

# REVISTA Ingeniería

Volumen 21 - Número 1 - Año 2016 - ISSN 0121-750X - E-ISSN 2344-8393

## REVISTA CIENTÍFICA CUATRIMESTRAL



UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera 7 No. 40-53  
Edificio Administrativo  
Piso 4-Facultad de Ingeniería  
Bogotá-Colombia  
Teléfono: 57 (1) 323 93 00 ext. 2413  
Correo: 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 FJDC, Colombia.

## COMITÉ EDITORIAL

Jose Marcio Luna, PhD, GRASP Lab, University of Pennsylvania, Estados Unidos  
Cristina González Caro, PhD, Universidad Autónoma de Bucaramanga, Colombia  
José Luis Villa, PhD, Universidad Tecnológica de Bolívar, Colombia  
Víctor Hugo Grisales, PhD, Universidad Nacional de Colombia  
Carlos Eduardo Moreno Mantilla, PhD, Universidad Nacional de Colombia  
Henry Alberto Dios, PhD, Universidad Distrital FJDC, Colombia  
Marco Aurelio Alzate, PhD, Universidad Distrital FJDC, Colombia  
Juan Carlos Figueroa, PhD, Universidad Distrital FJDC, Colombia  
Rodrigo Herrera, Msc, Universidad Distrital FJDC, Colombia  
Luz Esperanza Bohórquez, PhD, Universidad Distrital FJDC, Colombia

## COMITÉ CIENTÍFICO

Iván Santelices Mallanti, PhD, Universidad del Bío-Bío, Chile  
Germán Jairo Hernández, PhD, Universidad Nacional de Colombia  
Diego Cantor, PhD, University of Western Ontario, Roberts Research Institute  
Diego Pardo Ayala, PhD, Agile and Dexterous Robotics Lab-ETHZ (Zurich)  
Germán Méndez, PhD, Universidad Distrital FJDC, Colombia  
Carlos Andrés Peña, PhD, University of Applied Sciences Western Switzerland  
Ana María Peña, PhD, Universidad Distrital FJDC, Colombia  
Edwin Rivas, PhD, Universidad Distrital FJDC, Colombia

## DIRECTIVAS

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

## PREPARACIÓN EDITORIAL

Gestora Editorial Corrección de estilo  
Carolina Suárez, MSc. Jenny Alexandra Jiménez, MSc.  
Diagramación Impresión  
Julían Hernández - Taller de Diseño Editorial Kimpres

## ÁRBITROS EN ESTA EDICIÓN

Juan Múnera, Msc. Universidad EAFIT  
Luis Angel Moreno Anselmi, MSc. Universidad Católica de Colombia  
William Puche Plaza, PhD (c ), Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid  
María Osorio Angarita, PhD (c ), Universidad de Boyacá  
María Esperanza Amórtegui Montañez, MSc. Pontificia Universidad Javeriana  
Jose Posada Aguilar, PhD (c ), University of Pittsburgh  
Nelson Alexander Pérez, PhD, Universidad de los Andes, Mérida  
Monica Huerta, PhD, Universidad Simón Bolívar  
José Luis Abreu, PhD, Universidad Autónoma de Nuevo León  
Francisco Javier Moreno Arboleda, PhD, Universidad Nacional de Colombia  
Yohany Andres Jimenez, MSc. Fundación LOGyCA  
Alex Johann Zambrano Carbonell, MSc. Universidad Santo Tomas  
Carolina Suárez R., Msc. Universidad Cooperativa de Colombia  
Milton Herrera Ramírez, Msc. Universidad Piloto de Colombia  
Rodrigo Barbosa, PhD, Universidad del Norte  
Mery Yolima Uribe Rios, PhD, Pontificia Universidad Javeriana  
Alba Graciela Avila Bernal, PhD, Universidad de los Andes  
Carlos Eduardo Montoya Casas, PhD, Pontificia Universidad Javeriana  
Luis Linares Garcia, Msc. EOST S.A.S.  
Andrés Felipe Rojas González, PhD, Universidad Nacional de Colombia  
Carlos Celemin, PhD (c ), Universidad de Chile  
Jose Hermínsul Mina Hernández, PhD, Universidad del Valle  
Adriana Herrera Barros, PhD, Universidad de Cartagena  
Silvia Baldiris Navarro, PhD, Universidad de Girona  
Edwin Rivas, PhD, Universidad Distrital FJDC  
Felix Israel Cabrera Vega, PhD, Pontificia Universidad Católica del Perú  
Norma Cristina Solarte Vanegas, Msc. Universidad Pontificia Bolivariana  
Jorge Alberto Mejía Mejía, PhD, Consorcio Yacimientos, outsourcing Ecopetrol  
Verónica Marín Díaz, PhD, Universidad de Córdoba, España  
Monica Arcila Rivera, PhD(c), Servicio Geológico Colombiano  
William Castro Garcia, Msc. Universidad Nacional de Colombia  
Fabián Castaño, PhD, Universidad Pontificia Bolivariana

## 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.



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 FJ.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



La carátula hace alusión a las múltiples perspectivas que asume la ingeniería sobre fenómenos naturales en escalas macro, meso y microscópica. Las imágenes de la carátula son de dominio público liberadas bajo licencia Creative Commons CC0. Idea creativa: Sergio A. Rojas y Carolina Suárez; diseño: Liliana Valencia.