

10 AGO 2009



**INGENIERIA  
E INVESTIGACION 51**

**Decano**

Jaime Salazar Contreras

**Director de la revista**

Julio Mario Rodríguez Devis

**Consejo Editorial**

Álvaro de la Cruz Correa Arroyave

Julio Mario Rodríguez Devis

Álvaro Castro P.

Carlos Eduardo Rodríguez Pineda

Julio César Cañón Rodríguez

Luis Eduardo Vásquez Salamanca

**Asistente del director**

Carolina Vásquez Vargas

**Diseño**

Alejandro Medina

La revista *Ingeniería e Investigación* es un órgano técnico de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

**DUPLICADO**

Los artículos de esta revista pueden ser reproducidos total o parcialmente citando la fuente y el autor.

Las colaboraciones que aparecen aquí, no reflejan necesariamente el pensamiento de la Facultad de Ingeniería. Se publican bajo responsabilidad de los autores.

Para información adicional escribir al correo electrónico: [ingeinve@icfes.com.co](mailto:ingeinve@icfes.com.co)

Preparación editorial e impresión  
Universidad Nacional de Colombia, UNIBIBLOS.

Bogotá, diciembre de 2002.



Esta revista fue financiada parcialmente por la convocatoria ICFES 02/02 bolsa de recursos concursable. publicaciones

ÍNDICE

<b>Carreras</b>	5
Ingeniería Agrícola	5
Ingeniería Civil	8
Ingeniería Eléctrica	13
Ingeniería Mecánica	16
Ingeniería Química	19
Ingeniería de Sistemas	25
<b>Otros temas</b>	28
ÍNDICE ALFABÉTICO DE AUTORES	33

## DIRECTIVOS FACULTAD DE INGENIERÍA

---

DECANO	Jaime Salazar Contreras
VICEDECANO ACADÉMICO	Julio César Cañón Rodríguez
VICEDECANO Y DIRECTOR DE BIENESTAR UNIVERSITARIO	Jaime Alemán Casas
SECRETARIO ACADÉMICO	José Eugenio Hernández Hernández
<b>DIRECTORES DE DEPARTAMENTO</b>	
ING. AGRÍCOLA E ING. CIVIL	Carlos Eduardo Rodríguez Pineda
ING. ELÉCTRICA E ING. ELECTRÓNICA	Francisco del Carmen Vega Chávez
ING. MECÁNICA E ING. MECATRÓNICA	Fernando Mejía Umaña
ING. QUÍMICA	Luis María Carballo Suárez
ING. DE SISTEMAS E ING. INDUSTRIAL	Pedro Agustín Pérez Torres
<b>COORDINADORES CURRICULARES</b>	
INGENIERÍA AGRÍCOLA	Alfonso Parra Coronado
INGENIERÍA CIVIL	Félix Hernández Rodríguez
INGENIERÍA ELÉCTRICA	Francisco Amórtegui Gil
INGENIERÍA ELECTRÓNICA	Iván Jaramillo Jaramillo
INGENIERÍA INDUSTRIAL	Hugo Alberto Herrera Fonseca
INGENIERÍA MECÁNICA	Miguel Ángel Vega Márquez
INGENIERÍA MECATRÓNICA	Ricardo Ramírez Heredia
INGENIERÍA QUÍMICA	Armando Espinoza Hernández
INGENIERÍA DE SISTEMAS	Germán Hernández Pérez
POSGRADO EN AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL	Dolly Santos Barbosa
POSGRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA	Horacio Torres-Sánchez
POSGRADO EN MATERIALES Y PROCESOS	Álvaro Castro Primiciero
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA QUÍMICA	Luis Caicedo Mesa
COORDINADOR DE POSGRADOS EN SISTEMAS	Mauro Flórez Calderón
<b>INSTITUTO DE ENSAYOS E INVESTIGACIÓN</b>	
DIRECTOR	Luis Eduardo Benítez Hernández
COORDINADORA UNIDAD DE EDUCACIÓN CONTINUADA	Yanneth Ramírez Vargas
JEFE UNIDAD DE PROYECTOS E INVESTIGACIÓN	Julio Mario Rodríguez Devis
JEFE UNIDAD DE APOYO A RELACIÓN CON EL SECTOR EXTERNO	Ernesto Abril Cárdenas

Una retrospectiva sobre el esfuerzo sostenido por la Facultad de Ingeniería para la difusión periódica de la producción de sus docentes e investigadores, debe servir al doble propósito de permitir examinar la evolución, los avances y la consolidación de las metas institucionales en materia de realizaciones académicas; mientras, al mismo tiempo, se exploran, con mirada estratégica, los lineamientos que han de caracterizar la continuidad del ejercicio.

En el presente número de Ingeniería e Investigación se entrega a consideración de la comunidad académica la relación organizada de los temas que se han publicado en las 50 apariciones de la revista. Este índice pretende facilitar la consulta y permitir las conexiones temáticas necesarias para prolongar en el tiempo el tejido académico urdido a través de más de dos décadas.

La clasificación de los artículos puede resultar provechosa para los interesados en conocer la conducta diacrónica de las áreas temáticas asociadas con procesos de investigación, tesis y proyectos de grado. La Facultad de Ingeniería confía en que las futuras apariciones de su revista sirvan para consolidar la presencia institucional en los escenarios, nacionales e internacionales, donde se debaten los temas que interesan a la sociedad desde la perspectiva de la ciencia, la tecnología y la innovación.

La experiencia acumulada, las contribuciones cuyos títulos se reseñan en este número y sobre todo, el compromiso de la Facultad con la difusión amplia, incluidos los canales electrónicos, de los temas de relieve para la ingeniería constituyen un soporte de apreciable solidez para el que debe ser un esfuerzo continuo de mejoramiento, superación editorial, ampliación de la cobertura y multiplicación de los efectos en la sociedad.

JULIO CÉSAR CAÑÓN RODRÍGUEZ