



# INFORMADOR TÉCNICO



Volumen 79 Número 2 Julio - Diciembre 2015 • ISSN 0122-056X e-ISSN 2256 - 5035



ISSN 0122-056X

e-ISSN 2256 - 5035

Tarifa Postal Reducida No. 2015 - 179 4-72,  
vence 31 de Dic. 2015

**ASTIN**

CENTRO NACIONAL DE ASISTENCIA  
TÉCNICA A LA INDUSTRIA



Informador Técnico  
Título Abreviado: Inf. Téc.  
ISSN 0122 - 056X  
e-ISSN 2256 - 5035  
Periodicidad: Semestral  
Julio - Diciembre 2015

Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA, Regional Valle  
Centro Nacional de Asistencia Técnica a la Industria - ASTIN

Calle 52 # 2Bis - 15  
Teléfonos: 57 (2) 431 5800 ext. 22694  
Email: [revistaitastin@sena.edu.co](mailto:revistaitastin@sena.edu.co)  
<http://informadortecnico.senaastin.com>  
[http://biblioteca.sena.edu.co/paginas/revistas\\_info.html](http://biblioteca.sena.edu.co/paginas/revistas_info.html)  
Cali, Valle del Cauca, Colombia

Indexada en:



Registrada en:



**Alfonso Prada Gil**  
Director general del SENA

**Cesar Alveiro Trujillo Solarte**  
Director SENA Regional Valle

**Aura Elvira Narváez Agudelo**  
Subdirectora Centro Nacional de  
Asistencia Técnica a la Industria –ASTIN  
y Editora de la revista

**Miguel Angel Solís Molina**  
Coordinador del Servicio de Información y  
Divulgación Tecnológica –SIDT  
Editor Asociado

**Julia Emma Zúñiga Rivera**  
Coordinadora

**Elizabeth Enriquez Quintero**  
Diagramación y diseño

## Comité Científico

**Eric Campos Cantón**  
Ph.D. of Applied Mathematics, Instituto Potosino de Investigación  
Científica y Tecnológica A.C.  
San Luis Potosí, S.L.P., México

**Héctor Fabio Zuluaga Corrales**  
Ph.D. en Química. Jefe Departamento de Química,  
Universidad del Valle, Cali, Colombia

**Hernán Gabriel Svoboda**  
Ph.D. en Ingeniería, Profesor Facultad de Ingeniería  
Universidad de Buenos Aires, Argentina

**José Luis Munuera Alemán**  
Ph.D. en Ciencias Económicas y Empresariales  
Universidad de Murcia, España

**Juan Muñoz Saldaña**  
Ph.D. Profesor Investigador, Centro de Investigación  
y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional  
- Cinvestav - Unidad Querétaro - México

**María Elena Gómez de Prieto**  
Ph.D. en Ciencias Físicas. Directora Grupo de Películas Delgadas,  
Departamento de Física, Universidad del Valle, Cali, Colombia

**Martín Ignacio Pech Canul**  
Ph. D. Materials Science and Engineering.  
Worcester Polytechnic Institute, Worcester, MA. EUA, México

**Pedro José Arango Arango**  
Ph.D. en Ingeniería y Tecnología de Materiales.  
Director Laboratorio de Física de Plasma, Universidad Nacional  
de Colombia, Sede Manizales, Colombia

**Roberto Briones Gallardo**  
Ph.D. en Ciencias Fisicoquímicas del Medio Ambiente,  
Universidad Autónoma de San Luis Potosí – México

## Comité Editorial

**Andrés Felipe Hernández Moreno**  
Ph.D. Postdoctoral Fellow  
School of Chemical & Biomolecular Engineering  
Georgia Institute of Technology

**Fabio Emiro Sierra Vargas**  
Posdoctorado en Ingeniería Energías Renovables.  
Director del Grupo de Investigación en Gestión de la  
Energía y de Mecanismo para Generación Limpia,  
Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

**Federico Sequeda Osorio**  
Ph.D. Ingeniería con énfasis en Ingeniería de Materiales,  
Facultad de Ingeniería. Universidad del Valle, Cali, Colombia

**Gilberto Bejarano Gaitán**  
Posdoctorado en Ingeniería con énfasis en Materiales.  
Docente investigador Departamento de Ingeniería Metalúrgica  
y de Materiales. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

**Henry A. Colorado Lopera**  
Ph.D. en materiales, MSc en Ingeniería de materiales,  
MSc. en Ciencias de los Materiales  
University of California, Los Ángeles, EE.UU.

**José Ignacio Huertas**  
Ph.D. en Ciencias, Ms.C en Ingeniería Mecánica.  
Director del CIMA, Instituto Tecnológico y Estudios Superiores  
de Monterrey, México

**Nelly Cecilia Alba de Sánchez**  
Ph.D. en Ciencias Físicas.  
Profesora titular Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Occidente  
Cali, Colombia

**Ruby Mejía de Gutiérrez**  
Ph.D. en Ciencias Químicas, profesora titular,  
Coordinadora del programa de posgrado de la Escuela  
de Ingeniería de Materiales. Directora Grupo de Materiales  
Compuestos, Universidad del Valle, Cali, Colombia

**Yesid Aguilar Castro**  
Ph.D. en Nuevos Materiales y sus Tecnologías.  
Director Grupo EIMAT, Universidad del Valle, Cali, Colombia

## Comité Evaluador Volumen 79

La Revista INFORMADOR TECNICO ofrece sus agradecimientos a los investigadores quienes actuaron como Comité de Arbitraje del Volumen 79, Números 1 y 2:

**Alexandra Montoya**

Colombiana. PhD. Universidad Nacional de Colombia.

**Alfonso Enrique Ramírez Sanabria**

Colombiano. PhD. Universidad del Cauca

**Álvaro Jr Caicedo Rolon**

Colombiano Msc.  
Universidad Francisco de Paula Santander.

**Carlos Ocampo López**

Colombiano. PhD. Universidad Pontificia Bolivariana.

**César Augusto García Ubaque**

Colombiano. PhD. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

**Darío Yesid Peña Ballesteros**

Colombiano. PhD. Universidad Industrial de Santander.

**Daniel Díaz Batista**

Cubano. PhD. Cujae.  
Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”.

**Edgar Quiñones Bolaños**

Colombiano. PhD. Universidad de Cartagena.

**Elisabeth Restrepo Parra**

Colombiana. PhD.  
Universidad Nacional de Colombia sede Manizales

**Esteban López Zapata**

Colombiano. PhD. Universidad de Antioquia.

**Félix Echeverría Echeverría**

Colombiano. PHD Universidad de Antioquia - Udea

**Hugo Armando Estupiñan Duran**

Colombiano. PhD. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.

**Hugo Wainshtok Rivas**

Cubano. PhD. Cujae.  
Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”.

**Ingrid Durley Torres Pardo**

Colombiana. PhD. IUS. Institución Universitaria Salazar y Herrera

**Jorge Iván Marín Hurtado**

Colombiano. PhD. Universidad del Quindío.

**Jorge Iván Tobón**

Colombiano. PhD.  
Universidad Nacional de Colombia sede Medellín

**José Armando Hernández Bernal**

Colombiano Msc. Universidad de la Salle.

**José Luis Jurado Muñoz**

Colombiano. PhD. Universidad de San Buenaventura

**Juan Carlos Ochoa Botero**

Colombiano. PhD.  
Universidad Nacional de Colombia sede Medellín

**Julio Caicedo**

Colombiano. PhD. Universidad del Valle

**Julio César Acosta Prado**

Española. Post doctorado.  
Universidad Externado de Colombia.

**Luis Felipe del Castillo Dávila**

Mexicano. PhD. Universidad Nacional Autónoma de México

**Luis Octavio González Salcedo**

Colombiano. PhD. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira.

**Nemury Silega Martínez**

Cubano. PhD. Universidad de las Ciencias Informáticas, Habana, Cuba

**Nidia Elena Ortiz Penagos**

Colombiana. MsC. Universidad Santo Tomás.

**Noé Aguilar Rivera**

Mexicano. PhD. Universidad Veracruzana.

**Oscar Arturo Gerena Rojas**

Colombiano. PhD. Universidad de la Salle.

**Patricia Eugenia Vélez Varela**

Colombiana. PhD. Universidad del Cauca

**Pedro José Arango Arango**

Colombiano. PhD. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales

**Ramón Corral Higuera**

Mexicana PhD. Universidad Autónoma de Sinaloa

**Willian Arnulfo Aperador Chaparro**

Colombiano PhD. Universidad Militar Nueva Granada.

ISSN: 0122-056X

e-ISSN: 2256-5035

**Impresión y acabados:** Image Impresiones S.A.S

**Tiraje:** 300 ejemplares

Julio - Diciembre de 2015

## Revista Informador Técnico

**Misión:** Publicar artículos de alta calidad tanto científicos como de casos exitosos considerando la temática de desarrollo tecnológico industrial y de calidad.

**Visión:** Ser una revista que genere interés entre los investigadores más importantes del mundo para publicar sus artículos.

**Evaluación de artículos:** Para garantizar la visibilidad de la revista y la igualdad de oportunidad en los manuscritos se cuenta con un sistema de evaluación a ciegas por parte de académicos e investigadores de trayectoria en el campo de estudio de la investigación, adscritos a instituciones diferentes de los autores. Todos los manuscritos recibidos serán leídos por los editores, y si cumplen con las directrices de la revista se asignará su evaluación por los árbitros respectivos.

**Redacción de manuscritos:** El Informador Técnico sigue las pautas de Colciencias para la indexación de las publicaciones seriadas, dando preferencia a los artículos de investigación, reflexión, revisión y casos exitosos (reportes de casos). Al final de la revista se presentan las directrices para la publicación de artículos tanto en español como en inglés.

**Distribución de la revista:** Se realiza en dos formatos: Impreso, en las modalidades de canje, donación, depósito legal, suscripciones gratuitas a comunidades educativas, autores, árbitros y empresarios de los sectores de la cadena productiva; Virtual, mediante correo electrónico, puede ser descargada desde la página <http://informadortecnico.senaastin.com>

**Financiación de la revista:** La financiación de la revista es responsabilidad del Servicio Nacional de Aprendizaje -SENA-, regional Valle, Centro Nacional de Asistencia Técnica a la Industria - CDT ASTIN-, mediante el establecimiento de una asignación presupuestal.

**Suscripción** Para suscribirse descargue el formato de la página web de la revista: <http://informadortecnico.senaastin.com>

**Reproducción de artículos:** Se autoriza la fotocopia de artículos para fines académicos citando la fuente.

**Acceso en línea:** <http://informadortecnico.senaastin.com>; para consultar todas las ediciones: [http://biblioteca.sena.edu.co/paginas/revistas\\_info.html](http://biblioteca.sena.edu.co/paginas/revistas_info.html)

## Revista Informador Técnico

**Missão:** Publicar artigos de alta qualidade em ambos os casos científicos e bem-sucedidos, considerando os tópicos do desenvolvimento da tecnologia industrial e qualidade.

**Visão:** Ser uma revista que gere interesse entre os principais pesquisadores do mundo a publicar seus artigos.

**Avaliação de artigos:** Para garantir a visibilidade da revista e a igualdade de oportunidades nos manuscritos, temos um sistema de avaliação cega por acadêmicos e pesquisadores da área de estudo em diferentes instituições. Todos os manuscritos são lidos pelos editores, e se cumprem as diretrizes da avaliação se conferirá a avaliação.

**Elaboração dos manuscritos:** O Informador Técnico segue as diretrizes da Colciencias para a indexação, com preferência dada aos artigos de pesquisa, reflexão, revisão e casos de sucesso. No final da revista se apresentam as diretrizes para a publicação de artigos em espanhol e Inglês

**Distribuição da revista** está disponível em dois formatos, impressão, nas modalidades de troca, doação, depósito legal, subscrições livres para comunidades educativas, autores, árbitros e sectores de actividade da cadeia de abastecimento; Virtual, por e-mail e pode ser baixado da página <http://informadortecnico.senaastin.com>

**Financiamento do Magazine:** é responsabilidade do através do Servicio Nacional de Aprendizaje -SENA-, regional Valle, Centro Nacional de Asistencia Técnica a la Industria - CDT ASTIN-, estabelecimento de uma dotação orçamental.

**Subscrição** Descarregue o Formato disponível na pagina web do Magazine <http://informadortecnico.senaastin.com>

**Reprodução dos artigos:** é permitido fotocopiar artigos para fins académicos com atribuição a fonte.

**Acesso on-line:** <http://informadortecnico.senaastin.com>; e para consultar todas as edições [http://biblioteca.sena.edu.co/paginas/revistas\\_info.html](http://biblioteca.sena.edu.co/paginas/revistas_info.html)

## Revista Informador Técnico

**Mission** To publish high-quality scientific articles and success stories in the fields of industrial and technological development and quality-related issues.

**Vision** To become a journal that high-level nationally and internationally recognized researchers and experts seek to publish their articles.

**Acceptance of articles for publication:** All papers submitted to the journal are initially assessed by the Editorial and Scientific Committees and those complying with the journal's guidelines and fields of expertise are then subjected to double-blind peer review to ensure transparency and equal opportunity for all submitted papers. Peer review is carried out by senior academic members and/or researchers with ample expertise in the pertinent field of study, affiliated to institutions different from those of the authors.

**Preparation of papers:** The journal follows the guidelines of Colombia's Administrative Department of Science, Technology, and Innovation (COLCIENCIAS) for indexing serial publications, giving preference to research, reflection, and review articles, as well as success stories (case reports). Guidelines for publishing articles are provided in both Spanish and English.

**Distribution:** Either in hard copy, through exchange, donation, legal deposit, and free subscription (educational communities, authors, reviewers, and entrepreneurs from the production chain sectors), or virtually via e-mail. The journal may also be downloaded from <http://informadortecnico.senaastin.com>.

**Funding:** The journal is funded by the Center of Technological Development and Technical Assistance to Industries (CDT-ASTIN) of Colombia's National Learning Service (SENA).

**Subscriptions:** To subscribe, please download the corresponding format from the journal's web site: <http://informadortecnico.senaastin.com>

**Article reproduction:** Articles may be photocopied for academic purposes, citing the source.

**On-line access:** <http://informadortecnico.senaastin.com>; to consult all issues: [http://biblioteca.sena.edu.co/paginas/revistas\\_info.html](http://biblioteca.sena.edu.co/paginas/revistas_info.html)

# INFORMADOR TÉCNICO

Volumen 79 • Número 2 • Julio-Diciembre 2015 • ISSN 0122-056X • e-ISSN 2256-5035

## TABLA DE CONTENIDO

|                                                                                                                                                                                                                                              |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>EDITORIAL .....</b>                                                                                                                                                                                                                       | <b>117</b> |
| <b>ARTICULOS DE INVESTIGACIÓN</b>                                                                                                                                                                                                            |            |
| <b>Material compuesto de matriz polipropileno (PP) y fibra de cedro: influencia del compatibilizante PP-g-MA .....</b>                                                                                                                       | <b>118</b> |
| <i>Cedar fiber / polypropylene (PP) matrix composites: influence of the compatibilizer PP-g-MA</i><br>Carolina Caicedo, Aldo Vazquez Arce, Lina Marcela Crespo, Hever de la Cruz, Omar Hernan Ossa                                           |            |
| <b>Corrosión de acero galvanizado en un ambiente que contiene cloruros y sulfatos mediante técnicas electroquímicas.....</b>                                                                                                                 | <b>127</b> |
| <i>Corrosion behavior of galvanized steel in an atmosphere containing chlorides and sulfates by electrochemical techniques</i><br>Dario Yesid Peña Ballesteros, Anderson Sandoval Amador, Hugo Armando Estupiñán Durán, Deisy Sierra Fajardo |            |
| <b>Técnicas aceleradas para evaluar la susceptibilidad a corrosión de aceros embebidos en morteros con adiciones minerales expuestos a cloruros .....</b>                                                                                    | <b>137</b> |
| <i>Accelerated techniques to evaluate the corrosion susceptibility of steel in blended mortars exposed to chloride environment</i><br>Einner Peralta Muñoz, Ana María Aguirre, Ruby Mejía de Gutierrez                                       |            |
| <b>Evaluación de las propiedades mecánicas de paneles de ferrocemento con agregado fino reciclado.....</b>                                                                                                                                   | <b>146</b> |
| <i>Evaluation of mechanical properties of panels ferrocement with recycled fine aggregate</i><br>Pedro Enrique Matthey C., Rafael Andrés Robayo S., Julián Alejandro Torres R., Pavel Andrey Ramos B., Silvio Delvasto Arjona                |            |
| <b>Análisis de indicadores financieros del sector manufacturero del cuero y marroquinería: un estudio sobre las empresas colombianas .....</b>                                                                                               | <b>156</b> |
| <i>Analysis of financial indicators from leather and leather goods industry: a study on Colombian companies</i><br>José Luis Cardona Olaya, Andrés Martínez Carvajal, Sandra Milena Velásquez Restrepo, Yohana Marcela Fernández             |            |
| <b>ARTICULOS DE REFLEXIÓN</b>                                                                                                                                                                                                                |            |
| <b>Formulación de una propuesta metodológica para la gestión integral de residuos químicos peligrosos en instituciones de educación superior .....</b>                                                                                       | <b>169</b> |
| <i>Developing a methodology for the comprehensive management of hazardous chemical residues in higher education institutions</i><br>Javier Augusto Vera Solano                                                                               |            |
| <b>ARTICULOS DE REVISIÓN</b>                                                                                                                                                                                                                 |            |
| <b>Revisión del comportamiento biocompatible de biovidrio como material promisorio en la industria biomédica .....</b>                                                                                                                       | <b>179</b> |
| <i>Review of biocompatibility behavior of bioglass as promising material in biomedical industry</i><br>Alexis Mina Cordoba, Ana Carolina Lemos Delgado                                                                                       |            |
| <b>Reciclaje de residuos de cuero: una revisión de estudios experimentales .....</b>                                                                                                                                                         | <b>188</b> |
| <i>Recycling of waste leather: a review of experimental studies</i><br>Sandra Milena Velásquez Restrepo, Diego Hernán Giraldo Vásquez, Natalia Cardona Vásquez                                                                               |            |

# Editorial

El compromiso de la Entidad y del Centro Nacional de Asistencia Técnica a la Industria-ASTIN para progresar en la prestación de un mejor servicio a sus aprendices y empresarios, ha permitido implementar herramientas para la autoevaluación de sus programas tecnológicos. En concordancia con ese proceso, se avanza en el fortalecimiento de actividades de investigación y desarrollo tecnológico, que hacen visibles los logros a través de los eventos de divulgación tecnológica en los cuales la revista *Informador Técnico* ha participado activamente en el 2015. Entre ellos, el Cuarto Encuentro Nacional del Sistema de Bibliotecas del SENA, el Primer Simposio de Materiales Poliméricos, y la Primera Jornada de Divulgación de Proyectos de Investigación, compartiendo su conocimiento y su experiencia en estos escenarios.

Durante el Primer Simposio de Materiales Poliméricos que se llevó a cabo los días 3 y 4 de noviembre de 2015 en la Universidad Santiago de Cali y en las instalaciones del Centro ASTIN, se contó con la presencia de expertos nacionales e internacionales y se llevaron a cabo sesiones de demostración sobre el procesamiento de los polímeros en los nuevos equipos adquiridos por el SENA. Esto se suma a un talento humano comprometido con el inicio de la Escuela del Empaque, que abre sus puertas para modernizar la prestación de servicios tecnológicos y de formación profesional que imparte en el SENA en este campo.

En esta edición de la revista *Informador Técnico*, presentamos artículos de resultados de investigación, reflexión y revisión, relacionados con los temas de materiales plásticos y metálicos, de construcción, análisis financiero del sector del cuero y marroquinería, metodologías de tipo ambiental y posibles aplicaciones en la industria biomédica. En el tema de materiales se abordan los compuestos de polipropileno con fibras naturales y efectos de la corrosión del acero galvanizado en ambientes con cloruros y sulfatos mediante el uso de técnicas electroquímicas. Con respecto al campo de la

construcción, se evalúan las propiedades mecánicas de paneles de ferrocemento con materiales reciclados, obtenidos a partir de la trituración de escombros de concreto; asimismo, se evalúa la susceptibilidad a la corrosión de aceros embebidos en morteros expuestos a cloruros.

Esta edición se complementa con un análisis para mejorar la toma de decisiones estratégicas sobre el sector del cuero y la marroquinería de empresas colombianas; adicionalmente, se hace una propuesta metodológica para la gestión integral de residuos peligrosos en entidades de educación superior; finalmente, se incluyen dos revisiones de literatura: la primera está relacionada con las posibles aplicaciones biomédicas del biovidrio dado su biocompatibilidad, y la segunda trata el reciclaje de residuos de cuero, con fines de reutilización y minimización de los impactos ambientales en las curtiembres.

Con esta edición continuamos aportando conocimiento para aplicaciones que generen innovación en los diferentes sectores que decidan utilizarlo, de tal forma que se fortalezcan sus capacidades para el desarrollo tecnológico. Desde el SENA, Centro ASTIN, la revista *Informador Técnico* como resultado de un esfuerzo institucional para la divulgación de resultados de investigación, continua mejorando su calidad científica, editorial, estabilidad y visibilidad en las diferentes bases de datos, y seguirá escalando en los índices respectivos de cara a la excelencia. Agradecemos la participación de la comunidad científica que nos apoya permanentemente desde el Comité Editorial y Científico, los evaluadores y Sennova quien contempla la política editorial de la institución.

AURA ELVIRA NARVÁEZ AGUDELO  
Editora  
Subdirectora ASTIN  
SENA Regional Valle

# Material compuesto de matriz polipropileno (PP) y fibra de cedro: influencia del compatibilizante PP-g-MA

## Cedar fiber / polypropylene (PP) matrix composites: influence of the compatibilizer PP-g-MA

Recibido: 11-10-2015 Aceptado: 23-11-2015

Carolina Caicedo<sup>1</sup>  
Aldo Vázquez Arce<sup>2</sup>  
Lina Marcela Crespo<sup>3</sup>  
Hever de la Cruz<sup>4</sup>  
Ómar Hernán Ossa<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Colombiana, PhD Colciencias Centro de Asistencia Técnica a la Industria, Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA. Grupo de investigación GIDEMP. e-mail: ccaicedo60@misena.edu.co.

<sup>2</sup> Mexicano, MsC. Centro de Asistencia Técnica a la Industria, Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA. Grupo de investigación GIDEMP. e-mail: arvasqueza@sena.edu.co

<sup>3</sup> Colombiana, MsC. Centro de Asistencia Técnica a la Industria, Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA. Grupo de investigación GIDEMP. e-mail: lmcrespo3@misena.edu.co.

<sup>4</sup> Colombiano, Ing. Mecatrónico. Centro de Asistencia Técnica a la Industria, Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA. Grupo de investigación GIDEMP. e-mail: hdelacruz@misena.edu.co.

<sup>5</sup> Colombiano, Ing. Mecánico. Centro de Asistencia Técnica a la Industria, Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA. Grupo de investigación GIDEMP. e-mail: omar.ossa@sena.edu.co.

### Resumen

Debido a que la fuerza de los compuestos de madera y plástico (CMP) se basa en la interacción fibra-matriz, se ha estudiado la influencia del agente compatibilizante al modificar la matriz plástica con diferentes proporciones de polipropileno injertado con anhídrido maléico (PP-g-MA). Por lo tanto, se evaluaron las propiedades térmicas y mecánicas de una nueva serie de CMP con 20% de fibra mediante la técnica de inyección. Cabe mencionar que en la etapa previa al proceso de inyección, estos materiales fueron mezclados en una extrusora de doble husillo corrotante, en condiciones suaves debido a que se logró disminuir en un 50% el tiempo de residencia de la fibra con respecto al polímero. Los resultados de los análisis termogravimétricos obtenidos de los productos extruidos de CMP presentaron una temperatura de degradación con valores intermedios de  $T_{10} \sim 295$  °C respecto a los componentes de partida (Fibra, PP). Los productos finales presentaron una pérdida de ~3.4% asociada al segundo proceso térmico que sufrió el material. El análisis mecánico presentó un aumento en la resistencia a la tensión del 20.3% en el nuevo CMP, mientras que la resistencia a la flexión alcanzó un 46.2%. En el análisis micro-estructural de los productos finales se observó la incorporación de la fibra en la matriz mediante microscopía electrónica de barrido. Finalmente, se determinó la relación óptima de la mezcla para lograr un incremento significativo en las propiedades mecánicas.

**Palabras claves:** Compuesto de madera y plástico; polipropileno; inyección; propiedades mecánicas; análisis térmico.

### Abstract

Because the strength of the wood plastic composite (WPC) is based on the fiber-matrix interaction, we have studied the influence of a coupling agent to

modify the plastic matrix with different proportions of maleic anhydride-grafted polypropylene (PP-g-MA). Therefore, the physical-mechanical properties of a novel series of WPC with 20% fiber by injection technique were evaluated. It is worth mentioning that in the previous step to the injection process, these materials were mixed in a co-rotating twin screw extruder under mild conditions, because it was possible to reduce by 50% the residence time of the fiber with regard to polymer. The thermogravimetric analysis (TGA) results for the WPC extrudates showed the onset temperatures of degradation with intermediate values T10 of  $\sim 295$  °C compared to the starting components (fiber, PP). The final product had a loss of  $\sim 3.4\%$  associated with the second thermal process suffered material. The mechanical analysis showed an increase in tensile strength of 20.3% in the new WPC, while the flexural strength reached 46.2%. In the micro-structural analysis of the final products incorporating the fiber into the matrix was made using Scanning Electron Microscopy (SEM). Finally, the optimal mixing ratio necessary to achieve a significant increase in mechanical properties is determined.

**Keywords:** Wood-plastic composite (WPC); injection; mechanical properties; polypropylene; thermal analysis.

## Introducción

Existe una tendencia a través del tiempo donde los materiales convencionales han sido remplazados por el desarrollo de materiales compuestos de matriz polimérica y polímeros funcionales. (AL-Oqla *et al.*, 2015; Kang, *et al.*, 2015; Brenner, 2000). Hoy en día el uso de las fibras y material particulado se ha posicionado como un eficiente método de refuerzo con altos módulos de elasticidad y resistencia mecánica. (Pouzet *et al.*, 2015; Bledzki *et al.*, 2015; Van Vuure *et al.*, 2015; Kuo, 2009). El uso de las fibras naturales ha despertado un interés creciente en los investigadores por dos razones, la primera se debe al incremento en las propiedades mecánicas que le proporciona la celulosa y la segunda, es debido a los beneficios ecológicos y valor agregado al utilizar excedentes como es el caso del aserrín (Yang, 2015). Algunas ventajas adicionales en el desarrollo de compuestos de madera y plástico (CMP) asociadas, son la disminución en la densidad y la excelente relación costo/beneficio que les permite competir en el mercado. Los CMP son utilizados en una amplia gama de

aplicaciones dentro de las que se encuentran automoción y arquitectura. (Moritomi *et al.*, 2010; Kissel *et al.*, 2003). En esta última los CMP, en comparación a la madera, exhiben mayor durabilidad, requieren menos mantenimiento, absorben menos humedad haciéndolos más resistentes a los hongos superiores (Xu *et al.*, 2013). Sin embargo, la obtención de estos materiales sugiere un desafío en el control de los parámetros asociados a los componentes como tamaño, contenido de fibra y agente de acople que mejore la adhesión superficial en la interface fibra-matriz (Thakura y Thakurb, 2014). La función de la interface fibra-matriz es un factor determinante porque a través de esta se transfiere la carga aplicada de la matriz a las fibras; esto constituye una relación directa entre el nivel de disipación de energía y la resistencia al impacto como resultado del refuerzo (Moritomi *et al.*, 2010; Wielage *et al.*, 2013). No obstante, el proceso de homogeneización en los compuestos es de gran importancia debido a que los puntos de falla ocurren por los concentradores de esfuerzos, es decir, en regiones de aglomerados de fibra. Asimismo, la técnica para la obtención de materiales ligno-celulósicos con termoplásticos sugiere un alto grado de control del proceso (Shao-Yuan, 2012; Carlborn y Matuana, 2006; Zhang, 2009). Por lo tanto, las mezclas más homogéneas se han logrado por extrusión con equipos de doble husillo; las variables del proceso a considerar son: configuración de las diferentes zonas de los tornillos, puntos de alimentación del material, velocidad de giro de los husillos, velocidad de alimentación de los materiales y perfil de temperaturas del extrusor. En el presente estudio se presentan cinco nuevas mezclas de material compuesto de matriz termoplástica (PP) con material particulado de fibra de cedro al 20% y diferentes proporciones del agente compatibilizante PP-g-MA mediante inyección. El material fue mezclado inicialmente en una extrusora de doble husillo co-rotante utilizando dos tolvas de alimentación en diferentes puntos del cilindro con el fin de disminuir el tiempo de residencia de la fibra durante el proceso. Se determinaron las propiedades térmicas del material extruido e inyectado. Finalmente, se lograron estudiar las propiedades mecánicas y micro-estructurales de la nueva serie de CMP.

## Metodología

### Materiales

Se utilizó polipropileno copolímero random (PP-R) 02R01CA-1 producido por Propilco con un índice de fluidez de 1.6 g/10 min. El agente de acople empleado fue

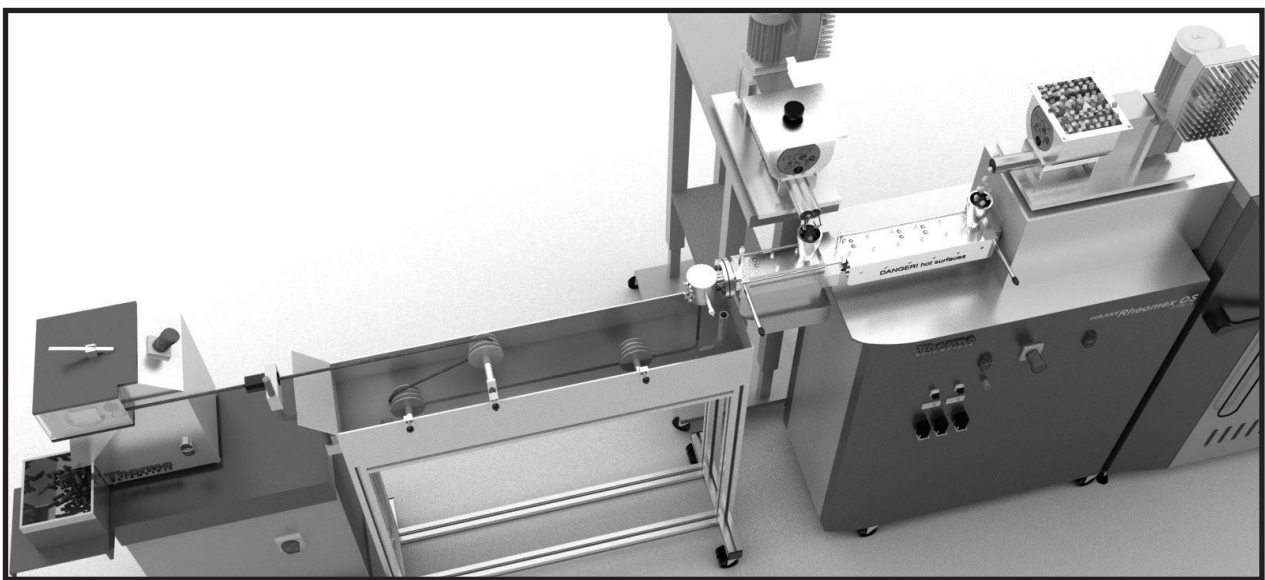
polipropileno modificado con anhídrido maléico (licocene PP-g-MA 7452) de Clariant, con un nivel de injerto de 7%, punto de fusión de 156 °C, densidad de 0.91 g/cm<sup>3</sup> y alta cristalinidad. La fibra de madera de cedro utilizada es proveniente de Mokufun Co. Ltd., Japón, con un tamaño de partículas entre 70 – 120 µm acorde a la norma ASTM C136-05. Cabe mencionar que antes de la extrusión, las fibras fueron acondicionadas a 60 °C por 4 horas y estabilizadas a temperatura ambiente en un desecador.

### Determinación de las mezclas:

Se obtuvo una nueva serie de cinco materiales compuestos con 20% p/p de fibra de madera de cedro incorporada en la matriz de polipropileno. Las concentraciones de anhídrido maléico empleadas fueron: 6.6%, 5.0%, 3.3%, 1.6% p/p y un blanco (0%, sin agente de acople). Las muestras fueron referenciadas como se indica a continuación: MC[fibra]-[PP-g-MA]. Por ejemplo, MC20-6.6 es un material compuesto con 20% p/p de fibra y 6.6% p/p de PP-g-MA.

### Ciclo de extrusión

Los materiales se mezclaron en una extrusora doble-husillo marca *Thermo Scientific* Modelo Haake Rheomex OS ptw 16 con husillos de 16 mm de diámetro y 40D de longitud total, en configuración paralelos co-rotantes, bajo las siguientes condiciones de operación: perfil de temperaturas con aumento gradual de 5 °C desde 155 °C en la primer zona de alimentación hasta 200 °C en el final de los tornillos, dividido en 10 zonas del cilindro, cada zona cubriendo una longitud de 4D. La boquilla se mantuvo a una temperatura de 200 °C siendo esta la máxima del proceso (se debe tener en cuenta que las mediciones de temperatura se hacen con sensores sin contacto directo con el polímero, sensores en contacto directo presentan en promedio 5 °C por encima del valor de los indirectos). Los sistemas de alimentación fueron ubicados sobre el cilindro en la posición 4D para el polímero y posición 24D para la fibra. A continuación se presenta una imagen (Figura 1) fidedigna del proceso de extrusión:



**Figura 1.** Imagen del proceso de extrusión  
**Fuente:** Los autores

### Ciclo de inyección

El CMP fue moldeado por inyección en una máquina inyectora DEMAG de 150 toneladas, modelo 1991, hidráulica y de válvulas insertables (capacidad máxima de plastificación, 230 g; distancia entre columnas, 460 mm; distancias de cierre, mínima 220 mm, máxima 450 mm; carrera máxima de apertura, 450 mm). El perfil de temperatura fue de 190 °C - 195 °C - 195 °C y 200 °C para

la boquilla. La presión de inyección se mantuvo constante a 80 bares; la temperatura del molde se fijó en 45 °C y se aplicó una velocidad de inyección constante de 30 cm<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Los parámetros de inyección fueron los mismos para todas las mezclas. Las probetas obtenidas fueron tipo 1b “hueso” de acuerdo a la norma ISO 527-2.

## Caracterización

### Termogravimetría (TGA) y Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Las propiedades térmicas se determinaron en un analizador termogravimétrico TGA/DSC 2 STAR System, Mettler Toledo. Las muestras ( $10 \pm 0.5$  mg) se colocaron en crisoles de alúmina en un rango de temperatura entre 25 °C a  $\sim 300$  °C bajo atmosfera de nitrógeno ( $50 \text{ cm}^3/\text{min}$ ). Se trabajó según las normas ASTM E1131-98 y ASTM D3418-12, respectivamente.

### Propiedades mecánicas - resistencia a la tensión y flexión

Las mediciones de las propiedades mecánicas de tensión se realizaron en una maquina universal Goodbrand de acuerdo con la norma ASTM D638 con una velocidad de ensayo de 500 mm/min y una celda de carga de 500 kgf. Se determinaron los valores de alargamiento (por extensión de las mordazas) a la rotura y resistencia a la tensión. Se empleó una cámara ambiental Dies, un calibrador pie de rey Baker y un termohigrómetro Oakton. Los ensayos de flexión se realizaron en una maquina universal Instron 5500R de acuerdo con la norma ASTM D790-10 con una velocidad de ensayo de 5 mm/min y una celda de 50 kgf. Se obtuvieron los módulos, resistencias y porcentaje de elongación. Se analizaron cinco muestras para cada mezcla CMP y se presentan los valores medios.

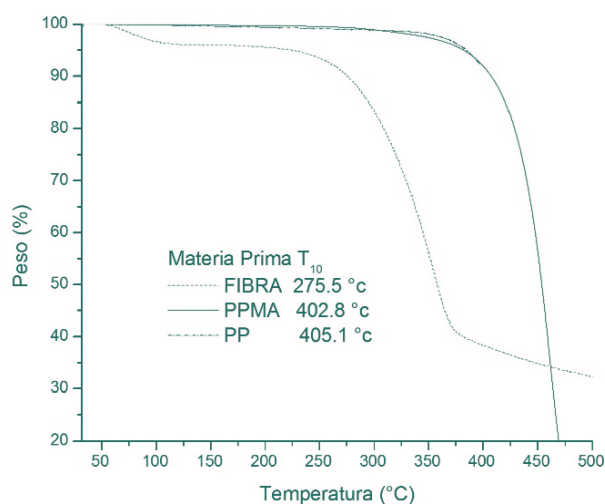
## Análisis micro-estructural

Las muestras CMP desarrolladas fueron caracterizadas por Microscopía Electrónica de Barrido (MEB). Se obtuvieron micrografías en un microscopio JEOL de Mesa JCM 50000, donde se utilizó alto vacío y un voltaje de 5 kV. Las muestras fueron sometidas a un recubrimiento de oro usando PVD antes de su análisis por MEB. Cabe mencionar, que para cada análisis las muestras fueron acondicionadas a 25 °C en un ambiente de humedad relativa de  $50 \pm 5\%$  durante 48 h.

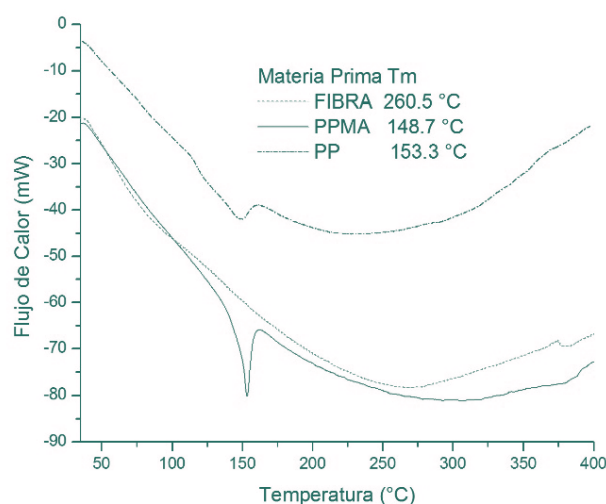
## Resultados

### Análisis térmico

Las propiedades térmicas de las materias primas, productos intermedios y finales de CMP fueron determinadas por TGA y DSC como se muestra en las Figuras 2, 3 y 4, respectivamente. Se analizaron los valores de  $T_{10}$  que corresponden a temperatura de degradación al 10% de pérdida en peso y las temperaturas de fusión ( $T_m$ ). En la Figura 2A, el PP-R y PP-g-MA presentan una  $T_{10} \sim 405$  °C y  $T_m \sim 150$  °C. Mientras que la fibra, presenta una  $T_{10}$  de 274.5 °C, se observa una pérdida de humedad alrededor de 100 °C y leve caída de la misma curva a 150 °C debido a la baja estabilidad térmica que presenta la lignina; en la curva de DSC se observa un pico ensanchado endotérmico a 255 °C correspondiente a la  $T_m$  de celulosa contenida en la fibra.



2A

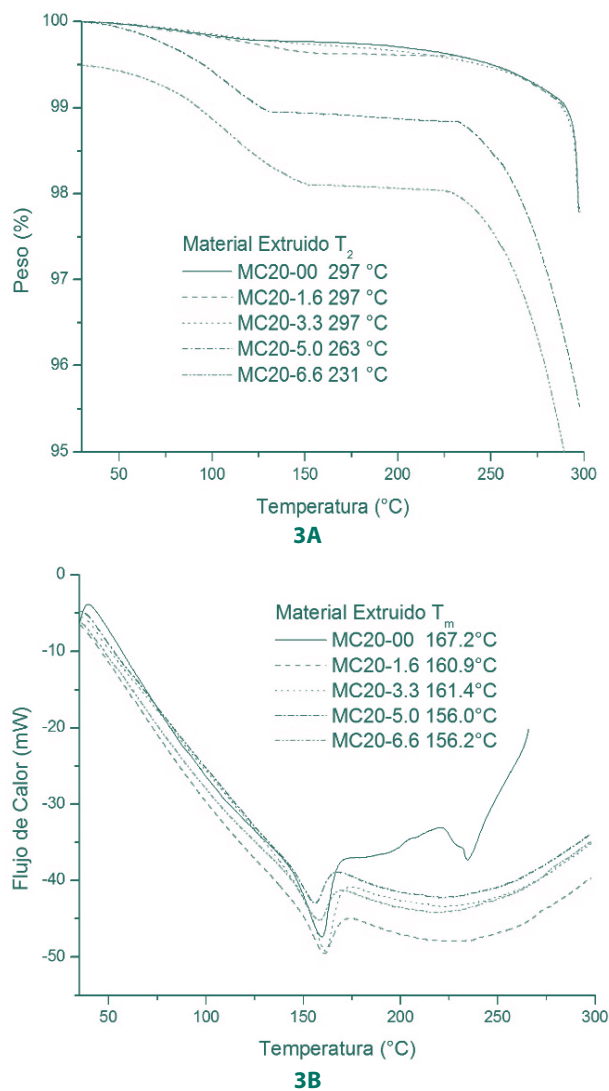


2B

Figura 2. Análisis térmico de la materia prima A) TGA y B) DSC

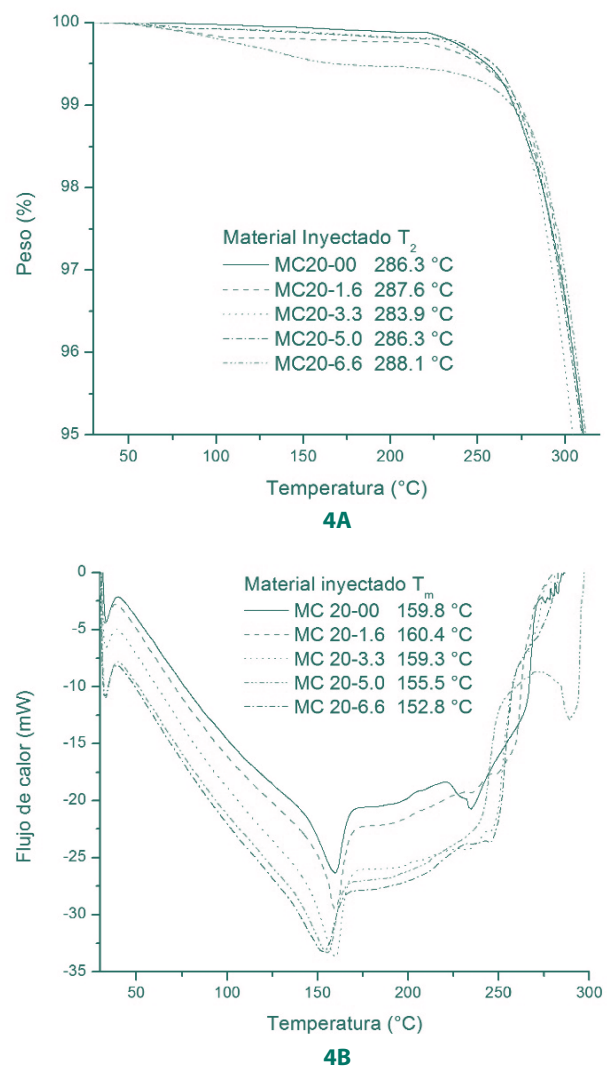
Fuente: Los autores

Posteriormente, se determinaron las  $T_2$  que corresponden a los valores de temperatura de degradación al 2% de pérdida en peso y  $T_m$  de los productos intermedios de CMP extruido (ver Figura 3), las mezclas MC20-5.0, MC20-6.6 con mayores porcentajes de anhídrido maléico en la matriz polimérica (PP-R) presentaron baja estabilidad térmica, como consecuencia de la alta afinidad por el agua como lo indican las curvas de TGA con pérdidas de peso iniciales a 100 °C. Las demás muestras, incluyendo el blanco, presentaron una  $T_2 \sim 297$  °C, lo que sugiere características intermedias de los materiales de partida respecto a CMP. Los valores de  $T_m$  presentaron un leve aumento ( $\sim 8$  °C) confirmando el cambio en las propiedades del nuevo material.



**Figura 3.** Análisis térmico del material compuesto extruido: A) TGA y B) DSC  
**Fuente:** Los autores

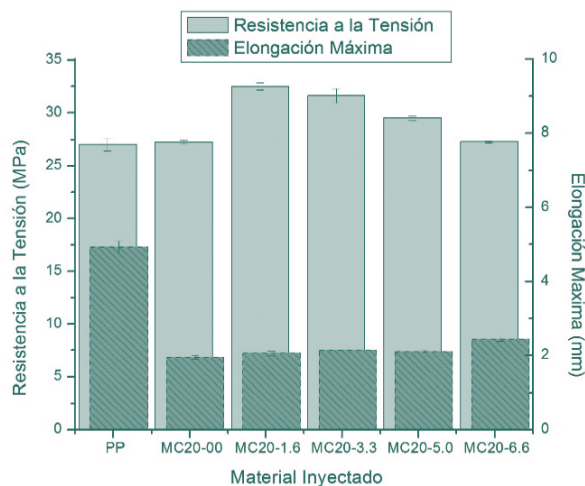
En la etapa final del proceso, la serie de los CMP obtenidos mediante la técnica de inyección, mostraron una excelente estabilidad térmica con valores de  $T_2$  alrededor de 287 °C, sin que se presentaran cambios significativos en los valores de la temperatura de degradación respecto al material extruido (Figura 4); estos resultados corroboran la importancia de mantener condiciones mínimas de temperatura y tiempos de residencia cortos para evitar en lo posible el deterioro del material. Por otra parte, el DSC para la muestra MC20-00 pone en evidencia la ausencia del agente de acople, debido a que la curva presenta dos cambios de fase de primer orden a 159.8 °C y 245 °C que corresponde a PP-R y fibra, respectivamente. Los materiales se encuentran en mezcla pero no enlazados químicamente tal como se observa en los termogramas para los CMP que contienen el PP-g-MA.



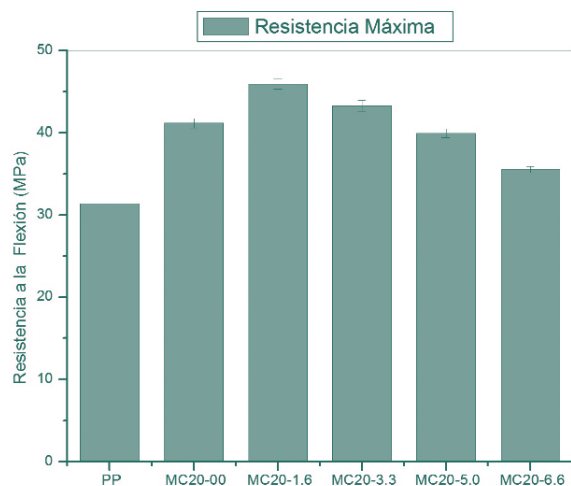
**Figura 4.** Análisis térmico del material compuesto inyectado: A) TGA y B) DSC  
**Fuente:** Los autores

## Análisis mecánico

Se evaluaron las propiedades mecánicas de la nueva serie de CMP mediante ensayos de tensión y flexión; los resultados son presentados a continuación en la Figura 5.



5A



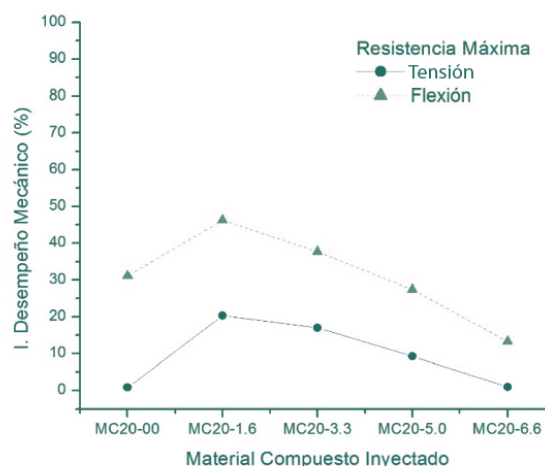
5B

**Figura 5.** Efecto de la composición en la: A) resistencia a la tensión y elongación máxima, B) resistencia a la flexión.

**Fuente:** Los autores

La adición de fibra y agente de acople dio lugar a un refuerzo en la matriz de polipropileno en términos de rigidez y fuerza. Los resultados sugieren una buena dispersión de la fibra y un buen acoplamiento fibra-matriz como se esperaba. El desempeño mecánico más alto se observó en MC20-1.6 con la mínima cantidad de PP-g-MA propuesta en el diseño de mezcla; la tendencia es representada por una curva tipo gaussiana que permitió identificar la mezcla óptima (Figura 6). El MC20-00 no representa una desventaja frente al PP-R por lo que se

considera relleno para el desarrollo de madera plástica. Cabe resaltar que la resistencia a la flexión para MC20-1.6 alcanzó un valor de 46.2% de aumento.



**Figura 6.** Índice de desempeño mecánico de CMP inyectado.

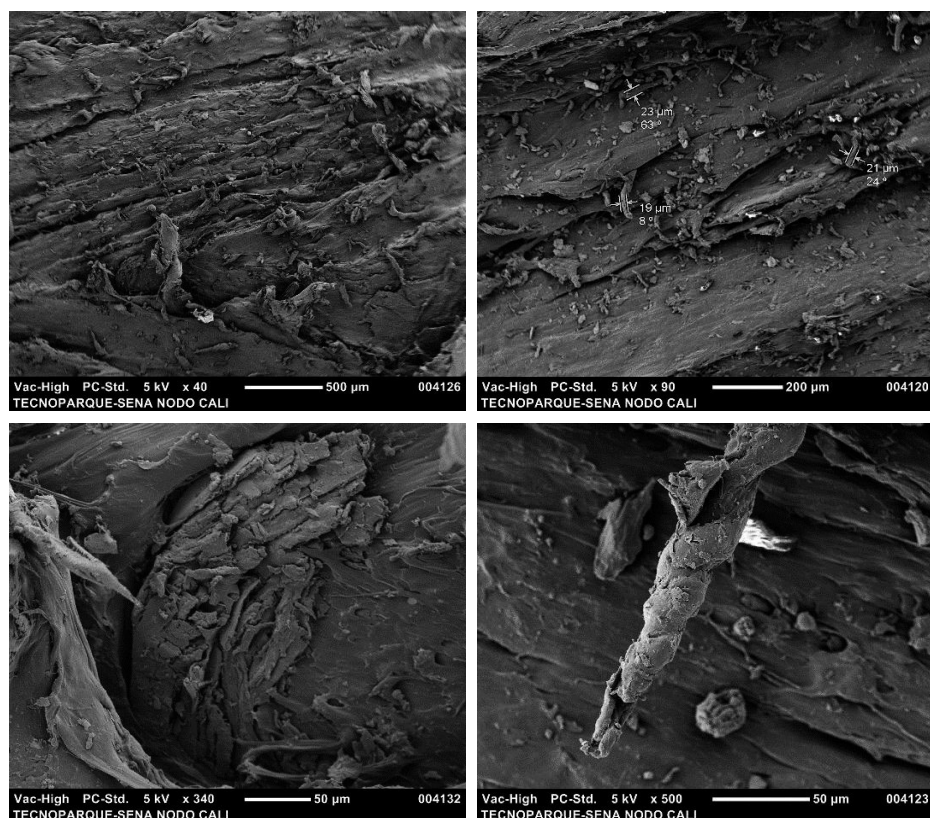
**Fuente:** Los autores

## Análisis micro-estructural

El estudio morfológico se llevó a cabo por MEB; se analizaron los perfiles sobre las superficies de las probetas fracturadas del ensayo de tensión para el blanco MC20-00 y MC20-1.6. En la Figura 7 se observa la presencia de material particulado expuesto con un tamaño que varía entre 15 mm y 30 mm. La disminución del tamaño se debe principalmente a la migración de lignina y a la degradación de extractivos y hemicelulosa por los diferentes tratamientos térmicos (Soccalingame *et al.*, 2015).

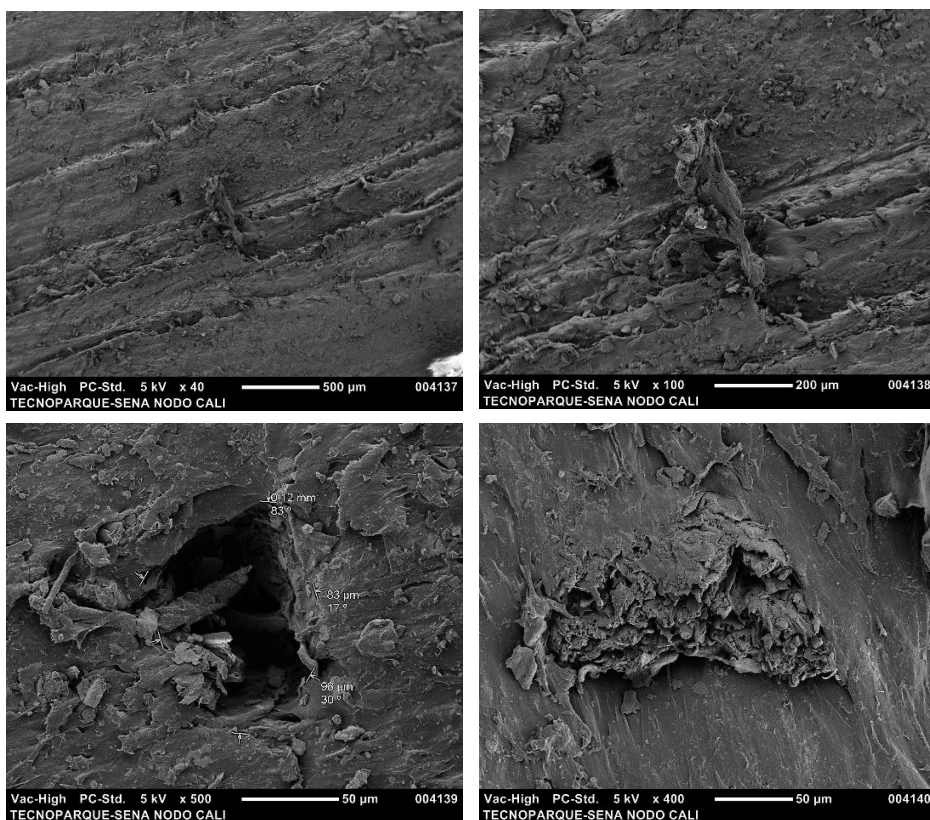
Se compararon las imágenes del blanco con MC20-1.6 debido a que esta última presentó el mejor comportamiento térmico y mecánico. La Figura 7, muestra que se utilizaron aumentos de 40x, 90x, 350x y 500x; esto hace comparable las micrografías.

En la Figura 8, se observó una mejora de la compatibilidad entre la fibra y la matriz que se ve reflejada en la interface; esto se atribuye al efecto del PP-g-MA (Du *et al.*, 2013). Esta compatibilidad se logra evidenciar por el mojado de la fibra en la matriz, que incide en las propiedades mecánicas del material debido a que la interface permite la transferencia de esfuerzos de la matriz a la fibra. La compatibilidad entre las facas tiene como posible consecuencia la disminución de la hidrofiliidad de la fibra, lo cual también contribuye con la mejora de las propiedades mecánicas.



**Figura 7.** Micrografía CMP sin agente compatibilizante (MC20-00)

**Fuente:** Los autores



**Figura 8.** Micrografía CMP con agente compatibilizante (MC20-1.6)

**Fuente:** Los autores

## Conclusiones

Este trabajo de investigación presenta resultados sobre las propiedades térmicas y mecánicas en el desarrollo de materiales compuestos con matriz termoplástica y fibras naturales, incluye como novedad el uso de fibras provenientes de la madera de cedro incorporada en un 20% p/p y distintas concentraciones de agente compatibilizante PP-g-MA. Algunos autores previamente mencionados así como el proveedor de PP-g-MA sugieren utilizarlo en un 3% p/p sobre la mezcla final, pero con los resultados encontrados consideramos importante optimizar el uso de aditivos con el fin de mejorar o mantener las propiedades mecánicas de los nuevos materiales. Por otra parte, el MC20-00 no representa desventaja termomecánica frente al PP-R. De acuerdo con lo anterior, se puede considerar como relleno la adición de material particulado de fibra de cedro. Los CMP desarrollados con valores superiores a 5% p/p de PP-g-MA tienen una mayor afinidad por el agua (hidrófilos) debido a que el remanente de PP-g-MA en la matriz puede inundar la superficie de la madera generando compuestos con características térmicas y mecánicas inferiores. Por lo tanto, una dosificación excesiva o insuficiente puede reducir el efecto de compatibilidad. Finalmente, El nuevo MC20-1.6 presentó un desempeño mecánico importante alcanzando 20.3% de aumento de resistencia a la tensión y 46.2 % resistencia a la flexión.

## Agradecimientos

Este trabajo se desarrolló gracias al apoyo del Centro Astin-SENA y el Grupo de Investigación en Desarrollo de Materiales y Productos (GIDEMP), así como al Ing. S. Morita Voluntario Senior convenio SENA-JICA, al Departamento de Biotecnología del Tecnoparque Nodo Cali. C. C. agradece el soporte económico del contrato de financiamiento de recuperación contingente No. FP44842-259-2015, COLCIENCIAS-SENA.

## Referencias

AL-Oqla, F. M.; Sapuan, S. M.; Anwer, T.; Jawaid, M.; Hoque, M. E. (2015). Natural fiber reinforced conductive polymer composites as functional materials: A review. *Synthetic Metals* 206: 42-54

Bledzki, A. K.; Franciszczak, P.; Osman, Z.; Elbadawi, M. (2015). Polypropylene biocomposites

reinforced with softwood, abaca, jute, and kenaf fibers. *Industrial Crops and Products* 70: 91-99

- Brenner, E. (2000). Polypropylene an Alternative? *Kunststoffe*, 4: 35
- Carlborn, K.; Matuana L. M. (2006). Functionalization of wood particles through a reactive extrusion process, *J. Appl. Polym. Sci.* 101: 3131-3142.
- Du, Y.; Wu, T.; Yan, N.; Kortschot, M. Farnood, T. R. (2013). (2013) Pulp fiber-reinforced thermoset polymer composites: effects of the pulp fibers and polymer. *Composites Part B: Engineering*, 48: 10-17.
- Kang, H.; Lu, X.; Xu, Y. (2015). Properties of immiscible and ethylene-butyl acrylate-glycidyl methacrylate terpolymer compatibilized poly (lactic acid) and polypropylene blends. *Polymer Testing* 43: 173-181
- Kissel, W. J.; Han, J. H.; Meyer, J. A. (2003). Chapter 2, *polypropylene: structure, properties, manufacturing processes, and applications*, in: H.J. Karian (Ed.), *Handbook of Polypropylene and Polypropylene Composites*, second ed., Taylor and Francis, N. Y.
- Kuo, P. Y.; Wang, S. Y.; Chen, J. H.; Hsueh, H. C.; Tsai, M. J. (2009). Effects of material compositions on the mechanical properties of wood-plastic composites manufactured by injection molding. *Materials and Design* 30: 3489-3496
- Moritomi, S.; Watanabe, T.; Kanzaki, S. (2010). *Polypropylene compounds for automotive applications*. Sumitomo Kagaku 1: 1.
- Pouzet, M.; Gautier, D.; Charlet, K.; Dubois, M.; Béakou A. (2015). How to decrease the hydrophilicity of wood flour to process efficient composite materials. *Applied Surface Science* 353: 1234-1241
- Shao-Yuan, L.; Tsu-Hsien, Y.; Sheng-Fong, L.; Te-Hsin, Y. (2012). Optimized material composition to improve the physical and mechanical properties of extruded wood-plastic composites (WPCs). *Construction and Building Materials* 29: 120-127

- Soccalingame, L.; Bourmaud, A.; Perrin, D.; Benezet, J.-C.; Bergeret, A. (2015). Reprocessing of wood flour reinforced polypropylene composites: Impact of particle size and coupling agent on composite and particle Properties. *Polymer Degradation and Stability* 113: 72-85
- Thakura, V. K.; Thakurb, M. K. (2014). Processing and characterization of natural cellulose fibers/thermoset polymer composites. *Carbohydrate Polymers* 109: 102-117
- Van Vuure, A. W.; Baets, J.; Wouters, K. Hendrickx, K. (2015). Compressive properties of natural fibre composites. *Materials Letters* 149: 138-140
- Wielage, B.; Lampke, Th.; Utschick, H.; Soergel, F. (2003). Processing of natural-fibre reinforced polymers and the resulting dynamic-mechanical properties. *Journal of Materials Processing Technology* 139: 140-146
- Xu, K.; Li, K. Yun, H.; Zhong, T.; Cao X. (2013). A comparative study on the inhibitory ability of various wood-based composites against harmful biological species. *BioResources* 8(4): 5749-5760
- Yang, T. H.; Yang, T. H. W. Chao, C. Leu, S. Y. (2015). Characterization of the property changes of extruded wood-plastic composites during year round subtropical weathering. *Construction and Building Materials* 88: 159-168.
- Zhang, J.; Park, C. B.; Rizvi, G. M.; Huang, H.; Guo, Q. (2009). Investigation on the uniformity of high-density polyethylene/wood fiber composites in a twin-screw extruder. *J. Appl. Polym. Sci.* 113(4): 2081-2089.

# Corrosión de acero galvanizado en un ambiente que contiene cloruros y sulfatos mediante técnicas electroquímicas

## Corrosion behavior of galvanized steel in an atmosphere containing chlorides and sulfates by electrochemical techniques

Recibido: 23-04-2015 Aceptado: 09-10-2015

Darío Yesid Peña Ballesteros<sup>1</sup>  
Anderson Sandoval Amador<sup>2</sup>  
Hugo Armando Estupiñán Durán<sup>3</sup>  
Deisy Sierra Fajardo<sup>4</sup>  
Leidy Quintero Ascanio<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Colombiano, PhD Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Grupo de Investigaciones en Corrosión. e-mail: dypena@uis.edu.co.

<sup>2</sup> Colombiano, MSc Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Grupo de Investigaciones en Corrosión. e-mail: anderson84f@gmail.com.

<sup>3</sup> Colombiano, PhD Departamento de Materiales y Minerales Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Grupo de Tribología y superficies. e-mail: haestupinand@unal.edu.co.

<sup>4</sup> Colombiano, Ing. Metalúrgica, Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Grupo de Investigaciones en Corrosión. e-mail: deca1786@hotmail.com.

<sup>5</sup> Colombiano, Ing. Metalúrgica Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Grupo de Investigaciones en Corrosión. e-mail: lemaquias\_1@hotmail.com.

### Resumen

Se estudió el comportamiento de la corrosión en láminas de acero galvanizado, inmersas en soluciones con diferentes concentraciones de NaCl y Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Las láminas de acero se sumergieron empleando un elevador de muestras, con el fin de simular una atmósfera, donde las láminas estuvieran siempre interactuando con el medio corrosivo. El deterioro del galvanizado se evaluó mediante espectroscopia de impedancia electroquímica y curvas potenciodinámicas. La morfología del ataque se analizó por microscopía electrónica de barrido y la composición de los productos de corrosión se determinó por EDX y DRX. Los resultados tras 30 días mostraron que el potencial de corrosión del galvanizado aumentó en el tiempo, lo que corrobora la formación de productos pasivos sobre la superficie; la velocidad de corrosión también aumentó, originando corrosión por picado. Para los primeros días de exposición se obtuvo una corrosión generalizada como consecuencia de productos, de naturaleza pasiva, porosa y de color blanco.

**Palabras clave:** Acero galvanizado; corrosión atmosférica; pruebas electroquímicas.

### Abstract

Corrosion behavior on galvanized steel sheets, immersed in solutions with different concentrations of NaCl and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> was studied. The steel sheets were immersed using an elevator, in order to simulate an atmosphere, wherein the sheets were always interacting with corrosive medium. The degradation was evaluated by electrochemical impedance spectroscopy and potentiodynamic curves. The morphology of surface was analyzed by scanning electron

microscopy and the composition of the corrosion products was determined by EDX and XRD. The results after 30 days showed that the corrosion potential increased with the time, confirming the formation of passive products on the surface; corrosion rate also increased, causing pitting corrosion. For the first few days of exposure, generalized corrosion was observed as a result of compounds passive, porous nature and white.

**Key Word:** Atmospheric corrosion; electrochemical test; galvanized steel.

## Introducción

El galvanizado es un recubrimiento ampliamente usado en la industria; el zinc es un metal con un comportamiento más activo que el hierro; sin embargo la vida media del recubrimiento es mayor comparada con la del acero desnudo, debido a la formación de una película protectora de óxido sobre su superficie. El acero galvanizado expuesto a ambientes atmosféricos tropicales, es afectado por la acción de agentes presentes en la atmosfera marina, por la humedad relativa, temperatura y tiempo de exposición al ambiente, lo que causa un cambio en la composición de la capa protectora, y por lo tanto una disminución en su resistencia a la corrosión. Las empresas productoras de láminas de acero galvanizado se enfrentan a este problema de corrosión, debido a que es inevitable el contacto de los agentes corrosivos y la humedad al momento de almacenarlas, donde a pesar de los cortos periodos de tiempo de humectación sobre la lámina, es suficiente para generar focos de corrosión, antes de su despacho. De esta manera, en estos periodos cortos de permanencia del electrolito sobre la lámina, se puede iniciar corrosión atmosférica.

La corrosión de acero galvanizado es un proceso muy complejo que implica varios mecanismos electroquímicos y físicos que generalmente se dan en tres etapas diferentes. De acuerdo a estudios de Dubuisson *et al.* (2006), en la primera etapa, el comportamiento electroquímico del acero galvanizado se relaciona con la disolución de la capa de óxido de zinc que se forma en contacto con el aire. En la segunda etapa, la superficie de la capa de zinc

se cubre con un óxido blanco que permite la corrosión del acero. Durante esta etapa, la velocidad de corrosión de la capa de zinc disminuye rápidamente, acompañado por un cambio en el potencial de corrosión a un potencial más noble. En la etapa tres, la corrosión del acero avanza por disolución de hierro y, por lo tanto, en esta etapa, el revestimiento de zinc ya no actúa como un ánodo de sacrificio.

Autores como Padilla y Alfantazi, (2014) y Hamaloui (2008), han empleado las técnicas electroquímicas para estudiar el comportamiento frente a la corrosión de aceros galvanizados, simulando condiciones ambientales con cloruros y sulfatos, encontrando que los ensayos potenciodinámicos y los ensayos de espectroscopia de impedancia electroquímica, son una herramienta fundamental para discernir, cuál de las especies adsorbidas sobre la superficie de zinc, son las responsables de formar los productos de corrosión. En este orden de ideas, se hace necesario hacer un estudio del comportamiento del acero galvanizado frente a la corrosión atmosférica mediante técnicas electroquímicas establecidas, simulando condiciones ambientales.

## Metodología

Con el fin de cuantificar el número de pruebas y repeticiones necesarias, se realizó un diseño experimental. Se tuvieron en cuenta como variables manipulables las concentraciones de cloruro de sodio y sulfato de sodio, y el tiempo de permanencia de las láminas. Tablas 1 y 2.

**Tabla 1.** Variables utilizadas. Concentración de cloruros y sulfatos [g/400ml].

| Variable                         | Tipo     | Valores |       |       |
|----------------------------------|----------|---------|-------|-------|
| [Cl <sup>-</sup> ]               | Variante | 4,33    | 9,74  | 15,15 |
| [SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ] | Variante | 5,36    | 10,72 | 16,08 |
| Tiempo (días)                    | Variante | 0       | 15    | 30    |

**Fuente:** Los autores

En esta etapa se adecuaron las probetas a un tamaño de 30\*30 mm y se protegió el borde de las mismas con una cinta adhesiva Acorlad P1 para evitar la corrosión localizada.

**Tabla 2.** Soluciones empleadas.

|   | [Cl <sup>-</sup> ]<br>g/400 ml | [SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ] | [Cl <sup>-</sup> ]<br>M | [SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ] |
|---|--------------------------------|----------------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| 1 | 4,33                           | 5,36                             | 0,18                    | 0,09                             |
| 2 | 15,15                          | 5,36                             | 0,64                    | 0,09                             |
| 3 | 4,33                           | 16,08                            | 0,18                    | 0,28                             |
| 4 | 15,15                          | 16,08                            | 0,64                    | 0,28                             |
| 5 | 9,74                           | 10,72                            | 0,42                    | 0,18                             |
| 6 | 9,74                           | -                                | 0,42                    | -                                |
| 7 | -                              | 10,72                            | -                       | 0,18                             |
| 8 | -                              | -                                | -                       | -                                |

**Fuente:** Los autores

## Caracterización superficial del galvanizado

Se tomaron micrografías mediante un microscopio Olympus BX-41 y se realizó SEM. Las especificaciones de la lámina de acero galvanizado de estudio se muestran en las Tablas 3 y 4; donde R: Recubrimiento y L: Lámina.

**Tabla 3.** Designación de los recubrimientos

| JIS<br>G3302 | ASTM<br>A653 | NTC<br>4011 |
|--------------|--------------|-------------|
| Z75          | G90          | Z275        |

**Tabla 4.** Especificación lámina de estudio.

| Espesor<br>[mm] | Dimensión<br>[mm] | Peso R<br>[g/m <sup>2</sup> ] | Espesor R<br>[mm] | Peso L.<br>[Kg] |
|-----------------|-------------------|-------------------------------|-------------------|-----------------|
| 3,0             | 1220*2440         | 257                           | 0,038             | 70,37           |

**Fuente:** Manual técnico del acero galvanizado

Se diseñó un elevador mecánico para que las probetas se emergieran y se sumergieran en la solución cada 12 horas durante 15 y 30 días, para permitir la presencia de corrosión atmosférica.

## Pruebas electroquímicas

El montaje de la celda electroquímica se elaboró bajo la norma ASTM G109 (ASTM INTERNACIONAL, 2003) se utilizó: un electrodo de referencia Ag/ AgCl, un contra electrodo de grafito, como electrodo de trabajo se utilizó una muestra de acero galvanizado (lámina). Las pruebas electroquímicas se realizaron en un potenciostato GAMRY 750.

## Pruebas de Microscopía

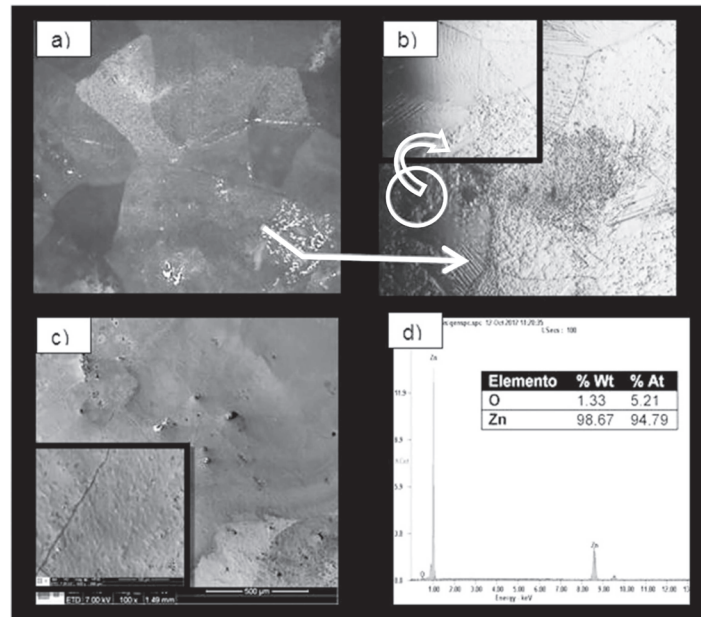
Con el fin de conocer el cambio superficial que se observó en las probetas al finalizar los días correspondientes a cada una de ellas, se realizaron las pruebas de microscopía electrónica de barrido, espectrometría de energía dispersiva y difracción de rayos. La microscopía electrónica se realizó con un microscopio electrónico de barrido de emisión de campo (Fesem) marca Quanta® FEG 650 FEI a 10 kV dotado con un detector de campo amplio (*Large Field Detector*, LFD). El análisis elemental, a 10 kV, se realizó con un aditamento de espectroscopia de rayos X por energía dispersiva (EDX). El análisis químico se hizo en un equipo Leo 1550 Fesem a 5 kV, con un detector de lente. El análisis elemental, a 20 kV, se realizó con un aditamento de espectroscopia de rayos X por energía dispersiva (EDX). El análisis de las muestras por DRX se realizó en un difractómetro de rayos-X marca BrukerR modelo D8 Discover con Geometría DaVinci usando radiación CuKα1 = 1.5406 Å°.

## Resultados y análisis de resultados

### Análisis superficial del acero galvanizado

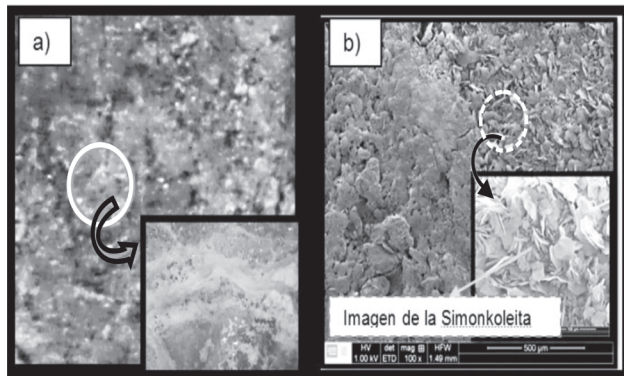
En la Figura 1 se muestra que la morfología del galvanizado en su estado de entrega es homogénea y sus orientaciones cristalográficas son determinadas por cada grano; se observaron unas zonas más oscuras que otras, debido a la difracción de la luz por el cristal. A mayores aumentos se observaron poros a través de toda la superficie, Figura 1b, condición que favoreció el proceso de difusión en la interface electrolito-recubrimiento, y esto conlleva a la oxidación del galvanizado con mayor facilidad. Por otra parte, en las Figuras 1c y 1d, se muestra la micrografía en el punto de estudio en el cual se realizó el análisis elemental de la misma y los resultados de EDX, respectivamente.

Al finalizar los 15 días de exposición, Figura 2, la morfología del recubrimiento es heterogénea con zonas preferenciales (ASTM INTERNACIONAL, 2003). La textura de la superficie presentó cristales aplanados y desordenados, debido a la formación de productos como la simonkoleita, que se caracterizó por ser de naturaleza protectora y porosa. La simonkoleita, se forma tras la formación de hidrocincita, siendo ambos productos de color blanco (Seré *et al.*, 1997). En otras zonas se observó la presencia de cristales más pequeños cuya forma masiva y crecimiento no homogéneo abarca mayor área superficial. Esto conlleva a una corrosión generalizada en toda la superficie de la probeta.



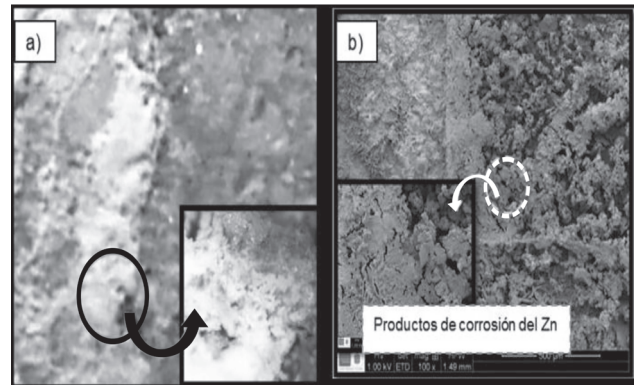
**Figura 1.** a) Micrografía lámina en estado de entrega, sin aumentos; b) micrografía óptica a 10x y 50x; c) micrografía SEM a 100x; d) EDX de la muestra analizada.

**Fuente:** Los autores



**Figura 2.** Micrografía solución 5 (15 días), a) Micrografía SEM, sin aumento y a 10x. b) Micrografía SEM a 100x y 500x.

**Fuente:** Laboratorio Microscopia UIS

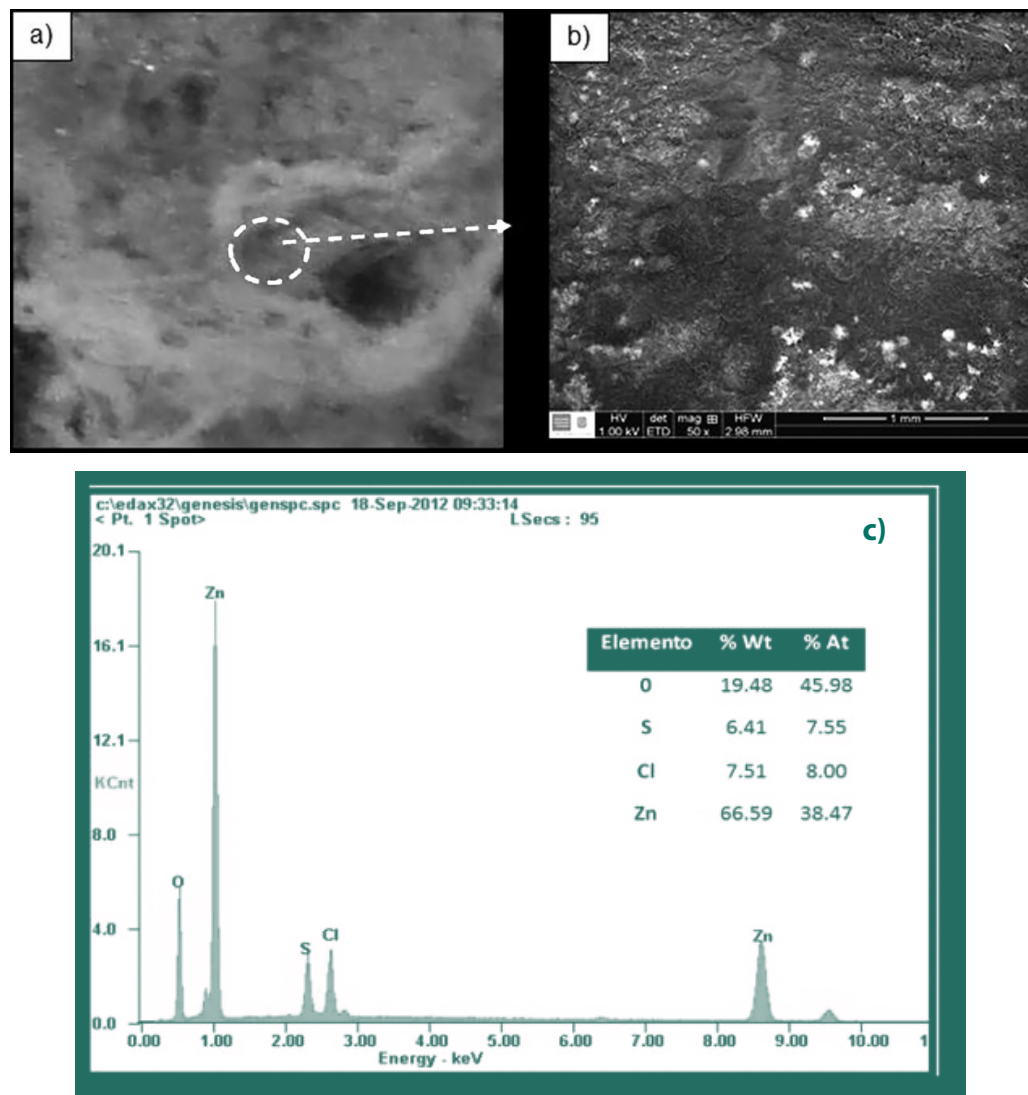


**Figura 3.** Micrografía solución 2 (30 días). a) Micrografía SEM, sin aumento y a 10x. b) Micrografía SEM a 100x y 500x.

**Fuente:** Laboratorio Microscopia UIS

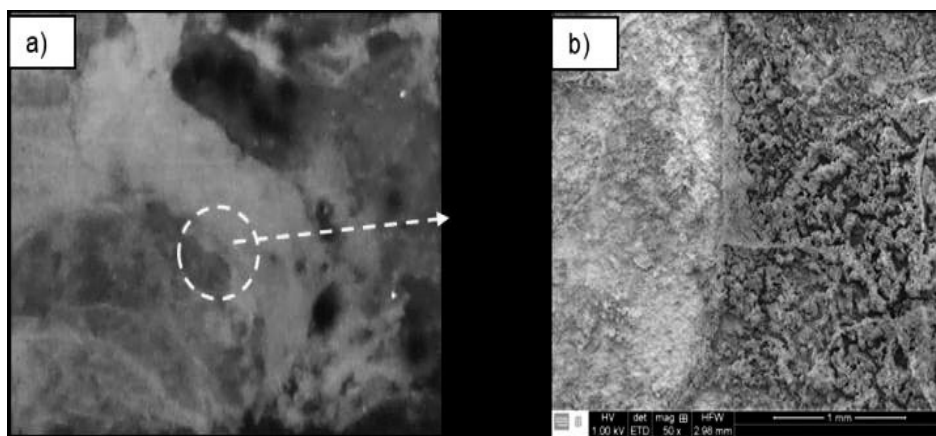
La Figura 3, muestra que para la solución 2, tras 30 días, los cristales aplanados desaparecieron y el producto masivo creció dando lugar a la formación de pequeñas islas. Situación asociada al proceso continuo de oxidación por parte de los productos ya formados y al intercambio de iones carbonato por iones cloruro para la formación de sales solubles. Esto conlleva a un daño localizado y finalmente al picado de la probeta. Por tal razón, se encontraron compuestos como cloruro de hierro, que indican que el proceso de corrosión ha alcanzado el metal base (Hernández *et al.*, 2011).

Para verificar la presencia de los productos de corrosión formados en las muestras de acero galvanizado que estuvieron expuestas a la corrosión atmosférica por un tiempo de 15 días y 30 días, en las soluciones 5 y 2 respectivamente, se realizó la prueba de EDX, para el análisis elemental, Figuras 4, 5 y 6. En estos, se observa a 30 días la presencia de Fe a diferencia del EDX a 15 días, lo cual significa que el acero está posiblemente expuesto a este tiempo de exposición.



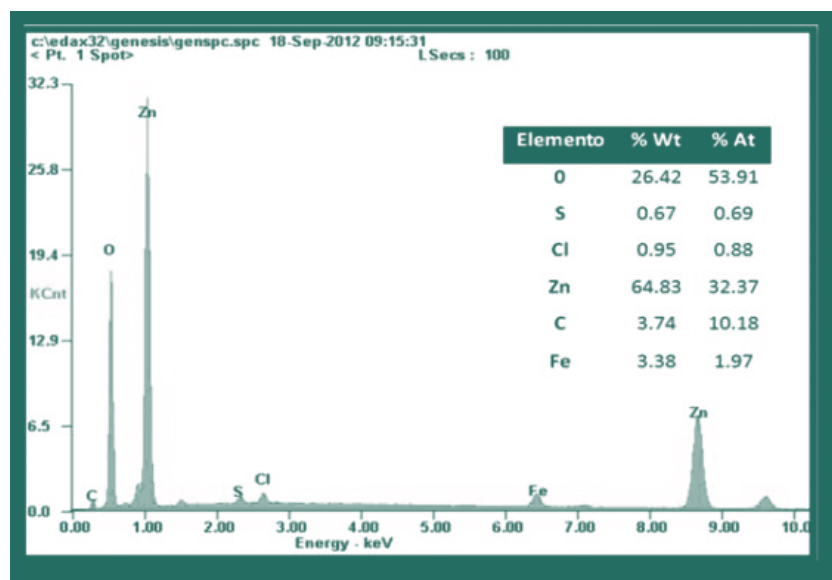
**Figura 4.** Micrografía de la zona de estudio para el análisis de la probeta sumergida en la solución 5(15 días), a) imagen sin aumento, b) micrografía a 50x, c) EDX respectivo.

**Fuente:** Laboratorio Microscopia UIS



**Figura 5.** Micrografía de la zona de estudio de la probeta sumergida en la solución 2. a) Imagen sin aumento, b) micrografía a 50x.

**Fuente:** Laboratorio Microscopia UIS



**Figura 6.** EDX de la probeta sumergida solución 2.

**Fuente:** Laboratorio Microscopia UIS

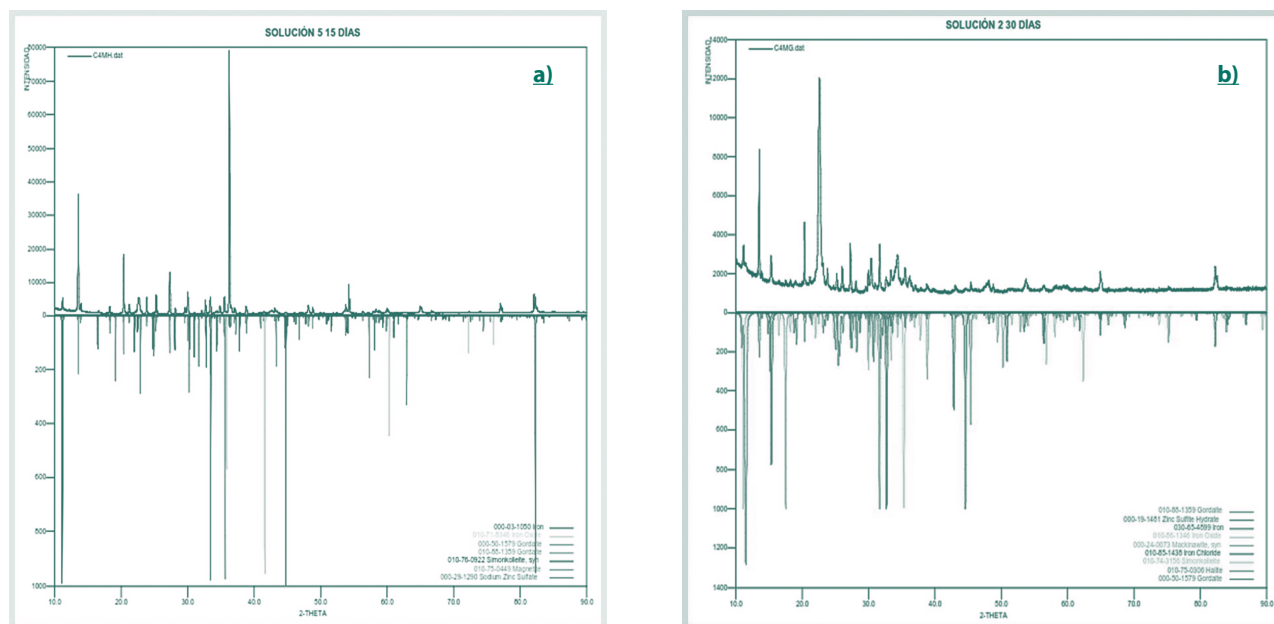
Los resultados de difracción de rayos X se realizaron con base a dos soluciones específicas: la solución 2 cuya concentración de cloruros fue mayor que la de sulfatos y finalizado en un tiempo de 30 días, y la solución 5 quien terminó su tiempo de exposición a 15 días. Para conocer los productos

de corrosión que se formaron a estos tiempos de exposición en la superficie se realizó una prueba de difracción de rayos X, obteniendo los siguientes resultados, mostrados en la tabla 5 y en la figura 7a y 7b.

**Tabla 5.** Frases cristalinias presentes en las soluciones.

| 15 DÍAS DE EXPOSICIÓN SOLUCIÓN 5   |                           |
|------------------------------------|---------------------------|
| Fase Cristalina                    | Nombre                    |
| $NaZn_4(SO_4)Cl(OH)_6 \cdot 6H_2O$ | Gordaita                  |
| $(Na_{0.8}Zn_{0.1})_2SO_4$         | Sulfato de sodio y zinc   |
| $Zn_5(OH)_8Cl_2(H_2O)$             | Simonkolleita             |
| 30 DÍAS DE EXPOSICIÓN SOLUCIÓN 2   |                           |
| $NaZn_4(SO_4)Cl(OH)_6 \cdot 6H_2O$ | Gordaita                  |
| $NaCl$                             | Halita                    |
| $Zn_5(OH)_8Cl_2(H_2O)$             | Simonkolleita             |
| $FeCl_2$                           | Cloruro de Hierro         |
| $ZnSO_3 \cdot 2.5H_2O$             | Sulfito de zinc hidratado |
| $Fe$                               | Hierro                    |
| $Fe_{2.962}O_4$                    | Magnetita                 |

**Fuente:** los autores



**Figura 7.** DRX de las probetas sumergidas a 15 y a 30 días.  
**Fuente:** los autores

Se observa la presencia de productos de corrosión relacionados con el hierro del acero a 30 días de exposición y óxido de hierro inestable (magnetita).

### **Espectroscopia de impedancia electroquímica**

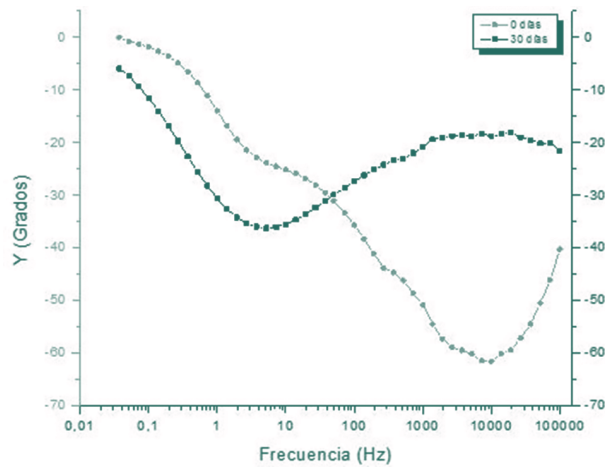
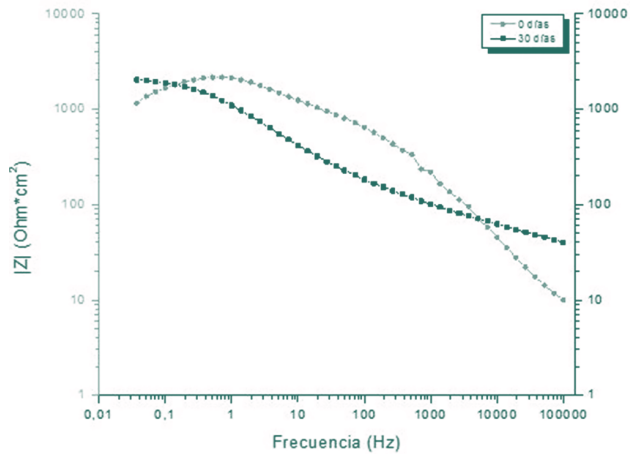
Al analizar los diagramas de impedancia se observó la aparición de dos puntos de inflexión, Figura 8, indicando que hay dos constantes de tiempo (las pendientes son negativas) en las reacciones de corrosión. La primera a baja frecuencia, está relacionada con la resistencia a la transferencia de masa, la cual es mayor a 0 días que a 30 días. A más altas frecuencias, la transferencia de carga es mayor a 30 días de exposición que a 0 días, lo cual se relaciona con la formación de productos de corrosión que degradan el zinc y con la posible exposición y degradación del acero en solución, que corrobora lo observado en el análisis por DRX.

Se presenta la formación de dos semicírculos, los cuales se pueden identificar en el diagrama de Nyquist a 0 días de inmersión, Figura 9. El primer semicírculo se forma a altas frecuencias y se atribuye al proceso de transferencia de carga faradaica (Echeverría, 2002) y el segundo se forma a frecuencias intermedias debido a la resistencia que

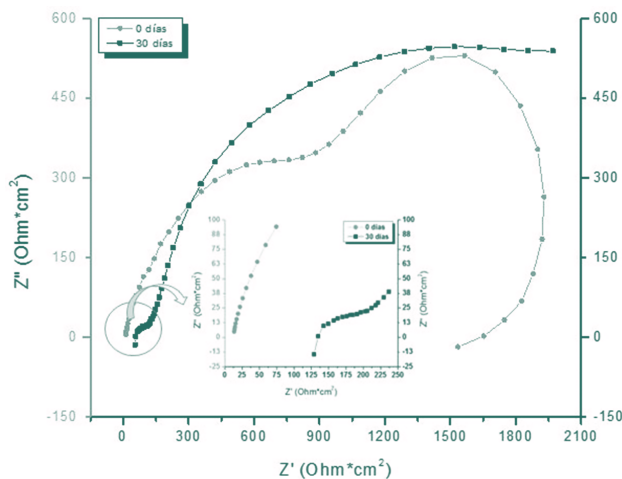
presenta la película para reaccionar (resistencia a la conversión del zinc o resistencia a la transferencia de masa); además este semicírculo termina con un comportamiento inductivo relacionado con un mecanismo heterogéneo de adsorción a bajas frecuencias desde 0,03–1 Hz (la pendiente es positiva en el diagrama de Bode) y tiene un ángulo de fase que varía entre 0° y -20°.

Este comportamiento de la impedancia se dio para todas las soluciones a 0 días, con excepción de la solución 6 (sin presencia de iones sulfato), cuyo diagrama de Nyquist no presenta el comportamiento inductivo a bajas frecuencias. El circuito equivalente propuesto por ajuste de los datos experimentales se muestra en la Figura 10.

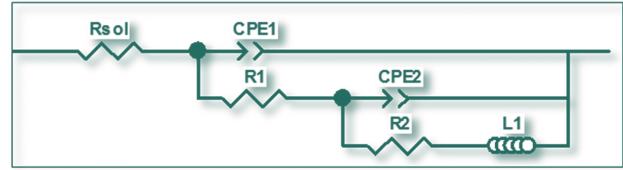
Cuando las soluciones estuvieron sumergidas durante 15 y 30 días de acuerdo a la respectiva concentración de cloruros y de sulfatos, la impedancia del sistema siguió mostrando dos constantes de tiempo pero ninguna con inductancia, es posible que esto ocurra por efecto de una disminución en las atracciones electroquímicas de los sólidos disueltos en la solución y los productos de corrosión adheridos a la superficie de la probeta, lo cual evita la adsorción a bajas frecuencias.



**Figura 8.** Diagrama de Bode para la solución 2 a 0 y 30 días de tiempo de inmersión.  
**Fuente:** los autores

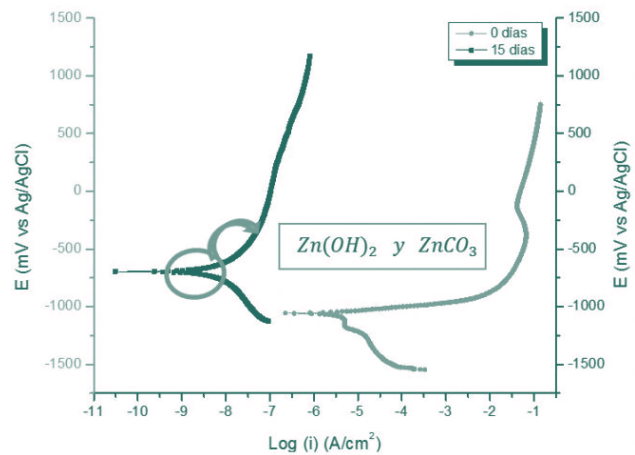


**Figura 9.** Diagrama de Nyquist para la solución 2 a diferentes tiempos de inmersión.



**Figura 10.** Circuito equivalente para las soluciones a 0 días.  
**Fuente:** los autores

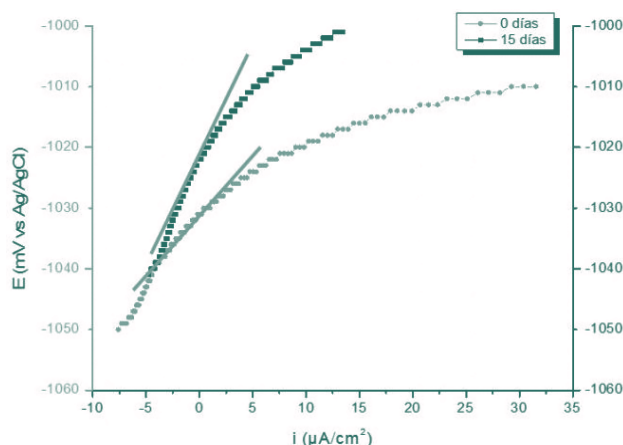
Para 15 días (solución 5) la resistencia a la transferencia de carga aumentó considerablemente con respecto a cero días y esto conlleva a una disminución en la conductividad iónica y en la velocidad de corrosión, evidenciado en la Figura 11, donde se muestra que la curva se mueve hacia potenciales más positivos, es decir se aleja de la zona activa, y la densidad de corrosión disminuyó, porque el galvanizado reacciona con la solución formando como productos de corrosión el  $Zn(OH)_2$  y  $ZnCO_3$ , al adherirse a la superficie y formar una capa uniforme (generalizada). Esto causó una disminución en la velocidad de corrosión que también se observó en la curva de resistencia a la polarización, Figura 12, donde el valor de  $R_p$  para 15 días es mayor que en 0 días.



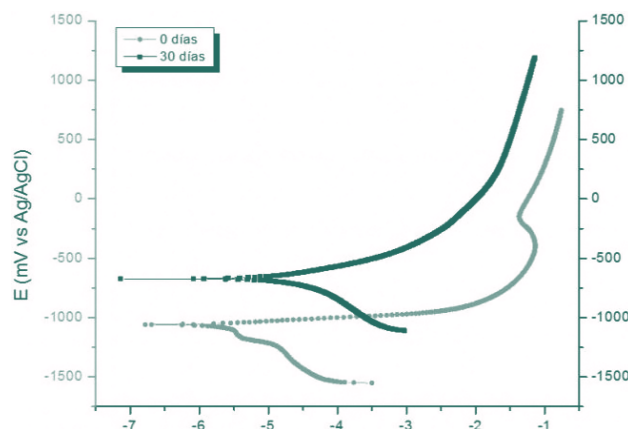
**Figura 11.** Curva Potenciodinámica para la solución 5.

De acuerdo a estos resultados, la corrosión para un tiempo de 30 días dependerá de las concentraciones de los iones agresivos presentes en la solución, de las características de los productos de corrosión que se forman al pasar el tiempo (adherencia y porosidad) y de la condición superficial (zinc) de la probeta. Un incremento en el potencial de corrosión observado en la curva potenciodinámica para la solución 2 y 5 y una disminución en la densidad de corriente de corrosión con el tiempo de exposición, se ha observado, probablemente debido a que la concentración de cloruros fue mayor que la concentración de

sulfatos, Figura 13. (INTERNACIONAL, 2010; INTERNATIONAL, 2010; Yadav *et al.*, 2004a; Arenas and Damborenea, 2006).



**Figura 12.** Curva de resistencia a la polarización lineal para la solución 5.  
**Fuente:** Los autores



**Figura 13.** Curva potenciodinámica de la solución 2.  
**Fuente:** Los autores

Cabe resaltar, que para una solución donde se encuentran presentes los iones cloruros y sulfatos, una concentración alta de este último hace que el incremento de la velocidad de corrosión sea 2 a 3 veces mayor con respecto al incremento por efecto de los cloruros. (Yadav *et al.*, 2004b; Arias, 2011).

## Conclusiones

- La velocidad de corrosión del sistema expuesto a cloruros y sulfatos, presentó una disminución para un tiempo de inmersión-emersión de 15 días en la solución 5, debido a que la interfase galvanizado-electrolito se hizo más resistiva como se observó en la curva de Nyquist y

los valores del ángulo de fase, los cuales tienden a cero; sin embargo aumentó al finalizar los 30 días de estudio, lo cual se verificó en la curva potenciodinámica, la cual se desplazó hacia mayores valores en la densidad de corriente, evidenciando una mayor exposición del acero a la solución (no protección del galvanizado).

- El acero galvanizado presentó corrosión generalizada para los primeros días de exposición, influenciada por la concentración de los iones contaminantes presentes en cada solución; y para 30 días se presentó un daño de tipo localizado (con puntos de picado) sobre la superficie.

- Debido a las variaciones de la impedancia con respecto al tiempo de exposición se propusieron dos circuitos equivalentes, uno para 15 y 30 días donde se simuló la resistencia a la solución y dos constantes de tiempo; y otro para 0 días donde adicionalmente al circuito ya propuesto, se incluye un inductor debido a la adsorción de los iones cloruros y sulfatos en la interfase electrolito-recubrimiento.

- Las láminas de acero galvanizado que en su etapa de almacenamiento son expuestas a ambientes que contienen cloruros y sulfatos, por un tiempo inferior a 15 días, tienen buena protección contra la corrosión, debido a la alta resistencia de los productos formados.

## Referencias

- Arenas, M. A., and Damborenea, J. J. (2006). Mecanismo de corrosión e inhibición electroquímica del acero galvanizado. *Revista Metalurgia*, 165 - 174.
- Arias, A. C. (2011). *Estudio del comportamiento de un ambiente corrosivo con cloruros y sulfatos, sobre una lámina de acero galvanizado*. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga: Trabajo de grado.
- ASTM INTERNACIONAL. (2003). Standard test method for determining effects of chemical admixtures on corrosion of embedded steel reinforcement in concrete exposed to chloride environments. *ASTM G, 97* - 109.
- ASTM INTERNATIONAL. (2010). Standard practice for calculation of corrosion rates and

related information from electrochemical measurements. *ASTM G 102* - 89.

Echeverría, C. A. (18 de Septiembre de 2002). *Monografías: Corrosión atmosférica del acero en condiciones climáticas de Cuba. Influencia del aerosol marino*. Recuperado de: [umcc.cu/monos/2002/Carlos%20Echeverria.pfd](http://umcc.cu/monos/2002/Carlos%20Echeverria.pfd).

Hernández, L., Hernández, L., and Rodriguez, S. (Sem de 2011). Recubrimientos para aumentar la duración del acero galvanizado. *Memorias del XVII congreso internacional anual de la somim* (págs. 749 - 755). San Luis Potosí: SOMIM.

INTERNACIONAL, A. (2010). Standard practice for conventions applicable to electrochemical measurements in corrosion testing. *ASTM G3* - 89.

INTERNACIONAL, A. (2010). Standard test method for conducting potentiodynamic polarización resistance measurements. *ASTM G59* - 97.

Seré, P. R., Culcasi, J. D., Elsner, A. R., and Sarli, D. (1997). Factores que afectan a la temperatura de los recubrimientos de cinc obtenido por inmersión. *Revista de Metalurgia.*, 376 - 381.

Yadav, A. P., Nishikata, A., and Tsuru, T. (2004). Degradation mechanism of galvanized steel in wet-dry cyclic environment containing chloride ions. *Corrosion Science*, 165 - 174.

Yadav, A. P., Nishikata, A., and Tsuru, T. (2004). Electrochemical impedance study on galvanized steel corrosión under cyclic wet - dry conditions - influence of time of wetness. *Corrosion Science*, 169 - 181.

# Técnicas aceleradas para evaluar la susceptibilidad a corrosión de aceros embebidos en morteros con adiciones minerales expuestos a cloruros

## Accelerated techniques to evaluate the corrosion susceptibility of steel in blended mortars exposed to chloride environment

Recibido: 22- 09 - 2015 Aceptado: 27-11-2015

Einner Peralta Muñoz<sup>1</sup>  
Ana María Aguirre<sup>2</sup>  
Ruby Mejía de Gutiérrez<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Colombiano, Ingeniero de Materiales. Grupo de Investigación Materiales Compuestos (CENM). Calle 13 No. 100-00. Edif. 349. 2° piso. Escuela de Ingeniería de Materiales, Universidad del Valle, Cali, Colombia. e-mail: einner.peralta@correounivalle.edu.co.

<sup>2</sup> Colombiana, Ingeniera Electrónica, estudiante de doctorado, Grupo de Investigación Materiales Compuestos (CENM). Calle 13 No. 100-00. Edif. 349. 2° piso. Escuela de Ingeniería de Materiales, Universidad del Valle. Cali, Colombia. Teléfono: (+57) 2-321 2270 Fax: (+57) 2-3392450. e-mail: ana.aguirre@correounivalle.edu.co.

<sup>3</sup> Colombiana, Doctor en Ciencias Químicas, profesor titular, Grupo de Investigación Materiales Compuestos (CENM). Calle 13No. 100-00. Edif. 349. 2° piso. Escuela de Ingeniería de Materiales, Universidad del Valle. Cali, Colombia. e-mail: ruby.mejia@correounivalle.edu.co.

### Resumen

Este artículo estudia el comportamiento a la corrosión de morteros reforzados de cemento portland, sin adiciones y con adiciones de metacaolín (MK) y humo de sílice (SF), en presencia de cloruros. La proporción de la adición utilizada en las mezclas fue del 10% en peso como reemplazo del cemento. Se prepararon prototipos sin y con acero de refuerzo. En los primeros se determinó la resistencia a la compresión, absorción, porosidad, y permeabilidad a los cloruros. Las probetas de mortero reforzado se expusieron a cloruros (NaCl 3,5%) y se aplicaron dos técnicas aceleradas de corrosión: ciclos de humectación-secado y voltaje impreso; en ambos casos se utilizó como ambiente de referencia agua potable. El avance del proceso de corrosión en el acero se evaluó mediante la técnica electroquímica de resistencia a la polarización lineal (LPR). Los resultados mostraron que tanto a 28 como a 90 días de curado, las adiciones aumentan la resistencia a la compresión del mortero y contribuyen positivamente a reducir la susceptibilidad del material cementicio a la permeabilidad de cloruros. De las adiciones evaluadas, se destaca el desempeño mecánico de la mezcla con 10% de MK, representado en un incremento del 51,9% respecto a cemento Portland ordinario (OPC). Los coeficientes de absorción capilar de los morteros adicionados fueron hasta un 31% menores que los correspondientes de OPC, lo cual coincide con la reducida permeabilidad a cloruros ( $\leq 1000$  coulombios) evaluada con base en la Norma ASTM C1202. Respecto a los resultados de corrosión se aprecia la misma tendencia de comportamiento en las mezclas, independientemente de la técnica acelerada utilizada. El mejor desempeño corresponde a la mezcla que contiene MK, seguido de SF y OPC. Cabe anotar, que la corriente de corrosión en los prototipos OPC es reducida hasta

en un 90% al incorporar MK. De las técnicas aceleradas empleadas en el presente estudio se sugiere utilizar la de voltaje impuesto debido al corto tiempo de obtención de los resultados.

**Palabras clave:** Metacaolín; humo de sílice; morteros adicionados; ataque por cloruros; corrosión.

## Abstract

This paper studies the corrosion behavior of reinforced Portland cement mortars without addition and with additions of metakaolin (MK) and silica fume (SF). The proportion of the addition was 10% as cement replacement. Specimens with and without reinforcement were prepared. First, the compressive strength, absorption, porosity, and chloride permeability were determined. The reinforced mortar specimens were exposed to chloride (NaCl 3.5%). Two techniques of accelerated corrosion, wetting-drying cycles and impressed voltage were applied. In both cases was used water as reference. The progress of the corrosion process in the steel was accomplished by using electrochemical linear polarization resistance (LPR). The results showed that the additions increased the compressive strength of OPC mortar and contributed positively to reduce the chloride permeability. The results of corrosion show the same tendency regardless of the techniques used. The best performance corresponds to the mixture containing MK, followed by SF and OPC. The corrosion of the specimens OPC is reduced up to 90% when MK is used as addition. In this study, we suggest to use the impressed voltage technique due to the short time to obtain corrosion results.

**Keywords:** Metakaolin; silica fume; blended mortars; chloride attack; corrosion.

## Introducción

El concreto armado es uno de los materiales más importantes en el sector de la construcción; mientras el concreto es un material cerámico que soporta esfuerzos a compresión, su combinación con el acero estructural le aporta resistencia a la tracción, torsión, corte y flexión. El principal problema de este material compuesto es la corrosión de las armaduras de acero, que acorde a su avance ocasiona pérdidas en las propiedades mecánicas y puede

conducir a la falla estructural. En general, la corrosión es causada por la interacción con ambientes agresivos, en su mayoría en presencia de iones cloruros y/o carbonatación.

El ataque por cloruros al concreto puede provenir de dos fuentes principales: en la primera, los iones cloruros pueden estar presentes dentro de la mezcla del concreto (p.e. áridos contaminados, agua de mar o contaminada, cemento y/o aditivos con contenidos altos de cloruros); en la segunda, los cloruros ingresan desde el exterior. Los iones cloruros una vez penetran el concreto se distribuyen como cloruros enlazados y cloruros libres. Los primeros corresponden a aquellos que se enlazan químicamente al reaccionar con el aluminato tricálcico ( $C_3A$ ) presente en la pasta para así formar cloroaluminatos cálcicos, compuesto conocido como "Sal de Friedel" ( $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$ ); por el contrario, los cloruros libres se difunden hasta alcanzar el acero de refuerzo donde se acumulan hasta lograr una concentración crítica, la cual tiene la capacidad de destruir la capa pasiva del acero e iniciar el proceso corrosivo (Aguirre y Mejía, 2013).

En este sentido, las normas de durabilidad de concretos especifican las clases de exposición a las cuales una estructura en servicio puede ser afectada por la presencia de cloruros (NTC5551; EN206-1), e incluyen la corrosión inducida por cloruros procedentes del agua de mar (estructuras expuestas al ambiente o a inmersión en agua salada), y la corrosión inducida por cloruros de origen distinto al marino (ciclos de humectación-secado, específicamente estructuras de puentes, pavimentos y zonas de parqueaderos). En general la movilidad de los iones cloruro dentro del concreto está relacionada con su permeabilidad; por ello algunos factores importantes a tener en cuenta en el diseño y colocación del concreto son: la relación agua/cemento, el tipo y proporción de cemento a utilizar y el proceso de curado (Song *et al.*, 2008; Güneyisi *et al.*, 2007). Además, la presencia de adiciones (puzolánicas y siderúrgicas) en el concreto, tales como metacaolín (MK) y humo de sílice (SF), modifican la porosidad y reducen la permeabilidad, mejorando por tanto la resistencia a la penetración de los cloruros en el concreto, aunque existen porcentajes límites de adición por encima del cual el incremento en la demanda de agua podría afectar los resultados (Angst *et al.*, 2009; Aguirre y Mejía, 2013; Song *et al.*, 2010).

MK es una puzolana de tipo aluminosilicato altamente reactiva obtenida de la calcinación de la arcilla caolínica a temperaturas entre 500°C a 800°C (Mejía, de Gutiérrez *et al.*,

2000; Mejía de Gutiérrez *et al.*, 2004; Shi *et al.*, 2012; Kannan y Ganesan, 2014). La adición de MK al concreto, en órdenes del 10% al 15%, incrementó la resistencia a la compresión y flexión, y contribuyó positivamente a la durabilidad (Sabir *et al.*, 2001; Courard *et al.*, 2003; Ramezani pour y Jovein, 2012; Poon *et al.*, 2006; Siddique y Klaus, 2009; Parande *et al.*, 2008, Kim *et al.*, 2007, Güneyisi *et al.*, 2013; Keleştemur y Demirel, 2015). El humo de sílice es un subproducto de la industria del silicio y ferrosilicio; la reducción de cuarzo de alta pureza a temperaturas superiores a 2000 °C produce vapores de sílice los cuales se oxidan y se condensan para formar pequeñas partículas de sílice amorfas. SF tiene un contenido de sílice de 85% y 95 %, tamaño de partícula fino (0,1 hasta 0,5 µm) y una gran superficie específica (Siddique, 2011, Shi *et al.*, 2012). Saojeng y Weiting (2013), afirman que al utilizar SF como reemplazo del cemento se reduce la permeabilidad del concreto y la probabilidad de corrosión del acero de refuerzo, particularmente en presencia de cloruros (Khan y Siddique, 2011). Para alcanzar altas resistencias a compresión y bajos coeficientes de difusión de cloruros se sugiere el uso de porcentajes entre 5% y 10% de la masa del cemento (Zhang y Ba, 2013; Shekarchi *et al.*, 2009; Farahani *et al.*, 2015).

La presente investigación se enfocó en evaluar la susceptibilidad a la corrosión por ataque de cloruros en morteros armados de cemento portland, sin adición y con adición de MK y SF en proporción del 10%, utilizando técnicas aceleradas de corrosión para la inclusión de cloruros y la técnica de resistencia de polarización lineal como método de análisis. El objetivo fue, además de comparar el desempeño de las dos adiciones en presencia de cloruros, verificar la efectividad de las técnicas aceleradas de inclusión del agente agresivo como método de caracterización de cementos adicionados.

## Procedimiento experimental

### Materiales

Para el presente estudio se utilizó un cemento portland (OPC) y dos adiciones puzolánicas, una de tipo aluminico, MK y otra de tipo silíceo, SF. Se tomaron en consideración los porcentajes óptimos de MK y SF propuestos por diferentes investigadores (Aguirre y Mejía, 2013; Torres-Agredo *et al.*, 2011; Song *et al.*, 2010; Siddique *et al.*, 2009); se escogió en este trabajo un porcentaje único del 10% en reemplazo del cemento para cada una de las puzolanas mencionadas. La caracterización química de estos materiales, determinada por fluorescencia de rayos X (FRX), se presenta en la Tabla

1. Cabe anotar, que el cemento utilizado contiene adición caliza en su formulación, debido a esto se aprecia un alto porcentaje en la pérdida por ignición (LOI); este cemento se distribuye comercialmente como cemento gris para uso general (OPC).

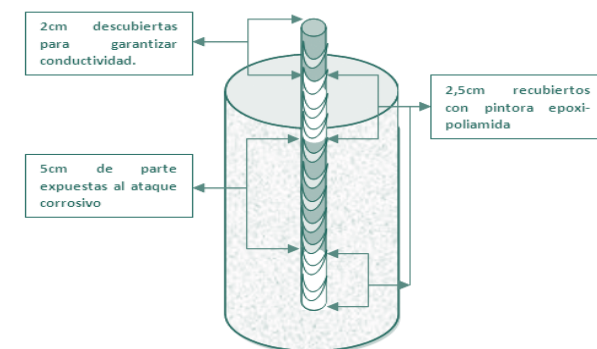
**Tabla 1.** Composición química de los materiales utilizados

| Mate-<br>rial | LOI<br>(%) | SiO <sub>2</sub><br>(%) | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub><br>(%) | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub><br>(%) | CaO<br>(%) | MgO<br>(%) | SO <sub>3</sub><br>(%) |
|---------------|------------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------|------------|------------------------|
| OPC           | 8,57       | 21,26                   | 4,43                                  | 5,52                                  | 54,38      | 4,46       | 1,85                   |
| MK            | 1,10       | 49,55                   | 0,39                                  | 47,14                                 | 0,17       | 1,21       | 0,0                    |
| HS            | 1,95       | 93,85                   | 1,32                                  | 2,40                                  | 0,0        | 0,0        | 0,0                    |

Fuente: los autores

### Preparación de especímenes y técnicas de ensayo

Para el presente estudio, se prepararon morteros de cemento portland (OPC) en proporción cemento:arena de 1:2,75, con una relación agua/cementante de 0,55. En total se produjeron tres mezclas: de referencia (OPC), y con sustitución de 10% de cada adición (10MK, 10SF). Los prototipos se elaboraron sin y con acero corrugado de 6 mm de diámetro, de tal manera que las probetas sin acero se utilizaron para evaluar las características mecánicas y de durabilidad del mortero y las probetas con acero embebido se utilizaron para el seguimiento corrosivo (Figura 1). La resistencia mecánica de los morteros se evaluó a 28 y 90 días de curado y las propiedades de durabilidad tales como absorción y porosidad (ASTM C642), succión capilar (ASTM C1585) y permeabilidad a cloruros (ASTM C1202) se determinaron en prototipos con 28 días de curado. Los prototipos armados a la misma edad de curado se sometieron a exposición a cloruros (solución acusa al 3,5% de NaCl) utilizando dos técnicas aceleradas, humectación-secado y voltaje impreso; estas técnicas son equivalentes a difusión natural y difusión acelerada de cloruros (Andrade y Buják, 2013).



**Figura 1.** Esquema de los morteros armados

Fuente: Los autores

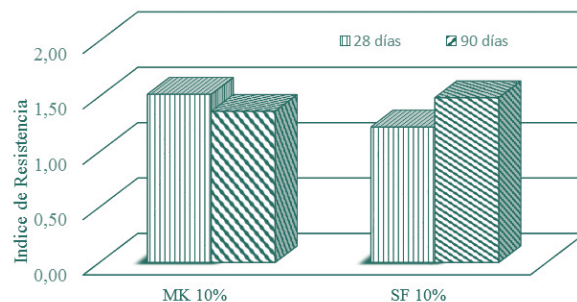
El seguimiento del avance de la corrosión se llevó a cabo con la técnica electroquímica conocida como resistencia a la polarización lineal, LPR o  $R_p$  (ASTM G 59), la cual es una técnica no destructiva. El ensayo se realizó en un equipo *Potenciostat/Galvanostat GAMRY PC14* a 0.167 mV/s, que aplicó sobrepotenciales de -20 a +20 mV; como electrodo de referencia se utilizó Ag/AgCl. En el cálculo de la corriente de corrosión se aplicó la fórmula de Stern-Geary ( $I_{corr}=B/R_p$ ), donde B es una constante dependiente de las pendientes tafel, cuyo valor estimado es 26 mV o 52 mV dependiendo del estado activo o pasivo del acero. En este estudio el valor "B" utilizado fue de 0,026V que simula la condición activa de corrosión (Andrade y González, 1978; Andrade y Alonso, 1996).

## Resultados y discusión

### Propiedades mecánicas y de durabilidad del mortero

Los resultados del ensayo de resistencia a la compresión a la edad de 28 y 90 días de curado (Figura 2) evidenciaron que los morteros con adiciones puzolánicas presentan mayor resistencia que los morteros sin adición (OPC); se calculó el índice de resistencia definido como la relación entre el mortero adicionado y el concreto sin adición OPC. A 28 días de curado se destaca el desempeño mecánico de la mezcla con 10% de MK, representado en un 51,9% respecto a OPC. El volumen total de poros permeables presenta valores que fluctúan entre 19,60% y 21,08%, siendo los prototipos adicionados los menos permeables, aunque la disminución es apenas de 1,48% para el SF y de 0,87 % para el MK con respecto a la probeta OPC. Los resultados obtenidos por succión capilar mostraron que al adicionar un 10% MK en reemplazo del cemento portland, la porosidad efectiva disminuyó en 12,3% en comparación con la probeta OPC; de igual manera la probeta adicionada con 10% de SF logro disminuir la porosidad efectiva en 35%. Los coeficientes de absorción capilar de los morteros adicionados fueron hasta un 31% menores que los correspondientes de OPC. El ensayo de permeabilidad a cloruros realizado a los morteros con MK y SF reportó valores considerados de permeabilidad muy baja ( $\leq 1000$  coulombios) frente a la Norma ASTM C1202. La probeta con 10% SF presentó una disminución en la carga del 19,6% y la probeta con 10% MK una reducción del 31,4%; este mejor desempeño del MK se puede atribuir, además del

refinamiento de poro y la densificación de la matriz, a la formación de la sal de Friedel que enlaza los iones cloruros impidiéndoles su difusión hacia la barra de refuerzo. En general, estos resultados muestran las mismas tendencias de lo reportado en anteriores investigaciones (M. de Gutiérrez *et al.*, 2000; Torres-Agredo *et al.*, 2011; Rao, 2001; Siddique y Klaus, 2009; Kim *et al.*, 2007; Ramezani pour y Jovein, 2012; Hassan *et al.*, 2012; Badogiannis *et al.*, 2015a).



**Figura 2.** Resistencia a la compresión a 28 y 90 días  
**Fuente:** Los autores

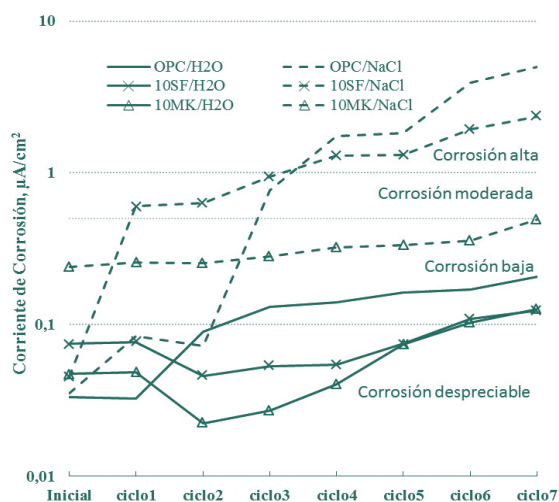
### Ensayos de corrosión

#### • Técnica acelerada de ciclos de humectación-secado (H-S).

En la técnica humectación/secado (H-S), los prototipos se colocaron completamente inmersos en una solución acuosa de NaCl al 3,5% por una semana y posteriormente se expusieron a un secado al aire libre a temperatura ambiente durante otra semana; de esta manera cada ciclo H-S fue de dos semanas. Todos los prototipos fueron sometidos a 7 ciclos H-S, equivalentes en total a 98 días de exposición. Al final de cada ciclo H-S se aplicó la técnica electroquímica LPR, con base en la cual se calculó la corriente de corrosión ( $I_{corr}$ ); este ensayo se realizó igualmente a las probetas expuestas al ambiente de referencia, el cual fue agua potable. En la Figura 3 se reporta el valor de  $I_{corr}$  al final de cada ciclo de exposición; el ciclo 0 representa el estado inicial en donde las probetas no habían sido expuestas al ensayo H-S.

Se observa que en los dos medios de exposición, agua y NaCl 3,5%, se presenta una tendencia al incremento de la corrosión con el transcurrir de los ciclos, sin embargo en el medio corrosivo que simula el marino (solución de NaCl 3,5%), el incremento de la corriente es superior comparado con el ambiente de referencia. Cabe anotar que en las probetas adicionadas con puzolanas el efecto negativo en los dos ambientes es menos pronunciado, lo cual indica

el aporte de las adiciones utilizadas al mejor desempeño del material en presencia de cloruros. Las probetas que contienen 10% de MK en remplazo de cemento reportan valores inferiores a  $0,5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  al final del ciclo 7, mientras 10% de SF y OPC reportan valores de  $2,5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  y  $5,0 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  respectivamente. El desempeño del MK es atribuible, además de la densificación de la estructura, a su elevado contenido de alúmina de carácter amorfo lo que le permite formar la sal de Friedel y de esta manera evitar la penetración de iones cloruro reduciendo así la velocidad de corrosión (M. de Gutiérrez *et al.*, 2000; Vejmelková *et al.*, 2010; Badogiannis *et al.*, 2015b). Considerando los valores límites de la corriente de corrosión incluidos en la Tabla 2, se puede afirmar que el nivel de corrosión al final del ensayo H-S para los prototipos inmersos en agua es despreciable y en los adicionados con 10% de MK e inmersos en NaCl es bajo; en los restantes el nivel de corrosión es alto.



**Figura 3.** Corriente de corrosión de especímenes sometidos a H-S  
**Fuente:** Los autores

**Tabla 2.** Criterio de Corriente de Corrosión

| Icorr ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ) | Nivel de Corrosión |
|-------------------------------------|--------------------|
| $\leq 0,1$                          | Despreciable       |
| $0,1 - 0,5$                         | Bajo               |
| $0,5 - 1$                           | Moderado           |
| $> 1$                               | Alto               |

**Fuente:** Los autores

#### • Técnica con voltaje impreso (VI)

La técnica denominada de voltaje impreso (VI), es una técnica acelerada de corrosión que indirectamente da información de las características de permeabilidad de

un concreto (Topçu y Bogă, 2010). El ingreso de los iones cloruros al material se acelera a través de la aplicación de un voltaje desde una fuente externa DC; la barra de acero del prototipo reforzado se constituye en el electrodo de trabajo y se conecta al terminal positivo de la fuente, mientras un contraelectrodo, que puede ser una placa de acero, es conectado al terminal negativo. En este circuito el acero actúa como ánodo y la lámina de acero inoxidable como cátodo, a su vez la solución de NaCl es el electrolito. Aunque los diferentes autores utilizan un voltaje que puede variar entre 2 V y 55 V (Ha *et al.*, 2007; Diab *et al.*, 2011; Horsakulthai *et al.*, 2011; Topçu y Bogă, 2010), este estudio se basó en la norma NT BUILD 356 en la cual se recomienda un voltaje constante de 5 V. A lo largo del ensayo se registró el cambio en la corriente y se identificó el tiempo necesario para evidenciar la fractura del prototipo (Figura 4). Se obtuvo un tiempo máximo en la probeta OPC de 2270 minutos (aproximadamente 38 horas) y para la probeta con 10% de SF fue de 3625 minutos (aproximadamente 60.5 horas) es decir 60% superior, lo cual confirma el mejor desempeño del mortero con adición.

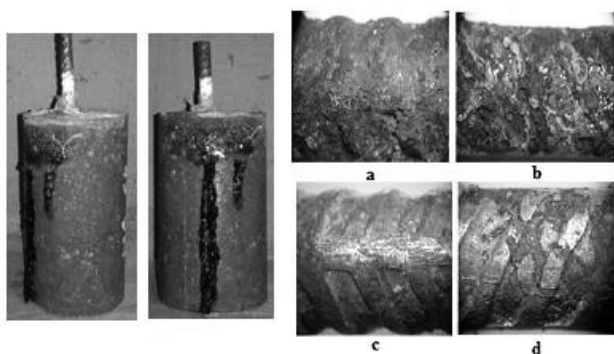
Tanto la corriente inicial como el tiempo de aparición de la grieta son factores considerados en la técnica para definir la mayor resistencia a la penetración de cloruros y la susceptibilidad a la corrosión del acero, ya que como consecuencia del volumen de los productos de corrosión, que puede estar entre 2,5 y 6 veces el del acero, se produce la grieta y al mismo tiempo se aprecia el incremento en la corriente. Cuando el inicio de la fisura vertical se produce a valores inferiores de corriente, se considera que la velocidad de la propagación de la corrosión es muy lenta; de la misma manera una corriente pequeña al inicio del ensayo es indicativo de la resistencia que ofrece la muestra al ingreso de los iones cloruro provenientes del medio exterior. En ambos casos estos factores coinciden con lo reportado para los cementos adicionados. Esta técnica ha sido aplicada al estudio de adiciones tales como cenizas volantes, escorias siderúrgicas, ceniza de cascarilla de arroz, entre otros (Ha *et al.*, 2007; Horsakulthai *et al.*, 2011; Topçu y Bogă, 2010; Bogă y Topçu, 2012; Ferraro *et al.*, 2012).

Diab *et al.* (2011) aplicaron la técnica VI a concretos sin y con adición de MK y SF en porcentajes hasta de 25% de reemplazo del cemento, utilizando voltajes variables en el rango de 15 V a 55 V y reportan una mayor resistencia a la corrosión para los adicionados con 15% de MK; respecto al voltaje aplicado afirman que un incremento se traduce en un menor tiempo de aparición de la grieta. Basunbul *et al.* (1994) y Saraswathy y Song H-W (2008) comparan esta técnica con la de permeabilidad a los iones cloruros (ASTM

C1202) en morteros, con y sin adición, y afirman que las dos técnicas presentan adecuada sensibilidad para evaluar materiales de recubrimiento.

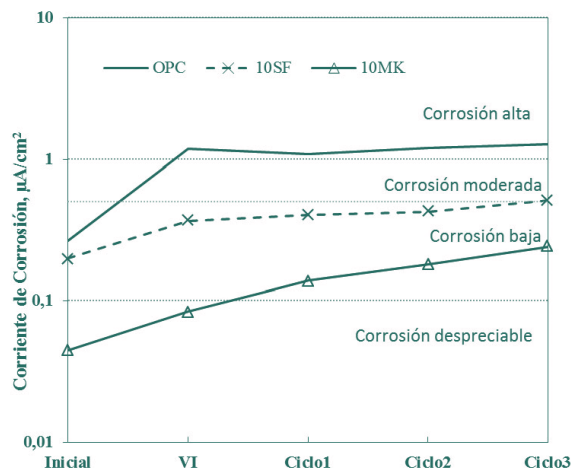
### • Técnica combinada

Para la aplicación de la técnica combinada (VI + H-S), a partir de los resultados anteriores se definió el tiempo requerido para la exposición de todas las probetas a VI, este fue de 1580 minutos (26 horas aproximadamente). Finalizado este proceso se sometieron los prototipos a 3 ciclos de H-S. En la Figura 4 se observa el estado de las armaduras al final del ensayo en dos de los morteros evaluados, OPC (Figura 4a y 4b) y 10% de MK (Figura 4c y 4d), tal como se pudo apreciar en un esteromicroscopio MODEL GX41F. Aquí se evidencia el mayor grado de deterioro en OPC.



**Figura 4.** Prototipos con acero de refuerzo luego de exposición a cloruros (Voltaje Impreso)  
**Fuente:** Los autores

En la Figura 5 se muestran los valores de la corriente de corrosión luego de la aplicación de la técnica de voltaje impreso (VI), en todos los casos hay un incremento significativo de la corriente respecto a la inicial. Para OPC este incremento es de 4,5 veces mientras para 10% de SF y 10% de MK es de 1,8 veces. Al comparar el desempeño de las diferentes mezclas se aprecia que MK se ubica en el nivel de corrosión despreciable. En los especímenes expuestos posteriormente a ciclos de H-S, se observa al final del tercer ciclo que la Icorr de 10% de MK y 10% de SF es un 20% y 40% respectivamente de lo reportado por OPC. Esto muestra en el primer caso, que la técnica aplicada responde positivamente a evidenciar la mayor o menor susceptibilidad de la mezcla al proceso corrosivo (Güneyisi *et al.*, 2013), a la par que confirma el mejor desempeño de las mezclas adicionadas, en especial la adicionada con MK.



**Figura 5.** Icorr ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ) en solución de NaCl. Técnica voltaje Impreso (VI) y VI+H-S  
**Fuente:** Los autores

## Conclusiones

- Basados en los resultados obtenidos en este proyecto, se demuestra que el uso de adiciones puzolánicas en el cemento mejora de manera relevante las propiedades mecánicas y de durabilidad y por ende la resistencia al desempeño a los cloruros en los morteros armados.
- De las adiciones evaluadas, se destaca el desempeño mecánico de la mezcla con 10% de MK, representado en un incremento del 51,9% respecto a OPC. Esta misma mezcla presenta el mejor desempeño en el estudio de corrosión, superando incluso el comportamiento de las mezclas con adición de SF.

- De las técnicas aceleradas aplicadas para el estudio de corrosión en presencia de cloruros se puede concluir que tanto el ensayo acelerado de humectación-secado (H-S) como el de voltaje impreso (VI), permiten evidenciar la susceptibilidad al proceso corrosivo de los especímenes; sin embargo la técnica de voltaje impreso (VI) presenta la ventaja de arrojar resultados en un menor tiempo. La combinación de la técnica VI con el proceso H-S fue igualmente efectiva para evidenciar la susceptibilidad de cada material evaluado en presencia de cloruros.

## Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad del Valle (Cali, Colombia), al Centro de Excelencia en Nuevos Materiales (CENM), y a Colciencias por el apoyo en el desarrollo del presente estudio.

## Referencias bibliográficas

- Aguirre, A.M., Mejía, R. (2013) Durabilidad del hormigón armado expuesto a condiciones agresivas, *Materiales de Construcción*, 63(309), 7-38. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.3989/mc.2013.00313>
- Andrade, C., González, J.A. (1978) Quantitative measurements of corrosion measurements, *Werkstoffe und Korrosion*, 29, 515-519.
- Andrade, C., Alonso, C. (1996) Corrosion rate monitoring in the laboratory and on-site, *Construction and Building*, 10(5), 315-328. Recuperado de [http://dx.doi.org/10.1016/0950-0618\(95\)00044-5](http://dx.doi.org/10.1016/0950-0618(95)00044-5)
- Andrade, C., Buják, R. (2013) Effects of some mineral additions to Portland cement on reinforcement corrosion, *Cement and Concrete Research*, 53, 59-67. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2013.06.004>
- Angst, U., Elsener, B., Larsen, C. K., Vennesland, Ø. (2009) Critical chloride content in reinforced concrete - A review, *Cement and Concrete Research*, 39(12), 1122-1138. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.08.006>
- ASTM C642-13 *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*. Recuperado de <http://www.astm.org/Standards/C642.htm>.
- ASTM C1585-13 *Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of water by Hydraulic-Cement Concretes*. Recuperado de <http://www.astm.org/Standards/C1585.htm>.
- ASTM C1202-12 *Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration*. Recuperado de <http://www.astm.org/Standards/C1202.htm>.
- Badogiannis, E., Sfikas, I., Voukia, D., Trezos, K., Tsivilis, S. (2015a) Durability of metakaolin Self-Compacting Concrete, *Construction and Building Materials*, 85, 133-141. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.02.023
- Badogiannis, E., Aggeli, E., Papadakis, V.G., Tsivilis, S. (2015b) Evaluation of chloride-penetration resistance of metakaolin concrete by means of a diffusion – Binding model and of the k-value concept, *Cement and Concrete Composites*, 63, 1-7. doi:10.1016/j.cemconcomp.2015.07.012
- Basunful, I.A., Dehwah, H.A., Maslehuddin, M. (1994) *Durability evaluation of repair materials in hot air environments*, SP-145 Proceedings Third Cammet ACI International Conference on Durability of Concrete, 835-850, Nice, France.
- Bogă, A. R., Topçu, I. B. (2012) Influence of fly ash on corrosion resistance and chloride ion permeability of concrete, *Construction and Building Materials*, 31, 258-264. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.106>
- Courard, L., Darimont, A., Schouterden, M., Ferauche, F., Willem, X., Degeimbre, R. (2003) Durability of mortars modified with metakaolin, *Cement and Concrete Research*, 33(9), 1473-1479. [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00090-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00090-5)
- Diab, A. M., Elyamany, H. E., Elmoty, A. (2011) Effect of mix proportions, seawater curing medium and applied voltages on corrosion resistance of concrete incorporating mineral admixtures, *Alexandria Engineering Journal*, 50, 65-78. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.aej.2011.01.013>
- EN206-1 (2008). *Hormigón - Parte 1: Especificación, comportamiento, fabricación y conformidad*.
- Farahani, A., Taghaddos, H., Shekarchi, M. (2015) Prediction of long-term chloride diffusion in silica fume concrete in a marine environment, *Cement and Concrete Composites*, 59, 10-17. doi:10.1016/j.cemconcomp.2015.03.006
- Ferraro, R. M., Nanni, A. (2012) Effect of off-white rice husk ash on strength, porosity, conductivity and corrosion resistance of white concrete, *Construction and Building Materials*, 31, 220-225. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.010>
- Güneyisi, E., Gesoğlu, M., Karaboğa, F., Mermerdaş, K. (2013) Corrosion behavior of reinforcing

- steel embedded in chloride contaminated concretes with and without metakaolin, *Composites Part B: Engineering*, 45(1), 1288-1295. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.09.085>.
- Güneyisi, E., Özturan, T., Gesog˘lu, M. (2007) Effect of initial curing on chloride ingress and corrosion resistance characteristics of concretes made with plain and blended cements, *Building and Environment*, 42(7), 2676-2685. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.07.008>
- Ha, T-H., Muralidharan, S., Bae, J-H., Ha, Y-Ch., Lee, H-G., Park, K-W., Kim, D-K. (2007) Accelerated short-term techniques to evaluate the corrosion performance of steel in fly ash blended concrete, *Building and Environment*, 42, 78-85. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.08.019>
- Hassan, A.A.A., Lachemi, M., Hossain, K. (2012) Effect of metakaolin and silica fume on the durability of self-consolidating concrete, *Cement and Concrete Composites*, 34(6), 801-807.
- Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.02.013>
- Horsakulthai, V., Phiuvanna, S., Kaenbud, W. (2011) Investigation on the corrosion resistance of bagasse-rice husk-wood ash blended cement concrete by impressed voltage, *Construction and Building Materials*, 25(1), 54-60. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.06.057>
- Kannan V., Ganesan K. (2014) Chloride and chemical resistance of self-compacting concrete containing rice husk ash and metakaolin, *Construction and Building Materials*, 51(31), 225-234. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.050>
- Keleştemur, O., Demirel, B. (2015) Effect of metakaolin on the corrosion resistance of structural lightweight concrete, *Construction and Building Materials*, 81, 172-178. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.02.049
- Khan, M. I., Siddique, R. (2011) Utilization of silica fume in concrete: Review of durability properties, *Resources, Conservation and Recycling*, 57, 30-35. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.09.016>
- Kim, H-S., Lee, S-H., Moon, H-Y. (2007) Strength properties and durability aspects of high strength concrete using Korean metakaolin, *Construction and Building Materials*, 21(6), 1229-1237. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.05.007>
- M. de Gutiérrez, R., Delvasto, S., Talero, R. (2000) Una nueva puzolana para materiales cementicios de elevadas prestaciones, *Materiales de Construcción*, 50(260), 5-13. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.3989/mc.2000.v50.i260.386>
- Mejía de Gutiérrez, R., Torres J., Guerrero, C.E. (2004) Análisis del proceso térmico de producción de una puzolana, *Materiales de Construcción*, 54(274), 65-72. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.3989/mc.2004.v54.i274.233>
- NT BUILD 356 (1989) *Nordtest method. Concrete, repairing materials and protective coating: Embedded steel method, chloride permeability.*
- NTC 5551 (2007), *Durabilidad de Estructuras de Concreto*, Colombia
- Parande, A. K., Babu, R. B., Karthik, M. A., Kumaar, K. K., Palaniswamy, N. (2008) Study on strength and corrosion performance for steel embedded in metakaolin blended concrete/ mortar, *Construction and Building Materials*, 22(3), 127-134. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.10.003>
- Poon, C.S., Kou, S.C., Lam, L. (2006) Compressive strength, chloride diffusivity and pore structure of high performance metakaolin and silica fume concrete, *Construction and Building Materials*, 20(10), 858-865. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.07.001>
- Ramezaniapour, A.A., Jovein, H.B. (2012) Influence of metakaolin as supplementary cementing

- material on strength and durability of concretes, *Construction and Building Materials*, 30, 470-479. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.050>
- Rao, G.A. (2001) Influence of silica fume on long-term strength of mortars containing different aggregate fractions, *Cement and Concrete Research*, 31(1), 7-12. Recuperado de [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00346-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00346-X)
- Sabir, B. B., Wild, S., Bai, J. (2001) Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review, *Cement and Concrete Composites*, 23(6), 441-454. Recuperado de [http://dx.doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00092-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00092-5)
- Saojeng C., Weiting L. (2013) Effects of silica fume and steel fiber on chloride ion penetration and corrosion behavior of cement-based composites, *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.*, 28(2), 279-284, Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1007/s11595-013-0679-4>
- Saraswathy, V., Song, H-W. (2008) Evaluation of Cementitious Repair Mortars for Corrosion Resistance., *Portugaliae Electrochimica Acta*, 26(5), 417-432. <http://www.scielo.oces.mctes.pt/pdf/pea/v26n5/v26n5a04.pdf>
- Shekarchi, M., Rafiee, A., Layssi, H. (2009) Long-term chloride diffusion in silica fume concrete in harsh marine climates, *Cement and Concrete Composites*, 31(10), 769-775. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.08.005>
- Shi, X., Xie, N., Fortune, K., Gong, J. (2012) Durability of steel reinforced concrete in chloride environments: An overview, *Construction and Building Materials*, 30, 125-138. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.038>
- Siddique, R., Klaus, J. (2009) Influence of metakaolin on the properties of mortar and concrete: A review, *Applied Clay Science*, 43(3-4), 392-400. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2008.11.007>
- Siddique, R. (2011), Utilization of silica fume in concrete: Review of hardened properties, Resources, *Conservation and Recycling*, 55(11), 923-932. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.06.012>
- Song, H-W., Lee, C-H., Ann, K-Y. (2008) Factors influencing chloride transport in concrete structures exposed to marine environments, *Cement and Concrete Composites*, 30(2), 113-121. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2007.09.005>
- Song, H-W., Pack, S-W., Nam, S-H., Jang, J-C., Saraswathy, V. (2010) Estimation of the permeability of silica fume cement concrete, *Construction and Building Materials*, 24(3), 315-321. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.08.033>
- Topçu, I. B., Bogă, A. R. (2010) Effect of ground granulate blast-furnace slag on corrosion performance of steel embedded in concrete, *Materials and Design*, 31, 3358-3365. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2010.01.057>
- Torres-Agredo, J., Mejía, R., Delvasto, S. (2011) Efecto del porcentaje de adición de metacaolín en las propiedades finales del concreto adicionado, *Ingeniería y Universidad*, 15(1), 77-90. Recuperado de <http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/iyu/article/view/1130>
- Vejmelková, E., Pavlíková, M., Keppert, M., Keršner, Z., Rovnaníková, P., Ondráček, M., Sedlmajer, M., Černý, R. (2010) High performance concrete with Czech metakaolin: Experimental analysis of strength, toughness and durability characteristics, *Construction and Building Materials*, 24(8), 1404-1411. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.01.017>
- Zhang, W-M., Ba, H-J. (2013) Effect of silica fume addition and repeated loading on chloride diffusion coefficient of concrete, *Materials and Structures*, 46(7), 1183-1191. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1617/s11527-012-9963-6>

# Evaluación de las propiedades mecánicas de paneles de ferrocemento con agregado fino reciclado<sup>1</sup>

## Evaluation of mechanical properties of panels ferrocement with recycled fine aggregate

Recibido: 08-09-2015 Aceptado: 25-11-2015

### Resumen

Este trabajo describe la obtención de paneles de ferrocemento con la incorporación de agregado fino reciclado (AFR) obtenidos a partir de la trituración de escombros de concreto. Se partió de la obtención de un mortero referencia que cumpliera con la resistencia mínima a la compresión requerida para esta aplicación (25 MPa a los 28 días de curado) y asentamiento máximo de 6 cm. Se estudió el efecto sobre la resistencia a la compresión de este mortero de referencia, de la incorporación de AFR en niveles de 25%, 50%, 75% y 100%. Posteriormente y con base en resultados óptimos se elaboraron paneles de ferrocemento utilizando barras de acero, malla hexagonal y malla zaranda (ZAG). Los resultados obtenidos revelan la posibilidad de sustituir totalmente la arena natural por AFR en la fabricación de paneles de ferrocemento con resistencias a la flexión de hasta 34,16 MPa y morteros con resistencias a la compresión superiores a 7,3% a los basados en un 100% de arena natural.

**Palabras Claves:** Paneles, resistencia a la flexión, arena natural.

### Abstract

This paper describes the obtention of panels of ferrocement with the incorporation of recycled fine aggregate (SFR) from the grinding of concrete rubble. We used a reference mortar that met the minimum resistance to the understanding required for this application (25 Mpa at 28 days) and maximum settlement of 6 cm. This study shows the effect on the compressive strength of this reference mortar, of the incorporation of AFR at levels of 25, 50, 75 and 100%. Then, based upon optimal results panels of ferrocement were drawn using rods of steel, hexagonal

Pedro Enrique Matthey Centeno<sup>2</sup>  
Rafael Andrés Robayo Salazar<sup>3</sup>  
Julián Alejandro Torres Rico<sup>4</sup>  
Pavel Andrey Ramos Barragán<sup>5</sup>  
Silvio Delvasto Arjona<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Proyecto: Reciclar Escombros en Concreto. Fecha de inicio: Febrero 2013. Investigación en curso. Financiado por la Universidad del Valle, convocatoria 2-2013 de la Vicerrectoría de Investigaciones, VRI C.I. 747.

<sup>2</sup> Venezolano, Estudiante de Doctorado en Ingeniería de Materiales. Ms. C. GMC (Grupo Materiales Compuestos), CENM (Centro de Excelencia de Nuevos Materiales) Universidad del Valle, Cali, Colombia. Correspondencia: pedro.matthey@correounivalle.edu.co. Teléfono: +57 (2) 331 2251. Celular: 304 383 5133. Calle 13 No. 100-00, Edf. 349.

<sup>3</sup> Colombiano, Estudiante de Doctorado en Ingeniería de Materiales. GMC (Grupo Materiales Compuestos), CENM (Centro de Excelencia de Nuevos Materiales), Universidad del Valle, Cali, Colombia.

<sup>4</sup> Colombiano, Ingeniero de Materiales de la Universidad del Valle. GMC (Grupo Materiales Compuestos), Universidad del Valle, Cali, Colombia.

<sup>5</sup> Colombiano, Ingeniero de Materiales de la Universidad del Valle. GMC (Grupo Materiales Compuestos), Universidad del Valle, Cali, Colombia.

<sup>6</sup> Colombiano, Profesor Titular, PhD. GMC (Grupo Materiales Compuestos), CENM (Centro de Excelencia de Nuevos Materiales), Universidad del Valle, Cali, Colombia.

mesh and mesh shale shaker (ZAG). The results revealed the possibility of completely replace natural sand by AFR in the manufacture of ferrocement panels with resistance to Flex up to 31.16 MPa and mortars with up to 7.3% higher compressive strength compared to those based on a 100% natural sand.

**Keywords:** Panels; flexural strength; natural sand.

## Introducción

El ferrocemento, patentado en 1855 por el francés Joseph Louis Lambot, es un término utilizado para definir un tipo particular de hormigón armado compuesto por una lámina delgada de mortero de arena y cemento hidráulico, el cual se proyecta a presión o se aplica manualmente sobre una armadura de acero y telas de mallas de alambre de pequeño diámetro.

La armadura está altamente subdividida y distribuida en toda la masa de mortero dando lugar a una alta resistencia, compacidad y elasticidad que difiere del concreto reforzado convencional en la manera en la cual se encuentran dispuestos los elementos de reforzamiento. Un material que difiere del concreto reforzado convencional en la manera en la cual se encuentran dispuestos los elementos de reforzamiento. Su versatilidad en cuanto a fabricación y uso han permitido que varios países lo hayan adoptado como solución para viviendas y construcciones como: Colombia, México, Cuba, Brasil, India, Tailandia y Estados Unidos, grupo de países pioneros en la construcción de este tipo de viviendas (Wainshtok, 1994; Naaman, 2000; Bedoya, 2005; Delvasto *et al.* 2005; Comoglio, 2002; El-Diasity *et al.* 2015).

En el ferrocemento los refuerzos se encuentran muy cercanos entre sí, en múltiples capas de mallas de alambre (como malla hexagonal, malla electrosoldada, metal desplegado, malla cuadrada, etc.), y ocasionalmente barras de acero completamente embebidas en una matriz cementicia que no permite el uso de agregados de gran tamaño; este aspecto le otorga al mortero ferrocemento una consistencia pastosa que le permite adherirse fácilmente al entramado de las mallas sin el uso de cimbra o encofrado, generando excelentes propiedades de permeabilidad que han hecho posible usar esta técnica en la construcción de estructuras como: depósitos, silos, reservorios, piscinas, canales, domos, edificaciones, viviendas, barcos, estructuras marinas, mobiliarios, entre

otros (Quintero, 2006; Gonzalez y Guerrero, 2008; Bedoya, 1996). En efecto, las características de los agregados son quizás el aspecto más importante a tener en cuenta a la hora de diseñar y producir el ferrocemento (Isikdag, 2015; Shannag y Mourad, 2012). Esto ha motivado la búsqueda de agregados finos alternativos que permitan la obtención de mejores acabados superficiales y de propiedades físicas y mecánicas específicas. Por otro lado, el aprovechamiento de diferentes residuos tales como los escombros en la obtención de agregados, es actualmente un tema de gran interés particularmente en países que poseen deficiencias en el manejo y gestión de este tipo de residuos, tal como es el caso de Colombia, ya que su aprovechamiento puede contribuir positivamente a la reducción del impacto ambiental generado por la inadecuada disposición final de estos residuos y en particular cuando esta tecnología admite la utilización masiva del desecho.

En la actualidad, los mayores generadores de escombros a nivel mundial son Estados Unidos, China y los países que conforman la comunidad europea. Se estima que China genera 200 millones de toneladas al año, aunque esta cifra puede ser superior debido a los desastres naturales de los últimos años (Xiao *et al.* 2012), y Estados Unidos alrededor de 143 millones de toneladas (Yuan *et al.* 2012). En la Unión Europea el volumen de desechos de construcción y demolición (C&D) representa aproximadamente el 35% del total de los desechos generados y se estima en 750 millones de toneladas al año (European Commission, 2015); en algunos países tales como Alemania, Dinamarca y Países Bajos la reutilización alcanza el 80%, en el resto no supera en promedio el 30% (Bravo *et al.* 2015). En Colombia, aunque no existe un estudio estadístico nacional, se reporta que en algunas ciudades con mayor crecimiento demográfico, tal como la ciudad de Bogotá, se generan hasta 12 millones de toneladas al año y no están siendo utilizadas (Castaño *et al.* 2013; Robayo *et al.* 2015). El diseño de un sistema efectivo para el manejo de estos desechos que sea ambientalmente sano y económicamente factible implica una adecuada cuantificación de los mismos (Wu *et al.* 2014).

El objetivo de esta investigación es evaluar la incorporación de agregado fino reciclado (AFR) obtenido a partir de la conminución de escombros de concreto sobre el comportamiento mecánico de paneles de ferrocemento. El AFR fue incorporado como sustituyente parcial y total de la arena natural en proporciones del 25%, 50%, 75% y 100% en peso.

# Materiales y metodología experimental

## Materiales

### Cemento

El cemento que se usó para la elaboración de las mezclas fue el cemento portland Tipo I (Argos) de uso general. Su caracterización química se realizó mediante fluorescencia de rayos X, mientras que las físicas son las reportadas en la ficha técnica del producto según el fabricante. Los resultados se pueden observar en las Tablas 1 y 2.

**Tabla 1.** Composición química del cemento.

| Componente                     | % en peso | Componente                    | % en peso |
|--------------------------------|-----------|-------------------------------|-----------|
| CaO                            | 63,99     | S                             | 1,01      |
| SiO <sub>2</sub>               | 21,70     | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 0,18      |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5,44      | Na <sub>2</sub> O             | 0,31      |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4,39      | K <sub>2</sub> O              | 0,30      |
| MgO                            | 1,52      | Zn                            | 0,02      |

**Fuente:** Los autores

**Tabla 2.** Propiedades físicas del cemento Tipo I (ARGOS).

| Ensayo                             | Norma             | Resultado                |
|------------------------------------|-------------------|--------------------------|
| Finura Blaine del cemento          | NTC 33            | 2800 cm <sup>2</sup> /gr |
| Consistencia normal                | NTC 110           | 0,25                     |
| Fluidez de los morteros            | NTC 111           | 85 min                   |
| Tiempo de fraguado inicial         | NTC 118           | 45 min                   |
| Tiempo de fraguado final           | NTC 118           | 420 min                  |
| Peso específico del cemento        | NTC 221           | 3,09 gr/cm <sup>3</sup>  |
| Resistencia a compresión a 28 días | NTC 220<br>26 MPa |                          |

**Fuente:** Los autores

### Agregados finos

Se utilizaron dos tipos de agregados finos; naturales y reciclados (AFR). Los agregados naturales utilizados, cumplen con las especificaciones de las Normas Técnicas Colombianas (NTC) para la producción de mezclas de concreto. Los AFR fueron obtenidos mediante la trituración de escombros de concreto usando un molino de martillos y posteriormente fueron tamizados a través de una malla 4,75 mm para obtener una distribución granulométrica semejante al agregado fino natural. La caracterización física y la distribución granulométrica de los agregados

utilizados se pueden observar en las Tablas 3, 4 y la Figura 1.

El AFR presentó un módulo de finura de 3,6 (mayor al especificado para el ferrocemento, que debe estar entre 2,4 y 3,3) debido al proceso de conminución. Sin embargo, cabe aclarar que este valor de módulo de finura está enfocado en garantizar el paso libre del agregado a través de la abertura de la malla de refuerzo. De acuerdo a lo anterior aseguramos que el agregado pasa libremente por la abertura del refuerzo. Se propone la granulometría dada como óptima para la fabricación del ferrocemento (Naaman, 2000). De igual forma el AFR presentó una morfología angular producto del proceso de molturación al cual fue expuesto; esta característica se puede observar en la Figura 1.

### Diseño de mezclas

Con el fin de determinar la dosificación ideal del mortero se evaluó el efecto de la cantidad de cemento y las relaciones *agua : cemento* y *cemento : arena* sobre la resistencia a la compresión a 7 días de curado conforme a los parámetros establecidos en la norma NTC 1377. Los resultados obtenidos (promedio de tres probetas) se muestran en la Tabla 5.

De acuerdo con los requerimientos de resistencia mínima a la compresión de 25 MPa a los 28 días de curado y consumos mínimos de cementante para su obtención, la mezcla que cumple satisfactoriamente con estos requisitos es la mezcla No. 13 (Namaan, 2000; Saavedra, 2002; Wainshtok 2010; Maldonado, 2005). Esta mezcla contiene una cantidad de cementante de 400 Kg/m<sup>3</sup>; cantidad menor a la especificada que podría generar una disminución en costos de producción. Por otro lado, la relación *agua : cemento* utilizada en esta mezcla fue de 0,38, lo cual promueve la obtención de buenas propiedades mecánicas.

Como parámetro de selección adicional se midió el asentamiento o slump de la mezcla (13) por medio del cono de Abrams de acuerdo a las especificaciones y procedimiento descritos en la norma NTC 396 (Figura 2).

La mezcla evaluada presentó buena cohesión y no mostró ningún rasgo de exudación y/o sangrado, tiene una consistencia semi-seca con un valor de slump de 5 cm que permite cumplir con las especificaciones técnicas de diseño para ferrocemento en su estado fresco que indican que este no debe exceder los 6 cm.

Con base en estos resultados, se elaboraron morteros

y ferrocementos con sustitución parcial y total del agregado fino (arena) por agregado fino reciclado (AFR), con el fin de evaluar sobre estas mezclas el efecto del AFR en la fabricación de ferrocemento.

**Tabla 3.** Características físicas de los agregados finos.

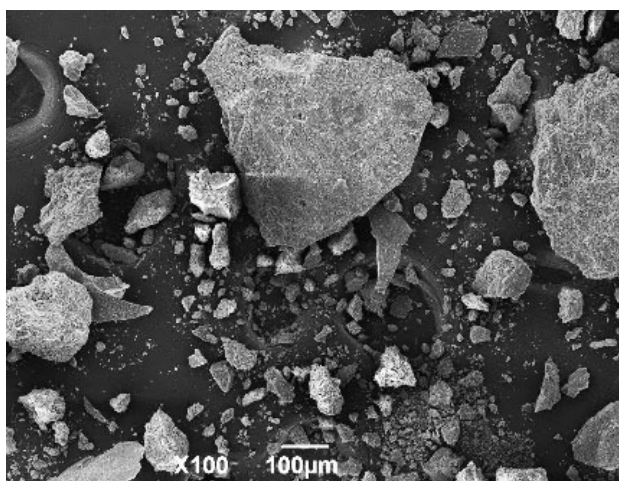
| Ensayo                 | Norma   | Resultado                                  |                                            |
|------------------------|---------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|
|                        |         | Natural                                    | AFR                                        |
| Densidad aparente Bulk | NTC 237 | 2,58 (x10 <sup>3</sup> ) kg/m <sup>3</sup> | 2,42(x10 <sup>3</sup> ) kg/m <sup>3</sup>  |
| Densidad nominal       | NTC 237 | 2,66 (x10 <sup>3</sup> ) kg/m <sup>3</sup> | 2,81(x10 <sup>3</sup> ) kg/m <sup>3</sup>  |
| Densidad (SSS)         | NTC 237 | 2,61 (x10 <sup>3</sup> ) kg/m <sup>3</sup> | 2,56(x10 <sup>3</sup> ) kg/m <sup>3</sup>  |
| Absorción %            | NTC 237 | 1,12 %                                     | 5,65 %                                     |
| Impurezas orgánicas    | NTC 127 | Placa orgánica No. 2                       | Placa orgánica No. 2                       |
| Módulo de finura       | NTC 77  | 2,6                                        | 3,6                                        |
| Masa unitaria suelta   | NTC 92  | 1,49 (x10 <sup>3</sup> ) kg/m <sup>3</sup> | 1,33 (x10 <sup>3</sup> ) kg/m <sup>3</sup> |
| Masa unitaria compacta | NTC 92  | 1,62 (x10 <sup>3</sup> ) kg/m <sup>3</sup> | 1,43 (x10 <sup>3</sup> ) kg/m <sup>3</sup> |

**Fuente:** Los autores

**Tabla 4.** Distribución granulométrica de los agregados finos naturales y reciclados

| No. De tamiz | Tamaño (mm) | % pasa        |       |
|--------------|-------------|---------------|-------|
|              |             | Arena natural | AFR   |
| 4            | 4,75        | 100           | 100   |
| 8            | 2,36        | 61,69         | 91,4  |
| 16           | 1,18        | 33,34         | 69,64 |
| 30           | 0,6         | 20,02         | 55,98 |
| 50           | 0,3         | 10,36         | 22,7  |
| 100          | 0,15        | 4,88          | 1,69  |
| 200          | 0,08        | 3,24          | 1,18  |
| Fondo        | 0           | 0             |       |

**Fuente:** Los autores



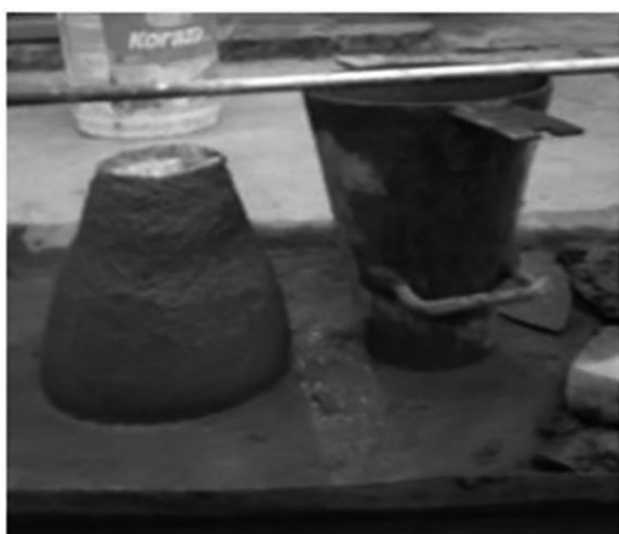
**Figura 1.** SEM de los finos provenientes de escombros (AFR)

**Fuente:** Los autores

**Tabla 5.** Resultados de resistencia a la compresión (R.C) a 7 días

| Mezcla | Cemento (Kg/m <sup>3</sup> ) | Relación (Agua/Cemento) | Relación (Cemento/Arena) | R.C (MPa) |
|--------|------------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------|
| 1      | 500                          | 0,5                     | 2                        | 16,02     |
| 2      | 500                          | 0,35                    | 1,5                      | 34,97     |
| 3      | 500                          | 0,35                    | 2                        | 25,76     |
| 4      | 500                          | 0,5                     | 1,5                      | 17,35     |
| 5      | 500                          | 0,6                     | 2                        | 11,56     |
| 6      | 400                          | 0,5                     | 2                        |           |
| 7      | 800                          | 0,5                     | 2                        | 15,41     |
| 8      | 500                          | 0,4                     | 1,5                      | 30,45     |
| 9      | 400                          | 0,35                    | 2                        | 22,01     |
| 10     | 400                          | 0,35                    | 1,5                      | 21,46     |
| 11     | 350                          | 0,35                    | 2                        | 9,553     |
| 12     | 400                          | 0,4                     | 2                        | 17,48     |
| 13     | 400                          | 0,38                    | 1,5                      | 27,58     |

Fuente: Los autores



**Figura 2.** Medida de Asentamiento mezcla 13  
Fuente: Los autores

## Resultados y análisis

### Resistencia a la compresión de los morteros

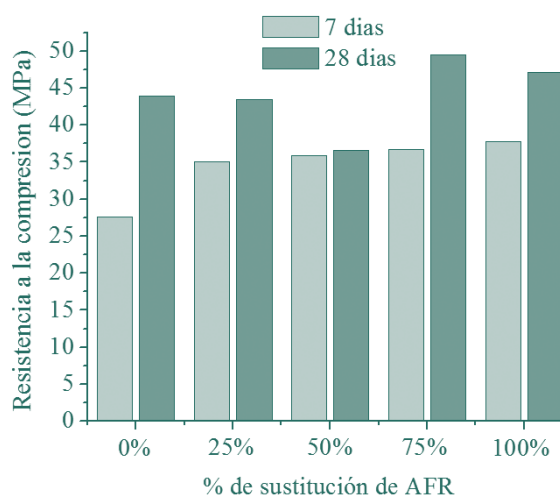
El esfuerzo de flexión es básicamente el esfuerzo crítico que reciben este tipo de paneles en el momento en que se encuentran en obra; a pesar de esto, es importante

saber la resistencia a la compresión que tiene el mortero para de esta forma predecir el comportamiento que tendrá el mismo en el momento en que se encuentre enlazado con las mallas y reforzamientos del ferrocemento; por tal razón en la Figura 3 se muestran los resultados de resistencia a la compresión de los morteros elaborados con niveles de sustitución de arena natural por AFR del 0%, 25%, 50%, 75% y 100% bajo las proporciones de mezclas mostradas en la tabla 6.

**Tabla 6.** Dosificación de los morteros elaborados con AFR.

| Material      | Patrón | Peso (g) |         |         |          |
|---------------|--------|----------|---------|---------|----------|
|               |        | 25% AFR  | 50% AFR | 75% AFR | 100% AFR |
| Cemento       | 300    | 300      | 300     | 300     | 300      |
| Arena natural | 450    | 337,5    | 225     | 112,5   | 0        |
| Agua          | 114    | 114      | 114     | 114     | 114      |
| AFR           | 0      | 112,5    | 225     | 337,5   | 450      |

Fuente: Los autores



**Figura 3.** Resistencia a la compresión de la mezcla de mortero con AFR en sustituciones del 25%, 50%, 75% y 100% a 7 y 28 días de curado.

Fuente: Los autores

En la Figura 3 se observa que la mezcla con 100% de reemplazo de arena por AFR presentó una resistencia a la compresión promedio de 47,1 MPa a los 28 días de curado, resistencia mayor en comparación con la de la mezcla patrón (43,9 MPa). Este aumento de 7,3% en la resistencia se debe principalmente a que los finos provenientes de escombros forman una matriz con mayor adherencia debido a la rehidratación del cemento contenido en este, lo cual proporciona sitios de nucleación para la formación de nuevos productos de hidratación, lo que sugiere que la adición de finos de escombros reciclados contribuye al

desarrollo de propiedades mecánicas (Florea, 2013) (Loffy y Al-Fayez, 2015; Ledesma, E.F. et al, 2014; Jiménez, J.R. et al, 2013).

Una vez obtenidos los resultados mecánicos para los morteros elaborados con AFR se procedió a fabricar ferrocemento con las condiciones y características específicas que involucran al recubrimiento de la malla, la armadura para los paneles, el volumen de refuerzo, la superficie específica y el área efectiva de refuerzo; aspectos que deben tenerse en cuenta para mantenerse dentro de los límites que las normas de ferrocemento establecen para este tipo de elementos (Tabla 7).

**Tabla 7.** Parámetros para la fabricación de paneles de ferrocemento.

| Tipo de Refuerzo | Recubrimiento de la malla | Volumen de refuerzo | Superficie específica           | Área específica       |
|------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------|-----------------------|
| Malla Hexagonal  | 5 mm                      | 3,5%                | 0,6 cm <sup>-1</sup> (6 capas)  | 0,709 cm <sup>2</sup> |
| Malla Zaranda    | 5 mm                      | 1,9%                | 0,54 cm <sup>-1</sup> (4 capas) | 0,556 cm <sup>2</sup> |

**Fuente:** Los autores

## Propiedades mecánicas del ferrocemento

### Resistencia a la flexión

Para la evaluación de la resistencia a la flexión se elaboraron tres prototipos para cada uno de los paneles estudiados; los paneles tienen 54 cm de largo, 15 cm de ancho y 3 cm de espesor; el ensayo de resistencia a la flexión se realizó de acuerdo a los parámetros establecidos en la norma ASTM C293. Las dosificaciones para cada uno de los tipos de paneles se muestran en la Tabla 8. La resistencia a la flexión o módulo de ruptura promedio para cada uno de los paneles, evaluada a 28 días de curado, se presenta en la Tabla 9.

En la Tabla 9 se puede apreciar un aumento del 458% en el módulo de ruptura en el caso del *Panel patrón con malla Zaranda (ZAG)* en comparación con el *Panel sin refuerzo*, aspecto que referencia lo importante del ferrocemento en este tipo de elementos de construcción. Cabe destacar que el comportamiento del panel (ZAG) es muy similar que el presentado por el *Panel (ZAG) con AFR*. Por otro lado, el *Panel con barras de acero* presentó un módulo de ruptura de 29,66 MPa, un comportamiento entre un 10% y 15% por debajo del *Panel patrón con malla Zaranda (ZAG)*

y *Panel con malla hexagonal* respectivamente. En efecto, el uso de mallas genera un incremento en la tenacidad y en el módulo de ruptura del material. Adicionalmente fue posible observar que los paneles sin mallas presentaron un comportamiento frágil, debido a que sin la presencia de mallas no se garantiza la distribución de los esfuerzos por todo el ferrocemento, y por lo tanto en el momento del ensayo de flexión la armadura puede ser expuesta tal y como se muestra en la Figura 4.

**Tabla 8.** Dosificaciones óptimas para la fabricación de paneles.

| Material      | Proporciones de las mezclas para paneles<br>Peso (g) |           |
|---------------|------------------------------------------------------|-----------|
|               | 100% arena natural                                   | 100 % AFR |
| Cemento       | 2041.2                                               | 2041.2    |
| Arena natural | 3061.8                                               | -         |
| Agua          | 775.65                                               | 775.65    |
| AFR           | -                                                    | 3061.8    |

**Fuente:** Los autores

**Tabla 9.** Resultados del ensayo de resistencia a la flexión a los 28 días de curado (módulos de ruptura).

| Mezcla                              | Carga máxima promedio (N) | Módulo de ruptura promedio (MPa) |
|-------------------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Panel sin refuerzo                  | 1429,5                    | 7,14                             |
| Panel con barras de acero           | 5932,5                    | 29,66                            |
| Panel con malla Hexagonal           | 6832,5                    | 34,16                            |
| Panel patrón con malla Zaranda(ZAG) | 6555                      | 32,77                            |
| Panel (ZAG) con AFR                 | 6345                      | 31,73                            |

**Fuente:** Los autores



**Figura 4.** Falla frágil del panel reforzado con varilla sin mallas.  
**Fuente:** Los autores

## Tenacidad en flexión

El cálculo de la tenacidad en flexión se realizó según los parámetros establecidos en la norma ASTM C1018; esta norma describe el cálculo del índice de tenacidad para cualquier valor de extensión que resulte de interés. Los resultados de tenacidad e índice de tenacidad obtenidos para los diferentes paneles a 28 días de curado se muestran en la Tabla 10.

Los valores de tenacidad presentados en la Tabla 10 muestran el efecto que tiene el uso de mallas y barras de acero en la composición del ferrocemento. Se puede observar que todos los paneles de ferrocemento alcanzan valores de tenacidad mucho mayores que los obtenidos por el Panel sin refuerzo (Alenezi, E.F. *et al.* 2015). El panel sin refuerzo presentó una fractura frágil además de una tenacidad a la primera fisura ( $\delta_i$ ) de 699,52 N.mm. El Panel patrón con malla Zaranda (ZAG) y el Panel con malla hexagonal presentaron un incremento de la tenacidad en una deformación  $3\delta_i$  del 15679% y 17603 % respectivamente en comparación con la tenacidad del Panel sin refuerzo. En efecto, para una deformación de  $3\delta_i$  los paneles con malla hexagonal presentaron un buen comportamiento, no obstante el costo de este tipo de mallas es una de sus principales limitantes; por tal razón se elige como refuerzo óptimo la malla tipo zaranda (ZAG) la cual presenta un buen comportamiento mecánico. Por otro lado, el Panel (ZAG) con AFR arrojó resultados similares a los obtenidos por los paneles zaranda (ZAG) referencia, estos resultados concuerdan con los obtenidos anteriormente.

## Interfase fibra-matriz

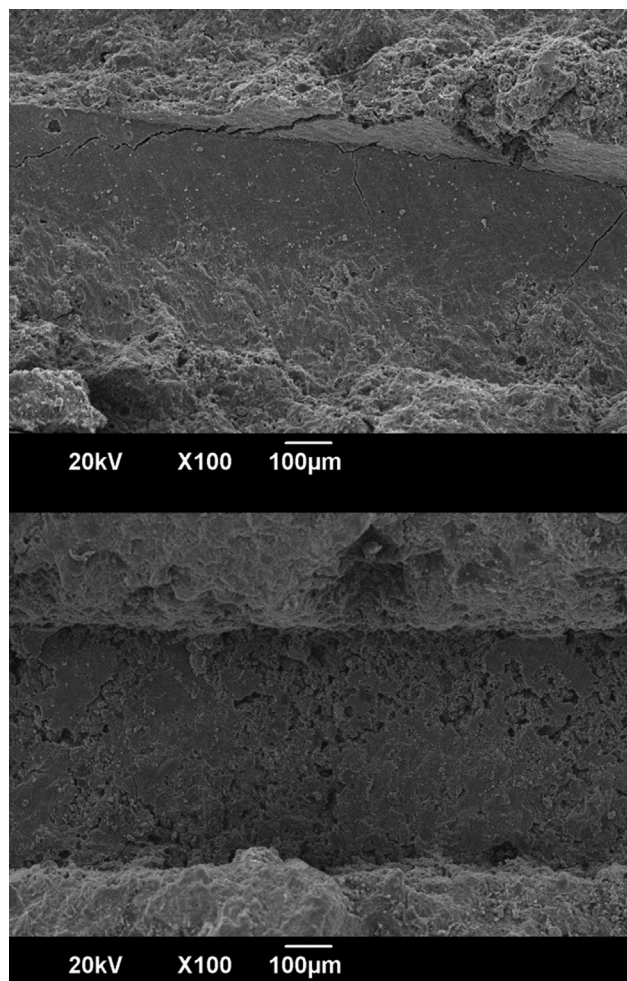
El estudio de la zona de interfase entre la malla y la matriz se realizó mediante la técnica de Microscopia Electrónica de Barrido (MEB); esta técnica de caracterización permite observar la microestructura de la pasta de cemento endurecida, así como la morfología de las diferentes fases anhidras e hidratadas. La observación se realizó sobre la superficie de la matriz donde se apreciaba la huella dejada por la malla una vez fracturada la matriz de mortero.

En la Figura 5 (arriba) se puede observar que la matriz presenta una buena densificación y baja porosidad, esto es característico de matrices con alto contenido de silicatos de calcio hidratados (C-S-H), principal producto de hidratación y responsable del desarrollo de resistencias. Estas características promueven una mayor adherencia de las fibras y mallas de refuerzo a la matriz cementicia, contribuyendo a la obtención de un adecuado comportamiento mecánico del material reforzado. En la Figura 5 (abajo) se puede observar que el panel (ZAG) con AFR presenta una mayor porosidad comparado con la matriz referencia, según Butler *et al.* (2011) los AFR tienen densidades más bajas, partículas de forma más angular y superficie con textura rugosa que incrementan la capacidad de absorción de agua; por otro lado, la mayor porosidad del mortero adherido a los AFR contribuye a la obtención de porosidades elevadas.

**Tabla 10.** Resultados del ensayo de tenacidad en flexión para los diferentes tipos paneles de ferrocemento a 28 días de curado.

| Mezcla                               | $P_i$ (N) | $\delta_i$ (mm) | Tenacidad (N.mm) |             |             | Índice de tenacidad |
|--------------------------------------|-----------|-----------------|------------------|-------------|-------------|---------------------|
|                                      |           |                 | $\delta_i$       | $2\delta_i$ | $3\delta_i$ | 15                  |
| Panel sin refuerzo                   | 1429,5    | 1,01            | 699,52           | -           | -           | -                   |
| Panel con barras de acero            | 5932,5    | 7,68            | 29080,22         | 62926,00    | 79936,00    | 2,75                |
| Panel con malla Hexagonal            | 6832,5    | 9,36            | 40153,60         | 90444,30    | 123138,15   | 3,06                |
| Panel patrón con malla Zaranda (ZAG) | 6555,0    | 7,44            | 28667,10         | 71987,40    | 109684,65   | 3,83                |
| Panel (ZAG) con AFR                  | 6345,0    | 7,32            | 27382,05         | 70440,75    | 105439,65   | 3,85                |

**Fuente:** Los autores



**Figura 5.** SEM interfase malla-matriz y zona adyacente; arriba: Panel patrón Zaranda (ZAG) y abajo: Panel (ZAG) con AFR.  
**Fuente:** Los autores

## Conclusiones

La incorporación de agregado fino reciclado (AFR), obtenido a partir de la trituración de escombros de concreto, generó incrementos de hasta el 7,3% en la resistencia a la compresión de los morteros, aun cuando los niveles de reemplazo fueron del 100%. Esto permitió el logro de resistencias a la compresión de hasta 47,1 MPa a los 28 días de curado utilizando un 100% de AFR como sustituto de la arena natural; resistencia que supera la requerida para este tipo de aplicación (25 MPa). Estos resultados permitieron la elaboración de paneles de ferrocemento con la incorporación de un 100% de AFR, logrando así valores de resistencia a la flexión de hasta 34,16 MPa e incrementos de la tenacidad hasta valores de 109684,65 N.mm (30<sub>i</sub>) utilizando malla hexagonal. Se observó que la presencia de malla hexagonal incrementó en un 378% el módulo de ruptura en flexión de los paneles elaborados con un 100%

de AFR. En general, los resultados obtenidos revelan la posibilidad sustituir totalmente la arena natural por AFR en la fabricación de paneles de ferrocemento y brinda una alternativa sostenible para el aprovechamiento, como agregado fino, de este tipo de residuos.

## Agradecimientos

Los autores, miembros del Grupo de Materiales Compuestos (GMC) agradecen a la Universidad del Valle (Cali, Colombia); Proyecto VRI C.I.747 "Reciclar Escombros en Concreto" financiado por la Universidad del Valle, convocatoria 2-2013 de la Vicerrectoría de Investigaciones y al Centro de Excelencia en Nuevos Materiales (CENM) por el apoyo recibido durante la ejecución de esta investigación.

## Bibliografía

- Alenezi, K., Tahir, M.M., Alhajri, T., Badr, M.R.K., Mirza, J. (2015). Behavior of shear connectors in composites column of cold-formed Steel with lipped C-channel assembled with ferrocement jacket. *Construction and building materials*. Vol. 84. pp 39-45.
- Bedoya, D. A. (1996). *Ferrocemento: Optimización de Mezclas y Mecanismos de Construcción y Vaciado*. Trabajo dirigido de grado, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Bedoya, D. A. (2005). *Estudio de resistencia y vulnerabilidad sísmicas de viviendas de bajo costo estructuradas con ferrocemento*. Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España.
- Bravo, M., De Brito, J., Pontes, J., Evangelista, L. (2015). Mechanical performance of concrete made with aggregates from construction and demolition waste recycling plants. *Journal of cleaner production* 99: 59-74.
- Butler, L., West, J., Tighe, S. (2011). *The effect of recycled concrete aggregate properties on the bond strength between RCA concrete and steel reinforcement*. University of Waterloo, Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Waterloo, Canada.

- Castaño, J., Rodríguez, R., Lasso, L., Gómez, A., Ocampo, S. (2013). Gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en Bogotá: Perspectivas y limitantes. *Revista Tecnura* 17 (38): 121-129.
- Comoglio, S., Saleme, H., Méndez, J. (2002). *Ferrocemento: Un material apropiado a nuestro medio*. Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de Tucumán. Tucumán-Argentina.
- Delvasto, S., Guerrero, P., Ante, A., Garay, M. (2005). *Ferrocemento: una solución para cubiertas en vivienda de interés social*. I Coloquio de investigación en materiales no convencionales. Grupo de Materiales Compuestos, Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- El-Diasity, M., Okail, H., Kamal, O., Said, M. (2015). Structural performance of confined masonry walls retrofitted using ferrocemento and GFRP under in-plane cyclic loading. *Engineering Structures* 94: 54-69.
- European Commission. (2015). *Resource Efficient Use of Mixed Wastes; Environment, Waste, Studies*. Recuperado de : [http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/mixed\\_waste.htm](http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/mixed_waste.htm)
- Florea, M., Ning, Z., Brouwers, H. (2013). *Activation of liberated concrete fines and their application in mortars*. Department of the Built Environment, Unit Building Physics and Services, Eindhoven University of Technology. The Netherlands
- González, L y Guerrero, A. (2008). *Conceptos generales sobre ferrocemento*. Módulo para la asignatura Estructuras y Materiales de Construcción. Universidad nacional de Colombia sede Palmira. Facultad de ingeniería y administración. Palmira-Colombia.
- Isikdag, B. (2015). Characterization of lightweight ferrocemento panels containing expanded perlite-based mortar. *Construction and Building Materials*: 40: 15-23.
- Jiménez, J.R., Ayuso, J, Lopez, M, Fernandez, J.M., de Brito, J. (2013). Use of fine recycled aggregates from ceramic waste in masonry mortars manufacturing. *Construction and Building Materials*. 40: 679 – 690.
- Ledesma, E.F., Jimenez, J.R., Fernandez, J.M., Galvin, A.P., Agrela, F., Barbudo, A. (2014). Properties of masonry mortars manufactured with fine recycled concrete aggregate. *Construction and building materials*. 71: 289-298.
- Lotfy, A y Al – Fayez, M. (2015). Performance evaluation of structural concrete using controlled quality coarse and fine recycled concrete aggregate. *Cement and concrete composites*. 61: 36 - 43.
- Maldonado, I. (2005). *Muros de contención de ferrocemento*. Tesis de grado para optar al título de ingeniero civil. Director: Sr. Hernán Armes. Universidad austral de Chile. Facultad de ciencias de la ingeniería. Valdivia-Chile.
- Naaman, A. (2000). *Ferrocement and laminated cementitious composites*, Michigan, Ed. Techno Press 3000.
- Quintero, A. (2006). *Captación de agua lluvia y almacenamiento en tanques de ferrocemento: manual técnico*. Primea edición. Instituto politécnico nacional. México.
- Robayo, R., Matthey, P., Burgos, D., Silva, Y., Delvasto, S. (2015). Los residuos de la construcción y demolición en la ciudad de Cali: un análisis hacia su gestión, manejo y aprovechamiento. *Revista Tecnura*. 19(44):157-170.
- Saavedra, C. (2002). Ferrocemento: Innovación tecnológica económica para construir vivienda social. En: *Revista BIT*, pp. 21-23.
- Shannag, M.J., Mourad, S.M. (2012). Flowable high strength cementitious matrices for ferrocemento applications. *Construction and Building Materials*. pp. 933-939.
- Wainshtok, H. (1994). Lowcost housing built with ferrocement precast elements, *Journal of ferrocement*, 24(1): 2934.
- Wainshtok, H. (2010). *Ferrocemento, diseño y construcción*. 4ª edición. Offset Abad, Riobamba, Ecuador.

- Wu, Z., Yu, A., Shen, L., Liu, G. (2014). Quantifying construction and demolition waste: An analytical review. *Waste Management* 34: 1683-1692.
- Xiao, J., Li, W., Fan, Y., Huang, X. (2012). An overview of study on recycled aggregate concrete in China (1996-2011). *Construction and Building Materials* 31: 364-383.
- Yuan, H., Choni, A.R., Lu, Y., Shen, L. (2012). A dynamic model for assessing the effects of management strategies on the reduction of construction and demolition waste. *Waste Management* 32: 521-531.

# Análisis de indicadores financieros del sector manufacturero del cuero y marroquinería: un estudio sobre las empresas colombianas

## Analysis of financial indicators from leather and leather goods industry: a study on Colombian companies

Recibido: 05 - 02 - 2014 Aceptado: 07-09-2015

José Luis Cardona Olaya<sup>1</sup>  
Andrés Martínez Carvajal<sup>2</sup>  
Sandra Milena Velásquez Restrepo<sup>3</sup>  
Yohana Marcela López Fernández<sup>4</sup>

### Resumen

Se presenta un análisis financiero de empresas colombianas del sector marroquinería y cuero, que busca tener información sobre el desempeño financiero de esta actividad económica y generar criterios que apoyen la toma de decisiones estratégicas. Se realizó un estudio descriptivo, de carácter documental y exploratorio, en el que se usaron estados financieros de cincuenta y siete empresas clasificadas en cuatro actividades económicas, y se calcularon catorce indicadores de liquidez, rentabilidad, apalancamiento, administración de activos, y generación de valor, por actividad económica y por año. Se encontró que el número de empresas con grandes activos ha disminuido, que el sector afronta dificultades de liquidez, rentabilidad y baja rotación de activos, y que la generación de valor es baja, aunque la razón corriente y el nivel de apalancamiento son adecuados. Se detectaron diferencias entre el desempeño financiero de las cuatro actividades económicas que conforman el sector, lo cual se recomienda sea tomado en consideración cuando se evalúe la industria del cuero y marroquinería de forma integral. Se plantea cómo el análisis de la información financiera, al contrastarlo con las conclusiones de estudios sectoriales y de prospectiva, puede generar criterios para la toma de decisiones y la planeación estratégica.

**Palabras Clave:** Análisis financiero; Indicadores financieros; Industria manufacturera del cuero y marroquinería.

### Abstract

In this work a financial analysis of Colombian leather manufacturing companies is carried out, seeking to contribute to the knowledge of the financial performance of this industry and to state reliable information for the

<sup>1</sup> Colombiano, Instructor Investigador del Centro de Diseño y Manufactura del Cuero del SENA Itagüí, Antioquia. Contador Público. Grupo BIOMATIC - Biomecánica, Materiales, TIC, Diseño y Calidad para el Sector cuero, plástico, caucho y sus cadenas productivas.

<sup>2</sup> Colombiano, Instructor Investigador del Centro de Diseño y Manufactura del Cuero del SENA Itagüí, Antioquia. Contador, Especialista en finanzas. Grupo BIOMATIC - Biomecánica, Materiales, TIC, Diseño y Calidad para el Sector cuero, plástico, caucho y sus cadenas productivas.

<sup>3</sup> Colombiana, Líder de Innovación y Desarrollo Tecnológico del Centro de Diseño y Manufactura del Cuero del SENA Itagüí, Antioquia. Biingeniera, Magíster en Ingeniería, Especialista en Gerencia. Grupo BIOMATIC - Biomecánica, Materiales, TIC, Diseño y Calidad para el Sector cuero, plástico, caucho y sus cadenas productivas.

<sup>4</sup> Colombiana, Aprendiz del Centro de Diseño y Manufactura del Cuero del SENA Itagüí, Antioquia. Grupo BIOMATIC - Biomecánica, Materiales, TIC, Diseño y Calidad para el Sector cuero, plástico, caucho y sus cadenas productivas.

strategic planning processes. A descriptive, documentary and exploratory research was used as methodology. The financial information of 57 companies, classified in 4 industries, was collected for obtaining 14 financial indicators. Level of liquidity, leverage, asset management, profitability and value of companies were calculated and discriminated by industry and by year. Results highlighted that the number of big companies has diminished, facing challenges as low liquidity, low assets rotation, low profitability and low value generation, but current ratio and leverage are adequate. Differences between financial performances of the 4 sectors that are part of Colombian leather manufacturing industry were found. However, this behavior is not included when this industry is assessed. This work aims the analysis of financial indicators in a complementary way with sectorial and prospective studies to obtain valuable information for decision-making and strategic planning.

**Keywords:** Financial analysis; financial indicators; leather manufacturing industry.

## Introducción

El análisis de indicadores financieros es una herramienta útil para la toma de decisiones (Giner, 1990), para fortalecer las acciones que generan impactos positivos (Rivera, 2011) e identificar las áreas que requieren tomar correctivos (Angulo y De la Espriella, 2012; Marr, 2012). Es pertinente que empresas, gremios y gobiernos evalúen los indicadores financieros del sector de interés (Rappaport, 1998), sin olvidar que uno de los principales objetivos de la gestión financiera es maximizar la riqueza de los accionistas de las empresas (De Jaime, 2003; Brigham y Ehrhardt, 2014; Suárez, 2014).

En el campo de la macroeconomía, se han reportado estudios sobre la capacidad de los indicadores financieros para predecir el estrés financiero (Catalán, 2013; Tagkalakis, 2013) como el caso de la banca española (Gutiérrez y Abad, 2014), la relación entre estabilidad financiera y políticas fiscales de veinte países de la OECD (Adam y Jaroslav, 2008; Tagkalakis, 2014), predecir períodos de recesión en la economía estadounidense (Levanon, 2015), identificar crisis sectoriales en España, Italia y Alemania (De Santis y Stein, 2015), y seleccionar indicadores para establecer ciclos cronológicos y de crecimiento en países como China (Adams *et al.*, 2010).

Uno de los campos de aplicación del análisis de indicadores financieros es la evaluación del desempeño

financiero de un determinado sector económico, como el petróleo en Tailandia (Wattanatorn y Kanchanapoom, 2012), empresas internacionales de capital de riesgo (Gerschewski y Xiao, 2014), el sector bancario en Turquía (Mercan *et al.*, 2003) y plantas de energía undimotriz en las Islas Canarias - España (Guanche *et al.*, 2014). Otra línea de investigación se ha enfocado en el uso de indicadores financieros para evaluar el efecto de una variable externa en el desempeño de una determinada actividad económica, como el impacto de la implementación de un tratado de libre comercio en una industria lechera intensiva en México (Villegas y Dávalos, 2005), identificar en retrospectiva si las empresas italianas distribuidoras de gas que optaron por especializarse tuvieron mejores resultados que las que eligieron la diversificación (Capece *et al.*, 2010), si la privatización incidió en los rendimientos financieros de cinco distribuidoras de energía eléctrica del nordeste de Brasil (Silvestre *et al.*, 2010), el efecto amortiguador de los indicadores financieros sobre la responsabilidad de las empresas suecas según su antigüedad (Wiklund *et al.*, 2010), la incidencia de nuevas políticas regulatorias en el desempeño financiero de empresas italianas del sector gas (Capece *et al.*, 2012), y el desempeño de compañías energéticas italianas luego de la liberalización del mercado (Capece *et al.*, 2013). Es de resaltar que todos estos estudios se basaron en información recolectada de fuentes secundarias.

En Colombia, el análisis de indicadores financieros se ha empleado para evaluar el impacto financiero de la estructura de capital en empresas de confección innovadoras en la ciudad de Cali (Rivera y Alarcón, 2012), el desempeño financiero de diecisiete empresas innovadoras del sector alimentos y bebidas (Rivera y Ruiz, 2011), treinta y un empresas del sector carbón (Fontalvo *et al.*, 2012), y cuarenta y ocho empresas del sector de medios impresos (Rivera y Padilla, 2014), y ciento dieciséis empresas del sector petróleo y gas (De la Hoz *et al.*, 2014). También se estudió el impacto de la implementación del sistema de calidad en el desempeño financiero de veinticinco empresas de la zona industrial de Mamonal, en Cartagena-Colombia (Morelos *et al.*, 2013a), el efecto de la acreditación en alta calidad en los indicadores de rentabilidad de veinte empresas del sector salud (Morelos *et al.*, 2013b), se evaluó en un modelo para predecir la probabilidad de que una empresa entre en riesgo de quiebra (Pérez *et al.*, 2013), se identificó si hay creación de valor por parte de la industria de los medios de comunicación (Rivera y Padilla, 2013), se analizaron las fuentes de financiación utilizadas por Pymes y su relación con indicadores de gestión financiera (Vera *et al.*, 2014), se evaluó el desempeño de los sectores productivos

colombianos con énfasis en su competitividad (Castaño y Arias, 2014), se analizó el desempeño financiero de los seis principales sectores económicos del país para 2009 (Correa *et al.*, 2010), se evaluó el mejoramiento de los indicadores financieros en las empresas del sector almacenamiento y actividades conexas con el fin de identificar las variables a monitorear para el desarrollo del sector (Herrera *et al.*, 2012), e identificar el panorama financiero para diversos sectores de la economía colombiana al comparar la información del 2010 con la del 2009 (Correa *et al.*, 2011).

Los estudios realizados en Colombia se basaron en datos reportados por las empresas a las Cámaras de Comercio (González y Bermúdez, 2010), al Sistema de Información y Reporte Empresarial SIREM de la Superintendencia de Sociedades (Castaño y Arias, 2014; Correa *et al.*, 2010; y Correa *et al.*, 2011; Pérez *et al.*, 2013; Rivera y Ruiz, 2011; Rivera y Padilla, 2013, 2014; Vera *et al.*, 2014), o en ambos tipos de fuentes de información (Fontalvo *et al.*, 2012; De la Hoz *et al.*, 2014; y Morelos *et al.*, 2013a). La Superintendencia de Salud sólo fue usada como fuente en uno de los estudios consultados, por tener como objeto de estudio empresas de esa actividad económica (Morelos *et al.*, 2013b). Usar información de fuentes secundarias es, entonces, un método frecuente en el análisis de indicadores financieros.

La dificultad para acceder a la información primaria ya ha sido identificada en los estudios de análisis financiero: en primer lugar por las restricciones para utilizar la información contable de los sectores de interés en un tiempo oportuno (Rivera y Ruiz, 2011), y en segundo lugar por prácticas que buscan manipular la contabilidad, lo cual distorsiona la información y afecta su confiabilidad (Pérez, 2013). La inexactitud de la información sobre el sector de interés puede afectar la toma de decisiones, pero se espera que en la era actual de la información y de la gestión del conocimiento, este fenómeno pueda irse mitigarse (Tomaszewski *et al.*, 2000).

En el Centro de Diseño y Manufactura del Cuero del SENA se impulsó la cultura de la innovación como estrategia para mejorar la competitividad del sector cuero y marroquinería, pero al realizar el diagnóstico de ese sector e identificar acciones de mejora (Velásquez y Castro, 2013), se detectó que no existía un análisis de indicadores financieros para esta industria en el país. Existen estudios sectoriales e información alusiva a los principales retos de esta industria (AKTIVA, 2013; Programa de Transformación Productiva, 2013; ACICAM, 2014), pero no analizan los indicadores financieros del sector, a pesar de que la información es pública y puede obtenerse de la

página web de la Superintendencia de Sociedades (SIREM, 2014). Doscientos setenta gerentes de Mipymes de Cali, Colombia, revelaron que los indicadores financieros que tienen en cuenta para la toma de decisiones son extraídos de sus propios balances, y son los relacionados con liquidez y endeudamiento (González y Bermúdez, 2010).

Se realizó un análisis descriptivo de la información financiera reportada entre los años 2008 y 2013 ante la Superintendencia de Sociedades por parte de las empresas del sector manufacturero del cuero y marroquinería. Los datos se clasificaron por actividad económica y año, donde se calcularon los principales indicadores financieros del sector y de esa manera realizar un análisis que represente información oportuna en una forma amigable para los empresarios. Se plantea al final una discusión sobre la manera cómo los resultados pueden incidir en la planeación de las organizaciones, y una contrastación con estudios reportados en la literatura.

## Metodología

Se tomó información del sector manufacturero del cuero y marroquinería reportada para el período 2008 a 2013 por la Superintendencia de Sociedades en el Sistema de Información y Reporte Empresarial-SIREM, por lo tanto este estudio considera la información financiera de compañías clasificadas como grandes empresas. Se realizó un estudio descriptivo, de carácter documental y exploratorio, con la finalidad de ofrecer una mayor comprensión del fenómeno estudiado, usando la metodología explicada en otros estudios sectoriales basados en indicadores financieros (Castaño y Arias, 2014; Correa *et al.*, 2011; González y Bermúdez, 2010; Rivera y Padilla, 2014; Vera, 2014).

Se eligieron empresas que según la Clasificación Industrial Internacional Uniforme-CIIU, se incluyen en los siguientes códigos de actividades: D1910 (Curtido y preparación de cueros), D1931 (Fabricación de artículos de viaje bolsos de mano y artículos similares elaborados en cuero), D1932 (Fabricación de artículos de viaje, bolsos de mano y artículos similares, elaborados en materiales sintéticos, plástico e imitaciones de cuero) y D1939 (Fabricación de artículos de viaje, bolsos de mano y artículos similares elaborados con materiales no clasificados previamente). Se analizan, entonces, los indicadores de compañías dedicadas a la curtiembre y a la manufactura de artículos en cuero diferentes a calzado.

Se recolectaron los datos necesarios para calcular los catorce indicadores financieros de la Tabla 1, agrupándolos en las categorías liquidez, rotación, endeudamiento, rentabilidad y construcción de valor. Estos catorce indicadores fueron elegidos pues diversos estudios, tanto de índole nacional como internacional, señalan que son significativos para diagnosticar un sector económico

(Capece *et al.*, 2010; Capece *et al.*, 2013; Correa *et al.*, 2010; Correa *et al.*, 2011; De la Hoz *et al.*, 2014; Gutiérrez y Abad, 2014; Morelos *et al.*, 2013b; Rivera, 2011; Rivera y Padilla, 2014; Villegas y Dávalos, 2005), y son considerados como indicadores financieros claves para una adecuada administración (Marr, 2012; Rivera y Padilla, 2014; Sagbini y Bolívar, 2007).

**Tabla 1.** Indicadores financieros y base de cálculo para el estudio.

| Tipo de Indicador                                                                                                                                      | Indicador                                              | Fórmula                                                                                   | Consideración                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Indicadores de Liquidez<br>(capacidad de producir o circular efectivo)                                                                                 | Razón Corriente<br>(Current Ratio)                     | $R.C = \frac{\text{Activos corriente}}{\text{Pasivo Corriente}}$                          | Capacidad de responder por deudas en el corto plazo.                                                |
|                                                                                                                                                        | Prueba Ácida<br>(Quick Ratio)                          | $P.Á. = \frac{\text{Activos Corrientes} - \text{Inventarios}}{\text{Pasivos Corrientes}}$ | Capacidad de responder por las deudas en condiciones extremas.                                      |
| Indicadores de actividad y rotación<br>(eficiencia con la que una organización hace uso de sus recursos)                                               | Rotación de Inventarios                                | $Rot.Inv = \frac{Inv \cdot \text{Días hábiles}}{\text{Costo de Mercadería Vendida}}$      | Capacidad de producción y despacho al cliente.                                                      |
|                                                                                                                                                        | Rotación de Activos Fijos                              | $Rot.Act = \frac{Act Fijos \cdot \text{Días hábiles}}{\text{Ingresos operacionales}}$     | Capacidad de generar efectivo en un año en días.                                                    |
| Indicadores de rentabilidad<br>(permiten identificar la rentabilidad de la empresa)                                                                    | Margen Neto<br>ROS <sup>1</sup>                        | $ROS = \frac{\text{Resultados del ejercicio}}{\text{Ingresos por ventas}}$                | Saldo a favor de la empresa luego de incurrir en gastos.                                            |
|                                                                                                                                                        | Rentabilidad del patrimonio ROE <sup>2</sup>           | $ROE = \frac{\text{Resultados antes de impuestos}}{\text{Patrimonio Total}}$              | Rentabilidad de la inversión.                                                                       |
|                                                                                                                                                        | Rentabilidad operativa de los activos ROA <sup>3</sup> | $ROA = \frac{\text{Resultados antes de impuestos}}{\text{Total de Activos}}$              | Retorno de la inversión.                                                                            |
| Indicadores de endeudamiento<br>(mide la proporción de financiamiento hecho por terceros y la capacidad de la empresa para responder a sus acreedores) | Índice de endeudamiento <sup>4</sup>                   | $\text{Índice de Endeudamiento} = \frac{\text{Pasivos}}{\text{Activos}}$                  | Porcentaje de activos financiados con recursos de terceros                                          |
|                                                                                                                                                        | Apalancamiento                                         | $\text{Apalancamiento} = \frac{\text{Pasivos}}{\text{Patrimonio}}$                        | Mide cómo la empresa está utilizando la deuda para obtener más utilidades.                          |
|                                                                                                                                                        | Concentración del pasivo a Corto plazo <sup>5</sup>    | $\text{Razon D Cp} = \frac{\text{Pasivos Cp}}{\text{Pasivos}}$                            | Grado de endeudamiento a corto plazo                                                                |
|                                                                                                                                                        | Concentración Endeudamiento Financiero                 | $CEF = \frac{\text{Obligaciones Financieras}}{\text{Pasivos}}$                            | Grado de endeudamiento con instituciones financieras.                                               |
| Indicadores de Valor<br>(permiten saber si las empresas están o no construyendo valor)                                                                 | Palanca de Crecimiento (PDC) <sup>6</sup>              | $PDC = \frac{EBITDA}{KTNO}$                                                               | Mide si la empresa está construyendo valor.                                                         |
|                                                                                                                                                        | Contribución Financiera                                | $CF = ROE - ROA$                                                                          | Aporte que brinda el endeudamiento para apalancarse y generar valores a la rentabilidad patrimonial |

<sup>1</sup> La sigla ROS corresponde al término en inglés Return on Sales

<sup>2</sup> La sigla ROE corresponde al término en inglés Return on Equity

<sup>3</sup> La sigla ROA expresa las palabras en inglés Return on Assets

<sup>4</sup> La superintendencia lo denomina Razón de endeudamiento

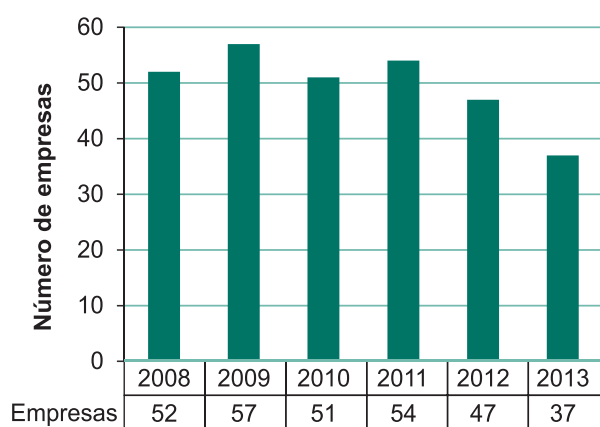
<sup>5</sup> Concentración del pasivo a corto plazo

<sup>6</sup> La sigla PDC hace referencia a palanca de Crecimiento. La sigla EBITDA proviene del inglés, y significa Resultado antes de intereses, impuestos, depreciaciones y amortizaciones. La sigla KTNO proviene del inglés, y significa capital de trabajo neto operativo que equivale a los deudores más los inventarios menos las cuentas por pagar.

Debido a que el SIREM reporta la información en un archivo de texto, los datos fueron exportados a hojas de cálculo, se seleccionaron los indicadores de interés, se calcularon los indicadores que no eran reportados directamente y se tabularon, clasificando la información por año y por actividad económica.

## Resultados y análisis de resultados

En la Figura 1 se presenta el número de empresas colombianas del sector cuero y marroquinería vigiladas por la Superintendencia de Sociedades en el período 2008-2013.



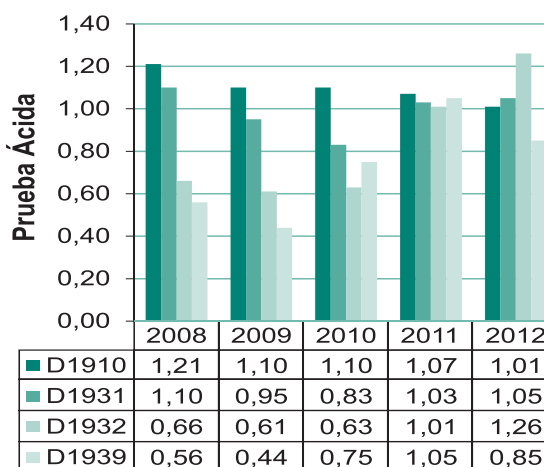
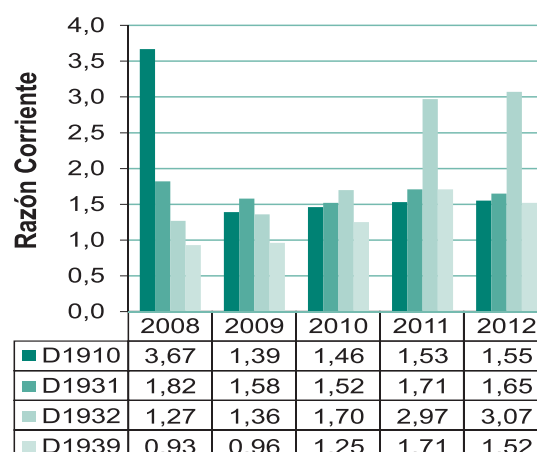
**Figura 1.** Número de empresas colombianas del sector cuero y marroquinería que presentaron información ante la Superintendencia de Sociedades entre los años 2008 y 2013.

**Fuente:** Los autores con base en el sistema SIREM de la Superintendencia de Sociedades.

Se observa que entre los años 2008 y 2011 no varió significativamente el número de empresas vigiladas, pero entre los años 2011 y 2013 la cifra disminuyó en un 32%; una señal del deterioro de la situación de la industria del cuero en el país. Es de resaltar que este indicador no había sido tenido en cuenta en los estudios sectoriales disponibles a la fecha (AKTIVA, 2013; Programa de Transformación Productiva, 2013; ACICAM, 2014).

## Indicadores de liquidez

Los indicadores de liquidez entre los años 2008 y 2012 para las empresas consideradas en este estudio se presentan en la Figura 2, diferenciados por actividad económica y por año. Entre los años 2011 y 2012, la fabricación de artículos con materiales sintéticos, imitaciones de cuero y plástico presentó una razón corriente significativamente superior a las otras actividades económicas. El indicador ha mejorado entre los años 2008 y 2012 para la fabricación de artículos con materiales no clasificados en las otras categorías.



**Figura 2.** Comportamiento de la razón corriente y la prueba ácida como indicadores de liquidez clasificados por actividad económica.

**Fuente:** Los autores con base en el sistema SIREM de la Superintendencia de Sociedades.

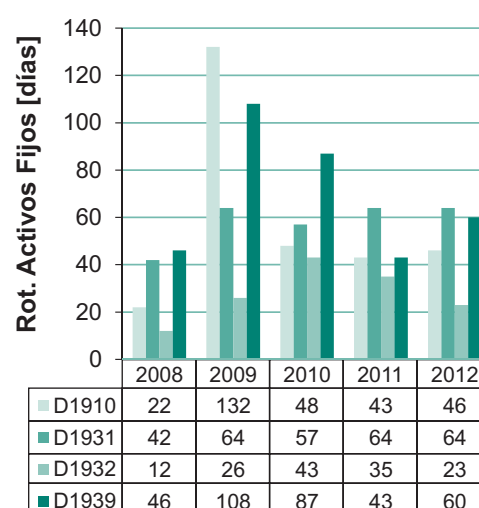
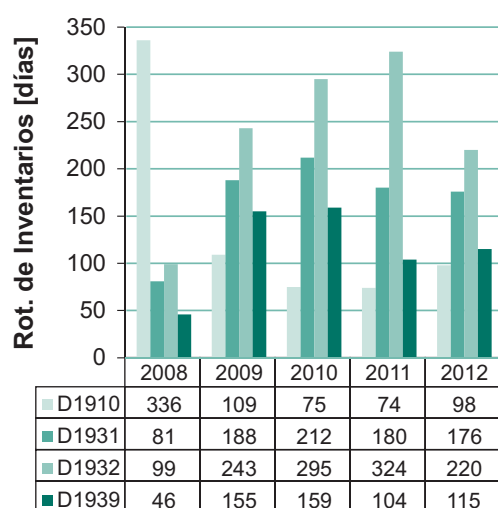
Es de resaltar que en las cuatro actividades económicas se observa que la capacidad de los activos circulantes es suficiente para afrontar la totalidad de la deuda de las empresas. La prueba ácida para las empresas del sector curtido y preparación de cueros disminuyó levemente en el periodo; por otro lado, la fabricación de artículos con materiales sintéticos, plástico e imitaciones de cuero mejoró el indicador significativamente. Los indicadores de liquidez revelan que la situación de caja de las empresas del sector se ha deteriorado, de tal manera que se clasifica como frágil (Pérez *et al.*, 2013). Un estudio ya había reportado que el sector presentaba dificultades de liquidez, pero sin detallar los indicadores que sustentaban esa conclusión (Programa de Transformación Productiva, 2013). La falta de liquidez es más acentuada para las empresas dedicadas al curtido y

preparación de cueros, pero el indicador ha mejorado para la fabricación de artículos con materiales sintéticos, plástico e imitaciones de cuero. El mejor comportamiento del sector curtido de cueros ya había sido reportada en un estudio sectorial de AKTIVA (AKTIVA, 2013), pero los indicadores financieros proporcionan información fiable para establecer la problemática de cada sector.

## Indicadores de actividad y rotación de inventarios

Los indicadores de actividad y rotación de inventarios se pueden apreciar en la Figura 3. La rotación de inventarios del sector presenta valores altos, lo cual dificulta cualquier estrategia pues implica tener que invertir capital de trabajo en el manejo de los inventarios, un factor que atenta contra la competitividad. La única actividad económica que mejoró este indicador entre los años 2008 y 2012 fue el curtido y preparación de cueros. Algunas opciones a evaluar, de acuerdo con recomendaciones que han sido probadas

en sectores como almacenamiento (Herrera *et al.*, 2012) y salud (Morelos *et al.*, 2013b), pueden ser apoyarse en el área comercial para conocer con mayor certeza las expectativas de ventas, identificar picos de demanda de sus productos, implementar una metodología de justo a tiempo, efectuar un análisis de riesgo del inventario y de los tiempos de producción para determinar el inventario mínimo requerido. El indicador rotación de activos fijos aumentó entre 2008 y 2012 para las 4 actividades económicas, si bien el mejor resultado se da para los artículos fabricados con materiales no clasificados en las otras categorías. En este aspecto se presenta una coincidencia con las tendencias reportadas en el estudio de vigilancia tecnológica (Velásquez y Castro, 2013) y en los estudios sectoriales (AKTIVA, 2013; ACICAM, 2013; ACICAM, 2014), los cuales reportaban que el manejo de inventarios debía mejorarse en las empresas que procesaban cuero, aunque sin proporcionar cifras que respaldaran esta sugerencia.

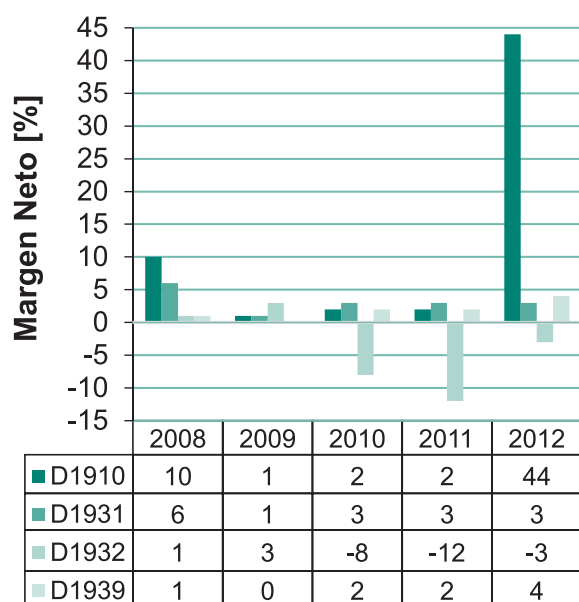


**Figura 3.** Rotación de inventarios (izquierda) y Rotación de Activos fijos (derecha) clasificados por actividad económica.  
Fuente: Los autores con base en el sistema SIREM de la Superintendencia de Sociedades.

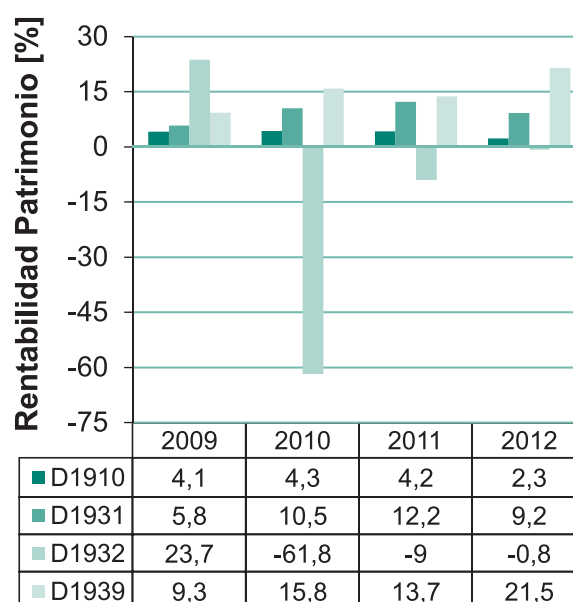
## Indicadores de rentabilidad

Los indicadores de rentabilidad se muestran en la Figura 4. Las empresas dedicadas a la fabricación de artículos con materiales sintéticos, plástico e imitaciones de cuero presentaron márgenes netos y rentabilidad del patrimonio negativos entre los años 2010 y 2012, y es la única de las cuatro actividades con ese comportamiento; su rentabilidad de activos también fue negativa entre los años 2010 y 2011, y fue cero en el año 2012, de tal manera que ninguno de los indicadores de rentabilidad ha sido positivo entre los años 2010 y 2012 para la fabricación de artículos

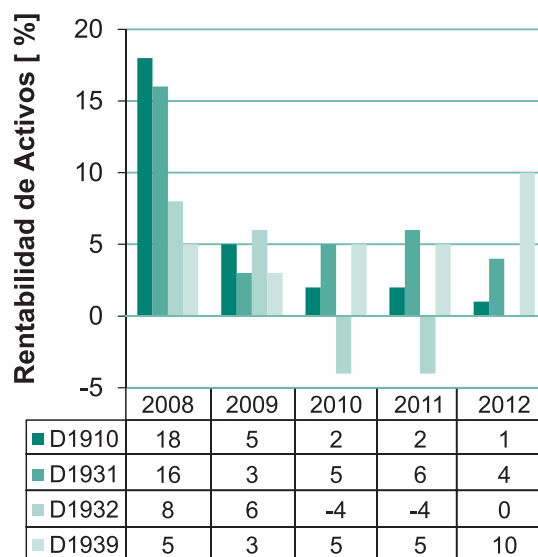
con materiales sintéticos, plástico e imitaciones de cuero. En el año 2012 el curtido y la preparación de cueros presentó un margen neto del 44%, una cifra destacable, pero excluyendo ese resultado particular se observa que entre los años 2010 y 2012 su margen neto, el de la fabricación de artículos en cuero y el de fabricación de artículos con materiales diferentes al cuero y a las imitaciones de cuero se encontró entre el 2% y el 4%. Las empresas con los mejores márgenes neto y de rentabilidad durante el año 2012 son las dedicadas a la fabricación de artículos con materiales diferentes al cuero, sintéticos o plásticos.



(a) Margen Neto



(b) Rentabilidad del Patrimonio - ROE



(c) Rentabilidad de activos - ROA

**Figura 4.** Indicadores de rentabilidad clasificados por actividad económica.  
**Fuente:** Los autores con base en el sistema *SIREM* de la Superintendencia de Sociedades.

Le siguen en indicadores de rentabilidad las empresas dedicadas a la fabricación de artículos con cuero, mientras que la actividad curtido y preparación de cueros presenta la menor rentabilidad entre las actividades que generan beneficios. Para la industria del cuero, tan afectada por las importaciones de China a precios muy bajos, una estrategia posible para aumentar los ingresos por ventas es desarrollar un modelo de gestión orientado hacia el cliente, sobre los cuales se puede encontrar información más detallada en los estudios sectoriales y prospectivos para el sector (AKTIVA, 2013; ACICAM, 2014, Velásquez y Castro, 2013).

## Indicadores de endeudamiento

En la Figura 5, se muestran los indicadores de endeudamiento. Los valores reportados entre los años 2009 y 2012 son altos, pues la razón de endeudamiento para todas las actividades económicas se encontró entre el 45% y el 70%. Se destaca la manera como este indicador ha disminuido para la fabricación de artículos con materiales sintéticos, plástico e imitaciones de cuero, así como la fabricación de artículos con materiales diferentes al cuero, sus imitaciones, sintéticos o plástico. Para disminuir el nivel

de endeudamiento se debe procurar aumentar los activos totales y los activos fijos, sin caer en el error de tener activos ociosos, simultáneamente con la disminución de pasivos totales, obligaciones financieras a corto plazo, obligaciones laborales, y el apalancamiento por los socios.

Hay que considerar que el acceso a fuentes de financiación también se ve afectado por otros indicadores como la rentabilidad, que en algunos de los sectores es negativa; una opción es apalancarse fortaleciendo el patrimonio. Es pertinente evaluar el estado de las empresas

para identificar la mejor estrategia que permita disminuir los indicadores de endeudamiento, pues el papel de los socios y de las entidades financieras depende de si la empresa se encuentra en una etapa inicial, en una etapa de expansión y crecimiento, en un ciclo de madurez o si ya se encuentra en decadencia. La información reportada por la Superintendencia de Sociedades no permite identificar en qué etapa se encuentran las empresas, y corresponde a ellas adaptar estas sugerencias a su situación particular.

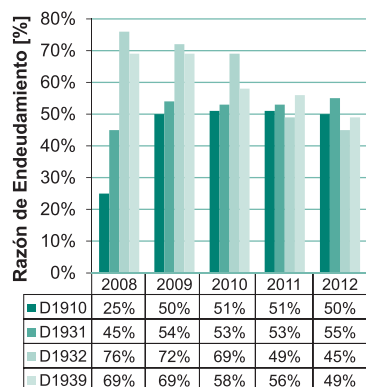


Figura 5a. Razón de Endeudamiento

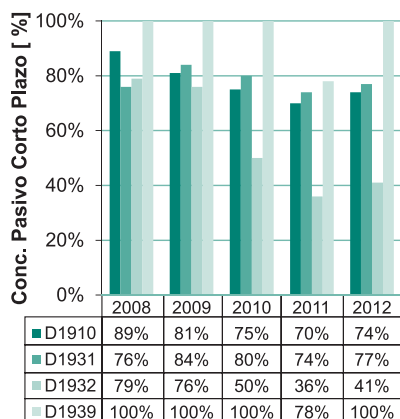


Figura 5c. Concentración del Pasivo a Corto Plazo

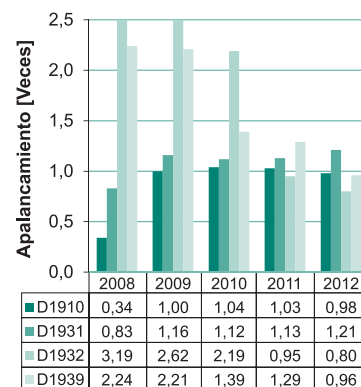


Figura 5b. Apalancamiento

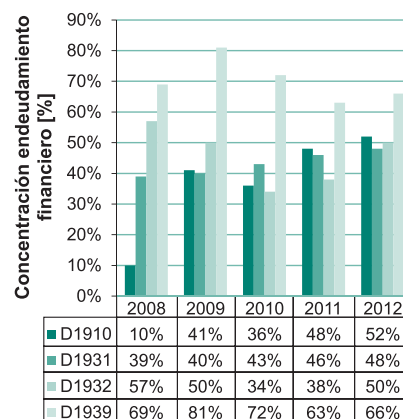


Figura 5d. Concentración del Endeudamiento Financiero

Figura 5. Indicadores de endeudamiento clasificados por actividad económica.

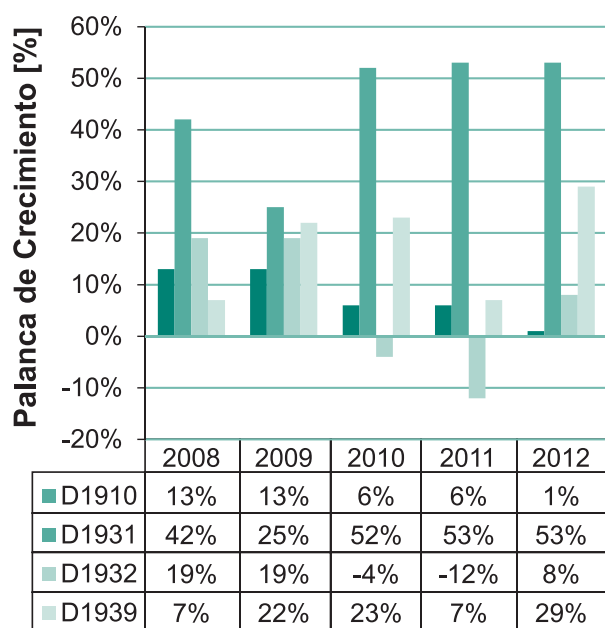
Fuente: Los autores con base en el sistema SIREM de la Superintendencia de Sociedades.

De acuerdo con la Figura 5b, las cuatro actividades económicas del sector cuero se apalancan en promedio 1,34 veces al año e indicando que la obtención de fondos provenientes de préstamos es productiva. La fabricación de artículos en materiales sintéticos, plásticos e imitaciones de cuero ha sido la actividad económica que mayor reducción en el apalancamiento ha presentado; la fabricación de artículos con cuero, por el contrario, incrementó su apalancamiento entre los años 2008 y 2012, pasando a ser la actividad con el mejor valor en este indicador. Esta diferencia de comportamiento de cada actividad económica

no había sido reportada hasta el momento en los estudios publicados sobre el sector (AKTIVA, 2013; ACICAM, 2013; ACICAM, 2014). En este aspecto, el sector es considerado como no frágil de acuerdo con un estudio realizado sobre los indicadores asociados al riesgo de las empresas (Pérez *et al.*, 2013).

La concentración del pasivo a corto plazo observado en la Figura 5c muestra que las empresas del sector cuero se endeudan en promedio un 73% a corto plazo, donde la actividad de fabricación de artículos en materiales

diferentes al cuero, sus imitaciones, sintéticos o plásticos la que presenta los más altos valores de concentración del pasivo a corto plazo (un 96% en promedio a lo largo de los cinco años). La fabricación de artículos con materiales imitaciones de cueros, sintéticos o plásticos es la actividad con el menor valor de concentración del pasivo a corto plazo, entre el 36% y 41% para los años 2011 y 2012. Según los resultados de la concentración de endeudamiento financiero, que se muestra en la Figura 5d, las empresas del sector poseen un nivel medio de financiación con instituciones financieras. La fabricación de artículos con materiales diferentes a los cueros, sus imitaciones, sintéticos o plásticos es la actividad económica con el mayor nivel de concentración del endeudamiento con el sector financiero, pero se ha mantenido en los mismos niveles desde el año

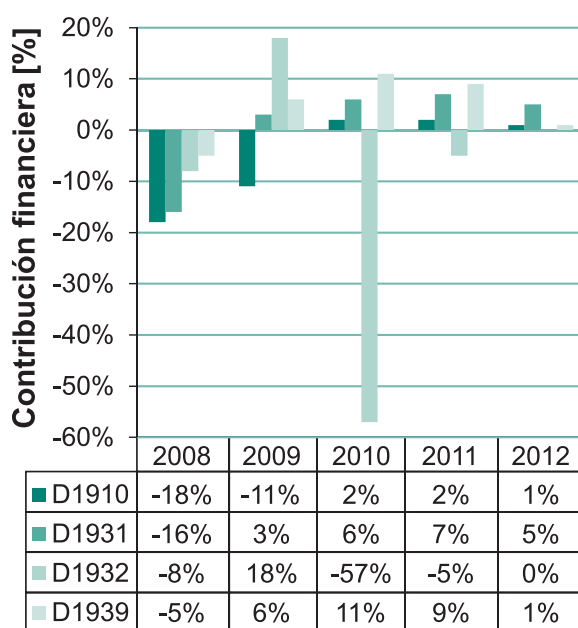


**Figura 6a.** Razón de Endeudamiento

2008, mientras que las otras tres actividades aumentaron sus niveles de concentración del endeudamiento financiero entre los años 2011 y 2012. Estos resultados coinciden con las conclusiones del estudio sectorial desarrollado por AKTIVA para el sector en general (AKTIVA, 2013), pero dada la diferencia en comportamientos entre los cuatro tipos de actividad económica considerados en este estudio, es pertinente que cada actividad económica establezca sus estrategias por separado.

## Indicadores de valor

Los valores de palanca de crecimiento –PDC– presentados en la Figura 6a, evidencian que ninguna actividad del sector está generando valor de forma significativa.



**Figura 6b.** Apalancamiento

**Figura 6.** Indicadores de valor clasificados por actividad económica.

**Fuente:** Los autores con base en el sistema SIREM de la Superintendencia de Sociedades.

La fabricación de artículos en cuero es la actividad que mejores cifras presenta, mientras que la fabricación de artículos con imitaciones de cuero, sintéticos y plásticos presentó incluso valores negativos entre los años 2010 y 2011. Las empresas del sector presentan un 19% en promedio: 19% de promedio en la palanca de crecimiento, demostrando que se están consumiendo el efectivo en períodos anteriores, y se configura un desbalance en el flujo de caja, un gran reto que debe ser enfrentado. Los estudios sectoriales y de prospectiva han coincidido en indicar que el sector debe generar valor (ACICAM, 2014; Velásquez y Castro, 2013), pero si esta estrategia se ha implementado, no se ha reflejado en los indicadores financieros.

De acuerdo con el indicador de contribución financiera, mostrado en la Figura 6b, el curtido de cuero pasó de generar contribuciones negativas en el año 2008 a valores bajos pero positivos en el año 2012, con una tendencia a la recuperación. Entre los años 2009 y 2012 el panorama fue más alentador para la fabricación de artículos en cuero y materiales diferentes al cuero, sus imitaciones, sintéticos y plásticos. Las empresas dedicadas a la fabricación de artículos con materiales que imitan el cuero, sintéticos o plásticos presentaron una contribución financiera positiva únicamente para el año 2009, mientras que en los años 2008, 2010 y 2011 su contribución financiera fue negativa, y en el año 2012 fue del 0%.

## Conclusiones

- Los indicadores financieros para el período 2008-2013 de las empresas colombianas del sector cuero y marroquinería que están obligadas a presentar sus reportes a la Superintendencia de Industria y Comercio, permitieron identificar en lo relacionado con *desempeño financiero* los principales retos que enfrenta este sector industrial, así como sus fortalezas. La información financiera complementa la reportada en estudios sectoriales y de prospectiva, generando información valiosa para que empresas, gremios, y entidades de fomento identifiquen las mejores estrategias para el desarrollo del sector. Se detectó que disminuyó el número de empresas del sector cuero y marroquinería con activos suficientes para presentar reportes a la Superintendencia, una señal de la pérdida de capacidad del sector. Las cuatro actividades económicas que hacen parte del sector comparten dificultades como baja liquidez, bajos márgenes de rentabilidad, especialmente por el aumento en los costos y los gastos, y baja rotación de inventarios, por lo tanto mejorar estos indicadores es uno de los retos fundamentales, además porque una mejora en estos indicadores repercutirá en una mejora operacional del negocio, de las posibilidades de permanencia, crecimiento y generación de valor. Las empresas presentan niveles de apalancamiento positivos, y la capacidad de los activos circulantes ha demostrado ser suficiente para hacer frente a la totalidad de sus deudas, lo cual indica la pertinencia de consolidar las estrategias que han generado estos resultados positivos.

- Existen algunas diferencias significativas en algunos indicadores financieros de las cuatro actividades económicas que hacen parte del sector cuero y marroquinería. La fabricación de artículos de viaje, bolsos de mano y artículos similares, elaborados en materiales sintéticos, plástico e imitaciones de cuero, es la actividad con los más bajos indicadores de rentabilidad y de creación de valor, así como las mayores dificultades de endeudamiento y de palanca de crecimiento, lo cual es contradictorio con los resultados de los estudios de prospectiva, que ven en el uso de materiales sintéticos un factor clave para el futuro del sector. El sector curtido y preparación de cueros, por otro lado, presenta mejores indicadores financieros que las demás actividades. Las estrategias para cada una de las actividades económicas estudiadas, entonces, deben ser diferentes pues sus problemáticas y fortalezas son también diferentes. Es recomendable complementar los estudios sectoriales publicados por gremios y entidades con el análisis

de indicadores financieros, ya que los primeros no detallan la información por actividad económica.

- Los estudios sectoriales y de prospectiva consultados coinciden en recomendar que las empresas del cuero y marroquinería deben generar valor mediante el diseño y la oferta de productos con altas especificaciones técnicas, pero los indicadores de contribución financiera, que se asocian a la creación de valor, son bajos para el sector en el período estudiado, e incluso disminuyeron a partir del año 2010. Esta contradicción debe ser considerada en las estrategias de las empresas del sector y en los programas de fomento.

## Referencias

- Adam, G., and Jaroslav, H. (2008). Indicators of financial system stability: towards an aggregate financial stability indicator. *Prague Economic Papers*, University of Economics, 2, 127-142.
- Adams, B., Bottelier, P., Ozyildirim, A., and Sima-Friedman, J. (2010). *On the selection of leading economic indicators for China* (No. 10-02). The Conference Board, Economics Program.
- Angulo, D. y De la Espriella, S. (2012). La contabilidad financiera como base para la toma de decisiones en el marco organizacional. *Revista Saber, Ciencia y Libertad*, 5, 97-104
- AKTIVA (2013). *Estudios sectoriales: el cuero y sus manufacturas en Colombia*. Recuperado de: <http://aktiva.com.co/blog/Estudios%20sectoriales/2013/cuero.pdf>.
- ACICAM Asociación Colombiana de Industriales del Calzado, el Cuero y sus Manufacturas. (2014). *Cómo va el Sector?*. Recuperado de [http://www.acicam.org/phocadownload/comovaelsector\\_julio\\_2013.pdf](http://www.acicam.org/phocadownload/comovaelsector_julio_2013.pdf)
- Brigham, E., y Ehrhardt, M. (2014). *Financial Management: Theory and Practice*. 1163 pages, Publisher: Cengage Learning; 14th edition
- Capece, G., Cricelli, L., Di Pillo, F., y Levialdi, N. (2010). A cluster analysis study based on

- profitability and financial indicators in the Italian gas market. *Energy Policy*, 38, 3394 - 3402.
- Capece, G., Cricelli, L., Di Pillo, F., y Levialdi, N. (2012). New regulatory policies in Italy: Impact on financial results, on liquidity and profitability of natural gas retail companies. *Utilities Policy*, 23, 90-98.
- Capece, G., Di Pillo, F., y Levialdi. (2013). The Performance Assessment of Energy Companies. *APCBEE Procedia*, 5, 265 - 270
- Catalán, H. (2013). Función de reacción fiscal en México: un análisis de cambio estructural. *Investigación económica*, 72(286), 139-164
- Castaño Ríos, C., y Arias Pérez, J. (2014). Análisis financiero integral de empresas colombianas 2009-2012 desde la perspectiva de la competitividad. *Revista U.D.C.A Actualidad and Divulgación Científica*, 17 (1), 275 - 284.
- Correa, J., Castaño, C., Mesa, R. (2010). Desempeño financiero empresarial en Colombia en 2009: un análisis por sectores. *Perfil de Coyuntura Económica*, 15, 149-170
- Correa, J., Castaño, C., Mesa, R. (2011). Panorama financiero empresarial en Colombia 2009-2010: un análisis por sectores. *Perfil de Coyuntura Económica*, 18, 145-165
- De Jaime, J. (2003). *Análisis económico-financiero de las decisiones de gestión empresarial*. Esic Editorial. pp.26.
- De la Hoz, E., Fontalvo, T., y Morelos, J. (2014). Evaluación del comportamiento de los indicadores de productividad y rentabilidad financiera del sector petróleo y gas en Colombia mediante análisis discriminante. *Contaduría y administración*, 59(4), 167-191.
- De Santis, R., y Stein, M. (2015). Financial Indicators Signalling Correlation Changes in Sovereign Bond Markets. *Journal of Banking and Finance*. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbankfin.2015.02.018>
- Fontalvo, T., Morelos, J., y De la Hoz, E., (2012). Aplicación de análisis discriminante para evaluar el comportamiento de los indicadores financieros en las empresas del sector carbón en Colombia. *Entramado*, 16, 64-73.
- Gerschewski, S., y Xiao, S. (2014). Beyond financial indicators: An assessment of the measurement of performance for international new ventures. *International Business Review*.
- Giner, Inchausti, B. (1990). Información contable y toma de decisiones. *Revista Española de financiación y contabilidad*, 20 (62) (1990), pp. 27-43.
- González, P., y Bermúdez, T. (2010). Fuentes de información, indicadores y herramientas más usadas por gerentes de Mipyme en Cali, Colombia *Contaduría y Administración*, 232, 83-108
- Guanche, R., De Andrés, A., Simal, P., Vidal, D., y Losada I. (2014). Uncertainty analysis of wave energy farms financial indicators. *Renewable Energy*, 68, 570-580
- Gutiérrez, C., y Abad, J. (2014). ¿Permitían los estados financieros predecir los resultados de los tests de estrés de la banca española? Una aplicación del modelo logit. *Revista de Contabilidad*. 17(1), 58-70.
- Herrera, T., Schmalbach, J., y Granadillo, E. (2012). Evaluación del mejoramiento de los indicadores financieros en las empresas del sector almacenamiento y actividades conexas en Colombia por medio de análisis de discriminante. *Prospectiva*, 10(1), 124-131.
- Levanon, G. (2015). Using financial indicators to predict turning points in the business cycle: the case of the leading economic index for the United States. *International Journal of Forecasting*.
- Marr, B. (2012). *Key Performance Indicators (KPI): The 75 measures every manager needs to know*. FT Press, 376 pages
- Mercan, M., Reisman, A., Yolalan, R., and Emel, A. B. (2003). The effect of scale and mode of ownership on the financial performance

- of the Turkish banking sector: results of a DEA-based analysis. *Socio-Economic Planning Sciences*, 37(3), 185-202.
- Morelos, J., Fontalvo, T., y Vergara, J. (2013a). Aplicación de análisis discriminante para evaluar el impacto de la acreditación en salud en Colombia en los indicadores de rentabilidad. *Revista Universidad y Salud*, 15(1), 62-71
- Morelos, J., Fontalvo, T., y Vergara, J. (2013b). Incidencia de la certificación ISO 9001 en los indicadores de productividad y utilidad financiera de empresas de la zona industrial de Mamonal en Cartagena. *Estudios Gerenciales*, 29, 99-109
- Pérez, J., González, K., y Lopera, M. (2013). Modelos de predicción de la fragilidad empresarial: aplicación al caso colombiano para el año 2011. *Perfil de Coyuntura Económica*, 22, 205-228
- Porter M. (1999). *Ser competitivo, nuevas aportaciones y conclusiones*, España: DEUSTO.
- Programa de Transformación Productiva – PTP. (2013) *Plan de negocios del Sector de Cuero, Calzado y Marroquinería: Una respuesta para la transformación productiva*. Recuperado de [http://www.ptp.com.co/documentos/PLAN%20DE%20NEGOCIOS%20CUERO%20CALZADO%20Y%20MARROQUINER%C3%8DA\\_VF.pdf](http://www.ptp.com.co/documentos/PLAN%20DE%20NEGOCIOS%20CUERO%20CALZADO%20Y%20MARROQUINER%C3%8DA_VF.pdf)
- Rappaport, A. (1998). *La Creación de valor para el accionista: Una guía para inversores y directivos*. Bilbao: Deusto.
- Rivera, G. J. A. (2011). Análisis del desempeño financiero de empresas innovadoras del Sector Alimentos y Bebidas en Colombia. *Pensamiento and Gestión*, 31, 109-136.
- Rivera, G. J. A., and Alarcón, M. D. S. (2012). El cargo de Capital en la evaluación del desempeño financiero de empresas innovadoras de confecciones de Cali. *Estudios gerenciales*, 28(123), 85-100.
- Rivera, G. J. A., y Padilla, O. A. M. (2014). El sector de medios impresos en Colombia: lectura de su situación financiera. *Revista Entramado*, 10(1).
- Rivera, J., y Ruiz, D. (2011). Análisis del desempeño financiero de empresas innovadoras del sector alimentos y bebidas en Colombia. *Pensamiento and Gestión*, 31, 109-136
- Rivera, J., y Padilla, A. (2013). ¿Los medios de comunicación en Colombia son una industria creadora de valor?. *Finanzas y Política Económica*, 5(2), 89-113
- Rivera, J., y Padilla, A. (2014). El sector de medios impresos en Colombia: Lectura de su situación financiera. *Entramado*, 19, 30-54
- Sagbini, Z. y Bolivar, A. (2007). Creación de valor de las empresas colombianas durante el periodo 2000-2005. *Pensamiento y Gestión*, 22, 28-84
- Silvestre, B., Hall, J., Matos, S., Figueira, L. (2010). Privatização: Bom ou ruim? Lições do setor de distribuição de energia elétrica do nordeste Brasileiro. *RAE – Revista de Administração de Empresas*, 50(1), 94-111
- SIREM, Sistema de Información y Reporte Empresarial de la Superintendencia de Sociedades <http://sirem.supersociedades.gov.co/Sirem2/eFinancieros.jsp>
- Suárez, A. S. S. (2014). *Decisiones óptimas de inversión y financiación en la empresa*. Ediciones Pirámide.
- Tagkalakis, A. (2013). The effects of financial crisis on fiscal positions. *European Journal of Political Economy*, 29, 197-213.
- Tagkalakis, A. (2014). Financial stability indicators and public debt developments. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 54, 158-179
- Tomaszewski, M., Van Asseldonk, M., Dijkhuizen, A., Huirne, R. (2000). Determining farm effects attributable to the introduction and use of a dairy management information system in the Netherlands. *Agricultural Economics*, 23, 79-86.

- Velásquez, S., y Castro, J. (2013). Identificación de factores de éxito para el sector cuero, calzado y marroquinería en Colombia usando metodología Delphi, análisis estructural y juego de actores. *Informador Técnico*, 77(2), 136-146
- Vera-Colina, M., Melgarejo-Molina, Z., y Mora-Riapi, E. (2014). Acceso a la financiación en Pymes colombianas: una mirada desde sus indicadores financieros. *INNOVAR*, 24, 149-160
- Villegas, E. y Dávalos, J. (2005). Análisis de razones financieras en la empresa lechera intensiva: Un estudio de caso en el altiplano mexicano. *Veterinaria México*, 36(1), 25 – 40.
- Wattanatorn, W., y Kanchanapoom, T. (2012). Oil Prices and Profitability Performance: Sector Analysis. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 40, 763 – 767
- Wiklund, J., Baker, T., y Shepherd, D. (2010) The age-effect of financial indicators as buffers against the liability of newness, *Journal of Business Venturing*, 25, 423–437

Línea de atención al cliente:  
**(57 - 1) 472 2000 en Bogotá**  
**01 8000 111 210 a nivel Nacional**  
.....  
**www.4-72.com.co**

El servicio de **envíos**  
de Colombia



# Formulación de una propuesta metodológica para la gestión integral de residuos químicos peligrosos en instituciones de educación superior<sup>1</sup>

## Developing a methodology for the comprehensive management of hazardous chemical residues in higher education institutions

Recibido: 06 - 04 - 2015 Aceptado: 18-09-2015

Javier Augusto Vera Solano<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Alternativas ambientales para la neutralización y eliminación de residuos químicos generados en los laboratorios de Química. Realizado entre el 11 de febrero de 2011 y 12 de diciembre de 2012. Ejecutado y financiado por la Universidad de Pamplona.

<sup>2</sup> Colombiano, Maestría en Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingenierías y Arquitectura. Universidad de Pamplona. Bucaramanga. Pamplona. Colombia. E-mail: javiervera@misena.edu.co

### Resumen

En la Universidad de Pamplona, se formuló una propuesta metodológica para la gestión integral de los residuos químicos peligrosos con base a un plan de manejo. Para verificar el funcionamiento de la metodología, se trabajó con los laboratorios de química general, se realizó preliminarmente un diagnóstico y cuantificación total de las cantidades que allí se generaban, con el fin de poder caracterizarlos ya que esta etapa de la metodología es clave para la gestión e identificación de los residuos para su posterior tratamiento. Una vez efectuadas las primeras etapas de la metodología, se procedió a implementar los tratamientos que, disminuyeron el almacenamiento temporal de los residuos químicos, se eliminaron por medio de evaporización, encapsulamiento, y biorremediación un 35% de los residuos generados en el año 2010. Asimismo se logró que la metodología establecida se ejecutara adecuadamente, obteniéndose resultados en el mejoramiento de la segregación y caracterización de los residuos, que contribuyó a disminuir el almacenamiento sin ningún tipo de tratamiento y control en el almacén temporal, que a largo plazo podría presentar un riesgo e impacto ambiental para la institución.

**Palabras clave:** Residuos; segregación; generación; gestión; eliminación; registro; fijación.

### Abstract

In chemical analysis laboratories a great amount of products are handled and many different operations are carried out, either for educational processes or research purposes which lead to the generation of hazardous waste. These are varied and highly complex because of the

complex matrix they are part of. Therefore they present a bigger challenge when dealing with them. The objective of this investigation was to formulate a methodological proposal for the management of hazardous chemical waste based on the University's Waste Management Plan. In order to assess the methodology's proper development, the work was done together with the general chemistry laboratories, by doing a preliminary diagnosis and quantifying the total amount of waste generated. Then we characterize it since this stage of the methodology is crucial for the management and identification of the waste for further treatment. Once the first stages of the methodology were through, we went ahead and applied the treatments which lowered the temporary storage of chemical waste, by eliminating it by evaporation, encapsulation and bioremediation by 35% of the total waste generated in 2010. We were also able to properly apply the established methodology, obtaining results in the improvement of the waste segregation and characterization, helping lower the uncontrolled storage, that it was in the temporary storage room, which did not have any kind of treatment or control. This situation presented a high risk of environmental impact for the institution in the long term.

**Keywords:** Waste; segregation; generation; management; disposal; record; posting.

## Introducción

La Agencia de Protección Medioambiental (Environmental Protection Agency-EPA) de los Estados Unidos define los residuos peligrosos como los residuos o combinación de ellos que presentan un determinado riesgo, ya sea actual o potencial, para la salud humana o para otros organismos vivos, a causa de alguno de los cuatro motivos genéricos siguientes:

- No-degradabilidad y persistencia en el lugar de vertido.
- Posibilidad de efectos nocivos por efecto acumulativo.
- Posibilidad de sufrir transformaciones biológicas con agravamiento de sus efectos.
- Contenido elevado de componentes letales. (Environmental Protection Agency, 2014).

La agencia de protección Irlandesa en su plan nacional de manejo de residuos peligrosos, entre los años 2014 al 2020, se enfocó en cuatro objetivos para el adecuado manejo de los residuos:

- Prevenir y reducir la generación de los mismos.
- Maximizar la recogida de los residuos con el fin de disminuir los impactos.
- Luchar por una autosuficiencia en la gestión de los residuos.
- Reducir al mínimo los impactos que se generan por los residuos. (Environmental Protection Agency, 2014).

En la legislación Colombiana se define el *residuo o desecho peligroso* como aquel, que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas, puede causar riesgo o daño para la salud humana y el ambiente. Asimismo, se consideran residuos o desechos peligrosos los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con ellos (Decreto 4741/2005). A la vez se define en la legislación el termino de *generador*, que es la persona natural o jurídica que produce residuos hospitalarios y similares en desarrollo de las actividades, manejo e instalaciones relacionadas con la prestación de servicios de salud, incluidas las acciones de: promoción de la salud, prevención de la enfermedad, diagnóstico, tratamiento y rehabilitación; la docencia e investigación con organismos vivos o muertos; los bioterios y laboratorios de biotecnología; los cementerios, morgues, funerarias y hornos crematorios; los consultorios, clínicas, farmacias, centros de pigmentación y/o tatuajes, laboratorios veterinarios, centros de zoonosis y zoológicos. (Decreto 2676/2006).

De ahí que las instituciones de educación superior son establecimientos generadores de desechos peligrosos que se han convertido en uno de los principales problemas para las universidades que no tienen implementado un sistema de gestión de residuos, ya que toda operación realizada con residuos peligrosos desde su generación hasta su disposición final es potencialmente generadora de impactos ambientales negativos (Benítez, 2005). Todos ellos se caracterizan en general por su variedad, composiciones muy heterogéneas y porque se suelen generar en cantidades bajas y muy variables a lo largo del tiempo. Además, en la mayoría de los casos estos residuos acostumbran presentar una toxicidad y/o una peligrosidad elevadas, lo que dificulta su gestión (Peñalver, 2000).

En la universidad de Maryland en los Estados Unidos, como en otras instituciones de nivel superior existen laboratorios que generan residuos peligrosos; para el manejo de ellos la Universidad diseño un manual el cual se enfocó en seis aspectos:

- La identificación de los residuos.
- El etiquetado o rotulado de los mismos.
- La acumulación y almacenamiento.
- Los registros y documentos de control.
- El transporte y disposición.
- La preparación de emergencias.
- La minimización de los residuos.
- El reciclaje. (University of Maryland, 2004)

Los investigadores Mecklem R y Neumann realizaron una investigación para el manejo de residuos peligrosos en las universidades de Estados Unidos encontrando en el diagnóstico adelantado con los responsables de las oficinas de salud y seguridad ocupacional. Fueron encuestadas 122 instituciones, encontrándose que el 84% de las instituciones trata los residuos de cultivo de células no infecciosas como residuos peligrosos, de igual forma el 90% de las instituciones utiliza la esterilización en autoclave como sistema de tratamiento de residuos biológicos, pero tan solo el 52% verifica su eficiencia mediante indicadores biológicos. La incineración *In Situ* es utilizada por el 42% de las universidades. (Mecklen y Neumann, 2003)

En la Universidad de Concepción se presentó un proyecto sobre sistema de gestión de sustancia y residuos peligrosos universitarios, se implementó un reglamento de manejo de residuos para todas las facultades del centro de educación, se identificó cada una de las unidades generadoras, se garantizaron la protección a la salud del personal, medio ambiente e infraestructura. (Universidad de Concepcion, 2005)

Las universidades en Colombia han solucionado la problemática de segregación y tratamiento de residuos sólidos con la formulación de planes de manejo integral de residuos y son ejemplo de ello, la Corporación Universitaria Lasallista que logró ahorrar \$18'114.772 pesos en la tasa de aseo, al disminuir el volumen de residuos para su disposición final, producir abono orgánico y vender material reciclable (Castrillon y Puerta (2012); en la Fundación Universitaria María Cano se elaboró el diagnóstico y se formuló un plan de manejo integral de residuos sólidos (Silva, 2010).

En la Universidad del Cauca se realizó una investigación sobre alternativas de segregación de residuos químicos en los laboratorios de ingeniería ambiental y sanitaria de la Institución (Mera, 2007), así como el plan de gestión de residuos hospitalarios de la Unidad de Salud de la misma institución, con el apoyo del Fondo de Investigaciones de la Universidad (FINU-UFPS). A través del grupo GIBA (2008-2009) se realizó el proyecto: "Ejecución de la primera fase del plan de manejo de los residuos líquidos y sólidos peligrosos y no peligrosos generados en la sedes de la Universidad Francisco de Paula Santander", en los Campos Elíseos ubicados en el municipio de Los Patios Norte de Santander, y en la Universidad de Pamplona se implemento el "Plan de Manejo de Residuos Peligrosos del Campus Universitario" que esta funcionando desde en el 2008.

Por las anteriores razones se hace necesario formular una metodología que tome los elementos necesarios para la elaboración de un plan de gestión integral de residuos peligrosos en instituciones de educación superior tendiente a la reducción en los costos de tratamiento y la disminución o mitigación de los impactos ambientales provocados por ellos.

La metodología que se propuso contó con una serie de etapas, que tuvieron en cuenta las normas reglamentarias propuestas para Colombia y las normas internacionales tendientes al manejo adecuado de los residuos peligrosos. Los principales objetivos que se buscaron fueron:

- Reducir los riesgos para la salud, impidiendo que los desechos infecciosos o especiales, que generalmente son fracciones pequeñas, contaminen los otros desechos generados en la institución.
- Disminuir costos, ya que sólo se dará tratamiento especial a una fracción y no a todos los desechos generados.
- Reciclar directamente algunos desechos que no requieren tratamiento ni acondicionamientos previos. (Junco, 2000)

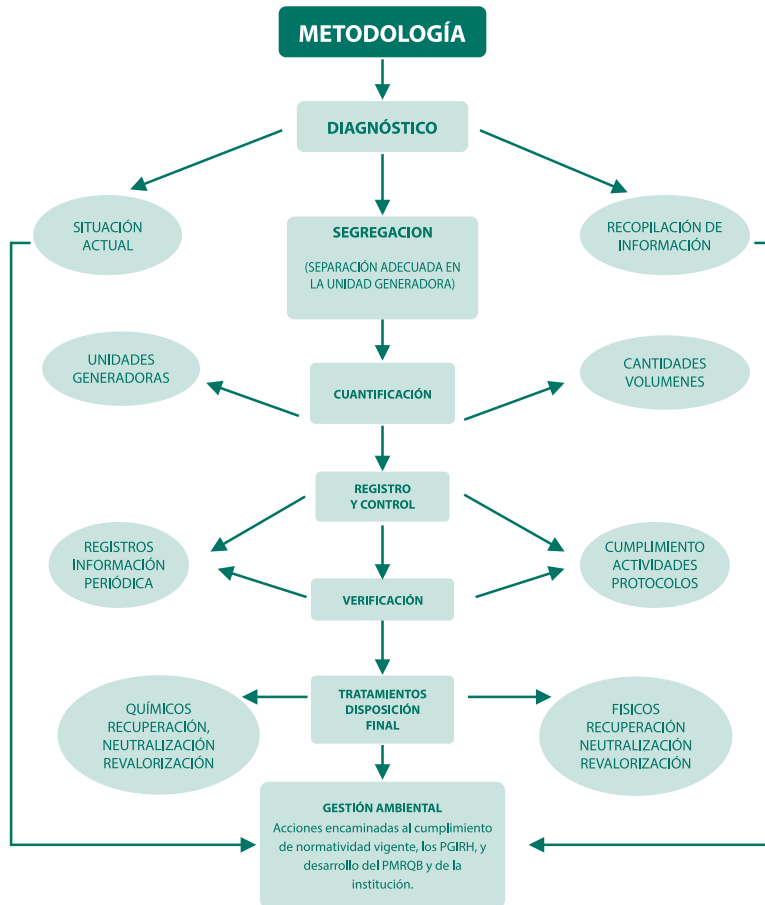
## Materiales y métodos

Para la aplicación de la metodología se establecieron 7 fases, en cada una de ellas se desarrollaron diferentes actividades de manejo integral de los residuos químicos.

En la Figura 1 se presenta la metodología utilizada para la gestión integral de los residuos peligrosos; en su

caracterización se utilizaron botellas de color de color ámbar de 2,5 litros, las cuales se rotularon de acuerdo a las líneas especificadas, en la Figura 2. Se presenta el estante utilizado para segregación de residuos químicos

La primera fase se inició con el diagnóstico del establecimiento generador, para identificar los aspectos que no presentaron conformidad con la normatividad ambiental y sanitaria vigente y establecer de esta manera los ajustes y medidas correctivas pertinentes. (Ministerio de salud. y Ministerio del medio ambiente, 2002).



**Figura 1.** Metodología para la gestión integral de los residuos peligrosos  
**Fuente:** Los autores



**Figura 2.** Estante para segregación de residuos químicos  
**Fuente.** Los autores

En la implementación de la metodología para la gestión integral de los residuos peligrosos se tuvo en cuenta aspectos relevantes como:

- Normatividad y legislación.
- Implementación y procedimientos de control apropiados (normas de bioseguridad).
- Adoptar servicios adecuados para el reciclo, tratamiento y disposición de residuos peligrosos (casetas de almacenamiento temporal de residuos, recipientes, rutas de evacuación).
- Aplicación de una capacitación adecuada de operarios y personal directamente implicado en el problema.
- Condiciones de riesgo.
- Actualización de la cuantificación de residuos por unidades generadoras.

## Diagnóstico

En esta etapa se describió, sin evaluarse la situación actual de la institución en cuanto al manejo de los residuos peligrosos y se estableció un método que permitió detectar problemas, necesidades e intereses en un contexto real. En ella se observó si el plan de manejo de residuos se encontraba implementado, si existió una cuantificación de los residuos, y si existían registros

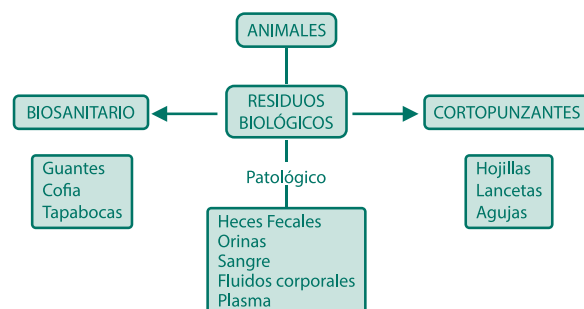
## Segregación o clasificación

La segregación de los residuos se realizó de acuerdo al tipo de desecho al que pertenecían según sus características.

Los residuos biológicos infecciosos se clasificaron de acuerdo a la normatividad vigente para Colombia según los Ministerio de salud y de la Protección Social y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Figura 3).

Los desechos químicos se pueden clasificar según el diagnóstico más adecuado realizado en la institución teniendo en cuenta los factores de:

- Volumen
- Periodicidad de generación
- Compatibilidad
- Características físico químicas.



**Figura 3.** Clasificación de los residuos biológicos infecciosos.

**Fuente:** Los autores

En la figura 4 se presenta una de las clasificaciones más utilizadas.



**Figura 4.** Clasificación general de los residuos químicos.

**Fuente:** Los autores.

## Cuantificación de los Residuos

Una vez que el *generador* presentó e identificó los residuos como *residuos peligrosos* generados en la instalación, se recomendó que se presentaran las cantidades generadas de cada uno de ellos. Así, se recomendó que el *generador* cuantificará los residuos y llevará registros de información sobre las cantidades generadas para posteriormente evaluar los avances en la gestión, principalmente en cuanto a la minimización de su generación.

En la información que se reportó, se incluyeron las cantidades de residuos generados en forma continua o esporádica, de manera actualizada y, se reportaron las cantidades de aquellos residuos peligrosos almacenados temporalmente en espera de ser gestionados. (MPGIR).

Según esta cuantificación la institución se pudo clasificar como gran, mediano, o pequeño *generador*. (Resolución 1362/ 2007), para que los informes, puedan ser presentados a la entidad ambiental.

## Registro y Control

El registro y el control del plan de manejo se realizó por medio de formatos en donde se llevó la información

periódica del volumen de generación de residuos, de sus características, las fechas de entrada y fechas de salida, la unidad de trabajo que desechó, el tipo de residuo, la persona que entregó y la persona que recibió.

Los registros se diligenciaron claramente y con datos verdaderos, y específicos se llevó un estricto control y trazabilidad de los desechos tanto patológicos, biosanitarios, animales y químicos.

## Verificación y Cumplimiento

La verificación y el cumplimiento se realizaron cuando las etapas de cuantificación, registro y control coincidieron con la salida de los desechos a su tratamiento o sitio final de disposición. Es decir si se cuantificó cierto peso o volumen de desechos; este debió coincidir con los registros y por lo tanto con el total de residuos a tratar o eliminar. La verificación se realizó con la inspección periódica de las unidades generadoras; se determinó que los residuos se clasificaron, almacenaron, rotularon y entregaron en los horarios y fechas acordadas con la supervisión de la persona o profesional a cargo del plan de manejo.

## Tratamiento: Recuperación, Desactivación, Eliminación

El tratamiento dependió de las características de los residuos. Un eficiente plan de manejo de residuos debe mantener mucha claridad en la clasificación de los desechos, tener en cuenta las: características fisicoquímicas, la peligrosidad, la patogenicidad, la manipulación, recolección y almacenamiento.

Existen diversos tratamientos (físicos, químicos y biológicos) para los residuos peligrosos, entre ellos se pueden mencionar: incineración, oxidación, precipitación de metales pesados, reducción química, neutralización, pirolisis, fitorremediación, fijación, evaporación y gasificación entre muchos otros.

En Colombia la mayoría de instituciones dejan el tratamiento o disposición final de los residuos en manos de empresas especializadas en el ramo, las cuales se encargan de la recolección periódica y su transporte hasta el sitio final de neutralización o eliminación de los desechos, la mayoría de ellas utilizan el tratamiento de incineración para la sobra total de los residuos.

## Gestión Ambiental

El concepto de gestión hace referencia a la acción y al efecto de gestionar o administrar; gestionar es hacer diligencias conducentes al logro de un objetivo, a concretar un proyecto ordenándolo, disponiéndolo y organizándolo.

La gestión de residuos, se encaminó a buscar los elementos que permitieron que cualquier institución universitaria pueda implementar un proyecto con el objetivo de mantener aplicada una metodología para: la recolección, transporte, procesamiento, tratamiento, reciclaje o disposición de material de desecho.

La gestión debe ser continua; no solo se debe implementar el proyecto, sino mantenerlo durante el tiempo. De la gestión dependen el óptimo desempeño de un plan de manejo de residuos, su eficiente funcionamiento interno y externo, el nivel de aceptación y percepción que pueda tener el proyecto.

De una mala gestión se desprende la ineficiencia de una metodología de trabajo; no se cumplen los objetivos; en el caso de los planes de manejo de residuos, se desmejoran las etapas: desde la segregación en las fuentes de origen, recolección, registro y control, verificación y cumplimiento, y la más importante el tratamiento disposición final.

## Resultados

La metodología especificada se implementó de manera práctica en los laboratorios de química general de la Universidad de Pamplona, donde se obtuvieron resultados que permitieron optimizar el *Plan de Manejo de Residuos Químicos* en esta institución.

Cada uno de los siete pasos se ejecutó de manera sistemática y se presentaron los siguientes resultados.

## Etapas de Diagnóstico

Se implementó la metodología investigación en los laboratorios (L-203, L-204, L-205) de química general de la Universidad de Pamplona, Municipio de Pamplona, Departamento de Norte de Santander, Colombia.

En el diagnóstico se observó que aunque existía un plan de manejo de residuos químicos y biológicos implementado en el primer periodo del año 2008, no se

tenía un proceso organizado en el que se cuantificarán de forma clara y precisa los residuos químicos de estos laboratorios por lo cual los datos no eran confiables, en la Tabla 1 se presenta el volumen de residuos para los años 2008 y 2009.

**Tabla 1.** Volumen de residuos para los años 2008 y 2009.

| LABORATORIOS                   | CANTIDAD EN MILILITROS (mL) |                         |                         |
|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                                | Año 2009                    | Primer periodo del 2008 | Segundo Periodo de 2008 |
| Laboratorio de Química (L-205) | 2319                        | 2515                    | 3143                    |
| Laboratorio de Química (L-204) | 14721                       | 14034,05                | 11626                   |
| Laboratorio de Química (L-203) | 6892                        | 8387                    | 12876                   |
|                                | 23932 mL                    | 24936,05                | 27645,05                |
| <b>Total</b>                   | <b>23, 932</b>              | <b>24,936</b>           | <b>27,645</b>           |
|                                | <b>litros</b>               | <b>litros</b>           | <b>litros</b>           |

Fuente: Los Autores

### Etapa de segregación

En esta etapa se ejecutó una nueva caracterización de los residuos químicos con el objetivo de poder realizar una cuantificación más exacta del volumen de residuos químicos que se generaron durante un periodo. Antes de iniciar existían catorce líneas de residuos, en las cuales se presentaba una mezcla de componentes los cuales no se podían analizar de forma clara, para aplicarles un tratamiento.

### Etapa de cuantificación

Una vez realizada la nueva caracterización de los residuos químicos, según sus características fisicoquímicas y compatibilidades, se procedió a cuantificarlos durante los dos primeros semestres del año 2010, lo cual dio como resultado los datos que se presentan en la Tabla 2.

### Registro y control

En el formato creado para cada una de las prácticas de laboratorio, se registró el volumen diario que se generó en cada practica efectuada en los laboratorios L-203, L-204, L-205. Cada vez que el formato se llenaba, se procedía a cambiarlo por uno nuevo y cada mes se realizaba la tabulación total de los residuos generados en ese periodo.

En la Figura 5 se presenta el formato de recolección de residuos por prácticas.

**Tabla 2.** Clasificación y cuantificació de residuos del 2010.

| Línea        | COMPONENTES                                                         | VOLUMEN (mL) |
|--------------|---------------------------------------------------------------------|--------------|
| Línea 1      | Residuos de ácido sulfúrico                                         | 161          |
| Línea 2      | Residuos de ácido clorhídrico                                       | 2605         |
| Línea 3      | Residuos de ácido nítrico                                           | 670          |
| Línea 4      | Residuos de ácido bórico y fosfórico                                |              |
| Línea 5      | Residuos de ácidos inorgánicos                                      | 74           |
| Línea 6      | Residuos de hidróxido de sodio                                      | 1785         |
| Línea 7      | Residuos de otros hidróxidos o bases inorgánicas                    | 765          |
| Línea 8      | Residuos de sales inorgánicas (fertilizantes)                       | 3167         |
| Línea 9      | Residuos de otras sales inorgánicas                                 | 2350         |
| Línea 10     | Residuos de nitrato de plata                                        | 155          |
| Línea 11     | Residuos de sales orgánicas, ácidos orgánicos y peróxidos orgánicos | 948          |
| Línea 12     | Residuos fenoles de compuestos fenolicos                            | 116          |
| Línea 13     | Residuos de dicromato de potasio                                    | 290          |
| Línea 14     | Residuos de cloruros de plomo                                       | 10           |
| Línea 15     | Residuos de sustancias cianuradas                                   | 195          |
| Línea 16     | Residuos de bromuro de etidio                                       |              |
| Línea 17     | Residuos de determinación de DQO                                    |              |
| Línea 18     | Residuos de sales y compuestos de Cr (VI), Ca, As, Hg.              | 70           |
| Línea 19     | Residuos de orgánicos no halogenados                                | 2512         |
| Línea 20     | Disolventes halogenados                                             | 245          |
| <b>TOTAL</b> |                                                                     | <b>16308</b> |

Fuente: Los autores

| FORMATO DE GENERACIÓN RESIDUOS QUÍMICOS<br>LABORATORIOS QUÍMICA GENERAL UNIVERSIDAD DE PAMPLONA |          |         |          |       |         |          |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------|----------|-------|---------|----------|-------|
| No.                                                                                             | PROFESOR | MATERIA | PRÁCTICA | FECHA | RESIDUO | CANTIDAD | LINEA |
|                                                                                                 |          |         |          |       |         |          |       |
|                                                                                                 |          |         |          |       |         |          |       |
|                                                                                                 |          |         |          |       |         |          |       |
|                                                                                                 |          |         |          |       |         |          |       |

**Figura 5.** Formato de recolección de residuos por prácticas  
**Fuente.** Los autores

## Verificación y cumplimiento

La verificación es el resultado de comparar los volúmenes de residuos que se generaron con los registros de los residuos desechados en cada línea. A la vez se revisó el nivel de desechos químicos tratados o eliminados, para conocer el total que podrán ser almacenados y factiblemente reutilizados.

## Tratamiento: Recuperación, Desactivación, Eliminación.

La determinación de los tratamientos de aplicar se tomó con base en las características químicas de los residuos, la compatibilidad de los compuestos, la toxicidad, la eco- toxicidad, la peligrosidad, el volumen de generación el nivel de degradación y el tipo de contaminación que pueden producir. Además se tuvo en cuenta que las

alternativas de eliminación y neutralización de los residuos son netamente favorables al ambiente, sin el uso de más reactivos, y gastos de energía como se presenta en la Tabla 3.

## Gestión Ambiental

En la búsqueda de los elementos y recursos para la implementación de la metodología, se gestionó un nuevo sitio para el almacenamiento de recipientes con residuos químicos, ya que no existía un sitio adecuado para ello.

Así mismo se diseñaron estantes que permitieron la ubicación de los residuos según la nueva clasificación en las veinte líneas de segregación, para su fácil manejo, y reconocimiento por parte de alumnos, docentes y auxiliares de laboratorio, igualmente se procedió a la normalización de los protocolos y formatos por parte del sistema de gestión de la calidad de la institución, para el manejo de los residuos.

**Tabla 3.** Formato de recolección de residuos por prácticas

| Línea | Evaporización | Fitorremediacion | Fijación o solidificación | Biorremediacion | Rehusó |
|-------|---------------|------------------|---------------------------|-----------------|--------|
| 1     | X             |                  |                           |                 | X      |
| 2     | X             |                  |                           |                 | X      |
| 3     | X             |                  |                           |                 |        |
| 4     | X             |                  |                           |                 |        |
| 5     | X             |                  |                           | X               |        |
| 6     | X             |                  |                           |                 |        |
| 7     |               | X                | X                         |                 |        |
| 8     |               | X                |                           | X               |        |
| 9     |               | X                | X                         |                 |        |

**Fuente:** Los autores

## Discusión

La caracterización y clasificación de los residuos químicos en veinte líneas, según la Tabla 1, permitió que la segregación de estos fuera más ajustada con el fin de identificar los posibles tratamientos que se aplicarían a cada tipo de residuo. Se identifica que los residuos de sales inorgánicas (2350 mL) como cloruros de sodio y potasio, son los que presentan mayor volumen junto con los residuos de ácido clorhídrico (2605 mL) y residuos de otras sales inorgánicas.

Los residuos de bromuro de etidio y de determinación de DQO no se cuantifican en la Tabla 1 por que ellos solo se generan en los laboratorios de biología y control de calidad de agua los cuales no se incluyeron en este estudio.

Para el año 2010 no se generaron residuos de ácido bórico y ácido fosfórico, ya que en ninguna de las prácticas de laboratorio realizadas en ese periodo, se hicieron requerimientos de estos reactivos químicos.

Según la Tabla 1 el volumen de residuos que generaban en promedio por año (2008) era de 26 litros en promedio, pero no era un volumen completamente acertado ya que no se realizaba la segregación de los residuos y su caracterización adecuadamente. Para el año 2009 solo se encontró información donde el volumen era de 23 litros.

Al aplicar la metodología se pudo constatar que el volumen exacto de residuos generados en los dos primeros semestres del año 2010 era de un promedio aproximado de 16.38 litros, porque se lleva un registro verificable de los residuos.

Para los distintos tratamientos se realizaron pruebas analíticas y de absorción atómica, para verificar el contenido y componentes de las líneas a tratar con el fin de detectar que no existieran componentes o trazas de residuos altamente contaminantes.

Con el tratamiento de evaporación durante el año del 2010 se eliminó un total de 17 320 mL lo que equivale a 17,32 litros de residuos químicos como sales inorgánicas, residuos de otras sales inorgánicas, residuos de nitrato de plata residuos de otros hidróxidos o bases inorgánicas, residuos de ácido nítrico y residuos de hidróxido de sodio.

La gestión ambiental en el manejo de residuos sin importar su origen, es esencial, ya que de ella se desprende la ejecución de cualquier metodología para esta investigación. Esta etapa se realizó con la ayuda de la coordinación de

laboratorios de la Universidad de Pamplona, y así se gestionó todo lo relacionado con los análisis de los residuos, la adjudicación de un sitio para el almacenamiento, los laboratorios para la segregación, los implementos para la eliminación y en general todo lo relacionado con el manejo integral de los residuos químicos.

## Conclusiones

- Es esencial destacar que del diagnóstico inicial de los residuos, se ramifica el resto de la metodología, la cual se diseña teniendo en cuenta la normatividad vigente y otras metodologías.
- La etapa de segregación y caracterización es determinante, para las acciones de disminución del volumen de generación, en los laboratorios pues de la acertada aplicación de ella, depende en gran parte el buen funcionamiento de la metodología.
- Una vez aplicada la etapa de tratamiento se estableció que las sales inorgánicas que se generaron, en los laboratorios, por medio de un análisis adecuado pueden eliminarse de forma controlada mediante tratamientos de fitorremediación y evaporación. Los ácidos sulfúrico y clorhídrico pueden ser reusados nuevamente; los residuos de otros hidróxidos, y otras sales inorgánicas pueden ser tratadas por encapsulamiento o fijación en matriz sólida, demostrando que estos tratamientos son favorables con el medio ambiente, reduciendo el uso de más reactivos, vertimiento en desagües y aumento en la cantidad de almacenamiento.
- El incremento en la producción de residuos químicos en general supone un problema para su gestión, esto se agrava por la escasa participación de los docentes, alumnos y auxiliares en la segregación adecuada de los mismos.
- Existen numerosas metodologías que informan sobre la gestión integral de los residuos químicos, pero pocas demuestran que funcionan con resultados y esta investigación contribuye en este campo.
- La aplicación práctica de la metodología es permisible de emplear por su sencillez, y su contribución a disminuir el volumen de generación de residuos químicos y la aparición de impactos ambientales y riesgos a la salud.

## Referencias

- Benítez, Mónica E. (2005). *Guía para el Manejo de Residuos Químicos en el laboratorio*. Universidad Nacional de Nordeste. Comunicaciones científicas y tecnológicas (Argentina).
- Castrillón Quintana, O.; Puerta Echeverri, S. (2012). Impacto del manejo integral de los residuos sólidos en la. *Revista lasallista de Investigación*, 15-21.
- Decreto 4741/2005. *Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral*, Ministerio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. Recuperado de [http://www.metropol.gov.co/Residuos/Documents/Legislacion%20Peligrosos/Decreto\\_4741\\_2005\\_Respel.pdf](http://www.metropol.gov.co/Residuos/Documents/Legislacion%20Peligrosos/Decreto_4741_2005_Respel.pdf)
- Environmental Protection Agency. (2014). *Environmental Protection Agency*. (I. Environmental Protection Agency, Ed.) Recuperado el 27 de Julio de 2015, de [http://www.epa.ie/pubs/reports/waste/haz/NHWM\\_Plan.pdf](http://www.epa.ie/pubs/reports/waste/haz/NHWM_Plan.pdf)
- Junco, Díaz Raquel (2000). *Desechos Hospitalarios: Aspectos Metodológicos de su Manejo*. Instituto Nacional de Higiene y Epidemiología. Habana.
- Mera, Adriana (2007). Alternativa para la segregación de residuos químicos generados en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad del Cauca. *Revista Producción + limpia Colombia*. 2(1), 66.
- Mecklem RL., Neumann CM. Defining and managing biohazardous waste in U.S. research-oriented universities: a survey of environmental health and safety professionals. *J Environ Health*. 2003, 66 (1): 17-22.
- Ministerio de salud. y Ministerio del medio ambiente. *Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares en Colombia*. MPGIRH (2002). Colombia. Recuperado de <http://www.uis.edu.co/webUIS/es/gestionAmbiental/documentos/manuales/PGIRH%20MinAmbiente.pdf>
- Peñalver, Díaz Natalia. (2000). *Manual de Gestión de Residuos Especiales de la Universidad de Barcelona*. Publicaciones Universidad de Barcelona. Barcelona.
- Resolución 1362 de 2007. Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Territorial. República de Colombia. *Por la cual se establece los requisitos y el procedimiento para el Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos*, a que hacen referencia los artículos 27° y 28° del Decreto 4741 del 30 de diciembre de 2005. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/24024/26921/res+1362+de+2007.pdf/949da989-6c58-4c82-9ed2-5d5d40782d81>.
- Silva, Sandra (2010). *Diagnostico plan de Manejo de manejo integral de residuos sólidos*. Fundación Universitaria María Cano. Medellín. Pág. 29.
- Universidad de Concepción. (2005). *Reglamento de Manejo de residuos sólidos*. Recuperado el 27 de Julio de 2015, de <http://www2.udec.cl/contraloria/docs/aadministrativo/reglamentomanejoresiduos peligrosos.pdf>.
- University of Maryland. (2004). *Environmental Safety*. Recuperado el 26 de Julio de 2015, de <https://www.des.umd.edu/compliance/factsheet/hazwaste.html>

# Revisión del comportamiento biocompatible de biovidrio como material promisorio en la industria biomédica

## Review of biocompatibility behavior of bioglass as promising material in biomedical industry

Recibido: 15- 05 - 2015 Aceptado: 16-09-2015

Alexis Mina Cordoba<sup>1</sup>  
Ana Carolina Lemos Delgado<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Colombiano, Ingeniero de Materiales, Tecnoacademia ASTIN SENA Regional Valle, Colombia. e-mail: jminac@sena.edu.co.

<sup>2</sup> Colombiana, Bióloga, Estudiante de maestría en biotecnología, Tecno - academia nodo Cali, Centro ASTIN SENA Regional Valle, Colombia. e-mail: alemosd@sena.edu.co

### Resumen

El presente artículo tiene como fin mostrar cómo el biovidrio ha sido parte fundamental en el desarrollo de las ciencias biomédicas a partir de la versatilidad en su aplicabilidad y sus usos. Esta revisión bibliográfica pretende mostrar cómo a través de la investigación interdisciplinar se han diseñado diferentes procesos para la obtención de materiales a partir de vidrios bioactivos; inicialmente se discutirá la importancia del desarrollo de los dispositivos biomédicos implantables, orientado al uso del vidrio bioactivo como material precursor y su impacto en la sociedad actual. Posteriormente se discutirá la pertinencia e importancia de la modificación superficial para mejorar las condiciones de trabajo y funcionalidad de los dispositivos biomédicos así como la obtención de recubrimientos de biovidrio por diferentes métodos de obtención; finalmente los autores plantean como posible manera de obtención de los recubrimientos el método de evaporación en vacío como posible respuesta a las dificultades encontradas por los otros métodos de deposición.

**Palabras claves:** Biovidrio; Biocompatibilidad; Biomateriales; Materiales cerámicos; Bioactividad.

### Abstract

This article aims to show how the bioglass has been important in the development of biomedical sciences from its applicability and versatility in its multiple uses. This review aims to show how through interdisciplinary research it has designed different processes for obtaining materials from bioactive glasses. First, we will discuss the importance of development of biomedical devices focused in bioglass as precursor material and its impact on society today. Subsequently, relevance and importance of the surface modification as mechanism to improve working

conditions and functionality of biomedical devices the obtention of bioglass coatings by different methods will be discussed. Finally, the authors propose vacuum evaporation method as a possible technique for to obtaining bioglass coatings, as an alternative for the difficulties encountered by other deposition methods.

This work

**Keywords:** Bioglass; Biocompatibility; Biomaterials; Ceramic materials; Bioactivity.

## Introducción

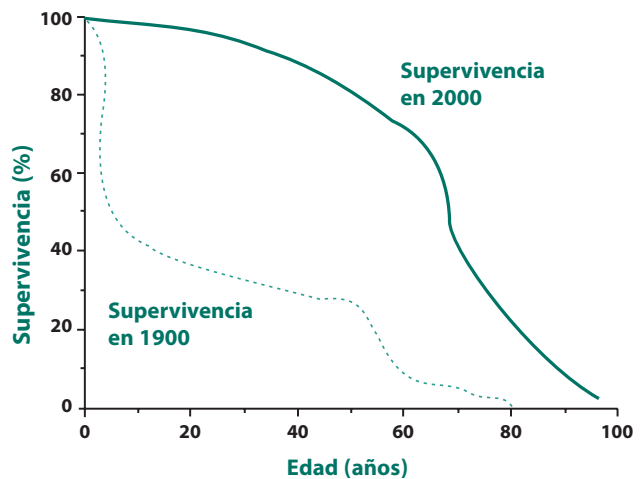
El termino *biomaterial* fue tomado inicialmente para describir un material que podría ser utilizado para reemplazar huesos y tejidos enfermos o dañados en un organismo vivo, (Williams, 1987); sin embargo el trabajo interdisciplinario ha hecho que la definición sea más amplia; en ese sentido, los biomateriales pueden ser considerados como productos aptos para ser utilizados en los seres humanos con fines de tratamiento o alivio de una enfermedad, lesión o bien para sustitución o modificación de su anatomía o de un proceso fisiológico (Enderle, 2005; Souto *et al.*, 2003); es por esto que se han desarrollado diferentes materiales que puedan suplir los requerimientos físicos, químicos y biológicos para un perfecto funcionamiento que garanticen las mejores condiciones de trabajo y los mejores resultados (Geringer *et al.*, 2013; García *et al.*, 2004).

En el campo de los biomateriales puede hacerse una clasificación primaria por la naturaleza del material: Biometales, Biopolímeros, cerámicos; a pesar de sus diferencias, su principal propiedad es la de no generar residuos tóxicos en la interacción con el organismo. (Liu *et al.*, 2010; Lang *et al.*, 2008); sin embargo, en el caso de los metales es posible que se presenten problemas como corrosión, fatiga, desgaste y combinaciones; en el caso de los polímeros la degradación química en aplicaciones de uso prolongado y el desgaste bajo condiciones mecánicas son factores de gran impacto a la hora de la selección y diseño de dispositivos con estos materiales. (Vijayalakshmi *et al.*, 2012; Tiwari *et al.*, 2007).

Los materiales cerámicos han sido investigados ampliamente para el uso en el desarrollo de dispositivos implantables y en el desarrollo de funciones fisiológicas (Guo *et al.*, 2004; Lee *et al.*, 2010) Por el alto parecido textural del tejido tisular con los materiales cerámicos convencionales, los biocerámicos han sido profundamente estudiados en cirugía bucal, cirugía ortopédica, cirugía del

oído medio y en el recubrimiento de implantes dentales y articulaciones ya que estos materiales pueden clasificarse como bioinertes, bioactivos y reabsorbibles, dependiendo de su interacción con el tejido o medio de contacto. (Castleman *et al.*, 1976).

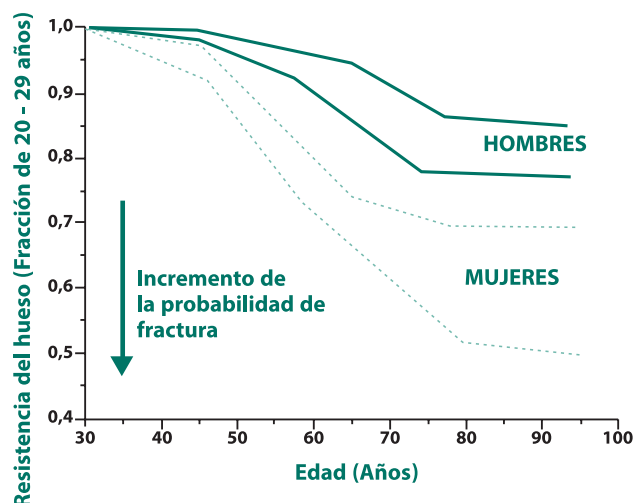
Sea cual sea la aplicación biomédica o la forma de obtención del biovidrio, su investigación desarrollo e investigación han generado un alto impacto en la sociedad, aumentando la esperanza de vida de la población; de hecho, se ha estudiado el incremento en la esperanza de vida en Estados Unidos y Europa durante el siglo XX (National Research Council, 1997; FDA, 1995). La Figura 1 representa una comparación en el incremento de la esperanza de vida en entre Estados Unidos y Europa durante el siglo XX.



**Figura 1.** Incremento en la esperanza de vida en Estados Unidos y Europa durante el siglo XX.  
Fuente: National Research Council, 1997.

## Biovidrio como aplicación en el reemplazo de tejido óseo

Los traumas y las enfermedades asociadas al envejecimiento, producen una disminución en las propiedades en los tejidos óseos; esto hace necesario el uso de materiales biomédicos para reemplazar o reparar dichos tejidos (Enderle, 2005). Para el caso del tejido óseo, la disminución en la densidad de los huesos a partir de los treinta años de edad puede traducirse en una reducción de su resistencia mecánica hasta el 40%, sin embargo en las mujeres puede ser aún mayor. La Figura 2 muestra el efecto de la edad en la resistencia mecánica del hueso y la probabilidad de fractura. (Hench, 1991).



**Figura 2.** Efecto de la edad en la resistencia mecánica del hueso

Fuente: Hench, 1991.

Los vidrios son materiales cerámicos producidos a partir de la fusión y enfriado a una condición rígida sin cristalización de materiales inorgánicos a altas temperaturas, por esto se obtiene una estructura amorfa, por esta razón estos materiales están constituidos por estructuras de corto alcance aleatorias (De aza *et al.*, 2013; Hench *et al.*, 2013). Los materiales bioactivos son aquellos que están en capacidad de establecer una fuerte unión con el tejido óseo; despiertan un gran interés con miras a su aplicación en la industria biomédica en implantación para sustitución y reparación de tejidos óseos (Ng, *et al.*, 2005; Donald *et al.*, 2011).

Estos materiales bioactivos han sido investigados como andamios que permitan la formación de tejido óseo y por medio de un enlace entre el hueso y el andamio, mediante la transformación gradual del vidrio en hidroxiapatita, el constituyente mineral primario del hueso (Hench *et al.*, 1984; Hench, 1998). Otros estudios han demostrado estas características osteoconductoras y osteoinductivas también vienen acompañadas de un buen comportamiento mecánico que supera el alcanzado por otro tipo de andamios de tipo polimérico (Fu *et al.*, 2007a; Lockyer *et al.*, 1995). Algunos investigadores han realizado estudios en vidrios en forma de partículas y fibras para obtener estudios proximales y de formación de células pre-osteoblásticas que muestran un crecimiento en estas células y una disminución proporcional del carácter bioactivo como función de la transformación del biovidrio en hidroxiapatita (Brown *et al.*, 2007; Fu *et al.*, 2007b).

Estudios de biocompatibilidad y osteógenes de andamios biomiméticos de biovidrio, colágeno y fosfatidiserina con aplicaciones en la ingeniería de tejidos,

por medio de ensayos *in-vivo* e *in-vitro* revelaron que dichos andamios tuvieron una buena respuesta radiográfica e histológica evidenciando un excelente comportamiento osteogénico y osteoconductor. (Xu *et al.*, 2011).

Otro uso encontrado para este cerámico biocompatible dentro de su amplio espectro de posibles utilidades ha sido la utilización como con los cuales se han obtenido cambios en diferentes propiedades de algunos materiales que han sido reforzados con biovidrio. Habide *et al.* (2009) estudiaron el efecto de la adición de vidrio bioactivo en biocerámicas de compuestos sinterizados de itria y circonio; en esta investigación se determinó que hubo una disminución en la citotoxicidad, pero también en la dureza y la resistencia a la fractura. Se realizó un estudio de adición de biovidrio 45S5 a hidroxiapatita con el fin de mejorar la proliferación y transformación en apatita de los osteoblastos; en este proyecto sinterizaron ambos compuestos y se realizaron diferentes estudios a nivel celular para medir la influencia del vidrio en la estructura de la matriz de hidroxiapatita obteniendo una mejora substancial en las propiedades de biocompatibilidad por parte del compuesto en relación al comportamiento de la hidroxiapatita. (Demirkiran *et al.*, 2010; Shirtliff *et al.*, 2013).

Con el fin de conocer las propiedades mecánicas de la hidroxiapatita Guo *et al.* (2004), describieron un proceso con el cual compararon las propiedades mecánicas de compuestos de hidroxiapatita con fibras de acero AISI 316L y un compuesto análogo de biovidrio 45S5 con fibras del mismo acero, los autores no encontraron mejoras substanciales entre uno y otro material aparte del leve incremento en la resistencia al doblamiento por parte del compuesto de biovidrio. (Altomare *et al.*, 2011)

## Aplicaciones de biovidrio en el campo de los recubrimientos

Un recubrimiento es un material depositado sobre otro que actúa como base (sustrato) y que tiene como función mejorar las propiedades de dicha base, con el uso de los recubrimientos se pueden modificar propiedades físicas y químicas, tales como propiedades superficiales, mecánicas tribológicas, electroquímicas y de biocompatibilidad, en esta última rama se presentan reacciones como osteointegración, proliferación celular entre otras (Ratner *et al.*, 2003).

Para la mayoría de aplicaciones clínicas se requiere soportar cargas; teniendo en cuenta este principio se

emplean implantes metálicos de diferentes aleaciones. Aunque si bien presentan elevada resistencia mecánica, también presentan dificultades tales como la diferencia de los valores de modulo elástico entre la aleación y el hueso, corrosión por los fluidos corporales y la imposibilidad de regenerar el hueso natural debido a la formación de una capsula fibrosa en la interface metal hueso producto de la respuesta del organismo ante el metal (Vossen, 1980).

Las modificaciones superficiales se dividen en dos categorías; la primera es la alteración química o física de los átomos, compuestos o moléculas en la superficie existente (tratamientos, abrasión mecánica, modificación química), y la segunda es el recubrimiento de una superficie existente con un material de diferente naturaleza; en esa rama se puede contar con la deposición de películas delgadas, uso de injertos y el uso de recubrimientos más robustos. (Abella, 2003). Las películas crecidas sobre el sustrato pueden modificar las propiedades mecánicas y funcionales del material, por lo que debe tenerse en cuenta el espesor de las mismas, los recubrimientos muy robustos son víctimas de la delaminación (Abe *et al.*, 1990).

Dado que las características superficiales de un implante son muy importantes durante las primeras etapas de la respuesta biológica así como las primeras interacciones bioquímicas en ciertos sitios del implante son decisivas respecto al transcurso de las reacciones posteriores y la arquitectura final de células/tejidos en la interface (Spencer *et al.*, 1998). La modificación superficial de los dispositivos ortopédicos e implantables se han desarrollado con el fin de conferir o potencializar una o varias propiedades de respuesta; la Tabla 1 muestra los tipos de modificaciones en función del sitio y el dispositivo. (Vörös *et al.*, 2001).

Los biovidrios han sido ampliamente estudiados

en el área de los recubrimientos, con el fin de mejorar las condiciones de bioactividad de los sustratos, como todo material bioactivo en contacto con el hueso se caracteriza por una modificación de la superficie, en función del tiempo en contacto con el fluido fisiológico, que ocurre después de la implantación, (Hench, 2005); por tal razón, se ha evidenciado una tendencia marcada a desarrollar modificaciones superficiales en implantes, puesto que existen materiales que interactúan mucho mejor con las proteínas y células de una manera más eficiente que los materiales de prótesis con conceptos de superficie convencionales.

Los biovidrios son vistos desde el punto de vista de la osteogénesis como un material bioactivo osteoprodutor, es decir estimulan el crecimiento de nuevo hueso incluso lejos de la interfase hueso implante (Jones, 2005). Diferentes autores sugieren que el aumento de las funciones de células óseas es dependiente de las características morfológicas de la superficie de los materiales y su interacción química. (Liu *et al.*, 2010; Lamers *et al.*, 2010).

Teniendo en cuenta el carácter bioinerte de las aleaciones metálicas, los recubrimientos de vidrio bioactivo además de promover el enlace directo con el tejido permite la aplicación en condiciones de soporte de cargas por su alta dureza, (Hench *et al.*, 1996), aunque también existen otros factores importantes como la protección del metal contra la corrosión por el medio fisiológico, pero también la protección del tejido en contacto de los productos de corrosión, finalmente optimizar la fijación de los implantes mediante la mejor distribución de tensiones en la interface implante-hueso. (Gross *et al.*, 1988).

**Tabla 1.** Propiedades que caracterizan la superficie de un implante

| <b>Propiedad</b>      | <b>Descripción</b>                                     |
|-----------------------|--------------------------------------------------------|
| Composición química   | Composición atómica y estado químico de los elementos  |
| Estructura y defectos | Cristalinidad, inclusiones vacantes y límites de grano |
| Morfología            | Forma 2D y 3D de los detalles superficiales            |
| Textura               | Área específica                                        |
| Rugosidad             | Porosidad                                              |
| Energía superficial   | Mojabilidad, Adsorción, Energía superficial            |
| Eléctrica             | Potencial de superficie                                |
| Mecánica              | Elasticidad, plasticidad, tensión residual             |

**Fuente:** (Vörös *et al.*,) 2001.

Investigadores han obtenido recubrimientos de vidrio por diferentes métodos que van desde las prácticas electroquímicas hasta recubrimientos logrados por proyección térmica, por combustión oxiacetilénica, según estudios sobre la influencia de los parámetros de deposición en la porosidad y adherencia de recubrimientos de vidrio obtenidos por esta técnica. (Correa *et al.*, 2013).

La sinterización de polvos y recubrimientos de biovidrio/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  es posible pero la existencia del óxido de aluminio perjudica el comportamiento bioactivo del vidrio ya que no permite la formación del enlace Si-OH necesario para la formación de las apatitas (Sierra *et al.*, 2015; Bravo *et al.*, 2014), aunque otros estudios sugieren lo contrario, recubrimientos de biovidrio-sílice obtenidos por el método sol-gel, sobre sustratos de acero AISI 316L, encontraron que durante la exposición de los mismos al fluido fisiológico simulado se genera una película compuesta de apatita amorfa, hidroxiapatita y  $\text{CaSiO}_3$ . (Pourhashem y Afshar, 2014).

En estudios realizados, se obtuvieron películas delgadas de biovidrio sobre sustratos de titanio mediante deposición por láser pulsado, en este estudio se revisó la reactividad y el intercambio iónico entre la capa depositada y una solución salina que simula los fluidos corporales conocida en inglés como *simulated body fluids solution* (SBF) (Berbecaru *et al.*, 2009).

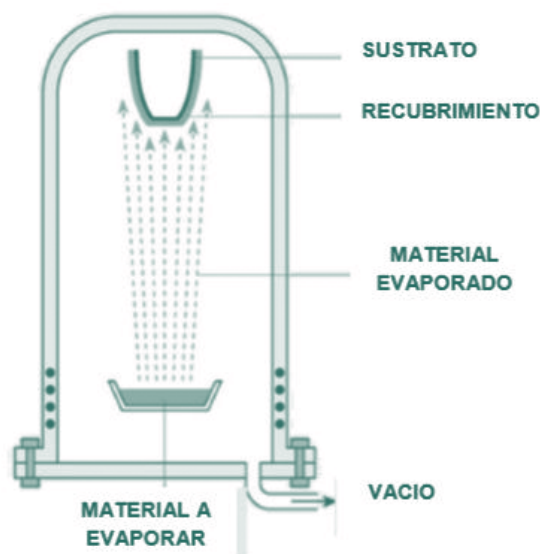
Nuevas familias de vidrios en otros elementos composicionales como han sido los obtenidos como recubrimientos bioactivos a través de la técnica de dip-coating (Lopez-Esteban *et al.*, 2003; Gómez-Vega *et al.*, 1999), estos recubrimientos mostraron ser materiales promisorios para aplicaciones en implantes ortopédicos.

### Aplicación de PVD con evaporación al vacío como posible método de obtención de capas de biovidrio sobre sustratos metálicos

Técnicas de deposición como proyección por llama, proyección por plasma inmersión y las mencionadas anteriormente pueden presentar problemas asociados a las tensiones residuales generadas por la diferencia en los coeficientes de expansión térmica generadas entre el vidrio y el sustrato, (Gómez-Vega *et al.*, 1999) por otra parte, en algunas de estas técnicas por la alta reactividad es probable la formación de burbujas y fases frágiles en la interfaz, que puede traer problemas de adhesión y de fisuras (Andrews,

1961). Las técnicas de deposición por PVD han tenido gran acogida en el campo de la modificación superficial debido a la pureza de los recubrimientos, la posibilidad de recubrir piezas con geometrías complejas (Wasa *et al.*, 2005). La deposición física en fase vapor permite también la transferencia tecnológica a la industria, prueba de esto son los recubrimientos decorativos y semiconductores, esta técnica se caracteriza por producir películas con buena adherencia al sustrato y una densidad cercana a la del sustrato (Surmenev, 2012). Alrededor del mundo autores han planteado diferentes investigaciones en torno a las propiedades estructurales, químicas y biológicas de los recubrimientos de vidrio bioactivo, sin embargo la información al respecto aun es escasa y poco contundente. (Tang *et al.*, 2006).

La técnica de PVD con evaporación en vacío es una técnica que ha sido utilizada en la obtención de recubrimientos comerciales; consiste básicamente en evaporar un material en condiciones de alto vacío (en el rango de  $10^{-5}$  a  $10^{-9}$  Torr) produciendo así un flujo de vapor que se deposita y condensa en la superficie del sustrato (Mattox, 1998). La figura 3 muestra el esquema del principio del funcionamiento de la técnica.



**Figura 3.** Esquema del proceso operativo del proceso de evaporación al vacío.

Fuente: Mattox, 1998.

Estudios mostraron que los recubrimientos obtenidos por esta técnica tienen una orientación cristalográfica que depende del flujo de iones, esta a su vez afecta propiedades como rugosidad, resistencia a la corrosión por los esfuerzos residuales presentes y propiedades mecánicas (Ceh *et al.*, 2002; Sue *et al.*, 1989). Dicho esto, el estudio de la formación de películas delgadas de vidrio bioactivo por medio de

evaporación en vacío, podría ser vista como una nueva oportunidad para obtener recubrimientos de mejores características con una técnica de deposición en fase de vapor simplificada.

A partir de lo descrito en el presente trabajo, es evidente la necesidad de realizar estudios en el campo de los recubrimientos de vidrios bioactivos obtenidos por evaporación utilizando como método la deposición en fase vapor, ya que corresponde a un método novedoso de fabricación de recubrimientos biocompatibles y puede generar un nuevo campo de estudio en el amplio espectro de posibilidades de aplicación de estos materiales cerámicos. Además, teniendo en cuenta los beneficios desde el punto de vista biológico de los vidrios cerámicos y la creciente necesidad de mejorar los procesos y métodos de obtención de materiales biocompatibles más amables con el cuerpo y que mejoren las condiciones de recuperación de los pacientes, resulta de gran interés la posibilidad de obtener y caracterizar recubrimientos de vidrios bioactivos, obtenidos por el método de PVD sobre aleaciones empleadas por la industria biomédica, para mejorar la respuesta biológica de dispositivos así como el tiempo la calidad de la recuperación de pacientes.

## Conclusiones

Sin lugar a dudas, el diseño de biomateriales, dispositivos biomédicos y el análisis superficial han logrado un gran impacto positivo en incremento de la esperanza de vida, esto ha influido en el desarrollo de nuevas técnicas y de nuevas áreas del conocimiento. Por otra parte, el biovidrio ha sido altamente utilizado en el campo de los biomateriales por su carácter bioactivo y por su capacidad de promover la osteogénesis.

Parte del gran avance en la industria biomédica en lo que refiere al desarrollo de dispositivos implantables corresponde al avance en el análisis y caracterización superficial de los materiales base y la aplicación de técnicas de deposición de materiales de mejor comportamiento biocompatible. La técnica de evaporación en vacío puede ser vista como una nueva oportunidad dentro del campo de los biomateriales para generar más conocimiento y mayor avance en las técnicas de deposición por PVD.

## Referencias

- Abe, Y., Kokubo, T., Yamamuro, T. (1990). Apatite coating on ceramic metals and polymers utilizing a biological process. *Rev. Materials Science. Materials in Medicine*. 1: 233-238.
- Abella J. M, (Ed.) (2003); *Láminas delgadas y recubrimientos preparación, propiedades y aplicaciones*. Madrid, España: Editorial CSIC.
- Altomare, L.; Bellucci, D.; Bolelli, G.; Bonferroni, B.; Cannillo, V.; De Nardo, L.; Gadow, R.; Killinger, A.; Lusvarghi, L.; Sola, A.; Stiegler, N.; (2011), Microstructure and in vitro behavior of 45S5 bioglass coatings deposited by high velocity suspension flame spraying (HVSFS). *Rev. Mater. Sci, Mater. Med.* 22 1303 – 1309.
- Andrews, A. I., (1961). *Porcelain Enamel. The Preparation, Applications and Properties of Enamels*. Mantova, Italia: Editorial Tipografia Commerciale.
- Berbecaru, C.; Alexandru, H. V.; A.; Ianculescu, A.; Popescu A.; Socol, G.; Sima, F.; Mihailescu, I. (2009). Bioglass thin films for biomimetic implants. *Rev. Applied Surface Science* 255: 5476–5479.
- Bravo, O. M.; Sierra, Acevedo, J. H.; Córdoba, M. E. (2014). Síntesis y caracterización de biorecubrimientos de biovidrio/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ . *Rev. Colombiana de Materiales* 5, 224-230.
- Brown, R. F.; Day, D. E.; Day, T. E.; Jung, S. Rahaman, M. N.; Fu, Q. (2007). Growth and Differentiation of Osteoblastic Cells on 13-93 Bioactive Glass Fibers and Scaffolds. *Acta Biomater* 4(2):387-396.
- Castleman, L. S.; Motzkin, S. M.; Alicandri, F. P.; Bonawit VI. (1976). Biocompatibility of nitinol alloy as an implant material, *Rev. Biomed Mater*, 10 (5): 695-731.
- Ceh, O.; García-González L.; Morales-Hernández.; Espinosa-Beltran, F. J.; Oliva, A. I. (2002). Estudio de esfuerzos intrínsecos y dureza de recubrimientos de TiN/c-Si fabricados por la técnica de evaporación por arco eléctrico. *Rev. Superficies y Vacío* 14, 15-20.

- Correa, R.; Monsalve, M.; López, E.; Bolívar, F.; Vargas, F.; Tatiana Ríos, T.; Muñoz, A. (2013). Influencia de los parámetros de deposición en la porosidad y adherencia de recubrimientos de biovidrios del sistema  $31\text{SiO}_2\text{-}11\text{P}_2\text{O}_5\text{-}51\text{CaO-}7\text{MgO}$  elaborados mediante proyección térmica por combustión oxiacetilénica *Rev. LatinAm. Metal. Mater.*, 33 (1).
- De Aza, P.N. Luklinska, Z.B.(2003). Efecto de la microestructura sobre la bioactividad de dos materiales vitrocerámicos del sistema  $\text{CaSiO}_3\text{-ZrO}_2$ , *Rev. Soc. Esp. Cerám.Vidrio*, 42, (2), 101-106.
- Demirkiran, H.; Mohandas, A.; Dohi, M.; Fuentes, A.; Nguyen, K.; Aswath, P, (2010). Bioactivity and mineralization of hydroxyapatite with bioglass as sintering aid and bioceramics with  $\text{Na}_3\text{Ca}_6(\text{PO}_4)_5$  and  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_2\text{SiO}_4$  in a silicate matrix, *Rev. Materials Science and Engineering C* 30. 263–272.
- Donald, I. W.; Mallison, P. M.; Metcalfe, B. L.; Gerrard, L. A.; Fernie, J. A. (2011). Recent developments in the preparation, characterization and applications of glass- and glass-ceramic-to-metal seals and coatings. *Rev. Mater Sci* 46:1975–2000
- Enderle, J. D. (2005) *Introduction to biomedical engineering*. Connecticut, Estados Unidos: Editorial Academic press
- FDA, (1995). *Blue-Book Memorandum G95-1: FDA-modified Version of ISO-10993- Part 1, Biological Evolution of Medical Devices – Part I: Evaluation and Testing*.
- Fu, Q.; Rahaman, M. N.; Bal, B. S.; Huang, W.; Day, D. E. (2007a), Preparation and Bioactive Characteristics of a Porous 13-93 Glass, and Fabrication into the Articulating Surface of a Proximal Tibia. *Biomed. Mater. Res.* 82A, 222-229.
- Fu, Q.; Rahaman, M. N.; Brown, R. F.; Bal, B. S.; Day, D. E. (2007b). Fabrication of Macroporous Bioactive 13-93 Glass Scaffolds for Bone Tissue Engineering using a Polymer Foam Replication Technique, *Acta Biomater.*, 82, 1854–1864.
- García J. L.; Hernando de Larrarnendi, C.; Muñoz, D.; Gastaminza, G. (2004). Immunoallergic reactions to materials used in Orthopedic Surgery and Traumatology. *Rev. Patología del aparato locomotor de la Fundación Mapfre Medicina*, 2 (2): 114-125.
- Geringer, J.; Pellier, J.; Taylor, M.L.; Macdonald, D.D. (2013). Electrochemical Impedance Spectroscopy: Insights for fretting corrosion experiments. *Rev Tribology International*, 68: 67–76.
- Gómez-Vega, J. M.; Saiz, E.; Tomsia, A. P. (1999), Glass-Based Coatings on Titanium Implant alloy, *Rev. Biomed. Mater. Res.*, 46, 549-559.
- Gross, V., Kinne, R., Schmitz, H. J. Y Struz, V. L. (1988). The Response of Bone to Surface Active Glass/Glass-Ceramics. *CRC-Crit. Rev. Biocompatibility*, 4, 2-15.
- Guo, H.B.; Miao, X.; Chen, Y.; Cheang, P.; Khor, K.A. (2004). Characterization of hydroxyapatite– and bioglass–316L fiber composites prepared by spark plasma sintering. *Rev. Materials Letters* 58. 304–307.
- Habide, A.F.; Maeda, L.D.; Souza, R.C.; Barboza, M.J.R.; Daguanio J.K.M.F.; Rogero, S.O.; Santos, C. (2009). Effect of bioglass additions on the sintering of Y-TZP bioceramics. *Rev. Materials Science and Engineering, C* 29, 1959–1964
- Hench, L.L. (1998). Bioceramics. *Rev. Am. Ceram. Soc.* 8,1 1705-1728.
- Hench, L.L. y Wilson, J. (1984), Bonding mechanism at the interface of ceramic prosthetic materials *Rev. Surface Active Biomaterials Science*. 226, 630 -636.
- Hench, L.L. y Wilson, J., (1996). *Clinical Performance of Skeletal Prostheses*. Londres, Reino Unido: Editorial Springer Science – Business Media
- Hench, L. L., (1991). Bioceramics: From Concept to Clinic, *Rev. Am. Ceram. Soc.*, 74, 1487-1510.
- Hench, L. L., (2005). *Repair of Skeletal Tissues. Biomaterials, Artificial Organs and Tissue Engineering*. Londres, Reino Unido: Editorial Springer Science – Business Media

- Hench, L.L.; Best, S. (2004). *Ceramics, Glasses and Glass- Ceramics*. En Ratner, B., Hoffman, A., Schoen, F., Lemons, J. (Ed.), *Biomaterials Science: Materials in medicine* (2da edición). Elsevier, 153 – 170.
- Jones, J. R. (2005). *Scaffolds for Tissue Engineering, en Biomaterials, Artificial Organs and Tissue Engineering*, Eds. Hench, L. L. y Jones, J. R., Woodhead Pub. Ltd., Cambridge, England.
- Lamers E. (2010). The influence of Nano scale topographical cues on initial osteoblast morphology and migration. *Rev. European cells and materials*, 20: 329-343.
- Lang, J. E., Whiddon, D. R., Smith E. L., Salyapongse, A. K. (2008). Use of ceramics in total hip replacement. *Rev. Surg. Orthop. Adv.*, 17, 51 – 57.
- Lee, K.; Choe, H. C.; Kim, B.-H.; Ko, Y. M. (2010). The biocompatibility of HA thin films deposition on anodized titanium alloys. *Rev Surface and Coatings Technology*, 205, S267-S270.
- Liu, X.; Chu, P. K.; Ding, C. (2010). Surface Nano-functionalization of biomaterials, *Rev. Materials Science and Engineering: R: Reports*, 70 (3): 275-302.
- Lockyer, M. W. G.; Holland, D.; Dupree, R. 1995. Investigation of the structure of some bioactive and related glasses. *Rev. Non-Crys. Sol.*, 188, 207–219.
- Lopez-Estebana S.; Saiza, E.; Fujinob, S.; Okuc, T.; Sukanumac, K.; Tomsia, A.P. (2003), Bioactive glass coatings for orthopedic metallic implants. *Rev of the European Ceramic Society*. 23: 2921–2930.
- Mattox, D. M. (1998) *Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing*. New Jersey, Estados Unidos: Editorial Noyes Publications.
- National Research Council, (1997). *National materials advisory board newsletter*.
- Ng, B.S.; Annergren, I.; Soutar, A. M.; Khor, K. A.; Jarfors, A. E. W. (2005). Characterization of a duplex TiO<sub>2</sub>/CaP coating on Ti6Al4V for hard tissue replacement. *Biomaterials*, 26, (10): 1087-1095.
- Pourhashem S, Afshar A. (2014). Double layer bioglass-silica coatings on 316L stainless steel by sol-gel method. *Ceramics International*. 40 (1, Part A):993-1000.
- Ratner, B., Hoffman, A., Schoen, F., Lemons, J. (Ed.). (2003). *Biomaterials science: an introduction to materials in the medicine*. Londres: Academic press
- Shirtliff, V. J. Hench, L. L. (2003) bioactive materials for tissue engineering, regeneration and repair. *Journal of materials science*. 38 pp. 4697-4707.
- Sierra, J. H.; Bravo, O.M.; Peña, P.A.; Cordoba, M.E. (2015). Evaluación electroquímica de recubrimientos de biovidrio/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> soportados sobre acero inoxidable AISI 316L y su relación con el carácter bioactivo de las películas *Rev. LatinAm. Metal. Mat*, 35 (2).
- Souto,R.A.;Laz,M.M.;Reis,R.L.(2003),electrochemical behavior of different preparations of plasma-sprayed hydroxyapatite coatings on Ti6Al4V substrate. *Rev. Biomaterials*, 24 (23): 4213–4221.
- Spencer, N. D.; Textor, M. (1998). *Surface Modification, Surface Analysis, and Biomaterials*. Recuperado de: [http://www.textorgroup.ch/pdf/publications/journals/22/Spencer\\_MatDay\\_1998.pdf](http://www.textorgroup.ch/pdf/publications/journals/22/Spencer_MatDay_1998.pdf)
- Sue, J. A.; Troue, H. H. (1989).Influence of crystallographic orientation, residual strains, crystallite size and micro hardness on erosion in ZrN coating. *Rev. Surf. Sci. Technol*. 40, 421 – 434.
- Surmenev, R.A. (2012), A review of plasma-assisted methods for calcium phosphate-based coatings fabrication. *Rev. Surf. Coat. Technol*. 206. 2035 - 2056.
- Tang, C. Y., Tsui, C. P., Janackovic, D. J., Uskokovic, P. S. (2006). Nano mechanical properties evaluation of bioactive glass coatings on titanium alloy substrate, *Rev. Optoelectron. Adv. Mater*. 8: 1194 – 1199.
- Tiwari, S.K.; Mishra, T, Gunjan M.K.; Bhattacharyya, A.S.; Singh, T.B.; Singh, R. (2007) Corrosion

- degradation and prevention by surface modification of biometallic materials. *Rev. Surface and Coatings Technology*. 201 (16-17): 7582-7588.
- Vijayalakshmi, U.; Rajeswari, S. Development of Silica Glass Coatings on 316L SS and Evaluation of its Corrosion Resistance Behavior in Ringer's Solution. *Rev. Metallurgical and Materials Transactions A*, 2012; 43 (12): 4907-4919.
- Vörös, J., Wieland, M., Ruiz-Taylor, M., Textor, M. Y Brunnete, D. M. (2001). *Characterization of Titanium Surfaces*, en *Titanium in Medicine: Materials Science, Surface Science, Engineering, Biological Responses and Medical Applications*, Eds. Brunnete, D. M., Tengrall, P., Textor, M. y Thomsen, P., Springer-Verlag, Berlin
- Vossen, J. L. (Ed.), (1980). *Thin Film processes*. Princeton, New Jersey: Academic Press.
- Wasa, K.; Haber, M.; Adach, I H. (2005). *Thin Film Materials Technology: Sputtering of Compound Materials*.
- Williams, D. F. (ed), (1987) *Definitions in Biomaterials: Proceedings of a Consensus*. Conference of the European Society for Biomaterials.
- Xu, C.; Su, P.; Chen, X.; Meng, Y.; Yu, W.; Xiang, A. P.; Wang, Y. (2011). Biocompatibility and osteogenesis of biomimetic Bioglass-Collagen-Phosphatidylserine composite scaffolds for bone tissue engineering. *Rev. Biomaterials*, 32, (4): 1051-1058.

# Reciclaje de residuos de cuero: una revisión de estudios experimentales

## Recycling of waste leather: a review of experimental studies

Recibido: 04- 05 - 2015 Aceptado: 05-11-2015

Sandra Milena Velásquez Restrepo<sup>1</sup>  
Diego Hernán Giraldo Vásquez<sup>2</sup>  
Natalia Cardona Vásquez<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Colombiana, Líder de Innovación y Desarrollo Tecnológico del Centro de Diseño y Manufactura del Cuero del SENA Itagüí, Antioquia. Bioingeniera, Magíster en Ingeniería, Especialista en Gerencia. Grupo BIOMATIC - Biomecánica, Materiales, TIC, Diseño y Calidad para el sector cuero, plástico, caucho y sus cadenas productivas.

<sup>2</sup> Colombiano, Profesor del Programa de Ingeniería de Materiales de la Universidad de Antioquia. Ingeniero Mecánico, Magíster en Ingeniería. Grupo de Materiales Poliméricos.

<sup>3</sup> Colombiana, Ingeniera de Materiales, Grupo BIOMATIC-Biomecánica, Materiales, TIC, Diseño y Calidad para el sector cuero, plástico, caucho y sus cadenas productivas. Grupo de Materiales Poliméricos de la Universidad de Antioquia.

### Resumen

El curtido del cuero convierte las pieles naturales en materiales flexibles, imputrescibles y duraderos, mediante complejos procesos que generan cantidades significativas de residuos que representan un problema ambiental si no se gestionan adecuadamente. Se presenta una revisión de la literatura sobre la reutilización de residuos sólidos procedentes de las operaciones de procesamiento del cuero. Se encontraron cuatro renglones de investigación ampliamente reportados; en primer lugar, la pirólisis de los residuos para la obtención de combustibles sólidos alternativos y para la síntesis de materiales carbonosos con propiedades multifuncionales, con potencial para el secuestro de dióxido de carbono y para la adsorción de tintes en soluciones acuosas. Los otros tres renglones identificados son la obtención de biodiesel mediante transesterificación, la modificación de asfaltos y el uso de residuos de cuero como material reforzante en mezclas de caucho. La revisión de la literatura indicó que es posible disminuir el impacto ambiental de la industria del cuero, no sólo mediante el tratamiento de efluentes, que ha sido la temática más estudiada, sino tratando los residuos sólidos que se generan durante el curtido para obtener nuevos y valiosos productos.

**Palabras claves:** procesamiento del cuero; carnaza; curtido; reciclaje de residuos sólidos.

### Abstract

Tanning transforms raw hides in leather, a rot-proof, flexible and durable material. During this complex process significant amounts of waste are generated. Therefore, an appropriate environmental management is required. This work presents a review on the recycling of solid waste from leather processing. Pyrolysis was found as a widely studied way for recycling leather scrap, obtaining alternative solid fuels and carbonaceous materials with multifunctional

properties, potentially useful for carbon dioxide capture and dye adsorption in aqueous solutions. Transesterification of leather for biodiesel production, mixing of leather scrap with asphalt for improving the durability of pavements and reinforcement of rubbers appears to be viable processes for wastes of tanning. We conclude that is possible to reduce the environmental pollution from leather industry, not only by effluent treatment, by processing the solid waste for obtaining valuable new products.

**Keywords:** Leather processing; wet blue; tanning; solid waste recycling.

## Introducción

El curtido es el proceso que transforma las pieles de varias especies animales hasta hacerlas permanentemente imputrescibles, pero conservando su estructura natural fibrosa y por ende su resistencia y flexibilidad (NPCS, 2005). Con el cuero, nombre otorgado a la piel curtida, se fabrica calzado, muebles, tapicería, vestuario, guantes, accesorios personales e incluso algunas piezas industriales (Marshall, 2003).

La producción de cuero es una actividad relevante para el desarrollo económico de países como Turquía, China, India, Pakistán, Etiopía, Italia, España, Brasil (Orhon *et al.*, 1999; Leta *et al.*, 2004; Lefebvre *et al.*, 2006; Rajesh y Kaliappan, 2007; Kanagaraj *et al.*, 2015) y Colombia (DNP, 2014). Las primeras curtiembres colombianas datan de 1920 en Antioquia y de 1950 en los municipios de Villapinzón y Chocontá en Cundinamarca. Actualmente existen curtiembres en Nariño, Quindío, Risaralda, Cundinamarca, Antioquia, Atlántico, Valle del Cauca, Tolima, Bolívar, Santander y Huila, es decir, en los 11 departamentos del país con mayor actividad económica (Alzate, 2008). Es pertinente indicar que la cadena colombiana del cuero ha registrado superávit comercial a partir de 2003, e incluso es considerada por en el Plan Nacional de Desarrollo como un sector productivo clave para varias regiones del país, específicamente en la estrategia que apunta a crear plataformas tecnológicas y competitivas para aprovechar el talento humano de la región, y que sean fuente de empleos nuevos y sofisticados (DNP, 2014).

No obstante ser una industria económicamente importante, deben tomarse cuidados para mitigar la contaminación ambiental causada por los desechos generados durante el procesamiento del cuero, aunque en los últimos años se han implementado importantes mejoras

tecnológicas para disminuir el impacto sobre el ambiente (Dixit *et al.*, 2015).

Para comprender el tipo de residuos que se generan, es pertinente indicar que en el proceso de curtido se presentan cuatro sub-grupos que a su vez implican múltiples tareas cada uno, los cuales son: operación, curtido, recurtido y acabado (Beghetto *et al.*, 2013) como se esquematiza en la Figura 1. Durante el proceso se generan gran cantidad de desechos sólidos y líquidos, que debe tratarse adecuadamente para evitar generar alta contaminación ambiental; una de las formas de atenuar el riesgo es la introducción de tecnologías limpias sostenibles (Kanagaraj *et al.*, 2015), o la incorporación de valor agregado a estos residuos (Shabani *et al.*, 2009), siendo este último uno de los principales retos para las curtiembres en el mundo (Cabeza *et al.*, 1998; Rao *et al.*, 2002), y Colombia no es la excepción.

La mayoría de los residuos sólidos corresponde a la piel defectuosa no procesada, trozos de cuero procesados y otros, que representan más de 150.000 toneladas por año en todo el mundo (Bermúdez, 2013), los cuales contienen metales y productos químicos que incluyen cromo, titanio y otros (El-Sabbagh y Mohamed, 2011). De aquí la importancia de encontrar alternativas que le den valor agregado a este tipo de residuos, ofreciendo una alternativa a la práctica actual de disponerlos en los vertederos.

Considerando que pueden emplearse diversos métodos para obtener diferentes aplicaciones para este tipo de residuos, esta revisión describe varios logros importantes para la reducción de la contaminación con el tratamiento de residuos sólidos proteicos procedentes de las operaciones del cuero después del curtido, incluyendo las posibles aplicaciones que se le pueden dar a este tipo de materiales.

Es pertinente tener en cuenta que el proceso de curtido es diferente para cada producto final, y el tipo y la cantidad de residuos que se producen pueden variar significativamente (Islam *et al.* 2014). Los químicos utilizados durante el procesamiento del cuero son muy variados: ácidos, álcalis, sales de cromo, taninos, disolventes, sulfuros, colorantes, entre muchos otros compuestos que se utilizan en la transformación de pieles en bruto en bienes comerciales (Lofrano *et al.* 2013). Estos compuestos no se fijan por completo a las pieles y pueden migrar hacia el agua que posteriormente se vierten en la red sanitaria, de aquí que un gran número de investigaciones de esta industria se centran en buscar alternativas para disminuir la contaminación de aguas (Suganthi *et al.* 2013; Fabbicino *et al.* 2013; Mannuci *et al.* 2010;). Sin embargo, son

pocos los estudios relacionados con procesos y tecnologías que valoricen los residuos sólidos para convertirlos en nuevos productos como por ejemplo, materiales, productos químicos y energía, los cuales según algunos investigadores deben ser el foco de futuros proyectos de investigación (Lin *et al.* 2012; El-Sabbagh y Mohamed, 2011). Agregar valor a

los residuos, a diferencia de la gestión básica de disponerlos en los rellenos sanitarios, podría ser una alternativa para que las organizaciones disminuyan el impacto ambiental al mismo tiempo que obtienen subproductos que generarían nuevos ingresos (Lofrano *et al.* 2013).



**Figura 1.** Flujograma del proceso de curtido  
**Fuente:** (Adaptado de Beghetto *et al.*, 2014; Cooman *et al.*, 2003)

De forma similar han sido reportados algunos estudios que presentan tratamientos y usos alternativos para este tipo de residuos, que pueden ser llevados a aplicaciones específicas y útiles para la industria en general, como se describe a continuación.

## Principales aplicaciones para los residuos de cuero

La pirólisis puede ser una de las rutas alternativas para el tratamiento de los residuos sólidos obtenidos en las curtiembres (Lua *et al.*, 2004). Consiste en calentar el material orgánico en una atmósfera inerte, siendo un método ampliamente aplicado al tratamiento de residuos orgánicos, entre los que se encuentran los agrícolas, las llantas fuera de uso, los lodos de depuradora y los plásticos. Los productos de la reacción son gases, que se pueden utilizar como combustible, petróleo que se puede usar como combustible o como materia prima para

productos químicos, y residuos carbonosos que se pueden usar como combustible o para la producción de carbón activado (Yilmaz *et al.*, 2007). Se presentan algunos estudios sobre la pirólisis de residuos de cuero para aplicaciones en combustibles y para la síntesis de materiales carbonosos.

## Utilización de residuos sólidos de la industria del cuero como fuente de combustión

El aumento del precio del petróleo, así como la disminución de las reservas mundiales del crudo, se han convertido en las principales causas de la búsqueda y desarrollo de combustibles alternativos (Silitonga *et al.*, 2013), en particular para transporte y propósitos industriales (Koutinas *et al.*, 2012). En un estudio realizado por Yilmaz *et al.*, (2007), se trató mediante pirólisis residuos de cuero en varias presentaciones como: virutas de cuero curtidas al cromo, y/o con tintes vegetales y en la forma de

polvo esmerilado, mostrando características interesantes como fuente para la producción de combustibles; el polvo de esmerilado presentó el más alto rendimiento en producción de aceite (23% en peso), mientras que los otros dos desechos produjeron entre 8% y 9%. Los rendimientos de residuos carbonosos estuvieron entre 37,5% y 48,5%, y su valor calórico estuvo entre 4300 y 6000 kg<sup>-1</sup> kcal, valores adecuados para esta aplicación. La producción de combustible sólido a partir de residuos de cuero es una alternativa técnicamente viable de ser implementada a escala industrial, pero se debe considerar el tratamiento del amoníaco, cianuro de hidrógeno y dióxido de azufre que se generaron durante el proceso, así como la viabilidad económica dadas las altas temperaturas requeridas y la necesidad de emplear gases inertes (Font *et al.*, 1999).

## Síntesis de Materiales Carbonosos

Los carbones activados se pueden producir a partir de materiales carbonosos por activación química (Girgis e Ishak, 1999) y por activación física (Lua *et al.* 2004; San Miguel *et al.*, 2003). El método de activación física implicó la pirólisis de la materia prima, y la posterior activación a alta temperatura en una atmósfera de dióxido de carbono o vapor, de tal manera que en realidad se trató de una activación térmica. La activación química implicó la impregnación de los residuos de cuero en agentes químicos activantes como el ácido fosfórico, el cloruro de zinc, el hidróxido de potasio o el carbonato de potasio; estos activantes degradan el material orgánico remanente en el residuo carbonoso tipo *char*, al promover reacciones de deshidratación u oxidación en el precursor celulósico. La mezcla se sometió a pirolisis de tal manera que se elimina por arrastre el material volátil que aún permanece en el residuo carbonoso tipo *char* y que genera poros libres. El mecanismo de activación depende del tipo del agente activante utilizado, pues en el caso de los hidróxidos éstos reaccionan con el carbono a temperaturas entre 630 °C y 730 °C, para producir finalmente sodio o potasio metálico, según el activante empleado, y monóxido de carbono. Aunque los mecanismos por los cuales se dio la formación de poros no son claramente entendidos (Afinata *et al.*, 2007), se encontró que el carbonato de potasio se redujo por el carbón en atmósfera inerte lo cual dio paso a la formación de potasio metálico. Independientemente del tipo de activante empleado, la formación de iones metálicos en la superficie del residuo carbono se derivó en su activación química y por ende en su capacidad de adsorción (Hayashi *et al.*, 2002).

La obtención de carbón activado a partir de residuos de cuero curtidos al cromo se ha convertido en una opción útil para su disposición. Luego de ser clasificados según el tamaño de partícula, estos residuos se trataron a altas temperaturas (alrededor de 850°C) en una atmósfera de CO<sub>2</sub>, lo cual promueve el proceso de activación y formación del carbón activado (Oliveira *et al.*, 2008). Estos materiales carbonosos o carbonatados tienen una estructura parcialmente injertada con una morfología de cebolla y están naturalmente enriquecidos con nitrógeno y oxígeno, con un área superficial aproximada de 800 m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup> (Yilmaz *et al.*, 2007) lo que les brinda propiedades multifuncionales (Ashokkumar *et al.*, 2012). Estas propiedades multifuncionales de los materiales carbonatados permiten su aplicación en el secuestro de CO<sub>2</sub> (D'Alessandro *et al.*, 2010; Ashokkumar *et al.*, 2012), electrodos para batería (Ashokkumar *et al.*, 2012; Thanikaivelan, 2011), fibras, geles, películas, obtención de esponjas por medio de la reticulación con varios compuestos para el campo de la cosmética, la medicina o la veterinaria (Catalina *et al.*, 2012; Catalina *et al.*, 2013) y como adsorbente de tintes en soluciones acuosas (Yilmaz *et al.*, 2007).

La aplicación potencial de los carbones activados obtenidos a partir de virutas de cuero curtido con anilinas vegetales ha sido también estudiada, y ha demostrado ser una buena opción como adsorbente para la eliminación de fenoles, azul de metileno y cromo hexavalente de aguas contaminadas (Kantarli y Yanik, 2010).

También se estudiaron otras formas de manejar los residuos de cuero diferentes a la pirólisis. A continuación se describen los principales estudios reportados.

## Utilización de residuos de cuero para la obtención de biodiesel

El biodiesel se posiciona como una alternativa a combustibles derivados del petróleo, sin embargo, como se obtuvo a partir de aceites vegetales (Barbosa *et al.*, 2010; Endalew *et al.*, 2011) y grasas animales (Alptekin y Canakci 2010; Encinar, 2011), la industria considera que el precio de estas materias primas en algunas aplicaciones no ha sido competitivo (Haas y Foglia, 2005). Por otra parte, algunos aceites vegetales y grasas animales son comestibles, lo que conlleva una intensa competencia con las industrias alimentarias. Recientemente los estudios se han dirigido hacia la utilización de materias primas no comestibles, de bajo costo y con alto contenido en lípidos para la producción

de biodiesel, como los residuos del curtido de cuero, que se describe a continuación.

Los métodos más utilizados para la producción de biodiesel a partir de residuos de cuero curtido se basan en la transesterificación, bien en una o en dos etapas, utilizando ácido y catalizadores alcalinos (Alptekin *et al.*, 2012; Kolomazník *et al.*, 2009; Özgünay *et al.*, 2007). El proceso se llevó a cabo usando un catalizador alcalino para convertir directamente los triglicéridos en ésteres de alquilo. Sin embargo, la transesterificación catalizada por álcali es muy sensible a altos contenidos de ácidos grasos libres (FFA, por su sigla en inglés) y agua reduciendo el rendimiento de biodiesel. Por lo tanto, este método se usó para materias primas refinadas con contenidos bajos de FFA y agua (Canakci, 2009).

### Utilización de residuos de cuero para la modificación de asfalto

En la actualidad se están realizando estudios mecánicos de asfalto modificado con polímeros y cueros que son utilizados en la elaboración del calzado. Esta línea de investigación ha sido la de mayor acogida en Colombia, si se compara con las demás aplicaciones estudiadas en la literatura (Barinas y Manotas, 2012; Aranda y Clavijo, 2014; Viveros y Gonzales, 2012; Reyes y Pinzón, 2013; Menjura, 2014). Estas investigaciones se han orientado a estudiar el comportamiento físico-mecánico del cemento asfáltico modificado con este tipo de desechos, y también a realizar el análisis químico del material modificado. Los desechos de calzado utilizado provenían de botas de seguridad, conocidas en la industria como calzado de dotación; se reporta que la adición de los residuos mejora las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica, mostrando que esta línea de investigación puede ser una alternativa muy viable para aprovechar los residuos de cuero (Moreno y Calvo, 2014; Gutiérrez *et al.*, 2014).

Otra investigación reciente también evalúa el comportamiento de muestras de asfalto modificado con cuero obtenido de las industrias de calzado, sin considerar otros polímeros como en los estudios referidos previamente. Se realizó un proceso de molienda del cuero, para posteriormente tamizarlo utilizando sólo el pasante por tamiz N° 40 y retenido en el tamiz N° 80. Se adicionó el cuero triturado como agente modificador en proporciones de 4%, 8% y 12% en peso. Para realizar el proceso de mezclado se calentó el cemento asfáltico en el horno hasta una temperatura de 150°C, que dio como resultado

un material fluido al que se adicionaron las partículas de cuero. Los autores reportan que la adición de los residuos de cuero mejoró las propiedades del asfalto (Rodríguez y Téllez, 2013).

### Cuero como material para el tratamiento de aguas residuales coloreadas

Los residuos sólidos húmedos del proceso de curtido, es decir, la carnaza o cuero azul, poseen un alto contenido de proteínas y un adecuado patrón de isoterma de adsorción para captar reactivos colorantes de diferentes textiles (Gupta, 2009; Oliveira *et al.*, 2007). Otras investigaciones han demostrado que la carnaza o el cuero azul estabilizado orgánicamente se ha utilizado como un material adsorbente para la eliminación del color de las aguas residuales contaminadas. En esos trabajos se encontraron los valores de parámetros como dosis de adsorbente, concentración de colorante y pH, con los que se obtienen la mayor adsorción de contaminantes para las condiciones de cada estudio (Fannun, 2014; Piccin *et al.*, 2012; Fathima *et al.*, 2011, Fathima *et al.*, 2009). También se han estudiado las sales neutras como estabilizantes de los residuos de cuero, y se ha identificado su efecto en la capacidad de adsorber colorantes, se encontró que se logró eliminar más del 99% del color de las aguas (Fathima *et al.*, 2009). Ensayos comerciales afirman que las carnazas estabilizadas orgánicamente se pueden emplear para el tratamiento de aguas residuales de color; en esos estudios se informa que otra ventaja del método es que después de usar la carnaza o el cuero azul para la adsorción del colorante, se puede extraer el cromo por hidrólisis básica (Oliveira *et al.*, 2007). Para la eliminación de colorante azul de metileno y rojo de algunos textiles también se evaluaron los residuos del cuero, pero son relativamente más costosos que otros materiales adsorbentes (Oliveira *et al.*, 2007).

Se han evaluado los residuos de carnaza o cuero azul reticulado con glutaraldehído para estabilizarlos contra la degradación, con el estudio de el efecto del pH, la función de la concentración de sal, la dosis adsorbente y la concentración inicial de tinte. Encuentran que se puede eliminar alrededor del 90% del tinte en aguas coloradas mediante la disolución del colorante con la carnaza reticulada (Fathima *et al.*, 2011). También se utilizó el hierro para estabilizar los residuos de carnaza o de cuero azul, y se alcanzó una remoción de color de las aguas de más del 99% (Fanun, 2014). Otra línea de investigación

evaluó la posibilidad de reutilizar el colorante cargado en los residuos de carnaza o cuero azul como reductor en la fabricación de una sal utilizada para la tintura durante el curtido de cueros (Fanun, 2014; Fathima *et al.*, 2011).

### **Residuos de cuero como material reforzante en mezclas de caucho**

Varios estudios se han enfocado en la incorporación de residuos de cuero a una matriz de caucho, para actuar como carga reforzante. Se demostró una alta compatibilización dentro de estos compuestos (El-Sabbagh *et al.*, 2011), viables para aplicaciones específicas. Esto es posible debido a que el cuero es una proteína fibrosa con altos contenidos de colágeno que forma cadenas reticuladas en diferentes direcciones; puede favorecerse el entrecruzamiento de cadenas carbonadas en elastómeros como el caucho, con lo cual se logran propiedades reológicas y de estabilidad térmica interesantes (El-Sabbagh *et al.*, 2011). También se ha estudiado la incorporación de virutas de cuero curtido con cromo en una matriz compuesta por caucho natural y diferentes cauchos sintéticos; se concluyó que es una metodología viable (Przepiorkowska *et al.*, 2004).

Las fibras de cuero se han utilizado como un aditivo en varios compuestos elastoméricos basados en caucho de nitrilo butadieno (NBR), caucho de cloropreno (CR), copolímeros de etileno-propileno-dieno monómero (EPDM), y caucho de isobutileno-isopreno clorado (CIIR) (Shabani *et al.*, 2009). En este estudio se evaluaron los efectos del empleo de fibras de cuero en las características de vulcanización así como en las propiedades físico-mecánicas y térmicas de los compuestos. Los resultados indican que las características de vulcanización de los compuestos no se afectaron por la incorporación de las fibras de cuero, ya que no se encontró ningún efecto significativo sobre la viscosidad inicial, la procesabilidad y el tiempo de curado de los compuestos, pero se evidenció un aumento de la densidad de reticulación. En cuanto a las evaluaciones de las propiedades mecánicas de los compuestos vulcanizados, el estudio mostró que el uso de fibras de cuero aumenta la resistencia a la tracción del compuesto a base de NBR, debido a la compatibilidad entre el NBR y el cuero. Sin embargo, con los otros elastómeros no se detectaron cambios significativos en las propiedades, a excepción de la dureza pues el empleo de fibras de cuero aumentó drásticamente esta propiedad en todos los compuestos.

Otra aplicación estudiada para las virutas de cuero ha sido su uso como relleno en un compuesto de caucho acrilonitrilo-butadieno carboxilado (XNBR) y en el caucho

acrilonitrilo-butadieno (NBR), en el que se usa como agente dispersante Limanol PEV fabricado por la compañía Schill+Seilacher. Encuentran que las virutas de cuero en polvo mejoran propiedades mecánicas como la resistencia a la tracción, el alargamiento a la rotura y el aumento de la densidad de reticulación de las mezclas con ambos tipos de caucho, gracias a las proteínas que contienen las virutas de cuero (Przepiorkowska *et al.*, 2007). Otro estudio similar demuestra que rellenar con viruta de cuero mejora propiedades como la resistencia al envejecimiento térmico y la conductividad eléctrica en estos tipos de caucho (Chronska y Przepiorkowska, 2008).

Otros estudios con caucho NBR y virutas de cuero han revisado el efecto del neutralizado de los desechos de cuero con bicarbonato de sodio y amoníaco, y con hidróxido de sodio. Muestran mejores características de vulcanización y propiedades mecánicas en las mezclas donde las virutas de cuero fueron neutralizadas con bicarbonato de sodio y amoníaco (Natchimuthu *et al.*, 1994).

Los residuos de cuero se utilizan como relleno de refuerzo en polímeros termoplásticos como el acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), como fue estudiado por Ramaraj (Ramaraj, 2006). En ese trabajo los materiales compuestos de ABS y polvo de cuero se prepararon mediante la extrusión de ABS con 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5%, y 15% en peso de polvo de cuero en una extrusora de doble tornillo corrotante. Los filamentos extruidos se peletizaron y se moldearon por inyección para obtener probetas con el fin de evaluar propiedades físico-mecánicas como resistencia a la tracción, a la flexión, al impacto Charpy, a la abrasión, la dureza Rockwell, la densidad, la temperatura de deflexión térmica (HDT) y el punto de reblandecimiento Vicat (VSP), entre otras. La incorporación de polvo de desecho de cuero no afectó significativamente propiedades como resistencia a la tracción, a la flexión, a la abrasión, dureza, densidad, o temperatura HDT. Sin embargo, el módulo de tracción, alargamiento a la tracción y los valores de resistencia al impacto Charpy se redujeron significativamente. Un comportamiento similar de aumento de la resistencia a la tracción se observa por la incorporación de residuos de cuero como relleno en matrices de material reciclado de Vinil butiral (PVB) (Ambrósio *et al.*, 2011).

Se ha encontrado que la incorporación de residuos de cuero en una matriz compuesta por caucho natural y caucho natural reciclado es viable, aprovechando de forma simultánea dos residuos que constituyen un problema ambiental, como lo son los residuos de cuero y el caucho vulcanizado. Durante estas investigaciones los residuos de cuero son empleados más como medio de compatibilización

entre el caucho virgen y el ya vulcanizado que como carga reforzante, y muestran que llevando a cabo una vulcanización entre los 140°C y 150°C no se presenta una reversión significativa en la reacción, siempre y cuando se aplique un tratamiento previo de neutralización a los residuos de cuero, además de que su morfología muestra una fase continua a través de toda la matriz (Ravichandran, y Natchimuthu, 2005). Es importante tener presente que para la mayoría de los estudios reportados se han empleado residuos de cuero con tamaños de partícula inferiores a 300 µm, factor que se vuelve importante al momento del diseño de la mezcla, ya que se encuentra directamente relacionado con la distribución de las cargas adicionadas dentro de la matriz de caucho (Ravichandran y Natchimuthu, 2005).

Como se puede observar los residuos de cuero se pueden aplicar como material de relleno o de refuerzo tanto en mezclas de caucho natural como de caucho sintético; esto es posible debido a que al ser el cuero una proteína fibrosa con alto contenido de colágeno que forma cadenas reticuladas en diferentes direcciones, puede favorecerse el entrecruzamiento de cadenas carbonadas en elastómeros como el caucho, mostrando propiedades reológicas y de estabilidad térmica interesantes (El-Sabbagh y Mohamed, 2011).

### **Orientación futura para el aprovechamiento de residuos de cuero**

Una estrategia para emplear métodos de producción más limpia en la industria del cuero es buscar nuevas aplicaciones a los residuos que generan sus procesos, para lo cual este estudio revisó diversos métodos y aplicaciones para el aprovechamiento de los residuos sólidos de cuero curtido. Teniendo en mente la importancia de la gestión de residuos y el aprovechamiento de los mismos para generar valor agregado, se han encontrado diferentes usos para estos residuos que pueden ser de viable aplicación en la industria colombiana. El uso de residuos de cuero para la elaboración de biocombustibles, para la modificación de asfaltos y de formulaciones de caucho, y como adsorbentes de color para aguas, son algunas de las aplicaciones que se han sugerido. Con la adopción de estas tecnologías es posible reducir la carga contaminante de esta industria, pues se minimiza la generación de carnaza o cuero azul, uno de los principales residuos proteicos provenientes del descarnado del cuero.

## **Conclusiones**

- Este trabajo identificó las principales tendencias para el tratamiento de los residuos de la industria del cuero, así como las tecnologías desarrolladas para obtener productos novedosos a partir de los mismos. Se detectó que estos residuos se están empleando principalmente para obtener materiales compuestos con caucho y con pavimentos, para desarrollar reciclaje químico, siendo especialmente importante la pirólisis, y como material de partida para obtener biocombustibles.

- Las tecnologías abordadas en la literatura indican que es posible disminuir el impacto ambiental de la industria del cuero, con el tratamiento de efluentes, que ha sido la tendencia más estudiada, y de los residuos sólidos que se generan durante el curtido. Si bien se identifica en los estudios consultados que existen diversas opciones técnicamente viables para la reutilización de residuos de cuero, es pertinente recordar la necesidad de evaluar la factibilidad económica de implementarlas según las condiciones del entorno en el cual se desee implementar la solución.

## **Agradecimientos**

Los autores agradecen la ayuda de Claudia Patricia Aristizábal, aprendiz de Tecnología en Sistemas Integrados de Calidad, por la participación al inicio del proyecto como monitorea de investigación en el Centro de Diseño y Manufactura del Cuero.

## **Referencias**

- Alptekin, E., y Canakci, M. (2010). Optimization of pretreatment reaction for methyl ester production from chicken fat. *Fuel*, 89(12), 4035-4039.
- Alptekin, E., Canakci, M., y Sanli, H. (2012). Evaluation of leather industry wastes as a feedstock for biodiesel production. *Fuel*, 95, 214-220.
- Alzate, A. (2008). *Proyecto Gestión Ambiental en la industria de Curtiembre en Colombia. Diagnóstico y estrategias*. Recuperado de: <http://www.tecnologiaslimpias.org/Curtiembre/EstrategiasDiagnostico.pdf>.

- Ambrósio, J., Lucas, A., Otaguro, H., y Costa, L. (2011). Preparation and characterization of poly (vinyl butyral)-leather fiber composites. *Polymer Composites*, 32(5), 776-785.
- Aranda, C., y Clavijo, C. (2014). *Análisis del comportamiento físico-mecánico de una mezcla densa en caliente tipo MDC-2 modificada con caucho y cuero en porcentajes 25% y 75% respectivamente* (tesis de pregrado). Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Ashokkumar, M., Narayanan, N., Reddy, A., Gupta, B., Chandrasekaran, B., Talapatra, S., y Thanikaivelan, P. (2012). Transforming collagen wastes into doped nanocarbons for sustainable energy applications. *Green Chemistry*, 14(6), 1689-1695.
- Barbosa, D., Serra, T., Meneghetti, S., y Meneghetti, M. (2010). Biodiesel production by ethanolysis of mixed castor and soybean oils. *Fuel*, 89(12), 3791-3794.
- Barinas, B., y Manotas, M. (2012). Caracterización de mezclas asfálticas tipo 2 (mdc-2) en caliente, modificadas con desechos de caucho-cuero y caucho molido de llanta. *Ingen Infraestructura*, 155, 3.
- Beghetto, V., Zancanaro, A., Scrivanti, A., Matteoli, U., Pozza, G. (2013). The Leather Industry: A Chemistry Insight. Part I: an Overview of the Industrial Process. *Sciences At Ca' Foscari*, 1(1), pp. 13-22
- Bermúdez, J., Dominguez, P., Arenillas, A., Cot, J., Weber, J., y Luque, R. (2013). CO<sub>2</sub> separation and capture properties of porous carbonaceous materials from leather residues. *Materials*, 6(10), 4641-4653.
- Cabeza, L., Taylor, M., DiMaio, G., Brown, E., Marmer, W., Carrio, R., y Cot, J. (1998). Processing of leather waste: pilot scale studies on chrome shavings. Isolation of potentially valuable protein products and chromium. *Waste Management*, 18(3), 211-218.
- Canakci, M. (2007). The potential of restaurant waste lipids as biodiesel feedstocks. *Bioresource Technology*, 98(1), 183-190.
- Catalina, M., Cot, J., Balu, A. M., Serrano-Ruiz, J. C., y Luque, R. (2012). Tailor-made biopolymers from leather waste valorisation. *Green Chemistry*, 14(2), 308-312.
- Catalina, M., Cot, J., Borrás, M., Lapuente, J., González, J., Balu, A., y Luque, R. (2013). From waste to healing biopolymers: biomedical applications of bio-collagenic materials extracted from industrial leather residues in wound healing. *Materials*, 6(5), 1599-1607.
- Chronska, K., y Przepiorkowska, A. (2008). Buffing dust as a filler of carboxylated butadiene-acrylonitrile rubber and butadiene-acrylonitrile rubber. *Journal of hazardous materials*, 151(2), 348-355.
- Cooman, K., Gajardo, M., Nieto, J., Bornhardt, C., y Vidal, G. (2003). Tannery wastewater characterization and toxicity effects on *Daphnia* spp. *Environmental toxicology*, 18(1), 45-51.
- DNP – Dirección Nacional de Planeación. (2014). *Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018*. Recuperado de: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/PND%202014-2018%20Bases%20Final.pdf>
- D'Alessandro, D., Smit, B., y Long, J. (2010). Carbon dioxide capture: prospects for new materials. *Angewandte Chemie International Edition*, 49(35), 6058-6082.
- Dixit, S., Yadav, A., Dwivedi, P., y Das, M. (2015). Toxic hazards of leather industry and technologies to combat threat: A review. *Journal of Cleaner Production*, 87, 39-49.
- El-Sabbagh, S., y Mohamed, O. (2011). Recycling of chrome-tanned leather waste in acrylonitrile butadiene rubber. *Journal of Applied Polymer Science*, 121(2), 979-988.
- Encinar, J., Sánchez, N., Martínez, G., y García, L. (2011). Study of biodiesel production from animal fats with high free fatty acid content. *Bioresource Technology*, 102(23), 10907-10914.
- Endalew, A., Kiros, Y., y Zanzi, R. (2011). Inorganic heterogeneous catalysts for biodiesel

- p>production from vegetable oils.
- Biomass and bioenergy*
- , 35(9), 3787-3809.
- Fabbricino, M., Naviglio, B., Tortora, G., y d'Antonio, L. (2013). An environmental friendly cycle for Cr (III) removal and recovery from tannery wastewater. *Journal of environmental management*, 117, 1-6.
- Fanun, M. (Ed.). (2014). *The Role of Colloidal Systems in Environmental Protection: Effective Utilization of Solid Waste from Leather Industry*. Elsevier. Pages 593-613
- Fathima, N., Aravindhan, R., Rao, J., y Nair, B. (2009). Utilization of organically stabilized proteinous solid waste for the treatment of coloured waste-water. *Journal of chemical technology and biotechnology*, 84(9), 1338-1343.
- Fathima, N., Aravindhan, R., Rao, J., y Nair, B. (2011). Stabilized protein waste as a source for removal of color from wastewaters. *Journal of applied polymer science*, 120(3), 1397-1402.
- Font, R., Caballero, J., Esperanza, M., Fullana, A. (1999). Pyrolytic products from tannery wastes. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 49, 243-56.
- Girgis, B., Ishak, M. (1999). Activated carbon from cotton stalks by impregnation with phosphoric acid. *Materials Letters*, 39(2), 107-114.
- Gupta, V. (2009). Application of low-cost adsorbents for dye removal - A review. *Journal of environmental management*, 90(8), 2313-2342.
- Gutiérrez, D., Vivas, S., Moreno, L. (2014). *Evaluación de las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica densa en caliente tipo 2 MDC-2 elaborada con asfalto modificado con caucho vulcanizado de suela de bota militar* (tesis de pregrado). Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Haas, M., y Foglia, T. (2005). Alternate feedstocks and technologies for biodiesel production. *The biodiesel handbook*, 42-61.
- Hayashi, J., Horikawa, T., Takeda, I., Muroyama, K., Nasir, F. (2002). Preparing activated carbon from various nutshells by chemical activation with K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. *Carbon*, 40(13), 2381-2386.
- Islam, B., Musa, A., Ibrahim, E., Sharafa, S., y Elfaki, B. (2014). Evaluation and Characterization of Tannery Wastewater. *Journal of forest products and Industries*, 3 (3), 141-150.
- Kanagaraj, J., Senthivelan, T., Panda, R., y Kavitha, S. (2015). Eco-friendly waste management strategies for greener environment towards sustainable development in leather industry: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 89, 1-17.
- Kantarli, I., y Yanik, J. (2010). Activated carbon from leather shaving wastes and its application in removal of toxic materials. *Journal of hazardous materials*, 179(1), 348-356.
- Kolomazník, K., Barinova, M., y Fuerst, T. (2009). Possibility of using tannery waste for biodiesel production. *The Journal of the American Leather Chemists Association*, 104(5), 177-182.
- Koutinas, A.; Kopsahelis, N.; Stamatelou, K.; Dickson, F.; et al. (2012). Food waste as a valuable resource for the production of chemicals, materials and fuels. Current situation and global perspective. *Energy Environ. Sci.* 6, 426-464.
- Lefebvre, O., Vasudevan, N., Torrijos, M., Thanasekaran, K., y Moletta, R. (2006). Anaerobic digestion of tannery soak liquor with an aerobic post-treatment. *Water research*, 40(7), 1492-1500.
- Leta, S., Assefa, F., Gumaelius, L., y Dalhammar, G. (2004). Biological nitrogen and organic matter removal from tannery wastewater in pilot plant operations in Ethiopia. *Applied microbiology and biotechnology*, 66(3), 333-339.
- Lin, C., Pfaltzgraff, L., Herrero-Davila, L., Mubofu, E., Solhy, A., Clark, J., Luque, R. (2013). Food waste as a valuable resource for the production of chemicals, materials and fuels. Current situation and global perspective. *Energy and Environmental Science*, 6(2), 426-464.

- Lofrano, G., Meriç, S., Zengin, G., y Orhon, D. (2013). Chemical and biological treatment technologies for leather tannery chemicals and wastewaters: A review. *Science of The Total Environment*, 461, 265-281.
- Lua, A., Yang, T., y Guo, J. (2004). Effects of pyrolysis conditions on the properties of activated carbons prepared from pistachio-nut shells. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 72(2), 279-287.
- Mannucci, A., Munz, G., Mori, G., y Lubello, C. (2010). Anaerobic treatment of vegetable tannery wastewaters: a review. *Desalination*, 264(1), 1-8.
- Marshall Cavendish Corporation Staff (Ed.). (2003). *How It Works: Science and Technology*. Marshall Cavendish.
- Menjura, C. (2014). *Características mecánicas de una mezcla MDC-2 con adición de caucho y cuero de bota militar*. V Congreso Internacional de Ingeniería Civil, Tunja, Colombia.
- Moreno, L., y Calvo, D. (2014). *Estudio mecánico del asfalto modificado con polímeros y cueros que son utilizados en la elaboración del calzado*. V Congreso Internacional de Ingeniería Civil, Tunja, Colombia.
- Natchimuthu, N., Radhakrishnan, G., Palanivel, K., Ramamurthy, K., y Anand, J. S. (1994). Vulcanization characteristics and mechanical properties of nitrile rubber filled with short leather fibres. *Polymer international*, 33 (3), 329-333.
- NPCS - NIIR Project Consultancy Services. (2005). *Leather processing and taining technology handbook*. India, National Institute of industrial research.
- Oliveira, L., Guerreiro, M., Gonçalves, M., Oliveira, D., y Costa, L. (2008). Preparation of activated carbon from leather waste: a new material containing small particle of chromium oxide. *Materials Letters*, 62(21), 3710-3712.
- Oliveira, L., Goncalves, M., Oliveira, D., Guerreiro, M., Guilherme, L., y Dallago, R. (2007). Solid waste from leather industry as adsorbent of organic dyes in aqueous-medium. *Journal of hazardous materials*, 141(1), 344-347.
- Orhon, D., Genceli, E., y Çokgör, E. (1999). Characterization and modeling of activated sludge for tannery wastewater. *Water environment research*, 50-63.
- Özgünay, H., Çolak, S., Zengin, G., Sari, Ö., Sarikahya, H., y Yüceer, L. (2007). Performance and emission study of biodiesel from leather industry pre-fleshings. *Waste Management*, 27(12), 1897-1901.
- Piccin, J., Gomes, C., Feris, L., y Gutterres, M. (2012). Kinetics and isotherms of leather dye adsorption by tannery solid waste. *Chemical Engineering Journal*, 183, 30-38.
- Przepiorkowska, A., Chrońska, K., y Zaborski, M. (2007). Chrome-tanned leather shavings as a filler of butadiene-acrylonitrile rubber. *Journal of hazardous materials*, 141(1), 252-257.
- Przepiorkowska, A., Prochon, M., y Zaborski, M. (2004). Use of waste collagen as filler for rubber compounds. *Journal of the society of leather technologists and chemists*, 88(6), 223.
- Rajesh Banu, J., y Kaliappan, S. (2007). Treatment of tannery wastewater using hybrid upflow anaerobic sludge blanket reactor. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 6(4), 415-421.
- Ramaraj, B. (2006). Mechanical and thermal properties of ABS and leather waste composites. *Journal of applied polymer science*, 101(5), 3062-3066.
- Rao, J. R., Thanikaivelan, P., Sreeram, K. J., y Nair, B. U. (2002). Green route for the utilization of chrome shavings (chromium-containing solid waste) in tanning industry. *Environmental science y technology*, 36(6), 1372-1376.
- Ravichandran, K., y Natchimuthu, N. (2005). Natural rubber - leather composites. *Polímeros*, 15(2), 102-108.
- Ravichandran, K., y Natchimuthu, N. (2005). Vulcanization characteristics and mechanical properties of natural rubber-scrap

- rubber compositions filled with leather particles. *Polymer international*, 54(3), 553-559.
- Reyes, U., y Pinzón, J. (2013). *Asfaltos modificados con caucho y cuero de bota militar* (tesis de pregrado). Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Rodríguez, G., y Téllez, G. (2013). *Caracterización física de asfalto modificado con cuero de calzado* (tesis de pregrado). Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
- San Miguel, G., Fowler, G., y Sollars, C. (2003). A study of the characteristics of activated carbons produced by steam and carbon dioxide activation of waste tyre rubber. *Carbon*, 41(5), 1009-1016.
- Silitonga, A., Masjukia H., Mahliac, T., Onga, H., Chonga, W., Boosroh, M. (2013). Overview properties of biodiesel diesel blends from edible and non-edible feedstock. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 346-360
- Shabani, I., Arani, A., Dakhel, H., e Iranmehr, G. (2009). Using of leather fibers as an additive in elastomeric compounds: Its effect on curing behavior and physico-mechanical properties. *Journal of applied polymer science*, 111(4), 1670-1675.
- Suganthi, V., Mahalakshmi, M., y Balasubramanian, N. (2013). Development of hybrid membrane bioreactor for tannery effluent treatment. *Desalination*, 309, 231-236.
- Thanikaivelan, P. (abril de 2014). *Transformation of Leather Industry Bio-Wastes into High-Value Multifunctional Materials*. En: International and Interuniversity Center for Nanoscience and Nanotechnology (IIUCNN). Third International Conference on Recycling and Reuse of Materials. Kerala, India.
- Viveros, C. y J. González. (2012). *Estudio del comportamiento de mezclas densas en caliente tipo 2 (MDC -2) empleando asfaltos modificados con caucho*, (tesis de pregrado). Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Yilmaz, O., Cem Kantarli, I., Yuksel, M., Saglam, M., y Yanik, J. (2007). Conversion of leather wastes to useful products. *Resources, conservation and recycling*, 49(4), 436-448.

# Indice de Autores

## Authors

**Aldo Vázquez Arce.** Mexicano, MsC. Centro de Asistencia Técnica a la Industria, Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA. Grupo de investigación GIDEMP. e-mail: arvasqueza@sena.edu.co.

**Alexis Mina Córdoba.** Colombiano, Ingeniero de Materiales, Tecno – Academia ASTIN SENA Regional Valle, Colombia. jminac@sena.edu.co, (2)4315800 IP: 24009, (311) 6255692, Cra 5ª #11-68 piso 2 Plaza Caicedo.

**Ana María Aguirre.** Colombiana, Ingeniera Electrónica, Estudiante de Doctorado, Grupo de Investigación Materiales Compuestos (CENM) Escuela de Ingeniería de Materiales, Universidad del Valle. Cali, Colombia. e-mail ana.aguirre@correounivalle.edu.co.

**Ana Carolina Lemos Delgado.** Colombiana, Bióloga, Estudiante de maestría en biotecnología, Tecno – academia nodo Cali, Centro ASTIN SENA Regional Valle, Colombia. alemosd@sena.edu.co, (2)4315800 IP: 24009, (311) 7988559, Cra 5ª #11-68 piso 2 Plaza Caicedo.

**Anderson Sandoval Amador.** Colombiano, Msc Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, Facultad de ingenierías Fisicoquímicas, Grupo de Investigaciones en Corrosión. e-mail: anderson84f@gmail.com.

**Andrés Martínez Carvajal.** Colombiano, Instructor Investigador del Centro de Diseño y Manufactura del Cuero del SENA Itagüí, Antioquia. Contador, Especialista en finanzas. Grupo BIOMATIC - Biomecánica, Materiales, TIC, Diseño y Calidad para el Sector cuero, plástico, caucho y sus cadenas productivas.

**Carolina Caicedo.** Colombiana, PhD Colciencias Centro de Asistencia Técnica a la Industria, Centro Nacional de Aprendizaje - SENA. Grupo de investigación GIDEMP. e-mail: ccaicedo60@misena.edu.co.

**Darío Yesid Peña Ballesteros.** Colombiano, PhD Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, Facultad de ingenierías Fisicoquímicas, Grupo de Investigaciones en Corrosión. e-mail: dypena@uis.edu.co.

**Deisy Sierra Fajardo.** Colombiano, Ing. Metalúrgica, Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, Facultad de ingenierías Fisicoquímicas, Grupo de Investigaciones en Corrosión. e-mail: deca1786@hotmail.com.

**Diego Hernán Giraldo Vásquez.** Colombiano, Profesor del Programa de Ingeniería de Materiales de la Universidad de Antioquia. Ingeniero Mecánico, Magíster en Ingeniería. Grupo de Materiales Poliméricos.

**Einner Peralta Muñoz.** Colombiano, Ingeniero de Materiales, Grupo de Investigación Materiales Compuestos (CENM) Escuela de Ingeniería de Materiales, Universidad del Valle. Cali, Colombia e-mail: einner.peralta@correounivalle.edu.co.

**Hever de la Cruz.** Colombiano, Ing. Mecatrónico. Centro de Asistencia Técnica a la Industria, Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA. Grupo de investigación GIDEMP. e-mail: hdelacruz@misena.edu.co.

**Hugo Armando Estupiñán Durán.** Colombiano, PhD Departamento de Materiales y

Minerales Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Grupo de Tribología y superficies. e-mail: haestupinand@unal.edu.co.

**Javier Augusto Vera Solano.** Colombiano, Maestría en Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingenierías y Arquitectura. Universidad de Pamplona. Bucaramanga. Pamplona. Colombia. E-mail: javiervera@misena.edu.co.

**José Luis Cardona Olaya.** Colombiano, Instructor Investigador del Centro de Diseño y Manufactura del Cuero del SENA Itagüí, Antioquia. Contador Público. Grupo BIOMATIC - Biomecánica, Materiales, TIC, Diseño y Calidad para el Sector cuero, plástico, caucho y sus cadenas productivas.

**Julián Alejandro Torres Rico.** Colombiano, Ingeniero de Materiales de la Universidad del Valle. MC (Grupo Materiales Compuestos), Universidad del Valle, Cali, Colombia.

**Leidy Quintero Ascanio.** Colombiana, Ing. Metalúrgica Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, Facultad de ingenierías Fisicoquímicas, Grupo de Investigaciones en Corrosión. e-mail: lemaquias\_1@hotmail.com.

**Lina Marcela Crespo.** Colombiana, MsC. Servicio de Asistencia Técnica a la Industria, Centro Nacional de Aprendizaje - SENA. Grupo de investigación GIDEMP. e-mail: lmcrespo3@misena.edu.co.

**Natalia Cardona Vásquez.** Colombiana, Ingeniera de Materiales, Grupo BIOMATIC-Biomecánica, Materiales, TIC, Diseño y Calidad para el sector cuero, plástico, caucho y sus cadenas productivas. Grupo de Materiales Poliméricos de la Universidad de Antioquia.

**Ómar Hernán Ossa.** Colombiano, Ing. Mecánico. Servicio de Asistencia Técnica a la Industria, Centro Nacional de Aprendizaje - SENA. Grupo de investigación GIDEMP. e-mail: omar.ossa@sena.edu.co.

**Pavel Andrey Ramos Barragán.** Colombiano, Ingeniero de Materiales de la Universidad del Valle. GMC (Grupo Materiales Compuestos), Universidad del Valle, Cali, Colombia.

**Pedro Enrique Matthey Centeno.** Venezolano, Estudiante de Doctorado en Ingeniería de Materiales. Ms. C. GMC (Grupo Materiales Compuestos), CENM (Centro de Excelencia de Nuevos Materiales) Universidad del Valle, Cali, Colombia. E-mail: pedro.matthey@correounivalle.edu.co. Teléfono: +57 (2) 331 2251. Celular: 304 383 5133. Calle 13 No. 100-00, Edf. 349.

**Rafael Andrés Robayo Salazar.** Colombiano, Estudiante de Doctorado en Ingeniería de Materiales. GMC (Grupo Materiales Compuestos), CENM (Centro de Excelencia de Nuevos Materiales), Universidad del Valle, Cali, Colombia.

**Ruby Mejía de Gutiérrez.** Colombiana, Doctor en Ciencias Químicas, Profesor Titular, Grupo de Investigación Materiales Compuestos (CENM) Escuela de Ingeniería de Materiales, Universidad del Valle. Cali, Colombia. e-mail: ruby.mejia@correounivalle.edu.co.

**Sandra Milena Velásquez Restrepo.** Colombiana, Líder de Innovación y Desarrollo Tecnológico del Centro de Diseño y Manufactura del Cuero del SENA Itagüí, Antioquia. Biongeniera, Magíster en Ingeniería, Especialista en Gerencia. Grupo BIOMATIC - Biomecánica, Materiales, TIC, Diseño y Calidad para el Sector cuero, plástico, caucho y sus cadenas productivas.

**Silvio Delvasto Arjona.** Colombiano, Profesor Titular, PhD. GMC (Grupo Materiales Compuestos), CENM (Centro de Excelencia de Nuevos Materiales), Universidad del Valle, Cali, Colombia.

**Yohana Marcela López Fernández.** Colombiana, Aprendiz del Centro de Diseño y Manufactura del Cuero del SENA Itagüí, Antioquia. Grupo BIOMATIC - Biomecánica, Materiales, TIC, Diseño y Calidad para el Sector cuero, plástico, caucho y sus cadenas productivas.

# Directrices para publicar artículos en la revista Informador Técnico

1. Los artículos remitidos deben ser originales, en español o en inglés, no publicados con anterioridad o simultáneamente en otra revista o en línea.
2. Es indispensable que los autores indiquen si su artículo es producto o desarrollo de una investigación en curso o concluida. Se debe incluir en una nota a pie de página el nombre del proyecto, las fechas en que se inició y terminó el proyecto, la entidad que lo financia y la entidad que lo ejecuta.
3. Los artículos tipo 1, 2 y 3; pueden contener 20 páginas numeradas y los reportes de caso, máximo 5 páginas, sin incluir fotografías, gráficos o tablas, en papel tamaño carta. Deben presentarse a doble espacio, en fuente arial y tamaño de letra 11 puntos.
4. En la primera página se debe incluir: título del artículo en español e inglés, nombre completo de los autores, nacionalidad, afiliación institucional, grupo de investigación, resumen no superior a 250 palabras en español e inglés y palabras clave (entre 5 y 6) en español e inglés.
5. Para el autor de correspondencia se debe anexar la siguiente información: correo electrónico, número telefónico/fax, número de celular y dirección de correspondencia, a fin de facilitar el contacto y seguimiento.
6. El documento se debe entregar como archivo word (versión 2000 en adelante).
7. Instrucciones especiales para la digitación:
  - a) Usar justificación completa en el texto, sin dejar espacio entre párrafos consecutivos y sin dividir palabras a final de línea.
  - b) No dejar más de un espacio entre palabras y después de coma, punto y coma, dos puntos, paréntesis y punto y seguido.
  - c) No incluir saltos de página o finales de sección.
  - d) Usar guión de no separación (-) en el caso de palabras compuestas, por ejemplo teórico-práctico; guión corto (–) sin espacios para indicar rangos/intervalos, por ejemplo 2000–2007; y guión largo en el caso de cláusulas e incisos, separado del texto principal pero sin espacio entre el guión largo que abre inciso y la primera letra que éste contiene y sin espacio entre la última letra de éste y el guión largo que cierre el inciso, por ejemplo: muchos de los ensayos —aunque no todos— fueron afectados por las fuertes lluvias.
  - e) Las ecuaciones se levantan en el procesador incluido en Word, en la fuente arial 9 puntos.f) Los símbolos de las constantes, variables y funciones, en letras latinas básicas o griegas, incluidos en las ecuaciones deben ir en cursiva; los símbolos matemáticos y los números no van en cursiva. Se deben identificar los símbolos inmediatamente después de la ecuación.

- g) Si se desea resaltar palabras o frases del texto, debe usar negrilla o cursiva. Ejemplo: negrilla cursiva.
  - h) Toda figura debe llevar una leyenda, digitada debajo de la figura, pero fuera de la figura misma. La leyenda debe escribirse tipo oración. Ejemplo: Figura 2. Micrografía SEM en la sección transversal de la muestra.
  - i) Las figuras deben ir enumeradas, en estricto orden de mención en el artículo.
  - j) Usar arial 9 para las leyendas y, cuando sea posible, para los componentes de las figuras.
  - k) Las figuras y tablas deben elaborarse utilizando las funciones predeterminadas en word.
  - l) Los números decimales deben señalarse con coma (,) y los millares y millones con punto (.).
  - m) Los gráficos, figuras y fotografías deben ser utilizados en colores y con resolución mayor a 250 pixeles.
8. Las referencias bibliográficas se circunscriben al final del artículo, ordenadas alfabéticamente, y deben ser debidamente citadas dentro del texto según las Normas APA, 2014. Ejemplo de citación dentro del texto: (Den, 1982).
  9. Evite las notas de pie de página; en caso de ser necesarias deben contener solamente aclaraciones o complementos del trabajo que, sin afectar la continuidad del texto, aporten información adicional que el autor considere necesario incluir.
  10. Cuando se empleen siglas o abreviaturas, se debe anotar primero la equivalencia completa, seguida de la sigla o abreviatura correspondiente entre paréntesis, y en lo subsiguiente se escribe sólo la sigla o abreviatura respectiva.
  11. La Revista recibe el documento, lo revisa y lo envía a los editores; si estos lo avalan, será enviado a valoración por árbitros seleccionados de la base de datos de Colciencias, SciELO, Dialnet, Doaj, quienes podrán solicitar los ajustes necesarios para su publicación o descartar el documento. Luego de la evaluación, se informará a los autores, mediante carta, si el artículo fue aceptado o no. En caso de ser aceptado, el autor deberá atender las respectivas correcciones de los evaluadores en un término no mayor a las 2 semanas siguientes a su recibo.
  12. A la versión final del artículo, revisada por los autores después del proceso de evaluación, se le debe anexar el formato de cesión de derechos de autor a la revista (Formato 9230-SI-F-324) debidamente diligenciado. De no ser así, se asume la aprobación por parte de los autores de las condiciones allí expuestas.
  13. Los originales recibidos se conservan como parte del archivo de la revista.
  14. Como derechos de autor se reconoce un ejemplar de la revista en la cual se publica la colaboración, enviando un ejemplar a cada autor.

## Clasificación de artículos

Los siguientes conceptos son tomados de COLCIENCIAS ÍNDICE BIBLIOGRÁFICO. Sólo los documentos recibidos de tipo **1, 2 y 3** serán publicados en la revista INFORMADOR TÉCNICO, en proyecto de indexación ante Colciencias, Base Bibliográfica Nacional Publindex.

### Artículo de investigación científica y tecnológica (tipo 1)

Relata la manera de delimitar la pregunta de la investigación, el camino para someterla a prueba (análisis estadístico del experimento, protocolos disciplinarios) y la confrontación de los datos generados con la literatura actual.

### Artículo de reflexión (tipo 2)

Presenta los resultados de una investigación terminada desde una perspectiva analítica interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico, recurriendo a fuentes originales.

### Artículo de revisión (tipo 3)

Es el resultado de una investigación terminada donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo en ciencia o tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica superior a 50 referencias.

### Los artículos deben contar con los siguientes componentes:

**Título/Title.** Debe ser conciso y al mismo tiempo suministrar información suficiente para que el lector se pueda formar una idea del nivel científico y del interés del estudio. Deben evitarse expresiones como “estudio detallado” o “estudio preliminar”.

**Autores.** Incluye nombres y apellidos completos de cada investigador; afiliación de los mismos (departamento o sección, facultad o centro experimental, universidad u organización de investigación); dirección postal, ciudad, departamento o estado, país. Indique el correo electrónico, número telefónico/fax, número de celular y dirección de correspondencia del autor que mantendrá correspondencia con el editor.

**Resumen/Abstract.** En un párrafo que no exceda 250 palabras, sintetiza los objetivos, métodos y resultados del trabajo.

**Palabras claves/Key words.** Incluir de cinco a seis, sin repetir las del título; digite en cursiva los nombres científicos.

**Introducción.** Describe brevemente los antecedentes científicos que permitieron formular el problema de la investigación y termina con los objetivos.

**Metodología o Materiales y Métodos.** Describe la metodología, analítica y estadística de la investigación, de manera que otros investigadores la puedan replicar o que los lectores puedan conocer los límites de interpretación de los datos. Informe la localización espacial del experimento, el origen de los materiales, los cambios en los protocolos habituales. Mencione, en tablas, la composición de protocolos, de medios de cultivos *in vitro*, etc. Si realiza experimentos, enuncie diseño; tratamientos, repeticiones, variables de respuesta, frecuencia de mediciones. La utilización incorrecta o inadecuada de los métodos estadísticos es inaceptable. Evite escribir los tratamientos estadísticos corrientes (comparación de medias, análisis de varianza, etc.), más bien incluya la referencia pertinente. Describa los modelos estadísticos y el diseño experimental (clases, bloques y/o unidades experimentales). Con el software estadístico, mencione las fuentes de variación.

**Resultados.** Se pueden ilustrar con tablas o figuras (mapas, gráficos, dibujos, fotografías), pero no los duplique ni repita los datos en los párrafos. Describa brevemente los resultados más importantes a nivel estadístico.

**Discusión.** Se puede combinar con los resultados. La interpretación se debe basar en los resultados estadísticos y no en apreciaciones personales o subjetivas (evite la especulación) y en las publicaciones científicas que tratan el tema. Discuta los resultados sobresalientes. Evite citar repetidamente los resultados.

**Conclusiones.** Se explica cómo la hipótesis fue probada exitosamente con los resultados específicos, y evalúa sus posibles repercusiones para el estado de la investigación en el tema.

**Agradecimientos.** Mencione a las personas que han prestado asesoría técnica o estadística a la investigación, al igual que las fuentes de financiación.

**Referencias bibliográficas.** Deben incluirse sólo las referencias bibliográficas pertinentes. Las citas y referencias incluidas en el artículo se presentan bajo las normas de la APA 2014.

## Citas

Al escribir un artículo, para evitar el plagio, es fundamental identificar claramente qué ideas e información han sido tomadas de otras fuentes o autores, y cuáles son propiamente producto del autor del trabajo. Cada vez que se utilice lo que ha dicho alguien, debe indicarse siempre la fuente y esto se hace mediante las citas o referencias bibliográficas.

El INFORMADOR TÉCNICO sigue las normas de estilo de APA 2014. Se utilizan paréntesis dentro del texto en lugar de notas al pie de página. La cita ofrece información sobre el autor y año de publicación, que conduce al lector a las referencias que se deben consignar al final del documento.

Las citas dentro del texto pueden ser:

- Cita textual o literal: cuando se extraen ideas exactas de un texto. En la cita se debe incluir apellido del autor, año de la publicación y página.
- Cita de parafraseo o no literal: cuando se utilizan las ideas del autor, pero no en forma textual, sino que se expresan en palabras del escritor. En la cita se debe incluir apellido del autor, año de publicación.

Normas para citar los autores dentro del texto:

- Dos autores: sus apellidos separados por "y".
- Tres o más autores: se cita el apellido del primero, seguido la expresión *et al.*
- Autor corporativo: se escribe el nombre de la organización. Ejemplo: los desplazados (ONU, 2012).
- Sin nombre o anónimo: en vez del apellido se escribe la palabra "anónimo".
- Cita de una cita: cuando se ha tenido acceso a fuentes secundarias. Ejemplo: Zapata (citado por Rosales, 2012) determinaron los riesgos...

## Referencias

Las referencias son un listado de las fuentes consultadas que aparecen citadas en el texto. Todos los autores citados deben coincidir con la lista de referencias del final. No se debe referenciar un autor que no haya sido citado en el texto y viceversa.

El listado de referencias debe organizarse según el orden alfabético de los apellidos. Para referenciar los volúmenes que debe usar números arábigos y no romanos.

## Ejemplos de referencias bibliográficas

### Libro

Hacyan, S. (2004). *Física y metafísica en el espacio y el tiempo*. La filosofía en el laboratorio, México DF, México: Fondo Nacional de Cultura Económica.

### Libro con editor

Wilber, K. (Ed.) (1997). *El paradigma holográfico*. Barcelona, España: Editorial Kairós.

### Libro en versión electrónica

De Jesús Domínguez, J. (1887). *La autonomía administrativa en Puerto Rico*. Recuperado de <http://memory.loc.gov/cgi-bin/query>

### Libro con número DOI

Montero, M. y Sonn, C. C. (Eds.) (2009). *Psychology of Liberation: Theory and applications*. doi: 10.1007/978-0-387-85784-8

### Capítulo de un libro

Molina, V (2008). "... es que los estudiantes no leen ni escriben": El reto de la lectura y la escritura en la Pontificia Universidad Javeriana de Cali. En H. Mondragón (Ed.), *Leer, comprender, debatir, escribir. Escritura de artículos científicos por profesores universitarios* (pp. 53-62). Cali, Valle del Cauca: Sello Editorial Javeriano.

### Artículos en revistas

Coruminas, M., Roncero, C., Bruguca, E., y Casas, M.

(2007). Sistema dopaminérgico y adicciones, *Rev Mukuel*, 44(1), 23-31.

### Artículo de revista en línea

Mota de Cabrera, C. (2006). El rol de la escritura dentro del currículo de la enseñanza y aprendizaje del inglés como segunda lengua (esl/efl): Una perspectiva histórica. *Acción Pedagógica*, 15(1), 56-63. Recuperado de <http://www.saber.ula.ve/accionpe/>

### Simposios y congresos

Rojas, C. y Vera, N. (Agosto del 2013). ABMS (Automatic BLAST for Massive Sequencing). En H. Castillo (Presidencia), *Biología Computacional y Bioinformática CCBCOL. II Congreso Colombiano* Manizales, Colombia.

### Periódico impreso

Manrique Grisales, J. (14 de noviembre del 2010). *La bestia que se tragó Armero*. El Espectador, pp. 16-17.

### Periódico en línea

Bonet, E. (2011, 2 de febrero). Miles de personas oran en la plaza Tahrir de El Cairo. *El Tiempo*. Recuperado de <http://www.eltiempo.com/mundo/africa>

### Tesis

Aponte, L. y Cardona, C. (2009). *Educación ambiental y evaluación de la densidad poblacional para la conservación de los cóndores reintroducidos en el Parque Nacional Natural Los Nevados y su zona amortiguadora* (tesis de pregrado). Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

### Informes autor corporativo, informe gubernamental

Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas. (2012). *Tecnologías de la información y las comunicaciones*. Recuperado de: <http://www.dane.gov.co>

### Informe con autoría de una organización gubernamental

Bonet, A. (Junio, 2011). Evolución del estudio y conceptualización de la consciencia. En H. Castillo (Presidencia), *El psicoanálisis en Latinoamérica*. Simposio llevado a cabo en el XXXIII Congreso Iberoamericano de Psicología, Manizales, Colombia.

## Los artículos se pueden enviar en archivo digital:

- Por correo electrónico a: [revistaitastin@sena.edu.co](mailto:revistaitastin@sena.edu.co);
- A través de la plataforma OJS [http://informadortecnico.senaastin.com/index.php/inf\\_tec](http://informadortecnico.senaastin.com/index.php/inf_tec)
- A la siguiente dirección:  
Revista Informador Técnico  
Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)  
Complejo Salomia  
Centro Nacional de Asistencia Técnica a la Industria  
(ASTIN)  
Calle 52 No. 2 Bis -15  
Cali – Colombia  
Tel.: +57 (2) 431 5855 / 431 5800 ext. 22694

# Guidelines for publishing articles in the “Informador Técnico” journal

1. Articles submitted to the journal should be original research articles that have not been published previously or simultaneously in other printed or online journals. Articles may be submitted in either English or Spanish.
2. Authors must indicate whether their articles are the product or outcome of ongoing research or completed research. The project’s name, initiation and completion dates, financing entity, and executing entity should be included as footnote.
3. Articles type 1, 2, and 3; should have a maximum of 20 numbered, letter-sized pages and case reports, a maximum of 5, excluding photos, graphics/figures, and tables. Text should be set in Arial font, 11 point, double-spaced.
4. Title pages should include the title of the article in both English and Spanish; full name, nationality, institutional affiliation, and research group of each author, an abstract of 250 words or less in both English and Spanish, and key words (between 5 and 6) in both English and Spanish.
5. To facilitate contact and follow-up, please provide the following information for the corresponding author: email address, phone/fax number, mobile, and correspondence address.
6. The document should be presented as a Word file (version 2000 and above).
7. Special guidelines for typewriting:
  - a) Use full justification, do not leave blank lines between paragraphs, and do not hyphenate words at the end of lines.
  - b) Leave only one (1) space between words and after commas, colons, semi-colons, parenthesis, and periods within paragraphs.
  - c) Do not include page breaks or section ends.
  - d) Use hyphens (-) in the case of compound words, for example theoretical-practical; the en dash (–) to indicate ranges and intervals, with no spaces on either side, for example 2000–2007; and the em dash in the case of clauses, with no spaces on either side, for example: Many trials—although not all—were affected by the heavy rains.
  - e) For equations, use Word’s Equation Editor function set in Arial font, 9 point.
  - f) Use italics for the symbols of constants, variables, and functions, as well as for Latin or Greek letters used in equations. Explain all symbols used in the equation.
  - g) Use ***bold italics*** to highlight words or phrases within the text.
  - h) All figures should have a caption, placed below but outside the figure itself. Captions should be written in sentence style, for example: **Figure 2.** SEM micrography in the cross-section of the sample.

- i) Figures should be numbered strictly in order of citation within the text.
  - j) Use Arial font, 9 point, for figure captions and, when possible, for figure components.
  - k) Use Microsoft Word functions to create figures and tables.
  - l) Use a period (.) for decimals and commas (,) for thousands and millions .
  - m) Use color graphs, figures, and photos. Images should have a resolution of 250 pixels.
- 8 Bibliographic references are listed in alphabetical order, according to the name of the first author, at the end of the article. All references should be cited within the text according to the 2014 APA Style Guidelines. Example of citation within text: (Den, 1982).
  9. Avoid the use of footnotes. When their use is absolutely necessary, these should only help clarify or complement the research work, providing additional information that the authors believe should be included but without interrupting the continuity of the text.
  10. Write out all abbreviations and acronyms in full the first time they are used in the text and thereafter use only the abbreviation or acronym.
  11. The article submitted to the journal is sent to the Editorial Committee for initial appraisal. If the Committee endorses the manuscript, it is then sent for peer review. Experts are selected from the databases of Colciencias, SciELO, Dialnet, and Doaj, who, after evaluating the manuscript, can approve, request changes or corrections, or discard the document for publication. Authors will be duly informed in writing whether their article has been accepted or not. After receiving notification of acceptance, authors will then have two weeks to address any corrections or changes requested by peer reviewers.
  12. Authors must fill out and annex the Journal Copyright Release Form (Form 9230-SI-F-324) to the final author-revised version of the article, after making any changes or corrections arising in the peer review. If the form is not attached, the journal will assume that the authors agree to these conditions set forth therein.
  13. All original documents received are kept as part of the journal's archives.
  14. All authors have right to one copy of the journal issue in which their contribution was published . A copy will be sent to each author.

## Types of contributions

The following concepts are based on the Colciencias National Bibliographic Index. Only articles types 1,

2, and 3 will be published in the Informador Técnico journal as part of an indexing project before the Colciencias National Bibliographic Base "Publindex".

### Scientific and technological research article (type 1)

Presents the results of original research projects, indicating how the research question was addressed, the methods of testing used (statistical experimental analysis, disciplinary protocols), and the confrontation of generated data with that currently found in literature.

### Reflection article (type 2)

Presents the results of a completed research project from the authors' analytical, interpretative, or critical viewpoint in relation to a specific topic and in reference to original sources.

### Review article (type 3)

Compiles the results of a completed research project in which both published and unpublished research results in the fields of science and technology are analyzed and systematized to share advances and development trends. This type of article is characterized by presenting a carefully compiled bibliographic review of at least 50 references.

### Articles should be organized as follows:

**Title/Título.** The title should not only be concise, but also sufficiently informative so readers can grasp the scientific content of the article and focus of research. Expressions such as "detailed study" or "preliminary study" should be avoided.

**Authors.** Full name of each researcher should be given with his/her affiliation (department or section, faculty or experimental center, university or research organization) and postal address, city, department or state, country. The email, phone/fax, mobile, and corresponding address of the corresponding author should also be provided.

**Abstract/Resumen.** Summarizes objectives, methods, and results in one paragraph, no longer than 250 words.

**Key words/Palabras claves.** From five to six key words, not included in title if possible; scientific names written in italics.

**Introduction.** Briefly describe the scientific rationale behind the research problem being addressed. End with objectives.

**Methodology or Materials and Methods.** Describe the analytical and statistical research methodology used so other researchers can replicate the study or readers can better understand data interpretation thresholds. Indicate the spatial location of the experiment, origin of materials, and modifications of routine protocols. Use tables to present protocols and composition of in vitro culture media, etc. If the study involves experimentation, then indicate design, treatments, replicates, response variables, and frequency of measurement. The incorrect or inappropriate use of statistical methods is unacceptable. Do not describe commonly used statistical treatments (comparison of means, variance analysis, etc.), but rather include pertinent references. Describe statistical models and the experiment design (classes, blocks and/or experimental units). Mention sources of variation of statistical software.

**Results.** Use tables and figures (maps, graphs, drawings, photos) to illustrate results, but do not duplicate or repeat the data presented in the text. Briefly describe the most important statistical results.

**Discussion.** Can be combined with the section on results. Interpretation should be based on statistics, not on personal or subjective appraisals (avoid speculations), as well as on relevant scientific publications. Discuss outstanding results. Avoid repetitive citation of results.

**Conclusions.** Explain how the hypothesis was successfully proven, giving specific results, and assess the potential impact on the status of research on the topic.

**Acknowledgements.** Mention those individuals or organizations that provided technical assistance or statistical support as well as sources of funding.

**Bibliographic references.** Only include pertinent bibliographic references. Citations and references in article must comply with the 2014 APA Style Manual.

## Citations

When writing an article, to avoid plagiarism, it is essential to clearly identify those ideas and information that were taken from other sources or authors, and which were generated by you as authors during the execution of your research. Whenever you use what someone else has said, you should always indicate the source whether as citation or as bibliographic reference.

The *Informador Técnico* journal follows the 2014 APA Style Manual for citing references in text, which is based on the author-date citation system that consists of including the author's surname and the date of publication within parenthesis, instead using footnotes or endnotes. This system allows readers to readily find the complete reference in the pertinent section at the end of the document.

## Citations within the text can be:

- **Textual or literal**, when you literally extract a segment from another text to use in your article. Separate literal quotations from the text of your article with quotation marks, quotations must match source document word for word and must be attributed to original by indicating author, year of publication, and page where text was extracted from.
- **Paraphrasing or non-literal citation**, when you take a passage from the work of another author and put it into your own words. The original source must be acknowledged by indicating author's surname and the year of publication.

## Guidelines to cite authors within the text:

- Two authors: Surnames separated by "and".
- Three or more authors: Cite surname of first author, followed by the expression et al.
- Corporate author: Place name of organization. Example: Los desplazados (ONU, 2012).
- No name or autonomous: Instead of surname, use the word "anonymous".
- Citation of a citation: When secondary sources have been accessed, then use the following example as reference: Zapata (cited by Rosales, 2012) determined the risks...

## References

The references are a list of source materials consulted that are cited in the text. All references cited in the text should be listed in the Reference section at the end of the document and, vice versa, all references listed in the Reference section should be cited in the text.

The list of references should be organized in alphabetical order of authors' surnames. Use Arabic numbers, not Roman numerals, to indicate volume number.

## Examples of bibliographic references

### Book

Hacyan, S. (2004). *Física y metafísica en el espacio y el tiempo*. La filosofía en el laboratorio, México DF, México: Fondo Nacional de Cultura Económica.

**Book with editor**

Wilber, K. (Ed.) (1997). *El paradigma holográfico*. Barcelona, España: Editorial Kairós.

**Electronic book**

De Jesús Domínguez, J. (1887). *La autonomía administrativa en Puerto Rico*. Retrieved from <http://memory.loc.gov/cgi-bin/query/>

**Book with assigned DOI**

Montero, M. and Sonn, C. C. (Eds.) (2009). *Psychology of Liberation: Theory and applications*. doi: 10.1007/978-0-387-85784-8

**Book chapter**

Molina, V. (2008). "... es que los estudiantes no leen ni escriben": El reto de la lectura y la escritura en la Pontificia Universidad Javeriana de Cali. In H. Mondragón (Ed.), *Leer, comprender, debatir, escribir. Escritura de artículos científicos por profesores universitarios* (pp. 53-62). Cali, Valle del Cauca: Sello Editorial Javeriano.

**Journal article**

Coruminas, M., Roncero, C., Bruguca, E., and Casas, M. (2007). Sistema dopaminérgico y adicciones, *Rev Mukuel*, 44(1), 23-31.

**Online journal article**

Mota de Cabrera, C. (2006). El rol de la escritura dentro del currículo de la enseñanza y aprendizaje del inglés como segunda lengua (esl/efl): Una perspectiva histórica. *Acción Pedagógica*, 15(1), 56-63. Retrieved from <http://www.saber.ula.ve/accionpe/>

**Proceedings of symposia and congresses**

Rojas, C. and Vera, N. (Agosto del 2013). ABMS (Automatic BLAST for Massive Sequencing). In H. Castillo (Presidencia), *Biología Computacional y Bioinformática CCBCOL*. II Congreso Colombiano Manizales, Colombia.

**Printed newspaper article**

Manrique Grisales, J. (14 November 2010). La bestia que se tragó Armero. *El Espectador*, pp. 16-17.

**Online newspaper article**

Bonet, E. (2011, 2 February). Miles de personas oran en la plaza Tahrir de El Cairo. *El Tiempo*. Retrieved from <http://www.eltiempo.com/mundo/africa>

**Thesis**

Aponte, L. and Cardona, C. (2009). *Educación ambiental y evaluación de la densidad poblacional para la conservación de los cóndores reintroducidos en el Parque Nacional Natural Los Nevados y su zona amortiguadora* (tesis de pregrado). Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

**Corporate or governmental reports**

Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas. (2012). *Tecnologías de la información y las comunicaciones*. Retrieved from <http://www.dane.gov.co>

**Report of a governmental organization**

Bonet, A. (Junio, 2011). Evolución del estudio y conceptualización de la consciencia. In H. Castillo (Presidencia), *El psicoanálisis en Latinoamérica*. Simposio llevado a cabo en el XXXIII Congreso Iberoamericano de Psicología, Manizales, Colombia.

**Articles should be submitted in digital format:**

- By email to: [revistaitastin@sena.edu.co](mailto:revistaitastin@sena.edu.co)
- Using the OJS platform [http://informadortecnico.senaastin.com/index.php/inf\\_tec](http://informadortecnico.senaastin.com/index.php/inf_tec)
- By mail to the following address:  
Revista Informador Técnico  
Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)  
Complejo Salomia  
Centro Nacional de Asistencia Técnica a la Industria (ASTIN)  
Calle 52 No. 2 Bis -15  
Cali – Colombia  
Phone: +57 (2) 4315855 / 4315800 ext. 22694



# I Simposio DE MATERIALES POLIMÉRICOS

El I Simposio de Materiales Poliméricos es un evento que se llevó a cabo los días 3 y 4 de noviembre de 2015, organizado en conjunto por Investigadores Grupo de Investigación en Desarrollo de Materiales y Productos GIDEMP-Astin-SENA e investigadores del Centro de Investigaciones en Ciencias Básicas, Medio Ambiente y Desarrollo Tecnológico (CICBA) de la Universidad Santiago de Cali. El objetivo principal fué promover las actividades de investigación en el campo de los polímeros y el intercambio de ideas.

*“Hay una fuerza motriz  
más poderosa que el vapor,  
la electricidad y la  
energía atómica:  
**La voluntad**”*

*Albert Einstein*

**Estamos a la vanguardia con la tecnología - Laboratorios Centro Astin**



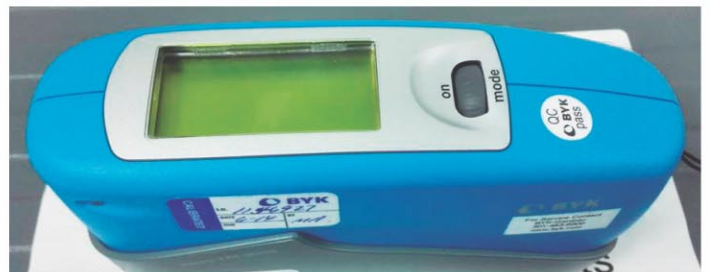
Reómetro  
Rotacional



Cámara  
degradación UV



Equipo de permeabilidad  
a Vapor de agua y O<sub>2</sub>



Brillómetro



[www.gidemp.blogspot.com](http://www.gidemp.blogspot.com)  
<http://informadortecnico.senaastin.com>



**Extrusora doble husillo**



**Injecto-sopladora de 3 etapas**



**Injectora de 2 componentes**



**Extrusora de cinco capas**



**Escuela del  
Empaque  
Plástico**



**CENTRO NACIONAL DE ASISTENCIA  
TÉCNICA A LA INDUSTRIA ASTIN**  
Calle 52 No. 2Bis - 15  
Teléfonos: 57 (2) 431 5847 Ext. 22667 - 22695  
Fax: (2) 4471075 - 4467182  
[www.sena.edu.co](http://www.sena.edu.co)  
<http://centroastinsena.blogspot.com/>  
E-mail: [astin@sena.edu.co](mailto:astin@sena.edu.co)

**INFORMADOR TÉCNICO**  
Calle 52 No. 2Bis - 15  
Teléfonos: 57 (2) 431 5800 Ext. 22694  
Email: [revistaitastin@sena.edu.co](mailto:revistaitastin@sena.edu.co)  
<http://informadortecnico.senaastin.com>  
[http://biblioteca.sena.edu.co/paginas/revistas\\_info.html](http://biblioteca.sena.edu.co/paginas/revistas_info.html)  
Cali, Valle del Cauca, Colombia