

REVISTA Ingeniería

Volumen 21 · Número 2 · Año 2016 · ISSN 0121-750X · E-ISSN 2344-8393

REVISTA CIENTÍFICA CUATRIMESTRAL



Carrera 7 No. 40-53
Edificio Administrativo
Piso 4 - Facultad de Ingeniería
Bogotá, Colombia
Teléfono: + 57 (1) 323 93 00 ext. 2413
Correo revista:
revista.ing@udistrital.edu.co

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/reving>

POSTURA EDITORIAL Y AUDIENCIA

Su principal objetivo es difundir y debatir avances en investigación y desarrollo en las diferentes áreas de la ingeniería, con artículos de contenido original e inédito. La revista está dirigida a investigadores, especialistas, docentes, estudiantes de pregrado y posgrado, ingenieros en ejercicio y al sector empresarial

EDITOR

Sergio A. Rojas, PhD.
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

COMITÉ EDITORIAL

Sarah Greenfield, PhD. Faculty of Technology of Montfort University, UK	Carlos Andrés Peña, PhD. University of Applied Sciences Western Switzerland, Switzerland
Jose Marcio Luna, PhD. GRASP Lab, University of Pennsylvania, Estados Unidos	Luz Esperanza Bohorquez, PhD. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia
José Luis Villa, PhD. Universidad Tecnológica de Bolívar, Colombia	Víctor Hugo Grisales, PhD. Universidad Nacional de Colombia, Colombia
Carlos Eduardo Moreno, PhD. Universidad Nacional de Colombia, Colombia	Juan Carlos Figueroa, PhD. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia
Diego Cantor, PhD. University of Western Ontario Robarts Research Institute	Iván Santelices Malfanti, PhD. Universidad del Bío-Bío, Chile

COMITÉ CIENTÍFICO

Rodrigo Herrera, Msc. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia	Germán Jairo Hernández, PhD. Universidad Nacional de Colombia, Colombia
Marco Aurelio Alzate, PhD. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia	Diego Pardo Ayala, PhD. Agile and Dexterous Robotics Lab - ETHZ (Zurich)
Germán Méndez, PhD. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia	Edwin Rivas, PhD. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia
Ana María Peña, PhD. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia	Henry Alberto Diosa, PhD. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

DIRECTIVAS

Carlos Javier Mosquera S. (E)
Rector
Nelson Libardo Forero Chacón, PhD.
Centro de Investigación y Desarrollo Científico
Roberto Ferro Escobar, PhD.
Decano Facultad Ingeniería

PREPARACIÓN EDITORIAL

Gestora Editorial Carolina Suárez R., Msc.	Corrección de Estilo Jenny Alexandra Jimenez, Msc
Diagramación L^AT_EX Julian Arcila Forero, Msc(c)	Impresión Editorial Kimpres

ÁRBITROS EN ESTA EDICIÓN

Ricardo Moreno Chuquen, PhD. Escuela Colombiana de Ingeniería	Carlos Mateo Domingo, PhD. Universidad Pontificia Comillas, España
Edwin Causado Rodríguez, PhD. Universidad del Magdalena, Colombia	Luz Esperanza Bohorquez, PhD. Universidad Distrital FJDC, Colombia
Patricia Carolina Barreto Bernal, PhD. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia	Oscar Gutiérrez Molina, PhD(c). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
Juan Carlos Figueroa, PhD. Universidad Distrital FJDC, Colombia	Adriana Patricia Uribe Uran, PhD. Universidad Simón Bolívar, Colombia
Edwin Rivas, PhD. Universidad Distrital FJDC, Colombia	German Hernández, PhD. Universidad Nacional de Colombia
Eduyn López-Santana, PhD(c) Universidad Distrital FJDC, Colombia	Monica Arcila Rivera, PhD(c). Servicio Geológico Colombiano
Jorge Alberto Mejía Mejía, PhD. Consorcio Yacimientos, outsourcing Ecopetrol, Colombia	Yuri Mejía-Melgarejo, PhD(c). Universidad Industrial de Santander, Colombia
Helmer Acevedo, PhD(c). Universidad Nacional de Colombia	Andres Navarro Cadavid, PhD. Universidad Icesi, Colombia
Jorge E. Camargo Mendoza, PhD. Universidad Antonio Nariño, Colombia	Jorge E. Higuera Portilla, PhD. Catalonia Institute For Energy Research, España
Khriscia S. Cecilia Utría Salas, MSc. Universidad Autónoma del Caribe, Colombia	Sarah Greenfield, PhD. Faculty of Technology of Montfort University, UK
Carlos Celemin, PhD(c). Universidad de Chile	Javier Arturo Orjuela Castro, PhD(c). Universidad Distrital FJDC, Colombia
Liliana R. Delgadillo Mirquez, PhD. Universidad de Ibagué, Colombia	Diana M. Ovalle Martínez, PhD. Universidad Distrital FJDC, Colombia
María del Pilar Villamil Giraldo, PhD. Universidad de los Andes Colombia	Lázaro V. Cremades Oliver, PhD. Universitat Politècnica de Catalunya, España
Katherine A. Baquero Duarte, PhD(c). University of Liège, Francia	German A. Méndez Giraldo, PhD. Universidad Distrital FJDC, Colombia
Juan Guillermo Villegas Ramírez, PhD. Universidad de Antioquia, Colombia	Adriana Herrera Barros, PhD. Universidad de Cartagena, Colombia
Mauricio González Palacio, MSc. Universidad de Medellín, Colombia	Iván Lizarazo Salcedo, PhD. Universidad Distrital FJDC, Colombia
Doris Mejía Avila, PhD. Universidad de Córdoba, Colombia	Milton M. Herrera Ramírez, MSc. Universidad Piloto de Colombia
Emmanuel G. Lasso Sambony, PhD(c). Universidad del Cauca, Colombia	Ricardo Delgado Cadena, PhD(c). Universidad de los Andes, Colombia
Luis Jorge Hernández F, PhD. Universidad de los Andes, Colombia	Lina M. González Rodríguez, PhD. Universidad de Antioquia, Colombia
Oswaldo Ramón Terán Villegas, PhD. Universidad de los Andes, Venezuela	Luis Ángel Guzmán García, PhD. Universidad de los Andes, Colombia

PERMISO DE REPRODUCCIÓN

Los textos de los artículos incluidos en esta edición pueden ser utilizados y reproducidos con fines sin ánimo de lucro y dando crédito a los autores.

Open access



Este trabajo está bajo una Licencia de Creative Commons Reconocimiento - No comercial - Sin Obra Derivada 3.0 Unported.

Ni la Revista INGENIERÍA, Editor, Comité Editorial, Comité Científico, Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital F.J.C., otorgan ninguna garantía, expresa o implícita, a asumen responsabilidad alguna por la exactitud, completitud o utilidad de cualquier información, aparato, producto o proceso divulgado, o que represente que su uso no infrinja derechos privados. La mención o referencia a algún producto, proceso o servicio comercial en específico, por su marca comercial, marca registrada, fabricante o cualquier otra denominación, no implica ni constituye su endoso, recomendación endoso, recomendación o favorecimiento por parte de la Revista INGENIERÍA. Los juicios y opiniones expresadas por los autores en este medio son de su responsabilidad y no establecen, reflejan o comprometen los de la Revista INGENIERÍA.

INDIZADA EN



CARÁTULA

"La carátula alude al papel de la Ingeniería como Motor de Desarrollo, Innovación y Conocimiento para la Sociedad". Las imágenes de la carátula son de dominio público liberadas bajo la licencia Creative Commons CC0. Idea creativa: Sergio A. Rojas y Carolina Suárez R; diseño: Liliana Valencia.