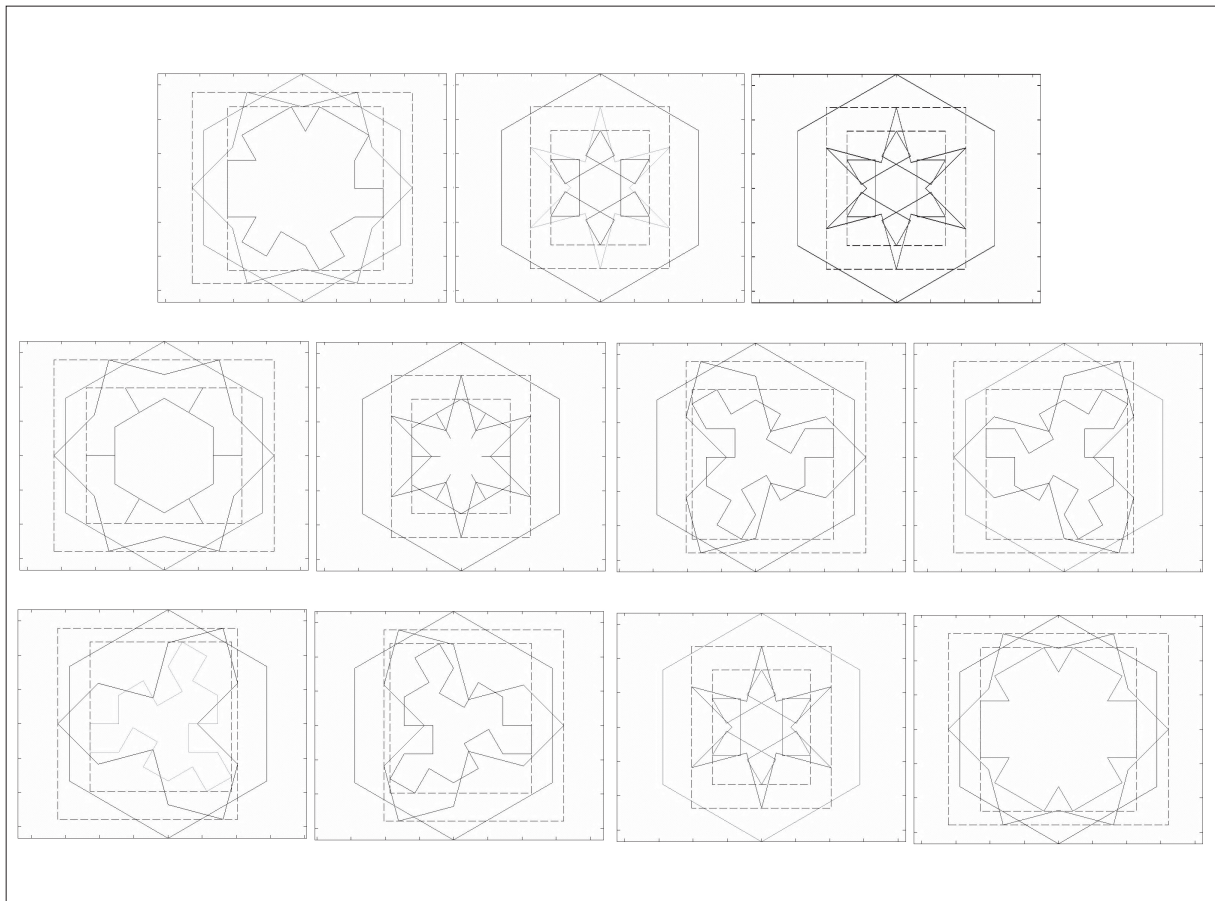


Figura 3. Variaciones de la simetría del fractal usando la curva Koch con hexágono como figura base

Fuente: elaboración propia.

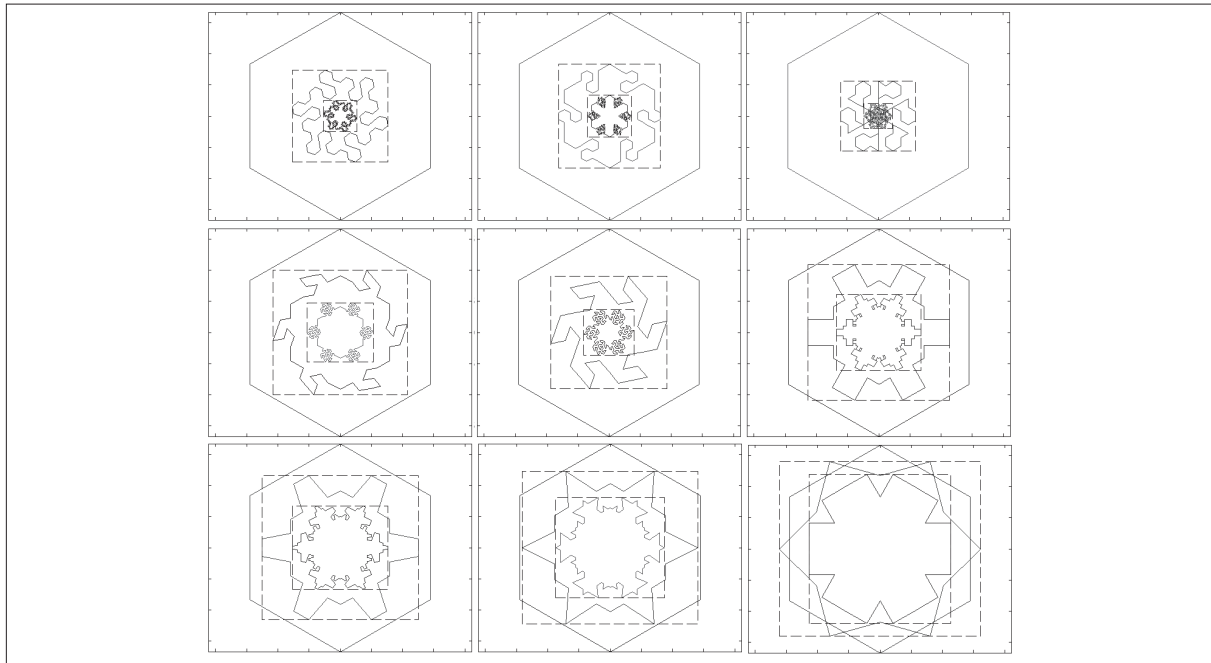


Figura 4. Variación de las diferentes curvas de llenado fractal estudiadas manteniendo la simetría de crecimiento exterior de la construcción del fractal

Fuente: elaboración propia.

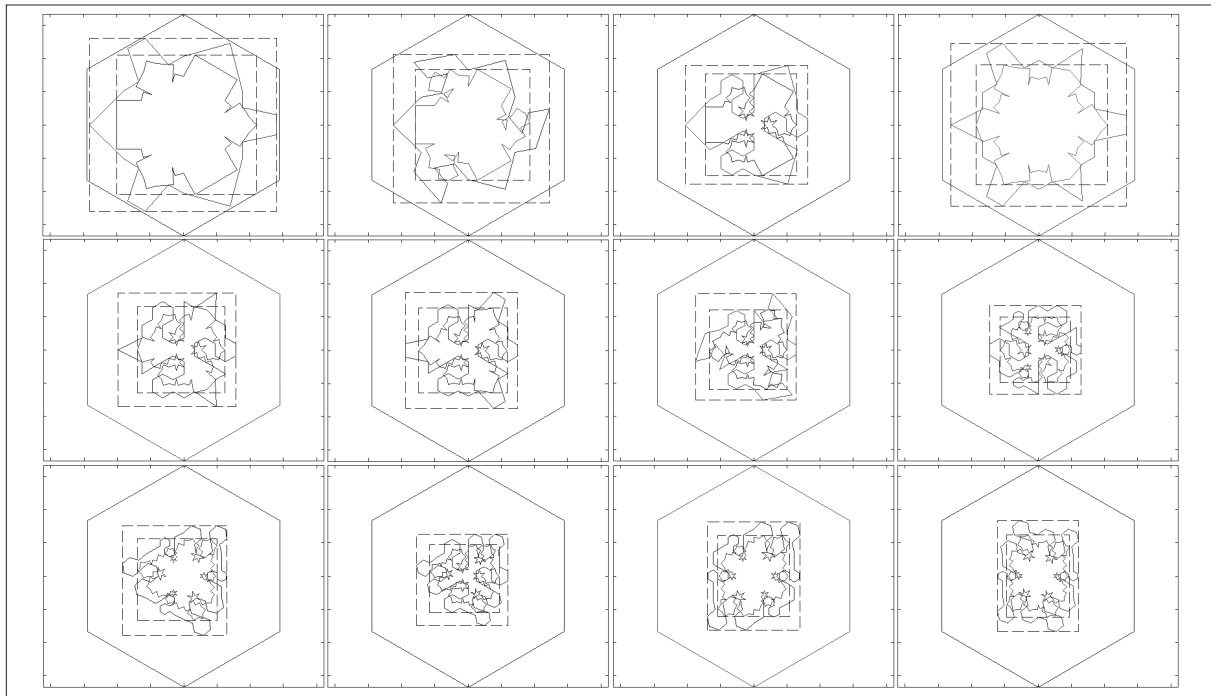


Figura 5. Algunas combinaciones de las diferentes curvas de llenado fractal estudiadas

Fuente: elaboración propia.

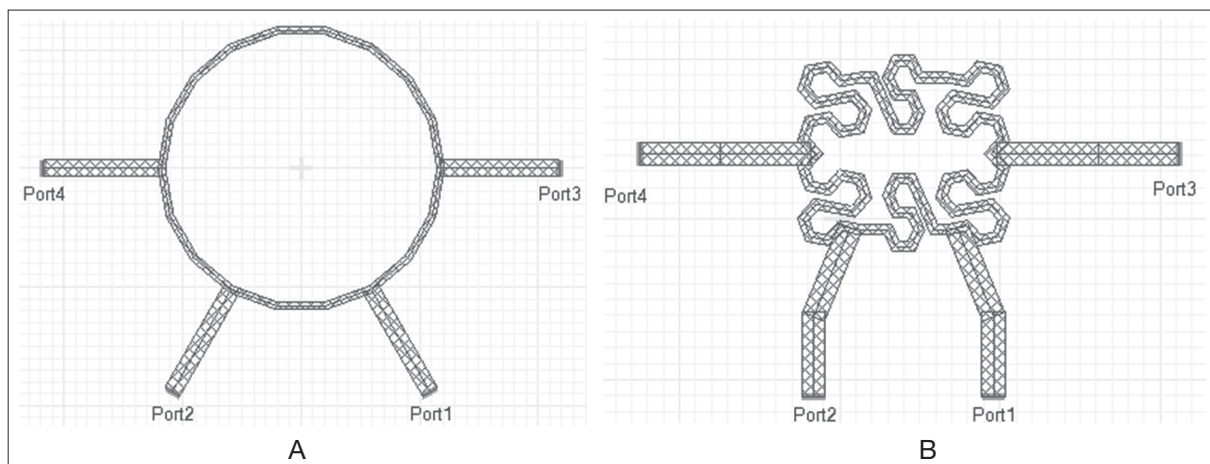


Figura 6. Implementación de los híbridos en *Ansoft Designer*®. a) Convencional. b) Fractal novedoso

Fuente: elaboración propia.

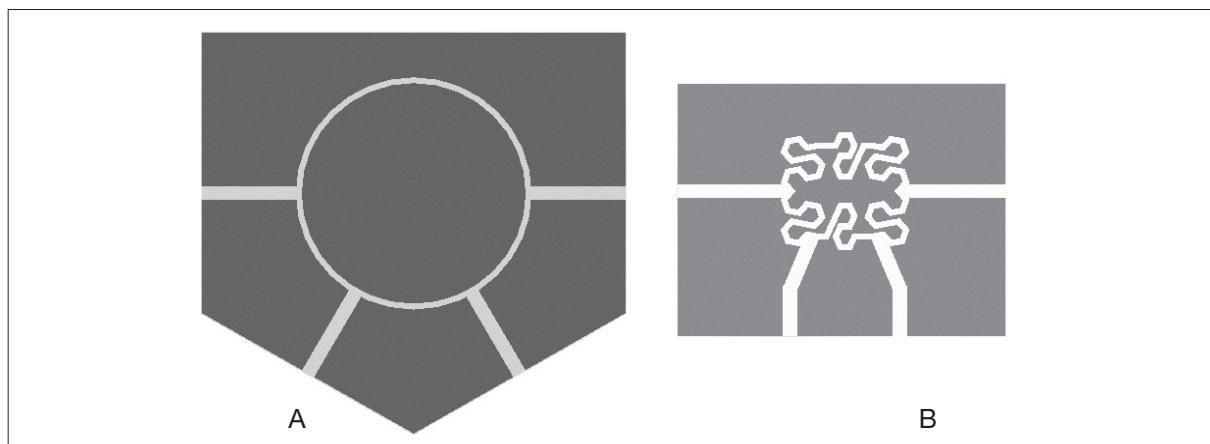


Figura 7. Layout de los híbridos. a) Convencional. b) Fractal novedoso

Fuente: elaboración propia.

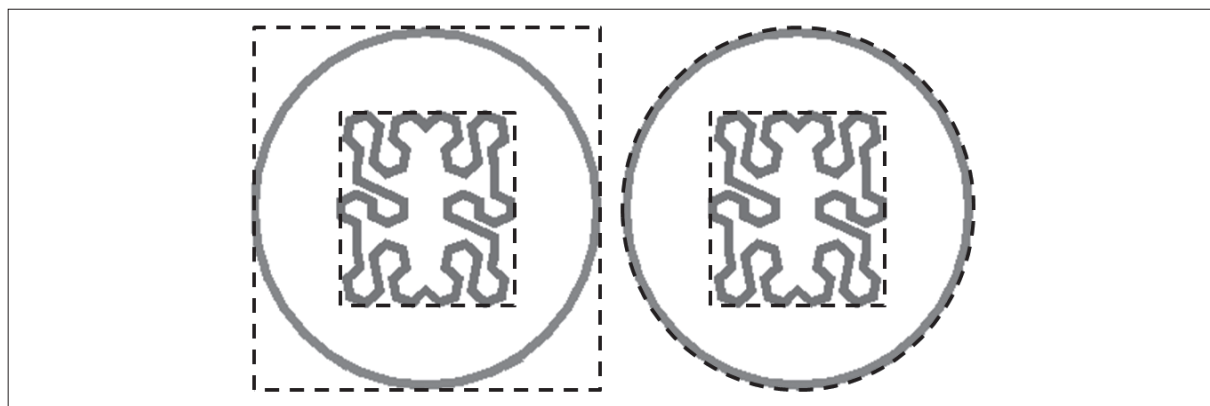


Figura 8. Métricas utilizadas para el cálculo del porcentaje de reducción

Fuente: elaboración propia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para un análisis comparativo global en las figura 9 y 10 se presentan los parámetros de dispersión experimentales y simulados. Analizando los resultados es posible concluir que la simulación

captura casi todas las dinámicas de los híbridos, sin errores significativos. De igual forma, se observa que existe un aumento de la frecuencia de operación experimentalmente medida con respecto al valor simulado. En la figura 11 se muestran los híbridos implementados.

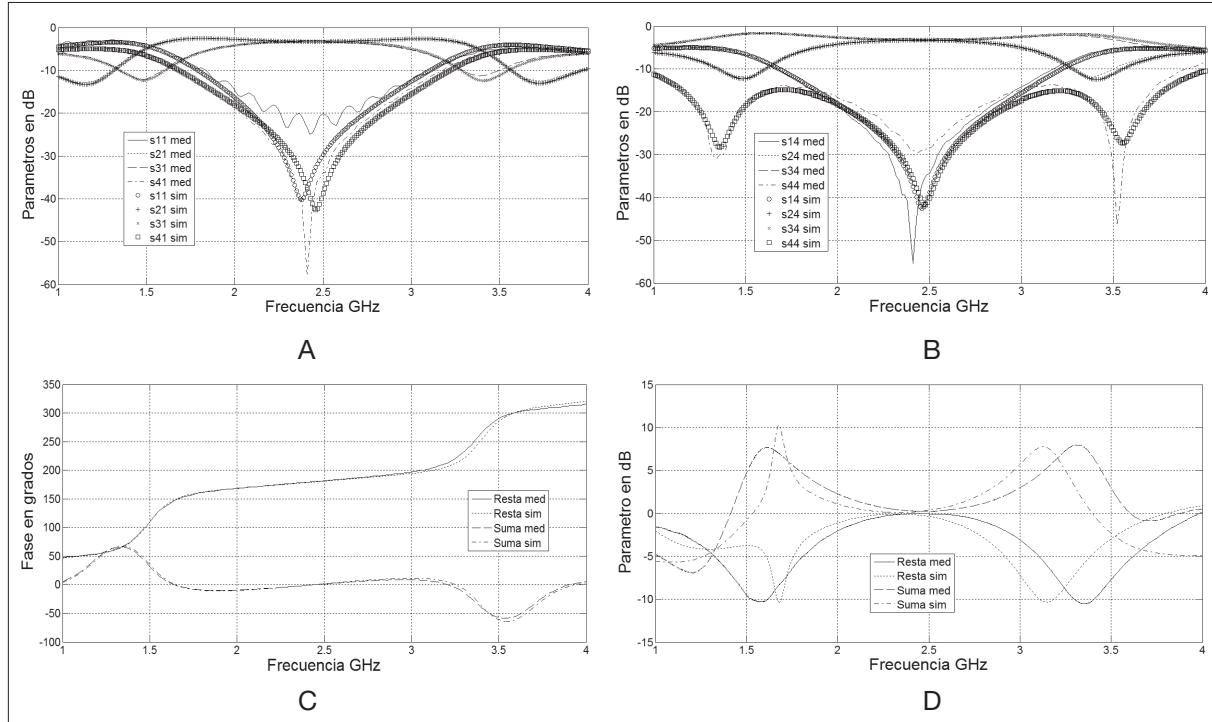
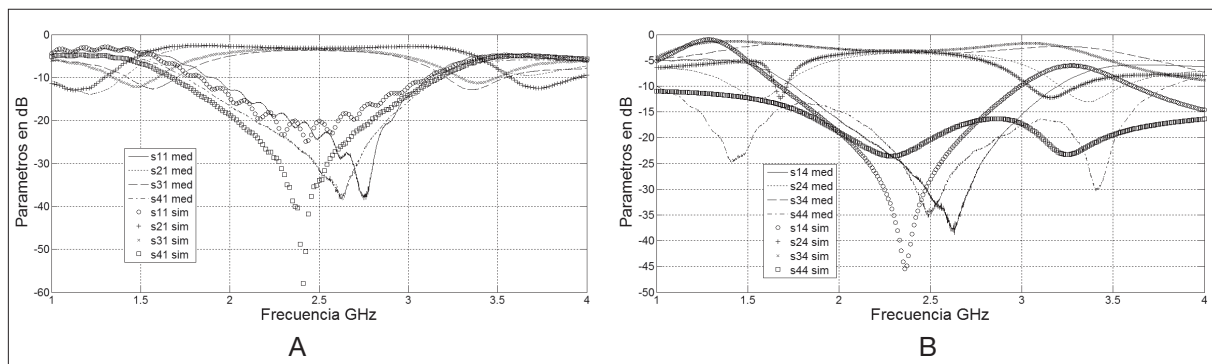


Figura 9. Resultados comparativos entre simulación e implementación del híbrido convencional. a) Magnitudes de los parámetros de dispersión asociados al puerto suma (puerto 1). b) Magnitudes de los parámetros de dispersión asociados al puerto resta (puerto 4). c) Desbalance de fase asociado al puerto suma (0°) y al puerto resta (180°). d) Desbalance de magnitud asociado al puerto suma y al puerto resta.

Fuente: elaboración propia.



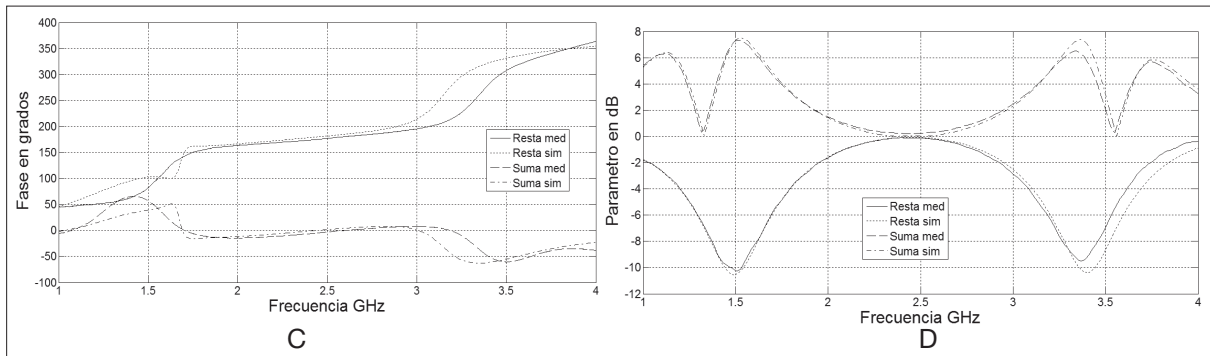


Figura 10. Resultados comparativos entre simulación e implementación del híbrido novedoso. a) Magnitudes de los parámetros de dispersión asociados al puerto suma (puerto 1). b) Magnitudes de los parámetros de dispersión asociados al puerto resta (puerto 4). c) Desbalance de fase asociado al puerto suma (0°) y al puerto resta (180°). d) Desbalance de magnitud asociado al puerto suma y al puerto resta

Fuente: elaboración propia.

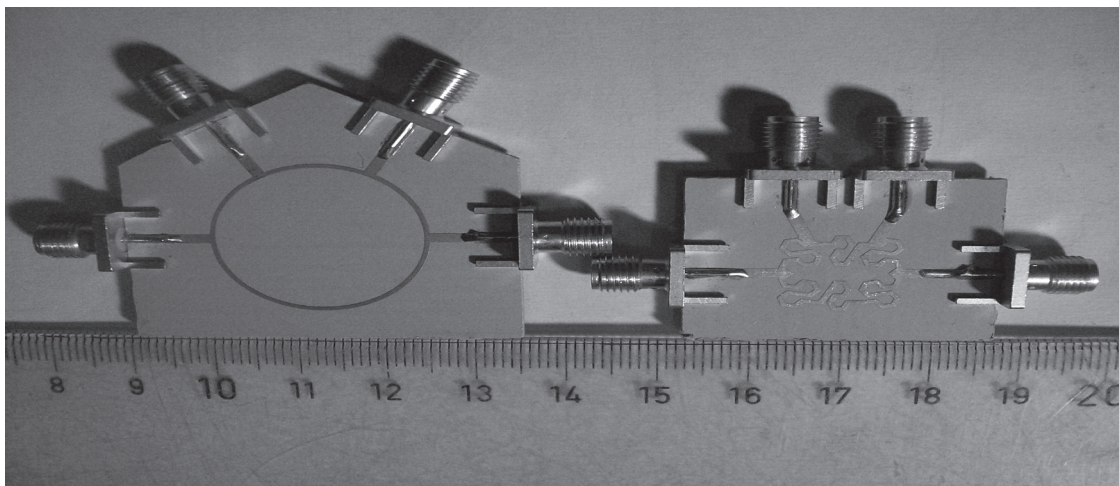


Figura 11. Implementación de los híbridos de 180° convencional (izquierda) y fractal novedoso (derecha)

Fuente: elaboración propia.

Para analizar el impacto de la miniaturización sobre los parámetros de mérito se utilizó la taxonomía propuesta por Rodríguez *et al.* (2011). En este artículo se define la frecuencia de operación óptima del híbrido (f_o) como la frecuencia que minimiza una función de costos asociada al error cuadrático medio de las diferencias de fase deseadas en los puertos de salida, definiendo los puertos de suma como los puertos asociados a un desbalance de fase de 0° y los puertos de resta como aquellos asociados a un desbalance de fase de 180° . Esta función de costos se rescribe por conveniencia en la ecuación (1).

$$Error^2(f) = (180 - |\angle S_{24} - \angle S_{34}|)^2 + (\angle S_{21} - \angle S_{31})^2 \quad (1)$$

En los híbridos ideales existe una frecuencia en la cual el desbalance de fase, el desbalance de magnitud, las pérdidas de inserción y las pérdidas de retorno son mínimos. Sin embargo, para un sistema híbrido de 180° generalizado, no necesariamente existe una frecuencia en la que coincidan estos fenómenos, por lo que para su evaluación se propuso una función de costos descrita por la ecuación, a fin de definir f_o . Esta función contempla tanto el desbalance de fase como el desbalance de magnitud. Los valores de w_p y w_m son pesos

que le permiten al diseñador ponderar la importancia de los errores definidos en la función de costos. En esta investigación la función de costo se evalúa con $w_p^2=1$ y $w_m^2=(5/0,5)$. Esta escogencia se puede interpretar como que una variación

$$Error^2(f) = w_p^2 \left[(180 - |\angle s_{24} - \angle s_{34}|)^2 \right. \\ \left. + (\angle s_{21} - \angle s_{31})^2 \right] + w_m^2 \left[(|s_{24}| - |s_{34}|)^2 + (|s_{21}| - |s_{31}|)^2 \right] \quad (2)$$

de fase 5° es equivalente a desbalance en la amplitud de 0,5 dB. Esta relación en particular es un valor típico usado para la evaluación del ancho de banda de los híbridos de este tipo (Caillet, Clenet, Sharaiha y Antar, 2009; Yang, Chen y Bao, 2010).

Adicionalmente, los parámetros propuestos por Rodríguez *et al.* (2011) suponen un alto grado de simetría en la estructura, donde el desempeño global se puede describir a partir del comportamiento de algunos de sus puertos. Para el caso de un híbrido generalizado, es importante contemplar la simetría del circuito y medirla para verificar la validez de los parámetros propuestos.

A fin de medir la simetría del circuito se propone una comparación directa de las magnitudes y fases de los parámetros de dispersión del híbrido, que se resume en un parámetro de simetría denominado A . Esta comparación se centra en la comparación de los puertos de suma (1 y 2) entre sí y los puertos de resta (3 y 4) entre sí.

Los errores de simetría son tratados como vectores. La medida de simetría propuesta se calcula como el valor medio de los errores de cada parámetro de dispersión analizado, siguiendo la ecuación para su cálculo. Finalmente, se propone como medida general de simetría el valor máximo de los promedios de asimetría de fase y amplitud calculados en los puertos suma (Σ) y resta (Δ), siguiendo la ecuación para su cálculo. En la tabla 1 se presenta un resumen de todos los parámetros de mérito de los prototipos implementados (ver figura 11). Es importante aclarar que los valores

de los parámetros son calculados para frecuencia de operación óptima que minimiza la función de costos descrita por la ecuación, y que el ancho de banda fraccional se define para todos los parámetros como el rango de frecuencia que cumple el criterio de operación determinado del parámetro sobre la frecuencia de operación.

$$A_{m\Sigma} = \frac{1}{4} \sum_{x=1}^4 \frac{\left| |s_{x1}| - |s_{x2}| \right|}{\left| |s_{x1}| \right|}, A_{p\Sigma} = \frac{1}{4} \sum_{x=1}^4 \frac{|\angle s_{x1} - \angle s_{x2}|}{|\angle s_{x1}|}, \quad (3)$$

$$A_{m\Delta} = \frac{1}{4} \sum_{x=1}^4 \frac{\left| |s_{x4}| - |s_{x3}| \right|}{\left| |s_{x4}| \right|}, A_{p\Delta} = \frac{1}{4} \sum_{x=1}^4 \frac{|\angle s_{x4} - \angle s_{x3}|}{|\angle s_{x4}|}$$

$$A = \max \{ A_{m\Sigma}, A_{p\Sigma}, A_{m\Delta}, A_{p\Delta} \} \quad (4)$$

La miniaturización del 73% del híbrido produce un impacto en el ancho de banda del dispositivo, donde el ancho de banda fraccional se reduce en un 45%. De igual manera, se observa cómo a pesar de que el híbrido sigue funcionando en la banda ISM de 2,4 GHz, la frecuencia en la cual funciona de forma óptima se mueve hacia frecuencias más altas, lo que implica que para un funcionamiento simétrico en el punto de operación la reducción de ancho de banda es mayor a la que se reporta en la tabla 1.

En cuanto a la asimetría del circuito, esta no se ve afectada significativamente con la técnica de miniaturización usada. Adicionalmente, se observa que la asimetría producida en la fase es mucho mayor que la asimetría en las magnitudes de los parámetros de dispersión. En cuanto a los parámetros de mérito relacionados con pérdidas de retorno del dispositivo, se observa que el comportamiento del híbrido novedoso y del convencional es similar, con variaciones poco significativas en cuanto a las pérdidas de retorno, siempre menores al 10% del parámetro y conservando su ancho de banda. De igual manera, se observa que el rango de frecuencias en el que el aislamiento es menor a -20 dB y es muy similar para los dos circuitos. Por su parte, el aislamiento en la frecuencia de

operación del híbrido novedoso se reduce hasta en un 33%, alcanzando el valor de -33,76 dB. Es importante aclarar que en la mayoría de las aplicaciones este valor es suficiente para que los diferentes circuitos que usan este dispositivo funcionen apropiadamente. Se puede concluir que a pesar de que el impacto de la miniaturización es significativo en el aislamiento en la frecuencia de operación, no es relevante en el desempeño del híbrido. Finalmente, se observa una disminución de los anchos de banda en los cuales las pérdidas de inserción son tolerables ($2 \text{ dB} < IL < 4 \text{ dB}$), con un

detrimento hasta de un 37%. Este comportamiento se puede explicar por las pérdidas del dieléctrico.

El impacto más significativo de la miniaturización se presenta en los parámetros de mérito a la salida. Se encuentra un desbalance de magnitud que alcanza variaciones en sus parámetros de hasta 43% en la frecuencia de operación, manteniendo casi el mismo rango de operación en ambos híbridos. Por su parte, el desbalance de fase reporta una reducción del ancho de banda fraccional de

Tabla 1. Resumen de los parámetros de mérito de los híbridos implementados

<i>Tipo de implementación</i>	Novedoso		Convencional		
<i>Tipo de puerto analizado</i>	Suma (Σ)	Resta (Δ)	Suma (Σ)	Resta (Δ)	
Parámetros de operación					
<i>BW = MI < 1,5 dB ; PI Σ < $\pm 10^\circ$ y PI Δ < $180^\circ \pm 10^\circ$; RL < 10 dB ; 2 dB < IL < 4 dB ; I < -20 dB</i>					
Frecuencia de operación (f ₀)	GHz	2,566	2,425		
Rango de operación del híbrido (HBW)	GHz	2,27 a 2,89	2,05 a 2,80		
Ancho de banda fraccional del híbrido (HBW)	%	17,15%	30,93%		
Asimetría del híbrido (AH)	%	7,45%	7,89%		
Parámetros puertos de salida					
Desbalance de magnitud (MI)@f ₀	dB	0,2914	0,1046	0,2032	0,1062
MI Rango de operación (MIBW) MI < 1,5 dB	GHz	2,10 a 2,85	2,06 a 2,87	1,99 a 2,89	2,01 a 2,86
MI Ancho de banda fraccional (MIFBW)	%	29,31%	31,68%	37,11%	35,26%
Desbalance de fase (PI)@f ₀	deg	-0,7875	179,4745	-0,5132	179,7073
PI Rango de operación (PIBW) PI Σ < $\pm 10^\circ$ o PI Δ < $180^\circ \pm 10^\circ$	GHz	2,27 a 3,25	2,26 a 2,89	1,89 a 3,30	2,05 a 2,80
PI Ancho de banda fraccional (PIFBW)	%	38,19%	24,36%	58,14%	30,93%
Parámetros de pérdidas de retorno					
Pérdidas de retorno (RL)@f ₀	dB	23,47	30,69	24,86	29,22
RL Rango de operación (RLBW) RL < 10 dB	GHz	1,90 a 3,12	1,00 a 3,81	1,83 a 3,13	1,00 a 3,90
RL Ancho de banda fraccional (RLFBW)	%	47,31%	109,55%	53,81%	119,38%
Parámetros de pérdidas de inserción					
Pérdidas de inserción (IL2)@f ₀	dB	3,47	3,67	3,14	3,33
IL Rango de operación (ILBW2) 2 dB < IL < 4 dB	GHz	1,65 a 3,27	2,15 a 2,75	1,53 a 3,31	2,05 a 2,80
IL Ancho de banda fraccional (ILFBW2)	%	63,33%	23,50%	73,61%	30,93%
Pérdidas de inserción (IL3)@f ₀	dB	3,76	3,57	3,34	3,23
IL Rango de operación (ILBW3) 2 dB < IL < 4 dB	GHz	2,20 a 2,71	1,76 a 3,60	2,02 a 2,80	1,77 a 3,63
IL Ancho de banda fraccional (ILFBW3)	%	20,15%	71,86%	32,16%	76,70%
Parámetros de aislamiento					
Aislamiento (I)@f ₀	dB	-33,76	-33,87	-50,62	-47,05
I Rango de operación (IBW) RL < -20 dB	GHz	2,14 a 2,88	2,14 a 2,88	2,04 a 2,80	2,04 a 2,80
I Ancho de banda fraccional (IFBW)	%	28,99%	28,84%	31,55%	31,55%
Parámetros de simetría					
Asimetría en magnitud (AM)	%	7,45%	5,66%	6,44%	7,89%
Asimetría en fase (AP)	%	5,29%	3,48%	2,14%	2,82%

Fuente: elaboración propia.

hasta el 34%, más aun en el rango de frecuencias en las cuales el desbalance de fase es $PI\Sigma < \pm 10^\circ$ o $PI\Delta < 180^\circ \pm 10^\circ$, que es aquel que limita la operación del circuito como híbrido. Para entender el origen de estos resultados se analiza en detalle la figura 12, donde se presentan los desbalances de fase y magnitud de los híbridos implementados en el ancho de banda de interés. En esta figura se observa cómo en el híbrido miniaturizado, el punto óptimo para mínimo desbalance de fase se encuentra entre 2,5 y 2,7 GHz, mientras que el punto óptimo de desbalance de fase se encuentra entre 2,4 y 2,5 GHz. Por lo tanto, no es posible conseguir a la misma frecuencia un buen desempeño de desbalance de fase y desbalance en magnitud simultaneo. Este efecto se presenta al realizar la miniaturización del híbrido y muestra el efecto negativo de este proceso en el desempeño del circuito.

En la figura 13 se presentan las magnitudes de los parámetros de dispersión asociados al puerto suma y al puerto resta. Se observa cómo el comportamiento general de ambas implementaciones es muy similar. Sin embargo, en la implementación fractal los fenómenos de máximo aislamiento, mínimas pérdidas de retorno y mínimas pérdidas de inserción no ocurren en la misma banda de frecuencias, a diferencia del híbrido convencional en el cual estos fenómenos se presentan en la misma banda. Este fenómeno produce un decremento en el desempeño del híbrido miniaturizado, como se ha discutido previamente.

CONCLUSIONES

En este artículo se presentó el diseño, la implementación y la evaluación de un híbrido Rat-race miniaturizado, siguiendo una curva de llenado fractal novedosa. El híbrido opera en la banda ISM 2,4 GHz, con una frecuencia de operación óptima de 2,56 GHz y un ancho de banda fraccional de 17,15%. La técnica de miniaturización propuesta alcanza una reducción de hasta el 73%

de miniaturización, utilizando un 27% del área del híbrido convencional. Esta miniaturización produce un impacto en casi todos los parámetros de mérito del híbrido, siendo los parámetros

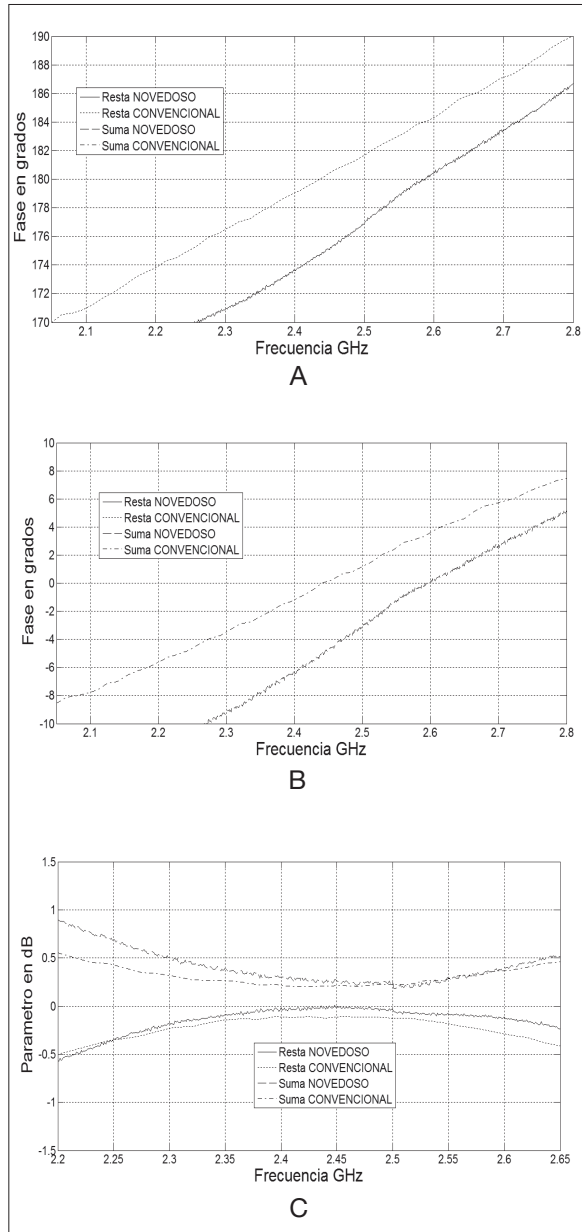


Figura 12. Resultados experimentales en el ancho de banda de interés. a) Desbalance de fase puerto resta b) Desbalance de fase puerto suma. c) Desbalance de magnitud puerto suma y puerto resta

Fuente: elaboración propia.

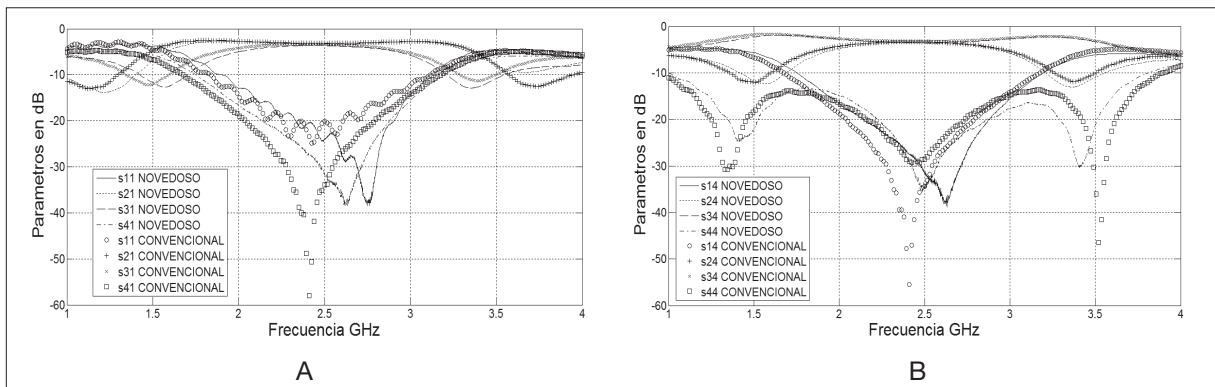


Figura 12. Resultados experimentales en el ancho de banda de interés. a) Desbalance de fase puerto resta b) Desbalance de fase puerto suma. c) Desbalance de magnitud puerto suma y puerto resta

Fuente: elaboración propia.

asociados a pérdidas de retorno, aislamiento e inserción los menos afectados, con un promedio de variación de 6, 14 y 12%, respectivamente. Por otra parte, el principal impacto de la miniaturización en el sistema es la disminución del ancho de banda fraccional en un 45%.

El impacto de la miniaturización se debe a que el híbrido miniaturizado no genera desbalance de fase mínimo, desbalance de magnitud mínimo, máximo aislamiento, mínimas pérdidas de retorno y mínimas pérdidas de inserción, en el mismo rango de frecuencias. Por lo tanto, al momento de diseñar el híbrido miniaturizado es necesario definir claramente lo que se necesita en la aplicación específica, para lograr el mejor desempeño del sistema. La comparación sistemática de los híbridos implementados a través de los parámetros de mérito propuestos por Rodríguez *et al.*

(2011) y los utilizados en este artículo simplifica la comparación y permite analizar el impacto de la miniaturización en su desempeño.

FINANCIAMIENTO

El presente trabajo fue financiado por la Vicerrectoría Académica de la Pontificia Universidad Javeriana como parte del proyecto de investigación PS 3206.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Departamento de Electrónica de la Pontificia Universidad Javeriana por el apoyo en *software* y *hardware* necesario para la investigación actual.

REFERENCIAS

- Caillet, M., Clenet, M., Sharaiha, A. y Antar, Y. M. M., "A Compact Wide-Band Rat-Race Hybrid Using Microstrip Lines", *Microwave and Wireless Components Letters, IEEE*, Vol. 19, No. 4, 2009, pp. 191-193.
- Chao-Hsiung, T. y Hsiang-Ju, C., "Compact Rat-Race Coupler Using Shunt-Stub-Based Artificial Transmission Lines", *Microwave and Wireless Components Letters, IEEE*, Vol. 18, No. 11, 2008, pp. 734-36.
- Chen, W. y Wang, G., "Exact Design of Novel Miniaturized Fractal-Shaped Branch-Line Couplers Using Phase-Equalizing Method", *Microwaves, Antennas & Propagation, IET*, Vol. 2, No. 8, 2008, pp. 773-80.
- Chiou, Y., Tsai, C., Wu, J. y Kuo, J., *Miniaturization Design for Planar Hybrid Ring Couplers, Art of Miniaturizing RF and Microwave Passive Components*, International Microwave workshop, 2008, pp 19-22.
- Duxiang, W., Huynh, A., Hakansson, P., Ming, L. y Shaofang, G., "Study of Wideband Microstrip 90° 3-dB Two-Branch Coupler with Minimum Amplitude and Phase Imbalance", *Microwave and Millimeter Wave Technology, 2008, ICMMT 2008, International Conference*, Vol. 1, pp. 116-19.
- Ghali, H. y Moselhy, T., *Design of fractal rat-race coupler, Microwave Symposium Digest*. Vol. 1, 2004, pp. 323-326.
- Ghali, H. y Moselhy, T. A., "Miniaturized Fractal Rat-Race, Branch-Line, and Coupled-Line Hybrids", *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions*, Vol. 52, No. 11, 2004b, pp. 2513-20.
- He-Xiu, X., Guang-Ming, W. y Ke, L., "Microstrip Rat-Race Couplers", *Microwave Magazine, IEEE*, Vol. 12, No. 4, 2011, pp. 117-29.
- Jen-Tsai, K., Yi-Chyun, C. y Juo-Shiuan, W., *Miniaturized Rat Race Coupler with Microstrip-to-CPW Broadside-Coupled Structure and Stepped-Impedance Sections*, 2007, *Microwave Symposium*, 2007, pp. 169-172.
- Ludwig, R. y Bogdanov, G., *RF Circuit Design: Theory & Applications (2nd Ed.)*, Prentice Hall, 2008.
- Moselhy, T., Ghali, H., Ragaie, H. F. y Haddara, H., *Investigation of Space Filling Capacitors, Microelectronics*, Proceedings of the 15th International Conference, 2003, pp. 287-290.
- Psychogiou, D. y Hesselbarth, J., "Comparing Miniaturization Techniques for Microstrip 180° Hybrid Ring Junctions", *Microwave Symposium (MMS), 2010 Mediterranean*, pp. 29-32.
- Pucel, R. A., "Looking back at Monolithic Microwave Integrated Circuits", *Microwave Magazine, IEEE*, Vol. 13, No. 4, 2012, pp. 62-76.
- Rao, P. H., Subramanian, J. y Kamki, M., "Miniaturized Broadband Microstrip Fractal Rat-Race Coupler with Shunt Stubs", *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 52, No. 289, 2010.
- Rodríguez, S., Fajardo, A. y Páez, C. I., "Characterization of the Branch-Line and Rat-Race

investigación |

Ideal Hybrids through their Merit Parameters”, *Circuits and Systems (LASCAS), 2011, IEEE Second Latin American Symposium*, pp. 1-4.

Sagan, H., *Space-Filling Curves*, Springer-Verlag, 1996.

Wei-Shin, T., Hsu-Hsiang, W. y Yi-Chyun, C., “Design of Microwave Wide-Band Quadrature Hybrid Using Planar Transformer Coupling Method”, *Microwave*

Theory and Techniques, IEEE Transactions, Vol. 51, No. 7, 2003, pp. 1852-56.

Wen-Ling, C. y Guang-Ming, W., *Design of Novel Miniaturized Fractal-Shaped Branch-Line Couplers*, *Microwave Conference*, 2007, pp. 1-3.

Yang, Y., Chen, J. y Bao, Z., “Broadband Compact Rat-Race Hybrid and its Application to Mixers”, *Microwaves, Antennas & Propagation, IET*, Vol. 4, No. 12, 2010, pp. 2001-07.

Operación económica de dispositivos almacenadores de energía para disminución de pérdidas

Optimal Operation of Distributed Energy Storage Units for Minimizing Energy Losses

ALEJANDRO GARCÉS RUIZ

Ingeniero electricista, magíster en Ingeniería, doctor en Ingeniería, profesor de la Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia.

alejandro.garces@utp.edu.co

CARLOS ADRIÁN CORREA FLÓREZ

Ingeniero electricista, magíster en Ingeniería Eléctrica, profesor de la Universidad de La Salle. Bogotá, Colombia.

Contacto: carcorrea@unisalle.edu.co

ALEJANDRO SÁNCHEZ SALCEDO

Ingeniero electricista, magíster en Ingeniería - Ingeniería Eléctrica, profesor de la Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.

Contacto: alsanchez@unisalle.edu.co

Fecha de recepción: 18 de julio de 2013

Clasificación del artículo: investigación

Fecha de aceptación: 16 de mayo de 2014

Financiamiento: recursos propios

Palabras clave: almacenamiento de energía, multiplicadores de Lagrange, optimización, pérdidas, sistemas de distribución

Keywords: energy storage, Lagrange multipliers, losses, optimization, power distribution systems

RESUMEN

Este artículo presenta un algoritmo para la operación óptima de unidades de almacenamiento de energía (UDAE), desde la perspectiva de las pérdidas de potencia activa. Se propone un modelo exacto basado en relajación lagrangeana. Los

resultados de simulación sobre el alimentador de distribución IEEE de 37 nodos demuestran que un sistema de almacenamiento de energía puede ser utilizado para minimizar las pérdidas en un sistema de distribución, a través de la modificación de la curva de carga. La principal contribución de este enfoque consiste en el tratamiento de la

función objetivo y el algoritmo de optimización. Los multiplicadores de Lagrange son usados para determinar la ubicación y el dimensionamiento óptimo de las unidades de almacenamiento. Se presenta además una discusión sobre el impacto de las UDAE en el planeamiento de la red de distribución.

ABSTRACT

This paper presents an algorithm for the optimal operation of distributed energy storage units

* * *

INTRODUCCIÓN

Las unidades de almacenamiento de energía (UDAE) han demostrado ser una solución eficiente en aplicaciones a niveles de baja y media tensión en donde se presente una alta variabilidad de la generación o la demanda (Papic, 2006; Schoenung y Burns, 1996; Nguyen y Flueck, 2012). Estas contribuyen a suavizar la curva de carga en el sistema, incrementan la estabilidad y aumentan la eficiencia en sistemas con alta penetración de fuentes renovables, tales como la generación eólica (Brekken, Yokochi, VonJouanne, Yen, Hapke y Halamay, 2011; Yao, Choi, Tseng y Lie, 2012), la generación solar fotovoltaica (Ru, Kleissl y Martínez, 2012; Hill, Such, Chen, González y Grady, 2012) y la generación undimotriz (Muthukumar, Kakumanu, Sriram y Jayashankar, 2005), entre otras.

Se han propuesto diferentes técnicas para la operación óptima de UDAE. En la mayoría de los casos se han propuesto modelos discretos que son solucionados mediante diferentes técnicas de optimización, tales como programación dinámica (Maly y Kwan, 1995), enjambre de partículas (Lee, 2007) y algoritmos genéticos (Cau y Kaye, 2003). Igualmente, se han propuesto diferentes tipos de función objetivo entre las que se destacan

from perspective of active potential lost. An exact model based on Lagrange relaxation is proposed. Simulation results on the IEEE 37-bus test feeder demonstrate that energy storage system can be used for minimizing transmission losses in a distribution system by reshaping the load curve. The main contribution of this approach is the objective function and the optimization algorithm, Lagrange multipliers are used for determining optimal placement and sizing of the energy storage units. A discussion about the impact of energy storage units on the distribution planning is also presented.

la reducción de los costos de operación (Correa, Bolanos y Garces, 2012), suavizado de la curva de carga (Hess, Schegner y Hable, 2013) y aumento de la reserva rodante (Habib,i, 2001). En este artículo se presenta un modelamiento matemático con el fin de reducir las pérdidas de transmisión, utilizando la UDAE como un compensador de energía. Desde luego, debido a la necesidad de un convertidor AC para integrar el dispositivo almacenador de energía, el compensador de energía puede también ser utilizado como compensador de potencia usando la teoría ABC, también conocida como teoría vectorial, que es definida en el marco referencial trifásico.

METODOLOGÍA

Una unidad almacenadora de energía consiste en un dispositivo de almacenamiento (batería, volante de inercia, súper capacitor, etc.) que es integrada al sistema de distribución mediante un inversor trifásico y un transformador. Un modelamiento detallado del sistema requiere una definición previa del tipo de tecnología de almacenamiento. En este caso se presenta un modelo simplificado de almacenamiento de energía, con el fin de mostrar un caso general que no dependa de la tecnología.

Tipos de sistemas con almacenamiento de energía

Debido a su capacidad de almacenamiento a largo plazo, los sistemas de almacenamiento de energía electroquímica son potencialmente los más adecuados para compensación de energía en sistemas de distribución. Las principales tecnologías de baterías son las de plomo-ácido, níquel-cadmio y litio-ion, entre otras. Las primeras son las más comunes en sistemas eléctricos debido a su bajo costo. Las baterías de níquel-cadmio, a pesar de ser una tecnología madura, han sido objeto de críticas debido a su alto impacto ambiental.

Como en todos los sistemas de almacenamiento estudiados anteriormente, se requiere un inversor con el fin de controlar la carga y descarga de la batería y para convertir de DC a AC (figura 1). Este puede ser utilizado también para compensar potencia reactiva y para reducir el contenido armónico de la corriente, a la vez que se requiere un transformador para aislamiento galvánico y para aumentar el nivel de tensión. En el mercado se encuentran sistemas almacenadores de energía basados en baterías de hasta 4 MW (ABB, 2011); las capacidades superiores son todavía materia de investigación.

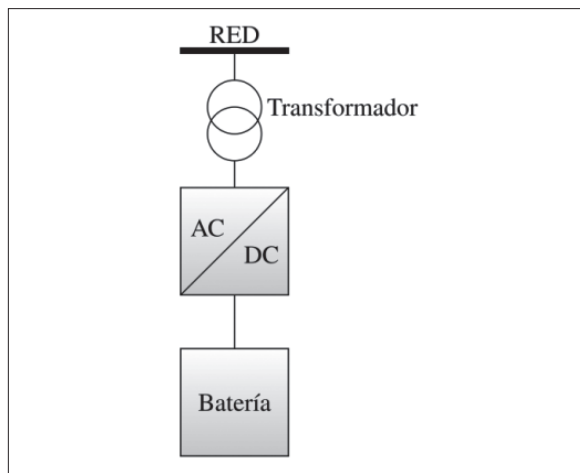


Figura 1. Detalle de una UDAE

Fuente: elaboración propia.

El modelo clásico de una batería consiste en un equivalente de Thevenin, en donde el voltaje de Thevenin V_{th} está dado por la ecuación (1).

$$V_{th} = E_o - \frac{K}{Q_H} + A * e^{-B(1-Q_H)} \quad (1)$$

En este modelo, E_o representa la tensión constante de la batería, K es el voltaje de polarización, A es la amplitud de la constante exponencial, B es proporcional a la constante de tiempo y Q_H es el estado de carga, que se calcula con la ecuación (2).

$$Q_H = 1 - \frac{1}{Q} \int_0^t i_{bat} dt \quad (2)$$

Finalmente, la tensión de la batería se calcula con la ecuación (3).

$$V_{bat} = V_{th} - R * i_{bat} \quad (3)$$

Estos parámetros corresponden a una única unidad. Sin embargo, para alcanzar el nivel de tensión adecuado, las baterías deben ser conectadas en arreglos serie/paralelo.

Modelo para pérdidas mínimas

Las pérdidas totales de potencia activa a lo largo de un alimentador $f(t)$ son dependientes del tiempo, ya que la curva de demanda y la capacidad de generación distribuida cambian a lo largo del día. Así mismo, las UDAE que vayan a despacharse a lo largo del sistema pueden cambiar estas pérdidas inyectando o drenando un valor instantáneo de potencia $P_b(t)$. En la ecuación (4) se presenta el modelo matemático para minimizar las pérdidas de energía en un día de operación.

$$Min \sum_0^{24} f(t) dt \quad (4)$$

Sujeto a las restricciones mostradas en las ecuaciones (5), (6), (7), (8) y (9).

$$f(t) = \sum_K R_k I_k^2(t) \quad (5)$$

$$\sum_0^{24} P_b(t) = 0 \quad (6)$$

$$E_b(t) = E_{min} + \sum_0^t P_b(t) \quad (7)$$

$$E_{min} \leq E_b(t) \leq E_{max} \quad (8)$$

$$|P_b(t)| \leq P_{b(max)} \quad (9)$$

En donde R_k es la resistencia en el k -ésimo tramo del alimentador primario, $I_k(t)$ es la corriente en el tramo de línea k en el tiempo t , y $E_b(t)$ es la energía almacenada en cada UDAE b . Las variables de decisión $P_b(t)$ corresponden a la potencia inyectada por cada UDAE b en el instante de tiempo t . Si este valor es negativo entonces la unidad está en proceso de carga mientras que en el caso contrario se encuentra en periodo de descarga. Ω_b representa el conjunto de unidades de compensación con almacenamiento de energía instaladas a lo largo del alimentador primario, mientras que Ω_l es el conjunto de tramos de este.

De acuerdo con el modelo de la ecuación (4), la energía intercambiada por cada UDAE en un periodo de operación debe ser cero, como en la ecuación (6). Esto significa que se está asumiendo un perfil de demanda aproximadamente igual cada día a lo largo del año. Esta aproximación deja de ser válida en países en donde existen estaciones, pero se acerca más a la realidad de países como Colombia. Sin embargo, es importante aclarar que la curva de carga en Colombia difiere los días sábados, domingos y festivos con respecto a la curva entre lunes y viernes. Además, también pueden existir variaciones durante periodos de sequía o de lluvia abundante. Una variación en la curva de demanda puede ser fácilmente compensada si se tiene una adecuada predicción de

esta. En un modelo más general, la energía total almacenada al finalizar un periodo de operación es dada como primera etapa de un modelo de optimización de largo plazo, tal y como ocurre en el problema de despacho hidrotérmico.

Por otro lado, el modelo interno del dispositivo almacenador de energía y el convertidor que lo integra a la red imponen algunas restricciones adicionales relacionadas con la capacidad de transmisión de potencia y el estado de carga. Estas restricciones son modeladas por las ecuaciones (8) y (9).

Al considerarse inicialmente un problema reducido, donde solo se analiza la ecuación (6), existe una restricción por cada unidad almacenadora y por tanto el lagrangeano requiere un multiplicador por cada unidad, como se muestra en la ecuación (10).

$$\mathcal{L} = \sum_0^{24} f(t) \Delta t + \sum_{b \in \Omega_b} \lambda_b \sum_0^{24} P_b(t) \quad (10)$$

Las condiciones de optimalidad se obtienen derivando \mathcal{L} como función de $P_b(t)$ y λ_b , como se muestra en las ecuaciones (11) y (12).

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial P_b(t)} = \sum_0^{24} \left(\frac{\partial f(t)}{\partial P_b(t)} + \lambda_b \right) = 0 \quad (11)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda_b} = \sum_0^{24} P_b(t) dt = 0 \quad (12)$$

La ecuación (11) implica que la operación óptima se obtiene cuando la derivada de f respecto a P_b es invariante en el tiempo como se expresa en la ecuación (13).

$$\lambda_b = - \frac{\partial f}{\partial P_b(t)} \forall t \quad (13)$$

Por tanto, un algoritmo que alcance iterativamente esta condición es suficiente para garantizar optimalidad si se mantiene la restricción representada por la ecuación (12).

Una dificultad de este algoritmo es el cálculo de la derivada de las pérdidas totales de transmisión, dada por la ecuación (13). Esta puede ser calculada por medio del jacobiano del sistema asumiendo que las pérdidas de potencia son proporcionales a la potencia suministrada por el nodo Slack, tal y como ocurre en las metodologías convencionales de flujo de carga óptimo. Sin embargo, el cálculo del jacobiano está implícitamente relacionado con el uso de metodologías basadas en Newton-Raphson, las cuales no son adecuadas en sistemas de distribución debido a la baja relación X/R en este tipo de sistemas. Por tanto, un algoritmo de flujo de carga de barrido iterativo es mucho más recomendable, ya que no requiere el cálculo directo del jacobiano (Chen, Chen, Hwang, Kotas y Ea, 1991). El valor de $\ddot{e}_b(t)$ en la ecuación (11) es por tanto calculado usando diferenciación numérica, como se expresa en la ecuación (14). Esta metodología requiere el cálculo de un flujo de carga adicional para una pequeña variación de potencia $P_b(t) + \Delta P_b(t)$. Este flujo de carga puede ser inicializado con las tensiones encontradas por el flujo para $P_b(t)$ y por tanto el esfuerzo computacional es reducido significativamente, pues la convergencia se obtiene en una o dos iteraciones adicionales.

$$\lambda_b(t) \approx \frac{P_L[P_b(t)] - P_L[P_b(t) + \Delta P_b(t)]}{\Delta P_b(t)} \quad (14)$$

El valor de $P_b(t)$ en el algoritmo de optimización es inicializado de tal forma que se garantice el cumplimiento de la restricción representada por la ecuación (6). Se espera que la operación óptima se obtenga mediante la carga de la unidad

almacenadora de energía durante los periodos de mínima demanda, con el fin de descargar los alimentadores durante las horas pico, cuya hora exacta dependerá de la época de la año. Modelos más completos pueden incluir los impactos de la potencia activa, ya que es posible que en muchos países (como en Colombia) los picos de potencia activa no coincidan con los de potencia reactiva, hecho que también puede incidir sobre las corrientes por los elementos, y por lo tanto sobre las pérdidas. De esta manera y para las condiciones del problema propuesto en este trabajo, la ecuación (15) da una posible condición inicial.

$$P_{b(t)} = \begin{cases} -P_{b(\max)} & t \leq 12 \\ P_{b(\max)} & t > 12 \end{cases} \quad (15)$$

El valor de \ddot{e}_k es determinado para cada instante de tiempo por medio del flujo de carga de barrido iterativo, y el nuevo valor de $P_b(t)$ es calculado mediante la ecuación (16), en donde ψ representa un parámetro heurístico para asegurar la convergencia del algoritmo.

$$P_b(t) \leftarrow P_b(t) + \psi \lambda_b(t) \quad (16)$$

Cabe anotar que la restricción representada por la ecuación (6) se cumple durante todo el proceso de optimización, debido a la condición que se muestra en la ecuación (17).

$$\sum \Delta \lambda_b(t) = 0 \quad (17)$$

El algoritmo completo se muestra en la figura 2. Aunque simplificado, este problema puede dar valiosa información para la operación y el planeamiento del sistema de distribución. Por ejemplo, la capacidad de potencia de cada UDAE puede ser determinada con este modelo reducido, como se mostrará en la tercera sección.

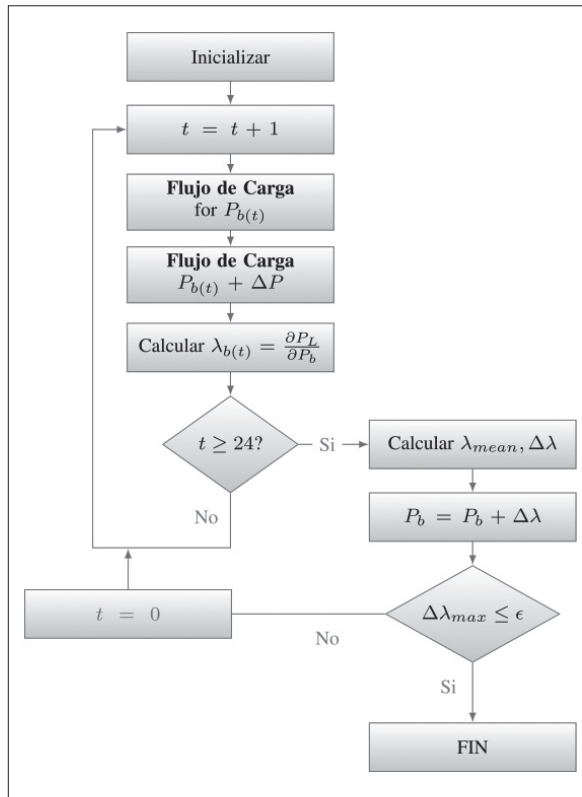


Figura 2. Algoritmo para el despacho óptimo de UDAE

Fuente: elaboración propia.

Las restricciones de desigualdad en el modelo original pueden ser fácilmente incluidas en el algoritmo de optimización adicionando un factor de penalización en la función objetivo. Este factor de penalización es proporcional a la diferencia entre la potencia suministrada y el límite violado, como se expresa en las ecuaciones (18) y (19).

$$f(t) = \sum_k R_k I_k^2(t) + \beta g[P_b(t)] \quad (18)$$

$$g(P_b) = \begin{cases} 0 & |P_b(t)| \leq P_{b(max)} \\ P_{b(max)} - P_b(t), & P_{b(max)} > P_b(t) \\ P_b(t) - P_{b(max)}, & P_b(t) < -P_{b(max)} \end{cases} \quad (19)$$

en donde \hat{a} es un parámetro heurístico y g es la función de penalización.

Efecto de la capacidad de almacenamiento de energía en el planeamiento de la distribución

Las pérdidas de potencia activa en un alimentador primario están directamente relacionadas con la cargabilidad, teniendo en cuenta que dependiendo de su operación con respecto al SIL, estas pueden inyectar o absorber reactivos. A medida que las pérdidas de energía disminuyen, las corrientes máximas son proporcionalmente reducidas. Por lo tanto, la cargabilidad del sistema de distribución puede ser reducida ubicando compensadores con alta capacidad de almacenamiento de energía a lo largo del alimentador. Las unidades de compensación con almacenamiento de energía tienen un impacto en el planeamiento de la distribución como consecuencia de este comportamiento, ya que se puede evitar la construcción de nuevas líneas de distribución por medio de la homogenización de la curva de carga vista desde la subestación. El planeamiento energético y el planeamiento eléctrico, aunque relacionados, suelen ser solucionados de forma independiente. El planeamiento de la expansión de la transmisión o la distribución esta usualmente relacionado con los valores picos de potencia en su modelo tradicional, aunque en ocasiones dichos modelos pueden incluir múltiples escenarios de generación/demanda o inclusión de incertidumbre, para así relajar el modelo matemático y evitar sobredimensionamiento. Debido a esta homogenización de la curva de carga, el planeamiento energético y el planeamiento eléctrico pueden ser solucionados como un único problema.

El enfoque convencional es adecuado en sistemas de distribución en donde las nuevas líneas de transmisión suelen ser diseñadas para satisfacer únicamente la demanda pico. Sin embargo, esta demanda se presenta en menos del 10% del tiempo de operación en el sistema. Usando un planeamiento energético, el resultado puede mejorar. El algoritmo de compensación presentado puede homogenizar la curva de carga de tal forma que la demanda pico sea disminuida. Desde luego, esto

implica un aumento en las pérdidas de potencia durante los periodos de baja demanda ya que la unidad almacenadora de energía debe cargarse durante estos periodos. Sin embargo, el aumento en las pérdidas durante las horas valle se ve compensado por su disminución en la hora pico, por lo que el resultado global representa una disminución de pérdidas en el sistema.

Una función objetivo basada en la disminución de las pérdidas de energía difiere del convencional análisis económico usado en los dispositivos almacenadores de energía, en el modelo mismo así como en el análisis de los resultados. En un modelo que considere únicamente precios de bolsa o contratos, el costo es minimizado desde el punto de vista del usuario, pero no desde el punto de vista del sistema de distribución como tal. Este tipo de modelo es adecuado para microrredes en donde una parte del sistema puede operar de forma aislada, aumentando con ello la confiabilidad del sistema. Sin embargo, un modelo basado en pérdidas puede mejorar en términos económicos los costos del usuario final, con la ventaja de que no se requiere información en tiempo real de variables del mercado como el precio de bolsa. En general, el precio de bolsa es proporcional a la demanda debido al esquema de despacho basado en orden de méritos. En sistemas hidrotérmicos como el colombiano, el precio de bolsa puede aumentar significativamente durante las horas pico debido a la inclusión de plantas de generación termoeléctricas. Sin embargo, puesto que el precio spot es unificado, el valor pico de la demanda total del sistema puede no coincidir exactamente con el pico de un alimentador en particular ya que la demanda no es coincidente en usuarios residenciales, industriales o comerciales. Consecuentemente, un modelo basado en el mercado puede no ser exactamente igual al modelo basado en pérdidas, pero sí están cercanos.

RESULTADOS

El algoritmo de optimización propuesto en este artículo es comprobado sobre el sistema IEEE de 37 nodos, modificado para simular un sistema balanceado agregando las cargas en cada nodo, e incluyendo dos UDAE en los nodos 29 y 12 como se muestra en la figura 3, con el fin de mostrar la metodología de manera detallada.

Los parámetros del alimentador para operación balanceada se presentan en la tabla 1 para una potencia base de $S_{BASE} = 1000$ kW y un voltaje base trifásico de $V_{BASE} = 4,8$ kV. El voltaje del regulador ubicado en el nodo Slack del sistema original es mantenido en 1 pu, con el fin de determinar el efecto de la unidad de almacenamiento de energía en el perfil de tensión. El sistema presenta dos tipos de cargas: industrial y residencial.

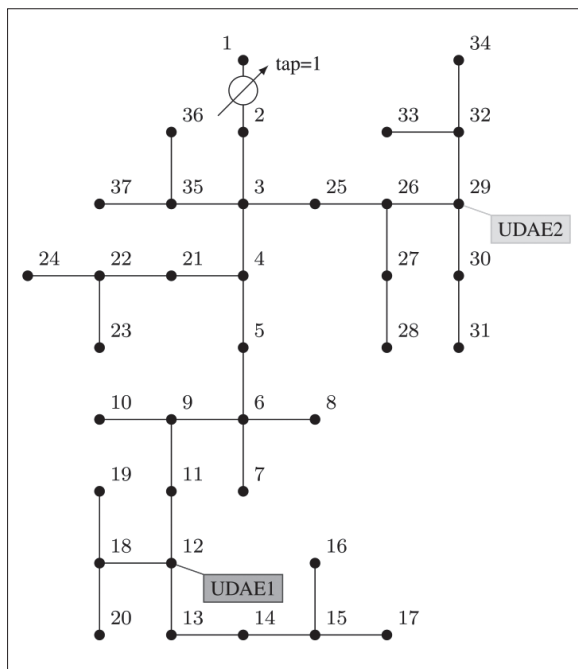


Figura 3. Alimentador IEEE de 37 nodos con dos UDAE

Fuente: elaboración propia.

Las curvas de carga asociadas a cada tipo de usuario se muestran en la figura 4, donde los no-

dos 25 a 34 corresponden a cargas industriales y los demás son cargas residenciales.

Tabla 1. Parámetros del alimentador IEEE 37

Na	Nb	R	X	B/2	P	Q
1	2	0,0080	0,0320	0	0,630	0,315
2	3	0,0060	0,0016	0,0005	0	0
3	4	0,0083	0,0022	0,0007	0	0
4	5	0,0111	0,0051	0,0002	0,085	0,040
5	6	0,0037	0,0017	0,0001	0	0
6	7	0,0018	0,0362	0	0	0
6	8	0,0111	0,0051	0,0002	0,085	0,040
6	9	0,0059	0,0027	0,0001	0	0
9	10	0,0082	0,0033	0,0001	0,042	0,021
9	11	0,0059	0,0027	0,0001	0,085	0,040
11	12	0,0104	0,0048	0,0002	0,042	0,021
12	13	0,0118	0,0055	0,0002	0,140	0,070
13	14	0,0074	0,0034	0,0001	0,126	0,062
14	15	0,0074	0,0034	0,0001	0	0
15	16	0,0051	0,0021	0,0001	0,085	0,04
15	17	0,0074	0,0034	0,0001	0,042	0,021
12	18	0,0133	0,0054	0,0001	0	0
18	19	0,0328	0,0134	0,0003	0,042	0,021
18	20	0,0051	0,0021	0,0001	0,085	0,040
4	21	0,0062	0,0025	0,0001	0,042	0,021
21	22	0,0052	0,0024	0,0001	0,042	0,021
22	23	0,0051	0,0021	0,0001	0,126	0,063
22	24	0,0072	0,0029	0,0001	0,042	0,021
3	25	0,0067	0,0031	0,0001	0,085	0,040
25	26	0,0096	0,0045	0,0002	0	0
26	27	0,0021	0,0008	0	0,038	0,018
27	28	0,0133	0,0054	0,0001	0,085	0,040
26	29	0,0148	0,0068	0,0003	0,085	0,040
29	30	0,0111	0,0051	0,0002	0	0
30	31	0,0072	0,0029	0,0001	0,042	0,021
29	32	0,0236	0,0096	0,0002	0	0
32	33	0,0031	0,0013	0	0,161	0,08
32	34	0,0195	0,0079	0,0002	0,042	0,021
3	35	0,0103	0,0042	0,0001	0	0
35	36	0,0062	0,0025	0,0001	0,085	0,040
35	37	0,0082	0,0033	0,0001	0,093	0,044

Fuente: elaboración propia.

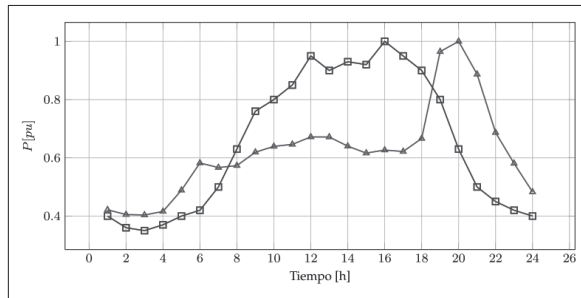


Figura 4. Curvas de carga para la simulación

Fuente: elaboración propia.

La curva de carga para usuarios residenciales tiene una forma característica en la cual la hora pico es muy superior a las horas valle y se encuentra concentrada en un valor cercano a las 8 pm. Los usuarios industriales en cambio tienen una curva mucho más ancha, en donde el pico se presenta aproximadamente constante durante las horas de la jornada laboral. Es de esperarse un mayor efecto sobre las pérdidas en los usuarios residenciales debido a lo concentrado del valor pico.

Las pérdidas de potencia activa para la operación del sistema con y sin unidades de compensación con almacenamiento de energía se presentan en la figura 5. Se evidencia una significativa reducción de las pérdidas de potencia activa durante las horas pico, mientras que se presenta un aumento de estas durante las horas valle debido al proceso de carga de las UDAE. El efecto total durante el periodo completo de operación es una disminución del 5,3%. La reducción en términos de pérdidas de potencia en la hora pico es aún más significativa, pasando de 0,1458 a 0,085 pu, lo cual significa una reducción del 41,42%. Como se expuso anteriormente, esta disminución tiene influencia directa en el planeamiento de la expansión de la distribución, pudiendo incluso no ser necesaria la construcción de nuevas líneas, aun si el sistema se encontrara operando a un valor cercano al límite térmico.

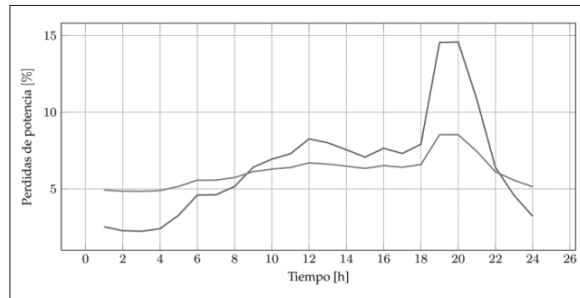


Figura 5. Pérdidas para la operación en un día, sin UDAE (azul), con UDAE (verde)

Fuente: elaboración propia.

La potencia intercambiada entre cada unidad almacenadora de energía y el alimentador primario se representa en la figura 6. Debido a que la primera unidad (UDAE1) está ubicada en una zona residencial, su perfil de potencia es similar a la curva de carga de los usuarios residenciales. La potencia máxima requerida para esta operación es menos de 400 kW, lo cual es un valor posible con la tecnología disponible comercialmente (ABB, 2011).

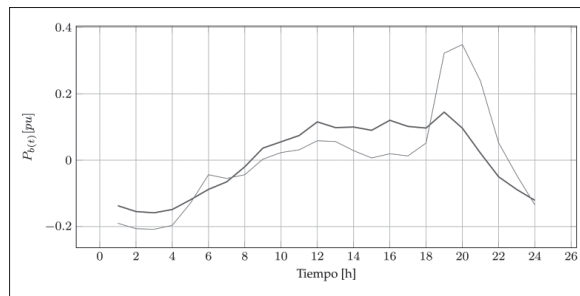


Figura 6. Perfil de carga/descarga de la batería. UDAE1 (azul), UDAE2 (verde)

Fuente: elaboración propia.

Las restricciones de desigualdad son igualmente consideradas en el algoritmo, en tanto que la capacidad máxima de potencia requerida por cada unidad es limitada a 0,2 pu. El perfil de carga y descarga para este caso es representado en la figura 7.

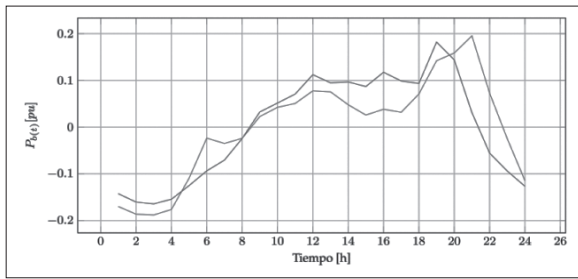


Figura 7. Perfil de carga/descarga para cada UDAE considerando restricciones de desigualdad. UDAE1 (azul), UDAE2 (verde)

Fuente: elaboración propia.

En razón de las características de los sistemas de distribución, el perfil de tensión en un alimentador primario está directamente relacionado con la potencia activa. Este comportamiento, claramente opuesto al de los sistemas de potencia, se debe a la alta relación entre el valor de r y x en cada línea de distribución. Por tanto, la operación óptima de UDAE tiene una influencia sobre el perfil de tensión, como se demuestra en la figura 8, en donde se aprecia la tensión en cada nodo del alimentador para la hora pico ($t=20$ h).

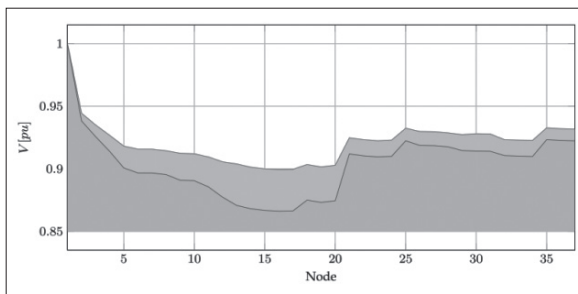


Figura 8. Perfil de tensiones para la hora 20 sin UDAE (azul), con UDAE (verde).

Fuente: elaboración propia.

La disminución máxima en términos de pérdidas de potencia activa es determinada haciendo uso del modelo reducido presentado en la segunda sección. Así mismo, los multiplicadores de Lagrange asociados a la restricción de balance de energía pueden ser utilizados para definir la

capacidad de potencia requerida por cada unidad. La figura 9 muestra la reducción de las pérdidas de energía en porcentaje sobre la capacidad de potencia requerida para la ubicación de una única UDAE en cada uno de los nodos del sistema de distribución. La reducción en términos de pérdidas de energía es diferente de acuerdo a la ubicación de la unidad. Por ejemplo, una unidad ubicada en el nodo 3 produce una reducción de energía de 3,8% y requiere una capacidad de 0,51 pu, mientras que se puede obtener aproximadamente la misma reducción al ubicar una unidad almacenadora de energía en el nodo 14 con una capacidad de solo 0,31 pu. Los nodos cercanos al Slack, tales como los nodos 2 o 3, así como los nodos demasiado lejanos, son los menos aconsejables para minimizar las pérdidas totales con una baja capacidad requerida.

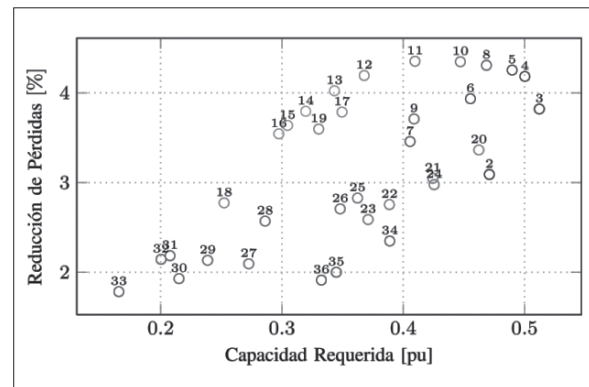


Figura 9. Reducción de pérdidas para la ubicación de UDAE en diferentes nodos

Fuente: elaboración propia.

Cabe anotar que el problema de ubicación óptima y dimensionamiento de unidades de compensación con almacenamiento de energía puede ser planteado como un problema multiobjetivo con dos criterios en conflicto: pérdidas de energía mínima y mínima capacidad. Para el problema descrito anteriormente con una única unidad, el frente de Pareto está dado por la ubicación de unidades en los nodos $N=\{33,32,31,18,16,15,14,13,12,11\}$.

CONCLUSIONES

Se ha propuesto un novedoso algoritmo para la programación óptima de dispositivos de almacenamiento de energía, desde el punto de vista de las pérdidas. El algoritmo considera las principales restricciones de este tipo de unidades y permite operación en tiempo real si la curva de carga es adecuadamente anticipada. Los resultados de simulación sobre el sistema de prueba IEEE de 37 nodos demuestran las ventajas de la metodología propuesta.

Los multiplicadores de Lagrange son usados como factor de sensibilidad para determinar el tamaño y la ubicación óptima de las unidades distribuidas de almacenamiento.

El problema puede ser analizado desde la perspectiva multiobjetivo en donde dos objetivos se ven involucrados: pérdidas mínimas de transmisión y capacidad mínima instalada. El impacto de las unidades de almacenamiento en el planeamiento de la red también fue analizado.

El impacto sobre la red de distribución fue claramente mostrado, y es evidente que permite una operación más eficiente a través de la modificación de la curva de carga. De existir implementación masiva de dispositivos de almacenamiento, también se podrían impactar los precios de la electricidad, así como los costos de inversión de nuevos equipos para reforzar la infraestructura de los sistemas de distribución.

Al evidenciar los impactos positivos, se deberían promover ajustes en la regulación y políticas para estimular e implementar las unidades de almacenamiento, hecho que representa una de las mayores dificultades para hacer estos proyectos una realidad.

A través de la modificación de la curva de carga que se logra con las tecnologías de almacenamiento, se optimizan las fuentes convencionales de generación, logrando la mitigación de emisiones de CO₂, que hoy constituye también un problema de gran importancia.

REFERENCIAS

- ABB, *Energy Storage Modules, Supporting Energy Demand and Optimizing Cost*, 2011. Recuperado de ABB: [http://www05.abb.com/global/scot/scot235.nsf/veritydisplay/2e1646ef5cef5713c1257a1400471d8b/\\$file/energy%20storage%20module%20flyer%20hi-res.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot235.nsf/veritydisplay/2e1646ef5cef5713c1257a1400471d8b/$file/energy%20storage%20module%20flyer%20hi-res.pdf)
- Brekken, T., Yokochi, A., VonJouanne, A., Yen, Z., Hapke H. y Halamay D., “Optimal Energy Storage Sizing and Control for Wind Power Applications”, *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, Vol. 2, No. 1, 2011, pp. 69-77.
- Cau, T. y Kaye, J., “Using Constructive Evolutionary Programming to Optimise Multi-Storage Electrical Power Supply Systems Operation”, *The 2003 Congress on Evolutionary Computation, CEC '03*, Canberra, Australia, 2003, pp. 1310-14.
- Chen, T. H., Chen, M. S., Hwang, K. J., Kotas, P. y Ea, C., “Distribution System Power Flow Analysis a Rigid Approach”, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 6, No. 3, 1991, pp. 1146-52.
- Correa, C. A., Bolanos, R. A. y Garces, A., *Optimal Operation of Microgrids in the Colombian Energy Market*, 2012. Recuperado de IEEE Explore: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?reload=true&tp=&number=6319106>

- Habibi M., “Model for Impact of Storage on Spinning Reserve Requirements and Distributed Generation”, *Proceedings of the 33rd Southeastern Symposium on System Theory*, Athens, Ohio, 2001, pp. 161-165.
- Hess, T., Schegner, P. y Hable, M., *Improved Load Management Algorithm for Future Network Requirements*, 2013. Recuperado de IEEE Explore: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6683218&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D6683218
- Hill, C., Such, M., Chen, D., González, J. y Grady, W., “Battery Energy Storage for Enabling Integration of Distributed Solar Power Generation”, *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol. 3, No. 2, 2012, pp. 850-57.
- Lee, T. Y., “Operating Schedule of Battery Energy Storage System in a Time-of-Use Rate Industrial User with Wind Turbine Generators: A Multipass Iteration Particle Swarm Optimization Approach”, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 22, No. 3, 2007, pp. 774-82.
- Maly, D. y Kwan, K., “Optimal Battery Energy Storage System (Bess) Charge Scheduling with Dynamic Programming”, *Science, Measurement and Technology, IEE Proceedings*, 1995, pp. 453-58.
- Muthukumar, S., Kakumanu, S., Sriram, S. y Jayashankar, V., “Energy Storage Considerations for a Stand-Alone Wave Energy Plant”, *2005 IEEE International Conference on Electric Machines and Drives*, San Antonio, Texas, 2005, pp. 193-98.
- Nguyen, C. y Flueck, A., “Agent Based Restoration with Distributed Energy Storage Support in Smart Grids”, *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol. 3, No. 2, 2012, pp. 1029-38.
- Papic, I., “Simulation Model for Discharging a Lead-Acid Battery Energy Storage System for Load Leveling”, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 21, No. 2, 2006, pp. 608-15.
- Ru, Y., Kleissl, J. y Martínez, S., “Storage Size Determination for Grid-Connected Photovoltaic Systems”, *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 2012, Vol. 4, No. 1, pp. 1-14.
- Schoenung, S. y Burns, C., “Utility Energy Storage Applications Studies”, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 11, No. 3, 1996, pp. 658-65.
- Yao, D., Choi, S., Tseng, K. y Lie, T., “Determination of Short-Term Power Dispatch Schedule for a Wind Farm Incorporated with Dual-Battery Energy Storage Scheme”, *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, Vol. 3, No. 1, 2012, pp. 74-84.

Sistema de adquisición de datos para determinar el grupo de conexión en el transformador trifásico DL1080

Data Acquisition System for Determining Group of Connection in the Phase Transformer DL1080

CÉSAR AUGUSTO HERNÁNDEZ SUÁREZ

Ingeniero electrónico, especialista en Interconexión de Redes y Servicios Telemáticos, magíster en Ciencias de la Información y las Comunicaciones, candidato a doctor en Ingeniería de Sistemas y Computación, docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.

cahernandezs@udistrital.edu.co

VÍCTOR ALFONSO GÓMEZ SAAVEDRA

Ingeniero eléctrico, tecnólogo en electricidad, estudiante de Especialización en Gestión de Proyectos en Ingeniería, auxiliar de laboratorios de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.

vagomez@correo.udistrital.edu.co

ROBÍN ALEJANDRO PEÑA LOTE

Ingeniero eléctrico, tecnólogo en electricidad, ingeniero eléctrico de Schneider Electric, Bogotá, Colombia.

Contacto: alejandro2905@gmail.com

Fecha de recepción: 5 de agosto de 2013

Clasificación del artículo: investigación

Fecha de aceptación: 3 de marzo de 2014

Financiamiento: Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Palabras clave: configuración de devanados, diagrama vectorial, grupo de conexión, microcontrolador, transformador trifásico

Keywords: microcontroller, three phase transformer, vector diagram, vector group, winding configurations

RESUMEN

Este artículo presenta el diseño y la implementación de un sistema de adquisición de datos para

determinar los diferentes grupos de conexión del transformador trifásico DL1080. Este diseño se basa en herramientas computacionales en *hardware* y *software*, como Microchip y Labview,

respectivamente. En consecuencia, el prototipo medidor posee un algoritmo de alto nivel capaz de realizar el análisis vectorial de tensiones en el transformador que establecen la normatividad nacional e internacional. Además, permite un ambiente interactivo con el usuario por medio de herramientas gráficas, como una pantalla de cristal líquido con sus respectivos comandos y el *software* desarrollado en Labview llamado *Índices Horarios*. Estas ayudas visuales ilustran diagramas vectoriales, señales de tensión en tiempo real y conexión de devanados, entre otros. La anterior aplicación académica permite integrar una herramienta en el aprendizaje y fortalecimiento de áreas como conversión electromagnética, máquinas eléctricas y sistemas de potencia, entre otras. Por lo tanto, los docentes y los estudiantes podrán reforzar sus conocimientos del área, a través de un elemento didáctico para fomentar un entorno participativo y constructivista.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, existen analizadores de variables eléctricas para transformadores trifásicos de potencia conocidos como TTR (Fully automated three phase, Transformer Turn Ratio Meter) (Instrument, 2013). Sin embargo, la tecnología actual no cuenta con protocolos de comunicación por radiofrecuencia que garantice distancias de seguridad al momento de realizar pruebas a equipos de potencia como transformadores trifásicos. Por tal razón, en el presente proyecto se desarrolló un prototipo con las mismas cualidades de registro de un TTR en la identificación de los grupos de conexión, además de implementar transmisión de datos por protocolos ZigBee en un ambiente interactivo y educativo con el estudiante y el docente, algo que resulta innovador en la nueva utilidad de equipos de educación y trabajo en laboratorio.

ABSTRACT

This paper presents the design and implementation of a data acquisition system to identify the different vector groups of the triphase transformer DL1080. This design is based on computational tools in hardware and software such as Microchips and Labview respectively. Consequently, the prototype has a high-level algorithm. It is able to perform vector analysis of voltage in the transformer which established national and international regulations. This project also allows an interactive environment with the user through graphical tools such as a liquid crystal display with their respective buttons and software developed in Labview called “*indices Horarios*”. This is useful to illustrate: vector diagrams, winding configurations, real time voltage, among others. This academic application is a tool in learning and strengthening areas such as: electromagnetic conversion, electrical machines and power systems. Therefore, teachers and students can reinforce their knowledge.

* * *

Para el estudio del grupo de conexión se empleó el transformador trifásico DL1080 de devanados separados, perteneciente al laboratorio de máquinas eléctricas de la Facultad Tecnológica. A continuación se diseñaron los sensores de registro de tensión, con la particularidad de acondicionar las tensiones a niveles admisibles de entrada en el microcontrolador PIC18F4550. Este último es el encargado de realizar un alto procesamiento de datos, concierne a establecer valores de medida, control sobre los módulos de conmutación, protocolos de comunicación con elementos externos como una pantalla de cristal líquido (LCD gráfica 128X64) y el *software* *Índices Horarios* desarrollado en Labview.

De acuerdo con los parámetros de estudio, el prototipo realiza un análisis vectorial de las tensiones entre los devanados primario y secundario y tam-

bién evalúa el desfase en las formas de onda, para así determinar el respectivo grupo de conexión. Posteriormente, de manera gráfica en la LCD, así como en el *software*, se visualizan las conexiones de los devanados y asimismo un reloj que ilustra el índice dependiendo el tipo de configuración. En la figura 1 se presenta un diagrama en bloques del diseño del prototipo, en donde se puede apreciar cada uno de los módulos que lo conforman.

Con el diseño y la construcción del prototipo se logró optimizar el tiempo entre prácticas de laboratorio, de manera tal que fue posible realizar 36 diferentes tipos de conexiones del transformador, así como contribuir con el uso de herramientas computacionales de vanguardia para el fortalecimiento de conceptos teórico-prácticos en las asignaturas de tecnología e ingeniería eléctrica.

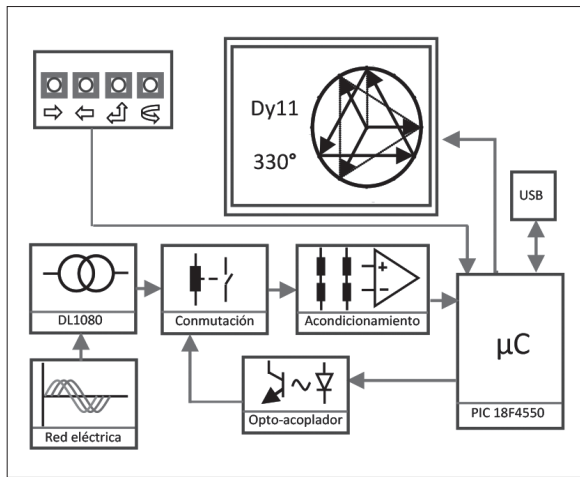


Figura 1. Diagrama bloques prototipo

Fuente: elaboración propia.

GRUPOS DE CONEXIÓN

En los transformadores trifásicos, según como se realice la conexión de los devanados, se obtienen diferentes relaciones de transformación y diferentes desfases entre las tensiones de entrada y

salida. En los circuitos trifásicos estas conexiones son típicamente conocidas como: Dy , Yd , Dd , Yy , Yz y Dz , tal como lo menciona Vaz Gades (2004). Dichas conexiones satisfacen una aplicación o uso específico.

En los transformadores monofásicos las tensiones del devanado secundario pueden estar en fase o en contrafase, pero en los transformadores trifásicos las tensiones de los devanados secundarios, con respecto a las tensiones de devanados primarios (de fase o de línea), pueden desfasearse en cualquier ángulo múltiplo de 30° dependiendo de la forma de conexión de los devanados (Staff, 2003).

El *índice horario* es el ángulo entre la tensión del devanado primario y la tensión de igual nombre del secundario, como se aprecia en la figura 2 entre V_{AB} y V_{ab} . Cabe resaltar que este desfase sucede entre las tensiones de fase o de línea. Debido a la simetría de los sistemas trifásicos, se puede deducir que cualquier desfase será siempre múltiplo de 30° para cualquier conexión que se establezca. Por lo tanto, hay 12 posibles desfases que se pueden asimilar con un reloj, en donde situamos el vector de tensión con mayor magnitud siempre en dirección de las 12 y el vector de menor magnitud en dirección del índice correspondiente. Por ejemplo, un desfase de 330° corresponde con el índice 11, como se muestra en la figura 2.

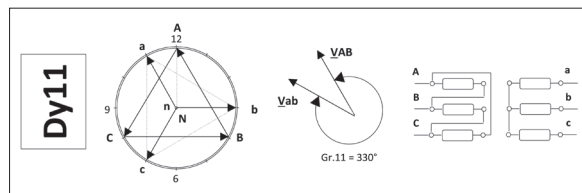


Figura 2. Diagrama de reloj y conexionado del Grupo Dy11

Fuente: elaboración propia.

El *grupo de conexión* de un transformador indica el tipo de conexión de los devanados (*Delta*, *Ye* o *Zeta*) y su índice horario. Suele constar de dos letras y un número. La primera letra, siempre en mayúscula, indica la conexión del devanado de alta, en tanto que la segunda, siempre en minúscula, indica la conexión del devanado de baja, y el número es el índice horario (entre 0 y 11).

Es importante hacer notar que los grupos *Dy*, *Yd* e *Yz* siempre van a tener un índice horario impar, mientras que los grupos *Yy*, *Dd* y *Dz* siempre van a tener un índice horario par. Además, debido a que existen diferentes formas de conectar los devanados para conformar cada grupo de conexión —hay dos formas de conectar una *Y*, cuatro formas de conectar una *Delta* y cuatro formas de conectar una *Z*—, se puede demostrar que en las transformaciones con índice horario *impar*, variando la forma de conexión del grupo, se obtiene cualquier otro índice impar. Aunque esto también se puede lograr variando exclusivamente sus conexiones de entrada y salida a la red. Pero cuando las transformaciones tienen un índice horario *par*, variando exclusivamente sus conexiones de entrada y salida a la red tan solo se obtienen tres índices horarios posibles; en un caso “0,4 y 8” y en el otro “2, 6 y 10”, respectivamente (Lawhead, Hamilton y Horak, 2006). De esta forma, existen unas conexiones denominadas principales y otras denominadas conexiones derivadas, como se ve en la tabla 1. Con lo cual se puede concluir que existen 36 diferentes grupos de conexión.

Tabla 1. Índices horarios en transformaciones trifásicas

Conexiones principales	Conexiones derivadas				
Grupo 0	4	8	-	-	-
Grupo 1	3	5	7	9	11
Grupo 2	6	10	-	-	-

Fuente: elaboración propia.

El índice horario es de suma importancia al conectar transformadores trifásicos en paralelo, ya que dos tensiones que tengan el mismo valor eficaz y diferente ángulo suponen un cortocircuito. Así, por lo tanto, es condición indispensable que dos transformadores conectados en paralelo tengan el mismo grupo de conexión o grupos compatibles entre sí.

NORMATIVIDAD

La norma NTC - ISO/IEC 17025:2005 establece los requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y calibración. En ella se establecen los criterios para los transformadores eléctricos trifásicos cuando se quiere realizar el ensayo de la identificación del grupo de conexión. Por esta razón, se deben tener en cuenta las siguientes normas técnicas:

- IEC 60076-1 (2000), Transformadores de potencia, parte 1: generalidades
- ANSI-IEEE Std. C 57.12.90-2006, Pruebas estándar para transformadores de regulación, potencia y distribución.
- NTC471-1974, Transformadores. Relación de transformación. Verificación de la polaridad y relación de fase.

Estas normas, básicamente, definen los tipos de conexión (*Delta*, *Ye* o *Zeta*), los símbolos, la nomenclatura para cada grupo de conexión y el modelamiento vectorial en el método del reloj. Para el desarrollo de este proyecto se tuvieron en cuenta dichas normas, además del manual de la máquina DeLorenzo DL1080.

Ejecución de la prueba

El diagrama fasorial de cualquier transformador trifásico que define el desplazamiento angular

puede ser verificado de la siguiente forma (C57-12-90, 1999):

- Se conecta el terminal de un devanado con el correspondiente del otro y se excita el transformador. La elección del lado de la alimentación y de la tensión de prueba es totalmente indiferente para el resultado final.
- Se mide la tensión entre varios pares de terminales.
- Se grafican estos valores o se compara la magnitud con la ayuda de una tabla.

La realización del primer paso permite aprovechar al máximo la diferente composición vectorial entre los voltajes de los devanados de alta tensión (AT) y el devanado de baja tensión (BT), según el ángulo de fase entre las dos ternas. En el segundo paso, como se muestra a continuación, solo es necesario tomar cuatro lecturas de tensiones. El último paso requiere la ayuda de una tabla, en donde se comparan las magnitudes de las tensiones medidas y se determina el índice horario del grupo.

El diagrama vectorial de la figura 2 describe una conexión Dy1. Teniendo en cuenta el puente que se hace (terminales “A” de alta y “a” de baja) en el paso uno del ensayo, se tendrá un diagrama como el de la figura 3 en donde se muestran las cuatro tensiones que se van a medir: V_{Cb} , V_{Cc} , V_{Bc} y V_{Bb} .

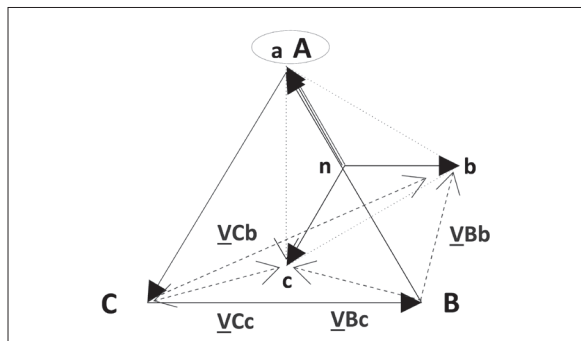


Figura 3. Diagrama vectorial conectando “A con a”

Fuente: elaboración propia.

TRANSFORMADOR TRIFÁSICO DL1080

La máquina DL1080 es un transformador trifásico de devanados separados con una tensión de primario de $380 V_{LL}$ y una tensión de secundario de $170 V_{LL}$; su potencia nominal es de 1 kVA. Este elemento del laboratorio de máquinas eléctricas es empleado para prácticas de laboratorio como resistencia de los devanados, relación de transformación, prueba de corto circuito, voltaje en vacío, grupo de conexión. Este último de mayor importancia para el desarrollo del presente proyecto. En la figura 4 se ilustra una imagen de la parte frontal del transformador.

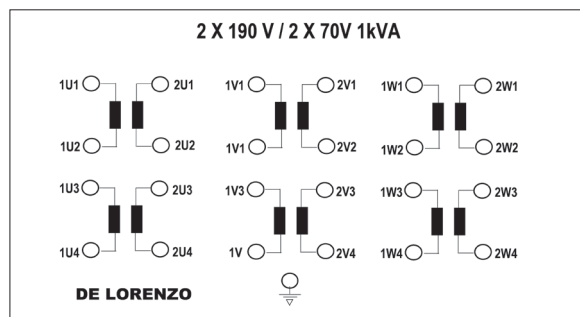


Figura 4. Transformador DL 1080

Fuente: elaboración propia.

METODOLOGÍA

Diseño e implementación

El diseño del presente trabajo se hizo con herramientas computacionales tales como Labview, CCS Compiler y Altium Designer. Igualmente, todas las fases del diseño fueron evaluadas en los laboratorios de máquinas eléctricas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. A continuación se describen las fases de diseño e implementación del prototipo.

Acondicionamiento de tensión

Las tensiones que se registran tienen magnitudes superiores a los valores máximos de compatibili-

dad con el elemento que hace la transformación a la señal digital. Por tal razón, los sensores de voltaje fueron diseñados teniendo en cuenta criterios como: voltaje máximo de entrada en el microcontrolador (5 VDC) y constante de voltaje (2,5 VDC) para subir la señal atenuada a valores positivos, tales que el semiciclo negativo de la señal de tensión no afecte el correcto funcionamiento del microcontrolador. En consecuencia, se emplearon dos divisores de voltaje (resistivo puro) para medir la diferencia de tensiones línea-línea y línea-neutro para cada respectiva conexión. En la figura 5 se ilustra un diagrama esquemático del circuito de acondicionamiento.

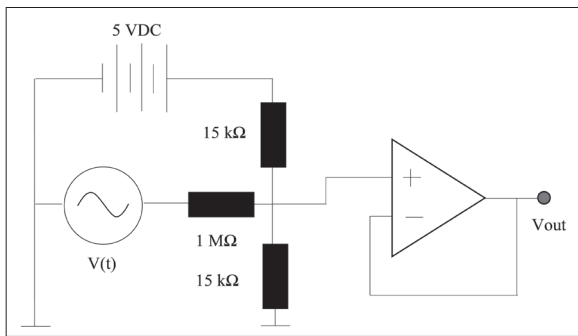


Figura 5. Circuito de acondicionamiento

Fuente: elaboración propia.

La elección de las resistencias R1, R2 y R3 para los dos divisores de medida diferencial obedece a criterios de tensión estacionaria y tensión pico de impulsos transitorio, como lo expone Electrotechnical (2003). Lo anterior a fin de garantizar el nivel de protección del registro de tensión que para el prototipo es CAT III 1000V – CAT IV 600 V. La relación de transformación del sensor se describe en la ecuación (1).

$$RT = \frac{R1}{R2 \parallel R3} \quad (1)$$

En donde:

R1 = 1MΩ ¼ W (precisión 2%)

R2 = R3 = 15kΩ ¼ W (precisión 2%)

Una sobretensión subamortiguada de segundo orden, debido a capacidades e inductancias parásitas, puede afectar la compatibilidad electromagnética del microcontrolador (Getz, 1996), más aún en el momento en que este realiza el control sobre el módulo de conmutación para la medida diferencial de tensión en los devanados. Por ende, fue necesario adaptar un amplificador operacional en configuración como seguidor, con una tensión de alimentación de 6,3 VDC que regula los valores máximos de entrada, además de generar alta impedancia de entrada en la parte baja de los divisores resistivo para el registro de tensión.

Conmutación de sensor

El sistema de conmutación diseñado le permite al prototipo cortocircuitar los terminales comunes de AT y BT que especifican las normativas, además de permitir la lectura de tensiones en forma ordenada para determinar la forma de conexión de los devanados (*Delta, Ye o Zeta*). Así mismo, determinar el índice horario, por medio de la medición de las cinco tensiones y realizar una medida simultánea de tensiones en alta y baja para verificar el desfase que indica el índice.

Es importante tener presente que para medir tensiones de línea, la forma de entrada del voltaje alterno a los ADC es indiferente. Pero cuando se quieren medir tensiones de fase con respecto a un neutro imaginario (como es el caso de la conexión *Delta*) existen tensiones flotantes que pueden ser medidas por el prototipo y alterar la determinación del grupo de conexión. Para solucionar esto, las tensiones de fase que mide el prototipo entran con la línea a tierra (o negativo de la fuente) y el neutro al ADC correspondiente. En la tabla 2 se puede ver la función que cumple cada relé dentro del módulo de conmutación. Cabe hacer notar que la conmutación ordenada de los relés la hace directamente el cerebro del prototipo.

Tabla 2. Función de los relés dentro del módulo de conmutación

Relé	Función	ADC Utilizado	Propósito
R1	Puente	-	Primer paso del ensayo
R3 – R5	Medir VCc	1	Determinación del índice horario
R3 – R4	Medir VCb	1	
R2 – R5	Medir VBc	0	
R3 – R4	Medir VBb	0	
R6 – R7 – R2 – R1	Medir VAB contra Vab	1 y 0	Verificación de desfase
R6 – R2	Medir VAB	0	Medición de la conexión de alta: <i>D</i> o <i>Y</i>
R6 – R8	Medir VAN	1	
R6 – R1 – R7	Medir Vab	1	Medición de la conexión de baja: <i>d</i> , <i>y</i> o <i>z</i>

Fuente: elaboración propia.

Procesamiento

El módulo se compone básicamente de un microcontrolador PIC18F4550 que cuenta con módulos *analog-to-digital converter* (ADC) que permiten registrar los voltajes alternos (AC) de entrada en el prototipo. Cuenta con una memoria de programa de 32 Kbyte, la cual es ocupada en un 90% por el algoritmo diseñado y soporta la comunicación USB para enviar datos al computador.

Funciones implementadas

En la figura 6 se observa el esquema del módulo de procesamiento y análisis en donde se encuentran los ADC, las salidas a los 10 relés, la conexión de la pantalla, los cuatro botones (izquierda, derecha, entrar y salir) y los pines del USB. En este módulo se encuentra implementado un algoritmo en lenguaje C que permite mostrar un menú principal en donde el usuario puede seleccionar cada función del prototipo:

Realizar prueba: activa los relés del módulo de conmutación, hace un análisis y calcula el voltaje rms de las tensiones entrantes, determina el tipo de conexión de los devanados y calcula el índice horario, para finalmente hallar el grupo de conexión del transformador bajo ensayo.

Resultados: muestra en una tabla las tensiones medidas por el prototipo y el grupo de conexión determinado.

Diagrama vectorial: muestra por pantalla, el grupo de conexión medido, el desfase entre las señales (formas de onda alta y baja tensión) y un diagrama vectorial del grupo de conexión, dentro de un reloj.

Osciloscopio: muestra en tiempo real una gráfica con un voltaje de alta y uno correspondiente de baja, con el fin de evidenciar el desfase entre las señales indicado por el índice horario medido. Para esta función el prototipo conmuta los relés indicados.

Relación de transformación: muestra el grupo de conexión y la relación de transformación compuesta, determinada con los voltajes medidos dentro del ensayo. Esto es importante ya que la relación de transformación cambia con cada grupo de conexión.

Conexión a PC: establece los protocolos de comunicación con el computador y los módulos de radiofrecuencia Zigbee. Posteriormente, envía los datos medidos por el prototipo dentro del ensayo.

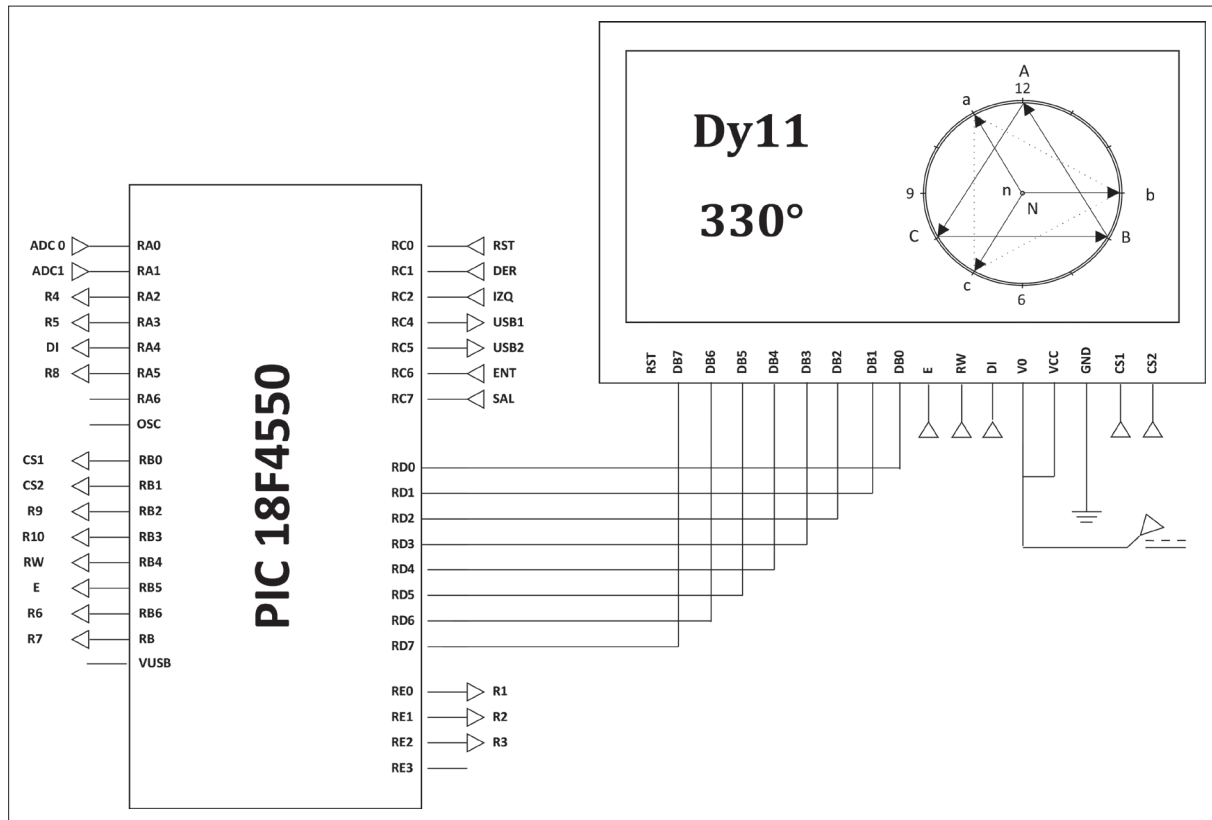


Figura 6. Procesamiento y registro

Fuente: elaboración propia.

Tratamiento de la señal

Teniendo en cuenta los voltajes rms medidos por el prototipo, que a su vez han presentado la secuencia de registro como lo expresa la tabla 2. Entonces, la determinación de la conexión de los devanados se hace de la siguiente forma:

- Para el devanado de alta: se comparan las tensiones V_{AB} y V_{AN} . Si $V_{AN} = V_{AB} / \sqrt{3}$, el prototipo determina una conexión *Ye*. De forma contraria, determina una conexión *Delta*.
- Para el devanado de baja: se comparan las tensiones V_{ab} y V_{bn} . Si $V_{bn} = V_{ab} / \sqrt{3}$, el prototipo determina una conexión *Ye*. De forma contraria, determina una conexión *Delta*. Cuando se determina una conexión

Ye, si $V_{zn} = V_{ab} / 3$, el prototipo determina una conexión *Zeta*.

A la hora de realizar el ensayo, es importante hacer las conexiones del prototipo al transformador de los neutros de alta, baja y la conexión del terminal z (si estos existen según el tipo de conexión de los devanados).

Para la determinación del índice horario, el cerebro del prototipo analiza las cinco tensiones indicadas en la tabla 2 y por medio de una comparación de estas deduce el grupo de conexión.

El algoritmo diseñado permite determinar el valor eficaz de la forma de onda de tensión, a partir de la definición que establece la ecuación (2). En tal sentido, el algoritmo establece el procesamiento

de datos de manera discreta y mediante integración numérica por Simpson.

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v(t)^2 dt} \quad (2)$$

Módulo de interfaz con el usuario

Está compuesto por una pantalla LCD Gráfica (*module with back light*) HDM64GS12 de 1024 pixeles. Además, cuenta con cuatro pulsadores con las funciones: derecha, izquierda, entrar y salir.

Comunicación USB (Universal Serial Bus)

Para el presente proyecto se evaluaron los diferentes protocolos de comunicación, como por ejemplo el USB CDC (Communication Device Class), el cual emula un puerto serie COM para el direccionamiento de datos. Sin embargo, en la etapa de implementación, la comunicación resultó ser muy lenta para la transferencia de información. Seguidamente, se implementó el protocolo de comunicación USB Bulk Transfer o USB desencadenado, el cual tiene la particularidad de realizar una comunicación bidireccional masiva entre el ordenador y el prototipo a velocidades de transferencia entre los 60 MB/s a 15,6 MB/s (Don, 2001). No obstante, otra gran ventaja fue el lograr establecer la comunicación en cualquier puerto del ordenador, sin excepción alguna, mediante los VID (Vendor ID) &PID (Product ID) de identificación entre microchip y Microsoft, así como también el controlador de dispositivo o driver mchpusb.sys proporcionado por microchip para la identificación del prototipo en sistemas operativos Windows 7 de 64 bits.

Recepción de señales DAQ

Una vez tomados los valores de tensión por el microcontrolador PIC18F4550 para su posterior

digitalización, son enviados mediante comunicación ZigBee a un dispositivo esclavo, que en este caso se denominó “sonda de comunicación”. Esta tiene conectividad USB con el ordenador. Allí el algoritmo gráfico de programación compara los valores de entrada para asignar macros de control en la ejecución de subrutinas para gráficos de conexión devanados del transformador, magnitudes de tensiones registradas, modo scope e índice horario monitoreado.

Para garantizar una efectiva medición del grupo de conexión, se desarrolló en Labview el procesamiento digital concerniente a la obtención de los coeficientes de Fourier, con base en los datos registrados por el microcontrolador. Lo anterior, a fin de obtener la componente fundamental de tensión (60 Hz) y de esta manera observar si existe un error en la medida del grupo de conexión cuando se realiza la lectura energizando el transformador con la señal de la red eléctrica, cuya distorsión armónica es de aproximadamente el 4,2%. No obstante, este criterio de diseño se estableció por los armónicos que se pueden presentar por las corrientes de magnetización en el transformador, aun cuando este no presente carga en el devanado secundario (Candela García, 2009). La cuantización y el tratamiento de la señal se expresan mediante la ecuación (3).

Software Índices Horarios

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^N a_n \cos n\omega_o t + \sum_{n=1}^N b_n \sin n\omega_o t \quad (3)$$

Los avances tecnológicos en *software* y *hardware* facilitan un mejor entendimiento de los problemas a nivel de ingeniería, ya que permiten dimensionar y establecer parámetros indicativos para así poder llevarlos a un plano didáctico y comprensible para las personas (Chilan Santos y Mera Quimi, 2009). Por tal razón, en el presente trabajo se desarrolló un *software* en la plataforma de programación gráfica Labview para generar un

investigación

entorno más amigable para estudiantes y docentes en el aprendizaje de los grupos de conexión del transformador DL1080. En la figura 7 se ilustra el *software* con el nombre *Índices Horarios*.

PRUEBAS Y RESULTADOS

A continuación se exponen las diferentes pruebas que validan el correcto funcionamiento del prototipo para su implementación y uso en las prácticas de laboratorio concernientes a grupos de conexiones en la maquina DL1080.

Circuito de acondicionamiento

Para esta prueba se inyectaron tensiones dentro y fuera del rango de medición del sensor de voltaje, con lo cual se obtuvieron señales con y sin saturación. Nótese en la figura 8 que al aplicar la tensión nominal del prototipo (220 Vrms), el máximo valor de tensión en la resistencia de baja corresponde a 5 Vrms. De igual manera, al aplicar una tensión de 440 Vrms, el sensor presenta saturación en la resistencia de baja.

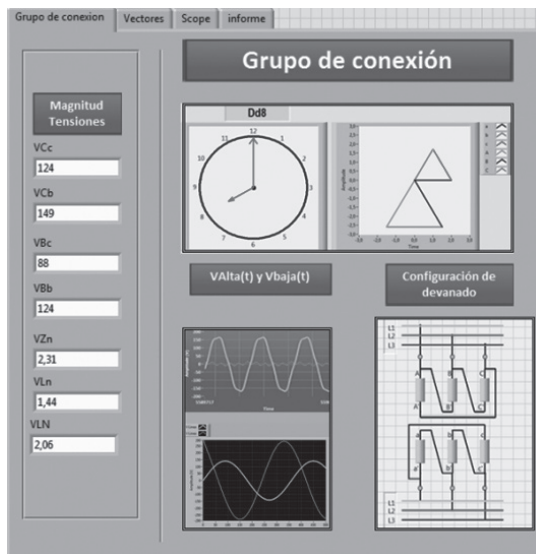


Figura 7. Software Índices Horarios

Fuente: elaboración propia

no se supera el valor máximo de entrada en el microcontrolador 5 Vrms. Con lo anterior, el prototipo cumple la normatividad IEC 61010 en la categoría de protección en la medida de tensión en régimen estacionario.

Lectura de voltaje rms

En esta prueba se hizo un barrido de tensión desde cero hasta 440 Vrms, para comprobar con respecto al diseño los límites de voltaje que registra el prototipo y la precisión en la medida. De esta manera, se llevó una fuente AC a 440 Vrms y se encontró que el prototipo mide de forma correcta hasta los 220 Vrms. Después de este voltaje el

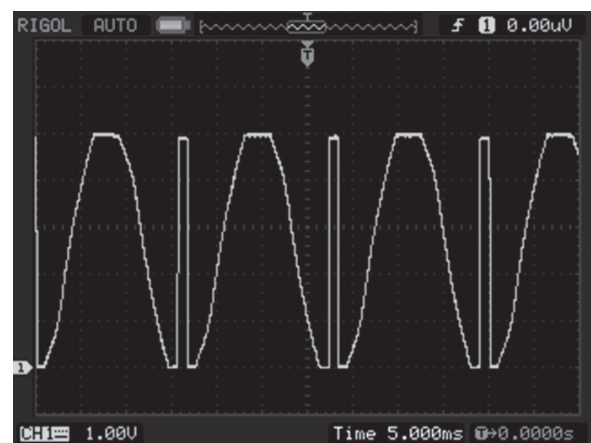
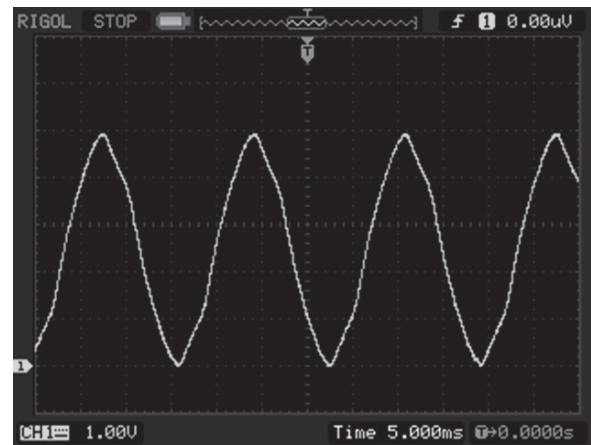


Figura 8. Tensión de baja

Fuente: elaboración propia.

seguidor del módulo de acondicionamiento recorta la señal de entrada como opción de protección. Por lo tanto, se comprobó que el rango de medida del prototipo está entre 0 y 220 Vrms. Dentro de esta misma prueba se encontró que el prototipo mide con una incertidumbre de $\pm 1,0$ V.

Determinación del grupo de conexión

En el manual de usuario de la maquina DL1080 se encuentra una tabla que contempla todos los grupos de conexión. Sin embargo, las relaciones de tensiones (V_{Cb} , V_{Cc} , V_{Bc} y V_{Bb}) para los índices horarios 2, 3 y 4 y los índices 8, 9 y 10 son iguales. Por lo que existe el problema al tratar de determinar grupos de conexión con índices horarios pares, debido a que no se distinguiría entre los índices 2, 4 y 8, 10 (ya que al momento de comparar las tensiones las relaciones entre ellas son las mismas). Por ejemplo, no se podría distinguir entre un grupo $Yy2$ y un grupo $Yy4$ o entre un grupo $Dz8$ y un $Dd10$, entre otros.

Haciendo un análisis del diagrama vectorial de estos grupos, se determinó que al medir la tensión V_{AB} y comprobándola con la tensión ya medida V_{Bb} para los índices 2 y 4, y con V_{Cc} para los índices 8 y 10, se podía distinguir entre todos los índices horarios pares.

Una vez diseñadas las condiciones de análisis vectorial de tensiones, se procede a desarrollar los 36 diferentes grupos de conexión sobre el transformador DL1080. De tal forma, se registraron todos los grupos y como resultado el prototipo midió de forma correcta las configuraciones de los devanados de AT y BT, además de todos los índices horarios. Igualmente, el prototipo graficó en la pantalla los diagramas vectoriales y los desfases entre las señales en la función osciloscopio.

Prueba de comunicación USB

Una vez desarrollados los 36 tipos de conexiones en el transformador, estos se enviaron al ordenador, con lo cual se obtuvieron los diferentes índices horarios, señales de tensión, diagramas vectoriales y configuración de los devanados.

Los datos enviados al ordenador fueron direccionados a un prototipo esclavo o sonda de comunicación, a través de módulos de radio frecuencia XBee, en una red punto a punto configurada con los microcontroladores. De esta manera, se garantizaron distancias de seguridad en las pruebas de determinación del índice horario en el transformador trifásico.

CONCLUSIONES

El prototipo está en capacidad de identificar el grupo de conexión aun cuando el transformador se encuentra conectado a la red eléctrica y esta presenta una distorsión armónica en la señal de tensión del 4,2%. No obstante, las corrientes de magnetización de la máquina DL1080 en sus diferentes configuraciones no repercuten en un error en la determinación de su índice horario.

Se obtuvo una precisión del 2%, con una resolución de 0,01 V en la medición de voltaje rms, por lo que la determinación del grupo de conexión se hace de forma correcta en todos los casos. El rango de voltaje que mide el prototipo es de 0 a 220 VAC. Las anteriores especificaciones son idóneas para la realización de los ensayos, ya que el valor de voltaje y el lado de la alimentación (alta o baja) dentro de la prueba son indiferentes con los resultados.

El prototipo registra de forma correcta todos los 36 grupos de conexiones contemplados dentro

del proyecto (Dd – Dy – Yd – Dy – Dz -Yz). De igual manera, el usuario puede verificar por medio del prototipo y de la conectividad inalámbrica los índices horarios que interpreta el *software* desarrollado en Labview. Por ejemplo: el diagrama vectorial, el desfase entre las señales de los devanados de alta y baja tensión y las tensiones medidas en la determinación de cada grupo.

Este proyecto ha cumplido con su objetivo general, es decir, se ha diseñado y construido un sistema de adquisición de datos para determinar el grupo de conexión en el transformador trifásico DL1080. Esta herramienta de aprendizaje será de gran ayuda para docentes y estudiantes en el desarrollo de prácticas de laboratorio.

FINANCIAMIENTO

Este artículo se deriva del proyecto de investigación *Sistema de adquisición de datos para determinar el grupo de conexión en el transformador trifásico DL1080*, el cual fue financiado por la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Para determinar grupos de conexión en transformadores de alta potencia, solo se debe realizar un circuito amplificador del voltaje en el devanado de baja y adaptarlo al módulo de acondicionamiento, de forma tal que se puedan registrar tensiones dentro de la resolución de adquisición de señales del prototipo.

REFERENCIAS

- C57-12-90, I. S. *IEEE Standard Test Code for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers*, Estados Unidos: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1999.
- Candela García, J. I., *Aportaciones al filtrado híbrido paralelo en redes trifásicas de cuatro hilos (sistemas eléctricos de energía renovable)* (tesis doctoral), Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, 2009.
- Chilan Santos, B. y Mera Quimi, R. E., *Adquisición, graficación y procesamiento de señales de los motores y transformadores del laboratorio de maquinaria eléctrica de la fiec basado en la plataforma de programación labview*, Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2009.
- Dharita, P., J. C., Ashish, P., & N., M. “A User Friendly Simulation for Transformer Vector Group”, En *2012 International Conference on Communication Systems and Network Technologies*, Rajkot, Gujarat, India: IEEEExplore, 2012.
- Don, A., *USB System Architecture*, Massachusetts: MindShare, 2001.
- Electrotechnical, C. I. International Standar IEC 61010, *Safety Requirements for Electrical Equipment for Measurement, Control, and Laboratory Use*, Ginebra: Rue de Varembe, 2003.
- Getz, R., *Understanding and Eliminating EMI in Microcontroller Applications*, Dallas, Texas, Estados Unidos: National Semiconductor Corporation, 1996.

Instrument, T., *Fully Automated Three Phase Transformer Turns Ratio Meter*, Hipotronics, 2013.

Lawhead, L., Hamilton, R. y Horak, J., *Three Phase Transformer Winding Configurations and Differential Relay Compensation*, Georgia, Estados Unidos: Basler Electric Company, 2006.

Staff, E. E., *Circuitos magnéticos y transformadores*, Barcelona: Reverté, 2003.

Vaz Gades, M., *Transformadores ligações e esfasamentos*, Porto, Portugal: Universidad do Porto, Faculdade de Engenharia, 2004.

Estimación del índice de confiabilidad β de las vigas de un puente usando conteos de tráfico real (TPDS) mediante simulación

Reliability Index β Evaluation of the Girders of a Bridge Using Counts of Real Traffic (TPDS) by Simulation

SERGIO ANDRÉS VANEGAS HERRERA

Ingeniero civil, magíster en Ingeniería Civil, docente de la Universidad Industrial de Santander (UIS), Bucaramanga, Colombia.

Contacto: sergio.vanegas@correo.uis.edu.co

GUSTAVO CHIO CHO

Ingeniero civil, doctor ingeniero de caminos, canales y puertos, docente de la Universidad Industrial de Santander (UIS), Bucaramanga, Colombia.

Contacto: gchioch@uis.edu.co

Fecha de recepción: 27 de agosto de 2013

Clasificación del artículo: investigación

Fecha de aceptación: 14 de marzo de 2014

Financiamiento: Universidad Industrial de Santander

Palabras clave: distribución normal, métodos de Monte Carlo, puentes, teoría de confiabilidad

Keywords: bridges, Monte Carlo methods, normal distribution, reliability theory

RESUMEN

El índice de confiabilidad β es un parámetro utilizado para estimar la seguridad de una estructura o un elemento de esta durante su etapa de diseño o servicio. Este parámetro, definido en otros códigos del mundo (European Committee for Standardisation (Eurocode), EN 1990:2002; American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2012), no se especifica en el Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes (CCDSP-95) (1995). En este artículo se presenta un trabajo sobre la estimación de los índices de confiabilidad β de las vigas

interiores y exteriores de un tablero de un puente de viga y losa, en concreto reforzado, de 30 m de longitud, simplemente apoyado y diseñado según el CCDSP-95. En la evaluación de los momentos resistentes se consideraron las propiedades de los materiales usando una distribución normal. Además, se utilizó una simulación de Monte Carlo para estimar la solicitación del momento en centro de luz de los efectos de la carga viva.

ABSTRACT

The reliability index β is a parameter used to estimate the safety of a structure or an element

during the design stage or service. This parameter defined in other codes in the world (European Committee for Standardisation (Eurocode), EN 1990:2002; American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2012), is not specified in the Colombian Code of Bridges Seismic Design (CCDSP-95) (1995). In this paper, it will be presented a study on the estimation of the reliability index β of the interior and

exterior girders of a beam and slab bridge with reinforced concrete, 30 m in length, simply supported and designed according to the CCDSP-95. In the evaluation of the resistant moments, there were considered properties of materials using a normal distribution, and moreover, a Monte Carlo simulation was used to estimate load effect of moment at mid-span of the live load.

* * *

INTRODUCCIÓN

Una estructura debe ser segura. Por lógica siempre esperamos que nos lleven a mejorar nuestra calidad de vida y que tengan un largo periodo de funcionamiento. Todas las estructuras se diseñan buscando un punto óptimo estructural y económico. Si no fuese así, esto nos llevaría a tener dimensionamientos antieconómicos para la sociedad. Por ello, no se pueden construir edificios ni puentes que duren toda la vida, sino que siempre existirá una probabilidad al fracaso. Pero este fracaso debe ser muy pequeño para que el diseño sea confiable. La confiabilidad de una estructura se define como la probabilidad de que un sistema llevará acabo la función requerida en condiciones de servicio especificadas durante un periodo de tiempo determinado (Lemaire, 2009).

La probabilidad de falla está estrechamente ligada al índice de confiabilidad, que es el parámetro más usado para medir el nivel de seguridad de un sistema (Sánchez Silva, 2005). Este índice es usado en otras ramas de la ingeniería, como la ingeniería electrónica, en donde se construyen cientos de estructuras iguales, de las cuales un porcentaje muy pequeño presenta falla. Pero en la ingeniería civil no pasa eso, dado que solo se tiene una estructura (y no cientos de ellas), a la cual se le debe medir su seguridad ante eventos, como por ejemplo las cargas vivas o el sismo.

La teoría de confiabilidad es un método basado en la matemática estadística, donde las propiedades de los materiales y el proceso de carga —que varía con el tiempo y modelos inciertos— se pueden describir como variables aleatorias ajustadas a cualquier curva estadística.

METODOLOGÍA

El margen de seguridad o función de estado límite es la forma matemática de describir la relación entre la resistencia (R) y la sollicitación (S) en un sistema, o en este caso en una estructura. Tanto R como S pueden describirse por variables que pueden ser aleatorias o determinísticas, como por ejemplo $f'c$ y f_y , por el lado de la resistencia, y por el lado de la sollicitación las cargas de los camiones que pasan sobre el puente (representado por la letra P) o la carga muerta (representado por la letra D). Una manera común de representar la función de estado límite es mediante la ecuación (1) (James, 2003; Moses, 2001).

$$g(R, S) = R(f'c, f_y, \dots) - S(P, D, \dots) \quad (1)$$

Donde:

R : representa las variables de resistencia del sistema.

S: representa las variables de sollicitación del sistema.

La *función de estado límite* divide el espacio x en dos espacios, uno llamado la *zona segura (ZS)*, cuando $g(R,S) > 0$, y el otro es la *zona de falla (ZF)*, cuando $g(R,S) < 0$. El sector que divide estos dos conjuntos se llama *superficie de estado límite o superficie de falla*, donde la *función de estado límite* $g(R,S) = 0$. En las ecuaciones (2), (3) y (4) se muestra el resultado del anterior planteamiento.

$$g(R,S) = 0 \rightarrow \text{Superficie de estado límite o superficie de falla} \quad (2)$$

$$g(R,S) > 0 \rightarrow \text{Zona segura "ZS"} \quad (3)$$

$$g(R,S) < 0 \rightarrow \text{Zona de falla "ZF"} \quad (4)$$

El problema básico de la confiabilidad es encontrar la probabilidad de falla. En otras palabras, que $p(g(R,S) \leq 0)$. Entonces, matemáticamente se calcula mediante la función de densidades marginales de la resistencia (R) y la sollicitación (S), usando la ecuación (5).

$$p_f = p(g(R,S) = R - S \leq 0) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{r-s} f_R(r) \cdot f_S(s) \, dr \, ds \quad (5)$$

Donde se puede notar que los límites de la sollicitación en la integral va desde $-\infty$ hasta $+\infty$, mientras que la resistencia se evalúa desde $-\infty$ hasta cuando los valores de la resistencia son menores que los de la sollicitación $r \leq s$, que es la condición de que ocurra falla. La ecuación (5) está expresada mediante funciones de densidad de probabilidad marginal $f_R(r)$ y $f_S(s)$. Lo anterior se puede entender mejor en la figura 1.

El índice de confiabilidad β es el parámetro más usado para medir el nivel de seguridad de un sistema. Cuando las variables tanto de resistencia (R) como de sollicitación (S) están distribuidas normalmente, el índice de confiabilidad se puede calcular como se muestra en la ecuación (6).

$$\beta = \frac{1}{V_{g(R,S)}} = \frac{\mu_{g(R,S)}}{\sigma_{g(R,S)}} \quad (6)$$

Donde:

$\mu_{g(R,S)}$: Valor medio del margen de seguridad (Ecuación (7))

$\sigma_{g(R,S)}$: Desviación estándar del margen de seguridad (ecuación (8))

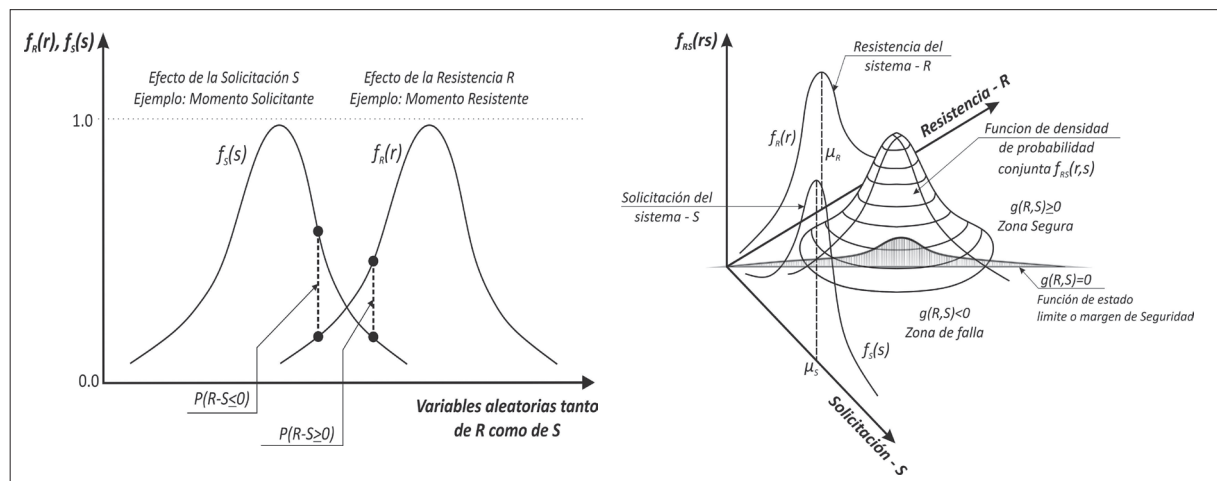


Figura 1. Función de densidades marginales de la resistencia (R) y la sollicitación (S) en la definición de la probabilidad de falla.F

Fuente: tomado de Sanchez Silva (2005).

$V_g(R,S)$: coeficiente de variación del margen de seguridad.

Otra definición de este índice, y de nuevo considerando que las variables tanto de resistencia (R) como de sollicitación (S) se distribuyen normalmente, es por medio de la probabilidad de falla. Las ecuaciones (7), (8) y (9) muestran el planteamiento anterior.

$$\mu_g(R,S) = \mu_R - \mu_S \quad (7)$$

$$\sigma_g^2(R,S) = \sigma_R^2 - \sigma_S^2 \quad (8)$$

$$p_f = p(g(R,S) < 0) = \Phi(-\beta) \rightarrow \beta = -\Phi^{-1}(p_f) \quad (9)$$

Donde:

μ_R : valor medio de la resistencia (R)

μ_S : valor medio de la sollicitación (S)

σ_R^2 : desviación estándar al cuadrado de la resistencia (R)

σ_S^2 : desviación estándar al cuadrado de la sollicitación (S)

$\Phi(-\beta)$: función de distribución de probabilidad normal estándar con media 0 y desviación 1 del valor negativo del índice de confiabilidad β .

$-\Phi^{-1}(p_f)$: función inversa de la distribución de probabilidad normal estándar, con media 0 y desviación 1, de la probabilidad de falla.

OBTENCIÓN DE LOS DATOS

Obtención de los momentos resistentes MR

Para la realización de este estudio, primero se hizo un diseño de un puente recto de 30 m de longitud, en concreto reforzado, de viga y losa, según el Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puen-

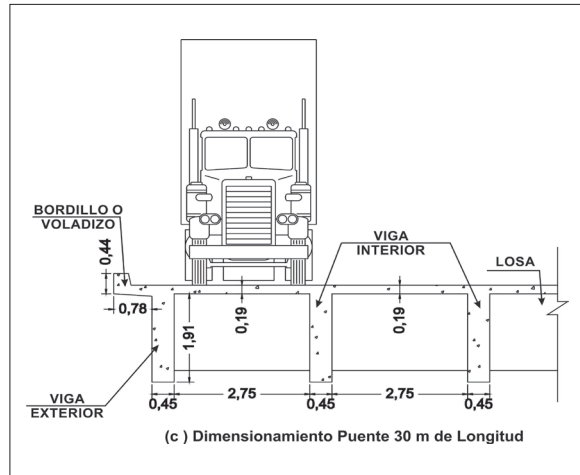


Figura 2. Sección transversal del puente de 30 m, según diseño realizado con el CCDSP-95

Fuente: elaboración propia

tes (CCDSP-95), con la metodología descrita por Vallecilla Bahena (2004). Las dimensiones de la sección transversal se muestran en la figura 2.

Con el diseño se obtuvo el momento debido a las cargas muertas M_D y el momento debido a las cargas vivas M_L de las vigas internas y de las vigas externas, que según el CCDSP-95 se deben calcular siguiendo las cargas vivas mostradas en la figura 3, en donde por la longitud de 30 m ya no se usa el camión de diseño C40-95, sino la línea de carga, que es una carga distribuida más una carga puntual.

Con el fin de obtener el momento resistente M_R tanto para las vigas interiores como para las vigas exteriores, se realizó el procedimiento que se muestra en la figura 4. Además, se generaron valores aleatorios para la resistencia a la compresión del concreto f'_c y la fluencia del acero f_y , que se muestran en la tabla 1.

Obtención de los momentos solicitantes M_s

Para el cálculo de los momentos solicitantes se realizó una simulación de Monte Carlo, en donde el tráfico de los distintos tipos de carros

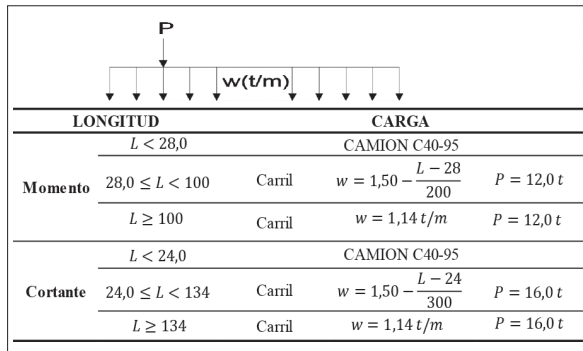


Figura 3. Cargas vivas Estipuladas en el CCDSP-95 para momentos según la longitud del puente

Fuente: tomado de CCDSP-95

Tabla 1. Media y desviación de la resistencia del concreto f'_c y el esfuerzo de fluencia del acero F_y

Descripción	Media [Mpa]	Desviación [Mpa]	Mínimo [Mpa]	Máximo [Mpa]
Fy (Mpa)	470,3	25,25	419,93	538,804
Descripción	F'c [Mpa]	t [Mpa]	Desviación [Mpa]	Media [Mpa]
Concreto (21Mpa)	21	1,65	3,5	26,78

Fuente: tomado de NTC 2275 (1997) y González, Botero, Rochel, Vidal y Álvarez (2005)

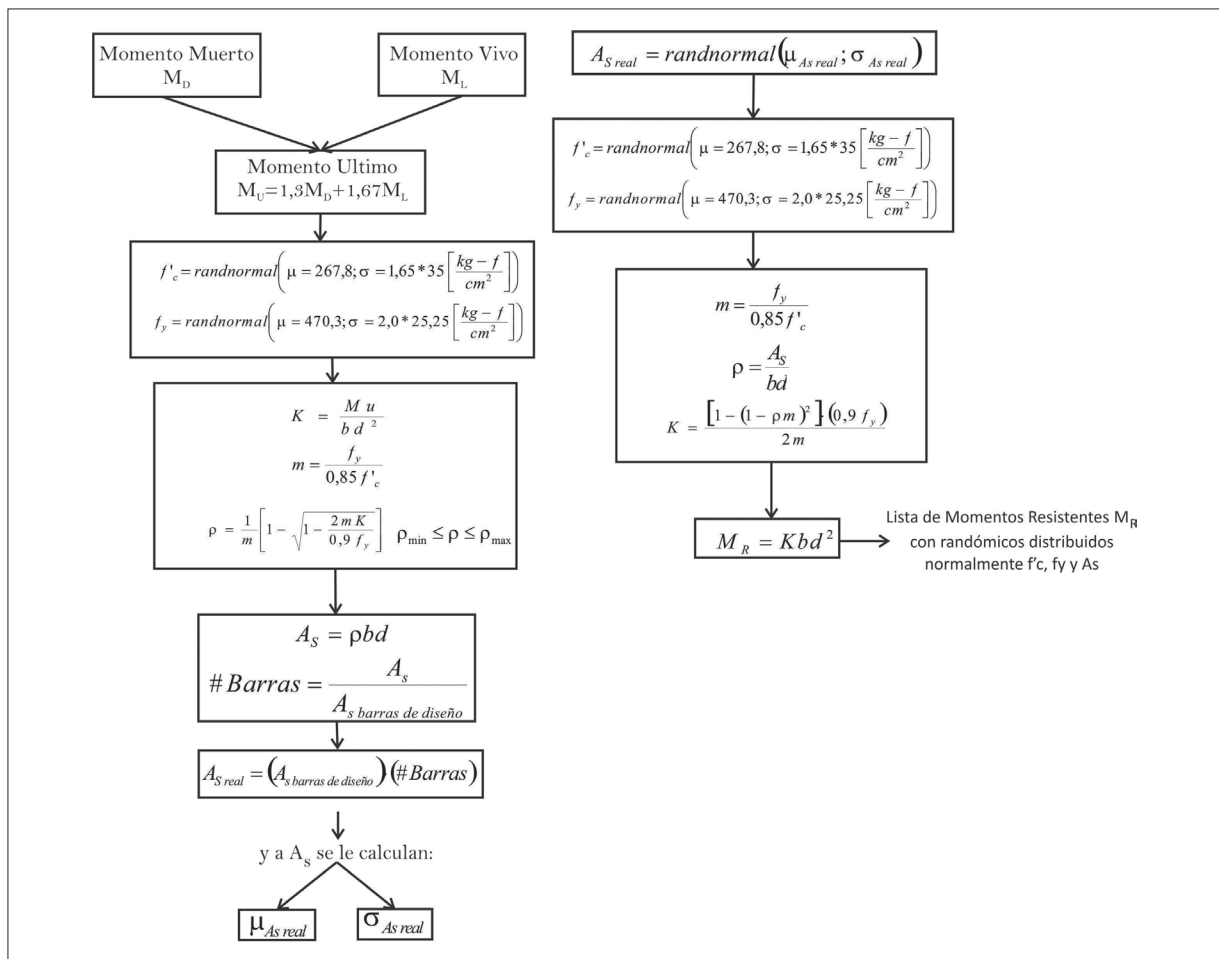


Figura 4. Procedimiento para calcular la media y la desviación estándar de A_s real. Además, procedimiento para calcular el M_R .

Fuente: elaboración propia.

(figura 5) se distribuyó aleatoriamente (figura 6) en el puente. Las cargas de los ejes de cada tipo de camión oscilan dentro de un intervalo, el cual se ajustó a una distribución normal. El desplazamiento del tren de vehículos y camiones se da en intervalos de 0,1 m, a una velocidad de 10 km/h. En cada intervalo de desplazamiento del tren se calculan los momentos producidos en centro de luz M_c , usando la metodología de las líneas de influencia (figura 7). En este análisis se generaron valores aleatorios de la densidad del concreto (tabla 2).

Los datos de tráfico fueron tomados de la cartilla del Invias del 2008, de la estación 146, entre Floridablanca-Piedecuesta, que se pueden ver en la tabla 3. Se tomó este conteo ya que es el que presenta mayor cantidad de camiones pesados en

el sector de Bucaramanga y su área metropolitana. Se implementó un programa en Matlab©© que desarrolla el planteamiento de este artículo y que, de manera general, puede analizar cualquier tipo de TPDS para puentes cortos simplemente apoyados de concreto reforzado. Además, como simplificación del problema, el programa evalúa solo un carril, que sería el carril de diseño (carril crítico), por donde pasa la mayor probabilidad de vehículos de la simulación.

Para correr todo un TPDS, se dividió el tráfico diario semanal escogido en intervalos de 15 minutos, lo cual da un total de 96 intervalos de tráfico por día. Con esto simplificábamos, por partes, la cantidad de datos que serían evaluados; además de que se tiene una mejor precisión, ya que la evaluación se hace en intervalos de tiempo más cortos.

	Automóvil - Taxi		Camión C3
	Camión C2P		Camión C4
	Camión C2G		Camión C3S2 (C5)
	Camión C2		Camión C3S3 (>C5)

Figura 5. Tipos de camiones de tránsito común en carreteras colombianas

Fuente: tomado de Muñoz (2012), NTC 4788-1 (2000), Chevrolet (2013) e Instituto Nacional de Vías (Invias) (2008).

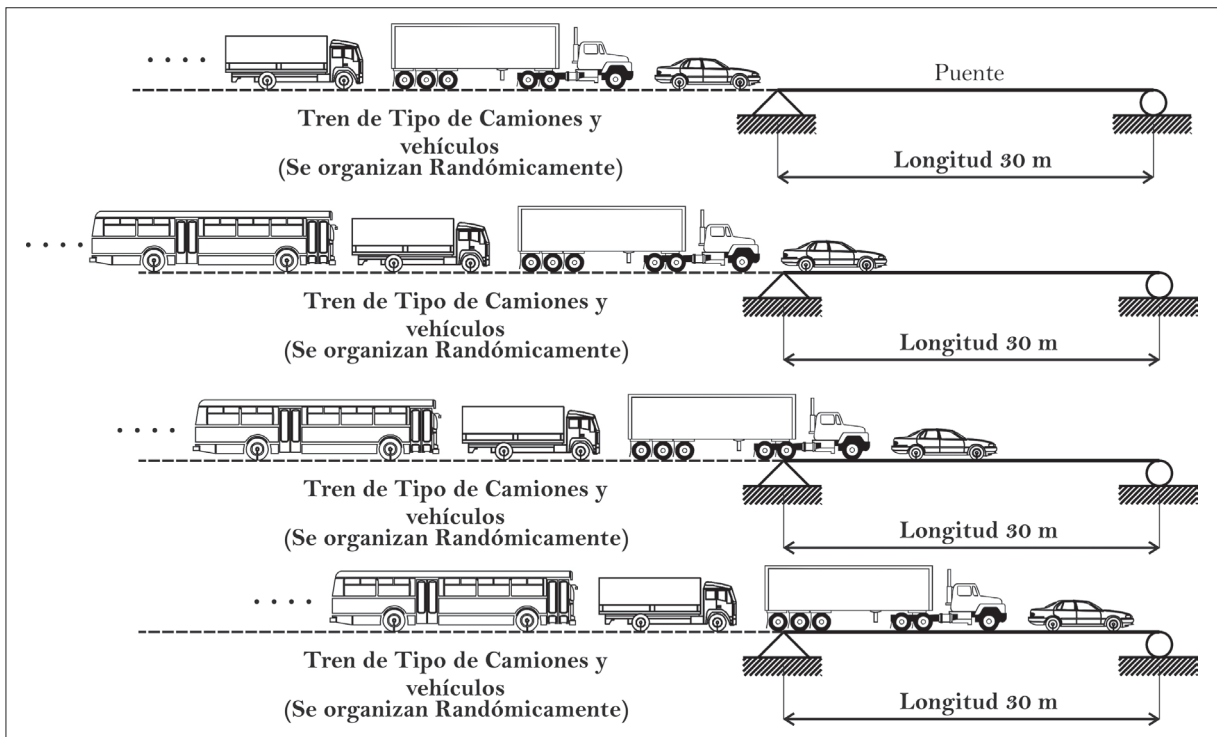


Figura 6. Desplazamiento del tren de camiones por el puente

Fuente: elaboración propia.

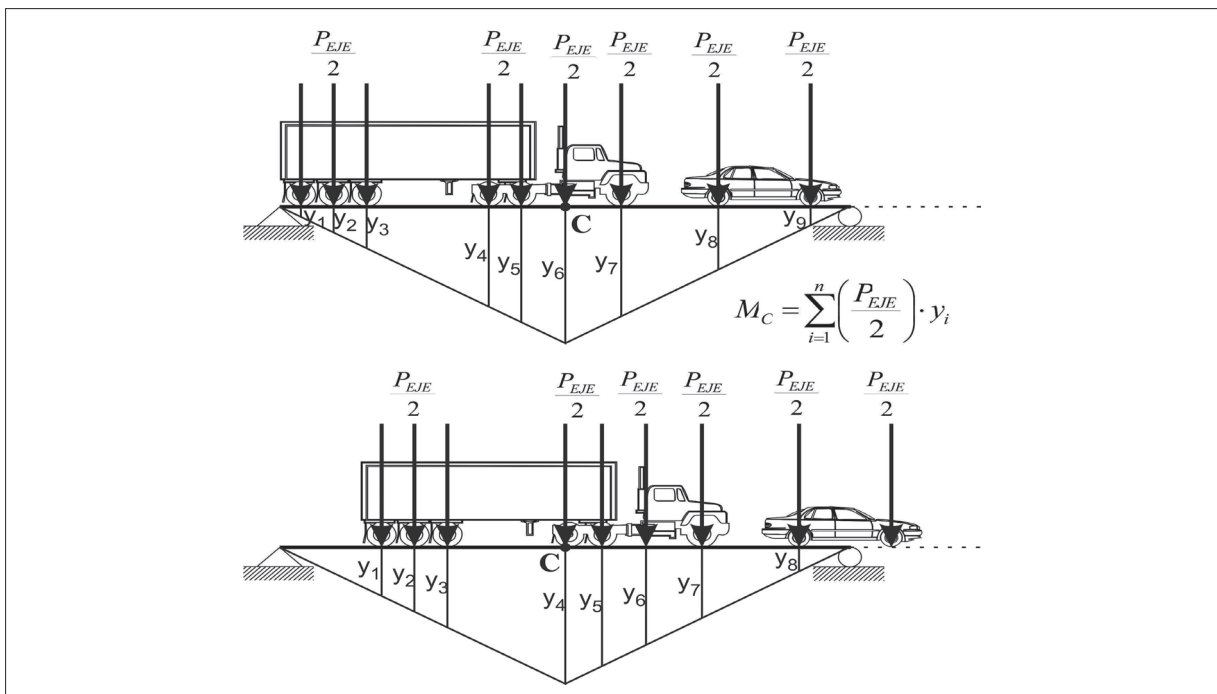


Figura 7. Cálculo del momento en centro de luz por líneas de influencia

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Media y desviación de la densidad del concreto (ρ_{Concreto})

Descripción	Media [t/m ³]	Desviación [t/m ³]
Densidad del concreto (21 Mpa)	2,4	0,2

Fuente: tomado de NTC 2275 (1997) y González, Botero, Rochel, Vidal y Álvarez (2005).

Tabla 3. TPDS (tráfico promedio diario semanal) del Invias del año 2008 para la estación n° 637

Est. n°	Sector	Automóvil	Bus	C - 2P	C - 2G	C3-C4	C - 5	>C - 5
146	Floridablanca - Piedecuesta	28 675	5283	751	1767	720	235	396

Fuente: tomado de Instituto Nacional de Vías (Invias) (2008).

RESULTADOS

En el análisis de resultados se desarrollaron los histogramas o diagramas de frecuencia de los momentos solicitantes y momentos resistentes para las vigas internas y externas, como se puede apreciar en las figuras 8 y 9.

Las frecuencias mostradas anteriormente se ajustaron a una distribución normal, en donde para la viga interior la media del momento solicitante es de 526,7448 t-m y la media para el momento resistente medio es de 1236,5685 t-m. Para la viga exterior del puente la media del momento solicitante es de 665,2333 t-m y la media del momento

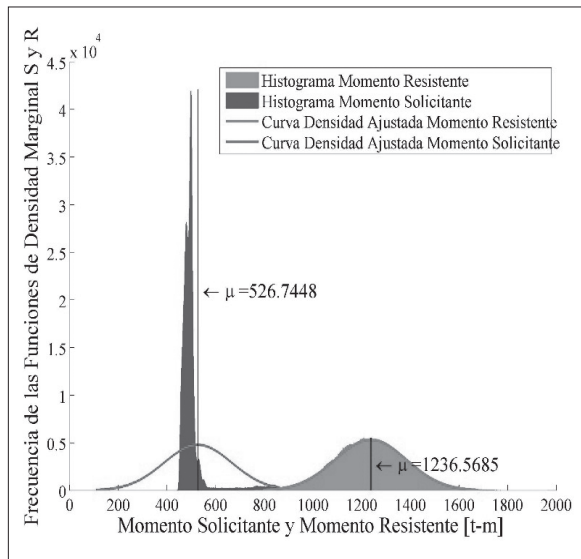


Figura 8. Funciones de densidades marginales del momento solicitante y el momento resistente para la viga interior del puente, para 96 iteraciones, que representan un día de tráfico

Fuente: elaboración propia.

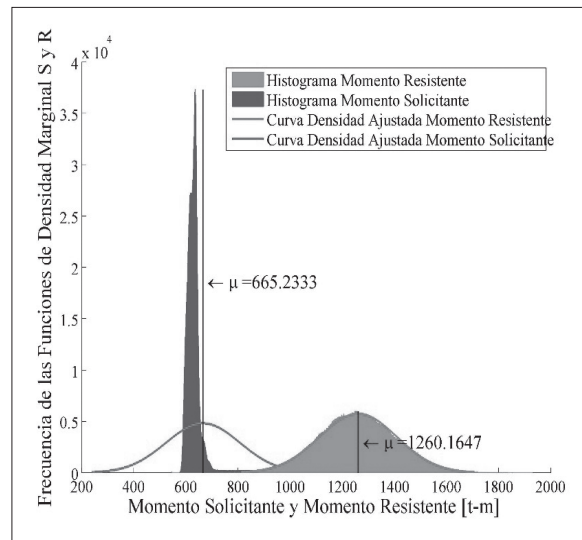


Figura 9. Funciones de densidades marginales del momento solicitante y el momento resistente para la viga exterior del puente, para 96 iteraciones, que representan un día de tráfico

Fuente: elaboración propia.

investigación

resistente es de 1260,1647 t-m. Los resultados de las figuras 8 y 9 se pueden detallar mejor en la tabla 4.

Los resultados de los índices de confiabilidad β se desarrollaron usando la ecuación (6), en donde las frecuencias del margen de seguridad o ecuación de estado límite se representan en las figuras 10 y 11. Las frecuencias mostradas en estas figuras se ajustaron a curvas de distribución normal, donde la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov aceptó la hipótesis nula de los momentos resistentes, en donde la distribución de los datos sigue una curva normal, pero en los momentos solicitantes esto no es tan cierto, debido a la variabilidad de los datos ocasionada por las cantidades discontinuas entre vehículos y camiones, (ver tabla 3). Los valores obtenidos de índices de confiabilidad para este puente, en cada una de las vigas, se encuentran en la tabla 5.

El valor promedio calculado de beta, tomado de varias fuentes bibliográficas que se basan en muestras de diseños de puentes actuales, es de 3,5

Tabla 4. Resultados de medias y desviaciones de los momentos solicitantes y resistentes para la vigas del puente

Tipo de viga	Momento solicitante [t-m]		Momento resistente [t-m]	
	Media μ	Desviación σ	Media μ	Desviación σ
Viga exterior	665,233	142,180	1260,165	149,479
Viga interior	526,745	139,412	1236,569	147,403

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Índice de confiabilidad del cálculo de momentos en centro de luz para las vigas internas y externas de un puente de 30 m de longitud

Tipo de viga	Índice de confiabilidad β
Viga exterior	2,89
Viga interior	3,50

Fuente: elaboración propia.

(Muñoz, 2012). El Eurocódigo 0 especifica para una construcción normal un índice de confiabilidad igual a 3,5 (European Committee for Standardisation (Eurocode), EN 1990:2002). Las especificaciones de diseño AASHTO LRFD Bridge (American Association of State Highway and

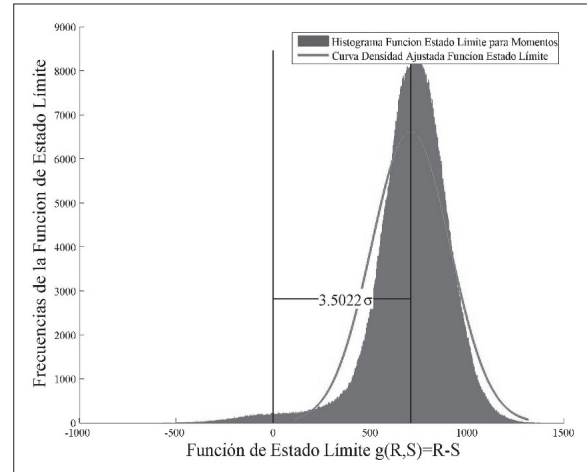


Figura 10. Definición del índice de confiabilidad usando la función de estado límite, para la viga interior del puente, donde la resistencia y la sollicitación están distribuidas normalmente

Fuente: elaboración propia.

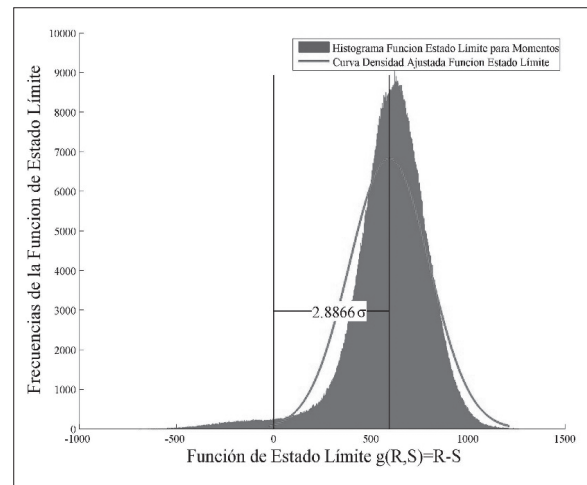


Figura 11. Definición del índice de confiabilidad usando la función de estado límite, para la viga exterior del puente, donde la resistencia y la sollicitación están distribuidas normalmente

Fuente: elaboración propia.

Transportation Officials (AASHTO), 2012) sugieren a su vez un índice de confiabilidad de 3,5. Como indican las referencias anteriores, un valor referencia del índice de confiabilidad es 3,5. Además, hay que saber que en el diseño, cuando el índice de confiabilidad es mayor, mayor será también la seguridad del puente y menor la probabilidad de falla. Con esto podemos decir que la viga exterior del puente, con un índice de confiabilidad de 2,89 (tabla 5), está por debajo de 3,50, por lo cual no se encuentra dentro del criterio anterior. La viga interior, con un índice de confiabilidad de 3,50 (tabla 5), está en el margen del valor de 3,5.

En el estudio de este trabajo también se calculó la probabilidad de falla para cada tipo de viga del puente diseñado, como se especifica en la tabla 6.

Tabla 6. Probabilidad de falla del cálculo de momentos en centro de luz para las vigas internas y externas del diseño del puente de 30 m de longitud

Tipo de viga	Probabilidad de falla P_f
Viga exterior	0,0206
Viga interior	0,0129

Fuente: elaboración propia.

Las figuras 12 y 13 demuestran la convergencia de los resultados con el paso de las iteraciones.

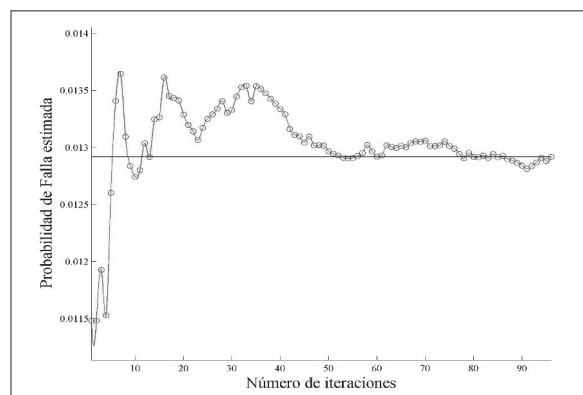


Figura 12. Número de iteraciones vs. probabilidad de falla para momentos de la viga interior del puente - 96 iteraciones

Fuente: elaboración propia.

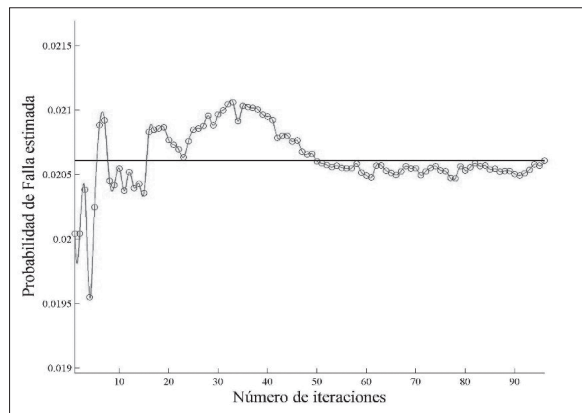


Figura 13. Número de iteraciones vs. probabilidad de falla para momentos de la viga exterior del puente - 96 iteraciones

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

Los histogramas mostrados en las figura 8 y 9 se ajustaron a distribuciones normales, en donde se puede apreciar que el momento solicitante tiene una dispersión más notoria que la del momento resistente, debido a la variabilidad de los vehículos en el TPDS utilizado. Además, se puede notar que las frecuencias en el momento solicitante son mucho más altas que las del momento resistente, debido a que varios valores de los momentos solicitantes resultan muy similares, dando como resultado esfuerzos parecidos, producidos por las cargas de los ejes al pasar en cada instante sobre el puente.

En el desarrollo de este trabajo se calcularon los índices de confiabilidad para las vigas de un puente con un tablero de viga y losa de 30 m de longitud, en donde la viga interior, con un índice de confiabilidad de 3,5, se encuentra dentro de los márgenes internacionales y es una viga segura, desde el diseño, para el caso más crítico de carga de la simulación de tráfico real. Mientras que la viga exterior, con un índice de confiabilidad de 2,89, no está dentro de los límites últimos de las normas internacionales, y se puede considerar como una viga con baja seguridad, desde el

diseño, en las condiciones más críticas del paso real de vehículos.

Sabiendo que los valores típicos de probabilidad de falla para el diseño están entre $1 \cdot 10^{-2}$ y $1 \cdot 10^{-3}$ (Sanchez Silva, 2005), En la tabla 6 se puede apreciar que la probabilidad de falla de la viga exterior no entraría en este intervalo, mientras que la viga interior alcanzaría a

entrar en el intervalo. Con esto corroboramos la conclusión anterior.

FINANCIAMIENTO

El financiamiento es realizado por la Universidad Industrial de Santander, mediante beca de sostenimiento.

REFERENCIAS

- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), *AASHTO LRFD Brides: Design Specifications*, Estados Unidos de América, 2012.
- CCDSP-95, *Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes*, Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (ACIS), 1995.
- Chevrolet, *Chevrolet Colombia*, 2013. Recuperado de http://www.chevrolet.com.co/vehiculos/buses-camiones/showroom_camiones.html
- European Committee for Standardisation (Eurocode) (EN 1990:2002), *Basis of Structural Desing. Load of Bridge* (Vol. 3).
- González, V., Botero, J., Rochel, R., Vidal, J. y Álvarez, M., “Propiedades mecánicas del acero de refuerzo utilizado en Colombia”, *Ingeniería y Ciencia*, Vol. 1, No. 1, 2005, pp. 67-76.
- Instituto Nacional de Vías (Invias), *Manual de Diseño Geometrico INV-2008*, Bogotá, 2008.
- Instituto Nacional de Vías (Invias), *Volúmenes de tránsito*, 2008. Recuperado el 15 de marzo de 2013, de <http://www.invias.gov.co/index.php/documentos-tecnicos-izq>
- James, G., *Analysis of Traffic Load Effects on Railway Bridges* (Doctoral Tesis), Structural Engineering Division, Royal Institute of Technology, Estocolmo, Suecia, 2003.
- Lemaire, M., *Structural Reliability*. New Jersey, Estados Unidos: Wiley-ISTE, 2009.
- Moses, F., *NCHRP. Report 454: Calibration of Load Factors for LRFD Bridge Evaluation*, Washington D. C: Portersville, Estados Unidos de America: National

- Cooperative Highway Research Program (NCHRP), 2001.
- Muñoz, E., *Ingeniería de puentes* (Vol. 3), Bogotá: Gente Nueva, 2012.
- NTC 2275, *Ingeniería Civil y Arquitectura. Procedimiento recomendado para la evaluación de los resultados de los ensayos de resistencia de concreto*, Bogotá: Icontec, 1997.
- NTC 4788-1, *Tipología de vehículos de transporte terrestre*, Bogotá: Icontec, Ministerio de Transporte, 2000.
- Sanchez Silva, M., *Introducción a la confiabilidad y evaluación de riesgos*, Bogotá: Ediciones Uniandes, 2005.
- Vallecilla Bahena, C., *Curso de puentes en concreto*, Bogotá: Bauen, 2004.

Evaluación y diagnóstico de pasivos ambientales mineros en la Cantera Villa Gloria en la localidad de Ciudad Bolívar, Bogotá D.C.

Assessment and Diagnosis of Mining Environmental Liabilities in Villa Gloria Quarry in Ciudad Bolivar, Bogota D.C.

CÉSAR AUGUSTO GARCÍA UBAQUE

Ingeniero civil, doctor en Ingeniería, profesor asistente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.

Contacto: cagarciau@udistrital.edu.co

MARÍA CAMILA GARCÍA VACA

Ingeniera química, estudiante de Maestría en Ingeniería Química, Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia.

Contacto: gchioch@uis.edu.co

CARLOS FERNANDO AGUDELO RODRÍGUEZ

Arquitecto, magíster en Planificación Urbana y Regional, profesor asistente de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.

Contacto: cfagudelo@unisalle.edu.co

Fecha de recepción: 27 de agosto de 2013

Clasificación del artículo: investigación

Fecha de aceptación: 16 de marzo de 2014

Financiamiento: Secretaría Distrital de Ambiente - Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Palabras clave: cantera, pasivo ambiental, ciclo minero, diagnóstico, riesgo

Keywords: quarry, environmental liability, mining cycle, diagnosis, risk

RESUMEN

En la ciudad de Bogotá la minería de extracción de materiales para la construcción se intensificó desde el siglo XIX hasta principios del siglo XX (Secretaría Distrital de Ambiente, 2007) y durante ese periodo, el crecimiento acelerado de la población, las imprecisiones técnicas de las operaciones mineras y una legislación que no contemplaba conceptos de cuidado del medio ambiente generaron numerosos pasivos ambientales, constituidos por las instalaciones mineras abandonadas o inactivas, áreas expuestas a remociones en masa que en la actualidad generan impactos negativos severos que afectan a la población y los ecosistemas. El objetivo de este artículo es emplear la metodología de evaluación del impacto ambiental Gómez Orea para diagnosticar y analizar los pasivos ambientales presentes en la cantera Villa Gloria ubicada en la localidad de Ciudad Bolívar, y así determinar las posibles obras de mitigación que permitan darle un nuevo uso a esta zona,

como: zonas verdes y/o áreas de recreación (Secretaría Distrital de Ambiente, 2007).

ABSTRACT

Mining extraction of building materials increased from the 19th century until the early 20th century in Bogotá D.C. (Secretaría Distrital de Ambiente, 2007) and in this period, population rapid growth, poor mining practices and legislation without concepts on sustainable development, generated numerous environmental liabilities due to: abandoned mining installations, mass removals-exposed areas, which currently generate severe negative impacts that affect the population and ecosystems. This article use Gómez Orea Environmental Impact Assessment Methodology to diagnose and analyze environmental liabilities in Villa Gloria quarry located in Ciudad Bolívar (Bogotá D.C.), and to determine the possible mitigation works allowing to give a new use to this area such as: green areas and/or areas of recreation (Secretaría Distrital de Ambiente, 2007).

* * *

INTRODUCCIÓN

Los pasivos ambientales derivados de la minería han existido en el país durante siglos, pero la falta de conciencia tanto de las autoridades como de la población en general no permitió un manejo sostenible de esta actividad económica y, de manera recurrente, las poblaciones vecinas a estas áreas han tenido que lidiar con sus consecuencias (Infante, 2011). Teniendo en cuenta que en la actualidad la minería es uno de los motores de la economía del país, se hace necesario establecer mecanismos para prevenir, estimar y resolver sus daños colaterales a nivel ambiental.

El término *pasivo ambiental* tuvo su origen en la terminología económica y fue interpretado por el Ministerio de Ambiente en el 2001 como una

“deuda ambiental no saldada, constituida por los daños ambientales ocurridos en el presente o en el pasado por actividades que afectan de manera adversa el medio ambiente” (Ministerio del Medio Ambiente, 2001). Siguiendo la definición de Yupari, en el presente documento se acepta que “el pasivo ambiental minero hace referencia a los impactos ambientales negativos generados por las operaciones mineras abandonadas con o sin dueño u operador identificado, en donde no se haya realizado un cierre de minas reglamentado y certificado por la autoridad correspondiente” (Yurupari, 2000).

El estudio realizó una determinación del estado del pasivo ambiental en la cantera abandonada de Villa Gloria de la localidad de Ciudad Bolívar (Ardila y Pineda, 2013), para lo cual se utilizó la

metodología de Gómez Orea a fin de determinar el estado del pasivo ambiental en dicha cantera. Se utilizó la metodología de Gómez Orea (Gómez, 1999), que ha sido usada en la valoración ambiental de proyectos en varios países suramericanos como Perú, Chile y Bolivia. Entre esos proyectos se citan los trabajos realizados en Perú por la compañía Pacific Rubiales Energy en el año 2009, donde se evaluaron los impactos ambientales de proyectos de prospección sísmica 2D y perforación exploratoria. Adicionalmente, la multinacional Dp World presentó un informe del “Estudio de impacto ambiental para el diseño, construcción, operación y cierre del nuevo terminal de contenedores adyacente al rompeolas sur del terminal portuario del Callao”, basándose en esta herramienta (Dp World, 2010).

En Colombia la metodología de Gómez Orea fue adoptada en el 2004 por la Contraloría de Bogotá (Contraloría de Bogotá, 2004) para realizar la valoración de actividades mineras y la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca la utilizó para identificar potenciales alternativas de recupera-

ción en zonas afectadas por minería en Bogotá D.C. (Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, 2011), entre otros casos.

ANTECEDENTES

El ciclo minero incluye diferentes tipos de actividades de extracción de minerales como: minería subterránea, minería de superficie, pozos de perforación, minería submarina o dragado (Ministerio de Minas y Energía, 2009) y cada técnica dependerá de la profundidad del recurso minero y las características del suelo (ver tabla 1).

Específicamente, la etapa de cierre y abandono de una mina consiste en un conjunto de labores que deben ser implementadas durante todo el ciclo útil de una operación extractiva de minerales, labores que permiten cumplir con los parámetros establecidos en el plan de manejo ambiental o en la licencia ambiental, para así alcanzar los objetivos finales de sustentabilidad (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2009).

Tabla 1. Etapas y fases de un ciclo minero

Etapas	Actividades	Gestión ambiental
Prospección	Regional Semirregional Detallado	Otorgamiento licencia ambiental
	Contratos de concesión y términos de referencia	
Trabajos de exploración	Fase I. Exploración geológica de superficie Fase II. Exploración geológica de subsidio Fase III. Evaluación y modelo geológico Fase IV. Programa de trabajos y obras	
Construcción y montaje	<ul style="list-style-type: none"> • Ajuste a los diseños del plan de trabajos y obras • Apertura y desarrollo de frentes mineros • Obras civiles y de infraestructura 	Ejecución del Plan de Manejo Ambiental Garantías
Obras y trabajos de explotación	Minas de superficie <ul style="list-style-type: none"> • A cielo abierto • Tajo abierto • Descubierta • Contorno • Dragado 	
	Beneficio y transformación	
Cierre y abandono	Obras de restauración y recuperación	

Fuente: elaboración propia.

Una vez se cumple con los parámetros establecidos para ello, se puede afirmar que se realizó un *cierre legal* y que los impactos negativos fueron remediados.

En caso contrario, se habla de *abandono de la mina*, en donde el titular minero o responsable de la cantera no cumple con las actividades de mitigación que buscan resarcir los efectos ambientales producto de la extracción de minerales y, por lo tanto, allí se conforma un *pasivo ambiental*. Estos pasivos deben ser valorados para identificar sus impactos ambientales negativos y los riesgos asociados.

La Cantera Villa Gloria está ubicada dentro de la cadena montañosa de los cerros suroccidentales de Bogotá D. C., en la Carrera 26 C Sur con Transversal 18 R. Esta cantera se clasifica como mina de superficie, ya que el método de extracción de materiales fue horizontal y de forma descendente para luego triturar y transformar la roca (figura 1).



Figura 1. Cantera Villa Gloria

Fuente: elaboración propia.

La cantera fue cerrada en el 2004 por el Departamento Administrativo del Medio Ambiente (actualmente Secretaría Distrital de Ambiente), por no cumplir el Plan de Manejo de Reparación

y Restauración Ambiental (PMRRA) y, adicionalmente, porque la zona de extracción de los materiales en la cantera estaba fuera de la zona compatible con actividad minera en la ciudad.

Algunos impactos ambientales identificados en la cantera son: pérdida de la cobertura vegetal, modificación radical de la morfología y condiciones de inestabilidad y remoción en masa.

METODOLOGÍA

La metodología de Gómez Orea consiste en elaborar una matriz de impacto de doble entrada que correlaciona el pasivo ambiental con los componentes del ambiente, bajo el esquema de incidencias y dependencias. En la matriz se considera cada componente con sus indicadores, donde los componentes ambientales se ponen en las columnas y el pasivo ambiental que se va a evaluar en las filas (Gómez, 1999).

La matriz identifica y caracteriza los impactos en las casillas de cruce, asignando el valor de la importancia del pasivo ambiental según la naturaleza de los efectos. Esta matriz permite tanto una valoración cualitativa como una valoración cuantitativa de los elementos e identifica el impacto ambiental generado por una actividad sobre un factor ambiental considerado.

Esta metodología se escogió debido a que se desarrolla a través de procedimientos analíticos para cuantificar los efectos en unidades de calidad ambiental y utiliza parámetros medibles de forma objetiva (Abellán y Barja, 1993; Abellán y García, 2006).

La metodología determina el grado de importancia del pasivo ambiental sobre el ambiente receptor, para lo cual se consideran una serie de atributos de los pasivos ambientales que se incorporan en una función, con ello se genera un índice único

denominado Importancia del Pasivo Ambiental (IM). Los criterios con mayor peso son la magnitud y la cobertura (Contraloría de Bogotá, 2004).

En la ecuación (1) se establecen los componentes del indicador IM:

$$IM = NA(3MG + 2EX + DR + PE + RC + RV + PO + TD + TI) \quad (1)$$

Este índice otorga un puntaje de acuerdo con:

- **Naturaleza (NA):** se refiere al carácter del impacto que se va a evaluar. Si es beneficioso (+) o perjudicial (-), haciendo alusión a las acciones que actúan sobre los factores considerados.
- **Magnitud (MG):** cuantifica el grado de incidencia de la acción sobre el factor. El rango de esta variable se encuentra entre 1 y 8 y hace referencia al grado de destrucción. La escala utilizada se presenta en la tabla 2.

Tabla 2. Clasificación y valores asignados para la magnitud de los pasivos ambientales

Magnitud (MG)		
Clasificación	Valor	Impacto
Baja	1	Afectación mínima
Media	2	
Alta	4	
Muy Alta	8	Afectación máxima

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Clasificación y valores asignados para la extensión de los pasivos ambientales

Extensión (EX)		
Clasificación	Valor	Impacto
Puntual	1	Efecto localizado
Parcial	2	Incidencia apreciable en el medio
Extenso	4	Afecta una gran parte del medio
Total	8	Generalizado en todo el entorno
Crítico	(+4)	El impacto se produce en una situación crítica; se atribuye un valor de +4 por encima del valor que le correspondía

Fuente: elaboración propia.

- **Extensión (EX):** mide el área de influencia teórica del impacto con relación al entorno del proyecto. La escala de valoración utilizada se presenta en la tabla 3.
- **Duración (DR):** cuantifica la permanencia del efecto desde su aparición y el momento en el cual el factor afectado retornaría a las condiciones iniciales previas a la acción, ya sea por medios naturales, o bien mediante la introducción de medidas correctoras. Se califica según los criterios de la tabla 4.
- **Periodicidad (PE):** hace referencia a la regularidad de manifestación del efecto: de manera cíclica o recurrente, de forma impredecible o constante en el tiempo (tabla 5).

Tabla 4. Clasificación y valores asignados para la duración de los pasivos ambientales

Duración (DR)		
Clasificación	Valor	Impacto
Fugaz	1	(<1 año)
Temporal	4	(de 1 a 5 años)
Pertinaz	8	(de 5 a 10 años)
Permanente	12	(>10 años)

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Clasificación y valores asignados para la periodicidad de los pasivos ambientales

Periodicidad (PE)		
Clasificación	Valor	Impacto
Irregular	1	El efecto se manifiesta de forma impredecible
Periódica	4	El efecto se manifiesta de manera cíclica o recurrente
Discontinuo	8	El efecto se manifiesta inconstante en el tiempo
Continua	12	El efecto se manifiesta constante en el tiempo

Fuente: elaboración propia.

- Recuperabilidad (RC): alude a la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales, por medio de la intervención humana (tabla 6).
- Reversibilidad (RV): señala la posibilidad de reconstrucción del factor afectado por la actividad, de regresar a las condiciones iniciales por medios naturales (tabla 7).

Tabla 6. Clasificación y valores asignados para la recuperabilidad de los pasivos ambientales

Recuperabilidad (RC)		
Clasificación	Valor	Impacto
En la fase del proyecto	1	Las actividades de recuperación del impacto se realizaron en la fase del proyecto
En la fase de obra	4	Las actividades de recuperación del impacto se realizaron en la fase de la obra
Posterior al proyecto	8	Las actividades de recuperación del impacto se realizaron o se deben realizar después de terminación del proyecto minero
No es posible	12	Las actividades de recuperación no son posibles

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7. Clasificación y valores asignados para la reversibilidad de los pasivos ambientales

Reversibilidad (RV)		
Clasificación	Valor	Impacto
Corto plazo	1	Retorno a las condiciones iniciales en menos de 1 año
Mediano plazo	4	Retorno a las condiciones iniciales entre 1 y 5 años
Largo plazo	8	Retorno a las condiciones iniciales entre 5 y 10 años
Irreversible	12	Imposibilidad o dificultad extrema de retornar por medios naturales a las condiciones naturales, o hacerlo en un periodo mayor de 10 años

Fuente: elaboración propia.

- Probabilidad de ocurrencia (PO): hace referencia al tiempo que transcurre entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sobre el medio (tabla 8).
- Tendencia (TD): señala el incremento progresivo de la manifestación del efecto cuando la acción que lo genera persiste de forma continuada o reiterada (tabla 9).

Tipo (TI): hace referencia a la relación causa-efecto y se interpreta como la forma de manifestación del efecto sobre un factor como consecuencia de una acción (tabla 10).

Tabla 8. Clasificación y valores asignados para la probabilidad de ocurrencia de los pasivos ambientales

Probabilidad de ocurrencia (PO)		
Clasificación	Valor	Impacto
Largo plazo	1	El efecto demora más de 5 años en manifestarse
Medio plazo	2	Se manifiesta en términos de 1 a 5 años
Inmediato	4	Se manifiesta en términos de 1 año
Crítico	(+4)	En caso de suceder alguna circunstancia crítica en el momento del impacto se adicionan 4 unidades

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9. Clasificación y valores asignados para tendencia de los pasivos ambientales

Tendencia (TD)		
Clasificación	Valor	Impacto
Simple	1	Es el impacto que se manifiesta sobre un solo componente ambiental, o cuyo modo de acción es individualizado, sin consecuencia en la inducción de nuevos efectos ni en su acumulación
Acumulativo	2	Es el efecto que al prolongarse en el tiempo la acción del agente inductor, incrementa progresivamente su gravedad, al carecer el medio de mecanismos de eliminación con efectividad temporal similar a la del incremento de la acción causante del impacto

Fuente: elaboración propia.

Tabla 10. Clasificación y valores asignados para el tipo de los pasivos ambientales

Tipo (TI)		
Clasificación	Valor	Impacto
Indirecto o secundario	1	Su manifestación no es directa de la acción, sino que tiene lugar a partir de un efecto primario, actuando este como una acción de segundo orden
Directo o primario	2	Su efecto tiene una incidencia inmediata en algún factor ambiental, siendo la representación de la acción consecuencia directa de esta

Fuente: elaboración propia.

Tabla 11. Valores para calificación de impactos (negativos / positivos)

Impactos irrelevantes	Impactos con valores de importancia menor a -25 (<-25)
Impactos moderados	Impactos con valores de importancia entre -25 y menor a -50 (-25 y <-50)
Impactos severos	Impactos con valores de importancia entre -50 y -75
Impactos críticos	Impactos con valores de importancia mayor a -75 (>-75)

Fuente: elaboración propia.

La importancia de un impacto se determina por la combinación de los criterios de calificación. En la tabla 11 se presentan los valores mínimos y máximos, para diferentes tipos de importancia, en impactos de carácter negativo e impactos de carácter positivo.

Componente atmosférico

El contaminante que más afectación produce la actividad minera es material particulado (Dp World, 2010).

- **Componente físico**

Es el componente que mayor afectación recibe a causa de la actividad extractiva. Comprende los siguientes elementos:

- **Suelo:** aumento en la intensidad de la erosión, pérdida parcial de la humedad natural del suelo, cambio de las propiedades físicas y químicas.
- **Geomorfología:** cambios en la continuidad de la superficie del terreno y su inclinación, aumento en la probabilidad de existencia de procesos geomorfológicos degradantes (erosión, deslizamientos, fenómenos de remoción en masa).

- **Componente de aguas superficiales**

Se producen cambios desfavorables en la velocidad del escurrimiento, desarrollo de escurrimiento superficial laminar y lineal, aumento de acarreo de sedimentos a los cuerpos superficiales de agua y aumento de los sólidos en suspensión en las corrientes fluviales, además de una posible alteración de parámetros físicos y químicos de los cuerpos de agua por incorporación accidental de volúmenes de material, residuos de lubricantes, combustibles y otras sustancias (Dp World, 2010).

- **Componente paisajístico**

Es el más notorio, debido a la pérdida de la vegetación de las zonas explotadas. Este tipo de industria genera un cambio parcial o total del paisaje y deja una cicatriz de gran magnitud, imborrable en la medida en que estas zonas no se reconforman ni se recuperan. Se realizan cambios en las características visuales como estructura, color y línea. A esto se suma la intrusión de elementos ajenos al entorno natural como construcciones propias de la industria y presencia de maquinaria y hornos (Dp World, 2010).

- **Componente biótico**

Se compone de fauna y flora. El proceso de extracción de materiales de construcción llega a generar una deforestación parcial o total de ejemplares arbóreos y arbustivos, fragmentación y disminución de hábitats y migración de las especies propias del lugar (Dp World, 2010).

● Componente socioeconómico

En este componente se pueden presentar impactos de carácter positivo cuando existe una generación de empleo y se tiene un beneficio económico producto de la actividad minera, pero pueden darse también impactos de carácter negativo cuando se presenta afectación a la calidad de vida de las personas, de forma directa o indirecta.

EVALUACIÓN DE LOS PASIVOS AMBIENTALES DE LA CANTERA DE VILLA GLORIA

En la tabla 12 se presenta el consolidado de la evaluación de los impactos negativos de la cantera, de acuerdo con la metodología seleccionada.

Tabla 12. Matriz de calificación cualitativa y cuantitativa de pasivos ambientales de la cantera Villa Gloria

Cantera Villa Gloria														
Componente Ambiental	Elemento ambiental	Etapa	Cierre y abandono de la cantera										IM	Clasificación
		Criterios	NA	MG	EX	DR	RV	RC	PE	TD	TI	PO		
		Factor Ambiental												
Atmosférico	Aire	Afectación por emisión de material particulado	(-)	1	1	1	4	8	1	1	1	1	-22	Irrelevante
		Afectación por emisión de gases de combustión	(-)	1	1	1	1	8	1	1	1	1	-19	Irrelevante
		Afectación por la generación de ruido	(-)	1	1	1	1	8	1	1	1	1	-19	Irrelevante
Físico	Suelo	Afectación por remoción de la capa orgánica	(-)	8	4	12	12	8	12	2	1	1	-80	Crítico
		Afectación por procesos erosivos	(-)	8	4	12	4	8	1	2	2	4	-65	Severo
		Afectación por el cambio de drenaje superficial	(-)	8	8	4	4	8	1	1	1	1	-60	Severo
		Afectación por movimiento en masa	(-)	8	2	12	8	8	4	1	1	2	-64	Severo
		Afectación por la generación de residuos	(-)	4	2	1	4	8	1	2	2	4	-38	Moderado
	Agua	Variación de la dinámica fluvial	(-)	4	4	4	4	8	12	1	1	4	-54	Severo
		Variación en las características fisicoquímicas (calidad) o sedimentación	(-)	8	4	12	4	8	12	2	2	4	-76	Crítico
	Paisaje	Variación de las geoformas iniciales	(-)	8	8	12	12	12	1	1	1	1	-80	Crítico
		Cambio en la percepción paisajística por la presencia de elementos extraños	(-)	8	8	12	8	8	1	1	2	1	-73	Severo
Biótico	Flora	Presencia de especies invasoras	(-)	4	1	1	4	8	8	1	1	4	-41	Moderado
		Disminución o muerte de individuos	(-)	2	2	1	8	8	1	1	2	4	-35	Moderado
		Remoción de la cobertura vegetal	(-)	8	4	4	8	8	8	1	2	4	-67	Severo
	Fauna	Migración de especies	(-)	4	1	4	1	8	4	1	1	4	-37	Moderado
		Disminución o muerte de individuos	(-)	4	1	4	4	8	1	1	2	4	-38	Moderado

Cantera Villa Gloria														
Componente Ambiental	Elemento ambiental	Etapa	Cierre y abandono de la cantera										Clasificación	
		Factores	NA	MG	EX	DR	RV	RC	PE	TD	TI	PO		IM
		Factor Ambiental												
Socio-Económico	Económico	Generación de empleo	(-)	4	1	12	12	12	1	1	1	1	-54	Severo
		Aumento del ingreso familiar	(-)	4	1	12	4	8	4	1	2	2	-47	Moderado
	Social	Mejoramiento de la calidad de vida	(-)	8	8	8	4	8	1	1	2	2	-66	Severo
		Afectación de las vías públicas	(-)	4	1	1	4	8	1	1	2	2	-33	Moderado
		Generación de expectativas	(-)	2	1	1	4	8	1	1	2	2	-27	Moderado

Fuente: elaboración propia.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez realizada la evaluación y valoración de los pasivos ambientales en la cantera de Villa Gloria a través de la metodología de Gómez Orea, se determinan las afectaciones por cada componente.

Componente atmosférico

En la figura 2 se observa que el valor máximo fue de -22. Esto indica que la *importancia del pasivo ambiental* del aire es *irrelevante*; por lo tanto, las obras de mitigación y remediación no son de gran prioridad. Además, este componente no es afectado en gran escala, ya que la cantera está abandonada en la actualidad.

Componente ambiental físico

Elemento suelo

Los resultados obtenidos y reflejados en la figura 3 determinan que el elemento suelo presenta valores dominantes mayores de -50, lo cual quiere decir que los impactos presentados son de *importan-*

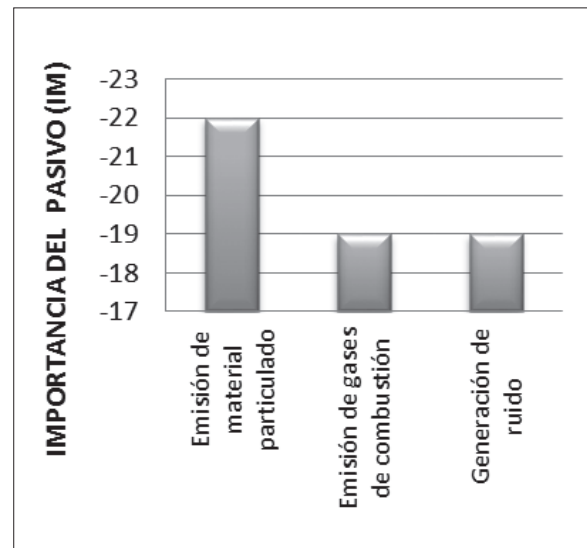


Figura 2. Importancia del pasivo ambiental del elemento aire en la cantera Villa Gloria

Fuente: elaboración propia.

cia severa. Por consiguiente, se necesitan obras de remediación y mitigación de forma inminente, para así impedir fenómenos como deslizamientos, remoción de masas y procesos erosivos, teniendo en cuenta que la zona es catalogada por el Fondo de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá (Fopae) como zona de alta amenaza sísmica y remoción de masa (Fopae, 2010).

Elemento agua

En cuanto al elemento hídrico se percibió que la cantera de estudio contribuye en un gran rango a la contaminación del agua, y que esta agua a su vez llega a la quebrada Limas, por la escorrentía superficial y las aguas filtradas. Por lo tanto, afecta sus propiedades físicas y químicas, ocasionando alteraciones en olor, sabor y color. De acuerdo con los resultados de la evaluación, se evidencian valores de *importancia del pasivo* de orden *crítico*, razón por la cual se deben realizar jornadas de limpieza y descontaminación del cuerpo de agua (ver figura 4).

Elemento paisaje

Este elemento es quizás el más afectado por la explotación y abandono de la cantera Villa Gloria, debido a que el cerro Colorado ha perdido su forma inicial y por eso, el impacto visual es de gran importancia. En consecuencia, el resultado del estudio demuestra que su *importancia* es de orden *moderado y crítico* (figura 5).

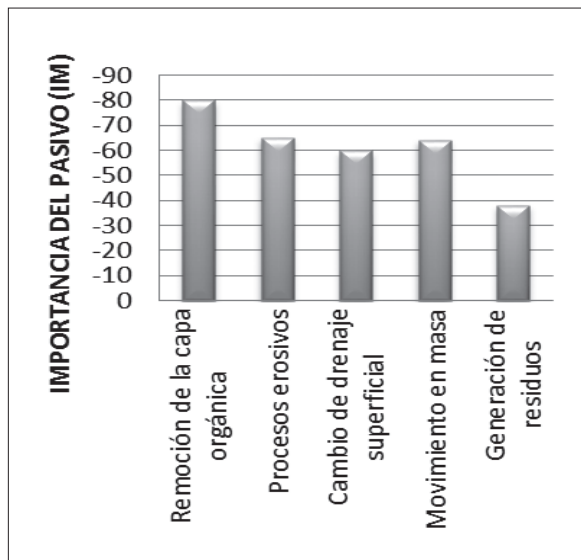


Figura 3. Importancia del pasivo ambiental del elemento suelo en la cantera Villa Gloria

Fuente: elaboración propia.

Componente ambiental biótico

Elemento flora

Este elemento presenta una importancia máxima en la remoción de la cobertura vegetal, con un valor de -67 (figura 6). Este hecho define que este pasivo es de *importancia severa*, razón por la cual

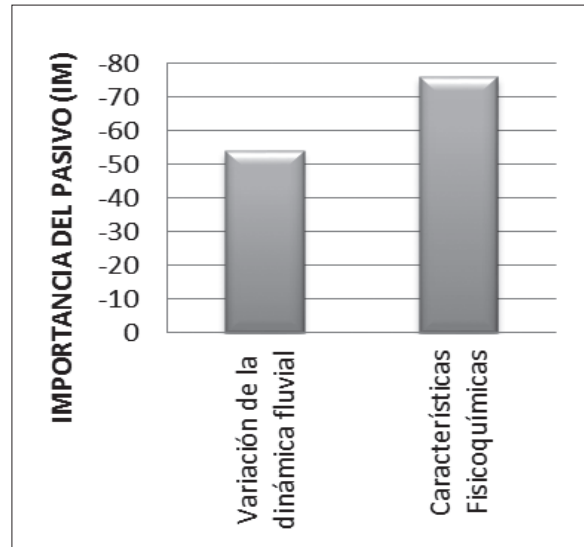


Figura 4. Importancia del pasivo ambiental del elemento agua en la Cantera Villa Gloria

Fuente: elaboración propia.

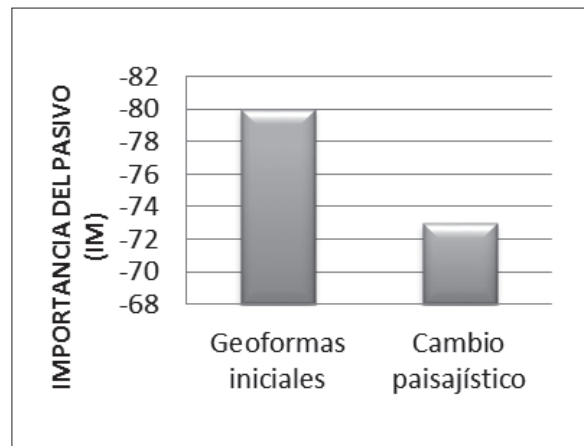


Figura 5. Importancia del pasivo ambiental del elemento paisaje en la cantera Villa Gloria

Fuente: elaboración propia.

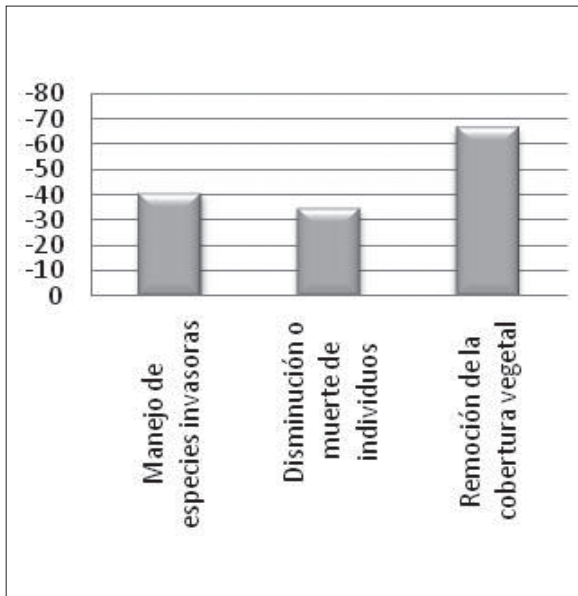


Figura 6. Importancia del pasivo ambiental del elemento flora en la cantera Villa Gloria

Fuente: elaboración propia.

se requiere un trabajo colectivo entre las entidades ambientales y la comunidad para restaurar la zona.

Elemento fauna

Por otro lado, la fauna que alguna vez habitó en las zonas de las canteras fue emigrando, debido a la contaminación, el crecimiento urbano y la actividad minera que hubo en este lugar. No obstante, en las zonas de estudio se evidenciaron roedores, aves e insectos que llegaron por la presencia de residuos sólidos y aguas contaminadas (figura 7).

Componente ambiental socioeconómico

Los pasivos ambientales socioeconómicos están relacionados con el tipo y ubicación de la cantera, ya que se presentan diversos elementos o factores como generación de empleo, aumento de ingresos familiares, calidad de vida, afectación de vías públicas y generación de expectativas, que resultan beneficiosos o perjudiciales según la etapa del ciclo minero que se evalúe.

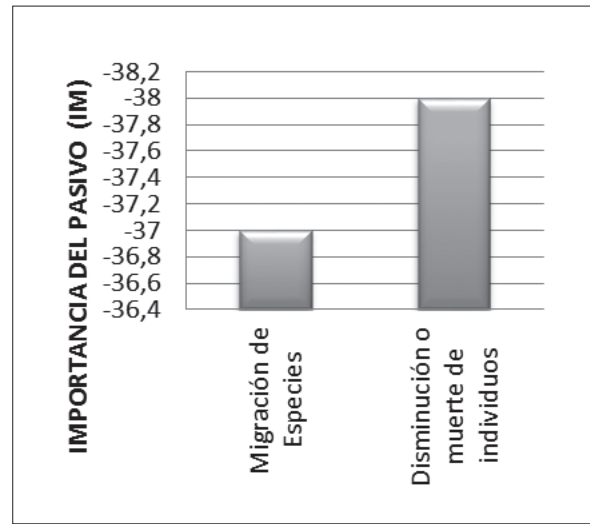


Figura 7. Importancia del pasivo ambiental del elemento fauna en la cantera Villa Gloria

Fuente: elaboración propia.

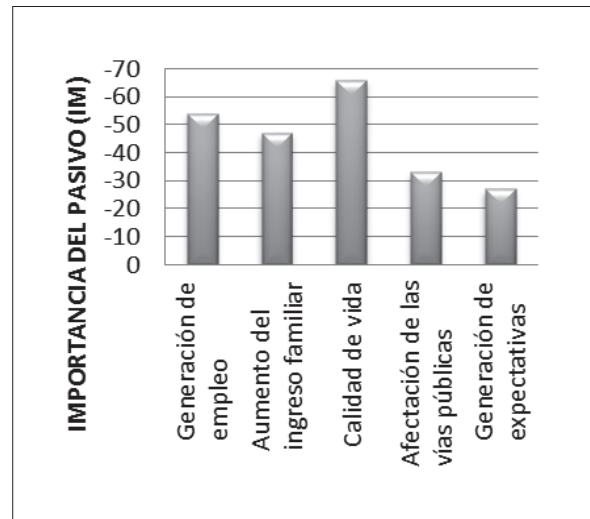


Figura 8. Importancia del pasivo ambiental del elemento socioeconómico en la cantera Villa Gloria

Fuente: elaboración propia.

Los resultados del estudio muestran que la calidad de vida de las urbanizaciones aledañas se afectó con un pasivo IM de -66, lo que indica que es de orden *severo*, a causa del riesgo generado por el abandono de la cantera, ya que estos sitios se prestan para hurtos, consumo de sustancias alucinógenas y botaderos de basura.

CONCLUSIONES

La evaluación de los pasivos ambientales en la cantera Villa Gloria arrojó que los componentes ambientales más afectados fueron el componente físico y el componente biótico.

En el componente ambiental físico los impactos ambientales por la remoción de la capa orgánica del suelo y los movimientos en masa obtuvieron la calificación más crítica, lo cual indica que son un riesgo permanente en la zona y por tal razón se requieren medidas de mitigación de forma inmediata.

El componente paisajístico obtuvo resultados de un pasivo ambiental severo, debido a la variación de las geoformas iniciales.

Una vez diagnosticados los pasivos ambientales con mayor incidencia en la cantera, se concluyó que para mitigar la variación de las geoformas

iniciales se debe realizar un estudio geológico y económico para establecer los trabajos de remediación y sus costos.

No obstante, se proponen las siguientes medidas de remediación y restauración: estabilización de taludes mediante cortes y rellenos compactados o mediante inyecciones de cemento (colocación de pernos de anclaje, cubrimiento de los taludes con mallas y control de la infiltración del agua por las terrazas y niveles superiores de los cortes), o en su defecto la construcción de estructuras de contención, si las condiciones físicas y otras condiciones impiden la conformación de los taludes. Para la recuperación de la capa orgánica se estableció que una vez recuperadas las geoformas iniciales, se proceda a la implantación de biomantos que permiten, por medio de fibra natural, la generación de capa orgánica y posible reforestación. Adicionalmente, obras de drenaje como lloraderos o cunetas que permitan un manejo adecuado a la escorrentía y las aguas lluvias.

REFERENCIAS

- Abellán, M. y Barja, A., “Referencia a los tres métodos más utilizados en la valoración de impactos ambientales”, *Revista de la Facultad de Educación de Albacete*, 1993, pp. 199-210.
- Abellán, M. y García, F., *Evaluación de impacto ambiental de proyectos y actividades agroforestales*, Albacete: Universidad de Castilla, 2006.
- Ardila, N. y Pineda, M., *Pasivos ambientales mineros, estudio de las canteras de la zona del cerro Colorado y en las canteras localizadas en Ciudad Bolívar - Bogotá D.C.* (tesis para optar el título de Ingeniero Civil), Universidad Distrital Francisco de Paula Santander, Bogotá, 2013.
- Contraloría de Bogotá, *Informe preliminar de auditoría especial al control y seguimiento a la recuperación morfológica y ambiental de las explotaciones mineras*, Bogotá: Contraloría de Bogotá, 2004.
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, *Guía minero ambiental para planes de cierre minero*, Cali: Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - Universidad de Caldas, 2009.
- Dp World, *Estudio de impacto ambiental para el diseño, construcción, operación y cierre del nuevo terminal de contenedores adyacente al rompeolas sur del terminal portuario de Callao*, 2010. Recuperado el 1º de diciembre de 2012, de <http://www.mtc>.

gob.pe/portal/transportes/asuntos/proyectos/Muelle_Sur/Capitulo_6_Pasivos_Ambientales.pdf

Fondo de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá (Fopae), *Zonificación de la respuesta sísmica de Bogotá para el diseño sísmoresistente de edificaciones*, 2010. Recuperado el 15 de enero de 2013, de <http://www.fopae.gov.co/portal/page/portal/sire/gestionRiesgo/Sismo/ZRS/docs/Informe%20final%20Zonificacion%20de%20la%20respuesta%20sismica%20de%20Bo.pdf>

Gómez, D., *Evaluación del impacto ambiental*, Barcelona: Editorial Aedos, 1999.

Infante, C., *Pasivos ambientales mineros, barriendo bajo la alfombra*, Lima: Observatorio de Asuntos Mineros de America Latina - Broederlijk Delen, 2011.

Ministerio de Minas y Energía, *Así es la minerías*, 2009. Recuperado el 15 de enero de 2013, de http://www.simco.gov.co/Portals/0/archivos/Cartilla_Mineria.pdf

Ministerio del Medio Ambiente, *Memorias de los talleres regionales sobre pasivos ambien-*

tales en Colombia, Bogotá D. C.: Ministerio del Medio Ambiente, 2001.

Secretaría Distrital de Ambiente, *Atlas Ambiental de Bogotá D. C.*, Bogotá D. C.: Secretaría Distrital de Ambiente, 2007.

Secretaría Distrital de Ambiente, *Aula ambiental Soratama en la tierra del sol*, Bogotá D. C.: Secretaría Distrital de Ambiente, 2007.

Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, *Análisis prospectivo de las zonas afectadas por minería en el Distrito Capital para la identificación de alternativas para su recuperación. Convenio 034/2008*, Bogotá D. C.: Secretaría Distrital de Ambiente, 2011.

Yurupari, A., *Pasivos ambientales mineros en Suramérica: Informe elaborado para la Cepal, el Servicio Nacional de Geología y Minería y el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales*, 2000. Recuperado el 8 de noviembre de 2012, de <http://www.eclac.cl/dmni/noticias/seminarios/4/13604/Informe%20Pasivos%20Ambientales%20Mineros%20en%20Sudam%C3%A9rica.pdf>

Efecto del contenido de agua sobre la resistencia y la velocidad de pulso ultrasónico del concreto

Effect of the Water Content on the Strength and the Ultrasonic Pulse Velocity of Concrete

LUZ AMPARO QUINTERO ORTIZ

Ingeniera metalúrgica, especialista en Docencia Universitaria, magíster en Ingeniería Metalúrgica, docente de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

Contacto: luzquint@uis.edu.co

RICARDO ALFREDO CRUZ HERNÁNDEZ

Ingeniero civil, doctor en Ciencias Técnicas, docente de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia

Contacto: racruz@uis.edu.co

DEYCI YAMILE PEÑA SANTOS

Ingeniera metalúrgica, especialista en Soldadura, coordinadora de proyectos de ingeniería de la Compañía de Gerenciamiento de Integridad S.A.A. Bogotá, Colombia.

Contacto: deyci.penasantos@cgin.co

Fecha de recepción: 31 de mayo de 2013

Clasificación del artículo: investigación

Fecha de aceptación: 14 de marzo de 2014

Financiamiento: Universidad Industrial de Santander

Palabras clave: concreto, curado, resistencia a la compresión, velocidad de pulso ultrasónico

Keywords: concrete, compressive strength, curing, ultrasonic pulse velocity

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es determinar correlaciones entre el contenido de agua del con-

creto, la resistencia a la compresión y la velocidad de pulso ultrasónico (VPU). Se estudiaron probetas cilíndricas de concreto de 200 mm de largo x 100 mm de diámetro, elaboradas a partir

de una mezcla de cemento Portland tipo I y una relación agua/cemento (a/c) de 0,5. El curado de las muestras se realizó en condiciones estándar y en condiciones ambientales bajo techo, determinando el contenido de agua en cada probeta por diferencia de pesos y sometiendo las muestras a ensayos ultrasónicos y de resistencia a la compresión durante los primeros 28 días después del fraguado. A partir de los resultados obtenidos, se encontró que un modelo de tipo logarítmico puede describir adecuadamente el comportamiento del contenido de agua, la VPU y la resistencia a la compresión en función del tiempo de curado, para cada condición estudiada. Adicionalmente, se verificó que las condiciones de curado investigadas afectan significativamente el contenido de agua del concreto y los valores de resistencia a la compresión y VPU alcanzados.

ABSTRACT

The purpose of this study is to determine correlations among content of concrete water, compressive resistance and Ultrasonic Pulse Velocity (UPV). Cylindrical concrete specimens, 200 mm long and 100 mm in diameter made from a mixture of Portland cement type I, and a water/cement ratio (w/c) 0.5, have been studied. The curing of the specimens was performed under standardized conditions and indoor environmental conditions. It determines the water content in each specimen by difference in weight and subjecting them to UPV tests and to compressive resistance test during the first 28 days after the setting. The results show a model of logarithmic type that describes the relationship between the compressive strength with the water content of concrete and the UPV during the curing stages proposed.

* * *

INTRODUCCIÓN

El concreto es uno de los materiales más utilizados por la industria de la construcción en el mundo. Este material puede desarrollar gran variedad de propiedades con un campo de aplicación muy amplio. Por ello la importancia de estudiar su comportamiento y desarrollar nuevas tecnologías de monitoreo e inspección que sean confiables y permitan ejercer un control rápido y efectivo sobre estas propiedades, sin alterarlas (Kim, 2009; Shah y Ribakov, 2009).

Durante el proceso de fabricación, el concreto está expuesto a varias condiciones que pueden afectar sus propiedades mecánicas y por tanto su durabilidad. Por esta razón, es conveniente ejercer un control adecuado de la temperatura, las características de los materiales, las dosificaciones de la mezcla y las condiciones de curado, siendo este último, un factor clave para el desarrollo de las propiedades finales (Kovler y Roussel, 2011;

Wang y Subramaniam, 2011; Carcaño y Moreno, 2005). En las estructuras existentes se requiere la determinación de las características físicas, químicas y mecánicas, entre otras, de los materiales que las componen, con el fin de conocer su estado, su resistencia y su comportamiento ante las diversas sollicitaciones a las que son sometidas durante su vida útil, en particular en los procesos de evaluación de vulnerabilidad y rehabilitación estructural. Esta caracterización se puede realizar por medio de ensayos destructivos, o por técnicas no destructivas como la VPU que ha sido empleada exitosamente para evaluar la calidad del concreto durante más de 60 años (Kraub y Hariri, 2006). Debido a la heterogeneidad del material se deben aplicar bajas frecuencias, ya que estas se ven limitadas por el tamaño máximo del agregado en la mezcla (Carcaño, Moreno y Castillo, 2004). Generalmente se emplean palpadores con frecuencias entre 25 y 100 kHz para medir la velocidad de pulso en el concreto (Kraub y Hariri, 2006; Icontec, 2006; Malhotra y Carino, 2004).

La velocidad de una onda de compresión a través de un material sólido depende de las propiedades elásticas y de la densidad del medio en que se propague (Qasrawi, 2000; Kim y Kim, 2009; Carcaño y Moreno, 2008).

Para la realización de este ensayo no destructivo (END) se puede emplear el método de transmisión directa, en el cual un palpador transmite una onda de compresión dentro del concreto, mientras otro palpador ubicado a una distancia L en la cara opuesta recibe la señal transmitida. El instrumento de medición muestra el tiempo de tránsito Δt que le tomó a la onda viajar a través del concreto, de manera que la velocidad de pulso se define mediante la ecuación (1).

$$V = \frac{L}{\Delta t} \quad (1)$$

Donde:

L = longitud de la trayectoria

Δt = tiempo que requiere el pulso para atravesar tal longitud.

Adicionalmente a las propiedades del concreto, es necesario tener en cuenta varios factores que pueden influir en la VPU, como la porosidad, el tamaño de agregados y los aditivos utilizados, entre otros (Malhotra y Carino, 2004; Qasrawi, 2000; Carcaño y Moreno, 2008; Mehta y Monteiro, 2006). En el presente trabajo se enfatizó en las condiciones de curado y en el contenido de agua a través de la etapa de curado, factores que ejercen efectos de gran importancia al establecer correlaciones para estimar la resistencia a la compresión del concreto (Malhotra y Carino, 2004; Popovics, 2005; Quintero, Herrera, Corzo y García, 2011). La resistencia a la compresión es un indicador de calidad del concreto, de allí el interés de usar pulsos ultrasónicos para estimar dicha resistencia (Popovics, 2005; Del Río, Jiménez, Lopez, Rosa, Ruffo y Paniaqua, 2004).

Por lo anterior, en esta investigación se planteó estudiar el contenido de agua presente en muestras de concreto, asociado con diferentes condiciones de curado, y su evaluación empleando ensayos destructivos y no destructivos. Las correlaciones halladas en el presente trabajo permiten evaluar la resistencia a la compresión del concreto a edades tempranas, a partir de medidas de velocidad de pulso ultrasónico, empleando un diseño de mezcla determinado y curado en dos ambientes.

METODOLOGÍA

El concreto utilizado en el presente trabajo se diseñó a partir de una relación a/c de 0,5, empleando cemento Portland tipo I, agregado grueso de $\frac{3}{4}$ ", agregado fino con un módulo de finura de 2,92 y agua potable. Se elaboraron probetas cilíndricas de 200 mm de largo x 100 mm de diámetro (Icontec, 1995). Una parte de las muestras se dejaron curar en condiciones estándar (sumergidas en agua y temperatura promedio de 23,5 °) (Icontec, 1995) y las restantes se dejaron en condiciones ambientales bajo techo a una temperatura promedio de 27 °C.

Las probetas fueron ensayadas durante la etapa de curado en los días 2, 4, 6, 9, 14, 21 y 28. Para cada día de prueba se ensayaron tres probetas curadas en condiciones estándar y dos curadas en condiciones ambientales. Inicialmente, a cada probeta se le determinó el contenido de agua por diferencia de pesos, entre un peso inicial después del desencofrado y el peso final en cada día de ensayo. A las probetas se les aplicó el ensayo no destructivo mediante la VPU y el ensayo a la compresión (destructivo). A cada probeta se le pulieron las superficies transversales, para lograr un mejor acoplamiento de los palpadores y una mejor exactitud en la medición de velocidad. La VPU se midió por el método de transmisión directa, con el equipo de baja frecuencia *CNS Farnell Punditplus*, en tres puntos diferentes del área transversal de los cilindros, tomando dos lecturas por punto. Se

emplearon palpadores de 54 kHz de frecuencia, modo de pulso continuo y 500 v (Casali, Caravaca, Acevedo, Niño, Bizzotto y Torra, 2007).

Los ensayos destructivos se realizaron en la máquina análoga de ensayos a compresión Amsler, inmediatamente después de los ensayos no destructivos.

RESULTADOS

Las figuras que se presentan fueron obtenidas a través del *software* estadístico Statgraphics Centurion XV versión 15.2.06, en el cual se realizó una regresión simple con los valores promedio por día de ensayo para el contenido de agua, la VPU y la resistencia a la compresión, hallándose un modelo de comportamiento para cada condición de curado con un nivel de confianza del 95% en cada caso. Los parámetros de dichos modelos fueron estimados por el método de mínimos cuadrados.

En la figura 1 se presenta el comportamiento del contenido de agua a través de la etapa de curado.

De la figura 1 a) se puede observar la línea de ajuste logarítmico, en la cual el contenido de agua (CA) presenta un comportamiento ascendente a

través del tiempo de curado, debido al fenómeno de absorción experimentado por las probetas sumergidas en agua, mostrando un mayor crecimiento hasta el día 9, a partir del cual la ganancia en el contenido de agua se hace en menor proporción. Esto podría deberse a que las probetas tienden a alcanzar un punto de saturación y por lo tanto no siguen absorbiendo más agua del medio y llegan a un peso constante (Malhotra y Carino, 2004). Este fenómeno explicaría el comportamiento asintótico descrito por el modelo logarítmico propuesto en la ecuación (2) para probetas curadas en agua, donde (t) representa el tiempo en días.

$$CA=0,65236+0,09066*\ln(t) \quad (2)$$

En la figura 1 b) para las probetas curadas al aire se representa el contenido de agua que aún está presente en la mezcla y no se ha evaporado en la atmósfera circundante. La línea de ajuste logarítmico define un comportamiento descendente del contenido de agua en la mezcla, a través del tiempo de curado, en donde las diferencias en el contenido de agua son considerables hasta el día 14, a partir del cual la curva se vuelve más suave, mostrando un comportamiento asintótico. La pérdida de agua se debe al consumo por reacción de hidratación en el concreto y a la evaporación

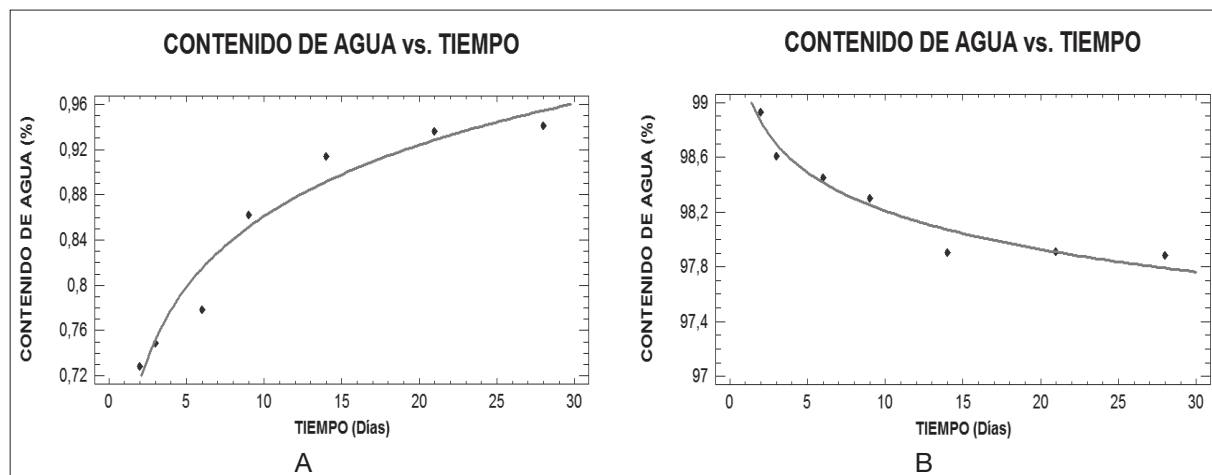


Figura 1. Variación del contenido de agua vs. tiempo de curado en probetas a) curadas en agua y b) curadas al aire
Fuente: elaboración propia.

de agua libre por capilaridad y difusión. Este fenómeno ocurre hasta que las probetas alcancen un peso constante, lo cual está de acuerdo con lo expresado por Rodríguez y Bonal (2002). Hacia los extremos de cada gráfica se observa un punto límite que corresponde al contenido de agua en la mezcla (figura 1a) y otro relacionado con la cantidad máxima de agua que se puede perder por evaporación (figura 1b) (Rodríguez y Bonal, 2002). El modelo logarítmico propuesto en la ecuación (3) permite determinar el cambio en el contenido de agua en la mezcla a través del tiempo en probetas curadas al ambiente.

$$CA=99,139-0,405*\ln(t) \quad (3)$$

En la tabla 1 se encuentran los parámetros del modelo obtenido para cada condición de curado. Se observa que los altos coeficientes de correlación muestran una fuerte relación entre las variables mencionadas, demostrando que los modelos logarítmicos propuestos en las ecuaciones (2) y (3) se ajustan en un 95,241 y 94,641%, respectivamente, con bajos errores de estimación.

La figura 2 muestra la variación de la VPU durante los 28 primeros días después del fraguado.

En la figura 2 a) se observa la línea de ajuste logarítmico que muestra la variación de la VPU durante la etapa de curado. Esta velocidad presenta un aumento significativo hasta el día 9, a partir

Tabla 1. Parámetros experimentales del modelo obtenido para el contenido de agua vs. tiempo en condiciones estándar y ambientales

Parámetro	Curadas en agua	Curadas en aire
Coefficiente de correlación	0,976	0,973
R cuadrada (%)	95,241%	94,641%
Error estándar	0,022	0,104

Fuente: elaboración propia.

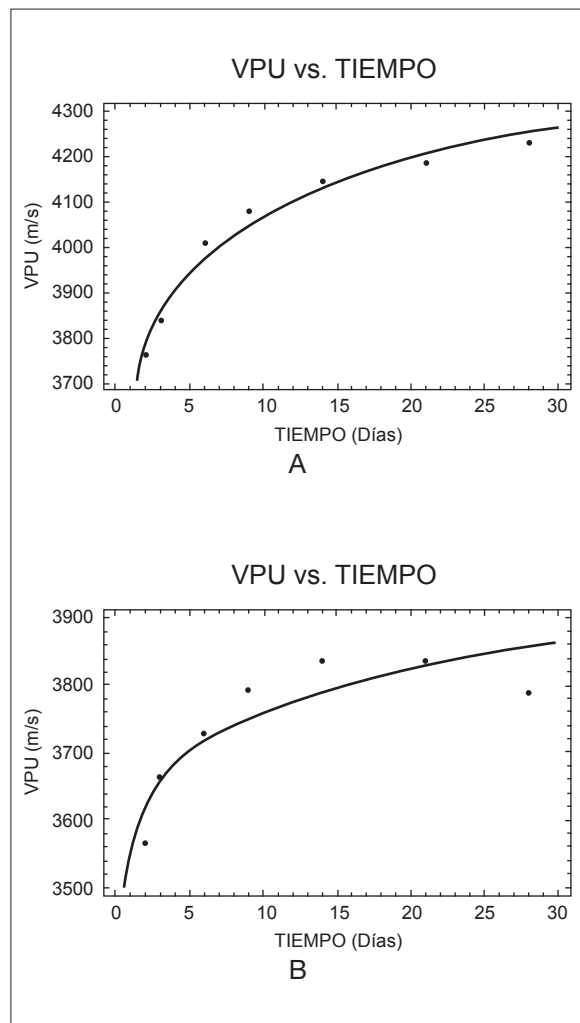


Figura 2. Variación de la VPU vs. tiempo de curado en probetas a) curadas en agua y b) curadas al aire

Fuente: elaboración propia.

del cual los valores de VPU están relativamente más cercanos. Teniendo en cuenta la figura 2 a), se deduce que la velocidad alcanza su valor máximo en el punto donde las probetas tienen el mayor contenido de agua. El modelo logarítmico propuesto en la ecuación (4) explica el fenómeno físico que indica que las probetas deben alcanzar un punto de saturación, para el cual la velocidad deberá llegar a su valor máximo asintóticamente, a medida que aumenta el tiempo de curado (Rodríguez y Bonal, 2002).

$$VPU=3.652,840+180,816*\ln(t) \quad (4)$$

La figura 2b), para las probetas curadas al aire, muestra un aumento de la VPU hasta el día 14, a partir del cual se observa un decrecimiento en dicha velocidad. Este fenómeno se puede deber a la presencia de agua en la probeta hasta este día, permitiendo tiempos de vuelo cortos y por consiguiente altas velocidades. Sin embargo, en los días 21 y 28 estas velocidades disminuyen debido al fenómeno de secado, que deja espacios capilares vacíos o llenos de aire en la matriz de concreto, aumentando el tiempo de propagación de la onda. El modelo logarítmico propuesto en la ecuación (5) puede describir adecuadamente el fenómeno físico ocurrido.

$$VPU=3.551,570+91,027*\ln(t) \quad (5)$$

Los parámetros del modelo obtenido para la variación de la VPU a través de la etapa de curado se presentan en la tabla 2. En la figura 3 se muestra la influencia de las condiciones de curado sobre la VPU. Esta variable tiene un comportamiento logarítmico a través del tiempo, con independencia de las condiciones en las que se realice el curado. Se puede apreciar además que la curva de las probetas curadas en condiciones estándar se encuentra por encima de la curva de las probetas curadas en condiciones ambientales, sobrepasando los 4200 m/s a los 28 días de curado.

Por otro lado, las probetas curadas en condiciones ambientales no alcanzan a los 28 días los

Tabla 2. Parámetros del modelo obtenido para la VPU vs. tiempo de curado en condiciones estándar y ambientales

Parámetro	Curadas en agua	Curadas en aire
Coefficiente de correlación	0,991	0,903
R cuadrada (%)	98,152	81,564
Error estándar	26,690	46,555

Fuente: elaboración propia.

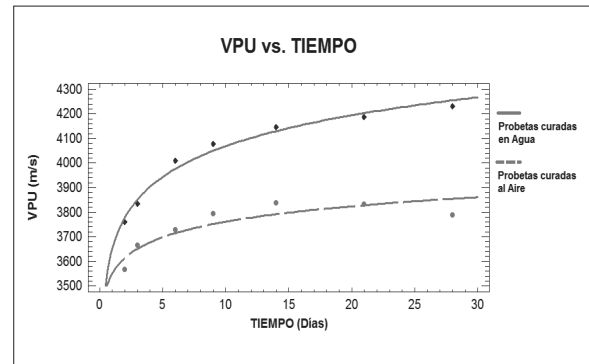


Figura 3. Influencia de las condiciones de curado sobre la VPU a través del tiempo

Fuente: elaboración propia.

3900 m/s, logrando las anteriores una ventaja del 11,73%, aproximadamente, sobre estas últimas.

Teniendo en cuenta que la velocidad ultrasónica depende de las propiedades elásticas y la densidad del medio en el cual se propague la onda (Malhotra y Carino, 2004), la señal ultrasónica gasta menos tiempo en propagarse en sólidos (concreto y productos de hidratación) y líquidos (agua contenida en los poros y espacios capilares) que en gases (poros llenos de aire o fisuras) (Kim y Kim, 2009). La onda al pasar de un medio sólido a gas se dispersa, causando un aumento en el tiempo de recorrido y por lo tanto afecta los valores de VPU.

En las probetas curadas en agua, la VPU se ve favorecida por la ganancia en el contenido de agua y la formación de productos de hidratación que permiten que la onda ultrasónica viaje con la menor interferencia posible, lo que se refleja en un crecimiento de la VPU. Las probetas curadas al aire solo se ven favorecidas por la formación de productos de hidratación en el interior de la matriz de concreto, arrojando valores bajos de VPU. Por otro lado, en estas últimas probetas la evaporación del agua deja como resultado una cantidad de poros vacíos (o llenos de aire) en la parte exterior que afectan la VPU.

El comportamiento de la resistencia a la compresión del concreto en el tiempo de curado se muestra en la figura 4. El valor promedio del diámetro para las muestras curadas en agua fue de 103,996 mm y para las curadas al aire 103,697 mm.

En la figura 4 a), para probetas curadas en condiciones estándar, se observa claramente el crecimiento de la resistencia a la compresión a través del tiempo de curado, apreciándose un alto crecimiento hasta el día 14, a partir del cual la ganancia es poca, en concordancia con los resultados de estudios reportados por diversos autores (Carcaño, Moreno y Castillo, 2004). El modelo logarítmico propuesto en la ecuación (6) describe el comportamiento de la resistencia con el tiempo.

$$f'c=11,219+6,436*\ln(t) \quad (6)$$

En la figura 4 b) la línea de ajuste también presenta un crecimiento de la resistencia a la compresión a través del tiempo de curado. En probetas curadas al aire, el aumento en la resistencia a la compresión es bastante significativo hasta

el día 6, después del cual el incremento continúa hasta el día 28 a intervalos menos pronunciados. El modelo logarítmico propuesto en la ecuación (7) describe el comportamiento de la resistencia en el tiempo en probetas curadas en condiciones ambientales. En la tabla 3 se presentan los parámetros de los modelos obtenidos.

$$f'c=13,090+4,338*\ln(t) \quad (7)$$

Según se observa en la figura 5, las resistencias alcanzadas por las probetas durante los tres primeros días de curado son prácticamente iguales. A partir de ese momento, la curva de resistencia para los cilindros curados en agua se desplaza por encima de la curva de resistencia para las probetas curadas al aire. Con independencia de las condiciones en las que se realice el curado de las muestras de concreto, los valores de la resistencia a la compresión aumentan en esta etapa debido a la formación de productos de hidratación, apreciándose un mayor crecimiento en las probetas curadas en condiciones estándar. Es así que la resistencia obtenida por las probetas curadas en condiciones ambientales es menor en un 19,5%

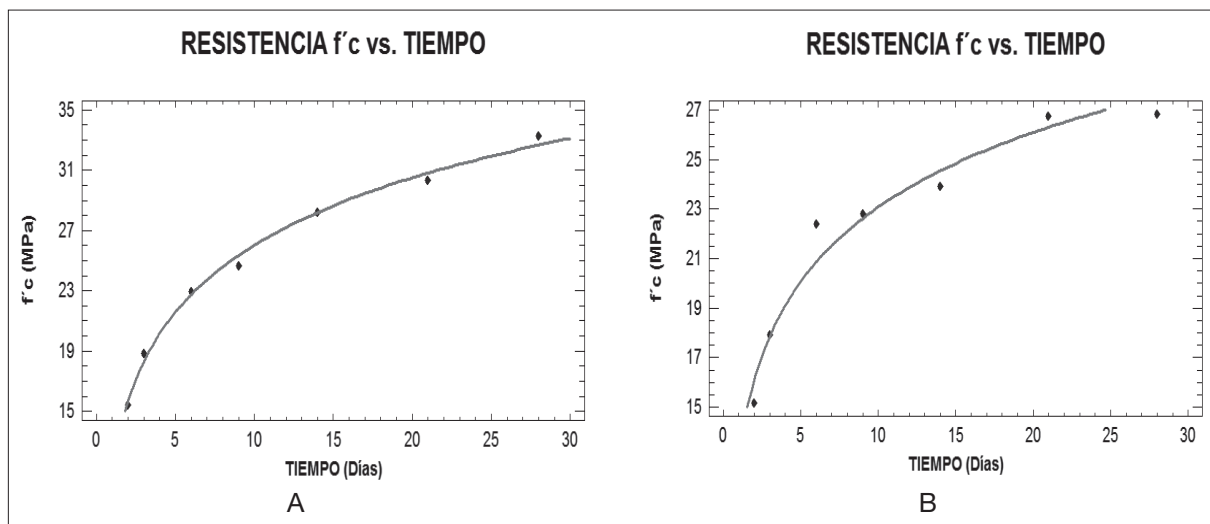


Figura 4. Variación de la resistencia a la compresión vs. tiempo de curado en probetas a) curadas en agua y b) curadas al aire

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Parámetros del modelo obtenido para la resistencia a la compresión vs. tiempo de curado en condiciones estándar y ambientales

Parámetro	Curadas en agua	Curadas en aire
Coefficiente de correlación	0,997	0,980
R cuadrada	99,335%	96,070%
Error estándar	0,566	9,444

Fuente: elaboración propia.

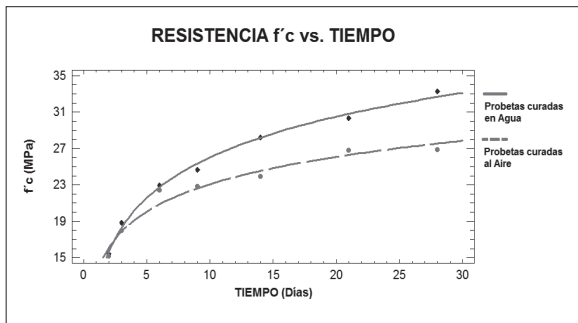


Figura 5. Influencia de las condiciones de curado sobre la resistencia a la compresión a través del tiempo

Fuente: elaboración propia.

a la obtenida en los cilindros curados en agua evaluada a los 28 días de curado.

Comparando el comportamiento de la VPU y la resistencia a la compresión, se establece una correlación gráfica entre estas dos variables que se presenta en la figura 6. Se observa que un ajuste lineal describe de mejor manera la relación entre la VPU y la resistencia a la compresión.

En la figura 6 a) se observa un crecimiento de la resistencia a la compresión a medida que aumenta la VPU en las probetas curadas en condiciones estándar. El modelo lineal muestra una relación directamente proporcional entre la resistencia a la compresión y la VPU durante el proceso de curado. Este modelo ha sido reportado por diferentes autores en algunos de sus trabajos de investigación (Malhotra y Carino, 2004; Popovics, 2005). La ecuación propuesta en la ecuación (8)

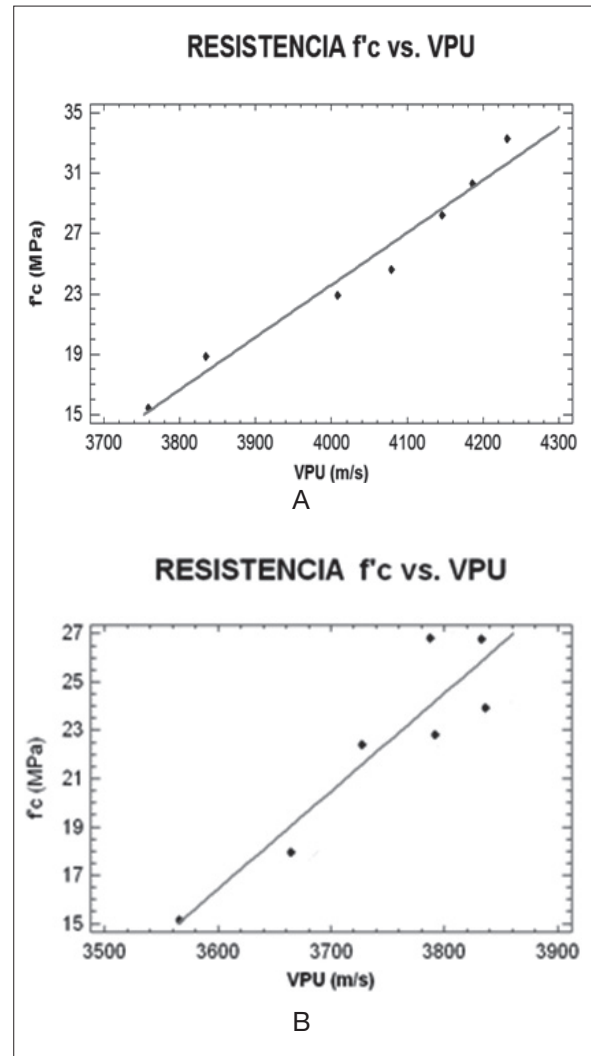


Figura 6. Correlación entre la resistencia a la compresión y la VPU en probetas a) curadas en agua y b) curadas al aire

Fuente: elaboración propia.

puede ser empleada para predecir la resistencia a la compresión en probetas curadas en condiciones estándar para el diseño de mezcla empleado en este estudio.

$$f'c = -115,597 + 0,035 * VPU \quad (8)$$

Al igual que con las probetas curadas en agua, en la figura 6 b) se observa un crecimiento en la resistencia a la compresión a medida que aumenta

la VPU en las probetas curadas en condiciones ambientales. El modelo lineal propuesto en la ecuación (9) describe el comportamiento de la resistencia a la compresión en función de la VPU durante el proceso de curado.

$$f'c = -129,511 + 0,041 * VPU \quad (9)$$

La tabla 4 muestra los parámetros del modelo obtenido para cada condición de curado. En la figura 7 se muestra la influencia de las condiciones de curado sobre la relación entre la resistencia a la compresión y la VPU. De la observación de esta gráfica se puede decir que existe una dependencia lineal (Malhotra y Carino, 2004) durante la etapa de curado, entre la resistencia a la compresión y la VPU en probetas curadas, tanto en condiciones estándar como en condiciones ambientales. Además, se observa que la línea correspondiente a las muestras curadas en agua está desplazada hacia la derecha de la línea de las muestras curadas en aire, lo cual indica mayores valores de VPU en estas y por tanto mayores resistencias.

El modelo lineal puede verse afectado por diversos factores como la relación a/c, las proporciones de la mezcla, el contenido y tipo de cemento, así como el contenido, la forma y el tamaño de agregados. El estudio de la influencia de estos factores ha sido abarcado por otros autores (Carcaño, Moreno y Castillo, 2004; Popovics, 2005), los cuales han establecido diversas correlaciones de acuerdo con los resultados de sus investigaciones.

Tabla 4. Parámetros del modelo obtenido para la resistencia a la compresión vs. la VPU en condiciones estándar y ambientales

Parámetro	Curadas en agua	Curadas en aire
Coefficiente de correlación	0,984	0,923
R cuadrada (%)	96,739	85,216
Error estándar	1,254	1,831

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con lo observado en las figuras anteriores, un curado húmedo favorece la propagación de las ondas ultrasónicas y la formación de los productos de hidratación encargados de otorgarle resistencia al concreto. En la predicción de la resistencia a la compresión del concreto mediante técnicas no destructivas, entre mayor información se tenga sobre la mezcla, más precisos serán los modelos obtenidos. Por lo anterior, se estableció una correlación entre el contenido de agua (CA), la VPU y la $f'c$, realizando una regresión múltiple mediante el software Statgraphics, tomando el CA y la VPU como variables independientes y la $f'c$ como variable dependiente.

Los modelos lineales propuestos en las ecuaciones (10) y (11) pueden ser empleados para determinar la resistencia a la compresión durante la etapa de curado en función del CA y la VPU en probetas curadas en condiciones estándar y ambientales, respectivamente.

$$f'c = -96,8142 + 16,6054 * CA + 0,02667 * VPU \quad (10)$$

$$f'c = 739,811 - 7,703 * CA + 0,0106 * VPU \quad (11)$$

Los parámetros de los modelos obtenidos se presentan en la tabla 5.

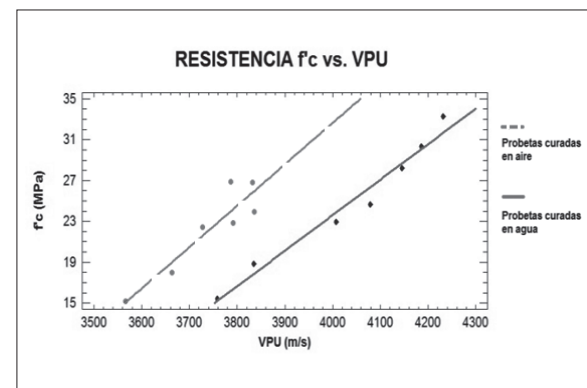


Figura 7. Comparación de la resistencia a la compresión vs. VPU en diferentes condiciones de curado

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Parámetros del modelo obtenido para la correlación entre resistencia a la compresión, la VPU y el contenido de agua en condiciones estándar y ambientales

Parámetro	Curadas en agua	Curadas en aire
R cuadrada (%)	97,168%	90,955%
Error estándar	1,307	1,60

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

Para edades tempranas del concreto, el diseño de mezcla empleado y las condiciones de curado estudiadas, se puede concluir que:

- Un modelo logarítmico puede describir adecuadamente el comportamiento del contenido de agua, la VPU y la resistencia a la compresión en función del tiempo de curado, para cada condición de estudio.
- Se verificó que, con independencia de las condiciones de curado, tanto la VPU como la resistencia a la compresión presentan un crecimiento durante los 28 días de curado, debido a la formación de los productos de hidratación en el concreto.
- Los valores de VPU y de resistencia a la compresión alcanzada por las probetas a los 28 días de curado son mayores en los especímenes curados en condiciones estándar que en los curados en condiciones ambientales. Esto demuestra la importancia de suministrarle al

concreto las condiciones de humedad necesarias para la ocurrencia de las reacciones químicas responsables del endurecimiento.

- Una correlación gráfica entre la resistencia a la compresión y la VPU muestra que el modelo lineal puede predecir con alto nivel de confiabilidad la relación entre las dos variables para cada condición de curado.
- Al realizar una correlación entre las tres variables estudiadas, tanto el contenido de agua como la VPU presentan una relación directamente proporcional a la resistencia a la compresión durante la etapa de curado y para cada condición de estudio.

FINANCIAMIENTO

El presente trabajo forma parte del proyecto de investigación denominado “Efecto sobre la velocidad de pulso ultrasónico (VPU) de factores que afectan la durabilidad del concreto”, código 5.443, la cual tuvo apoyo económico de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión de la Universidad Industrial de Santander.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad Industrial de Santander, a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión y al ingeniero Edwin Raúl Durán Moreno.

REFERENCIAS

Carcaño, S. y Moreno, E., “Influencia del curado húmedo en la resistencia a compresión del concreto en clima cálido sub-húmedo”, *Ingeniería Revista Académica*, Vol. 9, No. 3, 2005, pp. 5-17.

Carcaño, R. y Moreno, E., “Evaluation of Concrete Made with Crushed Limestone Aggregate Base on Ultrasonic Pulse Velocity”, *Construction and Building Materials*, Vol. 22, No. 6, 2008, pp. 1225-31.

- Carcaño, R., Moreno, E. y Castillo, W., “Predicción de la resistencia del concreto con base en la velocidad de pulso ultrasónico y un índice de calidad de los agregados”, *Ingeniería Revista Académica*, Vol. 8, No. 2, 2004, pp. 41-52.
- Casali, R., Caravaca, M., Acevedo, C., Niño, J., Bizzotto, M y Torra, R., *IV Conferencia Panamericana de Ensayos no Destructivos. Predicción de la resistencia compresión y determinación de propiedades estructurales a partir de ensayos no destructivos*, Buenos Aires, 2007.
- Del Río, L., Jiménez, A., Lopez, F., Rosa, F. J., Ruffo, M. M. y Paniaqua, J. M. “Characterization and Hardening of Concrete with Ultrasonic Testing”, *Ultrasonics*, Vol. 42, No. 1-9, 2004, pp. 527-30.
- Icontec, NTC 1377, *Elaboración y curado de espómenes de concreto para ensayos de laboratorio*, 1995.
- Icontec, NTC 4325, *Método de ensayo para la determinación de la velocidad de pulso ultrasónico a través del concreto*, 2006.
- Kim, B. C. y Kim, J. Y., “Characterization of Ultrasonic Properties of Concrete”, *Mechanics Research Communications*, Vol. 36, No. 2, 2009, pp. 207-14.
- Kovler, K. y Roussel, N., “Properties of Fresh and Hardened Concrete”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 41, No. 7, 2011, pp. 775-92.
- Kraub, M. y Hariri, K., “Determination of Initial Degree of Hydration for Improvement of Early-Age Properties of Concrete Using Ultrasonic Wave Propagation”, *Cement & Concrete Composites*, Vol. 28, No. 4, 2006, pp. 299-306.
- Malhotra, V. M. y Carino, N. J., “The Ultrasonic Pulse Velocity Method”, *Handbook on Nondestructive Testing of Concrete*, 2004, pp. 181-99.
- Mehta, K. P. y Monteiro, P. J., *Nondestructive Methods*, Nueva York: McGraw-Hill, 2006.
- Popovics, J., “Ultrasonic Testing of Concrete Structures”, *Materials Evaluation*, Vol. 63, No. 1, 2005, pp. 50-55.
- Qasrawi, H., “Concrete Strength by Combined Nondestructive Methods Simply and Reliably Predicted”, *Cement & Concrete Research*, Vol. 30, No. 5, 2000, pp. 739-46.
- Quintero, L. A., Herrera, J., Corzo, L. y García, J., “Relación entre la resistencia a compresión y la porosidad del concreto evaluada a partir de parámetros ultrasónicos”, *ION*, Vol. 24, No. 1, 2011, pp. 69-76.
- Rodríguez, G. M. y Bonal, C. R., *XXI Congreso Nacional de Ensayos no Destructivos. El contenido de agua en el concreto y su incidencia sobre el valor de la velocidad de pulso ultrasónico*, Republica de El Salvador, 2002.
- Shah, A. y Ribakov, Y., “Non-Destructive Evaluation of Concrete in Damaged and Undamaged States”, *Materials and Design*, Vol. 30, No. 9, 2009, pp. 3504-11.
- Wang, X. y Subramaniam, K. V., “Ultrasonic Monitoring of Capillary Porosity and Elastic Properties in Hydrating Cement Paste”, *Cement & Concrete Composites*, Vol. 33, No. 3, 2011, pp. 389-401.

Visualization Techniques Through Search Interfaces in Learning Object Repositories

Técnicas de visualización sobre interfaces de búsqueda en repositorios de objetos de aprendizaje

PAULO ALONSO GAONA GARCÍA

System Engineering, Master in Information Sciences and Communications, Ph.D candidate in Information and Knowledge Engineering. Professor at Engineering Faculty of Distrital University, Bogotá, Colombia.

Contact: pagaonag@udistrital.edu.co

ANA FERMOSE GARCÍA

Degree in computing, Doctor in Computer Science at the Deusto University. Professor at the Computer Science Department of the Pontifical University of Salamanca, Salamanca, Spain.

Contacto: afermosoga@upsa.es

SALVADOR SÁNCHEZ ALONSO

Engineer in Computer, degree on Library Science. Doctor in Computer Science at the Polytechnic University of Madrid. Professor and senior member of the Information Engineering group, a research unit dependent of the Computer Science Department of the University of Alcalá, Alcalá, Spain.

Contacto: salvador.sanchez@uah.es

ELVIS EDUARDO GAONA GARCÍA

Electronic Engineering, Master in Information Sciences and Communications, Ph.D candidate in Engineering. Professor at Engineering Faculty of Distrital University. Bogotá, Colombia.

Contact: egaona@udistrital.edu.co

Fecha de recepción: 7 de agosto de 2013

Clasificación del artículo: revisión

Fecha de aceptación: 14 de marzo de 2014

Financiamiento: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Keywords: design interfaces, information visualization, hierarchic taxonomic, visualization techniques, knowledge area, thesaurus

Palabras clave: área de conocimiento, diseño de interfaces, representaciones jerárquicas, técnicas de visualización, tesauros, visualización de información

ABSTRACT

In this paper, it is presented a study to evaluate and compare the effectiveness of eight different interfaces based on visualization techniques to carry out searching digital resources according to knowledge area and knowledge representation scheme. The navigation structure is based on hierarchical taxonomic representation through the use of Art and Architecture Thesaurus (AAT). It was adopted principles of Human Computer Interaction (HCI) for the development of search interfaces through information visualization techniques. Finally, it will be presented preliminary results in order to evaluate the most representative aspects to carry out the development of visual search interfaces of learning objects in digital repositories, according to principles of visualization techniques and hierarchic taxonomic classification.

RESUMEN

En este trabajo se presenta un estudio para evaluar y comparar la eficacia de ocho interfaces basados en técnicas de visualización, para llevar a cabo la búsqueda de recursos digitales a partir de un área de conocimiento y un esquema de representación de conocimiento. La estructura de navegación se basó en la representación taxonómica y jerárquica a través del uso de un tesoro de Arte y Arquitectura (AAT). Hemos adoptado principios de Interacción Persona Ordenador (IPO) para el desarrollo de diferentes interfaces a través de técnicas de visualización de información. Por último, se presentan los resultados preliminares, con el fin de evaluar los aspectos más representativos para llevar a cabo el desarrollo de interfaces visuales para la búsqueda de objetos de aprendizaje en repositorios digitales, a partir de una técnica de visualización y clasificación jerárquica y taxonómica.

* * *

INTRODUCTION

In recent years, digital repositories have had a representative impact on their technological development due to exponential increase in the number of digital resources published. This growth of digital resources has led to the development of several strategies, namely: i) (in terms of technology) the development of distributed repositories, heterogeneous repositories and federations of repositories as central access points to each of them (McGreal, 2008), ii) (in terms of semantics) the use of linking knowledge classification schemes by using ontologies and thesauri to provide a better understanding an organization of digital resources, and finally iii) (in terms of access) the strategies designed to offer metadata descriptions. This latter strategy turns out to be an essential condition in order to search results within a digital repository (Cechinel, Sánchez-Alonso, & Sicilia, 2009).

The assessing of visual interface that we presents, is part of our proposal research in progress, about how through visualization techniques, we aim to help creators on digital repositories to provide better services for users to: i) locate materials of a precise manner and effective form through an extensive collection of digital resources, ii) locate materials according to a thematic structure or knowledge area, and finally, iii) identify effective interfaces to performing browsing and searching processes over digital resources.

This paper presents a preliminary study for assessing the effectiveness of eight different interface designs, for help users to search digital resource according to a knowledge area. Each interface included a set of terms based on the same hierarchical representation structure of Art and Architecture Thesaurus (AAT), to carry out a search of a specific word in the knowledge area of “*styles and periods*”.

PREVIOUS EFFORT IN THE FIELD

To perform a search process, repositories provide accessing alternatives, some of them visual, through the use of user interfaces. However, previous research found that these interfaces do not meet all the needs of users (Tenopir, 2003). Users through interfaces, have difficulty finding resources (Khoo, Kusunoki, & MacDonald, 2012), and the resources discovered are not always relevant to search (Nash, 2005). Navigation problems appear when returning to previously accessed registries (Jeng, 2005). Also limitations to combine navigation and search methods (Hartson, Shiva-kumar, & Pérez-Quinones, 2004) do not allow deploying (at a glance) the materials available in the repository by thematic classification (Hitchcock et al., 2003; Tsakonas & Papatheodorou, 2008). Therefore it is difficult to establish whether it is worth looking for materials on the repository, or if it more convenient to use other external search strategies. On the other hand, the most representative learning objects repositories in Europe provide, at least, a visual representation scheme to search digital resources. For example: i) Merlot (Merlot, 2012), by textual categories and textual search, ii) MACE (Stefaner et al., 2007), by semantic, social and contextual search, iii) Ariadne (Ariadne, 2013), by textual categories, iv) E-LERA (E-LERA, 2013), through textual search, v) E-LIS (E-LIS, 2013), by textual category and textual search, and finally, vi) Organic-Edunet (Manouselis et al., 2009), by semantic, category and textual search. However, the access for each of them in some cases needs additional information to understand the use of search methods.

Recently in the field of digital repositories, visual search methods have also emerged. Some methods are focused on an adequate level of access to digital resources. The MACE project (Stefaner et al., 2007) proposes several alternatives of visual search (semantic, social and contextual) for accessing digital resources in the area of “design and architecture” through classification strate-

gies involving: keywords, location, competition, social area and facets (Stefaner & Muller, 2007). These studies focused on perspectives that use various navigation routes together with social labeling. The result of this study suggest that; firstly, the principles of navigation with multiple facets facilitates immersion processes through activities of collaborative tagging (Stefaner et al., 2009) and secondly, that the definition of metadata is essential for improving search processes through contextual-search strategies.

Several authors agree (Aula & Käki, 2005; Buttenfield, 1999; Hargittai, 2004; Hearst, 2009), that one of the fundamental principles for building search interfaces focus on the simplicity of them. For that reason, it is very important to analyze the interface from the point of view of the users, which is the main aim of HCI, in order to maximize user satisfaction. Therefore, usability strategies within the HCI field are an important factor in the development and evolution of the interfaces found in both libraries and digital repositories (Buttenfield, 1999; Fox et al., 1999; White & Roth, 2009). Other studies (G. Marchionini, 2006; White & Roth, 2009) specifically focused on strategies for searching and browsing capabilities to locate digital resources on this type of interfaces, demonstrated that conventional search and exploration strategies are not sufficiently robust nor flexible, to facilitate locating and accessing a collection of digital resources. In terms of efficiency, the results of those studies demonstrate that visual interfaces often lead to an underutilization of metadata information far below the full semantic potential, even though these visual interfaces are key to enrich the process of finding digital resources in a specific knowledge area (Cechinel et al., 2009; Fernández, 2001).

METHODOLOGY

To perform this analysis, we took as a case study a collection of more than 42,800 Europeana

digital resources, classified according to a branch of knowledge domain by AAT. Europeana is a virtual European library aimed to collect and make available the largest possible amount of Europe's cultural resources in digital form. On the other hand, AAT is a macrothesaurus developed by the Getty Foundation (Soergel, 1995). Its coverage area is art, architecture and materials related to the cultural world, and specifically to the European cultural heritage.

The taxonomic classification around the knowledge area of “*styles and periods*”, allowed us to identify the set of terms in order to visualize the navigation structure of each interface. Eight search interfaces were developed based on information visualization techniques. Thus, through Human Machine Interaction strategies (HCI) based on Marchionini and Nielsen (Gary Marchionini, 2008; Nielsen, 1994a) the navigation structure was assessed at effectiveness levels in order to determine which of the visualization techniques provided better interaction capabilities for locating digital resources according to the topics of each term selected. This work was carried out in the three phases, as illustrated in figure 1.

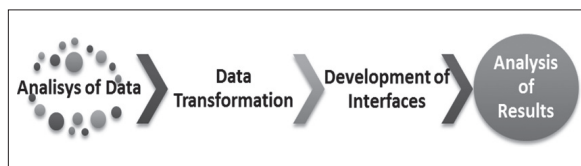


Figure 1. Working model and methodology proposed

Source: Own elaboration.

Preparation of resources to explore

We identified a total of 118 terms related to the topics of “*styles and periods*” of AAT thesaurus. We selected this topic according to aspects like their good taxonomic reference, classification and depth level. In the same manner, because this category terms are related to thematic-relation level regarding to digital resources on topics of cultural

heritage present in Europeana. Subsequently, a process was conducted to extract certain amount of digital resources within Europeana. Such exploration was carried out according to the AAT (Gaona, Sanchez-Alonso, & Fermoso, 2012). This process allowed us to define the classification of Europeana digital resources, and also to define a strategy for finding digital resources in a hierarchical fashion by designing a classification structure in terms of thematic areas, defined by AAT.

DEVELOPMENT OF INTERFACES

For our experiments we have taken interfaces that are publicly available, and technically we have adapted them so that they could adequately represent the part of the taxonomy that we were interested in. In order to this, all the interfaces were developed on an Open-Source-API based on means of the Infovis (Fekete, 2004) project and also by adapting an open-source graphical interface called Relation Browser (Stefaner, 2009). This was achieved by using ActionScript to evaluate the hierarchical structure of XML-format-based data. In the following section we analyze with more in details the type of interfaces used for our study.

Types of visualization interfaces

In order to develop interfaces, we identified eight visualization strategies, represented through graphical visualization techniques (Herman, Melancon, & Marshall, 2000). Each interface was loaded with the same taxonomic structure of the terms, related to the topic of “*styles and periods*” in the AAT thesaurus, and also with the number of digital resources explored in Europeana. By clicking on a node or link, a representation of a term in the thesaurus is obtained. Users can view the term's classification and the number of digital resources associated with each term. Figure 2 shows the eight interfaces.

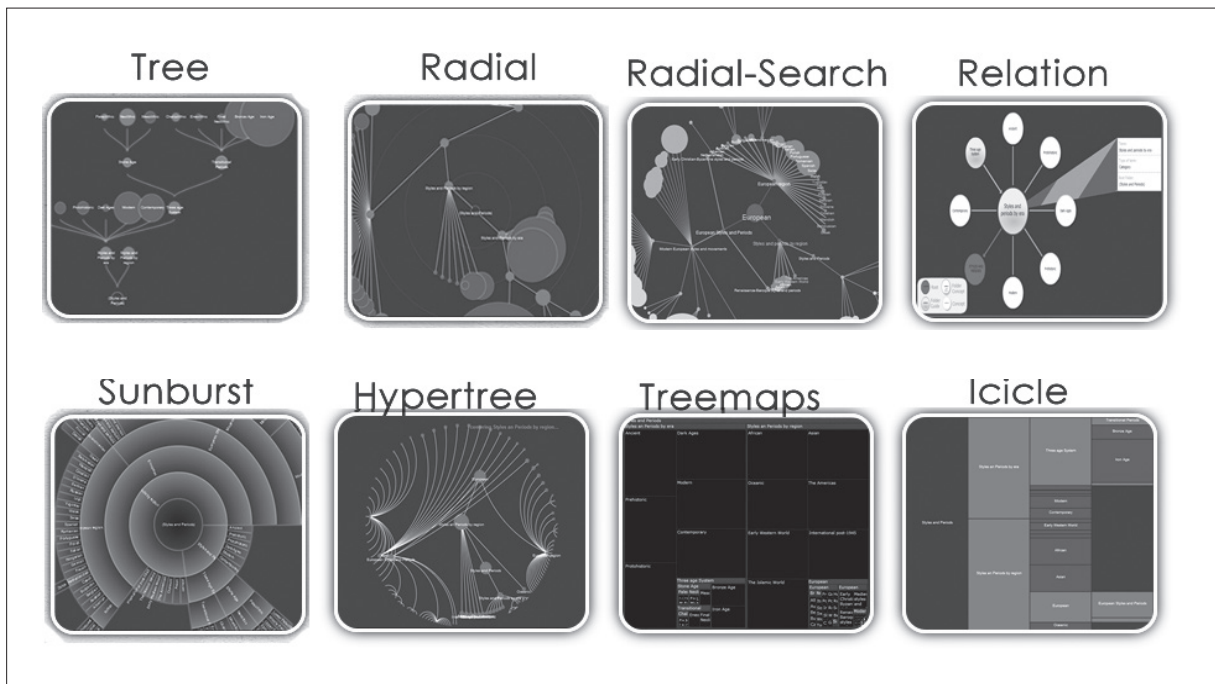


Figure 2. Design of visual interfaces through visualization techniques

Source: Own elaboration

- *Tree interface:* It's a classic visualization, used commonly for the search of files in operating systems (Herman, et al., 2000).
 - *Radial interface.* A visualization technique that allows the central location of nodes to be consulted (Eades, 1990).
 - *Radial-Search interface:* This technique presents additional components at graphical level; in particular, it lays nodes with different sizes according to the number of digital resources associated with the term.
 - *Relation interface:* It is a radial visualization technique, which only permits seeing the terms related to the level of hierarchy consulted through its navigation structure. Thus hiding the terms related to levels above or below the current category.
 - *Sunburst interface:* It works around both focuses and context techniques such as interaction strategies, through zooming and panning in an elliptical manner (Stasko, Catrambone, Guzdial, & McDonald, 2000).
 - *Hypertree interface:* This hyperbolic-structured technique (Lamping & Rao, 1996) allows selection of nodes by using zooming and panning techniques.
 - *Treemaps Interface:* It is a visualization technique that displays all the hierarchical structure of all available spaces on screen by using rectangular slices (Shneiderman & Johnson, 1991).
 - *Icicle interface:* It is a visualization technique that facilitates the representation of terms using a hierarchical clustering (Noik, 1993).
- With the purpose of applying these techniques, next section we explain principles and methods through HCI to implement our visual search interfaces.

Principles of HCI implemented in interfaces

For the development of the search interfaces, some principles of HCI were also considered to facilitate the process of browsing and interaction with users. At exploration level, various browsing methods were implemented. According to Marchionini (G. Marchionini, 1997), these methods allow the definition of strategies in order to search information, and according to Lin (Lin, Soergel, & Marchionini, 1991), these methods facilitate the visualization of large amounts of information so that the user can perceive either structures or relationships or both. At interaction level, zooming strategies were determined to increase or decrease the map's navigation and panning and so making it possible to explore the entire term structure to be searched. Through the zoom strategy, focus and context techniques (Lamping, Rao, & Pirolli, 1995) were also applied. Strategies that facilitate the focus node to be visually highlighted were used; these strategies also blur the other nodes associated with other levels of lower-interest hierarchy.

At navigation level, information was determined to be deployed through maps of categories according to the taxonomic structure. This facilitates browsing the semantic content activity regarding a particular knowledge domain (Card, Mackinlay, & Shneiderman, 1999) by means of the collection of terms offered by the AAT thesaurus. This interaction would allow users to have a better sense of location for the terms to be searched.

Results of the usability tests

According to the objectives of the analysis and also to the recommendations defined for studies in the field (Nielsen, 1994b), 32 participants were selected for the tests. All participants were middle-aged, good levels of study, with a good level of English, and they were also fluent at handling web applications at the user level. Instead, care-

ful consideration was given to their knowledge of search methods and interfaces, which along with the other aforementioned data were collected in a questionnaire. This section presents the evaluation results obtained from the tests performed at interaction level.

Interaction test results

Depending on the number of interfaces, distribution was performed according to the number of user interfaces to cover every aspect of a reliability assessment (Nielsen, 1994b). Given the purpose to recognize each interface, a process of recognition was performing in a learning test. This test consisted in select one search interface in order to interact with structure classification, and forms to visualize information in the interface. One expert in usability assigned randomly an interface for each participant (different to the interface selected by participant when make the learning test) to locate another set of terms and perform the same activity (search a set of term and identify the number of resources and taxonomic classification of each term).

Figure 3 shows the results from a subjective assessment of users with respect to the properties of the interaction level associated with *navigability*, *classification* and *ease of use*.

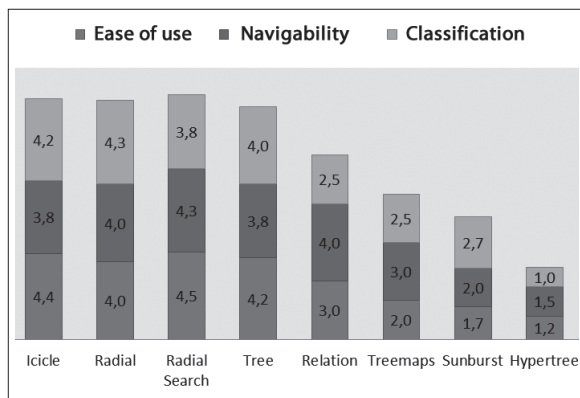


Figure 3. Evaluation results of participants (1 = low satisfaction, 5 = high satisfaction)

Source: Own elaboration.

Figure 3 shows the evaluation results of the three aspects of usability (navigation, classification and ease of use) according to users' experience with each interface, where 1 is the lowest and 5 the highest rating. This process identified *icicle*, *radial-search* and *tree* as better interfaces (than the others) in a subjective opinion of users, evaluated based on three aspects of interaction.

Results according interface classification

After all the individual aspects reported in the previous sections, we wanted to have a look at the overall assessment. This analysis of aggregated results according to the four visualization strategies defined in the study process is shown in figure 4.

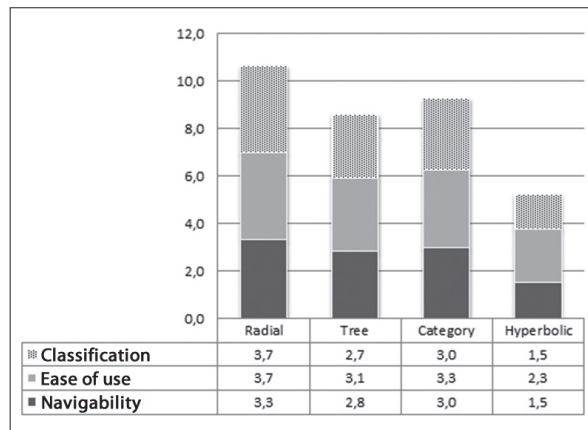


Figure 4. Results in terms of usability (by types of interfaces)

Source: Own elaboration.

Figure 4 presents a high average rating for *radial-type* interfaces, interfaces that during the process of evaluation performed well in terms of interaction regarding the three aspects of usability. The results presented for the *hyperbolic* type of interfaces are showed low valuation values. One of the main problems that were identified with these types of interfaces was the loss of focus that the interface exhibited when users were selecting a

term, by defocusing the rest of categories within the interface at graphical level and thereby generating loss of visibility of other categories. Another common problem with these type of interfaces was the form that interfaces were visually represented the terms in the navigation structure, that is, in a not very clear way (very often overlapping some terms), when the category of the term was selected. This resulted in losing all visibility of terms that were presented within the same hierarchy level of taxonomy with a large number of terms.

The *icicle* interface achieved better focus (attention) through the evaluation process, presented some of the best results (close to the *radial-search* interface). This interface allowed gradually, the visual representation of hierarchic system-level navigation. On the other hand, at visual level, like *radial-search* interface, *icicle* interface easy allowed the identification of digital resources according to the proportion of each node queried in the navigation structure.

Descriptive statistical test results

We performed a descriptive statistical analysis of usability relevance according to others attributes of usability. Table 1 summarizes the results of means and Standard Deviation (SD) for all interfaces according to user profile with high levels of relevance.

Table 1 presents the results according to user profile. The comparison between profiles demonstrated that participants with more active preference for the *tree* interface are researchers (mean=3.40 SD=0.70) and masters' students (mean=4.20 SD=0.85). Interface *icicle* was the interface with a better satisfaction between secondary education students (mean=4.33 SD=0.57) and university students (mean=4.00 SD=0.78). On the other hand, *radial-search* was the interface with more

Table 1. Summary for interactions according to user profile (1 = low satisfaction, 5 = high satisfaction)

Profile		Icicle	Radial Search	Tree	Radial	Relation	Treemaps	Sunburst	Hypertree
Researchers	Mean	3.1944	1.5278	3.5050	2.8750	3.3333	1.1806	2.1528	.83
	N	9	9	9	9	9	9	9	9
	SD	1.00993	.70649	.70649	.98821	1.03645	1.83404	1.59684	.625
Secondary education students	Mean	4.3350	3.8050	3.4625	2.5625	2.4375	.5000	2.6875	1.38
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
	SD	0.57478	1.10365	.85645	1.19497	2.42064	.49301	1.38350	1.581
Master students	Mean	2.3214	2.5893	4.2014	3.2143	2.4107	.7143	.9821	2.95
	N	7	7	7	7	7	7	7	7
	SD	1.47524	1.27213	0.8517	.91491	1.41737	.75937	1.56696	1.065
University students	Mean	4.0000	4.50917	3.1875	3.6042	3.3333	1.0417	1.1458	2.71
	N	6	6	6	6	6	6	6	6
	SD	0.78812	.65691	1.46575	1.33561	1.79699	.51031	1.78609	1.094

Source: Own elaboration.

satisfaction for university students (mean=4.50 SD=0.65) and secondary education students (mean=3.80 SD=1.10).

In table 2 we summarize the results of all interfaces with regards to others evaluation criteria that users made in usability test.

Table 2. Summary for interactions in features usability categories (1 = low satisfaction, 5 = high satisfaction)

Interfaces		Classification	Navigation	Aesthetic	Ease of Use
Treemaps	Media	1.5	1.75	2.5	1.5
	SD	1	0.9574	1	0.5774
Tree	Mean	4	3.5	2.75	4
	SD	0	0.5774	0.5	0
Sunburst	Mean	2	2.25	2.75	2.25
	SD	1.4142	1.2583	0.9574	1.2583
Relation	Mean	2.75	3	3.25	2.5
	SD	0.9574	1.4142	1.5	1
Radial-search	Mean	3.75	3.5	3.25	3.75
	SD	0.5	1	0.9574	0.5
Radial	Mean	2.75	2.5	3.5	2.75
	SD	0.5	0.5774	1	0.5
Icicle	Mean	3.5	4.5	3.25	4.25
	SD	1	0.5774	1.5	0.9574
Hypertree	Mean	1	1	1.5	1
	SD	0	0	0.5774	0
Total	Mean	2.656	2.75	2.844	2.75
	SD	1.26	1.3198	1.1103	1.2952

Source: Own elaboration.

Table 2 presents the results according to the case study, which demonstrates in general a positive attitude towards each attribute related to *ease of use*, *navigation* and *classification* on interfaces (*tree*, *icicle* and *radial-search*). In order to facilitate the search process of large data structures, the most noteworthy interfaces that presented a good usability through hierarchical depth, were *icicle*, *tree* and *radial*. However *radial* interface, cannot visualize a good *classification*, because the method of displaying digital resources is still quite limited for the user at graphical level.

CONCLUSIONS

One of the advantages to be reflected in the visualization techniques evaluated is that these techniques present a general overview of contents of the whole collection of digital resources. This means that users are able to continue the search process, and deepen on those branches or levels of hierarchy, with the possibility of displaying a greater or lesser number of digital resources. Therefore, this type of search strategies could be a key factor to integrate these types of visualization techniques, according to user profiles which is focused the repository, in order to increase the use of learning objects repositories, and improve traffic thereof.

Although a search process through information visualization improve the access of digital resources trough graphical and taxonomic representation schemes, it is clear that displaying all the information about each of the nodes represents a serious problem of usability. The unfolding of all levels of a taxonomic hierarchy structure, requires the definition of a suitable technically-tiered deployment, which allows users to obtain a hierarchical view of the thematic structure.

In performing with a preliminary study of usability according to all visualization strategies, participants had a greater preference for the evalu-

ation of activities related with knowledge areas represented by a number of digital resources over aspects associated with exploration or interaction aspects. For example, one of the visual phenomena which are reflected throughout the study was that the interfaces who presented proportionally different types of sizes in their nodes, allowed capturing greater attention by participants in order to identify terms with greater or lesser number of resources. These criteria it allows them to make decisions about improving the access to a collection of digital resources. Through our experiments we can remark that i) *radial* type interfaces *aesthetically* represent a good alternative for the user, however are not effective in the process of exploration, ii) *ease of use* of a graphical interface depends on the interaction of the hierarchic structure of navigation, and finally iii) the greater visual components of support, greater the level of acceptance of interfaces. For example, additional mechanisms for textual searches using AJAX methods, through visual links or path navigations to determine hierarchy level that users are searching to advance or go back in the exploration process.

On other hand, *tree interface* showed good results in the evaluation of its navigability-level as well as in classification, according to their subject impression. These results are reflected in the ease of use associated with the interaction level and the location of resources. For this reason, it is often mentioned as the favourite interface, possibly because most people are used to using folder trees in the interfaces of computer operating systems. In addition to this, these interfaces mark a navigation path that leads the participant to clearly understand a certain level of the navigation structure.

Future work will attempt to include a complete study of usability and more elements into the search results, such as relevant digital resources evaluated by users in a framework. Some work is already in progress in this direction. The results of this usability test, will provide us a guide to

perform an integration for the best visualization techniques (selected from the results of this research), for the development of a visual search framework. The framework will permit an integration of the assessment criteria through ratings in the digital resources by a user community. These criteria of evaluation might constitute a key factor to improve search results through

a mechanism that would allow the deployment of relevant digital resources. The analysis through social “likes” criteria, could be a key factor to explore whether search results of digital resources rated with this criteria is regarded as really good, or relevant, by the repository. And, therefore, if it could become a system of digital resources recommendation within the users community.

REFERENCIAS

- Ariadne, 2013, Retrieved on January 2014, from <http://www.ariadne-eu.org>
- Aula, A., & Käksi, M., Less is More in Web Search Interfaces for Older Adults. *First Monday*, No. 7, 2005, doi: <http://dx.doi.org/10.5210/fm.v10i7.1254>
- Butenfield, B., Usability Evaluation of Digital Libraries, *Science & Technology Libraries*, Vol. 17, No. 3-4, 1999, pp. 39-59.
- Card, S. K., Mackinlay, J. D., & Shneiderman, B., *Readings in Information Visualization: Using Vision to Think*. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann Publishers, 1999.
- Cechinel, C., Sánchez-Alonso, S., & Sicilia, M. Á. *Empirical Analysis of Errors on Human-Generated Learning Objects Metadata*, 2009.
- E-LERA, 2013, Retrieved on January 2014, from <http://209.87.56.111/drupal/>
- E-LIS, 2013, Retrieved on January 2014, from <http://eprints.rclis.org/>
- Eades, P., & Sugiyama, K., How to Draw a Directed Graph, *J. Information Processing*, Vol. 13, No. 4, 1990, pp. 424-34
- Fekete, J-D, *The Infovis Toolkit*, Paper presented at the Information Visualization, 2004, INFOVIS 2004, IEEE Symposium.
- Fernández, J. M., *Modelos de recuperación de información basados en redes de creencia* (PhD Tesis), Universidad de Granada, Spain, 2001.
- Fox, E. A., Hix, D., Nowell, L. T., Brueni, D. J., Wake, W. C., Heath, L. S., & Rao, D., Users, User Interfaces, and Objects: Envision, a Digital Library, *Journal of the American Society for Information Science*, Vol. 44, No. 8, 1999, pp. 480-91.
- Gaona, P., Sanchez-Alonso, S., & Fermoso, A. *Análisis de cobertura del tesaurus AAT en la biblioteca digital europea: ideas preliminares para su empleo en la educación, 12-15 junio 2012*, Paper presented at the SPDECE 2012, Alicante, España, 2012.
- Hargittai, E., Classifying and Coding Online Actions, *Social Science Computer Review*, Vol. 22, No. 2, 2004, pp. 210-227.
- Hartson, H. R., Shivakumar, P., & Pérez-Quinones, M.A., *Usability Inspection of Digital Libraries: A Case Study*, Vol. 4, No. 2, 2004.

- Hearst, M. A., *Search User Interfaces*, New York, NY: Cambridge University Press, 2009.
- Herman, I., Melancon, G., & Marshall, M. S. Graph Visualization and Navigation in Information Visualization: A Survey, *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions*, Vol. 6, No. 1, 2000, pp. 24-43. doi: 10.1109/2945.841119
- Hitchcock, S., Woukeu, A., Brody, T., Carr, L., Hall, W., & Harnad, S., *Evaluating Citebase, an Open Access Web-Based Citation-Ranked Search and Impact Discovery Service*, Monograph (Technical Report), Southampton, England, 2003.
- Jeng, J., *Usability Assessment of Academic Digital Libraries: Effectiveness, Efficiency, Satisfaction, and Learnability*, Vol. 55, No. 2-3, 2005.
- Khoo, M., Kusunoki, D., & MacDonald, C. *Finding Problems: When Digital Library Users Act as Usability Evaluators*, Paper presented at the System Science (HICSS), 2012 45th Hawaii International Conference, 4-7 Jan 2012.
- Lamping, J., & Rao, R., The Hyperbolic Browser: A Focus+Context Technique for Visualizing Large Hierarchies, *Journal of Visual Languages and Computing*, Vol. 7, No. 1, 1996, pp. 33-55.
- Lamping, J., Rao, R., & Pirolli, P., *A focus+ Context Technique Based on Hyperbolic Geometry For Visualizing Large Hierarchies*, Paper presented at the Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 1995.
- Lin, X., Soergel, D., & Marchionini, G., *A self-Organizing Semantic Map for Information Retrieval*, Paper presented at the Proceedings of the 14th Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, 1991.
- Manouselis, N., Kastrantas, K., Sanchez-Alonso, S., Cáceres, J., Ebner, H., & Palmer, M., *Architecture of the Organic*, Edunet Web Portal, IGI Global, 2009, pp. 71-91.
- Marchionini, G., *Information Seeking in Electronic Environments* (Vol. 9), Cambridge University Press, 1997.
- Marchionini, G., Exploratory Search: From Finding to Understanding, *Communications of the ACM*, Vol. 49, No. 4, 2006, pp. 41-46.
- Marchionini, G., Human-Information Interaction Research and Development, *Library & Information Science Research*, Vol. 30, No. 3, 2008, pp. 165-174. doi: 10.1016/j.lisr.2008.07.001
- McGreal, R., A Typology of Learning Object Repositories, *Handbook on Information Technologies for Education and Training*, 2008, pp. 5-28.
- Merlot, 2012, Retrieved on January 2014, from <http://www.merlot.org/>
- Nash, S.S., *Learning Objects, Learning Object Repositories, and Learning Theory: Preliminary Best Practices for Online Courses*, Vol. 1, No. 1, 2005.
- Nielsen, J., *Guerrilla HCI: Using Discount Usability Engineering to Penetrate the Intimidation Barrier*, Academic Press, 1994a.

- Nielsen, J., *Usability Engineering*, Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, California, USA, 1994b.
- Noik, E., Exploring Large Hyperdocuments: Fisheye Views of Nested Networks, *Proceedings of the fifth ACM conference on Hypertext*, 1993, pp. 192-205.
- Shneiderman, B., & Johnson, B., "Tree-Maps: A Space-Filling Approach to the Visualization of Hierarchical Information Structures", *Proceedings of IEEE Information Visualization*, 1991, pp. 175-282.
- Soergel, D., The Art and Architecture Thesaurus (AAT): A Critical Appraisal, *Visual Resources*, Vol. 10, No. 4, 1995, pp. 369-400.
- Stasko, J., Catrambone, R., Guzdial, M., & McDonald, K., An Evaluation of Space-Filling Information Visualizations for Depicting Hierarchical Structures, *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 53, No. 5, 2000, pp. 663-94.
- Stefaner, M., 2009, Retrieved on January 2014, from <http://moritz.stefaner.eu/projects/relation-browser/>)
- Stefaner, M., Dalla Vecchia, E., Condotta, M., Wolpers, M., Specht, M., Apelt, S., & Duval, E., MACE-Enriching Architectural Learning Objects for Experience Multi-
plication, *Creating New Learning Experiences on a Global Scale*, No. 4753, 2007, pp. 322-36.
- Stefaner, M., & Muller, B., *Elastic Lists for Facet Browsers*, Paper presented at the Database and Expert Systems Applications, 2007, DEXA'07, 18th International Workshop.
- Stefaner, M., Wolpers, M., Memmel, M., Duval, E., Specht, M., Börner, D., & Klemke, R., MACE: Joint Deliverable "Evaluation of the MACE System", 2009. The MACE Consortium
- Tenopir, C., *Use and Users of Electronic Library Resources: An Overview and Analysis of Recent Research Studies*, Paper presented at the Council on Library and Information Resources, Washington, 2003.
- Tsakonas, G., & Papatheodorou, C., Exploring Usefulness and Usability in the Evaluation of Open Access Digital Libraries, *Information Processing & Management*, Vol. 44, No. 3, 2008, pp. 1234-50.
- White, R. W., & Roth, R. A., Exploratory Search: Beyond the Query-Response Paradigm, *Synthesis Lectures on Information Concepts, Retrieval, and Services*, Vol. 1, No. 1, 2009, pp. 1-98. doi: 10.2200/s00174ed-1v01y200901icr003

MaTGeC: hacia un marco de trabajo para la gestión cuantitativa de procesos de desarrollo de software en pequeñas organizaciones

MaTGeC: Towards A Framework For Quantitative Process Management Of Software Development In Very Small Entities

CARLOS ALBERTO ARDILA ALBARRACÍN

Ingeniero de sistemas, magíster en Computación, docente de la Universidad del Cauca, Popayán, Colombia

Contacto: cardila@unicauca.edu.co

FRANCISCO JOSÉ PINO CORREA

Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, doctor en Ingeniería de Sistemas, docente de la Universidad del Cauca, Popayán, Colombia.

Contacto: fjpino@unicauca.edu.co

CÉSAR JESÚS PARDO CALVACHE

Ingeniero de Sistemas, Doctor y Magister en Ingeniería Informática, Docente de la Universidad EAFIT, Medellín, Colombia

Contacto: cpardoc@eafit.edu.co

LUIS MERCHÁN PAREDES

Ingeniero de sistemas, magíster en Administración de Empresas, doctor en Dirección de Proyectos, director de Investigaciones de la Universidad de San Buenaventura, Cali, Colombia.

Contacto: lmerchan@usbcali.edu.co

Fecha de recepción: 31 de mayo de 2013

Fecha de aceptación: 16 de mayo de 2014

Clasificación del artículo: revisión de tema

Financiamiento: Universidad de San Buenaventura de Cali

Palabras clave: gestión cuantitativa de procesos, ingeniería de software, desarrollo de software, organizaciones pequeñas

Keywords: quantitative process management, software engineering, software development, small entities

RESUMEN

Las organizaciones pequeñas desarrolladoras de *software* tienen dificultades para adoptar las prácticas sobre gestión cuantitativa de procesos ofrecidas por modelos de referencia como CMMI-DEV o ISO/IEC 15504, debido a que les generan costosas inversiones a largo plazo. Sin embargo, en caso de que no incorporen al menos las prácticas esenciales, no podrán obtener procesos con menor variabilidad en su rendimiento y que puedan estar bajo control estadístico, lo que afecta de manera directa en el resultado de sus proyectos, ya que permitiría efectuar mejores estimaciones. En este artículo se presenta una propuesta general de un marco de trabajo para gestión cuantitativa de procesos para pequeñas organizaciones (MaTGeC) que ofrece una guía para monitorear y evaluar procesos específicos seleccionados por la organización. Posteriormente, se indican los componentes que lo conforman, junto con las prácticas, actividades, roles y productos esenciales para que esta clase de organizaciones incorporen los fundamentos de gestión cuantitativa en sus tareas más críticas.

* * *

INTRODUCCIÓN

Las organizaciones desarrolladoras de *software* abordan planes de mejora de procesos para alcanzar un mayor grado de calidad en sus procesos y productos. La mejora de procesos de desarrollo de *software* implica seguimiento continuo de procesos para predecir su comportamiento y sus variaciones de rendimiento (Baldassarre, 2004). En un plan de mejora se requiere evaluar diversos atributos de un proceso, porque de no recolectar ni analizar información al respecto, será imposible controlar un proceso desde un punto de vista estadístico. En consecuencia, las organizaciones requieren gestionar de manera cuantitativa sus procesos de desarrollo de *software* por medio de

ABSTRACT

The small software development companies have difficulties in adopting practices about quantitative process management offered by reference models such as CMMI-DEV or ISO/IEC 15504 because it generates expensive investments in long-term periods of time. However, if they do not incorporate at least the essential practices, they won't be able to obtain processes with less variability in its performance and that can be statistically under control which directly impacts the projects results because they would allow making better estimates. In this article, it is presented a general proposal of a framework for quantitative process management in very small entities (MaTGeC) that offers a guide to monitor and assess specific processes selected by the organization. Moreover, it is indicated the components that conform it, along with the practices, activities, roles and essential work products for that this kind of organizations to incorporate the quantitative management fundamentals in their more critical tasks.

la aplicación de técnicas estadísticas (Díaz-Ley, 2008). La *gestión cuantitativa de procesos* (GCP) proporciona una visión del grado de cumplimiento de metas así como las causas profundas que explican desviaciones significativas tanto en los procesos como en los productos (Gou, 2009).

Por otra parte, debido a que las pequeñas organizaciones son mayoría en la industria del *software* —p. ej., en Colombia conforman un 89% (Fedesoft, 2010)—, se considera importante conocer y analizar los enfoques existentes sobre gestión cuantitativa de procesos *software* enfocados en este tipo de organizaciones. Conocer, disponer y utilizar estos enfoques fortalecería la industria del *software* nacional.

Ahora bien, es cierto que existen varios modelos de referencia para la mejora y evaluación de los procesos de desarrollo *software*, como el *modelo de madurez de la capacidad integrado* (CMMI en sus siglas en inglés) y más específicamente CMMI para Desarrollo —CMMI-DEV en inglés— (CMMI Product Team, 2010), ISO/IEC 15504-5 (ISO/IEC 15504-5, 2006) e ISO/IEC 12207 (ISO/IEC 12207, 2008). Sin embargo, debido a que esos modelos han sido orientados a las grandes organizaciones, junto al hecho de que muy pocos estudios han centrado su interés en el uso de las prácticas efectivas hacia las características de las pequeñas organizaciones, el conocimiento de los modelos por parte de estas ha sido débil (Calvo-Manzano, 2008). Además, de acuerdo con Mas y Amengual (2005), para una pequeña organización es muy costoso desarrollar y reflejar los resultados de la implantación de programas de mejora con el nivel de detalle y formalidad que acostumbran a exigir los modelos orientados a grandes empresas. Otro problema radica en que el retorno de la inversión de un programa de mejora de procesos no se produce en el corto plazo. Por lo anterior, Mas y Amengual (2005) afirman que la dificultad de aplicación de los grandes modelos de mejora se debe a los costes asociados a su aplicación y al largo plazo de espera necesario para la observación de resultados.

Además, aunque se han elaborado modelos de referencia para pequeñas organizaciones, como MoProSoft (NYCE, 2011), Competisoft (Competisoft, 2008) y MPS.BR (Melhoria de Processo do Software Brasileiro, 2005-2012), estos no ofrecen elementos suficientes para efectuar gestión cuantitativa de procesos de desarrollo de *software* en esta clase de organizaciones.

Los aspectos antes mencionados han dificultado la adopción de una cultura de gestión cuantitativa en el interior de estas organizaciones, lo que ha derivado en un problema: una pequeña organización desarrolladora de *software* que no adopte prácticas de gestión cuantitativa, tendrá dificul-

tades para identificar y enfocarse en los factores que impactan en el rendimiento de los procesos y por consiguiente en los productos que pudieran obtenerse a partir de ellos.

En este artículo se pretende enfrentar ese problema proponiendo un *marco de trabajo para gestión cuantitativa* de procesos para pequeñas organizaciones (MaTGeC), el cual incluye elementos que se ubican en un estado posterior al de efectuar mediciones, es decir, el enfoque es de análisis de datos, en lugar de recolectarlos, con el fin de obtener procesos de desarrollo de *software* que se caractericen por tener una variabilidad menor y que estén bajo control, desde un punto de vista estadístico.

El artículo tiene la siguiente estructura: en la segunda sección se explica el método utilizado para la elaboración de la propuesta, en la tercera sección se muestran los resultados, que están representados en las características y los componentes de MaTGeC. Finalmente, en la cuarta sección se presentan las conclusiones.

METODOLOGÍA

En esta sección se presenta la estructura del método utilizado para elaborar la propuesta de MaTGeC. También se indican los trabajos relacionados a partir de los cuales se hace posible identificar la necesidad que da origen a MaTGeC.

Método utilizado

MaTGeC fue el resultado de la ejecución de algunas de las tareas propuestas por el Método de Producción del OPEN Process Framework (Opfro, 2009), que es de dominio público y se utiliza para la producción de métodos de desarrollo específicos. Es importante hacer uso de un método como este, porque se considera necesario que MaTGeC sea el resultado de seguir directrices confiables, planteadas por organizaciones reconocidas en el

área de mejora de procesos. El objetivo es que la propuesta que se presente tenga bases teóricas sólidas, al mismo tiempo que refleje buenas prácticas en la elaboración de métodos, las cuales ya han sido probadas y aceptadas de manera amplia en la industria de *software*.

Ahora bien, la propuesta de MaTGeC es el producto principal de una tesis de maestría, de modo que esta circunstancia tiene como consecuencia que el equipo de trabajo sea muy reducido. Por lo anterior, ha sido necesario seleccionar cinco de las nueve tareas sugeridas por el método de producción. Las tareas elegidas para la elaboración de los componentes de MaTGeC son las siguientes:

- a. Evaluación de necesidades sobre MaTGeC. Se evalúan las necesidades específicas relacionadas con gestión cuantitativa de procesos, las cuales se espera abordar con los elementos que se van a incluir en la propuesta.
- b. Construcción de MaTGeC. El equipo de trabajo construye el *marco de trabajo* por medio de la selección de elementos de proceso incluidos en repositorios existentes, de la adaptación de esos elementos seleccionados y de la integración de los elementos adaptados a la propuesta.
- c. Documentación de MaTGeC. El equipo de trabajo registra los documentos de descripción de los elementos constitutivos del marco de trabajo.
- d. Consultoría (evaluación). El equipo de trabajo acude a personal de reconocida trayectoria para que evalúe la propuesta del marco de trabajo, presente las observaciones y sugiera las correcciones que considere necesarias.
- e. Mantenimiento. El equipo de trabajo procede a agregar, eliminar o modificar componentes del marco de trabajo como resultado de las revisiones derivadas de la actividad de consultoría.

Trabajos relacionados

En esta sección se analizan los aportes de diversos artículos sobre gestión cuantitativa de procesos de desarrollo de *software*. A partir de lo encontrado en esos artículos se identifica la necesidad que da origen a MaTGeC, de la cual se indican sus aspectos más importantes.

Tarhan (2006) señala que existen enfoques para la evaluación de los procesos *software* y las métricas que es preciso tener en cuenta para iniciar la implementación de gráficos de control, los cuales son una técnica importante del *control estadístico de procesos* (CEP). Los requerimientos básicos para implementar el uso de esos gráficos son:

- a. Muestreo racional de ejecución de procesos y datos, junto con,
- b. Utilización de datos de métricas para análisis estadístico.

Tarhan (2006) expresa que al establecer directrices para muestreo racional y utilización de métricas, una organización puede aplicar técnicas de CEP y así alcanzar la capacidad de entender sus procesos basados en datos cuantitativos.

Asimismo, Vijaya (2010) presenta los resultados obtenidos a través de un estudio de caso, en donde analiza datos de siete proyectos, y concluye que los gráficos de control son eficientes en el mantenimiento de la calidad de *software* y pueden utilizarse por parte de organizaciones desarrolladoras de *software* con niveles de madurez 1 o 2 de CMMI-DEV.

Adicionalmente, Gou (2007) reporta un método empírico para identificar objetivos de rendimiento, definir una línea base de rendimiento y establecer un modelo de gestión cuantitativa para procesos de prueba de *software*. Esa propuesta se extiende en el artículo de Gou (2008) donde presenta el método BiDefect (*process-performance*

Baselines based iteration Defect management), el cual se elaboró para dar soporte a la gestión cuantitativa de defectos en desarrollo iterativo. Así mismo, Gou (2008) reporta una experiencia industrial con la empresa china de telecomunicaciones ZZ-Node Technologies Company Limited, que aplicó exitosamente el método BiDefect para estimación, análisis, re-estimación, y control de defectos para proyectos de desarrollo de carácter iterativo.

También están disponibles iniciativas sobre gestión cuantitativa de procesos de desarrollo de *software*, en las que adaptan prácticas de Six Sigma, como se indica a continuación:

- Modelo de procesos de ingeniería de *software*. En el trabajo de Xiaosong (2008) se hace uso de la herramienta DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control), la cual hace parte de la metodología Six Sigma, para establecer un modelo de procesos de ingeniería de *software*. Ese modelo está conformado por: a) el modelo de gestión de procesos de *software* basado en DMAIC; b) el modelo de procesos de ingeniería de requerimientos basado en IDOV (Identify, Design, Optimize, Verify); c) herramientas y métodos de Six Sigma para gestión de calidad. Los resultados obtenidos indican que el método es factible para soportar gestión de calidad de *software* (Xiaosong, 2008).
- Método de gestión y análisis de proyectos. Resultado de una investigación sobre la conjunción de métodos de gestión Six Sigma y tecnologías relacionadas (Lin, 2009).
- Validación de instrumentos para la implementación de Six Sigma. El artículo de Deshmukh (2009) presenta un estudio orientado al desarrollo y validación de un instrumento para la implementación de Six Sigma en pequeñas y medianas organizaciones de la India. Se identifican 12 factores críticos en Six Sigma y se indican los 42 ítems del instrumento de

implementación. Se plantea que las organizaciones pueden usar estas medidas de manera individual o generar un esquema de prácticas Six Sigma para su uso en toda la organización (Deshmukh, 2009).

- Personal Software Process (PSP) y Six Sigma. La utilización de PSP junto con Six Sigma permite analizar datos y mejorar sistemáticamente el rendimiento del proceso. Se relacionan las herramientas Six Sigma con cada proceso de PSP para mostrar que las técnicas Six Sigma pueden aplicarse a datos de PSP e indicar el uso práctico de las guías Six Sigma para soportar actividades de mejora de procesos tanto individual como grupalmente (Park, 2006). Ese trabajo tiene como continuación el desarrollo de un *framework* que guía cómo y dónde se enfocan las herramientas Six Sigma dentro de PSP o Team Software Process (TSP). Se concluye que el aumento de rendimiento puede alcanzarse al identificar problemas y analizar medidas, lo que provee fundamento para aplicar Six Sigma en un proyecto completo o en toda la organización (Park, 2007).

Síntesis

A partir de lo anterior, se destacan trabajos en los que se plantean y aplican métodos propios para efectuar gestión cuantitativa y lo referente a trabajos donde se recopilan estudios sobre adaptación de la metodología Six Sigma en programas de mejora de procesos de desarrollo de *software*. Los artículos que implementan propuestas para gestión cuantitativa de procesos de desarrollo de *software*, abordan aspectos particulares como la gestión de defectos, la gestión de riesgos o pruebas de *software*. También se encuentran estudios en los que abordan elementos conceptuales y técnicos de GCP y los enlazan con las actividades de nivel estratégico o con las metas de negocio de las organizaciones.

Por otra parte, se observa que algunas de las propuestas están alineadas con modelos de referencia como CMMI-DEV; sin embargo, se encuentra que no está disponible una propuesta que incorpore prácticas y técnicas que apoyen la gestión cuantitativa de procesos de desarrollo de *software* enfocada a pequeñas organizaciones.

En este sentido, se pretende enfrentar esa situación al proponer un marco de trabajo que facilite la incorporación de prácticas de GCP en pequeñas organizaciones desarrolladoras de *software*, de modo que puedan reflejar resultados de la implantación de esas prácticas en el corto plazo y con una inversión en recursos que sea ostensiblemente menor que la requerida por modelos de referencia para la mejora y evaluación de procesos de desarrollo de *software* como son CMMI-DEV (CMMI Product Team, 2010), ISO/IEC 15504-5 (ISO/IEC 15504-5, 2006) e ISO/IEC 12207 (ISO/IEC 12207, 2008).

RESULTADOS

En esta sección se presenta el resultado materializado en la propuesta de MaTGeC, inicialmente desde un punto de vista general y posteriormente especificando sus características.

Generalidades de MaTGeC

MaTGeC incluye los elementos que se relacionan a continuación:

- a. Un componente de guía técnica para GCP. De manera general, describe los roles involucrados, las prácticas y las actividades que es necesario efectuar y los productos que se van a generar. De manera particular, ofrece una guía concreta de evaluación y monitoreo de cada proceso seleccionado por la organización para valorar la capacidad de ese proceso e identificar los factores que inciden en su variabilidad, además de saber si cumple las

metas planteadas para esas características de variabilidad y capacidad, con el fin de conceptualizar si ese proceso se halla estadísticamente bajo control.

- b. Un componente de técnicas para control estadístico de procesos y para análisis estadístico. Incluye fichas descriptivas sobre las técnicas estadísticas necesarias para ejecutar las prácticas y actividades del primer componente.
- c. Un componente de documentos y plantillas para orientar el uso de las técnicas del segundo componente y registrar lo requerido por el primero de ellos.

La figura 1 presenta la vista general de MaTGeC.

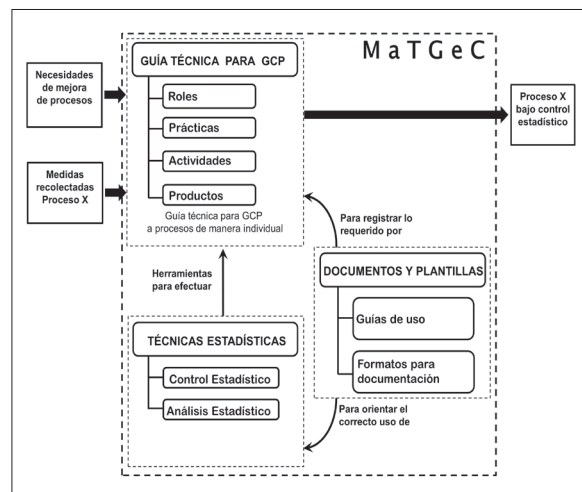


Figura 1. Vista general de MaTGeC

Fuente: elaboración propia.

MaTGeC presenta las siguientes características:

- a. *Orientado a pequeñas organizaciones.* La propuesta incluye pocas actividades y productos, buscando que el personal de la organización no tenga que incrementar de manera significativa el esfuerzo necesario al momento de utilizar las técnicas asociadas y generar los productos correspondientes. Sin embargo, una pequeña empresa que desee implementar

las prácticas de MaTGeC debe tener un nivel alto de madurez que le permita ejecutar de manera correcta los siguientes procesos:

- i. Gestión de requisitos. La organización maneja un único formato para documentar cada requisito, de tal forma que sean sencillos de entender y que muestren trazabilidad con las fuentes de obtención, con otros requisitos y con otros productos de trabajo. Además se asegura que se revise la información contenida en los ejemplares de ese formato para detectar inconsistencias.
 - ii. Planificación de proyecto. La empresa tiene adoptados métodos para estimaciones en cuanto a costos, cronogramas y personal requerido para un proyecto; tiene asimismo definido el modelo de ciclo de vida y efectúa gestión de riesgos. Todos esos ítems los documenta en el plan de proyecto.
 - iii. Monitoreo y control de proyecto. Se hacen revisiones de cada área del proyecto, con periodos de tiempo cortos (menores a 20 días), y se registra el resultado de esas revisiones en un documento que informa sobre las inconsistencias encontradas y el grado de avance.
 - iv. Gestión de la configuración. La organización realiza control de versiones de los códigos fuentes y de cada uno de los documentos y almacena un historial de cambios realizados sobre ellos, identificando el responsable de dichos cambios.
- b. *Directrices técnicas para obtener un proceso gestionado cuantitativamente.* Esta característica hace posible que los usuarios de MaTGeC puedan seguirlo correctamente para llevar al proceso en cuestión al estado deseado. Esto se logra a partir de la información que MaTGeC incluye sobre cómo usar las herramientas de control estadístico de procesos, las

técnicas de análisis estadístico y los productos, para determinar con un esfuerzo razonable, los objetivos de calidad y rendimiento del proceso en la organización así como las líneas base de rendimiento del proceso.

Descripción de MaTGeC

Propósito. Guiar la implementación de prácticas y técnicas para efectuar GCP en el contexto de las pequeñas organizaciones, con el fin de obtener procesos con menor variabilidad y estadísticamente bajo control. MaTGeC tiene como objetivos:

- a. Establecer los elementos necesarios para guiar las prácticas de GCP en una pequeña organización de desarrollo de *software*, buscando la obtención de procesos controlables y estadísticamente predecibles en el interior de la organización.
- b. Facilitar su aplicación en pequeñas organizaciones de desarrollo de *software*, al definir una cantidad reducida de prácticas, actividades y productos.

Componente de guía técnica para GCP. MaTGeC ofrece una guía para gestionar, monitorear y evaluar procesos específicos seleccionados por la organización. Cada proceso que se desee gestionar cuantitativamente debe tener como entrada las medidas de la característica de desempeño del proceso (p. ej., si el proceso es codificación a escala unitaria, es útil tener datos sobre densidad de defectos). MaTGeC indica que para cada proceso debe ejecutarse un conjunto de actividades agrupadas en cuatro grandes prácticas:

- a. Valoración inicial de desempeño de un proceso
- b. Análisis causal
- c. Preparación para gestión cuantitativa
- d. Ejecución de gestión cuantitativa

Las prácticas han sido especificadas a partir de la revisión de los elementos esenciales de las prácticas de gestión cuantitativa indicadas en los modelos para mejora y evaluación de procesos de desarrollo *software* de mayor uso como CMMI-DEV (CMMI Product Team, 2010) e ISO/IEC 15504 (ISO/IEC 15504:2006). Los modelos mencionados se tuvieron en cuenta solo como referencia respecto al panorama general de las prácticas asociadas con gestión cuantitativa y la interacción entre ellas. Las prácticas incluidas en MaTGeC se consideran las mínimas que es necesario ejecutar y se han elegido teniendo en cuenta el perfil de las pequeñas organizaciones y el tipo de proyectos que manejan, por lo que requieren prácticas que impliquen calidad y eficiencia cuando se requiera gestionar de manera cuantitativa los procesos que considere más importantes y para que alcancen metas establecidas para esos procesos en el corto plazo.

En la figura 2 se muestra el diagrama general de actividades de MaTGeC, las cuales se deben aplicar para cada proceso seleccionado por la organización.

Pensando en que deben ser pocos los roles involucrados a causa del bajo número de personal disponible en las pequeñas empresas, MaTGeC plantea involucrar los roles ya existentes (analista, diseñador, programador, tester, gestor de calidad), los cuales se denominan de manera genérica “responsable de proceso”, de modo que participen de manera activa pero sin ocasionar una excesiva carga adicional a sus responsabilidades. Por esto, se plantea como único rol nuevo que incluir el “agente de gestión cuantitativa”, cuyas responsabilidades se presentan en la tabla 1. Este rol debe tener las siguientes características mínimas: profesional en ingeniería de sistemas enfocado a

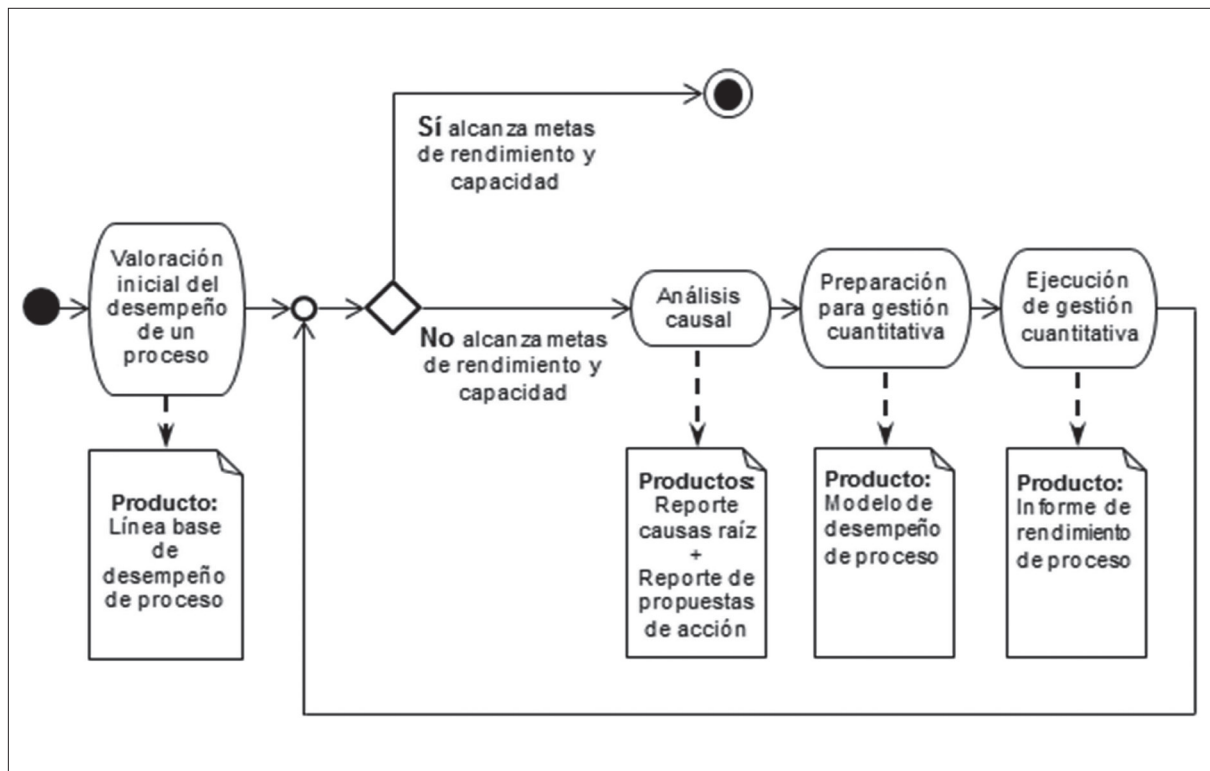


Figura 2. Diagrama general de prácticas y productos de MaTGeC para procesos seleccionados

Fuente: elaboración propia.

la ingeniería de *software*, con conocimientos en modelos de mejora de procesos de *software*, estadística básica, técnicas de control estadístico de procesos y técnicas de análisis estadístico. Además, el “responsable de proceso” debe suministrar la información necesaria para que el “agente de gestión cuantitativa” pueda generar los productos indicados.

Componente de técnicas estadísticas. Este componente contiene guías de referencia que presentan información resumida sobre las técnicas estadísticas requeridas para ejecutar las prácticas y actividades de MaTGeC. En cuanto a técnicas de CEP se han incluido: i) diagramas de control y ii) diagramas causa-efecto o “espina de pescado”, y en cuanto a técnicas de análisis estadístico se eligieron: i) análisis de regresión y ii) análisis de capacidad de proceso. Su inclusión se justifica por el hecho de que el CEP hace uso de gráficos de control, junto con otras técnicas estadísticas como el análisis de Pareto (Radice, 2000). Además de las ya mencionadas, también se sugiere el

uso del análisis de regresión y diagramas causa-efecto (Xiaosong, 2008; Lin, 2009).

Por otra parte, la justificación para incluir la técnica denominada “análisis de capacidad de proceso” es la siguiente: “deben incluirse índices de capacidad (de proceso) asociados con la variación a corto plazo junto con los índices asociados con la variación a largo plazo; por ejemplo, con CM-MI-DEV se suele considerar que 1.33 es el valor mínimo aceptable para un índice de capacidad, debido a que cualquier valor por debajo de esta cifra indicaría que aunque el proceso esté bajo control estadístico, no cumple con las especificaciones deseadas” (Pérez, 2012).

Componente de documentos y plantillas. Se divide en dos partes: la primera contiene una guía de uso con un ejemplo completo en el que se muestra paso a paso cómo ejecutar cada una de las actividades que integran las prácticas de la presente propuesta, además de cómo documentarlas. La segunda parte incluye los formatos nece-

Tabla 1. Responsabilidades del rol “agente de gestión cuantitativa”

Práctica	Responsabilidad (representa las actividades asociadas a las prácticas)
Valoración inicial de desempeño de un proceso	<ul style="list-style-type: none"> • Definir medidas de desempeño de proceso con la justificación de su selección, incluyendo trazabilidad a otros procesos • Analizar y reportar datos de desempeño de proceso • Elaborar el modelo de desempeño de proceso
Análisis causal	<ul style="list-style-type: none"> • Generar reporte de resultados del análisis de causas raíz • Establecer propuestas de acción para solucionar causas • Elaborar informes sobre análisis de desempeño de proceso y del cambio en tal desempeño • Consolidar registros de análisis causal
Preparación para gestión cuantitativa	<ul style="list-style-type: none"> • Definir objetivos de calidad y de desempeño de proceso • Elaborar reportes de subprocesos y atributos seleccionados • Establecer la línea base de desempeño de proceso
Ejecución de gestión cuantitativa	<ul style="list-style-type: none"> • Elaborar reportes sobre límites de desempeño de proceso • Generar informes de calidad o rendimiento de proceso respaldados en técnicas de control estadístico y de análisis estadístico

Fuente: elaboración propia.

sarios para registrar la información requerida en el componente de guía técnica.

Soporte tecnológico. En la tabla 2 se indican productos *software* que apoyan la aplicación de las técnicas estadísticas mencionadas.

Guía de uso

Se ha hecho una aplicación a modo de ejemplo en el que se muestra paso a paso cómo realizar las prácticas definidas en la guía técnica, aplicadas al proceso de “construcción de *software*”, de acuerdo con la definición de la norma ISO 12207 (ISO12207:2008, p. 63). Es de resaltar que un proceso puede evaluarse a partir de varios atributos; sin embargo, para facilitar el seguimiento

de este ejemplo solo se evalúa el atributo “cantidad de defectos encontrados”. También se indica en esa guía cómo deben elaborarse los productos haciendo uso de los formatos incluidos en el componente de documentos y plantillas.

CONCLUSIONES

En este artículo se ha identificado la necesidad que tienen las pequeñas organizaciones desarrolladoras de *software* de llevar a cabo la definición e implementación de prácticas de gestión cuantitativa en sus procesos. Adoptar esas prácticas haría factible identificar factores que impactan en el rendimiento de sus procesos y por consiguiente en los productos que pudieran obtenerse a partir de ellos. Teniendo en cuenta lo anterior, se ha

Tabla 2. Productos software de herramientas estadísticas

Producto	Características y técnicas incluidas	Práctica de MatGeC que puede apoyar
Statistical Package for Social Science (SPSS) Versión 20	Control estadístico de calidad, series temporales, análisis de regresión (IBM SPSS Statistics 20, 2011)	Práctica 3
Minitab Versión 16	Análisis de regresión, diseño de experimentos, CEP, análisis de sistemas de medición, análisis de confiabilidad, series de tiempo, simulación y distribuciones (Minitab Inc., 2012)	Práctica 1 Práctica 2 Práctica 3 Práctica 4
GenStat Versión 14	Análisis de regresión lineal, análisis de series de tiempo, métodos para CEP (VSN International, 2012)	Práctica 1 Práctica 2 Práctica 3 Práctica 4
OpenStat	Herramienta gratuita. Incluye análisis bivariado (medidas de correlación y regresión), análisis multivariante (correlación múltiple), elementos para CEP y elementos básicos para simulación (Miller, 2013)	Práctica 1 Práctica 2 Práctica 3 Práctica 4

Fuente: elaboración propia.

propuesto un marco de trabajo que facilita la incorporación de prácticas de GCP para esta clase de organizaciones.

Como parte de la definición de esta propuesta, se han detallado los componentes de MaTGeC: i) un componente que guía técnicamente la gestión cuantitativa de procesos de desarrollo de *software*, ii) un componente de técnicas para control estadístico de procesos y de métodos para análisis estadístico, iii) un componente de documentos y plantillas. También se describieron algunos elementos de proceso como propósito, objetivos, actividades, roles, productos y el soporte tecnológico que integran la propuesta.

Actualmente se está trabajando en la definición de las actividades y productos que hacen parte del componente de guía técnica. Además de lo anterior, se está elaborando la guía de uso que incluye información para orientar la aplicación de las técnicas para CEP y de las técnicas de análisis estadístico que hacen parte del módulo de técnicas. Igualmente, se están elaborando los formatos que

es necesario incluir en el componente de documentos y plantillas.

FINANCIAMIENTO Y AGRADECIMIENTOS

Este artículo es el resultado del trabajo de una pasantía de investigación realizada en la Universidad de San Buenaventura de Cali, como parte de las actividades curriculares de la Maestría en Computación de la Universidad del Cauca. Carlos A. Ardila agradece a la Universidad de San Buenaventura por el apoyo brindado durante esa pasantía e igualmente agradece a la Universidad del Cauca, donde trabaja como profesor asociado, por el apoyo brindado para realizar sus estudios de Maestría en Computación. Francisco J. Pino agradece a la Universidad del Cauca, donde trabaja como profesor titular. César Jesús Pardo Calvache agradece a la Universidad EAFIT donde se desempeña como Docente. Luis Merchán Paredes agradece a la Universidad de San Buenaventura donde trabaja como docente.

REFERENCIAS

- Baldassarre, T., Boffoli, N., Caivano, D. y Visaggio, G., “Managing Software Process Improvement (SPI) through Statistical Process Control (SPC)”, *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 3009, 2004, pp. 30-46.
- Calvo-Manzano, J., García, I. y Arcilla, M., “Hacia la gestión cuantitativa en la gestión de proyectos en el ámbito de las PyMES”, *REICIS Revista Española de Innovación, Calidad e Ingeniería del Software*, Vol. 4, No. 2, 2008, pp. 7-19.
- CMMI Product Team, *CMMI for Development version 1.3 Technical Report*, Software Engineering Institute, 2010.
- Competisoft, Mejora de procesos para fomentar la competitividad de la pequeña y mediana industria del *software* de Iberoamérica, 2008. Recuperado de <http://goo.gl/4ji05>
- Deshmukh, S. y Lakhe, R., “Development and Validation of an Instrument for Six Sigma Implementation in Small and Medium Sized Enterprises”, *2nd International*

- Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology, ICETET*, 2009.
- [Díaz-Ley, M., García, F. y Piattini, M., “Implementing a Software Measurement Program in Small and Medium Enterprises: A Suitable framework”, *IET Software*, Vol. 2, No. 5, 2008, pp. 417-36.
- Fedesoft, *Sector de TI en Colombia año 2010*, Federación Colombiana de la Industria del Software y Tecnologías Informáticas Relacionadas, 2010.
- Gou, L., Wang, Q., Jiang, N., Che, M., Zhang, R., Yang, Y. y Li, M., “An Empirical Study on Establishing Quantitative Management Model for Testing Process”, *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 4470, 2007, pp. 233-45.
- Gou, L., Wang, Q., Yuan, J., Yang, Y., Li, M. y Jiang, N., “Quantitatively Managing Defects for Iterative Projects: An Industrial Experience Report in China”, *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 5007, 2008, pp. 369-80.
- Gou, L., Wang, Q., Yuan, J., Yang, Y., Li, M. y Jiang, N., “Quantitative Defects Management in Iterative Development with BiDefect”, *Software Process Improvement and Practice*, Vol. 14, No. 4, 2009, pp. 227-41.
- IBM Corporation, *Manual del usuario del sistema básico de IBM SPSS Statistics 20*, 2011. Recuperado de <http://goo.gl/CSXgx>
- ISO/IEC 12207, *Systems and Software Engineering-Software Life Cycle Processes*, Ginebra: International Organization for Standardization, 2008.
- ISO/IEC 15504-5, *Information Technology-Process Assessment-Part 5: An Exemplar Process Assessment Model*, Ginebra: International Organization for Standardization, 2006.
- Lin, M., Cai, C. y Li, J., “Realization and Research of a Six-Sigma-Based Project Management and Analysis System”, *IFCSTA 2009 Proceedings - 2009 International Forum on Computer Science-Technology and Applications*, Vol. 3, 2009, pp. 70-73.
- Mas, A. y Amengual, E., “La mejora de los procesos de software en las pequeñas y medianas empresas (PYME). Un nuevo modelo y su aplicación a un caso real”, *REICIS, Revista Española de Innovación, Calidad e Ingeniería del Software*, Vol. 1, No. 2, 2005, pp. 7-29.
- Melhoria de Processo do Software Brasileiro, *Guia Geral MPS de Software*, 2005-2012.
- Miller, B., *Free Statistics Programs and Materials by Bill Miller*, 2013. Recuperado de <http://goo.gl/L3qyk>
- Minitab, *Características de Minitab Statistical Software*, 2012. Recuperado de <http://goo.gl/S2eHZ>
- NYCE, Norma NMX-I-059/02-NYCE-2011 (Moprosoft), 2011. Recuperado de <http://goo.gl/9phyp>
- OPFRO, *OPEN Process Framework Repository Organization*, 2009. Recuperado de <http://goo.gl/iC3tu>
- Park, Y., Choi, H. & Baik, J., “A Framework for the Use of Six Sigma tools in PSP/TSP”,

Proceedings - SERA 2007: Fifth ACIS International Conference on Software Engineering Research, Management, and Applications, 2007, pp. 807-14.

- Park, Y., Park, H., Choi, H. y Baik, J., “A Study on the Application of Six Sigma Tools to PSP/TSP for Process Improvement”, *Proceedings - 5th IEEE/ACIS Int. Conf. on Comput. and Info. Sci., ICIS 2006. In conjunction with 1st IEEE/ACIS, Int. Workshop Component-Based Software Eng., Softw. Archi. and Reuse, COMSAR*, 2006.
- Pérez, C., *Qué significa CMMI. Elementos para la administración cuantitativa*, 2012. Recuperado de <http://goo.gl/8dq9D>
- Radice, R., “Statistical Process Control in Level 4 and 5 Organizations Worldwide”, *Proceedings of the 12th Annual Software Technology Conference*, 2000.
- Tarhan, A. y Demirörs, O., Investigating Suitability of Software Process and Metrics for Statistical Process Control”, *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 4257, 2006, pp. 88-99.
- Vijaya, G. y Arumugam, S., “Monitoring the Stability of the Processes in Defined Level Software Companies Using Control Charts with Three Sigma Limits”, *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*, Vol. 7, No. 10, 2010, pp. 1230-39.
- VSN International, *Genstat*, 2012. Recuperado de <http://goo.gl/KB66N>
- Xiaosong, Z., Zhen, H., Fangfang, G. y Shenqing, Z., “Research on the Application of Six Sigma in Software Process Improvement”, *Proceedings - 2008 4th International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, IHH-MSP*, 2008.

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

REVISTA *TECNURA*
UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA

CONTENIDO

1. ALCANCE Y POLÍTICA EDITORIAL DE LA REVISTA
2. TIPOS DE ARTÍCULOS ACEPTADOS
3. FORMATO DEL ARTÍCULO
4. ENVÍO DE ARTÍCULOS
5. PROCEDIMIENTO PARA LA PUBLICACIÓN
6. ARBITRAJE DE ARTÍCULOS
7. 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 de 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 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 la cobertura temática de la revista.

Tecnura es una publicación de carácter académico indexada en el Índice Bibliográfico Nacional Publindex (IBN) de Colciencias (Colombia) en la categoría A2, 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 Corpernicus (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) y 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 el Comité Científico no son responsables por la opinión ni por los criterios expresados en el contenido de los artículos. 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://tecnura.udistrital.edu.co>

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:** documentos que presentan, 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:** documentos que presentan resultados de investigación desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico y recurriendo a fuentes originales.

- ▶ **Artículo de revisión:** documentos 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 caracterizan 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 digitarse en Microsoft Word (2003 en adelante), cumpliendo con las siguientes indicaciones:

- ▶ Letra *Times New Román* de 12 puntos (A excepción de que se diga 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.
- ▶ 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> y <<http://multites.net/mtsql/wb/site/default.asp>>.

Introducción

Debe describir el planteamiento general del trabajo, así como el contexto, los antecedentes, el estado del arte de la temática abordada, los objetivos y el 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 la 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 JPG o PNG 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

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.

El llamado de una referencia bibliográfica se inserta en el texto, en el punto pertinente, mediante el primer apellido del primer autor y el año entre paréntesis, como se muestra a continuación: (Hernández, 2012).

A continuación se describen dos ejemplos de las referencias más utilizadas, según el estilo de referencias adoptado por la revista *Tecnura*:

Referencia de un artículo: debe incluir la siguiente información en el orden descrito:

- ▶ Apellido del autor, iniciales del nombre del autor.
- ▶ Título del artículo entre comillas.
- ▶ Nombre de la revista en cursiva.
- ▶ Volumen y número, o año y número de la revista.
- ▶ Fecha de la publicación, mes y año.
- ▶ Páginas de referencia del artículo.

Ejemplo:

Weiming H., Tieniu T., Liang W. y Maybank, S., "A Survey on Visual Surveillance of Object Motion and Behaviors", *IEEE Trans. Systems, Man, Cybern.*, Vol. 34, No. 3, Aug. 2004, pp. 334-52.

Referencia de un libro: debe incluir la siguiente información en el orden descrito:

- ▶ Apellido del autor, iniciales del nombre del autor
- ▶ Título de la obra en cursiva
- ▶ Número de edición, si es diferente a la primera
- ▶ Lugar de publicación, ciudad y país
- ▶ Nombre de la editorial
- ▶ Año de publicación
- ▶ Número de páginas, en caso de que aplique

Ejemplo:

Hamilton, J., *Time series analysis*, New Jersey, United States of America: Princeton University Press, 1994.

En caso de una referencia tomada de Internet se debe escribir el nombre de la URL del sitio y la fecha de consulta.

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 se 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 debe ir acompañado de un formato de información sobre este y sus autores, el cual se puede descargar de la página web de la revista *Tecnura*: <<http://tecnura.udistrital.edu.co>>, en la sección "Guía de Autores". 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 guía de 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:

- i. Envío del artículo, acompañado de la carta de presentación y el formato de información por parte de los autores.

- ii. Notificación al autor de correspondencia de la recepción del artículo.
- iii. Verificación del tema del artículo con respecto a las áreas de interés de la revista.
- iv. Verificación de las normas de presentación por parte del monitor de la revista.
- v. Notificación al autor de correspondencia de la evaluación de las normas de presentación.
- vi. Envío de las correcciones realizadas por los autores con respecto a la evaluación de las normas de presentación.
- vii. Envío del artículo a los árbitros seleccionados.
- viii. Notificación del inicio del proceso de arbitraje del artículo.
- ix. Notificación a los autores de la decisión tomada por el Comité Editorial y de las evaluaciones hechas por los árbitros.
- x. Envío de las correcciones realizadas por los autores con respecto a las evaluaciones de los árbitros.
- xi. Estudio de la versión final del artículo y de las evaluaciones de los árbitros por parte del Comité Editorial.
- xii. Envío por parte de los autores de la carta de cesión de derechos al editor de la revista.
- xiii. Envío de la versión con corrección de estilo y diagramada a los autores.
- xiv. Verificación de errores y aprobación final de la versión con corrección de estilo y diagramada por parte de los autores.
- xv. Publicación del artículo en el número correspondiente de la revista *Tecnura*.
- xvi. Notificación a los autores de la publicación del número de interés.
- xvii. 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, garantizándose así 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 lo enviara a un tercer árbitro y se inclinara por las dos evaluaciones que tengan el mismo concepto respecto a su publicación.

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.

7. CONTACTO

Para cualquier solicitud de información adicional puede comunicarse a través del correo electrónico de la revista *Tecnura*: <tecnura@udistrital.edu.co>, <tecnura@gmail.co>, 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 - 3238400 Extensión: 5003
Celular: 57 - 3153614852
Bogotá D.C., Colombia
Correo electrónico: tecnura@udistrital.edu.co, tecnura@gmail.com
Página web: <http://tecnura.udistrital.edu.co>

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

TECNURA JOURNAL
DISTRICT FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS UNIVERSITY
FACULTY OF TECHNOLOGY

CONTENT

1. SCOPE AND EDITORIAL POLICY OF THE JOURNAL
2. TYPE OF ACCEPTED ARTICLES
3. ARTICLE FORMAT
4. ARTICLE SUBMISSION
5. PUBLICATION PROCEDURE
6. ARBITRATION OF ARTICLE PROCESS
7. CONTACT

1. SCOPE AND EDITORIAL POLICY OF THE JOURNAL

Tecnura journal is an institutional journal of the Faculty of Technology of Francisco José de Caldas University. It is a scientific-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 the date has maintained regularity.

The areas of interest of Tecnura journal are focused on all engineering fields, as electronics, telecommunications, electricity, systems, industrial, mechanic, civil, environmental, etc. as well as it has room for education and health issues, if they are related with engineering. The journal will only publish research, reflection and revision articles of scientific and technologic research. In consequence, during the initial editorial evaluation, short articles and case reports will be rejected.

Tecnura Journal is published for professors, researchers, students and professionals interested in permanent update of their knowledge and monitoring their 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 belonging to public or private national or foreign institutions.

Articles submitted to Tecnura journal must be unpublished works written in Spanish or English; nevertheless, but 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 Índice Bibliográfico Nacional Publindex (IBN) de Colciencias (Colombia) in the category A2, in the Regional Index Scielo Colombia (Colombia) and Redalyc (México); besides 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 of the Universidad Nacional Autónoma de México (México), Oceanet (Spain) and Dialnet of the Universidad de la Rioja (Spain); also part of the following directories: regional information system for scholarly journals online 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.

Francisco José de Caldas Distrital University, its directors, the editor, the editorial and scientific committee is 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: [//tecnura.udistrital.edu.co](http://tecnura.udistrital.edu.co)

2. TYPE OF ARTICLES ACCEPTED

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

- ▶ **Scientific and technologic research articles:** document that presents, in a detailed manner, the original results of research projects. The structure generally used contains four main parts: introduction, methodology, results and conclusions.
- ▶ **Reflection articles:** document that presents research results from an analytic, interpretative of critic perspective from the author, over a specific topic y adopting original sources.

- ▶ **Review article:** document that results from a research where are analyzed and integrated the results of published or unpublished research's, on a science or technology field, to state the advances and tendencies in development. It is characterized by presenting a careful bibliographical check of at least 50 references.

3. ARTICLE FORMAT

3.1 Of the appropriate language and style for writing articles

- ▶ It is necessary that the articles be written for an international audience, avoiding excessive centralization in strictly local or particular experiences.
- ▶ Must use simple sentence structures, avoiding the ones that are too long or complex.
- ▶ The vocabulary used must be basic and common, technic terms 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 that their work is conducted in a professional and ethic manner.

3.2 Of 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, 25 pages not including references.

3.3 Presentation format

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

- ▶ *Times New Roman* letter, 12 point (except otherwise said 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 point (,) and not with coma (.), and thousands and millions with coma (,).
- ▶ Avoid footnotes.
- ▶ Arabic nomenclature must be used only until the third level.

3.4 Of the structure of the article

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

Composition of an article

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

- ▶ Title in Spanish and English.
- ▶ Information about the authors.
- ▶ Summary 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 has to be short and 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 must be written the complete name(s) of the author(s), with their basic biographical data: undergraduate degree, graduate degree, occupation or position, institutional affiliation (institution where works), 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:

Three out of ten key words 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 is suggested the 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 found at the following web pages respectively:

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

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

Summary in Spanish

Translation to the Spanish language of the text that appears in the abstract, must be corrected and précised.

Keywords in Spanish

Translation to the English language of the keywords in Spanish must be corrected and précised.

Key words must be written in the order of the key words in English and must be as standard as possible, for which is suggested the 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, precedents, state of the art of the topic, objectives and possible scope of the work.

Methodology

The writing of this part must allow that any specialized professional in the topic replicates 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 with the proposed objective.

Financing

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

Acknowledgments

Preferably will be brief and should 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 near 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, is recommended that these are not inserted as images, considering that in that format they cannot be modified. The title of each table includes 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 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 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. Must be used units, dimensions and symbols of the international system.

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

Bibliographic references

Citations, bibliographic references and infography are included at the end of the article. The bibliographic references must be arranged alphabetically according to the surname of the first author, without numbers.

The references that were made in the main text of the work only should appear in tables or in figures. This means that in the list should not appear other references even though they may have been consulted by the authors for the development of the paper.

The call of a bibliographic reference in the text is inserted at the relevant point by the first authors' surname and the year in parentheses, as shown: (Hernández, 2012).

Below are described two examples of the references used in the style of references adopted by Tecnura journal:

Reference of an article: must include the following information in the order described:

- ▶ Surname(s) of the author, initials of the name(s) of the author.
- ▶ Title of the article between quotation marks.
- ▶ Name of the journal in italic.
- ▶ Volume and number or year and number of the journal.
- ▶ Date of publication, month and year.
- ▶ Reference pages of the article.

Example:

Weiming H., Tieniu T., Liang W., Maybank, S., "A survey on visual surveillance of object motion and behaviors", *IEEE Trans. Systems, Man, Cybern.*, Vol. 34, No. 3, Aug. 2004, pp. 334–352.

Reference of a book: must include the following information in the order described:

- ▶ Surname(s) of the author, initials of the name(s) of the author.
- ▶ Title of the work in italic.
- ▶ Edition Number if different from the first.
- ▶ Place of publication, city and country.
- ▶ Publisher name.

- ▶ Year of publication.
- ▶ Number of pages in case it applies.

Example:

Hamilton, J., *Time series analysis*. New Jersey, United States of America: Princeton University Press, 1994.

In the case of a reference taken from internet, the URL of the site must be written and the date it was taken.

4. ARTICLE SUBMISSION

The article of the authors have to be submit through the application Open Journal System in digital format, the cover letter and the format article-authors.

4.1 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, where is included:

- ▶ Specific request to consider your article to be published in Tecnura journal.
- ▶ Full name of the article.
- ▶ Full names of all the authors of the paper.
- ▶ Certification of the originality and unpublished character of the paper.
- ▶ Exclusivity submission to Tecnurajournal.
- ▶ Confirmation of being the author with signature of all the authors.

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

4.2 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://tecnura.udistrital.edu.co>, in the section "guide to authors". It is important to complete all the fields of information requested, some of them have comments to clarify better what is being requested. Not to be scanned.

4.3 Article

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

5. 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:

- i. Delivery of the article with the cover letter and the information format by the authors.
- ii. Notification to the author about the reception of the article.
- iii. Verification of the presentation rules by the monitor of the journal.
- iv. Notification to the author about the evaluation of the presentation rules.
- v. Submission of corrections made by the authors related to the evaluation of presentation rules.
- vi. Submission of the articles to the selected arbitrators.
- vii. Notification of the beginning of the arbitration process of the article.
- viii. Notification to the authors about the decision made by the editorial committee, and of the evaluations made by the arbitrators.
- ix. Delivery of the corrections made by the authors with respect to the evaluations made by the arbitrators.
- x. Study of the final version of the article and the evaluations of the arbitrators by the editorial committee.
- xi. Delivery by the authors of the letter that surrenders right to the editor of the journal.
- xii. Submission of the version with style corrections and diagrammed to the authors.
- xiii. Verification of errors and final approval of the version with style corrections and diagrammed by the authors.
- xiv. Publication of the article in the corresponding number of Tecnura journal.
- xv. Notification to the authors of the number of interest.
- xvi. Delivery of a copy of the journal to each one of the authors of the published article.

6. ARTICLE ARBITARION 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 is expected to include more external peers that 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; it is considered confidential every paper sent and this is imposed this way 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 of the publication of an article, the editorial committee will send the article to 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 to his work institution evaluators, which must be specialists in the specific topic sent and at least must have Masters level and at least two must to be internationals. Potential evaluators can belong to a university or industry, public or private; of them must be provided complete name, highest academic formation, institutional affiliation and e-mail. The editorial committee to enrich the database of arbitrators of Tecnura journal will analyze these four potential evaluators.

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, has the right to make any editorial modification that considers necessary; in this case the author will receive written recommendations from the evaluators, that if accepted, must deliver the article with the suggested adjustments within the dates given by the journal to guarantee its publication in the programmed number.

As copyrights are recognized a copy of the journal in which the collaboration is published.

7. CONTACT

For any additional information request, please send an e-mail to Tecnura journal tecnura@udistrital.edu.co, tecnura@gmail.co or by mail to Cesar Augusto Garcia Ubaque, Director and Publisher of the Journal Tecnura to the following address:

Journal Tecnura
Journals Room, Block 5, Office 305.
Technology Faculty
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Transversal 70 B N. 73 a 35 sur
Phone: 571 - 3238400 Extension: 5003
Mobile: 57 - 3153614852
Bogotá D.C., Colombia
Email: tecnura@udistrital.edu.co, tecnura@gmail.com
Web page: <http://tecnura.udistrital.edu.co>
Web page: <http://tecnura.udistrital.edu.co>

ÍNDICE PERIÓDICO DE AUTORES

VOLUMEN 18

NÚMERO 39, 40, 41 Y 42

2013

FREDY HERNÁN MARTÍNEZ SARMIENTO

Electrical Engineer, Ph.D. Candidate in Engineering. Professor at the Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. fhmartinezs@udistrital.edu.co

DIEGO MAURICIO ACERO SOTO

Electronic Engineer, Master Candidate in Information Sciences. Professor at the Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá, Colombia. dacero@pedagogica.edu.co

MARIELA CASTIBLANCO ORTIZ

Electronic Engineer, Master Candidate in Industrial Engineer. Professor at the Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. marielacastiblanco@gmail.com

LORENA CARDONA RENDÓN

Ingeniera Mecánica, magíster en Ingeniería. Investigadora de la Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. lcardon0@unalmed.edu.co

PAULA ANDREA ORTIZ VALENCIA

Ingeniera en Instrumentación y Control, magíster en Ingeniería. Docente e investigador del Instituto Tecnológico Metropolitano. Medellín, Colombia. paulaortiz@itm.edu.co

JUAN SEBASTIÁN BOTERO VALENCIA

Ingeniero Electrónico. Investigador del Instituto Tecnológico Metropolitano. Medellín, Colombia. juanbotero@itm.edu.co

JOSÉ DANILO RAIRÁN ANTOLINES

Electrical Engineer, Ph.D. Candidate in Engineering at Universidad Nacional de Colombia. Professor at the Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. drairan@udistrital.edu.co

SERGIO A. ROJAS

Systems Engineer, Ph.D. in Computer Science, Assistant Professor at the Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. srojas@udistrital.edu.co

RICARDO ANDRÉS BOLAÑOS OCAMPO

Ingeniero Electricista, magíster en Ingeniería Eléctrica. Analista Coordinación de Operación de XM Filial de ISA. Bogotá, Colombia. rabolanos@xm.com.co

CARLOS ADRIÁN CORREA FLÓREZ

Ingeniero Electricista, magíster en Ingeniería Eléctrica. Profesor asistente de la Universidad de La Salle. Bogotá, Colombia. carcorrea@unisalle.edu.co

ALEJANDRO CASTILLO RAMÍREZ

Ingeniero de Materiales. Estudiante de Maestría en Ingeniería de la Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. alcara52@hotmail.com

FERNANDO VILLADA DUQUE

Ingeniero Electricista. Docente de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. fvillada@udea.edu.co

JAIME ALEJANDRO VALENCIA VELÁSQUEZ

Ingeniero Electricista. Docente de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. jvalenci@udea.edu.co

ARTURO FAJARDO JAIMES

Ingeniero Electrónico, magíster en Ingeniería Electrónica. Docente asistente de la Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. fajardoa@javeriana.edu.co

FERNANDO OJEDA RUIZ

Ingeniero Electrónico, magíster en Ingeniería Electrónica. Ingeniero de Investigación y Desarrollo de U y G Ingeniería S.A. Bogotá, Colombia. fojeda@javeriana.edu.co

ABDEL KARIM HAY HARB

Ingeniero Electrónico, magíster en Ingeniería Electrónica. Docente emérito de la Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. karim.hay@javeriana.edu.co

GABRIEL PERILLA GALINDO

Ingeniero Electrónico, magíster en Ingeniería Electrónica. Docente asistente

de la Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. gabriel.perilla@javeriana.edu.co

MÓNICA SÁNCHEZ

Ingeniera Industrial, magíster en Ingeniería Eléctrica. Ingeniera de EPSA. Cali, Colombia. msanchez@epsa.com.co

CARLOS A. LOZANO

Ingeniero Electricista, magíster en Ingeniería Eléctrica. Docente de la Universidad del Valle. Cali, Colombia. carlos.a.lozano@correounivalle.edu.co

DIEGO FERNANDO MANOTAS DUQUE

Ingeniero Industrial, magíster en Ingeniería Industrial. Docente de la Universidad del Valle. Cali, Colombia. diego.manotas@correounivalle.edu.co

JOHANN ALEXANDER HERNÁNDEZ MORA

Ingeniero Electricista, magíster en Ingeniería Eléctrica, Doctor en Ingeniería Eléctrica. Docente asistente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. jahernandezm@udistrital.edu.co

CÉSAR LEONARDO TRUJILLO RODRÍGUEZ

Ingeniero Electrónico, magíster en Ingeniería Eléctrica, Doctor en Ingeniería Electrónica. Docente asociado de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. cltrujillo@udistrital.edu.co

WILLIAM ANDRÉS VALLEJO LOZADA

Químico, Doctor en Química. Docente de la Universidad del Atlántico. Barranquilla, Colombia. williamvallejo@mail.uniatlantico.edu.co

HERNÁN PAZ PENAGOS

Ingeniero electrónico, ingeniero electricista, filósofo, magíster en Telemática, doctor en Educación. Docente de Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Bogotá, Colombia. hernan.paz@escuelaing.edu.co

MARÍA C. BOHÓRQUEZ

Ingeniera electrónica. Analista Mesa de Ayuda del Banco AV Villas. Bogotá, Colombia. maria.bohorquez@mail.escuelaing.edu.co

DANIEL E. RODRÍGUEZ

Ingeniero electrónico. Consultor junior área GBS-AP de IBM Colombia. Bogotá, Colombia. daniel.rodriguez-m@mail.escuelaing.edu.co

DANNY O. MALDONADO

Ingeniero electrónico. Ingeniero de Soporte de CRC Outsourcing. Bogotá, Colombia. danny.maldonado@mail.escuelaing.edu.co

CLAUDIA L. SÁNCHEZ

Ingeniera electrónica. Investigadora de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Bogotá, Colombia. claudia.sanchez-j@mail.escuelaing.edu.co

CESAR M. GALARZA

Ingeniero electrónico, magíster de Ingeniería Electrónica. Asistente de investigación de la Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia. cesarmgb@gmail.com

JORGE EDUARDO ARANGO GÓMEZ

Ingeniero Mecánico, magíster en Motores de Combustión Interna, magíster en Automatización. Profesor asistente de la

Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. jearangogo@unal.edu.co

FABIO EMIRO SIERRA VARGAS

Ingeniero Mecánico, magíster en Automatización Industrial, doctor en Ingeniería. Profesor titular de la Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. feserrav@unal.edu.co

VLADIMIR SILVA LEAL

Ingeniero Mecánico, magíster en Ingeniería Mecánica. Investigador de la Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. vsilval@unal.edu.co

FABINTON SOTELO GÓMEZ

Ingeniero de Sistemas. Estudiante de Maestría en Ingeniería Telemática de la Universidad del Cauca y Docente de la Secretaría de Educación del Cauca. Cauca, Colombia. fabinton.sotelo@unicauca.edu.co

MARIO FERNANDO SOLARTE

Magíster en Ingeniería Área Telemática. Profesor de planta de la Universidad del Cauca. Cauca, Colombia. msolarte@unicauca.edu.co

HANS RAÚL MÁRQUEZ RAMOS

Ingeniero Electrónico. Joven Investigador Colciencias 2011, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. hans_marquez@hotmail.com

RUBÉN DARÍO BONILLA ISAZA

Ingeniero Electricista y magíster en Ingeniería-Automatización Industrial de la Universidad Nacional de Colombia. Docente del programa de Ingeniería de Producción en la Universidad

Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica. Director del grupo de investigación DEDALO, investigación en gestión tecnológica.

**GUSTAVO ADOLFO PUERTO
LEGUIZAMÓN**

Ingeniero de Telecomunicaciones, Doctor en Telecomunicaciones. Docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. gapuerto@udistrital.edu.co

JAIME ANDRÉS VALLEJO AVELLANEDA

Estudiante de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. javallejoa@correo.udistrital.edu.co

JHON JAIME RAMÍREZ OCHOA

Estudiante de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. jjramirezo@correo.udistrital.edu.co

MAIRA CECILIA GASCA MANTILLA

Ingeniero Electrónico, Magíster en Mantenimiento Industrial. Docente de la Universidad Antonio Nariño. Santa Marta, Colombia. magasca@uan.edu.co

LUIS LEONARDO CAMARGO ARIZA

Ingeniero Electrónico, Magíster en Ingeniería Electrónica. Docente de la Universidad del Magdalena. Santa Marta, Colombia. lcamargoa@unimagdalena.edu.co

BYRON MEDINA DELGADO

Ingeniero Electrónico, Magíster en Ingeniería Electrónica. Docente de la Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia. byronmedina@ufps.edu.co

EDWIN VILLARREAL LÓPEZ

Magíster en Automatización Industrial de la Universidad Nacional de Colombia. Docente investigador del programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad Manuela Beltrán. edvillal@gmail.com

DANIEL ALEJANDRO ARANGO

Magíster en Ingeniería Electrónica de la Pontificia Universidad Javeriana. Docente investigador del programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad Manuela Beltrán. darangop@gmail.com

CARLOS ALBERTO HIDALGO MORA

Ingeniero Electrónico de la Universidad Distrital, Asistente de Investigación del grupo LIFAE de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. carlosalbertohm@gmail.com

NELSON LEONARDO DÍAZ ALDANA

Ingeniero Electrónico, Magíster en Automatización Industrial. Docente Asistente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. nldiaza@udistrital.edu.co

CÉSAR LEONARDO TRUJILLO RODRÍGUEZ

Ingeniero Electrónico, Magíster en Ingeniería Eléctrica, Doctor en Ingeniería Electrónica. Docente Asociado de la

Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. cltrujillo@udistrital.edu.co

ANDRÉS GONZÁLEZ HASSIG

Ingeniero Mecánico, Magíster en Ingeniería de Energía Sustentable. Gerente Regeneración Ltda. Bogotá, Colombia. andres.gonzalez@regeneracion.com.co

CÉSAR AUGUSTO GARCÍA UBAQUE

Ingeniero Civil, Doctor en Ingeniería. Profesor Asistente Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. cagarciau@udistrital.edu.co

GABRIEL FERNANDO TALERO ROJAS

Ingeniero Mecánico, Ingeniero de Proyectos Regeneración Ltda. Bogotá, Colombia. gabriel.talero@regeneracion.com.co

MIRNA JIRÓN POPOVA

Candidata a Doctora en Educación, Magíster en Educación, Magíster en Ingeniería Mecánica, Ing. Mecánico. Docente Asociado de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. mjiron@udistrital.edu.co.

GERMÁN ANDRÉS MÉNDEZ GIRALDO

Ingeniero Industrial, Doctor en Ciencias Técnicas. Director del grupo de investigación Sistemas Expertos y Simulación. Docente de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. gmendez@udistrital.edu.co.

EDUYN RAMIRO LÓPEZ SANTANA

Ingeniero Industrial, especialista en Gestión de Proyectos de Ingeniería, Magíster en Ingeniería Industrial. Investigador

del grupo de investigación Sistemas Expertos y Simulación. Docente Facultad de Ingeniería Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. erlopezs@udistrital.edu.co

OSCAR IGNACIO SÁNCHEZ

Ingeniero eléctrico e integrante del Grupo GCEM de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. os_carsa@hotmail.com

CÉSAR ALBERTO TORRES

Ingeniero eléctrico e integrante del Grupo GCEM de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. catorress12@hotmail.com

FRANCISCO SANTAMARÍA

Ingeniero electricista, doctor en Ingeniería. Docente e integrante del Grupo GCEM de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. fsantamariap@udistrital.edu.co

JAVIER DE LA HOZ FREYLE

Ingeniero de Sistemas, estudiante de maestría en Ingeniería de Sistemas e Informática, de la Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia. javierdlahoz@gmail.com

ELBERTO CARRILLO RINCÓN

Ingeniero de Sistemas, magíster en Ciencias de la Computación. Docente asociado de la Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia. elcarin@uis.edu.co

LUIS CARLOS GÓMEZ FLÓREZ

Ingeniero de Sistemas, magíster en Ciencias de la Computación. Docente titular de la Universidad Industrial de

Santander. Bucaramanga, Colombia.
lcgomezf@uis.edu.co

VICENTE GARCÍA DÍAZ

Engineer Informatic and Doctor in Computer Science. Researcher in University of Oviedo, Spain. garciavicente@uniovi.es

EDWARD ROLANDO NÚÑEZ VALDEZ

Engineer Informatic and Doctor in Computer Science. Researcher in University of Oviedo, Spain. nunezedward@uniovi.es

JORDÁN PASCUAL ESPADA

Engineer Informatic and Doctor in Computer Science. Researcher in University of Oviedo, Spain. pascualjordan@uniovi.es

CRISTINA PELAYO GARCÍA BUSTELO

Engineer Informatic and Doctor in Computer Science. Researcher in University of Oviedo, Spain. crispelayo@uniovi.es

JUAN MANUEL CUEVA LOVELLE

Engineer Informatic and Doctor in Computer Science. Researcher in University of Oviedo, Spain. cueva@uniovi.es

CARLOS ENRIQUE MONTENEGRO MARÍN

Engineer Informatic and Doctor in Computer Science. Researcher in Universidad Distrital "Francisco José de Caldas", Colombia. cemontenegrom@udistrital.edu.co

VIRGILIO SANTANDER SOCORRAS QUINTERO

Ingeniero Electrónico y de Telecomunicaciones. Estudiante de Maestría en Teleinformática, Universidad Distrital

Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. vssocarrasq@udistrital.edu.co

ERNESTO GÓMEZ VARGAS

Ingeniero Electrónico, Magíster en Teleinformática. Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. egomezvargas@udistrital.edu.co

NELSON OBREGÓN NEIRA

Ingeniero Civil, Doctorado en Hidráulica. Facultad de Ingeniería, Pontifici Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. nobregon@javeriana.edu.co

NELSON ENRIQUE VERA PARRA

Ingeniero Electrónico, magíster en Teleinformática. Docente e investigador de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. neverep@udistrital.edu.co

DANILO ALFONSO LÓPEZ

Ingeniero Electrónico, magíster en Teleinformática. Docente e investigador de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. dalopez@udistrital.edu.co

HÉCTOR CRISTYAN MANTA CARO

Ingeniero Electrónico, magíster en Teleinformática. Investigador de la Universidad de Granada. Granada, España. cristyan.manta@gmail.com

JOSÉ ROBERTO CÁRDENAS CASTIBLANCO

Ingeniero Electrónico, Magister en Teleinformática, Doctor en Ingeniería. Profesor asociado de la Maestría en Ciencias de la Información y las Comunicaciones de

la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.
rcardenas@udsitrital.edu.co

JESÚS D. GONZÁLEZ LLORENTE

Ingeniero electrónico, especialista en Ingeniería de Software, magíster en Ingeniería Eléctrica, Docente Investigador en la Universidad Sergio Arboleda. Bogotá, Colombia. jesusd.gonzalez@correo.usa.edu.co

GUSTAVO A. PUERTO LEGUIZAMÓN

Ingeniero de telecomunicaciones, doctor en Telecomunicaciones, docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. gapuerto@udistrital.edu.co

WALTER JULIÁN GIL GONZÁLEZ

Ingeniero electricista, candidato a magíster en Ingeniería Eléctrica. Investigador del Grupo de Investigación en Calidad de Energía Eléctrica y Estabilidad de la Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia. wjgil@utp.edu.co

JUAN JOSÉ MORA FLÓREZ

Ingeniero electricista, doctor en Ingeniería Eléctrica. Docente titular de la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP). Pereira, Colombia. jjmora@utp.edu.co

SANDRA MILENA PÉREZ LONDOÑO

Ingeniera electricista, doctora en Ingeniería. Docente titular de la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP). Pereira, Colombia. saprez@utp.edu.co

ANDRÉS JARAMILLO ORTIZ

Ingeniero en Mecatrónica. Auxiliar de investigación del grupo GAV en la Uni-

versidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia. andresjaor@gmail.com

ROBINSON JIMÉNEZ M.

Ingeniero electrónico, magíster en Automatización Industrial. Docente Investigador grupo GAV, Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia. robinson.jimenez@unimilitar.edu.co

OLGA LUCÍA RAMOS

Ingeniero electrónico y magíster en Telemática. Docente Investigador grupo GAV, Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia. olga.ramos@unimilitar.edu.co

OMAR IVÁN TREJOS BURITICÁ

Ingeniero de Sistemas. Doctor en Ciencias de la Educación. Docente de planta, Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia. omartejos@uto.edu.co

LUIS ALBERTO PAREDES CHÉRREZ

Ingeniero Civil. Auxiliar de Investigación, Programa de Ingeniería Civil, Grupo Geotecnia, Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia. u1100719@unimilitar.edu.co

ÓSCAR JAVIER REYES ORTIZ

Ingeniero Civil, Doctor. Profesor Titular, Programa de Ingeniería Civil, Líder Grupo Geotecnia, Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia. oscar.reyes@unimilitar.edu.co

JAVIER FERNANDO CAMACHO TAUTA

Ingeniero Civil, Doctor. Profesor Asociado, Programa de Ingeniería Civil, Investigador Grupo Geotecnia, Universidad Mi-

litar Nueva Granada. Bogotá, Colombia.
javier.camacho@unimilitar.edu.co

ÁLVARO JAVIER ÁVILA DÍAZ

Ingeniero Agrícola, Universidad del Valle. Investigador del Grupo de Investigación en Ingeniería de Recursos Hídricos y Suelos, IREHISA. Cali, Colombia. alvaro.avila@correounivalle.edu.co

YESID CARVAJAL ESCOBAR

Ingeniero Agrícola. Doctor en Ingeniería. Profesor Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente. Universidad del Valle. Director del Grupo de Investigación Ingeniería de Recursos Hídricos y Suelos, IREHISA. Cali, Colombia. yesid.carvajal@correounivalle.edu.co

SERGIO ENRIQUE GUTIÉRREZ SERNA

Ingeniero Agrícola, Universidad del Valle. Investigador del Grupo de Investigación en Ingeniería de Recursos Hídricos y Suelos, IREHISA. Cali, Colombia. serguti@univalle.edu.co

HERNÁN PORRAS DÍAZ

Ingeniero Civil, doctor en Ingeniería Telemática. Docente e investigador de la Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia. hporras@uis.edu.co

JHON JAIRO CÁCERES JIMÉNEZ

Ingeniero de Sistemas, doctor en Ingeniería Civil. Docente e investigador de la Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia. jcaceres@uis.edu.co

ELVER OMAR GALLO LANCHEROS

Ingeniero de Sistemas, candidato a magíster en Ingeniería de Sistemas e Informática. Investigador de la Universidad

Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia. omga27@gmail.com

PEDRO GUEVARA LÓPEZ

Ingeniero electricista, maestro en Ciencias de la Computación, doctor en Ciencias de la Computación, doctor en Filosofía de la Educación Iberoamericana, profesor investigador de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Distrito Federal, México. pguevara@ipn.mx

JORGE SALVADOR VALDEZ MARTÍNEZ

Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica con especialidad en Acústica, maestro en Tecnología Avanzada, candidato a doctor en Ciencias en Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica, profesor de la Universidad Tecnológica Emiliano Zapata, Morelos, México. jorgevaldez@utez.edu.mx

JESÚS AUDELO GONZÁLEZ

Ingeniero en Computación, maestro en Ciencias de Ingeniería en Microelectrónica, doctor en Ciencias en Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica, Distrito Federal, México. jaudelo@ipn.mx

GUSTAVO DELGADO REYES

Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica, maestro en Ciencias de Ingeniería en Microelectrónica, candidato a Doctor en Ciencias en Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica Distrito Federal, México. gdelgado1200@alumno.ipn.mx

HELBERT EDUARDO ESPITIA CUCHANGO

Ingeniero electrónico, ingeniero mecánico, especialista en Telecomunicaciones Móviles, magíster en Ingeniería Industrial, magíster en Ingeniería Mecánica, docente de la Universidad Distrital

Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. heespitiac@udistrital.edu.co

JORGE IVÁN SOFRONY ESMERAL

Ingeniero eléctrico, magíster en Sistemas de Control, doctor en Sistemas de Control, docente de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. jsofronye@unal.edu.co

SEBASTIÁN RODRÍGUEZ PÁEZ

Ingeniero electrónico, magíster en Electrónica, profesor de cátedra de la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. jrodriguezp@javeriana.edu.co

ARTURO FAJARDO JAIMES

Ingeniero electrónico, magíster en Electrónica, profesor asistente de la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. fajardoa@javeriana.edu.co

CARLOS IVÁN PÁEZ RUEDA

Ingeniero electrónico, especialista en Docencia e Investigación Universitaria, magíster en Eléctrica, profesor asociado de la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. paez.carlos@javeriana.edu.co

ALEJANDRO GARCÉS RUIZ

Ingeniero electricista, magíster en Ingeniería, doctor en Ingeniería, profesor de la Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia. @utp.edu.co

CARLOS ADRIÁN CORREA FLÓREZ

Ingeniero electricista, magíster en Ingeniería Eléctrica, profesor de la Universidad de La Salle. Bogotá, Colombia. carcorrea@unisalle.edu.co

ALEJANDRO SÁNCHEZ SALCEDO

Ingeniero electricista, magíster en Ingeniería - Ingeniería Eléctrica, profesor de la Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia. alsanchez@unisalle.edu.co

CÉSAR AUGUSTO HERNÁNDEZ SUÁREZ

Ingeniero electrónico, especialista en Interconexión de Redes y Servicios Telemáticos, magíster en Ciencias de la Información y las Comunicaciones, candidato a doctor en Ingeniería de Sistemas y Computación, docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. cahernandezs@udistrital.edu.co

VÍCTOR ALFONSO GÓMEZ SAAVEDRA

Ingeniero eléctrico, tecnólogo en electricidad, estudiante de Especialización en Gestión de Proyectos en Ingeniería, auxiliar de laboratorios de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. vagomez@correo.udistrital.edu.co

ROBÍN ALEJANDRO PEÑA LOTE

Ingeniero eléctrico, tecnólogo en electricidad, ingeniero eléctrico de Schneider Electric, Bogotá, Colombia. rapeñal@correo.udistrital.edu.co

SERGIO ANDRÉS VANEGAS HERRERA

Ingeniero civil, magíster en Ingeniería Civil, docente de la Universidad Industrial de Santander (UIS), Bucaramanga, Colombia. sergio.vanegas@correo.uis.edu.co

Gustavo Chio Cho

Ingeniero civil, doctor ingeniero de caminos, canales y puertos, docente

de la Universidad Industrial de Santander (UIS), Bucaramanga, Colombia. gchioch@uis.edu.co

CÉSAR AUGUSTO GARCÍA UBAQUE

Ingeniero civil, doctor en Ingeniería, profesor asistente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. cagarciau@udistrital.edu.co

MARÍA CAMILA GARCÍA VACA

Ingeniera química, estudiante de Maestría en Ingeniería Química, Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia. gchioch@uis.edu.co

CARLOS FERNANDO AGUDELO RODRÍGUEZ

Arquitecto, magíster en Planificación Urbana y Regional, profesor asistente de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia. cfa-gudelo@unisalle.edu.co

LUZ AMPARO QUINTERO ORTIZ

Ingeniera metalúrgica, especialista en Docencia Universitaria, magíster en Ingeniería Metalúrgica, docente de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. luzquint@uis.edu.co

RICARDO ALFREDO CRUZ HERNÁNDEZ

Ingeniero civil, doctor en Ciencias Técnicas, docente de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. racruz@uis.edu.co

DEYCI YAMILE PEÑA SANTOS

Ingeniera metalúrgica, especialista en Soldadura, coordinadora de proyectos de ingeniería de la Compañía de Geren-

ciamento de Integridad S.A.A. Bogotá, Colombia. deyci.penasantos@cgjin.co

PAULO ALONSO GAONA GARCÍA

System Engineering, Master in Information Sciences and Communications, Ph.D candidate in Information and Knowledge Engineering. Professor at Engineering Faculty of Distrital University, Bogotá, Colombia. pagaonag@udistrital.edu.co

ANA FERMOZO GARCÍA

Degree in computing, Doctor in Computer Science at the Deusto University. Professor at the Computer Science Department of the Pontifical University of Salamanca, Salamanca, Spain. afermosoga@upsa.es

SALVADOR SANCHEZ ALONSO

Engineer in Computer, degree on Library Science. Doctor in Computer Science at the Polytechnic University of Madrid. Professor and senior member of the Information Engineering group, a research unit dependent of the Computer Science Department of the University of Alcalá, Alcalá, Spain. salvador.sanchez@uah.es

ELVIS EDUARDO GAONA GARCÍA

Electronic Engineering, Master in Information Sciences and Communications, Ph.D candidate in Engineering. Professor at Engineering Faculty of Distrital University. Bogotá, Colombia. egaona@udistrital.edu.co

CARLOS ALBERTO ARDILA ALBARRACÍN

Ingeniero de sistemas, magíster en Computación, docente de la Universidad

anexos |

del Cauca, Popayán, Colombia cardila@unicauca.edu.co

FRANCISCO JOSÉ PINO CORREA

Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, doctor en Ingeniería de Sistemas, docente de la Universidad del Cauca, Popayán, Colombia. fjpino@unicauca.edu.co

CÉSAR JESÚS PARDO CALVACHE

Ingeniero de sistemas, doctor en Ciencias de la Computación, docente de la

Universidad EAFIT, Calí, Colombia. cpar-doc@eafit.edu.co

LUIS MERCHÁN PAREDES

Ingeniero de sistemas, magíster en Administración de Empresas, doctor en Dirección de Proyectos, director de Investigaciones de la Universidad de San Buenaventura, Cali, Colombia. lmerchan@usbcali.edu.co

ÍNDICE PERIODICO DE ARTICULOS

VOLUMEN 18

NUMERO 39, 40, 41 Y 42

2014

- ▶ AUTONOMOUS NAVIGATION STRATEGY FOR ROBOT SWARMS USING LOCAL COMMUNICATION
- ▶ SISTEMA DE NAVEGACIÓN PARA UN ROBOT LIMPIADOR DE PISCINAS
- ▶ RECONSTRUCTION OF PERIODIC SIGNALS USING NEURAL NETWORKS
- ▶ TOWARDS AUTOMATIC RECOGNITION OF IRREGULAR, SHORT-OPEN ANSWERS IN *FILL-IN-THE-BLANK* TESTS
- ▶ PLANEAMIENTO DE LA TRANSMISIÓN CONSIDERANDO SEGURIDAD E INCERTIDUMBRE EN LA DEMANDA EMPLEANDO PROGRAMACIÓN NO LINEAL Y TÉCNICAS EVOLUTIVAS
- ▶ DISEÑO MULTIOBJETIVO DE UN SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-SOLAR CON BATERÍAS PARA ZONAS NO INTERCONECTADAS
- ▶ MODELADO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MANEJADOR ELÉCTRICO PARA UN MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO
- ▶ MODELO DE VALORACIÓN DE RIESGO FINANCIERO EN LA GESTIÓN DE CONTRATOS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA
- ▶ MODELAMIENTO DE LA IRRADIANCIA Y LA TEMPERATURA AMBIENTE UTILIZANDO FUNCIONES DE PROBABILIDAD
- ▶ TECNOLOGÍA RADIO COGNITIVA EN LA BANDA ULTRA HIGH FREQUENCY (UHF)
- ▶ ANÁLISIS EXPLORATORIO DE INVESTIGACIONES SOBRE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA QUE TRABAJAN CON BIOGÁS
- ▶ INCORPORACIÓN DE RECURSOS WEB COMO SERVICIOS DE *E-LEARNING* AL SISTEMA DE GESTIÓN DE APRENDIZAJE .LRN: UNA REVISIÓN

anexos |

- ▶ ARQUITECTURAS DE RADIO COGNITIVA: UNA REVISIÓN ACTUAL
- ▶ INNOVACIÓN EMPRESARIAL. ARTE Y CIENCIA EN LA CREACIÓN DE EMPRESAS
- ▶ A STUDY ON THE MULTIPLE DYNAMIC WAVELENGTH DISTRIBUTION FOR GIGABIT CAPABLE PASSIVE OPTICAL NETWORKS
- ▶ METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE APLICACIONES MÓVILES
- ▶ ESTRATEGIAS PARA EL ENTRENAMIENTO DE REDES NEURONALES DE NÚMEROS DIFUSOS
- ▶ DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE CONTROLADORES LINEALES PARA REGULACIÓN DEL BUS DC EN CONVERTIDORES VSC PARA HVDC
- ▶ ESTUDIO DE PLANTA PILOTO PARA PELETIZACIÓN DE RESIDUOS MADEREROS Y SU UTILIZACIÓN COMO COMBUSTIBLE EN HORNOS LADRILLEROS
- ▶ TECNOLOGÍA, INGENIERÍA Y CICLOS DE FORMACIÓN
- ▶ METODOLOGÍA PARA EL PRONÓSTICO DE LA DEMANDA EN AMBIENTES MULTIPRODUCTO Y DE ALTA VARIABILIDAD
- ▶ COMPARACIÓN DE LAS NORMAS NTC 4552 DE 2008 E IEC 62305 DE 2010 PARA EL ANÁLISIS DE RIESGO
- ▶ MEMORIAS ORGANIZACIONALES EN LA ERA DEL ALMACENAMIENTO EN LA NUBE
- ▶ A BRIEF INTRODUCTION TO MODEL-DRIVEN ENGINEERING
- ▶ CALIBRACIÓN DE IMÁGENES DE RADARES METEOROLÓGICOS
- ▶ MODELO *TEST-BED* DE SIMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE CRIPTOGRAFÍA DE CURVA ELÍPTICA EN REDES IPV6 DE PRÓXIMA GENERACIÓN
- ▶ MEJORAMIENTO DE LA TÉCNICA ATPM PARA REDUCCIÓN DE INTERFERENCIA EN SISTEMAS DE BANDA ANCHA POR LÍNEA DE POTENCIA EN RESIDENCIAS

- ▶ ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE POTENCIA SUMINISTRADA POR LAS CELDAS FOTOVOLTAICAS DE UN CUBESAT
- ▶ ANÁLISIS DEL PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE ENTRADA PARA UN LOCALIZADOR DE FALLAS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN
- ▶ INSPECCIÓN DE CALIDAD PARA UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN INDUSTRIAL BASADO EN EL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES
- ▶ RELACIONES DE APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO ENTRE DOS PARADIGMAS DE PROGRAMACIÓN A PARTIR DE DOS LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN
- ▶ COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DENSAS A PARTIR DEL ENSAYO DE VIGA SEMICIRCULAR SIMPLEMENTE APOYADA
- ▶ ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE EL NIÑO Y LA NIÑA EN LA OFERTA HÍDRICA MENSUAL DE LA CUENCA DEL RÍO CALI
- ▶ MODELOS URBANOS TRIDIMENSIONALES GENERADOS A PARTIR DE NUBES DE PUNTOS DE UN ESCÁNER LÁSER TERRESTRE
- ▶ APROXIMACIÓN NUMÉRICA DEL MODELO EPIDEMIOLÓGICO SI PARA LA PROPAGACIÓN DE GUSANOS INFORMÁTICOS, SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE SU ERROR
- ▶ ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN BASADO EN ENJAMBRES DE PARTÍCULAS CON COMPORTAMIENTO DE VORTICIDAD Y BÚSQUEDA INDIVIDUAL Y GRUPAL
- ▶ HÍBRIDO RAT-RACE MINIATURIZADO PARA LA BANDA ISM 2,4 GHZ
- ▶ OPERACIÓN ECONÓMICA DE DISPOSITIVOS ALMACENADORES DE ENERGÍA PARA DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS
- ▶ SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA DETERMINAR EL GRUPO DE CONEXIÓN EN EL TRANSFORMADOR TRIFÁSICO DL1080
- ▶ ESTIMACION DEL ÍNDICE DE CONFIABILIDAD β DE LAS VIGAS DE UN PUENTE USANDO CONTEOS DE TRAFICO REAL (TPDS) MEDIANTE SIMULACIÓN
- ▶ EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE PASIVOS AMBIENTALES MINEROS EN LA CANTERAVILLA GLORIA EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR, BOGOTÁ D.C.

anexos |

- ▶ EFECTO DEL CONTENIDO DE AGUA SOBRE LA RESISTENCIA Y LA VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO DEL CONCRETO
- ▶ VISUALIZATION TECHNIQUES THROUGH SEARCH INTERFACES IN LEARNING OBJECT REPOSITORIES
- ▶ MATGEC: HACIA UN MARCO DE TRABAJO PARA LA GESTIÓN CUANTITATIVA DE PROCESOS DE DESARROLLO DE SOFTWARE EN PEQUEÑAS ORGANIZACIONES

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 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 la parte inferior de esta página o escaneado a los correos electrónicos *tecnura@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 Ph.D.

Director y editor Revista *Tecnura*

Biblioteca

Facultad Tecnológica

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Transversal 70B No. 73A - 35 sur

Teléfono: 571 - Tel: 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>

**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	46 USD
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@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 Ph.D.

Editor and Publisher zzz journal

Library

Technology Faculty

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Transversal 73A No. 70B - 35 Sur

Phone: 571 - Tel: 7311542

Mobile: 57 - 3153614852

E-mail: *Tecnura@udistrital.edu.co*, *Tecnura@gmail.com*