

# La Ingeniería, una profesión de impacto

Memorias del IV Simposio Virtual de Investigación Aplicada a la Ingeniería de Procesos



**La Ingeniería, una profesión de impacto. Memorias del IV Simposio Virtual de Investigación Aplicada a la Ingeniería de Procesos**

**Autores:**

Ferreira Villadiego, J.  
Pedro Meza Castellara  
Jorgelina C. Pasqualino  
Henry Lambis Miranda  
Fabián Leonardo Muñoz Muñoz  
Rolando Oscar Molina Baspineiro  
Naun Elloy Copacalle  
Leo Iván Heredia Sardan,  
Manuel Mora Quintanilla  
David Jhonatan Cari Juarez  
Kevin Ayrton Duran Saavedra  
Edgar Fernando Parra Ortega  
Cédric Jacques Duquesne Malsergent  
Karen Rojas  
Manfred Schütze  
Richard Moran  
Laura Villegas  
Jesús Muñoz  
Héctor F. Silva  
José Jaime García

**Editor:** Luz Elida Vera Hernández, Editorial UNIMAR

**Fecha de publicación:** marzo de 2018

**Páginas:** 86

**ISBN:** 978-958-59892-6-9

**Info copia:** 1 copia disponible en la Biblioteca Nacional de Colombia

**Existencias**

**Biblioteca Nacional de Colombia**

**Copia Material Localización**

**1 Libro Electrónico**

**Biblioteca Nacional – Libros (consecutivo)**

**La Ingeniería, una profesión de impacto. Memorias del IV Simposio Virtual de Investigación Aplicada a la Ingeniería de Procesos**

**Autores:**

Ferreira Villadiego, J.  
Pedro Meza Castellara  
Jorgelina C. Pasqualino  
Henry Lambis Miranda  
Fabián Leonardo Muñoz Muñoz  
Rolando Oscar Molina Baspineiro  
Naun Elloy Copacalle  
Leo Iván Heredia Sardan,  
Manuel Mora Quintanilla  
David Jhonatan Cari Juarez  
Kevin Ayrton Duran Saavedra  
Edgar Fernando Parra Ortega  
Cédric Jacques Duquesne Malsergent  
Karen Rojas  
Manfred Schütze  
Richard Moran  
Laura Villegas  
Jesús Muñoz  
Héctor F. Silva  
José Jaime García

**Editor:** Editorial UNIMAR, Universidad Mariana

**Fecha de publicación:** marzo de 2018

**Páginas:** 86

**ISBN:** 978-958-59892-6-9

**Edición:** Primera

**Formato:** electrónico

**Colección:** evento

**Materia:** Ingeniería de Procesos

**Materia tópic:** Investigación Aplicada

**Palabras clave:** Ingeniería, profesión, impacto.

**País/Ciudad:** Colombia / San Juan de Pasto

**Idioma:** Español

**Menciones:** Ninguna

Visibilidad: Página web Editorial UNIMAR, Universidad Mariana

El libro se incluirá en el RILVI: Sí

Tipo de contenido: La Ingeniería, una profesión de impacto

**Universidad Mariana**

Hna. **Amanda del Pilar Lucero Vallejo** f.m.i.  
Rectora

**Graciela Burbano Guzmán**  
Vicerrectora Académica

**Luis Alberto Montenegro Mora**  
Director Centro de Investigaciones

**M Sc. Gloria Lucía Cárdenas Calvachi**  
Decana Facultad de Ingeniería

**M Sc. Jaime Darío Quijano Melo**  
Director Ingeniería de Procesos

**Luz Elida Vera Hernández**  
Director Editorial UNIMAR

#### **Comité organizador**

M Sc. **Jaime Darío Quijano Melo**  
Coordinador General  
Dir. Programa Ingeniería de Procesos

M Sc. **José Faruk Rojas Navarro**  
Coordinador Logístico y de gestión del evento  
Docente Programa Ingeniería de Procesos

M Sc. **Jorge Andrés Castro Lara**  
Coordinador Diseño y publicidad  
Docente Programa Ingeniería de Procesos

M Sc. **Hugo Andrés Gomajoa Enríquez**  
Coordinador Sector Externo  
Docente Programa Ingeniería de Procesos

M Sc. **Ángela Sofía Parra Paz**  
Coordinadora Conectividad  
Docente Programa Ingeniería de Procesos

#### **Comité Logístico**

José Faruk Rojas Navarro  
Daniel Solarte  
María Fernanda Benavides  
David Coral  
David Madroñero  
Jhonatan Benavides

#### **Comité de Publicidad**

Jorge Andrés Castro Lara  
Laura Isabel Márquez  
Ángela Tatiana Terán  
Sebastián Moreno  
Jhonatan Cundar  
María Cecilia Mera

#### **Comité de Conectividad**

Ángela Sofía Parra Paz  
Natalia Estefanía Muñoz Cerón  
Jimmy Torres

#### **Editorial UNIMAR**

**Luz Elida Vera Hernández**  
Directora Editorial UNIMAR

**David Armando Santacruz Perafán**  
Diseño y Diagramación

**Ana Cristina Chávez López**  
Corrección de Estilo

#### **Correspondencia:**

Editorial UNIMAR, Universidad Mariana  
San Juan de Pasto, Nariño, Colombia, Calle 18 No. 34 – 104  
Tel: 7314923 Ext. 185  
E-mail: [editorialuniar@umariana.edu.co](mailto:editorialuniar@umariana.edu.co)

#### **Disponible:**

**Cítese como:** Villadiego, F., Meza, P., Castellana, J., Lambis, H., Muñoz, F., Molina, R., ... et al. (2018). *La Ingeniería, una profesión de impacto. Memorias del IV Simposio Virtual de Investigación Aplicada a la Ingeniería de Procesos*. San Juan de Pasto: Editorial UNIMAR.

Las opiniones contenidas en el presente libro no comprometen a la Editorial UNIMAR ni a la Universidad Mariana, puesto que son responsabilidad única y exclusiva de los autores, de igual manera, éstos, han declarado que en su totalidad es producción intelectual propia, en donde aquella información tomada de otras publicaciones o fuentes, propiedad de otros autores, está debidamente citada y referenciada, tanto en el desarrollo del documento como en las secciones respectivas a la bibliografía.

El material de este libro puede ser reproducido sin autorización para uso personal o en el aula de clase, siempre y cuando se mencione como fuente su título, autores y editorial. Para la reproducción con cualquier otro fin es necesaria la autorización de la Editorial UNIMAR de la Universidad Mariana.



# Contenido

<b>Presentación</b>	
José Faruk Rojas Navarro, Jaime Darío Quijano Melo	7
<b>Conversatorio de apertura: “Pertinencia de la Ingeniería de Procesos en el postconflicto”</b>	
José Faruk Rojas Navarro, Jaime Darío Quijano Melo	11
<b>Valorization of agro-industrial waste as a basis for new packaging materials. An introductory study</b>	
Ferreira Villadiego, J., Pedro Meza Castellara, Jorgelina C. Pasqualino, Henry Lambis Miranda	17
<b>Aplicación de los modelos multinivel</b>	
Fabián Leonardo Muñoz Muñoz	23
<b>Máquina de cocción para reducir la acrilamida</b>	
Rolando Oscar Molina Baspineiro, Naun Elloy Copacalle, Leo Iván Heredia Sardan, Manuel Mora Quintanilla, David Jhonatan Cari Juarez, Kevin Ayrton Duran Saavedra	31
<b>Análisis y simulación dinámica de los elementos mecánicos de transmisión de cargas de vehículos tipo fórmula</b>	
Edgar Fernando Parra Ortega, Cédric Jacques Duquesne Malsergent	43
<b>La modelación como una herramienta para la evaluación y planificación de sistemas de agua residual</b>	
Karen Rojas, Manfred Schütze	61
<b>Uniones basadas en semi-anillos de acero para elementos estructurales de Guadua</b>	
Richard Moran, Laura Villegas, Jesús Muñoz, Héctor F. Silva, José Jaime García	73
<b>Conclusiones</b>	83





# Presentación

Considerando el Plan Nacional Decenal de Educación (PNDE) y el Plan Nacional de Desarrollo 2014 – 2018 “Colombia la mejor educada de América Latina en el 2025”, el cual es un conjunto de propósitos, objetivos y metas que expresan la voluntad del país en materia educativa, cuyo objetivo es generar un gran acuerdo nacional que comprometa al gobierno, los diferentes sectores de la sociedad y la ciudadanía en general, para avanzar en las transformaciones que la educación necesita (MEN, 2014); menciona que la educación es un proceso de formación integral, pertinente y articulado con los contextos local, regional, nacional e internacional que desde la cultura, los saberes, la investigación, la ciencia, la tecnología y la producción, contribuye al justo desarrollo humano, sostenible y solidario, con el fin de mejorar la calidad de vida de los colombianos, y alcanzar la paz, la reconciliación y la superación de la pobreza y la exclusión. Igualmente expresan que el País requiere un sistema de formación que permita a los estudiantes no solo acumular conocimientos, sino saber cómo aplicarlos, innovar, y aprender a lo largo de la vida para el desarrollo y actualización de sus competencias. Por otro lado, se busca promover espacios de divulgación y formación dentro del sector educativo y otros ámbitos que faciliten los procesos de transformación cultural y actitudinal, necesarios para el desarrollo nacional y regional en aspectos sociales, ambientales, institucionales; en pro de una paz sostenible.

El Decreto Único Reglamentario del Sector Educación emanado por el Ministerio de Educación Nacional, indicado bajo el número 1075 del 26 de mayo de 2015; en el cual se agrupan las disposiciones en materia de educación para los diferentes niveles en el territorio colombiano; en la sección concerniente a la educación superior, en lo referido a investigación, se sugiere la constante revisión del estado de la educación en el área, y de la ocupación, profesión arte u oficio, en los ámbitos nacional e internacional. Se requiere de manera particular abordar actividades que permitan desarrollar una actitud crítica y una capacidad creativa para encontrar alternativas de avance de la ciencia, la tecnología, las artes o las humanidades, siendo para los programas de educación superior una prioridad promover la formación investigativa de los estudiantes, los procesos de investigación, diseño e innovación, en concordancia con el nivel de formación y sus objetivos.

Finalmente, el Plan de Desarrollo Departamental 2016 – 2019 “NARIÑO CORAZÓN DEL MUNDO” en su eje estratégico IV sobre desarrollo integral referente al Subprograma de Desarrollo productivo, agroindustrial y comercial; plantea que en Nariño la mayor parte de los productores agropecuarios son pequeños, lo que implica la necesidad de desarrollar capacidades productivas y agroindustriales para fortalecer el emprendimiento, la comercialización y la generación de mayores ingresos. Gran parte de la producción agropecuaria en Nariño se hace a nivel familiar, dentro de lo que uno o dos productos están orientados a la generación de ingresos a través de la comercialización de sus excedentes, la cual surte mercados locales, subregionales y regionales (DNP, 2014). Conforme a lo anterior, se busca promover el desarrollo de procesos de capacitación al talento humano, de asociatividad, producción y

comercialización, además de fomentar proyectos de producción limpia e incentivar la organización de productores con la cultura de producción agroecológica.

Tomando en cuenta los anteriores referentes nacionales y regionales; se ha convertido en una prioridad para el Programa de Ingeniería de Procesos adscrito a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Mariana, realizar la cuarta entrega de estas memorias, correspondientes al *“IV Simposio Virtual de Investigación Aplicada a la Ingeniería de Procesos: La Ingeniería, una Profesión de Impacto”*; versión orientada hacia la innovación para el desarrollo sostenible y la necesidad del contexto en el campo de los procesos; abriendo un espacio de divulgación de experiencias investigativas y empresariales exitosas, en la aplicación de las áreas de formación en ingeniería y afines como estrategia de aprendizaje; y perfeccionamiento de la formación específica.

El evento contó con varias ponencias, producto de resultados de trabajos de investigación y experiencias aplicadas por expertos de carácter nacional e internacional en el campo de los Procesos, así como experiencias exitosas en la aplicación de las áreas de formación en ingeniería, en donde se trataron temas relacionados con procesos fisicoquímicos, biotecnológicos, en alimentos, agroindustriales y áreas afines que requieren de operaciones o procesos unitarios. De igual manera se presentan trabajos realizados dentro de procesos administrativos o de gestión, obedeciendo a que el programa de Ingeniería de Procesos tiene a los mismos como áreas de desempeño de los profesionales de formación.

La cuarta versión del Simposio Virtual en Investigación aplicada a la Ingeniería de Procesos, contó con la participación de prestigiosas Universidades entre las cuales podemos mencionar:

- Universidad Nacional Autónoma de México – México.
- Universidad CES de Medellín – Colombia.
- Universidad Jorge Tadeo Lozano – Colombia.
- Instituto Tecnológico de COMFENALCO – Colombia.
- Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca – Bolivia.
- Universidad Federal de Ouro Preto – Brasil.
- Centro internacional de producción limpia LOPE – Colombia.
- Universidad Mariana – Colombia.
- Universidad del Valle – Colombia.
- Instituto de Investigación Aplicada de la Universidad de Magdeburg IFAK – Alemania.

Con el evento se busca la contextualización del estado de la profesión en el área de procesos de transformación, administrativo o de gestión en los ámbitos nacional e internacional, con base en la tendencia de formación de los ponentes en las Instituciones donde se encuentran realizando o han terminado sus estudios. Como aporte a estos propósitos, el programa de Ingeniería de Procesos con satisfacción hace entrega de esta memoria de resúmenes de las 8 ponencias quienes, gracias a su generosa respuesta a la invitación, han permitido con sus aportes el logro de los objetivos específicos del evento:



1. Generar espacios de aprendizaje y formación en el área de investigación desde diferentes áreas de fundamentación propias de la Ingeniería de Procesos para los asistentes al evento.
2. Identificar tendencias de investigación en las diferentes áreas de fundamentación de la Ingeniería de Procesos y sus afines.
3. Mejorar el que hacer docente e investigativo de los profesores, e investigativo de los estudiantes del programa de Ingeniería de Procesos y programas invitados de las diferentes instituciones de educación superior de la ciudad, a través de la socialización de experiencias de investigación de los ponentes invitados al evento.
4. Fortalecer el tejido socio empresarial local, por medio de la realización de una feria empresarial y de emprendimiento que tiene lugar durante el evento de manera paralela; en donde se busca favorecer el posicionamiento de algunas empresas aliadas del programa a fin de que estas visibilicen su marca y productos.

El programa de Ingeniería de Procesos agradece de manera especial a los patrocinadores del Simposio por su apoyo y contribución para llevarlo a cabo y, en general, a todas las personas e Instituciones que con su entusiasmo, confianza, esfuerzo y dedicación influyeron para su consecución. Esperamos que este documento sea testimonio de los aportes que se busca sean realizados por el programa al contexto, satisfaga las expectativas de quienes lo consulten y sea referente para la gestión de calidad en la formación de nuestros ingenieros.

**Jaime Darío Quijano Melo**

Director IDEP

**José Faruk Rojas Navarro**

Docente IDEP Director IDEP



# Conversatorio de apertura:

“Pertinencia de la Ingeniería de Procesos en el postconflicto”

En la historia de Colombia para el presente año se requiere destacar la firma de los Acuerdos de Paz con las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia (FARC – EP); hecho histórico que; sin duda, impactará y transformará a la sociedad colombiana. En este sentido, el Departamento de Nariño por ser uno de los más afectados por el conflicto armado; evidencia la necesidad de realizar una construcción colectiva de la paz como responsabilidad de la sociedad civil. Es por esto que el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD, la Gobernación de Nariño y otros agentes han formulado del Plan Estratégico de Paz (PEP) del departamento de Nariño 2015-2034, con el fin de contar con una herramienta estratégica para la gestión integral del desarrollo en diferentes niveles de gestión, que permita impulsar la implementación de programas y proyectos en dirección de la construcción de paz duradera, para lo cual se asuma el enfoque de derechos y el enfoque territorial en el contexto del desarrollo humano sostenible; articulado con el Agenda de Paz Nariño (APN), documento realizado con la participación ciudadana en torno a su visión y propuestas en la fase del posconflicto.

En concordancia y como parte de la sociedad civil, el Programa de Ingeniería de Procesos dio apertura al IV Simposio un el Conversatorio “*La pertinencia de la Ingeniería de Procesos en el postconflicto*”, contando con invitados de alta trascendencia quienes, desde entidades gubernamentales y privadas de carácter nacional e internacional, han liderado y participado de manera activa en estos procesos en el Departamento y que son mencionados a continuación:

- Dra. Luisa Cremonese - Coordinadora Territorial del PNUD en Nariño.
- Dr. Zabier Hernández Buelvas - Coordinador de la Comisión de Paz del municipio de Pasto.
- Dra. Gloria Pérez - Gerente del programa de cooperación DIRENA. (programa de desarrollo con identidad regional entre España y Nariño).
- Dr. Nelson Leitón Portilla – Secretario de Desarrollo Económico Alcaldía de Pasto.
- Dr. Fabio Trujillo Benavides - Presidente de la Junta Directiva de la Sociedad de Agricultores y Ganaderos de Nariño (SAGAN).

Destacando que características distintivas de nuestro programa y que le imprimen pertinencia para el desarrollo regional, son el estudio de procesos de transformación agroindustrial, de alimentos, química y biotecnológica; además de competencias base administrativa, logística y de gestión; combinación que busca generar profesionales competentes para desempeñarse en diferentes campos de acción, pero con una visión sostenible y transversal; resulta necesario abordar el aporte que se debe hacer



desde el la formación profesional con pertinencia en asunto de paz; y su relación con proyectos productivos identificados por los panelistas participantes, hecho que se evidencia en el perfil de egreso propuesto para los profesionales de la Ingeniería de Procesos que se vienen formando en la Universidad Mariana.

El desarrollo del Conversatorio se desarrolló de la misma manera:

Se realizó la apertura del conversatorio por parte del Coordinador de la Comisión de Paz; por el Dr. Zabier Hernández, quien abrió el evento con una contextualización sobre construcción y alineación de la Agenda de Paz Nariño –APN- con el Plan Estratégico de Paz Nariño –PEP-, explicando sus respectivos orígenes, objetivos generales; y estableciendo una relación entre los Ejes, proyectos y estrategias favorables a la construcción de paz regional, con el Ingeniero de Procesos de la Universidad Mariana y los demás profesionales de la ingeniería desde el aporte de su perfil profesional a los mismos.

Paso seguido, se generaron temas de discusión alrededor de las siguientes preguntas:

- Los procesos de construcción de paz, están teniendo lugar en diferentes lugares del territorio nacional. En Nuestra región, la formulación del Plan Estratégico de Paz del departamento de Nariño 2015-2034 corresponde a una iniciativa conjunta del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo –PNUD- y la Gobernación del Departamento, con el fin de contar con una herramienta estratégica para la gestión integral del desarrollo en diferentes niveles de gestión, que permita impulsar la implementación de programas y proyectos en dirección de la construcción de paz duradera. En este contexto, ¿Por qué Nariño es proyecto piloto regional de paz en Colombia?
- Dentro de los perfiles de proyectos estratégicos del Plan estratégico de paz, se habla de la implementación de un programa de desarrollo rural integral pertinente con enfoque diferencial y territorial. Una de las principales dificultades identificadas es el aislamiento o incluso divorcio entre la Universidad – la empresa – el Estado – y la sociedad civil. Según su percepción, ¿Cuáles serían las herramientas que permitan un trabajo conjunto en donde cada uno de los actores se engrane, generando beneficio de alto impacto que permita la ejecución de los proyectos establecidos para los ejes estratégicos?
- Parafraseando a Jean Monnet se encuentra la siguiente reflexión: “La paz no depende de tratado y de promesas, depende esencialmente de la creación de condiciones, que si bien no modifica la naturaleza de los hombres; al menos guían su comportamiento recíproco en una dirección pacífica”. ¿Considera usted que la construcción de la agenda de paz de Nariño y el Plan estratégico de Paz, representan realmente la creación de condiciones para el logro de la paz en el territorio?
- La tendencia de la globalización se ha ido afectando a través de diferentes movimientos nacionalistas presentes en el mundo, que buscan la protección de los productores y el favorecimiento en el consumo interno. Reconociendo las dificultades de logísticas de nuestro departamento, que han aportado de



una u otra forma a su aislamiento del país; ¿Se puede considerar que con la identificación de los ejes estratégicos y los proyectos; ¿puede lograrse fortalecer el desarrollo regional y la satisfacción de las necesidades básicas internas, en concordancia con los objetivos de desarrollo sostenible promulgados por Naciones Unidas?

- Haciendo una lectura diferencial de los ejes estratégicos identificados en la agenda de paz para Nariño, particularmente en el eje estratégico 3 referente al desarrollo integral con enfoque territorial y diferencial, se encuentra que propone incidir fuertemente en el componente productivo y de mercados. Esto significa actuar en aspectos como:
  - La modernización de la producción.
  - La investigación, la ciencia y la tecnología en favor de la producción.
  - Infraestructura para la productividad.
  - Sistemas de comercialización.
  - La soberanía y seguridad alimentaria.
  - El crecimiento de las exportaciones y del mercado interno.
  - El uso sostenible de los potenciales agropecuarios, forestales y pesqueros.
  - El avance en la competitividad.

Partiendo de lo anterior: ¿Cuál es su óptica referente a la pertinencia en la formación de ingenieros de procesos para la región?

Como conclusión del conversatorio, se establecieron relaciones directas entre el perfil de egreso de los profesionales de Ingeniería de Procesos y algunos de los proyectos que se proponen impulsen el desarrollo de la región. En consecuencia, a continuación se relacionan las características del ingeniero de procesos de la Universidad Mariana:

En Colombia y a nivel de pregrado, el programa de Ingeniería de Procesos con denominación específica hace su aparición en el año de 1996 en la Escuela de Administración, Finanzas e Instituto Tecnológico (EAFIT) de Medellín. Actualmente se oferta en cuatro Instituciones de Educación Superior en el país.

En la Universidad Mariana, la ingeniería de procesos obtiene registro mediante resolución número 9108 del 23 de noviembre de 2009; y a la fecha se han generado cinco cohortes de graduados.

### **Perfil profesional**

El Egresado del Programa de Ingeniería de Procesos de la Universidad Mariana desde su formación humana y humanística; y sus sólidas bases técnicas y tecnológicas, se identifica por:

- Diseñar e implementar procesos fisicoquímicos y biotecnológicos, sostenibles económica, tecnológica y ambientalmente.
- Modelar y simular procesos fisicoquímicos y biotecnológicos.
- Desarrollar nuevos productos, competitivos en los ámbitos regional, nacional e internacional.
- Optimizar procesos para lograr el aprovechamiento racional de los recursos humano, natural y económico.
- Crear y administrar su propia empresa, preferiblemente de base fisicoquímica y biotecnológica.
- Respetar los valores, la cultura, las creencias y la diversidad; ejerciendo su profesión de forma ética y con conciencia social.
- Proponer innovaciones para procesos de transformación conocidos, con el fin de mejorar su rendimiento y ofrecer nuevas alternativas.
- Investigar en el sector industrial para encontrar nuevas aplicaciones a los recursos de la región y del país.
- Operar y gestionar diferentes procesos para mantenerlos actualizados y contribuir al desarrollo de la región y del país.
- Administrar empresas para mejorar sus resultados a través de sus procesos.

Tabla 1. *Áreas de desempeño profesional Ingeniería de Procesos*

<b>Ingeniería</b>	<b>Procesos Químicos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño de Procesos agroindustriales.</li> <li>• Diseño de Procesos biotecnológicos.</li> <li>• Diseño de Procesos de control ambiental.</li> <li>• Diseño de Equipos de Procesos.</li> <li>• Optimización y simulación de procesos.</li> <li>• Planeación, desarrollo y puesta en marcha.</li> <li>• Evaluación técnico-económica de proyectos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agroquímicos.</li> <li>• Productos Farmacéuticos.</li> <li>• Jabones, Detergentes.</li> <li>• Productos de cuidado personal.</li> <li>• Aceites y grasas vegetales y animales.</li> <li>• Aceites esenciales y resinas.</li> <li>• Tratamiento de agua.</li> </ul>

<p><b>Procesos Biotecnológicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Biocombustibles.</li> <li>• Biopolímeros.</li> <li>• Biomateriales.</li> <li>• Biorremediación.</li> <li>• Productos de fermentación.</li> <li>• Procesos de la Industria Farmacéutica.</li> <li>• Procesos de la Industria de Alimentos.</li> </ul>	<p><b>Procesos de Alimentos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lácteos.</li> <li>• Cárnicos.</li> <li>• Vegetales.</li> <li>• Confitería, galletería, panadería, helados y conservas.</li> <li>• Bebidas y licores.</li> <li>• Extractos.</li> </ul>
<p><b>Gestión</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Logística.</li> <li>• Sistemas de Gestión de Producción.</li> <li>• Planeación, Programación y Control de la Producción.</li> <li>• Sistemas de Gestión de Costos de Producción.</li> <li>• Sistemas de Gestión Ambiental.</li> <li>• ISO 14000. ISO 9001</li> <li>• Producción Más Limpia.</li> <li>• Ecología Industrial.</li> <li>• Sistemas de Gestión de Calidad.</li> <li>• Desarrollo de nuevos productos.</li> </ul>	<p><b>Procesos Agroindustriales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Banano, Café.</li> <li>• Palma Africana.</li> <li>• Caña de Azúcar.</li> <li>• Fique, Maíz.</li> <li>• Floricultura.</li> </ul>

\*Documento Maestro Registro Calificado. Resolución 16974 de 22 agosto de 2016. Código SNIES 54999

**Jaime Darío Quijano Melo**  
Director IDEP

**José Faruk Rojas Navarro**  
Docente IDEP Director IDEP





# Valorization of agro-industrial waste as a basis for new packaging materials. An introductory study

Ferreira Villadiego, J.<sup>a</sup>  
Pedro Meza Castellar<sup>a</sup>  
Jorgelina C. Pasqualino<sup>b</sup>  
Henry Lambis Miranda<sup>\*a</sup>

<sup>a</sup> Programa de Ing. de Procesos. Grupo de Investigación CIPTec. Facultad de Ingeniería. Fundación Univ. Tecnológico Comfenalco, Cartagena de Indias, Colombia.

<sup>b</sup> Programa de Ing. Ambiental. Grupo de investigación GIA. Fundación Univ. Facultad de Ingeniería. Tecnológico Comfenalco, Cartagena de Indias, Colombia.

\*e-mail: hlambis@tecnocomfenalco.edu.co

## Abstract

In the perishable goods industry, the time the containers last in the environment far exceeds the shelf life of the foods they contain. In order to develop solutions that take advantage of low cost raw materials, the use of green banana peel (*Musa paradisiaca*) as a starch source was tested using humid methods based on acidic ascorbic acid hydrolysis. A factorial design of 2 factors and 4 levels was used for later analysis with ANOVA. The moisture content of the feedstock was about 85%, yielding up to 48% yield of starch weight. The purity of the starch obtained was up to 70%. This starch will serve as a base for its chemical modification with glycerine, to improve its mechanical properties, with the objective of using it in packaging of products of rapid degradation and consumption. Statistical analysis showed that the most important factor in the process was the concentration of ascorbic acid.

**Key words:** Starch, Biodegradable, valorization, banana peel, packaging

## Introducción

El desarrollo en la industria de alimentos, la saturación de los ecosistemas con desechos no degradables y las nuevas exigencias del consumidor de productos más frescos son motores de nuevas alternativas para el empaque de bienes y servicios (Aranguren & Sepúlveda, 2013).

Desde que los polímeros sintéticos se inventaron, hace ya más de 60 años, han sido cientos las aplicaciones que se le han atribuido. Su característica más significativa es la durabilidad, lo que a su vez es una gran problemática, porque afecta directamente el ambiente, ya que se necesitarían muchos años para que estos se descomponga de manera natural (Ruiz, 2006).

La mayoría de los polímeros desarrollados en la actualidad se producen a partir de productos derivados del petróleo, hecho que siempre ha perjudicado al ambiente de diferentes maneras; el reciclaje de estos es una opción para mitigar esta problemática, pero no es del todo efectiva, pues no todos los polímeros se pueden reciclar debido a su composición o su utilidad.

La disputa de los productos poliméricos contra el ambiente sigue tomando fuerza, a raíz de esta situación han salido a flote grandes ideas, una de estas: los biopolímeros, que no son más que polímeros sintéticos, pero con la gran diferencia de su degradabilidad; es aquí donde el aprovechamiento de los recursos disponibles de la tierra juegan un papel determinante, pues, de muchos productos del subsuelo terrestre se pueden obtener materias primas, como por ejemplo, el almidón proveniente de la cascara de plátano (*Musa paradisiaca*), ya que gracias a sus propiedades es perfecto candidato para la creación de un polímero y no compite como fuente de alimento para el hombre.

Los biopolímeros a partir de almidón serán en el futuro una forma económica y ambientalmente amigable de obtener polímeros, debido a la abundancia de plantas que contengan este tipo de material (Cruz et al., 2013).

En esta investigación se pretende obtener un polímero biodegradable a partir del almidón de la cáscara de plátano verde (*Musa paradisiaca*) usando como plastificante un poliol y se determinarán algunas de sus propiedades así como sus características fisicoquímicas y mecánicas.

## Descripción de Problema

Los plásticos son derivados del petróleo y dependen en su totalidad de este recurso fósil no renovable, cerca del 5% del petróleo extraído en todo el mundo se destina para la creación de plásticos. El plástico es la tercera aplicación del petróleo más usada en el mundo, y al año consumimos 300 millones de toneladas y como consecuencia se lanzan a la atmósfera toneladas de dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Al adquirir productos con envases hechos de plástico y desechar estos, inconscientemente esta actividad antrópica contamina al planeta (Castillo, 2015).

La problemática generada por su uso intensivo radica en su baja o nula biodegradabilidad y, por consiguiente, en su elevada generación de residuos. La volatilidad de los precios internacionales del petróleo, la inestabilidad de la situación geopolítica de las regiones que poseen grandes reservas mundiales y el consenso global sobre la necesidad de promover el desarrollo de tecnología que disminuya la emisión de gases de efecto invernadero, como el  $CO_2$ , han impulsado la producción de productos químicos a partir de materias primas basadas en fuentes renovables (Valero, 2013). A la misma velocidad con la que los plásticos se demandan, también se desechan. Son productos cuya utilización como material de empaque para todo tipo de alimentos ha sido muy exitosa, pero, a pesar de ser innegable que son un material de gran utilidad y han generado innumerables soluciones a necesidades del hombre, presentan problemas en todo su ciclo de vida y no solo a la hora de su eliminación.

En Colombia aún no se tiene una cultura bien establecida de reciclaje y ya se están presentando problemas con los rellenos sanitarios los cuales podrían reducirse con la

obtención de un polímero biodegradable. Son muchos los estudios que actualmente realizan múltiples universidades en la búsqueda de una solución amigable con el medio ambiente, económica y con fuentes renovables; la cascara de plátano (*Musa paradisiaca*) brinda esta oportunidad y si bien el reto es inmenso al hacer frente a la industria petrolera y todos sus derivados es relevante tener en cuenta que en la actualidad los problemas ocasionados por los mismos cada vez se agravan y debido a esto surgen mentes motivadas en la búsqueda de diferentes opciones poco o no contaminantes con el fin de contribuir a las distintas sociedades (Ruiz, 2016). Alternativas son las que se quieren generar por medio de investigaciones y ensayos experimentales. El plástico sintético que actualmente se comercia tarda mucho tiempo de degradarse y contribuye a la contaminación global.

Debido a lo anterior surge la necesidad de aprovechar al máximo los residuos generados por el subsuelo de nuestra región. Por ello, con este trabajo de investigación se quiere obtener y caracterizar de forma básica un biopolímero por medio del almidón de cascara de plátano modificado químicamente, y dar prueba de que se pueden realizar investigaciones útiles y proyectos con los productos que la naturaleza nos ofrece.

## Metodología

En la literatura se reportan varios métodos para separar el almidón de la fibra vegetal, sin embargo, por las diferencias en la composición, no todos son aplicables al plátano. Los métodos de extracción del almidón a partir de los residuos de fruto de plátano incluyen: extracción en seco y extracción húmeda (Mazzeo *et al.*, 2008; Flores Gorosquera *et al.*, 2004). El método de extracción en seco permite extraer el 49,62% del almidón de la pulpa del plátano, mientras que el húmedo permite extraer el 56,76%. Otras fuentes industriales de almidón para modificar son algunos tipos de tubérculos como la yuca amarga. La mandioca amarga (*Manihot utilissima*) tiene un aspecto y forma muy similar a la mandioca dulce, pero debido a que la mandioca amarga tiene un alto contenido de cianuro puede producir efectos nocivos al ingerirse, y por ello, requieren un tratamiento previo antes de ser consumida (Bravo, 1997). Hay varios métodos para disminuir el contenido de cianuro, para esto se necesita de un proceso complejo para que puedan ser aptas para el consumo humano, así que son usados por lo general en procesos industriales.

### Método de extracción en seco

El método de extracción en seco, utilizado en numerosas materias primas, implica: lavado con agua, desinfección con hipoclorito de sodio (1%), pelado, troceado, secado (40°C, 10 horas), molido y tamizado.

### Método de extracción húmedo

El método húmedo implica: lavado con agua, desinfección con hipoclorito de sodio (1%), troceado, inmersión en antioxidante (ácido ascórbico 3% durante tiempos que variaron entre 5, 15, 30 y 60 minutos para las muestras 1 a 4 respectivamente), trituración hasta obtener una pasta o lechada, lavado y tamizado, decantación del líquido de lavado, eliminación de sobrenadante (por decantación y posterior filtrado en vacío), lavado y tamizado, secado (40°C, 10 horas), y tamizado final.

## Caracterización del Almidón

Para determinar cualitativamente la presencia de almidón en la materia prima (cáscaras de plátano) se usó el método del lugol (Castillo, 2015). Una vez extraído el almidón de la piel de plátano se realiza la caracterización del mismo para determinar el grado de pureza. Para ello se utilizaron los métodos AOAC 920.44 y AOAC 906.03. Posteriormente se llevara a cabo una relación Amilosa-Amolipectina, así como la determinación de cenizas; todo esto con el fin de conocer las propiedades y características del almidón obtenido (Castillo, 2015).

## Modificación química del almidón

Se prepararon cuatro mezclas utilizando como agente plastificante la glicerina, este proceso se adaptó de un estudio previo (Ruiz, 2006), el cual expone las composiciones de almidón, glicerina y agua de la siguiente manera:

Tabla 1. Mezclas de amilidón y composición

Mezcla N°	Almidón (%)	Glicerina (%)	Agua (%)
1	72	12	16
2	70	18	12
3	67	24	9
4	65	35	0

Utilizando una mezcladora eléctrica, con aspas, gancho de agitación circular y velocidad de rotación planetaria.

## Resultados preliminares

Para expresar los resultados de porcentaje de almidón en la cáscara, se determinó el contenido de humedad total de la muestra, usando un analizador de humedad diferencial (modelo BM45) de la casa OHAUS. Se obtuvo un valor promedio de aprox. 88 % (p/p).

El rendimiento de almidón varió de 3,25 a 9,49 gr de almidón (promedio 5,7 gr) obtenido a partir de las muestras originales de cáscara de plátano húmedo de 150 gr, representando rendimientos que varían de 16,6 a 48,5% (promedio 29%) de la masa seca. El almidón obtenido se caracterizó por grado de pureza utilizando los métodos AOAC 920.44 y AOAC 906.03, alcanzando valores de pureza máxima de 57,52%  $\pm$  0,48% a 69,9%  $\pm$  0,76%.

Las mezclas para la modificación química del almidón serán sometidas a caracterización química, con pruebas como: Termogravimetría, Espectroscopía de infrarrojos (FTIR), además de pruebas de propiedades mecánicas (máquina universal) de las mezclas que lo permitan.

## Referencias

Aranguren, L. M. A., & Sepúlveda, D. F. B. (2013). Biopolímeros: una alternativa para la elaboración de empaques agroindustriales. *I+ D Revista De Investigaciones*, 1(1).

Bravo, E. (1997). Biotecnología: una visión andino-amazónica. *Ecología política*, 14, 143.



- Castillo, R. et al. (2015). Bioplástico a partir de la cascara de plátano. *Revista de Iniciación Científica*, 1, 34-37.
- Cruz, R., Martínez, Y. y López, A. (2013). *Biopolímeros y su integración con polímeros convencionales como alternativa de empaque de alimentos*. Puebla, México: Universidad de las Américas Puebla. Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y ambiental.
- Flores-Gorosquera, E., García-Suárez, F. J., Flores-Huicochea, E., Núñez-Santiago, M. C., González-Soto, R. A., y Bello-Pérez, L. A. (2004). Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de plátano (*Musa paradisiaca*). Estudio en planta piloto. *Acta Científica Venezolana*, 55(1), 86-90.
- Mazzeo, M.M., León, L., Mejía, L.F., Guerrero, M.L.E. y Botero, L.J.D. (2010). Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y poscosecha del plátano en el departamento de Caldas. *Revista Educación en Ingeniería*, 9, 128-139.
- Ruiz, G. (2006). Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir de la yuca. *Ingeniería y Ciencia*. 24, 5-28.
- Valero, V. et al. (2013). Biopolímeros: Avances y propuestas. *DYNA*, 80(181), 172.



# Aplicación de los modelos multinivel

**Fabián Leonardo Muñoz Muñoz**

Estudiante de Doctorado en Epidemiología y Bioestadística Universidad CES  
Escuela de Graduados

## Introducción

En el siguiente documento muestra algunos elementos relevantes en torno a los modelos multinivel, enfatizando en su naturaleza, características, posibilidades, ya que cuando se trata de analizar los resultados de una investigación es necesario comprender que los fenómenos sociales son complejos, es decir la relación entre todas las variables no necesariamente están de forma directa, por el contrario estas relaciones son complejas y están organizadas de manera jerárquica. Por esta razón el análisis de las poblaciones debe hacerse teniendo en cuenta esta perspectiva, para así evitar conclusiones erróneas sobre las mismas.

## Reseña Histórica

La investigación multinivel tuvo sus inicios en el campo de la educación, donde Aitkin et al. (1981, citado por Cruz, 2008), reanalizan los estudios de Bennett, (1976) quien pretendió que los niños expuestos al llamado estilo *formal* de la enseñanza exhibían más progreso que aquellos que no, usando las técnicas tradicionales los resultados eran estadísticamente significativos, pero los estudios de Aitkin muestran que cuando el análisis consideró correctamente agrupar los niños en clases, las diferencias significativas desaparecieron y los niños *formalmente* enseñados no demostraron ser diferentes a los otros

En el campo de la salud a mediados de siglo XX, se argumenta que muchos eventos (enfermedades) no se deben a una sola causa sino a múltiples causas que interactúan entre sí de diferentes maneras, y las limitaciones de los modelos unicausales no dan cuenta de muchos eventos en los que influyen otras circunstancias (enfermedades crónicas), así el Postulado de investigación es: La dinámica de los fenómenos (sociales, económicos, mecánicos...) se explica en términos multicausales que influyen en cada individuo generando resultados inciertos.

### Sobre los modelos multinivel

Los modelos multinivel o también llamados jerárquicos, son una respuesta a la necesidad de analizar la relación entre los individuos y el medio en el que se desenvuelven en otras palabras los modelos multinivel aparecen como una alternativa metodológica de acercar el contexto del individuo a la explicación de la causalidad.

Las causas que se asocian a la ocurrencia de un evento, frecuentemente se estudian de manera estática en el sentido de que no se tiene en cuenta el análisis

prospectivo o retrospectivo del ambiente social o cultural que rodea al individuo, debido a deficiencias importantes, tales como ausencia de variables, imposibilidad de relacionar el contexto o el ambiente o dificultades en la aplicación metodología, entre otras, así el análisis multinivel permite incluir características de grupos diferentes en modelos de comportamiento individual, al incorporar las características de los grupos al modelo multinivel, se tiene en cuenta la estructura jerárquica de los datos, se obtienen estimaciones correctas de los errores estándar y se facilita la exploración de la variación entre grupos que puede ser de interés por derecho propio.

En la práctica de investigación es muy común que la estructura de los individuos en estudio esté organizada en forma jerárquica, típicamente estas estructuras son naturales. Esto es, los individuos están agrupados en unidades de nivel más alto, que a su vez también pueden estar agrupadas en otras unidades. Ejemplos de estas estructuras comunes, tenemos alumnos en las clases, trabajadores en empresas...

También conocidos como:

- Modelo de efectos aleatorios.
- Modelos jerárquicos.
- Modelos de componentes de varianza.
- Modelos de coeficientes aleatorios.
- Modelos mixtos.

### **Varias causas se articulan para producir un efecto único**

- Un evento puede obedecer a varias causas que actúan conjuntamente.
- Una de las causas debe ser necesaria y suficiente.
- Las demás causas son necesarias pero no suficiente.
- Lo más que puede hacer el analista es medir el resultado y compararlo con cada uno de los factores que entran en la caja negra, de manera separada.

### **Modelos multicausales desde la ecoepidemiología**

Las enfermedades aparecen por un conjunto de condiciones internas y externas biológicas y sociales (factores aislados) que se organizan por niveles jerárquicos.

Las distintas características de las personas y los grupos se organizan por niveles, y establecen entre si diferentes relaciones desde lo macro a lo micro y viceversa.

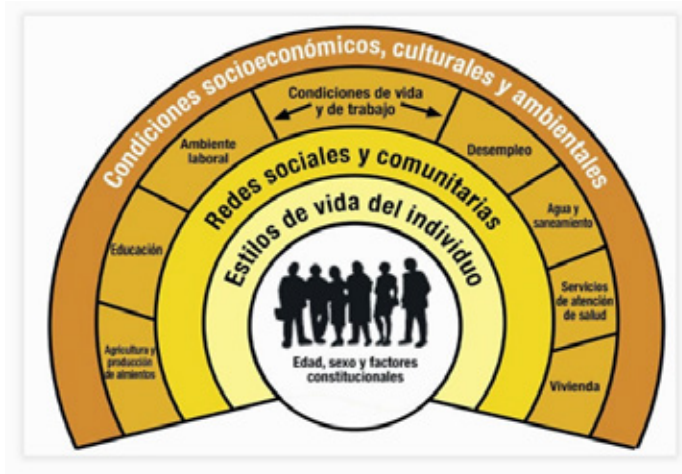


Figura 1. Condiciones socioeconómica, culturales y ambientales.

### Modelamiento de datos con estructura compleja

**Idea básica:** para la mayoría de las preguntas de investigación (si no todas), existe una estructura compleja, sea que esta se derive de la realidad del mundo o que la hayamos impuesto durante el diseño de investigación.

**Dos tipos fundamentales:** estructuras jerárquicas y no-jerárquicas.

**Ignorar dicha estructura:** análisis simples - error inferencial.

#### Estructura jerárquica

Una jerarquía consiste en un conjunto de observaciones que conforman el nivel individual, primer nivel o micro nivel, que se encuentran anidadas dentro de un nivel superior, segundo nivel o nivel macro así en el caso más simple, también se llaman niveles macro como grupos o contextos.

#### Ejemplos de jerarquías

##### Salud

- Pacientes (1) en hospitales (2).
- Pacientes (1) in unidades de tratamiento (2) en hospitales (3).

##### Geografía

- Hogares (1) en barrios (2) en departamentos (3) en países (4).

##### Negocios

- Empleados (1) en equipos (2) en organizaciones (3).

##### Psicología

- Personas (1) en familias (2).



- Hermanos (1) entre hermanos gemelos (2).

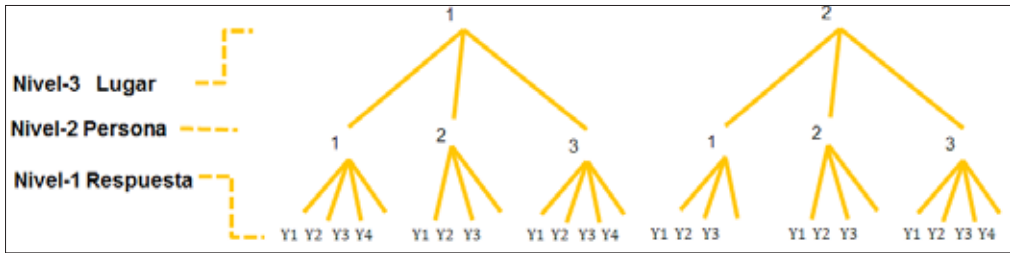


Figura 2. Estructuras multinivel multivariadas I

### Estructura:

- Múltiples variables correlacionadas representando mediciones de un evento común.
- Conjunto de variables (nivel-1) agrupados dentro de individuos (nivel-2) agrupados dentro de nivel-3.
- No balanceado: no todos los individuos contestaron todas las variables.

### Pregunta de investigación

Respuestas relacionadas a comportamientos en salud de los trabajadores:

- ¿Hay comunidades no saludables e individuos no saludables?
- ¿Qué tan correlacionados son los comportamientos a nivel individual y a nivel comunitario (teniendo en cuenta otras características)?



Figura 3. Estructuras multinivel multivariadas mixtas.

### Estructura

- Nivel-3: Lugares; Nivel-2: Individuos; Nivel-1: Dos respuestas cuanti y cuali:
  - 1) Fuma o no (respuesta binaria).
  - 2) Cuantos cigarrillos fuma por (respuesta continua).
- No balanceado: Datos con picos en el valor 0.

### Preguntas de investigación

- El tipo de maquina está relacionada a la cantidad de elementos defectuosos
- ¿Los lugares con alta prevalencia de contaminación también son altos en el número de empresas?



Figura 4. Estructuras multinivel multivariadas II.

Permite casos extremos de desbalance, especificado desde el diseño.

Todos los participantes responden un conjunto de preguntas, pero preguntas adicionales son preguntadas a una sub-muestra de la muestra total.

**Ejemplo:**

- Todas las personas del país respondieron el formulario del censo, pero una sub-muestra de ellos respondieron preguntas más detalladas sobre condición económica, familiar; etc. Todos estos datos son modelados simultáneamente.
- Este modelo también puede ser especificado como un modelo multivariado mixto.

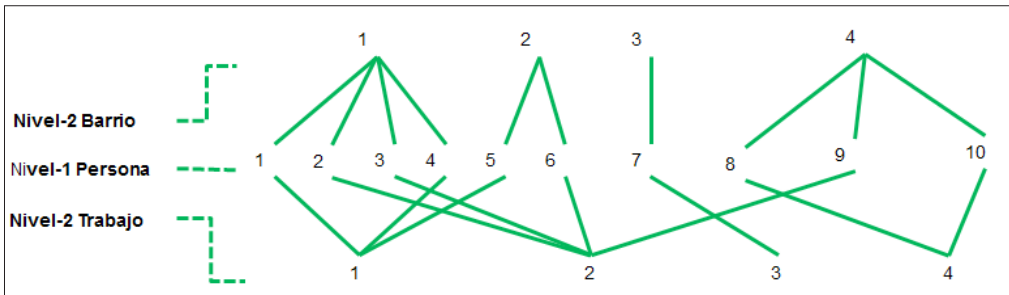


Figura 5. Estructuras no-jerárquicas Estructuras de clasificaciones cruzadas.

**Estructura:**

- Individuos al nivel-1 en lugar de trabajo al nivel-2 y barrios a nivel-2.
- Los lugares de trabajo y los barrios no están anidados pero CRUZADOS.
- Las personas son observadas ocupando más de un contexto.

**Pregunta de investigación**

¿Cuál es la contribución de los barrios y los lugares de trabajo a la probabilidad de enfermar?

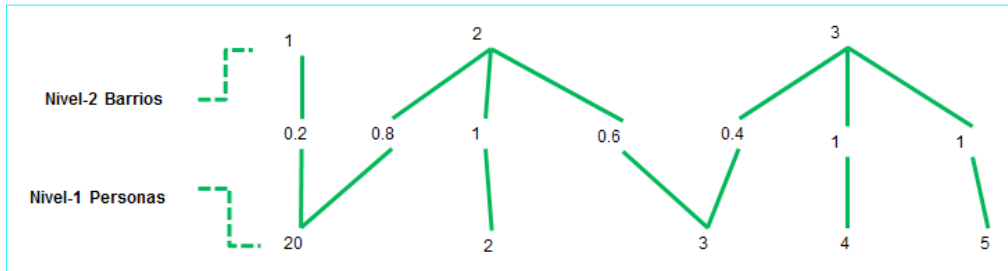


Figura 6. Estructuras no-jerárquicas Estructuras de membresía múltiple.

## Estructura

Unidades del nivel inferior pueden simultáneamente pertenecer a más de una unidad del nivel superior.

Las personas viven en un barrio y trabajan en otro.

Algunas personas viven en más de un barrio.

La estructura incluye un 'peso' basado en la proporción del tiempo que la persona estuvo expuesto a cada barrio (suma 1), o a la distancia desde donde reside la persona (si el interés es espacial).

## Estrategias de análisis

**I Análisis a nivel de grupo.** Análisis al nivel superior: sólo analiza a nivel macro; agrega las variables individuales al nivel-2 y estima un modelo de regresión estándar.

Problema:

- No puede hacer inferencias de las relaciones al nivel-individual desde las relaciones al nivel del grupo (falacia ecológica o de agregación).

**II Análisis a nivel individual.** Análisis a nivel inferior; sólo analiza el nivel micro; y estima un modelo de regresión estándar.

Problemas:

- Asume independencia de los residuales, pero se espera dependencia entre los individuos del mismo grupo; lleva a subestimar el error estándar; incrementa probabilidad error Tipo I.
- Lleva a la falacia atomística.

**III Análisis contextual.** Analiza datos a nivel individual e incluye predictores del nivel grupal

Problema con variables del nivel superior.

Ejemplo:

- ¿Estudiantes en escuelas masculinas tienen mayor rendimiento académico?

- Estructura: 4059 estudiantes en 65 escuelas.
- Variable dependiente.: Puntaje estudios.
- Predictores: Escuela femenina y escuela masculina comparada con escuela mixta.

### **Software especializado**

Uno de los paquetes estadísticos más empleados para el análisis multinivel es el MLwin, aunque existen otros programas que permiten el estudio de fenómenos con estructura jerárquica, aunque algunos de ellos tienen algunas limitaciones, entre otros están HLM, BMDP 5V, PROC MIXED, STATA.

## **Conclusiones**

Una interpretación de resultados no es siempre evidente, especialmente cuando las estructuras complejas de la variación son utilizadas.

Los modelos multinivel ofrecen distintas ventajas respecto a los modelos tradicionales: dan una versión más realista ya que modelan cada nivel de jerarquía

Los modelos multinivel no requieren la hipótesis de independencia entre las medidas de la variable resultado y también dan estimaciones más precisas.

Una desventaja de estos modelos es la complejidad para la comunicación de los resultados debido a la complejidad del marco teórico.

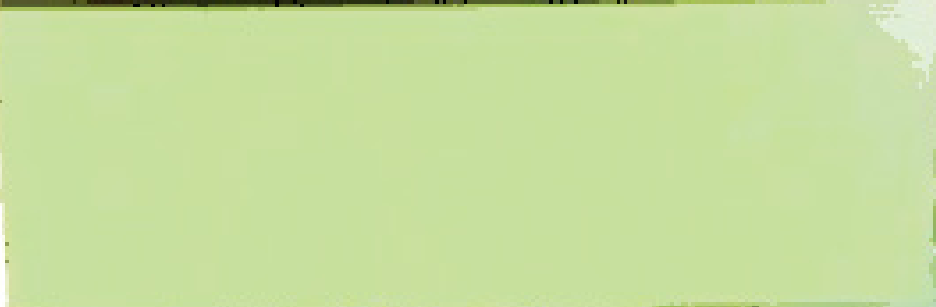
Los modelos multinivel permiten obtener mejores estimaciones de los coeficientes de regresión y de su variación que con los modelos tradicionales.

Los modelos multinivel aportan información adicional acerca del porcentaje de varianza residual que explican en los centros.

## **Bibliografía**

- Barros, A. (2001). *Modelos multinivel: primeros pasos*. Departamento de Medicina Social de la Facultad de Medicina de la Universidad Federal de Pelotas, Rio de Janeiro, Brasil.
- Kreft, I., De Leeuw, J. y Kim, K.S. (s.f.). *Comparing Four Statistical Packages for Hierarchical linear regression*. CA UoCP.
- Gaviria, J. y Castro, M. (2005). *Modelos Jerárquicos Lineales*. Madrid.
- Golstein, H. (2003). *Multilvel Statiscal Models*. Hodder Arnold.

**OPTOTE**  
Optical Testing Equipment, Inc.  
Houston, Texas, U.S.A. [www.optote.com](http://www.optote.com)





# Máquina de cocción para reducir la acrilamida

Director de Carrera:  
**Ing. Rolando Oscar Molina Baspineiro**

Docente Investigador:  
**Ing. Naun Elloy Copacalle**  
**Ing. Leo Iván Heredia Sardan**

Integrantes Universitarios:  
**Manuel Mora Quintanilla**  
**David Jhonatan Cari Juarez**  
**Kevin Ayrton Duran Saavedra**

Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca Facultad de  
Tecnología, Sucre, Bolivia

## Resumen

Se diseñó un equipo de cocción para papa fritas que funciona con dos fluidos, estas son introducidos en el interior del equipo las cuales son aceite y agua que están en contacto directo a diferentes temperaturas, que por diferencia de densidades no logran unirse y las impurezas (partículas sólidas arrastradas al inicio del proceso) de la papa descienden a la base del equipo donde se encuentra el agua, la cual permanece constante a 20°C controlada por un sistema de refrigeración, también se implementó un sistema de fogones para el fluido superior (aceite) optimizando la energía requerida.

Estas impurezas contaminan en un alto porcentaje al aceite alterando sus propiedades y generan una sustancia orgánica llamada acrilamida (sustancia mutagénica, carcinogénica y neurotóxica) que al ingerir se metaboliza en el riñón y produce glicidamida la cual es un sustancia genotóxicas y carcinógenas, la acrilamida se presenta en alimentos con contenido de asparagina y azúcares reductores o con alto porcentaje de almidón como la papa.

El equipo de cocción que se diseñó garantiza la disminución de la acrilamida en un 70% ya que elimina las impurezas generadas por la materia prima y regula el tiempo óptimo de cocción, garantizando que la temperatura no alcance los 150°C, estos dos últimos parámetros son los causantes de incrementar el porcentaje de la acrilamida.

**Palabras clave:** impurezas, cocción, acrilamida, inhibición, glicidamida.

## Abstract

A team cooking for french fries that works with two fluids, these are introduced into the equipment, which are oil and water are in direct contact at different temperatures, oil and water do not come together, and the impurities (solid particles entrained early in the process) potato descend to the base of the computer where the

water is, which remains constant at 20 ° C controlled by a cooling system, a system of stove is also designed for fluid higher (oil) optimizing the energy required, These impurities pollute a high percentage of oil by altering their properties and generate an organic substance called acrylamide (mutagen, carcinogenic and neurotoxic) and that consumption is metabolized in the kidney and produces Glycidamide which is a genotoxic and carcinogenic substance. the acrylamide It presents in foods containing asparagine and reducing sugars or high percentage of starch like potatoes.

the for Cooking equipment that was designed ensures the reduction of acrylamide 60% and that removes impurities generated by the raw impurities generated by the raw material and regulates the optimum cooking time, ensuring that the temperature does not exceed 150 ° C, these last two parameters They are responsible for increasing the percentage of acrylamide.

**Key words:** impurities, cooking, acrylamide, inhibition, glycidamide.

### Resumo

Se projetó um equipamento de cozimento para batatas fritas que trabalha com dois fluidos, este é introduziu no interior do equipamento as quais o óleo eo água que estão no contato direto a temperaturas diferentes, que para a diferença de densidades nenhum união e impurezas (Partículas sólidas arrastradas no início do processo) da papa descien den a base do equipamento onde se encontra a água, o que permanece constante a 20 ° C controlada por um sistema de refrigeração, também um sistema de fogão para o fluido superior Óleo) que otimiza a energia requerida,

Estas impurezas contaminantes em um alto percentual do óleo alterando suas propriedades e gerando uma substância orgânica chamada ACRILAMIDA (substância mutagénica, carcinogénica e neurotóxica) que se ingestão metaboliza no rim e produce GLICIDAMIDA a qual é uma substância genotóxica e carcinógenas, a acrilamida se Apresenta em alimentos com conteúdo de azucares e reductores com alto percentual de amendoim como a papa.

O equipamento de cozimento que projetou garantido a diminuição da ACRILÂMICA em um 70% que elimina as impurezas gerações pela matéria prima e regula o tempo óptimo de cocção, garantizando que a temperatura não alcança os 150 ° C, estos dois os últimos parâmetros Filho dos causadores de aumento do percentual da acrilamida.

material and regulates the optimum cooking time, Cooking equipment that was designed ensures the reduction of acrylamide 70% and that removes

**Palavras chave:** impurezas, cozimento, a acrilamida, a inibição, glycidamide.

### Introducción

El proceso normal de cocción de papa fritas de un negocio de comida rápida o "Broasteria", sigue los siguientes pasos generalmente. El pelado de la "papa" la cual es para eliminar la cascara que hay en ella, luego se procede a cortarlas en rodajas o en forma de bastones que estas pasan a una máquina de freidora con aceite hasta alcanzar su punto de cocción.

Este proceso tradicional no garantiza la eliminación de todas las impurezas desde la primera etapa la cual arrastra pequeños tozos y partículas de cascara, la cual una vez dentro de la máquina de cocción es difícil su eliminación, estas impurezas causan que el tiempo de vida útil del aceite sea mínima y contamine en mayor cantidad a las papa fritas las cuales no son saludables. A raíz de eso es que se quiere evitar el paso de las partículas no deseadas al proceso de cocción final.

Las impurezas que caen a la parte inferior del proceso tradicional están en contacto directo con el recipiente a elevadas temperaturas y por un tiempo excesivo, estas partículas son carbonizadas y contaminan al producto final incrementando el porcentaje de acrilamida.

La acrilamida es una sustancia química que se crea de forma natural en productos alimenticios que contienen almidón durante procesos de cocción cotidianos a altas temperaturas (fritura, cocción, asado y también durante procesos industriales a más de 120°C y a baja humedad). La acrilamida es una sustancia mutagénica, carcinogénica y neurotóxica.



### ***Acrilamida → Glicidamida***

*Figura 1. Reacción producción Glicidamida.*

Tras su consumo, el tracto gastrointestinal absorbe la acrilamida, se distribuye a todos los órganos y se metaboliza. La glicidamida es uno de los principales metabolitos que resulta de este proceso. En el caso de los animales de laboratorio se ha descrito más riesgo de mutaciones, de efectos adversos en el sistema nervioso y de ciertos tipos de tumores como consecuencia de la exposición a la acrilamida y seguramente sea debido no directamente a la acrilamida sino a uno de los metabolitos que nuestro organismo genera a partir de ella, concretamente la glicidamida.

El diseño del equipo se lo hace para garantizar la eliminación de todas las partículas contaminantes presentes en la papa que son arrastrados desde la fase inicial, las cuales al ser muy pequeñas no salen de una olla normal, estas trozos y partículas de cascara están demasiado tiempo en cocción dentro del aceite lo cual implica que tienden a quemarse y desprenden contaminantes que causan mal sabor y afectan las propiedades del aceite y el producto.

La acrilamida y sobre todo su metabolito, la glicidamida, son genotóxicas y carcinógenas esto quiere decir que a cualquier nivel de exposición puede ser dañina y por ello la EFSA (Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria) concluye que no se puede establecer una ingesta diaria tolerable (TDI) de acrilamida en los alimentos.

Sin embargo la EFSA estimó el rango de dosis de acrilamida en el cual se puede incrementar ligeramente el riesgo de padecer tiempos tumores o efectos perjudiciales

para el sistema nervioso u otras parte del organismo al límite mínimo de ese rango o intervalo de riesgo se le denomina límite mínimo de confianza para la dosis de referencia (BMDL10). Y para los cánceres se situó en 0,17 miligramos por kilo de peso corporal y por día, mientras que para los trastornos neurológicos se situó en 0,43 miligramos por kilo de peso corporal y por día.

El equipo que se quiere diseñar funcionaria con dos fluidos en su interior que son el aceite y el agua que están en contacto a diferentes temperaturas, que por diferencia de densidades las impurezas de la papa frita descienden a la base del equipo donde se encuentra el agua, la cual no se calienta porque tiene un sistema de refrigeración. Esto ayuda a que el tiempo de vida del aceite dure más y que las impurezas que se arrastran y se generan de la papa no sufran cambios de sus propiedades ni alteren al producto final.

El equipo además de beneficiar al consumidor en cuanto a limpieza, sabor y sobre todo en la inocuidad de sustancias cancerígenas, también beneficia al productor con un mayor rendimiento en el uso de su aceite. La implementación de un segundo fluido a este equipo de lo que era habitualmente, garantiza la eliminación de una gran parte de las partículas contaminantes introducidas con la papa.

La población actual es la mayor consumidora de comida con alto porcentaje de grasas saturadas más conocida como comida chatarra que incremento desde el año 2000 al 2015 en más de 100% de toda la población boliviana según la OPS (Organización Panamericana de la salud), la cual implica que hay muchos negocios de venta de este tipo de comida que tuvo un incremento en un 40% de ventas según la organización mundial de la salud (OMS).

El consumo de la comida rápida, sodas y productos con alto nivel de calorías, los cuales atentan con la salud de la población boliviana. Un estudio realizado por la Organización Panamericana de la salud revela que 30% de toda la población Boliviana sufre obesidad, el departamento de Santa Cruz lidera en porcentaje de persona con obesidad seguida de La Paz y Cochabamba respectivamente.

Sólo en 2015, Sucre registró el 38.4% del total de casos de obesidad o sobrepeso en niños de cero a 5 años de edad y mujeres embarazadas de Chuquisaca, que en la pasada gestión reportó un total de 11.782 casos.

Según un seguimiento a los 29 municipios de Chuquisaca por el Servicio Departamental de Salud (SEDES) a través del Sistema Nacional de Información en Salud (SNIS), en 2015, Sucre registró 4.533 casos de sobrepeso y obesidad en niños y mujeres embarazadas, siendo la cifra más alta del Departamento.

Una gran parte de los negocios en la ciudad de Sucre y el resto de país no garantizan la inocuidad alimentaria de los productos que ofertan, ya sea por el mal manipuleo de utensilios y equipos de cocción, por la falta de limpieza y mantenimiento o por que desconoce las consecuencias que genera. La cual se le hace difícil controlar a nuestras autoridades, a raíz de esto es que se quiere aportar con un equipo de cocción que garantizaría la inocuidad de un determinado producto que es el de

mayor porcentaje de acrilamida, el cual es muy importante y requerido por la población como es la "PAPA FRITA".

### **Formulación del problema**

¿Cómo influye la contaminación del aceite en el organismo de las personas?

- Diseñar una máquina de cocción de papa fritas libre de impurezas que garantice la inhibición de la acrilamida.
- Implementar al equipo de cocción dos fluidos que estarán en contacto directo
- Implementar un sistema de refrigeración para el fluido inferior donde desenredan las partículas no deseadas en el proceso de cocción.
- Implementar hornillas tubulares para el fluido superior que atravesara el equipo estando en contacto directo con el fluido la cual genera calor para el proceso de cocción.
- Realizar un análisis físico-químico al producto final con el procedimiento convencional y con el nuevo equipo diseñado.
- Realizar un análisis físico-químico al aceite final con el procedimiento convencional u con el nuevo equipo diseñado.

El sistema de doble fluido que se implementara en el diseño de la máquina de cocción beneficia a las propiedades de aceite y garantiza la eliminación de las impurezas en el producto final.

La segunda parte pertenece al sector de cocción, donde se implementó tres tubos cilíndricos de dos pulgadas para transportar y transmitir calor al fluido superior, esta parte del equipo no solo contiene los fogones también se introdujo un tamiz de acero para evitar pérdidas de productos.

La última parte del equipo es un sistema de aislamiento de las paredes del equipo con lana de vidrio para evitar la pérdida de energía, este sistema solo se implementó al sector superior ya que ahí se encuentra los productos para la cocción respectiva.



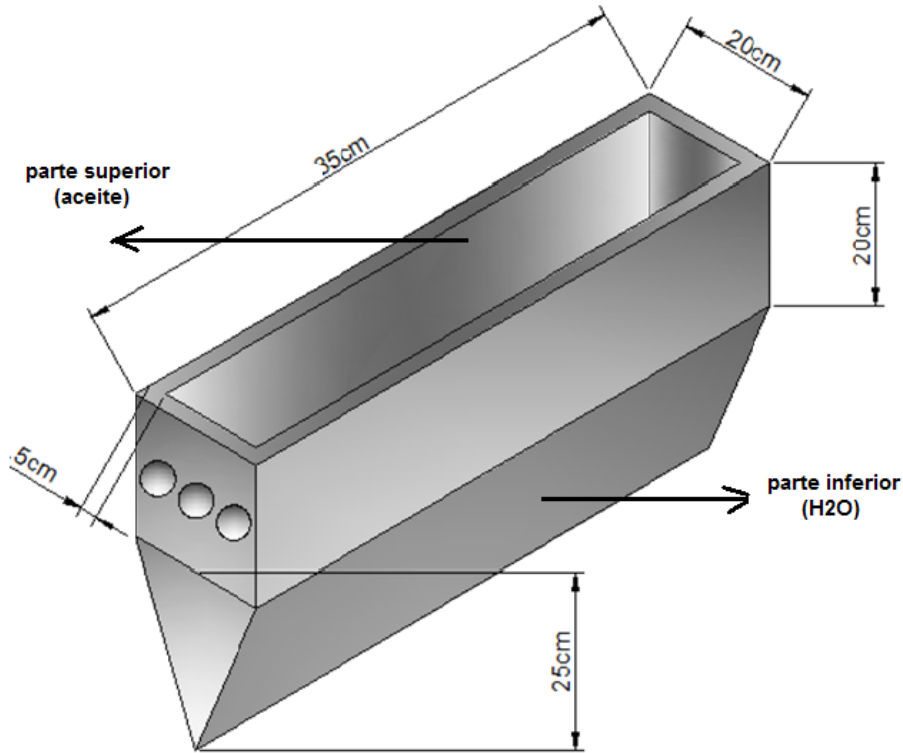


Figura 2. Máquina de cocción.

El agua se encuentra en la parte inferior y su principal función es la de trasladar las partículas indeseables que produce al momento que ocurre el proceso, el diseño de la forma es debido a la transferencia de calor, la cual está en función al área.

El aceite se encuentra en la parte superior del equipo que por diferencia de densidades no se unen mezclan con el agua, el aceite está en contacto con directo con los tres tubos que transfieren calor, La función del aceite en la fritura es doble. Por un lado actúa como medio transmisor de calor y por otro llega a ser un ingrediente del producto frito al ser absorbido por el mismo. Esta última función tiene especial interés ya que la estabilidad del aceite y su grado de alteración influirán directamente en la duración del producto frito.

La recolección de datos experimentales se las hizo antes de construir el equipo y después de haberlo hecho, se determinaron propiedades de 4 tipos de aceite comestible, se utilizó el método indirecto para la determinación de la densidad como también se usaron densímetros.



Figura 3. Recolección datos experimentales propiedades aceite.

Se calculó la transferencia de calor que existe en el equipo, las pérdidas de energía por la parte de arriba ya que no tiene ninguna especie de tapa, el sistema de no tener ninguna protección por la parte de arriba es debido que los productos que se introducirán desprenden vapores de agua este vapor es causante de la saturación del aceite.

Se investigó sobre la acrilamida como reducirlo en el proceso de cocción de papa fritas, al ser una sustancia cancerígena.

## Resultados y Discusión

El tiempo de cocción de las papa fritas en el nuevo equipo, tienen una duración de 10min por lote a una temperatura de 150°C manteniéndose constante en el sector del aceite. Estos dos parámetros son muy importantes porque, el producto al no alcanzar una temperatura de 200°C y estar en cocción por menos de 15min, y no tener partículas calcinadas contaminadoras el nivel de acrilamida bajo un 50% respecto de un proceso tradicional.

El sistema de dos fluidos trabaja con una efectividad del 95% al eliminar las partículas indeseables del proceso.

Se obtuvo una transferencia de calor de un 4008,96 Kcal por cada prueba, lo cual nos indica que las pérdidas son de un 25% que es relativamente aceptable, con el proceso tradicional.

La eliminación o prevención de la acrilamida en el futuro puede ser posible con un 80% en su composición con el control de otros parámetros, el incremento de la humedad la reducción del pH, la disminución del tiempo y temperatura de cocción mucho más.

## Conclusiones

El diseño del equipo fue exitoso ya que cumple con todas las especificaciones y los objetivos, elimina el 95% de las impurezas.

El sistema de refrigeración en la parte inferior donde se encuentra el agua fue una buena decisión ya que al existir transferencia de calor el agua tiende a calentarse, pero es controlada constante.

El sistema de hornillas introducidas en el interior del equipo y estas en contacto directo con el aceite optimizan la energía al estar en un ángulo de 360°.

## Bibliografía

- Ahn, J.S., Castle, L., Clarke, D.B., Lloyd, A.S., Philo, M.R. & Speck, D.R. (2002). Verification of the findings of acrylamide in heated foods. *Food Addit. Contam.* 19, 1116–1124.
- Becalski, A., Lau, B.P., Lewis, D. & Seaman, S. (2003). Acrylamide in foods: Occurrence, sources and modelling. *J. Agric. Food Chem.* 51, 802–808.
- Biedermann, M., Biedermann-Brem, S., Noti, A., Grob, K., Egli, P. & Mändli, H. (2002). Two GC- MS methods for the Analysis of Acrylamide in Foods. *Mitt. Lebensm. Hyg* 93, 638–652.
- Bologna, L.S., Andrawes, F.F., Barvenik, F.W., Lentz, R.D. & Sojka, R.E.J. (1999). Analysis of residual acrylamide in field crops. *Chrom. Sci* 37, 240–244.
- Bräthen, E., Kita, A., Knutsen, S.H., Wicklund, T. (2005). *J. Agric. Food Chem.* 53, 3259-3262.
- Castle, L. (1993). Determination of acrylamide monomer in mushrooms grown on polyacrylamide gel. *J. Agric. Food Chem.* 41, 1261–1263.
- Lopachin, R.M. & Lehning, E.J. (1994). Acrylamide induced distal axon degeneration. A proposed mechanism of action. *Neurotoxicology* 15, 247–260.
- Low, M. Y., Koutsidis, G., Parker, J., Elmore, Dodson, A. & Mottram, D. (2006). Effect of citric acid and glycine addition on acrylamide and flavor in a potato model system. *J. Agric. Food Chem.* 52, 7011-7016.
- Masson, L., Romero, N., Castro, J. & Robert, P. (2005). *Informe de avance Proyecto HEATOX 506820*. Vvageningen, Holanda.
- Resource, A. (2007). Creative Commons License. 30/ 03 /2016 17:45. Recueprado de [1http://ocwus.us.es/arquitecturaingenieria/operacionesbasicas/contenidos1/tema2/pagina\\_03.htm](http://ocwus.us.es/arquitecturaingenieria/operacionesbasicas/contenidos1/tema2/pagina_03.htm)
- Kern, D. (1965). *Procesos de tranferencia de calor*. Primera edición.

## Anexos

### Separación de fluidos por densidades



### Control de la temperatura



### Obtención de la viscosidad



### Obtención de datos de equilibrio





### Medición de los diferentes volúmenes



### Mezcla de fluidos a temperaturas altas



### Equipo de trabajo







# Análisis y simulación dinámica de los elementos mecánicos de transmisión de cargas de vehículos tipo fórmula

**Edgar Fernando Parra Ortega**

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Mecatrónica, Colombia, San Juan de Pasto.  
Correo electrónico: eparra1@misena.edu.co

**Cédric Jacques Duquesne Malsergent**

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Mecatrónica, Colombia, San Juan de Pasto  
Correo electrónico: Ced.duquesne@misena.edu.co

## Resumen

En la actualidad el empleo de la simulación en diferentes campos ha tomado mucha importancia para el desarrollo de los sistemas en la etapa de diseño con el fin de auxiliar en el logro o mejoramiento de un proceso o diseño o bien a un sistema ya existente para explorar algunas modificaciones.

Por lo tanto a través de este proyecto de investigación se presenta inicialmente una revisión sobre los fundamentos de la simulación y, en particular, las características y ventajas de la simulación por computadoras para su utilización en los procesos que se desarrollan en los diferentes campos.

A partir de ello se lleva a cabo un preciso análisis por medio de simulaciones computarizadas con el objetivo de dar solución a la falta de conocimientos precisos sobre las variables mecánicas que influyen sobre el comportamiento dinámico de un vehículo tipo formula.

Para que los resultados obtenidos sean lo más ceñidos a la realidad se propone realizar en 3D un prototipo virtual del vehículo con parámetros que puedan ser modificables y que permita validar los resultados teóricos del análisis matemático de las variables de los elementos mecánicos de transmisión de carga y de potencia que influyen sobre el comportamiento del vehículo tipo formula.

**Palabras clave:** CAD, Diseño mecánico, Modelado Matemático, Modelado en 3D, Simulación dinámica.

## Analysis and dynamic simulation of the mechanical elements of loads transmission of formula racing vehicles

### Abstract

Currently the use of simulations in various fields is gaining importance for the systems development, in the design stage in order to assist the fulfillment of a process or design, or applied to an existing system to explore alternatives for improvements.

Therefore, through the presented research project we introduce a review about the fundamentals of simulation, and particularly the specificity and benefits of computer assisted simulations for its use on process developed.

Thereupon we run an accurate analysis by means of computer assisted simulations to be able to offer a solution to the lack of knowledge of the mechanical variables that affect the dynamic performance of a formula racing vehicle.

For the results to be more close fitting to the reality we propose to build a 3D virtual prototype of the vehicle with parameters we can modify and that will allow to prove the theoretical results of the mathematical analysis of the mechanical elements of power and forces transmission that affect the dynamic performance of a formula racing vehicle.

**Key words:** CAD, Mechanical Design, Mathematical Modeling, 3D Modeling, Dynamic Simulation.

## Introducción

Pese a que la simulación computarizada en la actualidad ha cobrado gran importancia, se carece de información en cuanto a la simulación de vehículos tipo formula, pues el acceso a esta clase de información es muy limitado debido a la alta competencia que existe en esta área.

No obstante, se ha podido identificar que los vehículos de carreras tipo fórmula presentan algunas dificultades que les impiden ganar, todo esto debido a fallas en el desempeño del vehículo que van acompañadas de pérdida de tiempo y recursos, las cuales son provocadas por la imposibilidad de optimizar el manejo durante las carreras, las dificultades en la puesta a punto del vehículo y la dependencia a las capacidades de manejo del piloto.

En vista de ello se plantea optimizar el desempeño de un vehículo tipo formula e identificar y definir la mejor estrategia para las carreras en función del circuito y de las condiciones exteriores. Esto a través de la identificación de los parámetros mecánicos que influyen directamente sobre el comportamiento de los vehículos de tipo formula, así como a través del diseño de una simulación dinámica computarizada del modelo 3D en función de los parámetros obtenidos con la realización de un modelo matemático de los sistemas mecánicos de transmisión de cargas y potencia de los vehículos tipo formula.

Los conocimientos adquiridos gracias a la presente investigación se sumarán para la transferencia a instructores y aprendices de la institución de servicio nacional de aprendizaje SENA en las áreas de conocimiento vinculadas.

## Metodología

El estudio se orientó bajo los lineamientos de la investigación aplicada, mediante un adecuado proceso metodológico el cual nos delimitar el nivel de profundidad al que se quiere llegar, el procedimiento y las tácticas que se emplearan para el desarrollo de los objetivos planteados en esta investigación.

El paradigma de la investigación es analítico-practico, su principal propósito es tratar de lograr la objetividad mediante factores identificables y medibles, y aplicarlos a través de la implementación de modelos en los sistemas.

El enfoque que seguirá esta investigación es mixto debido a que dentro de la investigación se desarrollaran enfoques cualitativos y cuantitativos, se llevara a cabo con el fin de encontrar diversos caminos que puedan conducir la investigación a una comprensión e interpretación más amplia. Debido a que el enfoque mixto tiene como fortaleza el aporte de una perspectiva más precisa del fenómeno; dentro del proyecto de investigación se podrá clarificar e identificar las formas más apropiadas para estudiar y teorizar el problema de investigación; esto se lo realizara a partir de observaciones que contribuyen a producir datos más ricos y variados, debido a que son considerados como diversas fuentes y tipos de datos.

El método que se empleara en esta investigación será deductivo, ya que se partirá de enunciados que son de carácter universal, así como la utilización de instrumentos científicos, con el propósito de llegar a un enunciados particular que en este caso se relaciona con la optimización el desempeño de un vehículo tipo formula, a través de la definición de una adecuada estrategia para las carreras en función del circuito y de las condiciones exteriores.

Es importante señalar que la información que se requiere es tanto primaria como secundaria, donde se acudirá a técnicas específicas en la recolección de información, como la observación, de igual forma se utilizaran informes y documentos elaborados con anterioridad.

Las fuentes de recolección de información primaria, son todo aquello tipo de información que se llega a obtener por medio de herramientas que tienen una relación directa con el trabajo de investigación, las cuales son determinantes para el logro de los objetivos planteados en el proyecto.

Por medio de las fuentes secundarias se cuenta con la facilidad de tener acceso a información sobre trabajos en investigaciones similares que han sido realizados con anterioridad. No obstante, es necesario aclarar que en la actualidad no existe un proyecto de investigación que aborde la temática completamente sino parcialmente, por lo tanto estos serán tomados como referencia para analizar el procedimiento ejecutado a fin de seguir un camino que permita direccionar la investigación de la mejor manera.

## **Estado del arte**

En la actualidad la industria automovilística de competición se ha convertido en líder en el campo de la innovación tecnológica, estructurándose como una base de entrenamiento para ingenieros altamente calificados, y para países como Gran Bretaña e Italia, en una parte integral de la industria ingenieril de alta tecnología.

Los sistemas automotrices son todos los componentes que conforman un vehículo automotor, estos hacen más fácil su manejo, trabajan de manera coordinada para obtener un mejor rendimiento en el vehículo, por lo tanto sí algún elemento falla puede dejar el vehículo inmóvil dependiendo la importancia que este tenga.

Entre los principales elementos mecánicos de un vehículo tipo formula que se tendrá en cuenta para el desarrollo de la investigación se encuentran, la suspensión, el chasis, los neumáticos, la dirección y los frenos.

### **Sistema de suspensión**

La necesidad de utilizar un sistema de suspensión en un automóvil se debe a la susceptibilidad o tolerancia humana a la perdida de confort que producen vibraciones transmitidas al habitáculo, no obstante; el principal objetivo por el que se utiliza un sistema de suspensión es por la necesidad de mantener el contacto entre la rueda y la carretera, debido a que el control y la estabilidad del mismo dependen de ello. (Luque y Álvarez, 2003)

En la historia del desarrollo de los sistemas de suspensión, ha existido una evolución progresiva debido al conocimiento de los efectos de la geometría de las ruedas y los cambios en la cinemática de las mismas que en cualquier otro campo relacionado con ellas. Es a partir de la década de los 80, que el conocimiento del efecto de auto alineamiento de las ruedas, pudo permitir que aspectos tales como el desequilibrio en el sistema de frenos, o el arrastre del neumático, o el balanceo negativo en las curvas, pudieron empezar a ser abordables y solucionables en vehículos estándar. Ya para los años de 1990, la utilización de sistemas electrónicos empieza a tener un efecto demasiado dramático en la eliminación de los compromisos tradicionales entre las cualidades de conducción y maniobrabilidad. (Luque y Álvarez, 2003)

### **Chasis**

El chasis también conocido como bastidor desempeña un papel muy importante para los vehículos, ya que es la estructura que sostiene y aporta rigidez y forma a un vehículo u objeto portable. Es un sistema que debe soportar el peso de todo el vehículo y, a la vez, garantizar un manejo sin contratiempos, como los producidos por las curvas cuando se viaja a exceso de velocidad. El chasis de un vehículo es aquella estructura encargada de conectar las cuatro ruedas, recibir todas las cargas y esfuerzos, ubicar todos los componentes en la posición más ventajosa y además, hacer las veces de célula de seguridad o supervivencia.

A medida del paso de los años los sistemas de chasis han cambiado, esto con el objetivo de aligerar su peso, pero mantener o aumentar la resistencia de la estructura. Los diferentes tipos de autos necesitan enormes cantidades de estabilidad, y los chasis están contruidos para ajustarse a la finalidad del vehículo.

### **Dirección**

El conjunto de mecanismos que componen el sistema de dirección tienen como objetivo orientar las ruedas delanteras para que el vehículo pueda tomar trayectoria deseada por el conductor. Para que el conductor no tenga que realizar esfuerzo en la orientación de las ruedas directrices, el vehículo dispone de un mecanismo desmultiplicador o de servomecanismo de asistencia. Siendo la dirección uno de los órganos más importantes en el vehículo junto con el sistema de frenos, ya que

de estos elementos depende la seguridad de las personas; debe reunir una serie de cualidades que proporcionan al conductor, la seguridad y comodidad necesaria en la conducción. (Nuñez, 2012)

## Frenos

Desde principios del siglo XX, en donde una sola guaya frenaba el vehículo en su totalidad y era el conductor el que tenía que usar toda su fuerza para detenerlo, hasta hoy, cuando un vehículo frena gracias a dispositivos y sensores de la más alta tecnología, el sistema de frenos ha sido el eje fundamental de los avances que se presentan en el mundo de los autos.

## Marcos del proyecto

### Modelo de simulación

La simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias -dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos - para el funcionamiento del sistema. (Shannon, 1988).

“Una colección de entidades relacionadas, cada una de las cuales se caracteriza por atributos o características que pueden estar relacionadas entre sí” (Fishman, 1973).

A lo largo de la historia la simulación ha ido adquiriendo mucha importancia, generando los siguientes impactos:

**El regreso del Apolo 13:** La simulación jugó un rol fundamental en la determinación del plan de emergencia. La nave retornó con éxito a pesar de las graves averías. (Rubin, s.f.).

**Los Voyagers:** Gracias a la simulación se pudieron establecer los óptimos itinerarios para las naves Voyagers, se caracterizó por un mínimo consumo de energía debido al aprovechamiento que se le dio a la atracción gravitacional de los planetas. (Rubin, s.f.).

**Simuladores de vuelos:** Fue una de las primeras aplicaciones de los simuladores. Actualmente se utilizan para entrenar pilotos de aviones comerciales y de combate.

### Naturaleza del modelo

La simulación depende del tipo de naturaleza del modelo empleado (Fishman, 1978).

**Identidad:** Se refiere a un modelo que es una réplica exacta del sistema que se está estudiando. En general este modelo es empleado por las empresas automotrices cuando realizan ensayos de choques de automóviles en la que se emplean unidades reales.

**Cuasi-identidad:** En este se emplea una versión ligeramente simplificada del sistema real. Por ejemplo, los entrenamientos militares en el cual se incluyen movilización de equipos y tropas pero no se lleva a cabo una batalla de tipo real.

## Tipo de simulación

Se utilizan modelos bajo las condiciones controladas de un laboratorio. Se pueden distinguir dos tipos de simulaciones:

**Juego operacional:** Personas compiten entre ellas, ellas forman parte del modelo, la otra parte consiste en computadoras, maquinaria, etc. (Rubin, s.f.).

**Hombre maquina:** Se estudia la relación entre las personas y la máquina.

## Simulación por computadora

Este modelo es completamente simbólico, implementado en un lenguaje computacional. En este las personas quedan excluidas. Un ejemplo es el simulador de un sistema de redes de comunicación donde la conducta de los usuarios está modelada en forma estadística. (Rubin, s.f.).

Este tipo de simulación a su vez puede ser analógica y digital.

La presente investigación se basara principalmente en este tipo de simulación, por lo que a continuación se analizara algunos aspectos importantes de esta simulación.

Una simulación por computadora es un programa informático que tiene como objetivo crear una simulación de un modelo abstracto de un determinado sistema. En la actualidad las simulaciones por computadora se han convertido en una parte relevante y útil de los modelos matemáticos de muchos sistemas naturales de ciencias como la física, la astrofísica, la química y la biología; así como de sistemas humanos de economía, psicología y ciencias sociales. Además, se emplea en el diseño de nueva tecnología para llegar a comprender mejor su funcionamiento.

Un simulador por computadora está compuesto por las siguientes partes:

**Un modelo:** Es un modelo simbólico. Puede ser un conjunto de ecuaciones, reglas lógicas o un modelo estadístico. (Rubin, s.f.).

**El evaluador:** Es el conjunto de procedimientos que procesarán el modelo para obtener los resultados de la simulación. Puede contener rutinas para la resolución de sistemas de ecuaciones, generadores de números aleatorios, rutinas estadísticas, etc. (Rubin, s.f.).

**La interfaz:** Es la parte dedicada a interactuar con el usuario, recibe las acciones del mismo y presenta los resultados de la simulación en una forma adecuada. Esta unidad puede ser tan compleja como la cabina utilizada en los simuladores de vuelos profesionales. (Rubin, s.f.).

## Comportamiento dinámico de un vehículo

La dinámica es una parte de la ingeniería principalmente basada en mecánica clásica pero también puede involucrar otras áreas, tales como química, física del estado sólido, mecánica de fluidos, ingeniería eléctrica, comunicación, psicología, teoría de control, etc.



En la actualidad se apoyan en la mecánica clásica, todos aquellos fundamentos teóricos de los métodos dinámicos que son utilizados en la simulación de sistemas multicuerpo, principalmente en el planteamiento de las ecuaciones diferenciales del movimiento de sistemas de varios sólidos rígidos con restricciones.

Newton consolidó las bases de la mecánica al describir de forma completa la mecánica de un punto material sometido a fuerzas centrales.

El tema de dinámica de vehículos ha sido abordado por muchos teóricos y este se fundamenta en los estudios básicos de la mecánica. En estos aspectos se relaciona con los modelos de ruedas en su análisis de giro desde el punto de vista de velocidades angulares. Para un análisis más analítico se hace uso de los teoremas de Euler y de Newton. Para comprender básicamente el comportamiento de una rueda se requiere conceptualizar su análisis vectorial de las velocidades a las cuales se ve afectada.

Los autores, en su mayoría se centran en el modelamiento cinemático de un móvil en cual hacen una referencia global al tema de la dinámica, existiendo una interdependencia entre la cinemática y la dinámica, principalmente lo que a control se refiere.

Una situación interesante es la aplicación de herramientas analíticas usadas en robótica y que son fácilmente aplicables a un vehículo en general, principalmente es el método de Newton-Euler el cual ha sido utilizado en el análisis dinámico de articulaciones con más de un grado de libertad siendo dicha aplicación muy similar a la que se realiza en brazos robotizados.

## Resultados

El objetivo del proyecto es identificar y cuantificar las variables que influyen sobre el comportamiento dinámico de los vehículos de tipo fórmula, teniendo como producto final un modelo teórico que permite comparar diferentes configuraciones de diseño y puesta a punto de los sistemas mecánicos de transmisión de cargas para optimizar el desempeño dinámica de vehículos tipo fórmula en las diferentes situaciones a las cuales están sometidos, teniendo en cuenta las condiciones de manejo.

De este modelo se muestra a continuación los parámetros a tener en cuenta para el cálculo dinámico del comportamiento de los vehículos tipo fórmula y sus consecuencias sobre su desempeño como resultado de la investigación. Y para identificar cada uno de estos parámetros se realiza un análisis fundamental de los sistemas de suspensión y transmisión de este tipo de vehículos a través de la bibliografía relacionada, las observaciones, las mediciones y pruebas con un vehículo fórmula en pista con el objetivo de enfocar el estudio sobre las variables significativas. Para comparar la influencia de cada parámetro se hacen variar uno por uno en el modelo teórico y se interpretan los resultados numéricos que se obtienen del comportamiento dinámico del vehículo. Para hacerlo de manera estructurada se realiza el estudio para diferentes casos definidos. Y los casos estudiados corresponden a las diferentes fases críticas de una carrera de Fórmula 1 en pista a las cuales están sometidos los vehículos, las cuales son:

Aceleración rectilínea en plano, aceleración rectilínea en pendiente positiva de 2%, frenado rectilíneo en plano, frenado rectilíneo en pendiente negativa de 2%, curva

plana rápida de 300 m de radio a velocidad constante y curva plana lenta de 30 m de radio a velocidad constante.

Estos casos se definieron siendo los casos más representativos que permitan comparar el desempeño en diferentes configuraciones, teniendo en cuenta los criterios de la FIA en cuanto a las características de los circuitos de competición.

Los criterios que se toman en cuenta para cuantificar el comportamiento dinámico del vehículo obtenido en salida del modelo son:

- La distancia de frenado necesaria para pasar de 100 km.h-1 a 0 km.h-1.
- Los tiempos de aceleración necesarios para pasar de 0 a 100 km.h-1 y de 0 a 300 km.h-1.
- La velocidad máxima en curva (cargas positivas en las cuatro llantas).
- El factor de subviraje.

Estos parámetros sirven de referencia para la comparación entre las distintas configuraciones de diseño y puesta a punto probadas teóricamente para cada caso.

### **Variables que influyen sobre el comportamiento dinámico**

De esta manera se identifica que los parámetros que influyen sobre el comportamiento dinámico del vehículo son variables físicas y geométricas propias al vehículo y variables específicas del entorno en el cual se desempeña el vehículo como se muestran a continuación:

#### **Masa del vehículo**

Un vehículo es un sistema mecánico complejo constituido por varios elementos. La masa del vehículo representa la suma de las masas de todos los elementos que constituyen el sistema, incluyendo al piloto. Para los cálculos se considera que toda la masa está localizada en un espacio puntual representado por el centro de gravedad del vehículo.

Se debe distinguir la masa total de la masa suspendida del vehículo, que corresponde a la masa conjunta de los elementos que están soportados por la suspensión.

La masa siempre es positiva, y en general para los vehículos de tipo fórmula el orden de grandeza es de algunos cientos de kg.

Influencia: La masa total del vehículo influye de dos maneras fundamentales:

- Las fuerzas de gravedad: La masa total define el peso del vehículo, el cual determina las fuerzas de reacción que se aplican desde el suelo hacia los neumáticos, y en consecuencia las fuerzas de fricción y de rodamiento entre el neumático y el suelo.
- La inercia: Según la segunda ley de Newton la masa se opone a los cambios de movimiento, es decir influye de forma negativa a la vez en la aceleración y el frenado, y determina la transferencia de cargas entre los neumáticos en los casos de aceleración, frenado y viraje.

La masa es el parámetro que tiene la influencia más crítica en todos los aspectos del desempeño dinámico del vehículo. Debe ser la más pequeña posible para permitir una mejor aceleración, un frenado más eficaz, una reactividad más rápida a los cambios de dirección, un radio de giro más cerrado y una menor resistencia al avance.

El valor mínimo de la masa está regido por la necesidad de los elementos que componen el vehículo y sus requisitos de resistencias.

### **Posición del centro de gravedad**

La posición del centro de gravedad del vehículo se expresa por su altura respecto con el suelo y su posición longitudinal respecto con los ejes de las ruedas delanteras y traseras.

El centro de gravedad siempre está situado arriba del suelo, su posición longitudinal es generalmente situada entre los ejes delanteros y traseros. Consideramos por razones de simplificación de los cálculos que la posición lateral es centrada, dado que el vehículo es simétrico respecto con el eje X.

**Influencia:** La posición del centro de gravedad influye sobre la repartición de carga entre los neumáticos del vehículo.

Para un mejor desempeño el centro de gravedad debe estar lo más cerca del suelo posible para limitar el balanceo en curva y el cabeceo en aceleración y frenado, además es aconsejable tenerlo lo más centrado longitudinalmente posible para un comportamiento más estable del vehículo en curva y limitar el subviraje o sobreviraje.

La posición del centro de gravedad está definida por la repartición de las masas de los elementos que componen el vehículo, por lo tanto; se debe tener en cuenta al momento de posicionar los elementos. Las decisiones que se pueden tomar en cuanto a su posición son por lo tanto limitadas a las posibilidades que se tienen para ubicar los elementos, no obstante; se puede tomar la decisión de añadir masas de lastre en algunas posiciones específicas del vehículo para modificar su centro de gravedad, aumentando al mismo tiempo su masa total, lo cual puede representar una desventaja.

### **Aceleración de la gravedad**

En la superficie de la tierra el valor promedio de la aceleración de la gravedad es de 9.81 kg.m.s<sup>-2</sup>.

**Influencia:** La aceleración de la gravedad entra en los cálculos del Peso, el cual influye sobre las cargas presentes en la suspensión y en los neumáticos, y por lo tanto sobre la rigidez de la suspensión y las fuerzas de fricción. No se puede actuar sobre el valor de la aceleración de la gravedad, sin embargo es indispensable tenerlo en cuenta en los cálculos de dinámica.

### **Distancia longitudinal entre ejes**

Es la distancia en el eje X entre el eje de las ruedas delanteras y el eje de las ruedas traseras. Consideramos, por la simetría de la construcción de los vehículos tipo fórmula, que las ruedas derechas y las ruedas izquierdas son concéntricas.

El valor mínimo posible para esta distancia es la suma de los radios de las ruedas delanteras y traseras. En general los valores mínimos y máximos están limitados por los reglamentos de las competencias de Fórmula.

**Influencia:** La distancia entre ejes influye sobre la maniobrabilidad y la estabilidad del vehículo en curvas, y sobre la transferencia de cargas entre los ejes durante la aceleración y el frenado. En general se busca un valor el más pequeño posible para los vehículos que necesitan una buena maniobrabilidad, dado que permite reducir el radio de giro.

### **Ancho de vía**

Es la distancia lateral entre los centros de contacto entre los neumáticos y el suelo en el mismo eje.

Sus valores mínimos y máximos están limitados por los reglamentos de Fórmula. Los ejes delantero y trasero pueden tener anchos de vía diferentes.

**Influencia:** El ancho de vía influye sobre la maniobrabilidad del vehículo y sobre la repartición de cargas transversales entre neumáticos interiores y exteriores durante una curva.

Tener un ancho de vía más grande permite reducir la diferencia de cargas entre los neumáticos internos y externos y por lo tanto poder tomar curvas más rápidas, por otro lado un ancho de vía reducido limita la diferencia de velocidades entre las ruedas externas e internas y reduce el deslizamiento, limitando el subviraje.

### **Rigidez torsional del chasis**

Es la relación entre el momento torsor aplicado al chasis, generalmente por las fuerzas de aceleración generadas durante el manejo o por desniveles y defectos en la vía, y el ángulo de desplazamiento del chasis.

Ningún chasis es perfectamente rígido debido a que ningún material lo es, por otro lado se puede definir la rigidez por la elección de los materiales correctos, la geometría y mediante elementos flexibles regulables.

**Influencia:** La rigidez torsional del chasis influye sobre la repartición de cargas transversales y por lo tanto la respuesta dinámica en curva.

La rigidez torsional del chasis se puede compensar o corregir modificando la rigidez de la suspensión.

### **Radio del neumático**

Se define como la distancia entre el centro de la rueda y el punto de contacto entre el neumático y el suelo en el plano de simetría longitudinal de la rueda.

El rango de valores permitidos para el radio del neumático depende de la competencia a la cual participa el vehículo y de los constructores.

**Influencia:** El radio del neumático influye sobre:

- La relación entre la velocidad de rotación de la rueda y la velocidad lineal del vehículo: Si el radio aumenta, la velocidad lineal aumenta.

- La relación entre el torque en el eje de la rueda y la fuerza lineal entre el neumático y el suelo: Si el radio aumenta, La fuerza de motriz disminuye.

Para obtener una mejor aceleración debemos reducir el radio pero para obtener una mayor velocidad máxima debemos aumentar el radio.

### **Coeficiente de fricción entre el neumático y la pista**

Es la relación entre la carga aplicada en el punto de contacto del neumático con el suelo y la fuerza de fricción que el suelo aplica sobre el neumático.

Depende de los materiales y del estado de superficie de la pista y del neumático, así que de la presencia de agua o aceite.

Influencia: Define las fuerzas máximas transmisible por cada neumático durante la aceleración, el frenado y en curva.

Este parámetro es crítico debido a que el neumático representa el único vínculo entre el vehículo y la pista, si no cumple correctamente su función de transmitir las cargas no es posible acelerar o frenar satisfactoriamente y se pierde el control en curva.

No depende exclusivamente del neumático escogido dado que también entra en cuanta el estado de la pista.

### **Resistencia a la rodadura**

Es la pérdida de energía durante la rodadura del neumático sobre el suelo debido a su elasto-plasticidad. Depende del material y de la fabricación del neumático.

Influencia: Esta fuerza siempre se opone al movimiento, por lo que ayuda durante el frenado pero reduce la aceleración.

Este parámetro se busca lo más pequeño posible, pero su reducción está limitada por la necesidad de fricción descrita anteriormente.

### **Geometría de la suspensión**

Por geometría de la suspensión se entiende los ángulos y las dimensiones de los elementos que unen los neumáticos con el chasis.

La geometría de la suspensión define la posición de los roll centers, los valores para los ángulos de camber y caster, y las rigideces de la suspensión.

Estos parámetros son claves para determinar la manera como se transfieren las cargas durante las diferentes etapas del manejo, por lo tanto; siempre se deben definir primero, y en función de ellos se diseña la suspensión, que es el primer sistema que se debe diseñar en el vehículo.

### **Posición del roll center**

El roll center establece el punto en el cual se aplican los momentos de fuerzas entre la masa suspendida y la masa no suspendida del vehículo. (Milliken W. y Milliken D., 1995, p. 614)

Los roll center de cada eje pueden tener alturas diferentes, las cuales dependen de las dimensiones y ángulos de las tijeras de suspensión.

**Influencia:** Define en gran parte el ratio de transferencia de cargas longitudinales y transversales entre la ruedas interiores y exteriores, delanteras y traseras durante una curva.

Si el roll center se encuentra cerca del centro de gravedad entonces se reduce el momento de balanceo en el roll center y por lo tanto limita la transferencia de cargas.

La diferencia de altura entre los roll center delantero y trasero define la repartición de carga entre los ejes durante una curva, y por lo tanto el comportamiento de subviraje o sobreviraje.

Es el parámetro más crítico después de la masa en el caso de una curva dado que define la proporción de cargas presentes en los contactos de los cuatro neumáticos con el suelo y por lo tanto el agarre, la fricción, el subviraje y sobreviraje.

### **Rigidez de la suspensión**

Es la relación entre las fuerzas aplicadas a los diferentes elementos de la suspensión y su desplazamiento. Se combinan las rigideces de todos los elementos de la suspensión incluyendo los amortiguadores para definir el comportamiento elástico general del sistema. La rigidez se expresa según los diferentes ejes de translación y rotación y se puede diferenciar entre los dos ejes del vehículo.

**Influencia:** La rigidez de la suspensión contribuye en determinar proporción en la cual se reparten las cargas entre los neumáticos, por lo tanto la reactividad del carro, así como la frecuencia propia que determina el comportamiento del vehículo al pasar un obstáculo.

Una rigidez más alta reduce los fenómenos de balanceo, cabeceo y clavado del vehículo. Se debe establecer en conjunto con la posición del roll center para definir el comportamiento del vehículo.

Diferenciando las rigideces de los ejes delantero y trasero se puede definir una repartición de cargas acorde al comportamiento deseado según la situación.

### **Relación de multiplicación de la suspensión**

Representa la relación entre la fuerza aplicada en la rueda y la fuerza recibida por el resorte de la suspensión.

**Influencia:** Actúa en conjunto con la rigidez de la suspensión, dado que modificando está relación se modifican las fuerzas recibidas por el sistema y entonces su respuesta en desplazamiento.

En la realidad la relación de multiplicación de la suspensión varía durante el desplazamiento vertical de la rueda, pero dadas las rigideces muy elevadas de los resortes utilizados en los vehículos de tipo fórmula estas variaciones se consideran insignificantes.

### **Ángulo de camber**

Es el ángulo de inclinación entre el plano de la rueda y la vertical.

Se puede definir un camber diferente entre las ruedas delanteras y traseras.

Influencia: Un camber negativo aumenta la zona del contacto entre los neumáticos exteriores y el suelo durante un viraje y por lo tanto permite transmitir más carga.

Para los vehículos de carrera el camber debe ser negativo con el fin de aumentar el agarre en curvas y permitir tomar curvas más cerradas con mayor velocidad.

### **Ángulo de caster**

Es el ángulo de elevación lateral entre el eje de dirección de la rueda y la vertical para las ruedas delanteras.

Influencia: Define las fuerzas aplicadas por el suelo sobre los neumáticos direccionales durante una curva, un ángulo de caster positivo permite a las ruedas volver a su posición inicial al soltar el volante, mejorando la manejabilidad.

Si el ángulo de caster es demasiado importante genera fuerzas muy grandes sobre la dirección y por lo tanto limita la maniobrabilidad.

### **Ángulo de alineación**

Es el ángulo entre el eje longitudinal del vehículo y el plano de la rueda.

Se define un ángulo para las ruedas delanteras y otro para las ruedas traseras.

Influencia: los ángulos de alineación influyen sobre las fuerzas de dirección y sobre la superficie de contacto entre los neumáticos y el suelo resultante del cabeceo durante la aceleración o el frenado.

Para vehículos de carrera, dado las fuerzas en juego, se aconseja una alineación toe-in para las ruedas traseras y toe-out para las delanteras con ángulos pequeños.

## **Discusión**

Para asegurar el rigor del proceso analítico es necesario definir la simbólica de las variables utilizada en los análisis y cálculos. Entre las diferentes referencias bibliográficas relacionadas los nombres, símbolos y unidades cambian en función de las preferencias de los autores. Considerando que los nombres y símbolos no son normalizados se escoge una norma propia que logra unificar las simbologías encontradas durante el estudio. Para tener coherencia en el modelo se las unidades del Sistema Internacional.

El modelado matemático es la descripción de fenómenos físicos mediante el uso de fórmulas matemáticas para expresar las variables, parámetros entidades y relaciones que forman parte del fenómeno, permitiendo determinar su influencia y sus consecuencias. Es el fundamento de toda actividad científica. Este modelado nos



permite modificar cada variable y obtener valores numéricos del comportamiento para cada variación directamente sin tener que realizar un cálculo por cada caso.

Después de realizar diferentes pruebas de simulación dinámica, utilizando los resultados del modelamiento matemático con el vehículo diseñado en 3D, se identifica un cambio en los resultados numéricos de las gráficas que arroja el software en configuraciones diferentes del ensamble por estar con propiedades de parámetros modificables, que permite realizar análisis en la trayectoria de desplazamiento del amortiguador, a través de la transmisión de cargas transmitidas dentro del vehículo y que permite predecir cambios en la estabilidad del vehículo, estos cambios nos permiten validar parte de la simulación y nos permite predecir la posición del amortiguador para un correcto desempeño. También se identifica que al realizar la simulación dinámica del vehículo tipo formula modelado en 3D en el software Inventor 2014, se presentan muchas fallas por ser un ensamble muy complejo y de muchas piezas mecánicas que generan un ensamble en 3D con varias juntas de movimiento, lo que a su vez requiere un equipo de cómputo con altas características para poder realizar la simulación dinámica virtual.

Para el estudio realizado no se tienen en cuenta las fuerzas aerodinámicas porque se busca optimizar la configuración de los elementos mecánicos de transmisión de cargas y potencia. El análisis se realiza considerando una constante aerodinámica y un área frontal fija, pero calculando la fuerza de arrastre en función del cuadrado de la velocidad con el fin de evitar incoherencias en los resultados. De la misma manera para el cálculo de las cargas dinámicas longitudinales se hace la aproximación simplificadora que la fuerza de arrastre se aplica en el centro de gravedad del vehículo. Las cargas aerodinámicas verticales tienen una influencia dado que se suman al peso del vehículo para generar las fuerzas de contacto entre el neumático y el piso, aumentando el agarre y por lo tanto las fuerzas motrices y de frenado máximas, así como la estabilidad en curva. Sin embargo, para nuestro estudio se consideran estas fuerzas nulas por el alcance de la investigación. El estudio aerodinámico de un vehículo es un tema de investigación por si solo dado que depende de muchos elementos y muchos parámetros, es interesante sin embargo porque influye en gran parte sobre el desempeño y por eso se le pone mucho énfasis en las escuderías.

De la misma manera se considera una potencia de motor constante respecto con la velocidad de avance porque la presente investigación no estudia los aspectos energéticos de la generación de potencia, se limita al estudio de los elementos de transmisión.

El sistema de suspensión, constituido por todos los elementos que unen los neumáticos al chasis, es el sistema más crítico en el comportamiento del vehículo porque determina las transferencias de cargas durante las diferentes fases del manejo del vehículo por lo tanto es el primer sistema que se debe diseñar. Un buen diseño de la suspensión se traduce por un mejor desempeño y una mejor seguridad del vehículo.

“El sistema de suspensión del vehículo es el encargado de mantener las ruedas en contacto con el suelo, absorbiendo las vibraciones, y movimiento provocados por las ruedas en el desplazamiento de vehículo, para que estos golpes no sean transmitidos

al bastidor”. (Mecánica del Automovil, s.f.) “El mantenimiento del contacto entre las ruedas y el suelo (...) resulta de vital importancia para asegurar la estabilidad del vehículo, por cuanto desplazamientos en esta dirección pueden originar descargas considerables en las ruedas, afectando a la fuerza adherente éstas y el suelo”. (Rodríguez y Mántaras, 2003)

Se debe prestar una atención particular en la elección de los neumáticos, dado que su función principal es permitir un contacto adecuado por adherencia y fricción con el pavimento, posibilitando el arranque, el frenado y la guía. Es el único vínculo entre el vehículo y el suelo y por lo tanto es el elemento más crítico.

Las transferencias de cargas transversales en curva determinan el comportamiento de subviraje o sobreviraje de vehículo, la velocidad máxima que se puede permitir y los esfuerzos a través de la suspensión.

El momento de balanceo debido a la aceleración radial en curva sobrecarga las ruedas exteriores y alivia las ruedas interiores. Esta transferencia de cargas se reparte entre el eje delantero y el eje trasero según la posición del roll center y las rigideces de las suspensiones e influye sobre el comportamiento de subviraje o sobreviraje del vehículo. Estas cargas determinan en parte el comportamiento del vehículo en curva. Si una de las fuerzas es negativa significa que la rueda correspondiente perderá el agarre durante el viraje.

El sistema de dirección es fundamental para la maniobrabilidad del vehículo. La respuesta de la dirección a los movimientos del piloto debe ser precisa, lineal y consistente. De la geometría de la dirección depende el radio de giro del vehículo y su capacidad a tomar curvas cerradas e influye sobre su comportamiento de subviraje o sobreviraje.

El sistema de frenos del vehículo nos permite volver al estado de reposo de una manera segura y controlada y debe proporcionar eficiencia y rendimiento para las condiciones de la pista.

El principio de funcionamiento básico en los frenos de un auto es la fricción, que consiste en que cuando un cuerpo entra en contacto con el otro en diferentes direcciones aparece una fuerza llamada fricción que se opone al movimiento del mismo cuerpo. Esta fuerza depende de dos grandes factores: El área de contacto entre los cuerpos y la fuerza aplicada entre los mismos. En un vehículo, el área de contacto aparece entre los elementos de frenado del carro (área de contacto entre discos y pastillas, y en algunos casos entre bandas y campanas), además del área de contacto entre las llantas y la superficie en la que circula el vehículo. (Loaiza, s.f.)

Lo ideal para un frenado óptimo es que las ruedas delanteras y traseras lleguen a su punto de bloqueo respectivo al mismo tiempo. Al bloquearse las ruedas las fuerzas de frenado disminuyen y el frenado pierde su eficiencia, por esta razón el objetivo es llevar a los dos ejes del vehículo al límite del bloqueo de las ruedas al mismo tiempo. Para lograrlo se necesita balancear el frenado entre el eje delantero y el eje trasero, repartiendo adecuadamente la presión de frenado. Es imposible realizar un balance perfecto en todas

las situaciones en la cual podría encontrarse el vehículo porque depende de la repartición de masas del vehículo y del coeficiente de fricción entre los neumáticos y el suelo. Sin embargo, gracias al modelo matemático podemos definir un balanceo que sea el mejor posible en las situaciones más frecuentes a las que se va a ver expuesto el vehículo.

El resultado de la investigación es un modelo teórico que permite calcular y comparar configuraciones de diseño y puesta a punto para optimizar el desempeño y dinámica de vehículos tipo fórmula. Para validarlo es necesario comprobar los resultados con mediciones en pista con un vehículo de tipo fórmula real.

### **Conclusión**

Se concluye que el Diseño Asistido por Computador es necesario para el desarrollo de nuevos productos industriales y sistemas mecánicos. Para el caso particular de este proyecto se define que el vehículo tipo formula diseñado en 3D tienen que estar con propiedades de parámetros modificables en el ensamble por su variación en el camber, caster, separación de llantas, alto de llantas con respecto al chasis, distancia entre ejes. Parámetros que tienen que poder ajustarse para realizar las diferentes pruebas comparativas, esto va a garantizar que el diseño sea mucho más eficiente al ser rápidamente adaptable a las configuración que se requiera.

Después de realizar el modelado en 3D, se logra identificar que en el proceso de diseño avanzado asistido por computador del vehículo tipo formula, se genera un modelo virtual a escala real de lo que se propone desarrollar y en este caso lo que se quiere simular, pero se tiene en cuenta que para realizar una simulación dinámica es necesario que todas las partes que van a tener movimiento en el vehículo estén con restricciones de unión de punto y rotación, a partir de esto se detecta que las tijeras con bujes; tuercas y rotulas; el portamasas con arandelas de anclaje; la dirección por cremallera con las barras de unión hasta el portamasas con bujes; tuercas y rotulas; la leva con arandelas de unión; la barra de unión entre leva y tijera inferior con bujes; tuercas y rotulas; el amortiguador con sus elementos; el rin con neumático; y chasis con todos sus puntos de apoyo o anclaje con los sistemas de dirección y suspensión, tiene que estar en grupos de sub ensambles para que se facilite la clasificación de componentes y el software no genere errores al momento de realizar juntas de movimiento., con base en lo planteado anteriormente se determina que hay que tener en cuenta el estudio de aplicación y manejo de los elementos de sujeción y de unión utilizados en estos vehículos, elementos que resistan adicionalmente las cargas físicas a las que van a estar expuestos.

Realizar un análisis detallado de las variables y usar las herramientas informáticas de simulación al momento de diseñar un producto permite tomar decisiones de diseños más acertadas, tener una buena idea del comportamiento del futuro producto y aportarle mejoras antes de realizar el primer prototipo, lo que se traduce por un ahorro de tiempo y recursos y una mejor seguridad en cuanto a la viabilidad y la eficacia del producto. En las últimas etapas del diseño las simulaciones permiten validar el diseño antes de su fabricación y así evitar resultados inesperados y modificaciones ulteriores.

Es importante precisar que las simulaciones nunca remplazarán la realidad porque siempre existen factores difíciles de prever y calcular que le restan exactitud a la simulación. Para validar un producto siempre será necesario realizar pruebas reales, sobre todo si se tratan de elementos de seguridad. Sin embargo podemos tener un alto porcentaje de precisión y seguridad gracias a la simulación y sin gastar materiales, recursos y en menos tiempo y sin ningún riesgo material y humano.

Se tienen en cuenta que las expectativas al formular y desarrollar esta investigación desde un comienzo fue que los resultados obtenidos de la simulación nos permitan:

- Tomar decisiones de diseño en cuanto a la geometría de la suspensión, la distancia entre ejes, la repartición de masa y las relaciones de transmisión.
- Optimizar la puesta a punto del vehículo en las presiones de los neumáticos, del líquido de freno, la rigidez de los amortiguadores, la alineación de las llantas
- Determinar una estrategia óptima de manejo para las carreras, calculando las trayectorias óptimas en función del circuito, teniendo en cuenta las distancias de frenado y las velocidades en curva.

Al final del proceso de investigación y completadas las simulación podemos concluir que ciertos de los parámetros no han podido ser simulados en computador aunque los hayamos podido calcular en el modelado. Podemos entonces realizar las optimizaciones esperadas, pero no basándonos únicamente en la simulación asistida por computadora, sino también analizando los resultados del modelado matemático.

## Referencias

- Fishman, G. S. (1978). *Conceptos y métodos en la simulación digital de eventos discretos*. México: Limusa.
- Loaiza, C. A. (s.f.). *SURA*. Recuperado de [www.sura.com/blogs/autos/como-funcionan-frenos.aspx#sthash.1MKS18t.dpuf](http://www.sura.com/blogs/autos/como-funcionan-frenos.aspx#sthash.1MKS18t.dpuf)
- Luque, P. y Álvarez, D. (2003). *Investigación de Accidentes de Tráfico Estudio del Automóvil*. Universidad de Oviedo.
- Mecánica del Automóvil*. (s.f.). Recuperado de <http://www.almuro.net/sitios/Mecanica>
- Milliken, W. F. & Milliken, D. L. (1995) *Race Car Vehicle Dynamics*. Society of Automotive Engineers, Inc.
- Nuñez, R. (s.f.). *Sistemas de un automóvil*. Recuperado de <http://es.slideshare.net/bogarth07/sistemas-de-un-automovil>
- Rubin, H. M. (s.f.). *Simulación de eventos discretos*. Instituto Tecnológico de Tepic.
- Shannon, R. E. (1988). *Simulación de Sistemas: Diseño, desarrollo e implementación*. México: Trillas.



# La modelación como una herramienta para la evaluación y planificación de sistemas de agua residual

**Karen Rojas**

Instituto Cinara, Universidad del Valle, Cali, Colombia. Correo electrónico: karen.rojas@correounivalle.edu.co

**Manfred Schütze**

ifak (Institut f. Automation und Kommunikation e. V.), Magdeburg, Alemania. Correo electrónico: manfred.schuetze@ifak.eu

## Resumen

La modelación es una herramienta útil para lograr una adecuada gestión del agua residual. En este documento se ejemplifica la utilidad de la simulación como una herramienta que facilita la evaluación y planeación de sistemas de agua residual, a través de su aplicación en tres casos: 1) simulación de sistemas de drenaje urbano, 2) simulación de PTARs y 3) Macro-modelación. En el primer ejemplo se presenta la simulación del funcionamiento del sistema de drenaje sur de Cali y el impacto de los procesos de sedimentación y re-suspensión. En el segundo ejemplo se muestra de manera sencilla cómo realizar la modelación de una PTAR de lodos activados y su utilidad en la aplicación práctica para facilitar la evaluación de nuevas opciones para mejorar su configuración u operación. Finalmente, en el ejemplo tres se presenta una aplicación de la macro-modelación o modelación integrada para facilitar la planeación de ciudades con énfasis en sistemas de agua urbana, explicando el caso de Lima (Perú).

**Palabras clave:** agua residual, modelación, planeación, planta de tratamiento de aguas residuales, simulación.

## Motivación - ¿Por qué modelar?

El manejo del agua residual constituye un gran desafío. Si no se realiza de manera adecuada, impactará negativamente no solo la calidad ambiental sino también la salud humana, generando un riesgo. En muchos casos se deben asumir elevados costos de inversión, bien sea para la optimización de sistemas existentes o para la construcción de nueva infraestructura, con el fin de garantizar su buen funcionamiento tanto en el presente como en el futuro. El manejo de la infraestructura y de los sistemas de agua residual está influenciado por la precipitación, cambios globales como el cambio climático, cambios poblacionales (sea incremento o sea decrecimiento) y los hábitos de las personas.

En otros aspectos de la vida, cuando se planea realizar una inversión – por ejemplo, la compra de un carro – se evalúan varias opciones, analizando y comparando opciones

factibles, se realizan pruebas de funcionamiento y se consulta con los usuarios y demás personas involucradas (como la familia que usará el carro) antes de tomar la decisión definitiva. Surge entonces la pregunta: ¿cómo hacer algo parecido para la planificación de sistemas de agua residual o para el mejoramiento de la operación de estos sistemas? En muchos casos, la modelación puede ser una herramienta muy útil para la evaluación y planificación de sistemas de agua residual (Schütze et al., 2002).

Este artículo quiere brindar unos ejemplos relacionados con la utilización de la modelación del agua residual, dando una introducción a esta temática.

## **Introducción – ¿Cómo modelar?**

En general, un modelo es una representación de la realidad, hecho con el fin de poder analizar un sistema en mayor profundidad. Muchas veces, esta representación también implica una simplificación del sistema real. Hay varios tipos de modelos: modelos físicos (como un laboratorio de hidráulica usado para modelar a escala pequeña las obras hidráulicas y estudiar cómo se comportan), modelos matemáticos (casi siempre descritos mediante ecuaciones matemáticas), modelos conceptuales (como el concepto que los protones y neutrones giran alrededor del núcleo del átomo). Con el fin de solucionar las ecuaciones de modelos matemáticos, en muchas ocasiones, se usan computadores con programas especializados para resolver dichos modelos en un ámbito específico de aplicación.

## **La modelación de sistemas de agua**

En el pasado, la aplicación y la solución de modelos matemáticos ha sido una tarea compleja, que ha implicado la realización de muchos cálculos matemáticos o la utilización de programas, que a veces son difíciles de entender y usar (como Matlab). Para la realización de los casos de estudio presentados en este artículo se usó el simulador Simba#, el cual permite la simulación dinámica de redes de drenaje urbano (hidrológica e hidrodinámica), Plantas de Tratamiento de Agua Residual (PTAR), tratamiento de lodos y calidad del agua en cuerpos hídricos. Además, es un simulador muy flexible, que permite al usuario definir sus propios “bloques” (módulos) y “scripts” (funciones). Simba# se usa en muchos países del mundo; una versión demo completa se puede descargar en <http://simba.ifak.eu>. Simba# fue desarrollado por el instituto ifak en Magdeburg (Alemania), un instituto de investigación aplicada, sin ánimo de lucro.

### **Ejemplo 1: Simulación del funcionamiento de un sistema de drenaje**

Existe un impacto significativo de los sistemas de drenaje sobre los cuerpos hídricos receptores, asociado principalmente a la contaminación difusa. Con el fin de mitigar dicho impacto es necesario controlar y minimizar los vertimientos. Una de las principales problemáticas es la acumulación de sedimentos en tuberías y canales lo cual puede disminuir significativamente su volumen útil. Tras un evento de lluvia, ocurre una re-suspensión y arrastre de los sedimentos, resultando en descargas de



agua con alta concentración de contaminantes (Bersinger et al., 2015). La simulación de sistemas de drenaje urbano, permite alcanzar una mejor comprensión de los procesos que ocurren al interior de las tuberías, analizando el comportamiento dinámico del sistema, el impacto del arrastre de sedimentos, procesos de acumulación y re-suspensión y a futuro, permite proponer alternativas de gestión (Rojas et al., 2016a; 2016b).

En el presente caso de estudio se muestra un modelo simplificado que permite analizar el comportamiento del sistema y evaluar la sedimentación y re-suspensión de los sólidos en canales. El modelo ha sido calibrado y aplicado con el fin de analizar algunos componentes del Sistema de Drenaje Sur (SDS) de la ciudad de Cali (Colombia) y la descarga del Canal Sur al río Cauca. La esquematización general del SDS se presenta en la Figura 1.

El Sistema de Drenaje Sur (SDS) drena a gravedad el sur de la ciudad y está compuesto por el alcantarillado pluvial, sanitario, combinado, los ríos Cañaveralejo, Meléndez y Lili. El alcantarillado pluvial del Sistema de Drenaje Sur está conformado por el Canal Sur y 3 sub-sistemas: Cañaveralejo, Ferrocarril y Meléndez-Lili, el efluente de estos sub-sistemas es conducido por gravedad al Canal Sur, el cual finalmente descarga al río Cauca (Ingesam y Emcali, 2013).

Los principales eventos de contaminación con impactos negativos en la calidad del río Cauca, se relacionan con los periodos de lluvia, debido a la generación de escorrentía superficial con alto contenido de sólidos suspendidos como consecuencia del deterioro de las subcuencas, la re-suspensión del material sedimentando en los conductos (tuberías y canales) y la descarga de efluentes de alcantarillado combinado en los cuerpos hídricos. El nivel de contaminación puede ser tan alto que sobrepasa los límites de tratamiento de las plantas de potabilización de agua. La fuente más crítica de contaminación es el Canal Sur, debido a que su vertimiento final al río Cauca se encuentra situado aguas arriba de las bocatomas de las plantas de potabilización de Puerto Mallarino y Río Cauca responsables de abastecer aproximadamente el 77% de la población, dicho vertimiento constituye una descarga directa al río sin tratamiento previo y el efluente es una mezcla de agua residual doméstica, industrial, agua lluvia y escorrentía superficial (Vélez et al., 2014).

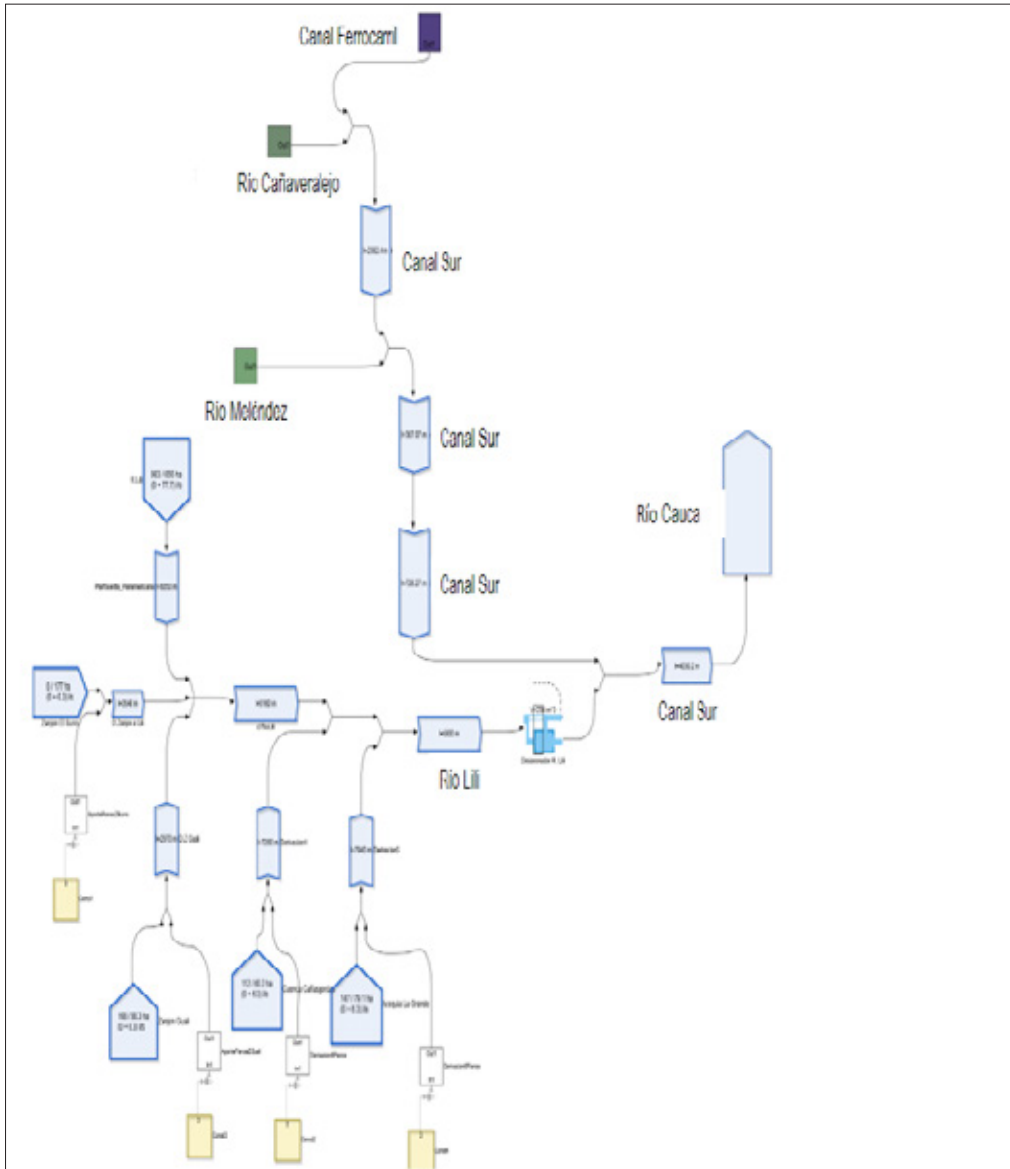


Figura 1. Esquemata general del sistema de Drenaje Sur en Simba (Rojas et al., 2016a).

Con el fin de evaluar el caudal generado por cada subcuenca y la carga vertida en términos de  $DBO_5$  y SST por el SDS, se realizó una simulación durante temporada seca, con una duración de 7 días. Los resultados se presentan en la Figura 2, donde se observa que durante la época de verano las subcuencas con mayor aporte de carga contaminante al Canal Sur son el Canal-rio Cañaveralejo y el Canal Ferrocarril. Lo anterior se asocia principalmente al aporte de agua residual en los canales pluviales.

Posteriormente, con el fin de modelar la sedimentación y re-suspensión de sólidos en el SDS, se definió un modelo que consideró la existencia de un tanque virtual, que almacena y

vierte parte de la carga contaminante, según el caudal afluente (Rojas et al., 2016a; 2016b). Los parámetros involucrados en la utilización de este módulo se calibraron con datos medidos antes de la descarga del canal Sur al río Cauca (Vélez et al., 2006). Para simular el proceso se consideró la caracterización del agua residual en términos de DBO<sub>5</sub> y SST.

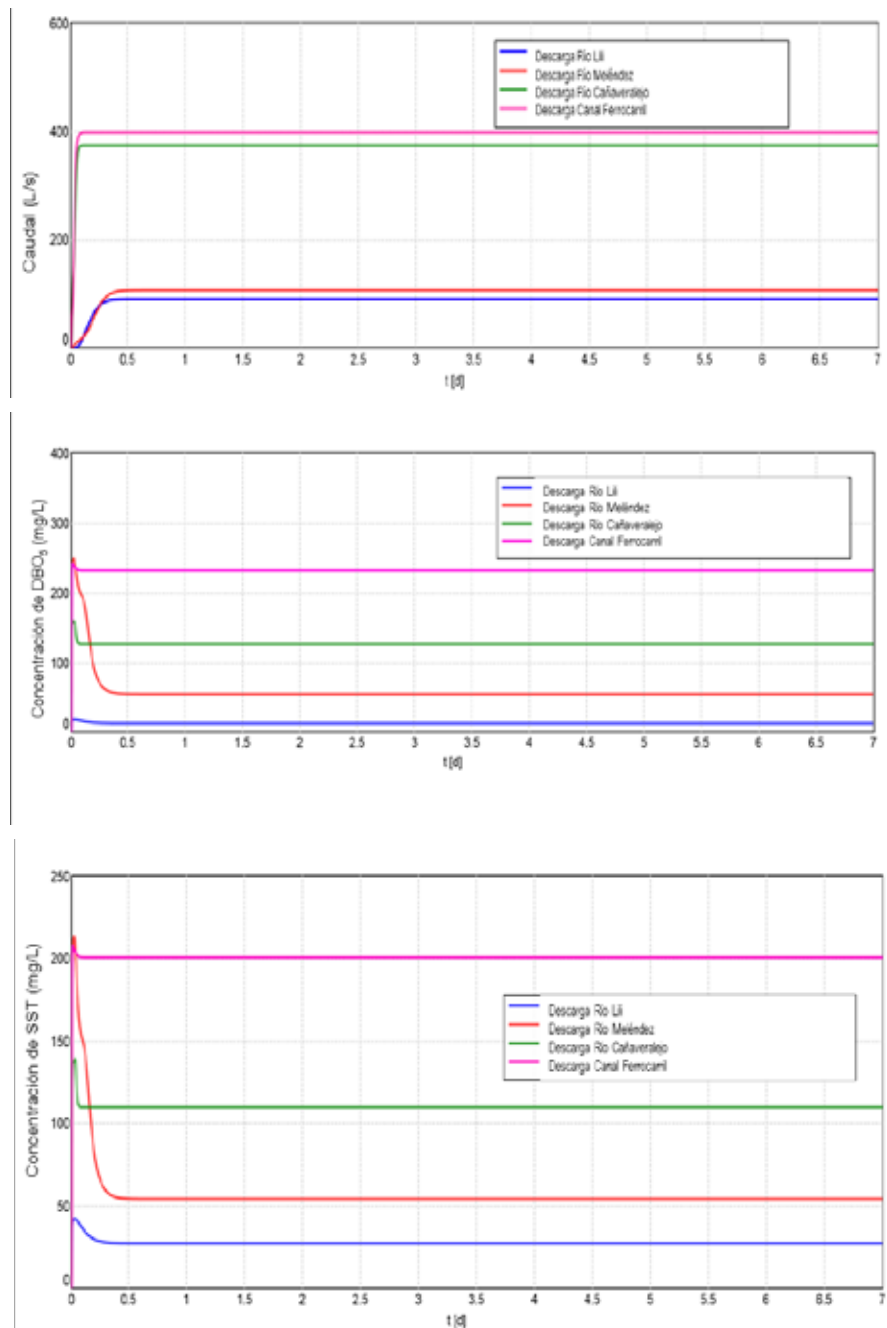


Figura 2. Caudal y concentración en términos de DBO<sub>5</sub> y SST vertido por cada subcuenca al Canal Sur.

Los resultados de la simulación se compararon con los datos reportados por Vélez et al. (2006), como se presenta en la Figura 3. Tras la implementación del módulo de sedimentación/re-suspensión fue posible observar que durante la temporada seca ocurre una sedimentación y acumulación de los sólidos, mientras en la temporada de lluvia los sedimentos se re-suspenden, aumentando la carga contaminante total que es vertida al cuerpo hídrico. De esta manera es posible representar y analizar de manera simplificada el impacto de la sedimentación en un componente del sistema de drenaje, evaluando el comportamiento dinámico del sistema (Rojas et al., 2016b).

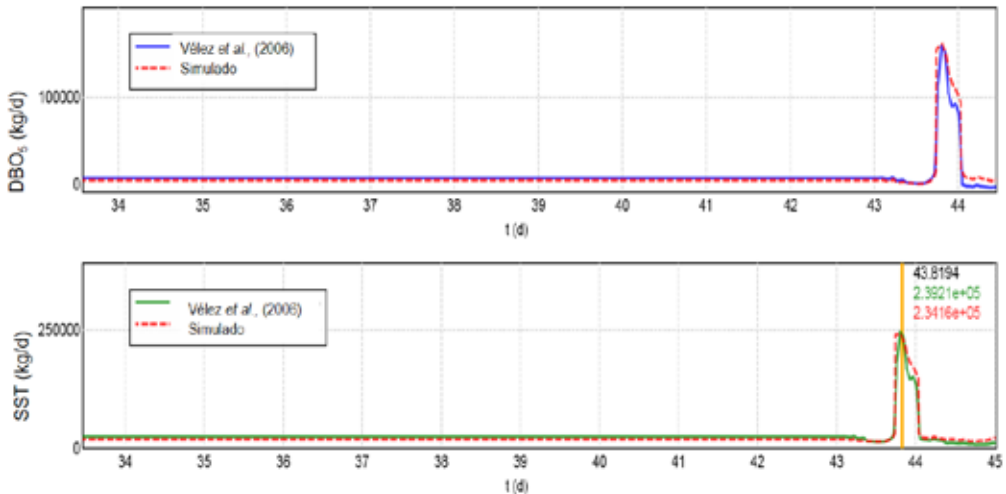


Figura 3. Efecto de la re-suspensión de sólidos asociada a la descarga del Canal Sur al río Cauca en términos de  $DBO_5$  y SST ( $kgd^{-1}$ ) (Rojas et al., 2016b).

## Ejemplo 2: Simulación de Plantas de Tratamiento de Agua Residual (PTAR)

En plantas biológicas de tratamiento de agua residual se llevan a cabo procesos físico-químicos y biológicos. Aunque son procesos que poseen una alta complejidad, están ampliamente descritos y pueden ser modelados. Al simular el funcionamiento de una PTAR se puede analizar su diseño y/o estudiar su comportamiento bajo diferentes condiciones de operación, evaluando además el impacto de posibles estrategias de mejoramiento. Por ejemplo, se puede analizar cómo la variación del caudal afluente a una PTAR afecta su operación.

Uno de los sistemas más usados para el tratamiento del agua residual es el sistema de lodos activados. Una de las ventajas de usar este tipo de tratamiento es el bajo requerimiento de área, pese a esto su mayor desventaja es el alto consumo de energía requerido debido al sistema de aireación. Por lo anterior, es importante analizar cómo optimizar el consumo de energía de una PTAR y a su vez, garantizar el cumplimiento de los parámetros de calidad exigidos por la normatividad para el efluente de la planta. Para lograr lo anterior la modelación es una herramienta útil. Muchos operadores de PTAR en Alemania, en su mayoría las empresas municipales de servicios públicos, usan modelos de sus plantas de tratamiento con el fin de analizar diferentes opciones para mejorar el diseño y/o su operación.

Un sistema de tratamiento está compuesto por varias etapas. Para modelar una PTAR, se usan módulos por cada componente (tanque de sedimentación, tanque de aireación, clarificador secundario, bombas, sistema de aireación, digestores, entre otros). Los modelos o sistemas de ecuaciones diferenciales que describen los procesos bioquímicos son los “*Activated Sludge Models 1/2d/3*” y fueron publicados por la International Water Association (Henze et al., 2000). Estos sistemas de ecuaciones son utilizados en los programas especializados para simulación de PTAR, que incluyen el simulador Simba# (Alex et al., 2013). La Figura 4 presenta un ejemplo de un modelo de una PTAR típica del tipo lodos activados.

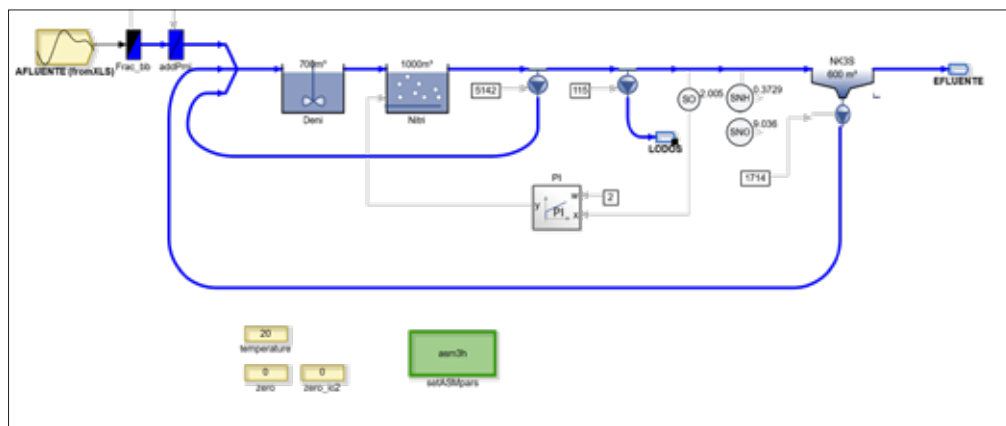


Figura 4. Modelo sencillo de una PTAR del tipo lodos activados.

En la Figura 4 se muestra un esquema sencillo de una PTAR realizado en Simba#: En primer lugar, se definen las características del afluente a la planta (ver lado izquierdo del esquema), posteriormente se presentan los tanques de denitrificación y de aireación, en el lado derecho del esquema se observa el clarificador secundario y el efluente de la planta (agua tratada). Los lodos provenientes del sedimentador secundario se retroalimentan o envían hacia la entrada de la planta, con el fin de mantener una población de biomasa apropiada para los procesos bioquímicos. Según este ejemplo, los lodos en exceso se extraen después del tanque de aireación. La medición de la concentración del oxígeno (“SO”) y un controlador del tipo PI garantizan que la cantidad del aire suministrado al tanque de aireación genera una concentración de oxígeno disuelto en el tanque igual a 2 mgL<sup>-1</sup> (observe el valor de “2” definido como una constante de entrada al controlador PI).

Con el fin de realizar una simulación dinámica se requiere caracterizar la variación del afluente a la planta. En la práctica generalmente no existen muchas mediciones disponibles de datos históricos en series de tiempo, que permitan caracterizar las variaciones diarias, mensuales o anuales del afluente. A través de un proyecto realizado en Europa, se analizaron datos de entrada de más de 40 PTAR de tamaños diferentes y se obtuvieron unas fórmulas (usando series de Fourier) que permiten describir la variación del afluente de manera general (Langergraber et al., 2007). Con lo anterior se realizó un bloque que calcula automáticamente la variación típica del afluente a partir de los datos de entrada de caudal y concentraciones promedio (ingresados por el usuario). Investigaciones en Colombia han extendido este concepto (Rodríguez et al., 2013).

Un aspecto fundamental en la modelación es la valoración de la confiabilidad de un modelo, es decir, ¿cómo saber que los resultados del modelo (una representación y

simplificación) son acordes a la realidad?, ¿cómo saber que las conclusiones derivadas del modelo son las mismas obtenidas en el sistema real? Para comprobar la veracidad de un modelo, en muchos estudios, se aplica el proceso de calibración y validación. Lo cual incluye seleccionar una parte de datos medidos (si están disponibles) para estimar (“calibrar”) los parámetros del modelo y, luego, sin modificar los parámetros obtenidos, usar la parte restante de los datos para comprobar si los resultados del modelo, con sus parámetros, corresponden a los datos medidos (“validación”). Existen numerosas referencias bibliográficas relacionadas con la identificación de parámetros (y de la estructura de los modelos) y la identificabilidad de los parámetros (por ejemplo: Söderstrom y Stoica, 1989; Dochain y Vanrolleghem, 2001). Sin embargo, para lograr el objetivo inicial de facilitar la toma de decisiones en la planificación de sistemas de agua residual, generalmente es suficiente valorar la confiabilidad de los resultados del modelo. Esto se puede lograr usando los modelos establecidos bajo condiciones bien definidas. En muchos casos es suficiente realizar un chequeo de la plausibilidad de los resultados del modelo. También es importante anotar que, debido al desarrollo de modelos en los años recientes, los parámetros de las PTAR para agua residual doméstica están bien establecidos, es decir, no es necesario hacer una calibración del modelo. En el caso de la modelación de sistemas de tratamiento de agua residual industrial o tipos de tratamiento especiales puede ser diferente, debido a que cada tipo de agua y sistema es particular.

### **Ejemplo 3: Macro-modelación**

La modelación puede ser una herramienta útil no solamente para el diseño y/o para el mejoramiento de la operación de los componentes del sistema urbano del agua residual. También puede ser considerado todo el sistema del agua urbana en un único modelo, lo cual se conoce como “modelación integrada” (Schütze et al., 2002, Bach et al., 2014). Existe una guía para hacer estudios de modelación de este tipo (Muschalla et al., 2009), estas recomendaciones también pueden adaptarse para la modelación de otros sistemas que incluyen no solo el manejo del agua residual, sino también de sistemas de agua potable, cuerpos hídricos, y los diferentes usos del agua, que pueden incluir por ejemplo el riego en la agricultura o el uso del agua en la industria. De esta manera se pueden obtener modelos integrales que incluyen la mayor parte del ciclo hidrológico urbano. Este tipo de modelos sirve como apoyo para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos. Con el fin de evaluar diferentes estrategias para responder a los desafíos relacionados con el sistema existente de agua y alternativas de adaptación a cambios futuros en la ciudad de Lima (Perú), se usó como una herramienta la modelación integrada.

El área metropolitana de Lima y Callao, la cual en adelante se denominará “Lima”, es una mega-ciudad del futuro que cuenta con más de 9 millones de habitantes, con una tasa de crecimiento poblacional cercana al 2%. En promedio, tiene una precipitación anual de 9 mm. Las fuentes principales de agua están constituidas por tres ríos provenientes de los Andes. Considerando los efectos del cambio climático, se estima que habrá una grave escasez de agua en la capital del Perú. Con el fin de brindar un apoyo a la empresa estatal de agua de Lima (SEDAPAL) y a los demás actores involucrados en el manejo del agua, se desarrolló y aplicó un modelo integrado del sistema de agua potable y agua residual de Lima. La Figura 5 muestra una parte del modelo, en el cual se usó un diagrama del tipo Sankey para ilustrar los caudales de agua (según el ancho de las líneas correspondientes al valor numérico del caudal, donde las líneas anchas indican caudales grandes).

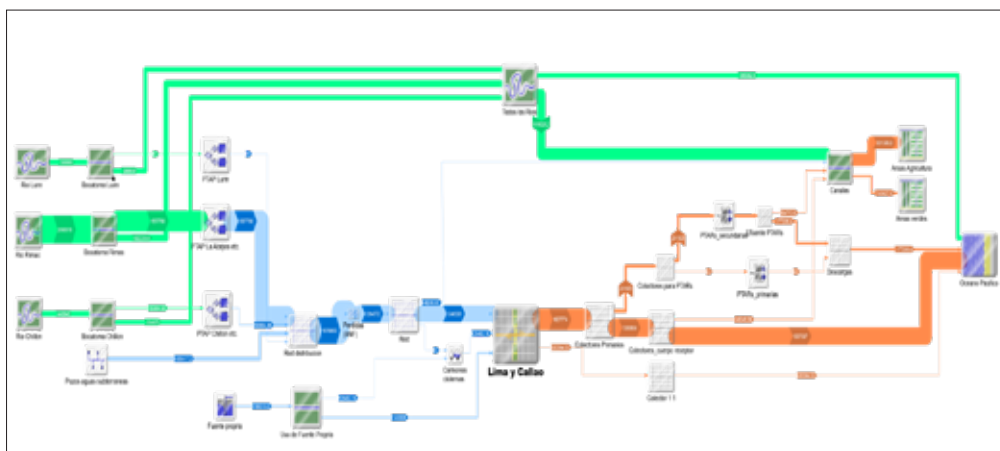


Figura 5. Modelo integrado del sistema de agua de Lima/Perú (extracto) (Schütze, 2015).

Se plantearon posibles escenarios futuros del sistema de agua de Lima (hasta el año 2040) y se analizaron posibles alternativas para el manejo del agua bajo los diferentes escenarios. Una de las estrategias utilizadas para la implementación del modelo consistió en realizar talleres con diversos actores involucrados en la gestión del agua (empresa estatal de agua, ministerios, la Superintendencia Nacional de Agua y Saneamiento -SUNASS, varias organizaciones no-gubernamentales, entre otros) con el fin de visualizar y discutir de manera conjunta varias opciones, generando una discusión informada. Al finalizar este proceso se aprobó entre todos los actores un Plan de Acción “Lima 2040”, que resume las actividades planeadas para el futuro. Más información relacionada con el proyecto descrito y sus resultados, se puede encontrar en la página web: <http://www.lima-water.de>. Además, las lecciones aprendidas para la aplicación de la metodología y sus herramientas en otras partes del mundo se encuentran en un manual realizado por Schütze (2015), que también está disponible en esta página web.

Por otro lado, Ramírez et al., (2016) implementaron un modelo de este tipo en la ciudad de Cali (Colombia). Involucrando los conceptos de “Producción más limpia” en el manejo de aguas urbanas, ellos analizaron los efectos de las variaciones en el Índice de Agua No Contabilizada, consumo per cápita del agua y la cobertura de la red de alcantarillado, entre otros. Además, en el marco del proyecto “*Rapid Planning*”, financiado por el Ministerio de Investigación e Educación de Alemania, actualmente se están incluyendo en este modelo otros aspectos asociados a la infraestructura urbana como el consumo de energía eléctrica, manejo de residuos sólidos y agricultura urbana. Este tipo de modelación integrada se ha implementado en el simulador Simba#, con el objetivo de apoyar a una planeación estratégica para las ciudades de Da Nang (Vietnam), Assiyut (Egipto) y Kigali (Ruanda).

### Consideraciones finales

En este artículo se presentaron tres ejemplos de la aplicación de modelos matemáticos en el manejo de agua residual. Se ha evidenciado que la modelación es una herramienta útil que facilita la evaluación y planificación de sistemas de agua residual, puede usarse para simular el funcionamiento de un componente específico



del sistema, bien sea una PTAR, el sistema de drenaje urbano o para realizar un análisis integral del funcionamiento del sistema en su conjunto. Existen aplicaciones adicionales de la modelación en el manejo del agua, por ejemplo, se puede analizar el efecto del control en tiempo real de las redes de drenaje urbano (Schütze et al., 2013) o evaluar el impacto de los vertimientos de agua residual en la calidad del agua de los ríos (Schütze et al., 2011).

Es fundamental evaluar la confiabilidad de los modelos para su aplicación práctica, para lo cual se utilizan métodos de calibración y validación. Sin embargo, si existen pocos datos disponibles, también es factible usar herramientas de modelación. Box y Draper (1987) aseveran que “*Todos los modelos son incorrectos, pero algunos son útiles*”. De esta manera, mientras los modelos se usen de manera apropiada, pueden ser muy útiles, como se ha ilustrado en este artículo, y constituyen un apoyo en la planificación y operación de sistemas de agua, contribuyendo a una mejor Gestión Integrada de Recursos Hídricos.

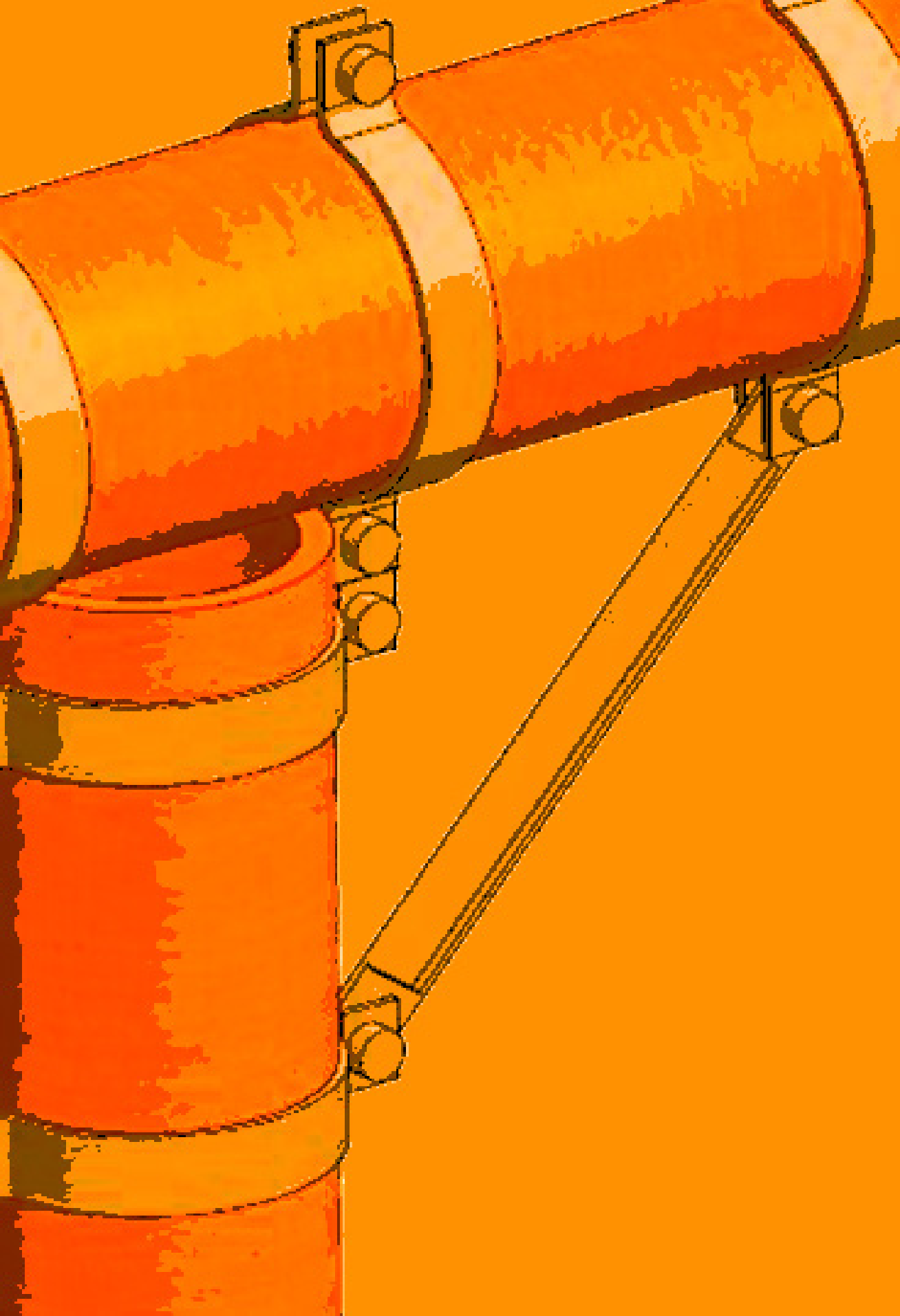
### Agradecimientos

Parte del trabajo descrito en este artículo fue financiado por el Ministerio de Investigación y Educación de Alemania en el marco del proyecto “SaMuWa – Die Stadt als hydrologisches System im Wandel”, al cual expresamos nuestros agradecimientos. También agradecemos a la gobernación del Valle del Cauca y al Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema Nacional de Regalías por la financiación del Proyecto “Estrategias para la recuperación y manejo integrado del recurso hídrico en las cuencas del Cauca y Dagua en el Valle del Cauca”.

### Referencias

- Alex, J., Ogurek, M., Schütze, M. (2013). A novel simulation platform to test WWTP control options. *11th IWA Conference on Instrumentation, Control and Automation (ICA)*. 18-20. Narbonne, Francia.
- Bach, P. M., Rauch, W., Mikkelsen, P. S., McCarthy, D. T., Deletic, A. (2014) A critical review of integrated urban water modelling – Urban drainage and beyond. *Environmental Modelling and Software*, 54, 88-107.
- Bersinger, T., Hécho, I., Bareille, G. & Pigot, T. (2015). Assessment of erosion and sedimentation dynamic in a combined sewer network using online turbidity monitoring. *Water Science & Technology*, 72(8), 1375-1382.
- Box, G. E. P. & Draper, N. R. (1987). *Empirical Model Building and Response Surfaces*, New York: John Wiley & Sons.
- Dochain, D. & Vanrolleghem, P. (2001). *Dynamical Modelling and Estimation in Wastewater Treatment Processes*. London: IWA Publishing.
- Henze, M., Gujer, W., Mino T. & van Loosdrecht, M. C. M. (2000). *Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3*. London: IWA Publishing.
- Ingesam y Emcali (2013) Informe de Caracterización de Vertimientos finales de Cali. INGESAM-EMCALI E.I.C.E. E.S.P. Cali, Colombia.

- Langergraber, G., Alex, J., Weissenbacher, N., Woerner, D., Ahnert, M., Frehmann, T., Half, N., Hobus, I., Plattes, M., Spering, V. & Winkler, S. (2008). Generation of diurnal variation for dynamic simulation. *Water Science and Technology*, 59(9), 1483-1486.
- Muschalla, D., Schütze, M., Schroeder, K., Bach, M., Blumensaat, F., Gruber, G., Klepizewski, K., Pabst, M., Pressl, A., Schindler, N., Solvi, A.-M., Wiese, J. (2009). The HSG procedure for modelling integrated urban wastewater systems, *Water Science and Technology*, 60, 8, 2065-2075.
- Ramírez, O., Silva, J.P. & Schütze, M. (2016). Alternativas para la gestión integral del agua en Cali. *AGUA 2016*. Cali, Colombia.
- Rodríguez, J. P., McIntyre, Díaz-Granados, M., Achleitner, S., Hochedlinger & M., Maksimović, C. (2013). Generating time-series of dry weather loads to sewers. *Environmental Modelling and Software*, 43, 133-143.
- Rojas, K., Galvis, A. & Schütze, M. (2016a). Simulación del efecto de la acumulación y re-suspensión de sedimentos en sistemas de drenaje. Caso de estudio: Sistema de Drenaje Sur (Cali); *1er Seminario Internacional Centros Urbanos Sostenibles y Resilientes*. Congreso ACODAL. Cali, 27 – 29 Octubre 2016.
- Rojas, K., Galvis, A. & Schütze, M. (2016b). Sedimentos en sistemas de drenaje – ¿Cómo modelarlos? *Seminario Internacional “Gestión del uso eficiente y ahorro de agua para la sostenibilidad del recurso” en el evento AGUA 2016*. Cali, 08. – 11 Noviembre 2016.
- Schütze, M. (ed.) (2015). *LiWa Transferability Manual - How can LiWa be applied to other regions of the world?* Magdeburg: Project LiWa – Lima Water; ifak e. V. Magdeburg, con contribuciones de todos los socios del proyecto. Recuperado de: [http://www.lima-water.de/documents/liwa\\_transferabilityreport.pdf](http://www.lima-water.de/documents/liwa_transferabilityreport.pdf)
- Schütze, M., Butler, D. & Beck, M.B. (2002). *Modelling, Simulation and Control of Urban Wastewater Systems*. London: Springer.
- Schütze, M., Pabst, M. & Peikert, D. (2013). Enfrentando el riesgo: Modelamiento y Control de redes de alcantarillado: el caso de Hildesheim/Alemania; *Agua2013; Seminario Internacional: Manejo del riesgo de agua*; Cali, 16-18 Octubre 2013.
- Schütze, M., Reussner, F. & Alex, J. (2011). SWQM - A simple river water quality model for assessment of urban wastewater discharges. *12th International Conference on Urban Drainage*. Porto Alegre, 11. – 16.09.2011.
- Söderstrom, T. & Stoica, P. (1989). *System identification*. New York: Prentice Hall.
- Vélez, C., Galvis, A., Ramírez, A. & Baena, L. (2006). Cauca river water quality model hydroinformatics application in a developing country. *7th International Conference on Hydroinformatics*. HIC 2006. Nice, Francia.
- Vélez, C., Alfonso, L., Sánchez, A., Galvis, A y Sepúlveda, G. (2014). Centinela: an early warning system for the water quality of the Cauca River. *Journal of Hydroinformatics*, 16(6), 1409-1424. DOI: 10.2166/hydro.2014.127



# Uniones basadas en semi-anillos de acero para elementos estructurales de Guadua

## **Richard Moran**

Candidato a doctor en Ingeniería con Énfasis en Mecánica de Sólidos. Universidad del Valle, Colombia. Correo electrónico: richard.moran@correounivalle.edu.co

## **Laura Villegas**

Estudiante de Maestría en Ingeniería con Énfasis en Ingeniería Civil. Universidad del Valle, Colombia. Correo electrónico: laura.villegas@correounivalle.edu.co

## **Jesús Muñoz**

Estudiante de Ingeniería Mecánica. Universidad del Valle, Colombia. Correo electrónico: jesus.munoz@correounivalle.edu.co

## **Héctor F. Silva**

Profesor Departamento de Artes Integradas. Universidad del Valle, Colombia. Correo electrónico: hector.silva@correounivalle.edu.co

## **José Jaime García**

Profesor titular Escuela de Ingeniería Civil y Geomática. Universidad del Valle, Colombia. Correo electrónico: josejgar@correounivalle.edu.co

## **Resumen**

La Guadua *angustifolia* (GA) es una especie de bambú propia del centro y sur de América. Es una planta de rápido crecimiento y por lo tanto su uso controlado no amenaza las plantaciones naturales, que juegan un papel importante para controlar los ciclos del agua, reducir la erosión y secuestrar el carbono. Como material se ha utilizado para construir viviendas rurales y estructuras temporales debido a su amplia disponibilidad, bajo costo y buenas propiedades mecánicas a lo largo de la dirección axial del culmo. Sin embargo, debido a la forma cilíndrica hueca, a las variaciones en la forma y las dimensiones de sus culmos, así como la baja resistencia transversal, la construcción de juntas mecánicas para estructuras de GA es una tarea tediosa, que incrementa los costes de mano de obra e impide el uso extendido de GA en proyectos de vivienda. Con el objetivo de superar esta dificultad, hemos desarrollado un sistema de juntas basadas en semi-anillos de acero, las cuales permiten conectar elementos de GA con versatilidad y conservando la integridad del material. Estas uniones se han evaluado en pruebas de carga estática y con simulaciones de elementos finitos, en las cuales han mostrado un comportamiento satisfactorio. Nuestros esfuerzos actuales están orientados a aplicar estas uniones en la construcción de paneles prefabricados y cerchas para el desarrollo de vivienda de interés social.

**Palabras clave:** guadua, uniones, paneles prefabricados.

# Steel semi-ring based joints for structural members of Guadua

## Abstract

Guadua *angustifolia* (GA) is a species of bamboo typical of Central and Southern America. It is a fast-growing plant and therefore its controlled use does not threaten natural plantations, which play an important role in controlling water cycles, reducing erosion and sequestering carbon. As a material, it has been used to build rural housing and temporary structures because of its wide availability, low-cost and good mechanical properties along the axial direction of the culm. However, because of the hollow cylindrical shape, the variations in shape and dimensions of its culms, as well as the low transverse strength, the construction of mechanical joints for GA structures is a tedious task, which increases labor costs and prevents the widespread use of GA in housing projects. To overcome this difficulty, we have developed a system of joints based on steel semi-rings, which allow the connection of GA elements with versatility and preserving the integrity of the material. These unions have been evaluated in static tests and with simulations of finite elements, which have shown a satisfactory behavior. Our current efforts are aimed at applying these unions to construct prefabricated panels and trusses for the development of social housing.

**Key words:** guadua, joints, prefabricated panels.

## Introducción

La Guadua *angustifolia* (GA) es la especie de bambú más común en Colombia. Esta planta es un pasto gigante que crece en zonas tropicales (Laroque, 2007), y es una de las plantas que crece más rápido en la naturaleza. Su ciclo de desarrollo y maduración puede tardar entre 3 a 4 años. Al igual que otras especies de bambú, la GA es una planta de fácil propagación y sus cultivos se pueden manejar con muy poco cuidado (Janssen, 2000). Se reconocen sus beneficios ambientales, tales como, capturar CO<sub>2</sub>, regular los ciclos del agua y controlar la erosión del suelo (Van der Lugt, Van den Dobbelsteen y Janssen, 2006; Dhillon y Wuehlisch, 2013; Janssen, 2000).

Como material tiene grandes cualidades como su belleza, resistencia axial, ligereza, bajo costo y alta sostenibilidad. Sus usos son variados, por ejemplo, para elaborar textiles, alimentos, fármacos y muebles (Hossain, Islam y Numan, 2015). Además, se ha utilizado para construir estructuras.

La GA como material de construcción ha jugado un importante papel en la historia de Colombia. Por ejemplo, el desarrollo de la región de Antioquia durante los siglos XVIII y XIX fue principalmente favorecido por la disponibilidad de GA (Salas, 2006; Robledo, La ciudad en la colonización Antioqueña: Manizales, 1996; Robledo, Un siglo de bahareque en el antiguo Caldas, 1993). Varias estructuras, sobre todo en áreas rurales, han sido construidas usando GA. Algunas de estas construcciones perduran hasta hoy demostrando la capacidad del material para resistir terremotos (Vengala, Mohanthy y S, 2015). Por ejemplo, durante el sismo de Armenia en 1999, muchas casas elaboradas

con acero y hormigón colapsaron, mientras aquellas elaboradas con GA se mantuvieron en pie (Salas, 2006). Este hecho sirvió para reafirmar la importancia estructural de este material, el cual fue incluido como material de construcción en el último Reglamento de Construcción Sismo Resistente Colombiano (AIS, 2010).

A pesar de sus cualidades, la GA no se ha usado ampliamente para construir vivienda, en parte, debido los malos usos y a las limitaciones por su naturaleza vegetal, tales como, las variaciones en forma y dimensiones, la baja resistencia transversal y la durabilidad (Arce-Villalobos, 1993; Villegas, Moran y García, 2015). Por tanto, uno de los retos para potenciar su utilización es desarrollar procesos constructivos prácticos y eficientes.

Una de las principales dificultades para construir estructuras de GA son las uniones, las cuales se elaboran de manera personalizada, lo que aumenta los costos y tiempos de construcción (Arce-Villalobos, 1993; Janssen, 2000; Van der Lugt, Van den Dobbelsteen y Janssen, 2006; Vahanvati, 2015). Además, para construir estas uniones es necesario perforar los culmos, dejando al material propenso a desarrollar grietas longitudinales (Ghavami y Moreira, Development of a new joint for bamboo space structures, 1996; Moran, Weeb, Harries y García, 2017).

En un esfuerzo por mejorar las uniones para GA, nuestro grupo desarrolló un sistema de semi-anillos de acero, delgados y livianos (Benitez, 2017), que ha permitido conectar culmos con gran versatilidad y preservando la integridad del material (Moran, Benitez, Silva y García, 2016). Los semi-anillos pueden acomodarse a un rango de tamaños de culmos, resolviendo el problema de la personalización de las uniones. Ensayos estáticos y simulaciones con elementos finitos han mostrado un comportamiento satisfactorio de estas uniones. Actualmente, estas juntas se han implementado en la construcción de paneles y cerchas prefabricados para el desarrollo de vivienda de interés social.

## Métodos

Las uniones desarrolladas se basan en semi-anillos de acero (Figura 1), los cuales son fabricados con platina de 25.4 mm (1") de ancho y 3.175 mm (1/8") de espesor. Los semi-anillos se fijan en parejas con tornillos de 9.5 mm (3/8") a través de las prolongaciones llamadas "orejas". Los tornillos se ajustan hasta cerrar las orejas y generan una alta compresión radial sobre el culmo, de esta forma se puede transferir carga desde la pareja de semi-anillos al culmo de GA para construir diferentes tipos de juntas. Benítez (Benitez, 2017) evaluó la viabilidad de usar este sistema en uniones con elementos de GA. La autora realizó pruebas estáticas y análisis sobre este sistema (Figura 1). En sus resultados se reportan resistencias promedio de 14729 N (COV =0.22) y 21600 N (COV = 0.19) en pruebas de carga axial y transversal respectivamente, con un modo de falla dúctil.

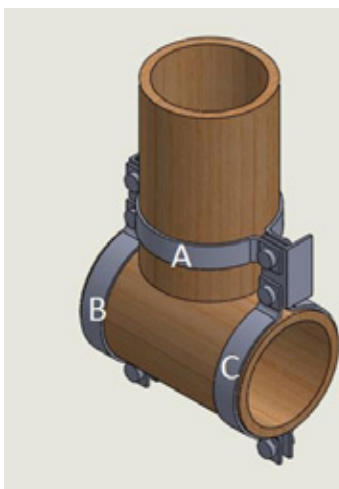


Figura 1. Semi-anillo de acero ajustado a un culmo de GA.

Fuente: Morán, Muñoz, Silva y García (2016).

El uso de este sistema ha permitido el desarrollo de uniones ortogonales para transferir carga axial, transversal y de momento (Figura 2). Estas uniones fueron evaluadas estáticamente en una máquina universal de pruebas, en las que la máquina aplica carga en un extremo, mientras el otro es soportado por el bastidor de la máquina. Las configuraciones de prueba se muestran en la Figura 3. Los desplazamientos fueron registrados usando un comparador de carátula. En la prueba de la conexión a momento, este comparador permitió medir indirectamente la rotación de la unión.

a.



b.

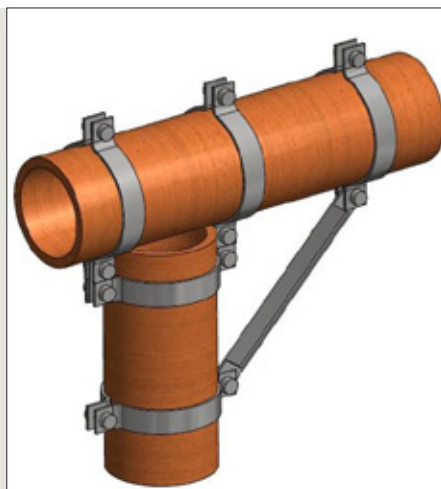


Figura 2. Uniones basadas en semi-anillos, a. Unión para Carga transversal, b. Unión resistente a momento.



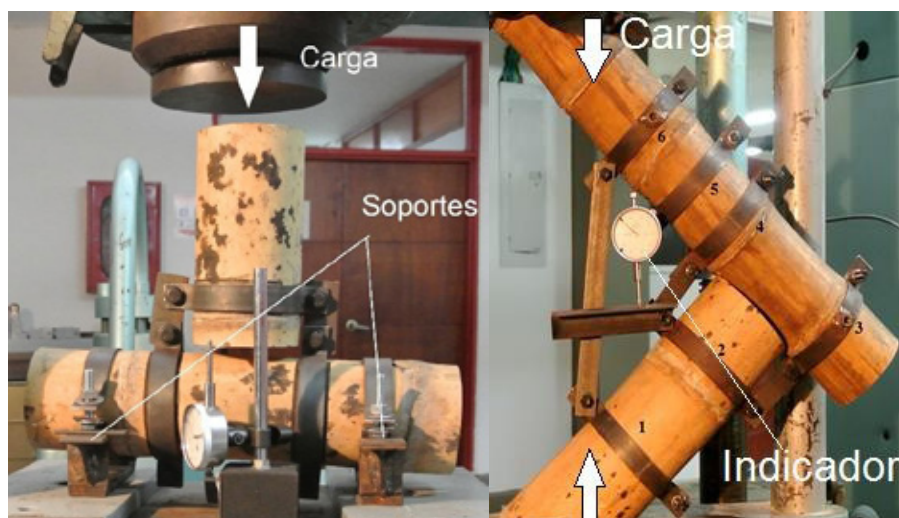


Figura 3. Evaluación mediante pruebas estáticas de las uniones.

Las uniones fueron analizadas con modelos de elementos finitos. Los culmos de GA fueron modelados como homogéneos y con un modelo material ortótropo, con base en un sistema de coordenadas cilíndricas, donde las direcciones 1, 2 y 3 corresponden a los ejes materiales radial, circunferencial y axial. Las constantes elásticas usadas fueron tomadas de la literatura (Ghavami y Marinho, Propiedades físicas e mecánicas do colmo inteiro do bambu da espécie *Guadua angustifolia*, 2005; García, Rangel y Ghavami, 2012; Moran, Weeb, Harries y García, 2017) y se incluyen en la Tabla 1.

Tabla 1. Constantes elásticas ortótropas usadas para la GA

$E_1$	$E_2$	$E_3$	$\nu_{12}$	$\nu_{13}$	$\nu_{23}$	$G_{12}$	$G_{13}$	$G_{23}$
(MPa)	(MPa)	(MPa)				(MPa)	(MPa)	(MPa)
862	862	13450	0.22	0.01	0.01	352	581	581

Los elementos de acero fueron modelados como isótropos con un módulo elástico de 200 GPa y una relación de Poisson de 0.3. Además se incluyó un modelo de endurecimiento plástico como se ha reportado en otros estudios (Morán, Muñoz, Silva y García, 2016).

## Resultados

Las curvas de carga versus desplazamiento de las uniones ensayadas se muestran en la Figura 4. La Figura 4a muestra la curva de la conexión para carga transversal, que se comporta muy similar con la curva del modelo. En la Figura 4b se muestra la curva de la conexión a momento donde se compara con las curvas de carga de uniones tradicionales para GA que han sido reportadas en la literatura (Camacho y Páez, 2002). En ambos casos la conexión basada en semi anillos supera las conexiones tradicionales tanto en rigidez como en resistencia. La resistencia de las conexiones de carga transversal y de momento fue de 14518N y 3603 N.m respectivamente. La rigidez secante de estas uniones calculada a la mitad de la carga máxima fue de 2283 N/mm y 811 N.m/°.

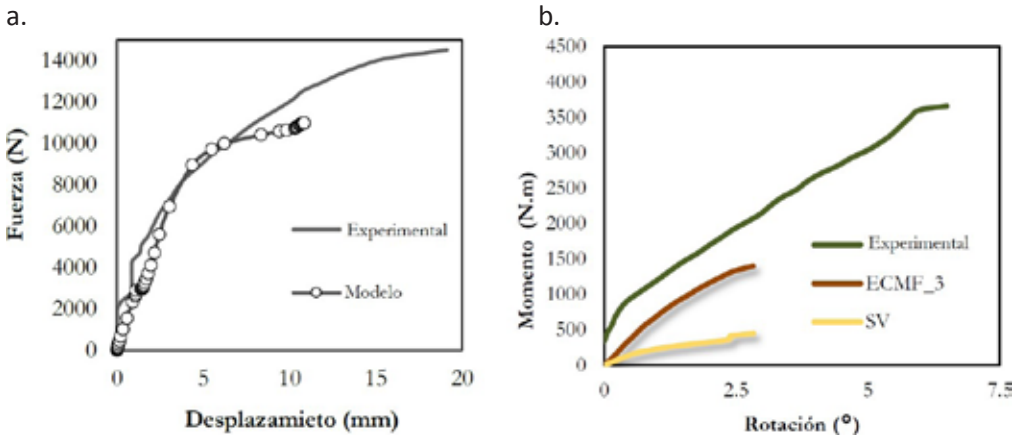


Figura 4. Curvas de carga versus desplazamiento de las uniones, a, Unión de carga transversal, b, Unión a momento.

El comportamiento de la conexión transversal es bien comparado con el comportamiento del modelo numérico, la rigidez secante fue un 5% menor comparada con la experimental. Por otro lado, el modelo de la conexión a momento predijo una rigidez 36% mayor que la experimental. En la Figura 5 se muestran los contornos de desplazamiento de las uniones modeladas.

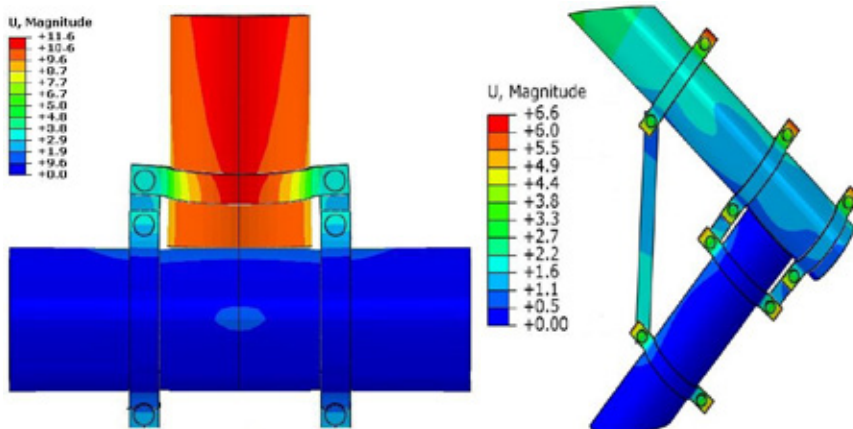


Figura 5. Contornos de desplazamiento de los modelos de las uniones.

Un par de semi-anillos, con dos tornillos y dos tuercas pesan 358 g, lo que no agrega un peso significativo sobre las uniones, cuyos pesos son 1492 g y 2112 g para la conexión de carga transversal y de momento respectivamente. Estos valores son aceptables cuando se comparan con uniones tradicionales cuyo peso puede variar entre 0.75 a 8 Kg (Moran, Benitez, Silva y García, 2016) dependiendo de la complejidad de la unión. Con base en estas uniones y la combinación de otros conectores metálicos se han desarrollado prototipos de módulos de pared (Figura 5) y cerchas prefabricadas los cuales están en fase de evaluación.



Figura 5. Módulo de pared basado en la conexión transversal.

### Conclusiones

Uniones basadas en semi-anillos de acero son una alternativa viable para mejorar los procesos constructivos con GA. Estas uniones son livianas y han mostrado un comportamiento promisorio bajo ensayos de carga estática y análisis con modelos numéricos.

El uso de estos conectores metálicos permite cubrir el amplio rango de variaciones geométricas y de forma propias de la GA y el bambú, además estos conectores no necesitan de perforaciones en los culmos lo que preserva la integridad del material.

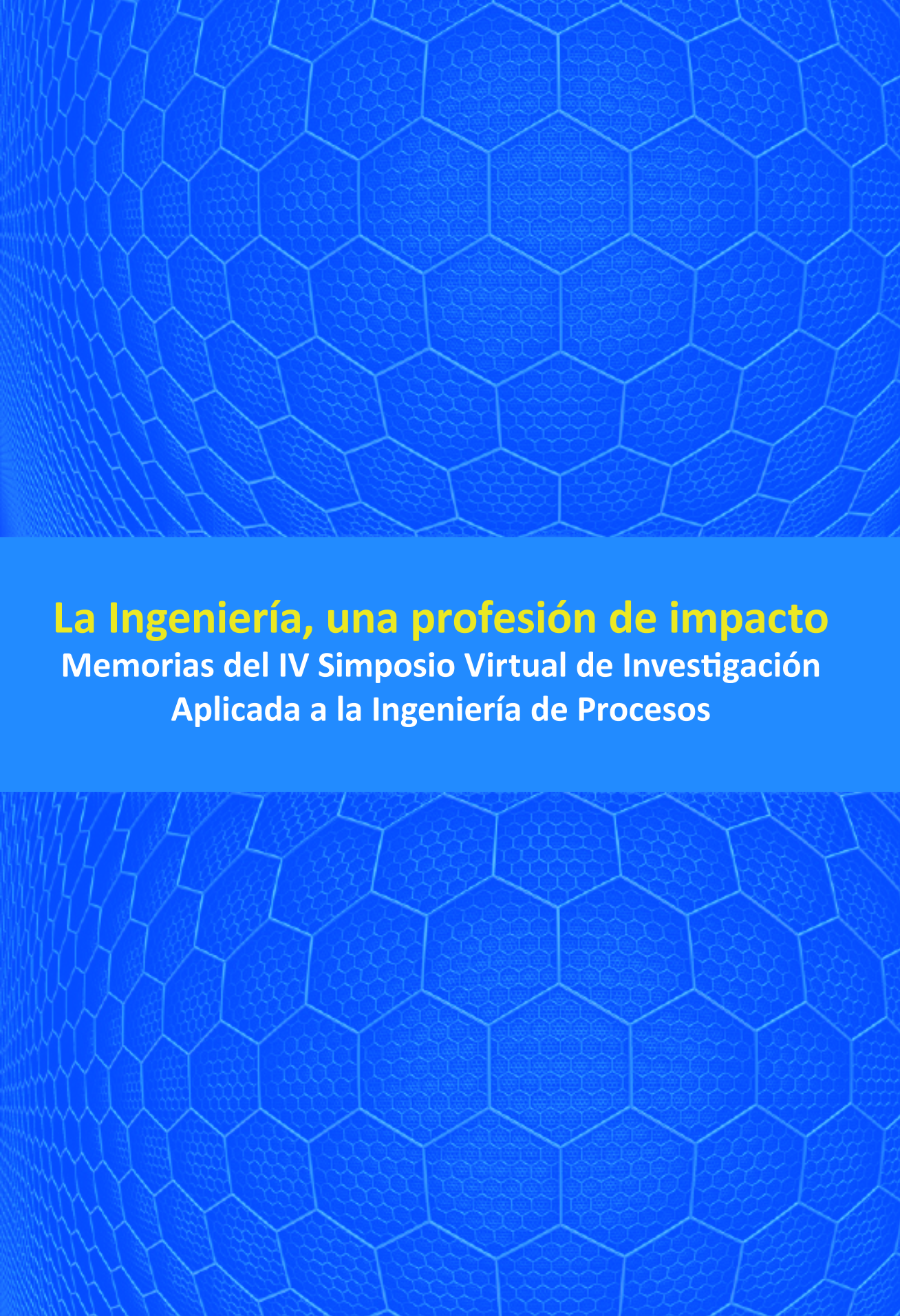
Nuestra hipótesis es que al mejorar los procesos constructivos con GA se apreciaría el material y se crearían incentivos económicos para que los agricultores aumenten sus cultivos, lo cual tendría grandes beneficios para el medio ambiente.

### Referencias

- AIS. (2010). *Reglamento colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*. Bogotá: AIS.
- Arce-Villalobos, O. (1993). *Fundamentals of the design of bamboo structures. Doctoral dissertation*. Eindhoven: Eindhoven University of Technology.
- Benitez, C. (2017). *Comportamiento mecánico de culmos de Guadua angustifolia ajustados con abrazaderas metálicas*. Cali: Universidad del Valle.
- Camacho, V. y Páez, I. (2002). *Estudio de conexiones en guadua solicitadas a momento flector*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Dhillon, R. & Wuehlisch, G. (2013). Mitigation of global warming through renewable biomass. *Biomass and bioenergy*, 75-89.

- García, J., Rangel, C. & Ghavami, K. (2012). Experiments with rings to determine the anisotropic elastic constants of bamboo. *Construction and building of materials*, 52-57.
- Ghavami, K. & Marinho, A. (2005). Propiedades físicas e mecánicas do colmo inteiro do bambu da espécie *Guadua angustifolia*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 107-114.
- Ghavami, K. & Moreira, L. (1996). Development of a new joint for bamboo space structures. *Transactions on the Built Environment*, 3-12.
- Hossain, M., Islam, M. & Numan, S. (2015). Multipurpose Uses of Bamboo Plants: A review. *International REsearch Journal of Biological Sciences*, 57-60.
- Janssen, J. (2000). *Designing and building with bamboo*. Inbar, Technical report No. 20. Eindhoven, Netherlands: INBAR.
- Laroque, P. (2007). *Design of a low cost bamboo footbridge*. Master Thesis. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.
- Morán, R., Benítez, C., Silva, H. & García, J. (2016). Design of steel connector for structural bamboo members. *AMDM 2016 Terce Congreso Internacional Sobre Tecnologías Avanzadas de Mecatrónica, Diseño y Manufactura* (pág. 12). Cali: Universidad del Valle.
- Morán, R., Muñoz, J., Silva, H. y García, J. (2016). Conexiones resistentes a momento para culmos de *Guadua angustifolia*. *VI Simposio Internacional del Bambú y la Guadua*. Bogotá.
- Moran, R., Weeb, K., Harries, K., & García, J. (2017). Edge bearing tests to assess the influence of radial gradation on the transverse behavior of bamboo. *Construction and Building Materials*, 574- 584.
- Robledo, J. (1993). *Un siglo de bahareque en el antiguo Caldas*. Texas: Ancora Editores.
- Robledo, J. (1996). *La ciudad en la colonización Antioqueña: Manizales*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Salas, D. (2006). *Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia*. Tesis de doctorado. Barcelona: Universidad Politénica de Cataluña.
- Vahanvati, M. (2015). The Challenge of connecting bamboo. *10th World Bamboo Congress*, (págs. 1-11).
- Damyang.**
- Van der Lugt, P., Van den Dobbelen, A., & Janssen, J. (2006). An environmental, economics and practical assessment of bamboo as a building material for supporting structures. *Construction and Building Materials*, 648-656.
- Vengala, J., Mohanthy, B., & S, R. (2015). Seismic performance of bamboo housing - an overview. *10 th World Bamboo Congress Korea*, (págs. 1-17). Damyang.
- Villegas, L., Moran, R., & García, J. (2015). A new joint to assemble light structures of bamboo slats. *Construction and Building Materials*, 61-68.





**La Ingeniería, una profesión de impacto**  
Memorias del IV Simposio Virtual de Investigación  
Aplicada a la Ingeniería de Procesos





# Conclusiones

1. Con la meta establecida por el gobierno nacional en el Plan de Desarrollo 2014-2018 **“Colombia la más Educada en 2025”**, se ha mencionado la necesidad de encontrar eficiencia, eficacia y funcionalidad en nuestro sistema educativo. Una de las alternativas de mayor importancia se relaciona con el intercambio de saberes y actualización de tendencias de estudio en las áreas de formación específica. A través de la realización estos espacios académicos, aprovechando el uso de las TIC, nos permiten interactuar con personas relacionadas con el campo de la investigación y la generación de iniciativas de solución a los diversos problemas que se afrontan y que pueden ser abordados desde la ingeniería, convirtiéndose en alternativas para valorar la pertinencia de la formación que se está generando desde el Programa de Ingeniería de Procesos de la Universidad Mariana.

De hecho, el desarrollo en las tecnologías de la comunicación y su facilidad en el acceso, se convierten en un excelente aliado para lograr la interacción con el sector externo representado en instituciones de educación superior de nivel nacional e internacional, facilitando la comunicación en tiempo real y sin limitaciones, pero además, contribuyendo a la construcción de comunidades académicas en donde se comparte los avances obtenidos como uno de los objetivos de la investigación, el cual corresponde a la apropiación social.

2. Los Procesos en materia de Paz que se han concretado al momento, marcarán de manera significativa el desarrollo socio económico de nuestro país; de manera que los futuros profesionales deben contar con herramientas que los relacione con dichos cambios. El responder a las necesidades y expectativas de las regiones y del país en torno a la búsqueda de este desarrollo, requiere la generación de espacios permanentes de aprendizaje, valorando las experiencias y los avances de las disciplinas en diferentes contextos, por eso se puede concluir que los eventos de sensibilización frente al tema de Paz y proyectos de desarrollo, con la participación de profesionales de reconocimiento nacional e internacional al respecto, permiten identificar y ratificar la pertinencia de nuestros programas académicos.
3. Las diferentes temáticas abordadas por los conferencistas invitados al **“IV Simposio Virtual de Investigación Aplicada a la Ingeniería de Procesos: La Ingeniería, una Profesión de Impacto”**, generadas como resultado de investigaciones en el campo de los Procesos o experiencias exitosas en la aplicación de las áreas de formación en ingeniería, relacionados con los campos de procesos fisicoquímicos, biotecnológicos, en alimentos, agroindustriales o áreas afines, donde se requiera de operaciones o procesos unitarios y de procesos administrativos o de gestión, permiten afirmar que el camino que se está recorriendo en nuestro programa, obedece a las tendencias y necesidades nacionales e internacionales actuales.



4. Se destaca una vez más la importancia de conocer las experiencias de diferentes profesionales que han incursionado en el campo de la investigación experimental en ingeniería y que en el momento se encuentran desarrollando sus estudios pos-graduales o aportando a la formación de nuevos profesionales especializados en este campo, con el fin de generar la motivación y el gusto por la investigación de las nuevas generaciones, pues una actividad académica en la universidad sin el componente de investigación, puede resultar inconsistente.
5. El desarrollo del evento ha permitido cumplir con los objetivos propuestos logrando la divulgación de experiencias investigativas exitosas en la aplicación de las áreas de formación en ingeniería y afines como estrategia de aprendizaje y perfeccionamiento de la formación específica, pero además, se ha logrado identificar tendencias de investigación en las diferentes áreas de fundamentación de la Ingeniería de Procesos, con lo cual se pretende un mejoramiento del que hacer docente e investigativo.



