

# INGENIERÍA

Y D E S A R R O L L O

## Revista de la División de Ingenierías de la Universidad del Norte

ISSN: 0122-3461

### Rector

Jesús Ferro Bayona

### Decano División de Ingenierías

Javier Páez Saavedra

### Directora Académica

#### División de Ingenierías

Amparo Camacho Díaz

### Director de Investigaciones

Raimundo Abello Llanos

### Editora

Lucy García, Ph. D.

### Comité Editorial

*Universidad del Norte (Colombia)*

Víctor Cantillo, Ph. D.

José Daniel Soto Ortiz, M. Sc

Heriberto Maury, Ph. D.

*University of South Florida*

*(Estados Unidos)*

Carlos Smith, Ph. D.

*University of Pittsburgh*

*(Estados Unidos)*

George E. Klinsing, Ph. D.

*Instituto de Microelectrónica de*

*Barcelona (España)*

Humberto Campanella, Ph. D.

*Pontificia Universidad Católica*

*de Chile*

Miguel Nussbaum Voehl, Ph. D.

Juan de Dios Ortúzar, Ph. D.

*Asistente editorial*

Marinelly Rúa De la Hoz

### Comité Científico

*Universidad de Burgos (España)*

Joaquín Antonio Pacheco Bonrostro, Ph.D

*University of Virginia (Estados Unidos)*

Alfredo García, Ph.D

*Universidad Nacional de Antioquia (Colombia)*

John Ramiro Agudelo Santamaría, Ph.D

*Universidad Politécnica de Valencia (España)*

Juan Francisco Blanes Noguera, Ph.D

Ginés Benet Gilabert, Ph.D

Alberto Bouzas, Ph.D

*Universidad de Castilla-La Mancha (España)*

Magín Lapuerta Amigo, Ph.D

*Instituto Tecnológico de Monterrey (México)*

José Luis González Velarde, Ph.D

*Universidad del Norte (Colombia)*

Antonio Bula Silvera, Ph.D

Marco Sanjuán Mejía, Ph.D

Carlos Daniel Paternina, Ph.D

Eduardo Zurek, Ph.D

*Universitat Jaume I (UJI), España*

Antonio Gallardo, Ph.D

*Universidad de la Sabana (Colombia)*

Jairo Montoya, Ph.D

*Rensselaer Polytechnic Institute*

*(Estados Unidos)*

José Holguín-Veras, Ph.D

---

INGENIERÍA & DESARROLLO es una publicación semestral de la División de Ingeniería de la Universidad del Norte que pone al alcance del sector académico y productivo los desarrollos científicos y tecnológicos en las áreas de las ingenierías.

Está incluida en:

- Index Nacional de Publicaciones Seriadadas Científicas y Tecnológicas de Colciencias –PUBLINDEX–, **Categoría A2** (<http://www.colciencias.gov.co/scienti/publindex/>).
- SCIELO: Scientific Electronic Library Online ([www.scielo.org.co](http://www.scielo.org.co)).
- INSPEC: Base de Datos Bibliográfica administrada por The Institution of Engineering and Technology - IET (<http://www.theiet.org/publishing/inspec/>).
- LATINDEX: Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal ([www.latindex.unam.mx](http://www.latindex.unam.mx)).
- REDALYC: Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal (<http://redalyc.uaemex.mx/>).
- Base de datos EBSCO.
- Directorio ULRICH.

Se autoriza la reproducción total o parcial de su contenido siempre y cuando se cite la fuente. Los conceptos expresados son de responsabilidad exclusiva de sus autores.

---

<http://rcientificas.uninorte.edu.co/>  
[ingydes@uninorte.edu.co](mailto:ingydes@uninorte.edu.co)

ISSN 0122-3461 (impreso)  
ISSN 2145-9371 (online)



[www.uninorte.edu.co](http://www.uninorte.edu.co)  
Km 5 vía a Puerto Colombia  
A.A. 1569, Barranquilla (Colombia)

Una realización de  
EDICIONES UNINORTE

*Coordinación editorial*  
Zoila Sotomayor O.

*Diagramación*  
Ingrid Cecilia Alean Martínez

*Diseño de portada*  
Camilo Umaña

*Corrección de textos*  
Mercedes Castilla

*Colaboración técnica*  
Olga Gómez

*Asistente de producción intelectual*  
Carolina Bula Fábregas

**Impreso y hecho en Colombia**  
Javegraf  
Bogotá  
*Printed and made in Colombia*