

Revista  
**F**acultad **62**  
**de** Ingeniería

**UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA**

---

Marzo de 2012

N.º 62

Marzo, 2012

ISSN 0120-6230

**Rector:**

Alberto Uribe Correa

**Decano:**

Carlos Alberto Palacio Tobón

**Directora Revista:**

Teresita Betancur

**Comité Editorial:**

Eduardo Miró

Instituto de Investigaciones en Catálisis y  
Petroquímica (INCAPE, CONICET), Santa Fe,  
Argentina

Jhon Ramiro Agudelo Santamaría

Depto. de Ingeniería Mecánica

Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

Oscar Rosa Mattos

Depto. de Ingeniería Metalúrgica y Materiales

Universidad Federal de Río de Janeiro, Brasil

Félix Echeverría Echeverría

Depto. de Ingeniería de Materiales

Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

Watson Vargas Escobar, Departamento Ingeniería

Química, Universidad de los Andes

Bogotá, Colombia

Eduardo Sánchez

Instituto de Sistemas Informáticos y Multimedia, s,

Lausanne, Suiza

Román Hermida

Facultad de Informática, Universidad Complutense  
de Madrid, España

Octavio Armas Vergel

ETS de Ingenieros Industriales Universidad de

Castilla-La Mancha, Ciudad Real, España

**Comité Científico:**

Jesus Casanova Kindelan

Dpto Ing. Energética y Fluidomecánica ETSII

Universidad Politécnica de Madrid, España

Georgina Fernández Villagómez

Universidad Nacional Autónoma de México, México

Esteban Abad Holgado

Instituto de Investigaciones Químicas y Ambientales,  
CSIC, Barcelona, España

Néstor Jaime Aguirre Ramírez

Depto. de Ingeniería Sanitaria y Ambiental

Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

**Auxiliares Administrativos:**

Yessika Ortega Bedoya

Arbey Lopera Agudelo

Claudia Patricia Bedoya Palacio

**Carátula:**

Imagen producida empleando Ingeni-Art, un algoritmo  
de pintura evolutiva adaptado por los integrantes del  
grupo Sicosis: Walter Alonso Ardila y Marlo Eliecer  
Hoyos.

**Diseño, diagramación e impresión:**

L. Vieco e Hijas Ltda.

lviecoehijasltada@une.net.co

**Permiso:**

Tarifa Postal Reducida N.º 842

**Dirección electrónica:**

revista.ingenieria@udea.edu.co

<http://ingenieria.udea.edu.co/grupos/revista/>

El contenido y/o cualquier restricción legal que afecte  
a los artículos, es responsabilidad exclusiva de los  
autores.

La presente edición contó con el apoyo del Fondo  
de Revistas especializadas de la Vicerrectoría de  
Investigación de la Universidad de Antioquia.

**Objetivo de la Revista Facultad de Ingeniería**

“El principal objetivo de la *Revista Facultad de Ingeniería*  
es promover y estimular la publicación de artículos originales  
e inéditos derivados de investigación experimental o de  
simulación en ingeniería, realizada por académicos y  
profesionales pertenecientes a entidades públicas y privadas,  
nacionales o extranjeras”.

## Contenido

A method for estimating the position and direction of a leader of a set of moving objects	11
<i>Francisco Javier Moreno Arboleda</i>	
<i>John Freddy Duitama Muñoz</i>	
<i>Edison Camilo Ospina</i>	
Metodología integral y dinámica aplicada a la programación y control de proyectos	21
<i>Leonardo José Gonzalez</i>	
<i>Dusko Kalenatic</i>	
<i>Karol Vivivana Moreno</i>	
Experimentos con dos estrategias de búsqueda implementadas en el algoritmo recocido simulado para un problema de inventario	33
<i>Salvador Hernández González</i>	
Potencial uso de la logística focalizada en sistemas logísticos de atención de desastres. Un análisis conceptual	44
<i>Leonardo José González Rodríguez</i>	
<i>Dusko Kalenatic</i>	
<i>Feizar Javier Rueda Velasco</i>	
<i>César Amílcar López Bello</i>	
Análisis experimental de los factores que definen el uso del teléfono móvil mientras se conduce	55
<i>Luis Gabriel Márquez Díaz</i>	
Yeast immobilization in lignocellulosic wastes for ethanol production in packed bed bioreactor	66
<i>Lina María Agudelo Escobar</i>	
<i>Uriel Salazar Álvarez</i>	
<i>Mariana Peñuela</i>	

Phase diagram of polymer electrolyte: (x)(PEO) – ( 1-x)CF <sub>3</sub> COOLi	77
<i>Miguel Iban Delgado</i>	
<i>Nori Magali Jurado</i>	
<i>Rubén Antonio Vargas</i>	
Estudio cinético de la fotooxidación del 4-clorofenol con oxígeno singulete generado por la tetra(4-carboxifenil)porfirina adsorbida sobre dióxido de silicio	83
<i>Carlos Diaz Uribe</i>	
<i>Martha Daza</i>	
<i>Edgar Páez Mozo</i>	
<i>Fernando Martínez</i>	
Antecedentes hidroquímicos del Salar de Aguas Calientes I (Chile)	91
<i>Ingrid Garcés Millas</i>	
<i>Pedro López Julián</i>	
Perspectiva de uso del poliestireno expandido, como alternativa de impermeabilizante, para electrodos empleados en la soldadura subacuática mojada	103
<i>Lorenzo Perdomo González</i>	
<i>Alexandre Queiroz Bracarense</i>	
<i>Rafael Quintana Puchol</i>	
<i>Ezequiel Caires Pereira</i>	
<i>Manuel Rodríguez Pérez</i>	
<i>Alejandro Duffus Scott</i>	
Power system capacity expansion planning model considering carbon emissions constraints	114
<i>Diego Adolfo Mejía Giraldo</i>	
<i>Jesús María López Lezama</i>	
<i>Luis Alfonso Gallego Pareja</i>	
Achievable transmission rate in an IEEE 802.11 Manet link	126
<i>Marco A. Alzate</i>	
<i>Marcela Mejía</i>	
<i>Néstor M. Peña</i>	
<i>Miguel A. Labrador</i>	
An enhanced vector diagram of Maxwell's equations for chiral media	137
<i>Carlos Villarroel González</i>	
<i>Diego Torres Cabezas</i>	
<i>Héctor Torres Silva</i>	

Modeling and control of grid connected photovoltaic systems	145
<i>Daniel Gonzalez</i>	
<i>Carlos Andrés Ramos Paja</i>	
<i>Andrés Julián Saavedra Montes</i>	
<i>Eliana Isabel Arango Zuluaga</i>	
<i>Carlos Eduardo Carrejo</i>	
Generación distribuida mediante gasificación de biomasa: un análisis técnico – económico e implicaciones por reducción de emisiones de CO <sub>2</sub>	157
<i>Juan F. Pérez</i>	
<i>Yuhan Lenis</i>	
<i>Sandra Rojas, Carlos León</i>	
Rainfall – CN (Curve Number) relationships in a tropical rainforest microbasin within the Panamá Canal watershed	170
<i>José R. Fábrega D.</i>	
<i>Reinhardt Pinzón</i>	
<i>Erick Vallester</i>	
<i>David Vega</i>	
Calibración y validación de un modelo 3D para el área costera de Santa Marta (Colombia)	177
<i>Francisco Fernando García</i>	
<i>Gustavo Chang</i>	
<i>Carlos Alberto Palacio</i>	
Mechanical properties and absorption of chlorides in alkali activated slag concrete and exposed to carbonation	189
<i>Willian Aperador Chaparro</i>	
<i>David Martinez Bastidas</i>	
<i>Jorge Hernando Bautista-Ruiz</i>	
Índice de autores	196
Instrucciones para los autores	213
Guide for authors	216



## Obituario

### ***En Memoria de la profesora Consuelo Montes de C.***

La profesora Consuelo Montes de C., excelente investigadora y docente comprometida con su labor, era una persona espiritual, con profundas convicciones católicas. La profesora tenía largas jornadas de trabajo que comenzaban mucho antes de la hora en la que se le encontraba en la UdeA. Amaba profundamente la vida familiar y disfrutaba preparar comidas especiales para la familia y celebrar las festividades Navideñas, al lado de su madre, esposo e hijos. En el Grupo Catálisis Ambiental institucionalizó “el almuerzo Navideño”, como un tiempo para compartir y disfrutar de la compañía de todos los integrantes del Grupo; cada año tuvo un detalle Navideño especial con todos los integrantes del Grupo.



La profesora Consuelo realizó sus estudios de pregrado en Ingeniería Química en la Universidad de Antioquia y gracias a su disciplina aprovechó las interrupciones que se presentaban en la Universidad para adelantar los cursos del programa, obteniendo así su grado en 1975. Después de su graduación viajó a Ecuador, donde se desempeñó como docente en la Universidad Técnica de Ambato, hasta 1977. Posteriormente regresó a la UdeA al Departamento de Ingeniería Química en la que se desempeñó inicialmente como docente en los cursos de Mecánica de Fluidos y Fisicoquímica; la profesora fue por varios años la docente del curso de Anteproyecto, curso en el que se prepara a los estudiantes a realizar una propuesta de investigación, actividad en la que la profesora tenía mucho que aportar por su formación en el área. Posteriormente fue docente del curso de Diseño de Reactores o Ingeniería de las Reacciones, como se denominó posteriormente; curso en el que eran muy pertinentes sus conocimientos en el área de catálisis, cinética y diseño de reactores. En los Posgrados en los que la profesora participó como docente y como directora de Trabajos de Investigación y de Tesis, fue docente de los cursos de Catálisis Ambiental, Ingeniería de Reacciones Químicas, Preparación de Catalizadores, y Metodología de la Investigación.

Los estudios de doctorado (1986 – 1989) los realizó en Virginia Polytechnic Institute And State University bajo la asesoría del profesor Marck E. Davis, investigador reconocido por sus trabajos en el área de la síntesis de materiales zeolíticos y mallas moleculares, obteniendo el título de PhD en Ingeniería Química en 1989, año en el cual recibió la distinción “Donald W. Breck” de la International Zeolite Association, por su participación en investigaciones relacionadas con el VPI-5, la primera malla molecular con poros mayores a 10 Å y material cuya síntesis investigó durante su doctorado. También en 1989, la UdeA le otorgó a la profesora la Medalla al Mérito Universitario Francisco Antonio Zea. Los estudios de postdoctorado los realizó

la profesora Consuelo en la Katholieke Universiteit Leuven (Bélgica) entre 1996 y 1997, en el Centre for Surface Chemistry and Catalysis, bajo la dirección del profesor Pierre Jacobs, reconocido investigador en el área de catálisis heterogénea, especialmente con materiales zeolíticos.

La profesora Consuelo asesoró trabajos relacionados con colorantes, como la obtención de colorante rojo por fermentación del jugo de remolacha (1993) y la extracción de azafrón (1994). En los primeros trabajos dirigidos por la profesora Consuelo, en el área del control de contaminantes atmosféricos como benceno-tolueno y xilenos (BTX), contó con el apoyo del Dr. Jairo González en el Centro de Investigaciones Ambientales (CIA), para el uso del cromatógrafo de gases, y de la profesora Mauren Zapata del Departamento de Química, para los análisis cromatográficos. Con el proyecto “Catalizadores para el control de la contaminación ambiental” financiado por Colciencias y la UdeA en 1992 fue posible el comienzo en la adquisición de infraestructura con el que conformó el Grupo Catálisis Ambiental. Pudiéndose así realizar otros trabajos de investigación relacionados con la utilización de catalizadores que se sintetizaban en el laboratorio y se evaluaban en el sistema de reacción que la profesora diseñó y que con estudiantes se instalaba en el cuarto piso del bloque 19 de la UdeA, donde comenzó el Grupo Catálisis Ambiental. Ya con el sistema de reacción adecuado, la instalación de gases gestionado y coordinado por la profesora, fue posible analizar otros contaminantes como los NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub>, causantes de problemas ambientales. Ya con una infraestructura básica que la profesora fue aumentando con otros proyectos de investigación, se pudieron realizar proyectos como “Catalizadores para el control de la Contaminación Ambiental-Fase II”, con cuyos resultados la profesora recibió el premio de la Fundación Alejandro Ángel Escobar en el área de Ciencias, Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (2002). La profesora que tenía un gran sentido de la justicia, al recibir el premio lo compartió con quienes colaboramos en alguna forma con el logro de los resultados del proyecto. Otros premios recibidos por la profesora fueron: Sembradora de Estrellas (Facultad de Ingeniería, UdeA, 1993), Profesora Distinguida (UdeA, 1993), Antioqueña de Oro - Categoría Científica (Gobernación de Antioquia, 1999), y Medalla de Oro a la Excelencia Universitaria (UdeA, 1999).

En 1999 la profesora comenzó otra línea de investigación en el Grupo con el proyecto “Oxidación Catalítica de Compuestos Derivados de Aceites Esenciales”, en la cual se busca darle valor agregado a los desechos de la agroindustria mediante transformaciones catalíticas que permitan desarrollar procesos innovadores y amigables con el ambiente. Fue esta línea la que permitió que el Grupo formara parte del Centro Nacional de Investigaciones para la Agroindustrialización de Especies Vegetales Aromáticas y Medicinales Tropicales, CENIVAM que se inició en el 2004, bajo la dirección de la profesora Elena Stashenko de la Universidad Industrial de Santander.

Considerando las características tóxicas de las dioxinas y furanos, la profesora Consuelo en 1999 comenzó una nueva línea de investigación en el Grupo con el proyecto “Determinación y retención de dioxinas y furanos en una planta de incineración”, y posteriormente con los proyectos “Tratamiento Catalítico de trazas de compuestos organoclorados” (2001) y “Caracterización de dioxinas y furanos

en incineradores de residuos” (2002), realizando en 2004 una investigación con Corantioquia con la que se caracterizaron las incineradoras de varios municipios de Antioquia, y se determinó el efecto de las condiciones de operación en la generación de las dioxinas y furanos. Fue así como la profesora trabajó en la creación del Laboratorio de Análisis de Contaminantes Persistentes (LACOPs) que se encuentra en la Sede de Investigación Universitaria (SIU), a cuyas instalaciones se trasladó el Grupo en el 2004. Se implementó la metodología de análisis de dioxinas y furanos en diferentes matrices ambientales y residuos y en el 2005 inició la implementación del sistema de calidad siguiendo la norma NTC/ISO 17025, en busca de la acreditación del laboratorio ante el IDEAM. En estos procesos contó con la asesoría del Dr. Esteban Abad Holgado, Director del Laboratorio de Dioxinas, del Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IDÆA-CSIC) en Barcelona (España).

La profesora Consuelo como editora de la Revista de la Facultad de Ingeniería de la UdeA y con su trabajo visionario y constante, logró que la Revista aumentara su visibilidad nacional e internacional, incluyéndola en varias bases de datos y así alcanzar la clasificación A1 en el sistema nacional de publicación Publindex. Con el apoyo del Departamento de Recursos de Apoyo e Informática de la Facultad de Ingeniería, se realizaron cambios en la página web de la Revista que facilitó la búsqueda y el acceso a la información. El sueño de la profesora, y al que le dedicó tiempo y esfuerzo, era lograr que los artículos se sometieran y evaluaran desde la página de la Revista, como es posible con un gran número de revistas internacionales.

La profesora coordinó varios proyectos con empresas; con Argos (2007) realizó el proyecto “Reducción de emisiones en hornos cementeros que usan fuentes de energía convencionales”. Los proyectos que estaba dirigiendo la profesora cuando debió retirarse de las actividades en la Universidad, fueron “Fijación del CO<sub>2</sub> producido durante la fermentación de biomasa mediante procesos ambientalmente benignos”, en el que participaba Química Básica S.A. y “Reducción de emisiones de material particulado y NOx en la empresa Sumicol S.A.”.

La profesora colaboró activamente en la formación de Recuso Humano a nivel de posgrado en los programas de Maestría en Ciencias Químicas (desde 1994), Doctorado en Ciencias Químicas (desde 1997), Maestría y Doctorado en Ingeniería (desde 1999), y Maestría y Doctorado en Ingeniería Química (desde 2010), asesorando 11 Trabajos de Investigación en Maestría y 5 Tesis Doctorales. En el pregrado de Ingeniería Química, asesoró alrededor de 100 Trabajos de Grado, motivando a muchos ingenieros químicos en la realización de estudios de posgrado en el área de catálisis y concientizándolos en la necesidad de buscar alternativas para disminuir los problemas ambientales. Adicionalmente, dirigió las actividades de estudiantes de pregrado que motivados por la investigación, ingresaron al Grupo como monitores o Jóvenes Investigadores. Los resultados de las investigaciones dirigidas por la profesora se presentaron en alrededor de 106 artículos en revistas nacionales e internacionales, 200 participaciones en eventos, 15 libros o capítulos de libros. La profesora Consuelo participó en el Consejo Programa Nacional de Ciencias Básicas-Colciencias, fue Representate de Colombia (2000 – 2004), en el Proyecto V.7: Desarrollo de sistemas Catalíticos para la reducción de óxidos de nitrógeno.

La profesora mostró un gran sentido de pertenencia y amor por la UdeA, manifestaba su compromiso hacia las actividades que realizaba, trabajando siempre para que fuera de excelente calidad. Nos dejó enseñanzas como el realizar un trabajo bien hecho, actuar con honestidad, buscar el mejoramiento continuo, tener grandes sueños y trabajar en la realización de ellos. Esperamos en el Grupo Catálisis Ambiental seguir en la construcción y en la realización del sueño de lograr un ambiente más limpio.

Aída Luz Villa  
Grupo Catálisis Ambiental, Departamento de Ingeniería Química,  
Universidad de Antioquia, [alvilla@udea.edu.co](mailto:alvilla@udea.edu.co)