



INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA  
**PASCUAL BRAVO**



TECNOLOGÍA, INNOVACIÓN  
CULTURA Y VIDA.

# EXPOTECNOLÓGICA 2015

3 ENCUENTRO INTERNACIONAL DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA  
& SIMPOSIO INTERNACIONAL EN ENERGÍAS  
•OCTUBRE 15, 16 Y 17•



EN LA RUTA DE LA ACREDITACIÓN  
**INSTITUCIONAL**



Alcaldía de Medellín  
**Cuenta con vos**

## CONTENIDO

La interdisciplinariedad en la formación ingenieril	4
Diseño e implementación de un novedoso sistema electrónico inalámbrico que facilitará la organización logística de las Olimpiadas del Conocimiento	11
Metodología de diseño de cámaras en espiral a través de un código computacional, basado en las condiciones de frontera	15
Modelos computacionales para la representación del movimiento antropomorfo	21
Caracterización de la humedad en bobinas estáticas por medio de la espectroscopía dieléctrica en el dominio de la frecuencia	27
Predicción de trayectoria de una pelota en vuelo mediante el uso del sensor Kinect® y técnicas de visión artificial	31
Construcción de curvas de factor de concentración de esfuerzos por medio de simulaciones	35
Desarrollo tecnológico del tipo software titulado “Agrupamiento_IUPascualbravo”, para agrupar datos usando las técnicas k-medias y fuzzy k-medias	40
Previsión del consumo de potencia y energía eléctrica, usando algoritmos de agrupamientos o “clustering”	44
Metodología de modelado de una turbina Kaplan vía NX® 10.0	48
Simulación hidrodinámica de una turbina tipo Hélice de 2KW de potencia	51
Inspección visual automática de un proceso flexográfico usando visión artificial para corregir la desalineación de las planchas de impresión	56
Simulación hidrodinámica de una turbina tipo hélice de 2kw de potencia	65
Simulación hidrodinámica de una turbina de flujo cruzado tipo Michell Banki de 1.5 KW	71
Combustibles de tercera generación proveniente de algas	74
Emisiones de carbono en una planta de cemento	79

Desarrollo de un dispositivo posicionador de una fuente acústica tipo brazo robótico como apoyo en la prospección de objetos no metálicos en el subsuelo	82
Metodología para la estimación del tamaño de partículas de suspensiones coloidales en aplicaciones biomédicas y nanotecnológicas	87
Evaluación tribológica de un lubricante modificado con nanotubos de carbono para aplicación en sistemas rodantes-deslizantes	92
Motores estacionarios Diesel operados con aceite vegetal crudo de jatropa y palma	98
Sistema de adquisición y almacenamiento de datos, aplicado a un horno de deshidratación solar	112
Sistema predictivo para evitar fallas en plantas de aire acondicionado y refrigeración	117
Diseño de un sistema de búsqueda satelital para localización de pacientes con disfunción cognitiva	123
Producción limpia y consumo sostenible en clínicas del clúster de salud de Medellín	128
Diseño de una mesa de separación gravimétrica Wilfley para la reducción del uso de agua en la minería de oro	129
Desarrollo de un sistema de electro-recuperación de mercurio para la remediación de suelos contaminados como alternativa ambiental y económicamente viable	131

## LA INTERDISCIPLINARIEDAD EN LA FORMACIÓN INGENIERIL

Autores: David Alexander Luján Quintero, Mario Javier Naranjo Otalvaro,  
Rosalba Rios Galvis.

Facultad de Ingeniería, Institución Universitaria Pascual Bravo, Medellín, Colombia Grupo de Investigación GIEN

Afiliación: Docentes I.U. Pascual Bravo

Correo electrónico: [daluqui@yahoo.es](mailto:daluqui@yahoo.es), [m.naranjo@pascualbravo.edu.co](mailto:m.naranjo@pascualbravo.edu.co),  
[ro.rios@pascualbravo.edu.co](mailto:ro.rios@pascualbravo.edu.co)

### RESUMEN

La investigación tiene como objeto analizar como la interdisciplinariedad puede generar una ruptura epistemológica del paradigma clásico de formación ingenieril a fin de consolidar los fundamentos para la formación integral del ingeniero que reclama hoy el contexto, una realidad empírica que exige un profesional competente e innovador.

**Palabras claves:** Interdisciplinariedad, currículo, articulación, ciclo, competencias

### INTRODUCCIÓN

La interdisciplinariedad propuesta dentro del evento curricular expone a la escuela como un espacio de democratización, participación y autonomía, donde la construcción del conocimiento puede ser trazado por los aportes de las diferentes disciplinas superando las posturas reduccionistas, ampliando de este modo los horizontes determinados en la posmodernidad.

Para poder comprender este cambio desde una perspectiva hermenéutica es necesario entender los vínculos entre los aspectos lógicos, metodológicos e ideológicos que operan como patrones de organización a todo sistema de pensamiento que se ha suscitado desde la modernidad, por tanto hablar de interdisciplinariedad, implica abordar el enfoque de sistemas, el cual otorga una nueva forma de pensamiento a las organizaciones, aproximándose a dicha organización desde la comprensión de actitudes de naturaleza holística en dialogicidad disciplinar. Con esto último y propuesto dentro de un currículo la articulación de los ciclos de la educación formal pueden ofrecer lo requerido por el medio, lo cual es un ingeniero con habilidad para pensar y actuar de manera creativa, propositiva y reflexiva, para entender principios científicos y aplicar métodos analíticos al estudio de los fenómenos naturales, para diseñar y desarrollar investigaciones apropiadas que respondan a los requerimientos de la globalidad, además es imperante nombrar que el objetivo es obtener un ingeniero competente estructurado en cuatro pilares, saber conocer, saber hacer, saber ser, saber convivir.

### METODOLOGÍA

El proyecto está concebido para un periodo de tres años, tiempo en el cual se ejecutarán tres fases: caracterización, implementación y evaluación, con una metodología desde el enfoque cualitativo y una perspectiva hermenéutica interpretativa.

### RESULTADOS



Diseño de un currículo alternativo para articular de manera dialógica los niveles de la educación formal en aras de posibilitar la formación ingenieril desde una perspectiva interdisciplinar.  
Software Educativo para desarrollar competencias básicas de matemáticas, física y lengua materna

## ONTOLOGÍA DE LA INTERDISCIPLINARIEDAD

Es posible que el tema de la interdisciplinariedad, se haya tratado en la Grecia clásica y que lo hayan tocado autores de la antigüedad como Aristóteles y modernos como Habermas, con ello se está diciendo que la interdisciplinariedad ha existido siempre (Sinaceur 1983), pero como término se conoció en 1937 en un texto de sociología de Louis Wirtz (Leonor 1999:11), dicho término ha sido bastante cuestionado desde la antropología.

Como estado del arte de este escrito es conveniente tomar la inclusión de la Escuela Nueva o Escuela activa a finales del siglo XIX, con María Montessori, Ovidio Decroly Y Freinet a la cabeza y quienes con propuestas pedagógicas como los centros de interés, método global, método de proyectos, organización cooperativa del trabajo, peleaban contra la fragmentación de los saberes.

Para ubicar la interdisciplinariedad en el siglo XX, es importante comentar que en la primera mitad se da el desarrollo de una gran cantidad de saberes, trazados por el positivismo, tomando gran valor en el contexto por su poder explicativo, funcionalidad y utilidad práctica, con el cual, se pretendía hacer todo una análisis proposicional del mundo no solo en términos de hechos, sino en cuanto a estructuras lógico-semánticas.

El atomismo lógico del novel pensador Bertrand Russel, o el Tractatus Logicus Philosophicus de Ludwig Wittgenstein en el que se funda toda la concepción del atomismo lógico del Círculo de Viena y que después será reformulado en términos de una investigación de orden filosófica en la que se intentará incluir dentro de la ecuación explicacionista del mundo variables cualitativas tales, como creencias, o los juegos del lenguaje en los ya conocidos actos de habla que ocupara casi todas las investigaciones de corte lingüístico de mediados del siglo XX, pero ya para la segunda parte, en la posguerra, debido a la ruptura y fragmentación de los saberes, se hace necesario hacer una unidad de científicos de diferentes disciplinas con la intención única de reunificar la ciencia, es de aclarar en este apartado que la obra de Thomas Kühn (La Estructura de las Revoluciones Científicas) fue publicado como producto del proyecto de Círculo de Viena en 1962.

En los años sesenta se dan múltiples formas de producir conocimiento debido a la masificación de la investigación, de la educación media y la superior, se dan además profundas transformaciones por las aspiraciones de los estudiantes y de la sociedad, los currículos, las organizaciones y los gobiernos. La educación por su parte se convirtió en una forma especial de producción de conocimiento pues ya no crea industria basada en conocimiento sino industria del conocimiento, es conveniente nombrar aquí que cada uno de los grandes descubrimientos se hace gracias a grupos interdisciplinarios que además son apoyados por la cooperación entre investigadores de la industria, de centros públicos y privados de investigaciones y de



universidades, esto en definitiva es el más fiel ejemplo de interdisciplinariedad o colaboración interdisciplinar.

El movimiento de la interdisciplinariedad emerge con apoyo de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) y la UNESCO (Organización de la Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura), con cuatro académicos a la cabeza. Edgar Morín, Basarab Nicolescu, Erich Jantsch y Jean Piaget, a los dos últimos se les adjudica la autoría del término interdisciplinariedad.

En el contexto educativo la UNESCO preocupada por la dispersión de las disciplinas en la formación universitaria, se interesó por diseñar propuesta de tipo curricular, como una manera de integrar el saber; años después se evidencia sobre todo en universidades donde es latente la investigación , que la interdisciplinariedad permea todo el universo, entendiendo este ultimo término como universidad.

El Concepto de interdisciplinariedad ha sido asumido en diferentes ámbitos como la conjunción de diferentes disciplinas en torno a un interés, fenómeno, situación, o hecho. A ésta se han acuñado por ejemplo, la posibilidad de crear nuevo conocimiento a partir del aporte de diferentes disciplinas, se le entiende en ocasiones como la suma de posturas, definiciones y concepciones, de un mismo hecho o fenómeno visto desde diferentes perspectivas.

Entender la interdisciplinariedad como el cruce de diversas disciplinas en procura del conocimiento, comprensión, explicación o análisis de fenómenos implica entender su origen en la disciplinarización superando la postura reduccionista, simplistas que concepciones positivas y clásicas le han endilgado.

La interdisciplinariedad ha estado ligada a un proceso solidario y de cooperación entre las disciplinas sin que en la mayoría de los casos se llegue a la donación de un saber específico en procura de la consolidación de un saber amplio de naturaleza compleja donde la dinámica cognoscitiva derive de una visión cosmogónica y multidisciplinar de la realidad en la que no se incurra en el sometimiento o subyugación epistémica sino que contrario a esto, se suscite el florecimiento de axiomas nutridos de verdades en las que se aniquilan los absolutismos y totalitarismos, no en procura de diversidad o multiplicidad sino de complementariedad.

La interdisciplinariedad tiene lugar como respuesta a la insuficiencia explicativa de la realidad desde una perspectiva racional y lineal de causa efecto. Históricamente en el desarrollo del pensamiento, del conocimiento, se han planteado oposiciones entre las vertientes que asumen y plantean que la realidad puede ser explicada desde miradas mecanicistas, reduccionistas, atomistas; es decir desde la comprensión de las partes o quienes asumen posturas holísticas o sistémicas donde el todo no puede ser fragmentado, cercenado o mutilado sin que se afecte su composición.

La interdisciplinariedad hoy se erige como un diálogo, como una comunión entre las disciplinas que genera aportaciones significativas en el ámbito de la articulación del saber.

La interdisciplinariedad puede ser concebida como una condición o característica del método que cobra gran relevancia en tanto determina la forma de encarar la realidad a partir de



referentes integradores, en esta medida se vincula de manera determinante con las competencias en tanto transitan o se encaminan hacia el cómo, hacia la praxiológico, hacia la educabilidad como condición para encarar el conocimiento y traducirlo al plano de lo fáctico desde una mirada abarcadora, integradora, compleja, donde se logren establecer vínculos entre los aspectos lógicos, metodológicos, ideológicos que operan como estereotipos o patrones de los sistemas de pensamiento. De allí que la formación sustentada en competencias indefectiblemente favorezca la interrelación de disciplinas y con estas, los soportes epistémicos o cuerpos teóricos.

Hablar de interdisciplinariedad implica el abordaje de lo disciplinar entendido como un cuerpo teórico y técnico claramente delimitado a partir del cual se establecen interrelaciones, Piaget (1979) por ejemplo planteaba tres niveles de relación: multidisciplinar, interdisciplinar y transdisciplinar, algunos teóricos, plantean además, una relación pluridisciplinar que antecede el proceso interdisciplinar y en el cual se desarrolla un proceso medular en el que una disciplina en particular se ve nutrida por las demás. Pueden entenderse entonces las siguientes dimensiones de la integración o vinculación disciplinar:

**Multidisciplinar:** como la presencia de diferentes disciplinas sin que se produzca entre ellas un proceso de vinculación, conversación, diálogo o comunión en procura de la consolidación de saber epistémico. Podría hablarse de cooperación y apoyo caracterizado por la atomización y fragmentación de la realidad empírica desde la óptica de cada disciplina.

**Interdisciplinar:** donde prima una visión holística derivada de la articulación epistémica, de la reciprocidad de las interrelaciones disciplinares que posibilitan marcos conceptuales más amplios y abarcadores en los que se suscitan relaciones de dependencia entre las disciplinas manifestándose encuentros en los límites disciplinares.

**Transdisciplinar:** relación que posibilita la transformación de las disciplinas en un elemento migrante que toca, vincula, concierne a las diferentes disciplinas y derriba las fronteras que segmentan y fraccionan potenciando la unificación epistémica.

Asumir procesos formativos derivados de trabajos interdisciplinarios implica entonces rupturas paradigmáticas en tanto plantea un proceso progresivo de traslado de posturas simplistas a concepciones complejas, en las que gana terreno la racionalidad abierta, crítica y compleja que trascienden la concepción del todo dando paso a la comprensión de las constantes y dinámicas interacciones entre las partes, entendiendo lo complejo como un entramado de relaciones heterogéneas, interdefinibles, emergentes y mesurables, como posibilidad hacia una comprensión holística del universo, de la realidad.

Uno de los principales cometidos de la interdisciplinariedad redundan en producción de nuevo conocimiento, un conocimiento que bajo ninguna perspectiva desconoce las disciplinas y mucho menos pretende rebasarlas, pero que inexcusablemente exige relaciones de colaboración, donación, integralidad y cruce entre ellas para lograr mayor repercusión y pertinencia en el abordaje de los problemas. Es así como la perspectiva interdisciplinar, como pretensión o inclinación hacia la unificación del saber, ha sido una constante en la historia de la ciencia.



La interdisciplinariedad y su vinculación a las prácticas educativas cobra trascendencia al inscribirse como mecanismo favorecedor de integralidad; integralidad que se instaura como principio rector del proceso formativo en momentos de marcada transformación social derivados de relaciones de carácter social, económico, político y cultural cada vez más complejas, determinantes, perceptibles, heterogéneas y polivalentes, que impulsan el despliegue de actividad científica y creadora, una actividad humana que tiene sustento en: el incremento de los objetos de investigación, de los intereses gnoseológicos con carácter complejo, el abordaje de procesos científicos, investigativos y de comprensión acontece en escenarios en los que convergen diferentes realidades y en el que se articulan, de igual forma, diferentes ciencias o disciplinas, la necesidad de plantear soluciones a inquietudes, incertidumbres y cuestionamientos que trascienden las fronteras singulares e individuales y adquieren hoy un carácter global, diverso, complejo.

Para Ezequiel Ander-Egg, (1994) abordar la interdisciplinariedad en el ámbito educativo significa considerar cualquier intervención que se realice “como un aspecto de la totalidad o de las totalidades de las que forma parte”. Esta precisión es clave para entender el carácter sistémico, interdependiente y complejo de la interdisciplinariedad, como fundamento para el planteamiento o diseño de estrategias de enseñanza aprendizaje.

Es claro que la interdisciplinariedad no deriva de actividades espontáneas, aisladas, fortuitas, ocasional o eventuales sino de un accionar colectivo, holístico, cosmogónico, polifónico, que no se agota en las relaciones entre los conocimientos sino que se plantea nuevas formas de conocer, de comprender, pero también de asumir nuevas posturas de ser y estar en el mundo para encararlo.

Vincular la interdisciplinariedad al ámbito educativo representa un enorme reto pero sobre todo refiere enormes ventajas entre las que es importante resaltar la posibilidad de los estudiantes de contextualizar las problemáticas y reconocer la naturaleza heterogénea de las mismas, ampliando los vínculos relacionales y favoreciendo posturas complementarias de la realidad gracias a la transferencia de conocimientos y métodos propios de múltiples marcos disciplinares; incentiva la investigación, la donación epistémica, el trabajo colectivo y la negación de certezas o absolutismos que diezman y aniquilan la duda como insumo para avanzar en el conocimiento; entendiendo que el desarrollo y progreso científico deriva de las dudas más que de las certezas.

Direccionar la enseñanza -aprendizaje hacia procesos de carácter interdisciplinar cobra sentido en cualquier nivel educativo pero reviste especial trascendencia en la formación profesional en tanto vincula y compromete a los sujetos en la apropiación de conocimientos, habilidades y valores para que se estructuren como profesionales capaces de resolver de manera integral los problemas que enfrentarán en su práctica laboral y en su interacción como miembros de un conglomerado.

Ser competente hoy en el ámbito académico significa un equilibrio de saberes: saber conocer, saber hacer, saber ser y saber convivir, la interdisciplinariedad no puede permanecer desvinculada de este propósito educativo en tanto ampara o coadyuva en la integración de conocimientos de las distintas áreas del saber para captar la realidad desde todos sus ángulos, en pos de un tratamiento holístico de los conflictos.





Ahora bien la ingeniería definida como un cuerpo especializado de conocimientos y de prácticas, no es una disciplina, es una profesión, que hace las veces de discurso entramado entre las disciplinas y las tecnologías, pero sus bases están sustentadas en las disciplinas, lo que la hace ineludiblemente interdisciplinar.

Es posible nombrar la profesión ingenieril desde varias aristas, por sus fundamentos disciplinarios y su campo de acción, desde estas perspectivas son diversas las exigencias que se hacen para la apropiación de un currículo, el cual puede ser mirado desde la tendencia del desarrollo de cultura y más específicamente desde sus dimensiones ética, estética, humanista y política; por ello el propósito de dicho currículo debe ser formar ingenieros, en su ámbito científico, con la capacidad de planificar, crear, instaurar, dirigir y controlar proyectos y organizaciones, con sentido crítico e innovador en el entorno local, nacional y global.

Con lo que respecta a la educación en ingeniería en la universidad, se afirma lo siguiente: “Puesto que abre caminos nuevos cada vez, la educación en ingeniería debe reorganizarse en términos del problema presente y las necesidades de la comunidad. Esto llama a la revisión de los currículos, los métodos de enseñanza y las estructuras de la universidad, en relación con los cuales queda mucho por discutir y mucho por hacer” (Sociedad, 2010)

No debe olvidarse que la ingeniería es, en los términos más generales, un constructo teórico y práctico que busca su aplicación fuera de si misma, que incluye a los ingenieros mismos, a la educación que los forma, a la sociedad que los acoge: en las diversas actividades, en las asociaciones de ingeniería y sus productos, sean bienes o servicios. (Sociedad, 2010)

En la posmodernidad existen tres momentos en los cuales las universidades deben poner atención: el crecimiento desmedido del conocimiento, la orientación por disciplinas que tienen las universidades y las obligaciones que tiene la sociedad por resolver sus problemas; de lo contrario es posible que estas pierdan el contacto con las sociedades que las soportan, de allí entonces es indispensable tomar la interdisciplinariedad no como una perspectiva si no como una oportunidad de cambio.

## **CONCLUSIÓN**

El alcance de los currículos cuando se plantean en dialogicidad disciplinar, desde situaciones problematizadoras correspondientes con la realidad, favorecen la continuidad de los procesos formativos, de las estrategias de enseñanza aprendizaje y del rigor académico a fin de proveer de las herramientas necesarias para acceder de manera oportuna a la formación profesional como alternativa de desarrollo, progreso y cualificación personal y por ende como aporte social.

## **REFERENCIAS**

Alcaldía de Medellín, S. d. (Diciembre de 2005). Educación Pertinente. Medellín, Antioquia, Colombia.  
Ander-Egg, E. - Interdisciplinariedad en educación. Editorial Magisterio del Río de la Plata. Buenos Aires. 1994.



- Angulo, José Felix. (1994). Teoría y desarrollo del currículum. Málaga: Aljibe.
- Bueno, C. & Santos, M (Coords). 2003. Nuevas Tecnologías Y Cultura. Capítulo 2: La cultura de la Tecnociencia. Manuel Medina. pp. 29-74.
- Cordero de Barrientos, O. B. (2003). Cambio Educativo: Articulación y Realidad. DNP. (23 de Junio de 2008). Política Nacional de Competitividad y Productividad. Política Nacional de Competitividad y Productividad. Bogotá, Cundinamarca, Colombia: DNP.
- Florez Sterling, J., & Otero Gil, F. R. (2010). Currículo para la formación y el desarrollo de competencias laborales en la modalidad de agroecología en el nivel de educación media técnica en la Institución Educativa Agroecológico Amazónico . Florencia, Caquetá, Colombia.
- Galeano, María Eumelia. 2004. Diseño de proyectos de Investigación Cualitativa. Fondo Editorial Universidad EAFIT. Medellín.
- Gómez, V. M.; Díaz, CL. & Celis, J. 2009. El Puente Está Quebrado. Aportes a la reconstrucción de la educación media en Colombia”. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Humanas. Bogotá. 186 p. ISBN: 9789587190939
- Gómez, V. M. (02 de Agosto de 2012). (B. López, Entrevistador)
- Gómez, V. M. (2006). La cultura para el trabajo en la educación media de Bogotá. Bogotá: Grupo Editorial Apsis.
- Ley General de Educación 115. (1994). Bogotá.
- Ley 749, Bogotá, julio 19 de 2002
- MEN. Orientaciones para la articulación de la educación media. Primera versión Bogotá, Junio de 2009.
- MEN – SENA, Articulación de la educación media con la educación superior, la formación profesional integral y la educación para el trabajo y el desarrollo humano -Lineamientos Generales- Bogotá, Febrero, 2012
- MEN, Guía 21 Articulación de la educación con el mundo productivo.
- MEN. (2008). Guía 32. Guía 32 Educación técnica y tecnológica para la competitividad. Bogotá, Colombia: MEN. 8939, r. b. (Septiembre de 2006). redEtis. Recuperado el 07 de 01 de 2013, de redEtis: <http://www.redetis.org.ar/media/document/boletin6.pdf>
- Sacristán, J. G. y Pérez Á. 1998. Comprender Y Transformar La Enseñanza, Capítulo 5: Comprender la enseñanza en la escuela, Modelos Metodológicos de investigación educativa. Ediciones Morata S. L. Madrid. pp. 115-136.
- Sacristán Jimeno; Pérez Ángel, 2008. Educar por competencias ¿qué hay de nuevo? Madrid: Morata.
- Tobón, S. (2004). Formación basada en competencias: Pensamiento complejo, diseño curricular y didáctica. Bogotá: ECOE.

# DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN NOVEDOSO SISTEMA ELECTRÓNICO INALÁMBRICO QUE FACILITARÁ LA ORGANIZACIÓN LOGÍSTICA DE LAS OLIMPIADAS DEL CONOCIMIENTO

Vesna Srdanovic<sup>1, 2</sup> y Oscar Ignacio Botero Henao<sup>1, 31</sup> *Departamento de Electrónica, Facultad de Ingeniería, Institución Universitaria Pascual Bravo, Medellín, Colombia*  
[vesna.srdanovic@pascualbravo.edu.co](mailto:vesna.srdanovic@pascualbravo.edu.co)<sup>2</sup>, [oscar.botero@pascualbravo.edu.co](mailto:oscar.botero@pascualbravo.edu.co)<sup>3</sup>

**Resumen:** El objetivo de este artículo es presentar los resultados sobre el desarrollo de un sistema electrónico inalámbrico que facilitará la logística en la organización de los eventos como "Olimpiadas del Conocimiento" en las instituciones educativas. Dichos eventos están enfocados en aumentar el interés de los estudiantes por aprender más, para competir y mostrar sus talentos; la importancia es notable y la organización logística debe ser simplificada y agilizada con la disponibilidad de un sistema electrónico inalámbrico, portátil, liviano, de operatividad fiable y fácil de instalar. En el desarrollo de este sistema electrónico son utilizadas dos tecnologías: la tecnología ZigBee para la transmisión inalámbrica de datos y la tecnología Arduino para la adquisición, procesamiento y visualización de la información. Este sistema electrónico soporta la participación de cinco competidores y de los jurados. Cada competidor tendrá una consola electrónica con botones pulsadores, que le permitirá la selección de la respuesta a las preguntas de opción múltiple (A, B, C o D); también tendrá un panel de visualización donde se observará la respuesta elegida y el orden en que respondieron los concursantes que acertaron. El jurado utilizará una consola electrónica con pulsadores para indicar cual respuesta es la correcta y para restablecer el sistema después de cada pregunta.

Este sistema electrónico inalámbrico también puede ser implementado como una nueva estrategia de aprendizaje dentro del aula de clase, empleándolo como herramienta de enseñanza - aprendizaje o de evaluación.

**Palabras Clave:** Olimpiadas del Conocimiento, organización logística, transmisión inalámbrica, XBee, Arduino.

**Abstract:** The aim of this article is to present the results about the development of a wireless electronic system which will facilitate logistics in the organization of events such as "Knowledge Olympics" in education institutions. Such events are focused to increase interest of students to learn more, to compete and show their talents; the importance is notable and logistics organization must be simplified and expedited with the availability of one wireless electronic system, portable, low weight, with reliable operation and easy to install. In the development of this electronic system are used two technologies: the ZigBee technology for wireless transmission of data and Arduino technology for acquisition, processing and displaying of information. This electronic system supports the participation of five competitors and of jurors. Each competitor will have one electronic console with push buttons, which will allow the selection of the answer to the multiple choice questions (A, B, C or D); also it will have a panel where will be displayed the selected answer and the order in which the competitors responded right. The jury will use one electronic console with push buttons to indicate which answer is correct and to reset the system after each question.



This wireless electronic system also can be implemented as a new learning strategy in the classroom, using the the same system as a teaching- learning tool or for evaluation.

**Key words:** Knowledge Olympics, logistics organization, wireless transmission, XBee, Arduino.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la I.U. Pascual Bravo se realizó un proyecto orientado al desarrollo y construcción de un Sistema Electrónico Inalámbrico que facilitará la logística de las Olimpiadas del Conocimiento. En el marco de la Jornada Pascualina del 2014 se realizó, por primera vez, un evento llamado "OLIMPIADA MATEMÁTICA"; debido a ello surgió la necesidad de diseñar e implementar un sistema electrónico, con el propósito de hacer que dicha competición fuese transparente para los competidores, para el jurado y los asistentes. El objetivo de la Institución Universitaria es impulsar y motivar a los estudiantes a participar y competir con los conocimientos adquiridos e igualmente fomentar su aptitud e interés hacia las áreas de estudio. El sistema electrónico tiene implementada la tecnología ZigBee para transmisión inalámbrica de datos y la tecnología Arduino para el procesamiento de datos y la toma de decisiones. Este proyecto también ofrece la posibilidad de ser utilizado en actividades lúdicas a nivel de Facultades e incluso actividades académicas dentro del aula de clase para que forme parte del quehacer pedagógico de las asignaturas.

## 2. METODOLOGÍA

Este sistema electrónico involucra tres grandes bloques: el bloque de entrada compuesto por 5 consolas con botones pulsadores, para el ingreso de la respuesta por parte de los concursantes; el bloque de salida conformado por 5 módulos visualizadores para observar las respuestas seleccionadas por los concursantes y el orden de las respuestas correctas basadas en el tiempo que demoró en responder correctamente; finalmente, el bloque central de procesamiento de datos que luego de procesar toda la información recibida, envía el orden en qué respondieron de forma correcta a los paneles visualizadores de los participantes.

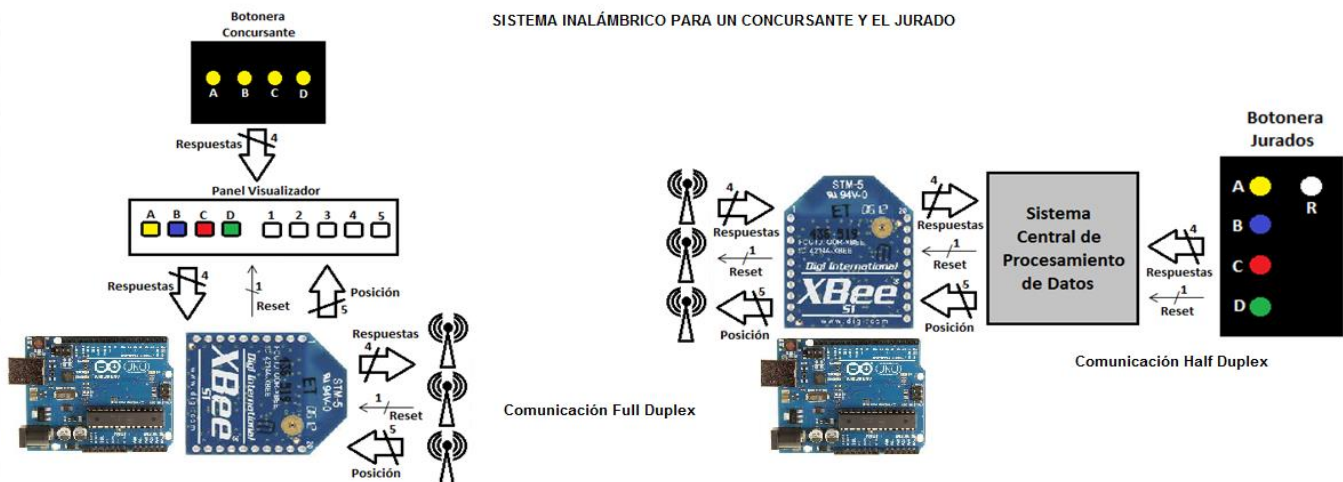


Figura 1. Sistema Electrónico Inalámbrico para un concursante y el jurado [Fuente: los autores]

Para la transmisión inalámbrica de datos se seleccionó el protocolo ZigBee/IEEE 802.15.4 [1] [2] [3] debido a características como la transmisión de datos a corto alcance por medio de radiofrecuencia (RF) [3]; los módulos XBee serie 2 que son de bajo costo y de bajo consumo de

potencia, transmisión bidireccional, topología de red punto multipunto [4], etc. Para la configuración de los módulos se utilizó el software libre llamado XCTU [3] [5] [6].



Figura 2. XBee serie 2 para la transmisión inalámbrica de datos

[Fuente:<http://image.dfrobot.com/image/cache/data/TEL0052/IMGPG9271-900x600.jpg>]

Para el procesamiento de datos se utilizó la tecnología de Arduino y su placa Arduino UNO [5] [7] [8] [9], con entradas/salidas digitales y el puerto de comunicación serial, apoyado en librerías incorporadas al software de libre uso. Para el desarrollo se utilizaron tarjetas de extensiones conocidas como shields Arduino-XBee [5] [10].



Figura 3. (a) La tarjeta de desarrollo Arduino UNO

[Fuente:[https://www.arduino.cc/en/uploads/Products/Uno\\_SMD\\_F.jpg](https://www.arduino.cc/en/uploads/Products/Uno_SMD_F.jpg)], (b) Shield Arduino – XBee [Fuente:<https://www.coolcomponents.co.uk/media/catalog/product/0/9/09063-03-l.jpg>]

### 3. RESULTADOS

El proyecto, Sistema Electrónico Inalámbrico culminó con éxito y funciona según las especificaciones propuestas. Para la etapa de prueba y evaluación se realizó un simulacro de “Olimpiadas del Conocimiento” con los integrantes de semillero SICEI en el rol de concursantes y otras tres pruebas en clases de inglés; todas ellas arrojaron resultados muy exitosos en cuanto a la operatividad, confiabilidad e implementación del sistema. Finalmente, se utilizó como parte de la logística en la segunda Olimpiada Matemática en la I.U. Pascual Bravo en el marco de las Jornadas Pascualinas 2015.

En la figura 4 se observa el sistema electrónico inalámbrico desarrollado, compuesto por cinco (5) consolas para los concursantes con sus respectivos paneles de visualización y la consola para los jurados.



Figura 4. Sistema Electrónico Inalámbrico [Fuente: los autores]

#### 4. CONCLUSIÓN

Este novedoso sistema electrónico inalámbrico facilitará la organización logística de Olimpiadas en la I.U. Pascual Bravo ya que es liviano, de fácil transporte e instalación y lo más importante que es muy confiable y garantiza la correcta adquisición, digitalización, procesamiento y transmisión inalámbrica de la información, provenientes de las cinco consolas de los concursantes y de la de los jurados.

Como valor agregado la I.U. Pascual Bravo podrá obtener ingresos económicos adicionales al ofrecer este servicio para eventos similares en otras instituciones y empresas.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

A la Dirección Operativa de Investigación – DOI de la I.U. Pascual Bravo por su apoyo económico para el desarrollo e implementación del proyecto, a los co-investigadores Sergio Hernando Ruíz Obando, Cristian Cortés Chica, María Rosario Valderrama Orjuela, María Mónica Vergara Causil y Roger Alexander Martínez Ciro por su dedicación y apoyo y a los integrantes del semillero SICEI.

#### 6. REFERENCIAS

- [1] Q. Zhang, X. Yang, Y. Zhou, L. Wang, y X. Guo, *A wireless solution for greenhouse monitoring and control system based on ZigBee technology*. Journal of Zhejiang University, 2007, pp. 1584-1587.
- [2] A. Chehri, G. Jeon, B. Choi, *Link-Quality Measurement and Reporting in Wireless Sensor Networks*. Sensors, 2013, pp. 3066-3076.
- [3] M. Hebel, G. Bricker, D. Harris, *Getting Started with XBee RF Modules*. 2012, pp. 5-17, 25-40, 153-161.
- [4] I. Almalkawi, M. Guerrero, J. Al-Karak, J. Morillo, *Wireless Multimedia Sensor Networks: Current Trends and Future Directions*. Sensors, 2010, pp. 6662 - 6717.
- [5] J. Titus. *The Hands-on XBEE Lab Manual*. Estados Unidos: Newnes. 2012.
- [6] Digi International Inc [online]. 2015. Disponible en: <http://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/xctu-software/xctu>
- [7] M. Banzi, *Introducción a Arduino*. Creaciones Copyright, S.L., 2012. 978-84-415-3177-2.
- [8] M. Etxebarria Isuskiza, *Arduino: La tecnología al alcance de todos*. España: Creaciones Copyright, S.L. 978-84-15270-26-3.
- [9] J. Ribas Lequerica, *Arduino práctico*. s.l.: Creaciones Copyright, S.L., 2013. 978-84-415-3419-3.
- [10] J. Ruíz, *Arduino + XBee*, 2012, pp. 28-41.

# METODOLOGÍA DE DISEÑO DE CÁMARAS EN ESPIRAL A TRAVÉS DE UN CÓDIGO COMPUTACIONAL, BASADO EN LAS CONDICIONES DE FRONTERA

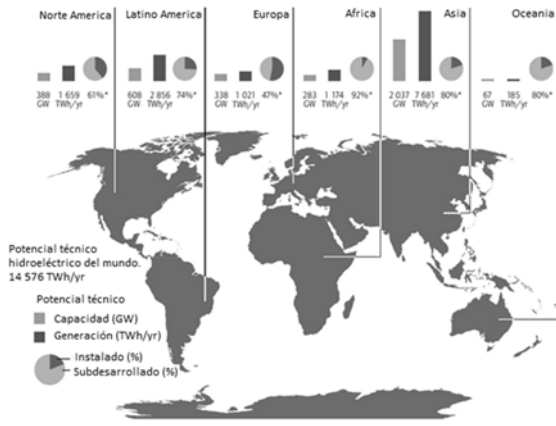
Vélez. S<sup>1</sup>, Villa. S<sup>1</sup>, Sierra. J<sup>1</sup>, Hincapié. D<sup>1</sup>, <sup>1</sup> ITM, Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín, Colombia [www.itm.edu.co](http://www.itm.edu.co) e-mail: [sebastianvelez@itm.edu.co](mailto:sebastianvelez@itm.edu.co)

**Resumen.** Las hidroeléctricas, son una de las fuentes de energía eléctrica con mayor acogida actualmente, ya que no poseen las desventajas de las plantas generadoras de energía partir de combustibles fósiles o nucleares, por tal razón, es necesario mejorar los procesos de diseño que las involucran. Las cámaras en espiral son elementos constitutivos de las turbinas tipo Francis, las cuales se encargan de distribuir el agua de forma uniforme en la periferia del rodete de la misma, de su diseño depende una mejor distribución del fluido; llevando a que sea necesario generar metodologías que permitan diseñarles de forma más eficiente, reduciendo el tiempo requerido para su diseño y evitando errores geométricos; por lo anterior, el presente estudio compara la metodología clásica de diseño de las cámaras en espiral, en la cual son generados los planos y los bosquejos de cada una de las secciones transversales de la cámara; con un nuevo método el cual a través de un código computacional compatible con programas CAD comerciales, genera automáticamente las curvas respectivas de cada sección transversal, reduciendo el tiempo requerido para su diseño; las curvas obtenidas, poseen dimensiones acordes a las condiciones de frontera y basado en la fundamentación matemática que rige las espirales, para evitar que se presenten errores geométricos en el diseño y obtener así un óptimo funcionamiento de las mismas.

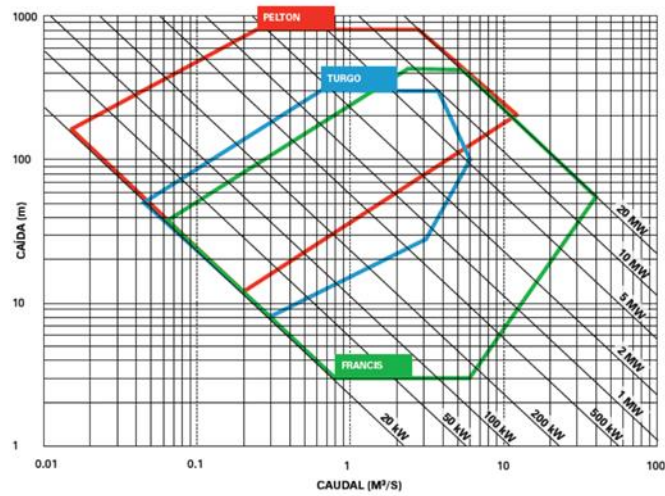
**Palabras clave:** Cámara en Espiral, Código Computacional, CAD, Turbina Francis, Turbomáquina.

## 1. Introducción

Las hidroeléctricas se perfilan a futuro como una de las principales fuentes de suministro de energía eléctrica debido a que no presentan las desventajas de las plantas generadoras de energía a partir de combustibles fósiles o nucleares [1], habiendo aun en el mundo un gran potencial de generación hidroeléctrica que está siendo desaprovechado, Oceanía y Asia solo tiene instalado un 20% de su potencial hidroeléctrico, África un 8%, Europa un 53%, Norte América un 39% y Sur América un 26% [2]. La Figura 1 expone dicho potencial hidroeléctrico. Uno de los tipos de turbinas más ampliamente usados, es la turbina tipo Francis [3]–[9], lo anterior es debido a su amplio rango de operación en lo referido a caudal y cabeza, la Figura 2 muestra el rango de operación característico de la misma.[10]

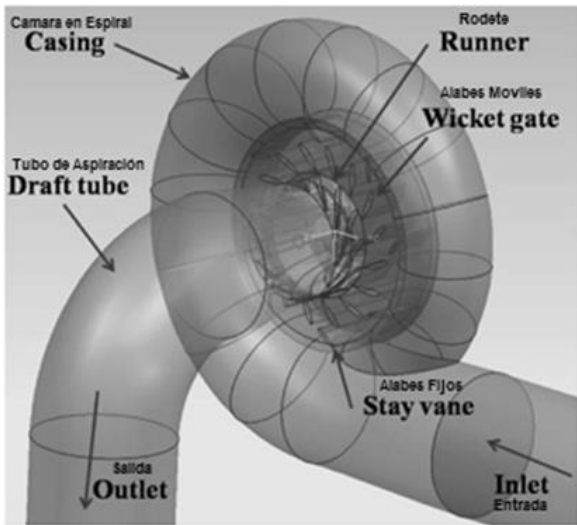


**Figura 1.** Potencial hidroeléctrico del mundo. Adaptado de [2]



**Figura 2.** Grafica de selección de turbinas Tomado de [10]

Los elementos constitutivos de las turbinas tipo Francis son el runner o rodete, el draft tube o tubo de aspiración, los stay vanes o alabes fijos, los wicket gate o alabes móviles y el casing o cámara en espiral [4]; este último es el encargado de distribuir uniformemente el flujo que ingresa al sistema en la periferia del rodete para que así, se genere trabajo en un eje gracias a la interacción del fluido con los alabes del runner acorde a la ecuación fundamental de las turbomáquinas propuesta por Euler, en la cual se iguala la variación del flujo que pasa por la máquina, con el par rotacional producido. La Figura 3 expone la distribución espacial de cada uno de los componentes de la turbina tipo Francis.



**Figura 3.** Partes de una turbina Francis. Adaptado de [4]

**1.1 Modelos matemáticos de las espirales**

Los primeros estudios realizados que pueden relacionar sistemas espirales provienen de otras ramas del conocimiento, acerca de las espirales, decía Galileo “El Universo es un libro escrito en el lenguaje de las matemáticas, siendo sus caracteres triángulos, círculos y otras figuras geométricas, sin las cuales es humanamente imposible comprender una sola palabra; sin ellos sólo se conseguirá vagar por un oscuro laberinto” matemáticamente es posible encontrar diferentes tipos, y estos son diferenciados por el ángulo de rotación y la tasa de expansión. Una definición matemática ampliamente difundida es "son curvas planas que comienzan en un punto y cuya curvatura va disminuyendo progresivamente a medida que aumenta su radio de curvatura." Para su graficado matemático, es recomendado trabajar en coordenadas polares, generalmente las curvas espirales planas son de la forma expuesta en la ecuación (1).

$$r = f(\theta) \tag{1}$$

**1.2 Modelos matemáticos de las cámaras en espiral de turbinas Francis**

Una de las mayores recopilaciones de las características de estas cámaras en espiral es la expuesta en el trabajo Diseño de Cajas Espirales de Sección Circular para Turbinas Hidráulicas Normalizadas.[11]. En las cuales plantea los tipos de cámaras en espiral habitualmente usadas,





con sus ecuaciones matemáticas representativas, allí adicional a las espirales previamente descritas son adicionadas las espirales polinómicas, de Fermat y de Galileo, las dos últimas son casos específicos de la espiral de Arquímedes. La Tabla 1 muestra el compilado de las cajas espirales empleadas habitualmente con sus respectivas ecuaciones representativas.

**Tabla 1.** Ecuaciones Representativas Cámaras en Espiral.[11]

Espiral	Ecuación	
Logarítmica	$Rc_\theta = K \cdot e^{-c\theta}$	(2)
Arquímedes	$Rc_\theta = K + C \cdot \theta$	(3)
Hiperbólica	$Rc_\theta = \frac{C}{\theta \cdot K}$	(4)
Galileo	$Rc_\theta = K + C \cdot \theta^2$	(5)
Fermat	$Rc_\theta = K + C \cdot \sqrt{\theta}$	(6)
Polinómica	$Rc_\theta = C_n \cdot \theta^n + C_{n-1} \cdot \theta^{n-1} + \dots + C_1 \cdot \theta + K$	(7)

Donde:

$Rc_\theta$  = Radiode la espiral en el centro de la sección  $\theta$ .

$C_n, C_{n-1}, C_1, K$  = constantes

$\theta$  = Angulo de la caja en espiral expresado en radianes.

Adaptada de. [11]

- Las secciones de la caja en espiral son circulares.
- Los centros de las secciones de la caja en espiral están ubicados sobre la espiral.
- La caja espiral recorre un Angulo de 360° a partir de la sección de entrada.
- La distribución de caudal a la entrada del rodete se supone uniforme.

En dicho trabajo también se expone la relación de caudal para cada uno de los ángulos, de acuerdo a la ecuación (11).

$$\dot{V}_\theta = \dot{V}_T \left( 1 - \frac{\theta}{360} \right) \quad (11)$$

Donde:

$\dot{V}_\theta$  = Caudal en la sección  $\theta$ .

$\dot{V}_T$  = Caudal en la sección de entrada a la caja en espiral.

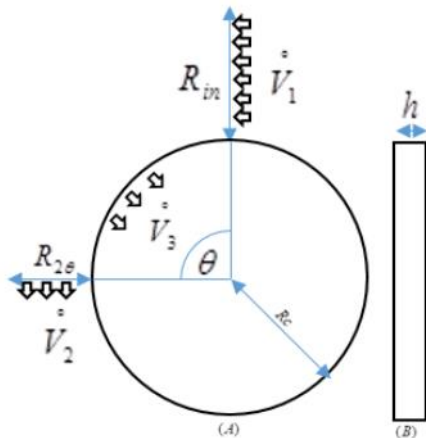
$\theta$  = Angulo de posición de cada sección medido a partir de la sección de entrada expresado en grados.

## 2. Metodología

### 2.1 Planteamiento matemático

La razón de cambio de la sección transversal de las cámaras en espiral de las turbinas tipo Francis, al ser un sistema de volumen de control, puede ser evaluado a través de balances de caudal, en el cual se cumple la relación expuesta en la ecuación (12). La Figura 4 expone el diagrama de balance empleado.

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_2 + \dot{V}_3 \quad (12)$$



Donde:

$\dot{V}_1$  = Caudal que entra en la cámara espiral.

$\dot{V}_2$  = Caudal que sigue a través de la cámara luego de avanzar  $\theta$ .

$\dot{V}_3$  = Caudal que sale de la cámara luego de avanzar  $\theta$ .

$\theta$  = Angulo de posición de cada sección medido a partir de la sección de entrada expresado en grados.

Acorde, a esta representación del problema, es posible determinar las fracciones de caudal presentes en las zonas 2 y 3 de la caja espiral, y las mismas son expuestas en las ecuaciones (13) y (14) donde la ecuación (13) es otra notación de la ecuación (11) acorde al sistema planteado.

**Figura 4.** Diagrama de balance de caudal con respecto al avance radial en la cámara.

$$V_{2\theta} = V_1 \frac{(360-\theta)}{360} \quad (13)$$

$$V_{3\theta} = V_1 \frac{\theta}{360} \quad (14)$$

## 2.2 Generación del código computacional

Basado en el planteamiento matemático es realizado el código computacional en el cual se realiza una sucesión de puntos posicionados en X Y Z, los cuales son los encargados de generar las curvas que definen las secciones transversales para los distintos ángulos  $\theta$  evaluados, dichas curvas son trabajadas en coordenadas polares, y están definidas por la ecuación de la circunferencia, las ecuaciones de la (15) a la (17) exponen el posicionamiento de los puntos en las tres coordenadas rectangulares.

$$X = (R.E. + R.S.T. + (R.S.T. * \cos(\frac{\phi}{180 * \pi})) * \cos(\frac{\theta}{180 * \pi})) \quad (15)$$

Dónde:

$$Y = (R.S.T. * \sin d(\phi)) \quad (16)$$

$$Z = (R.E. + R.S.T. + (R.S.T. * \cos(\frac{\phi}{180 * \pi})) * \sin(\frac{\theta}{180 * \pi})) \quad (17)$$

R. E. = Radio de la Espiral para el ángulo  $\theta$ .

R. S. T. = Radio de la Sección Transversal para el ángulo  $\theta$ .

$\phi$  = Ángulo del arco de la Sección Transversal.

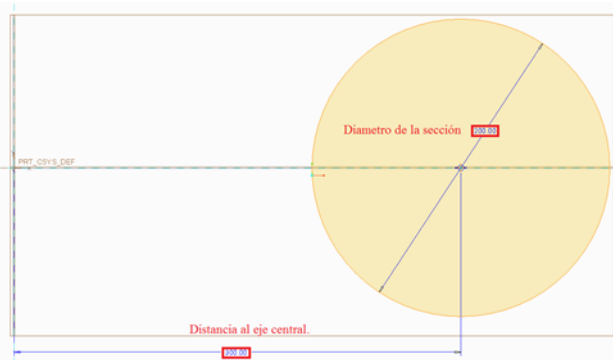
$\theta$  = Ángulo de posicionamiento de la Sección Transversal.

## 2.4 Generación de la geometría de la forma tradicional

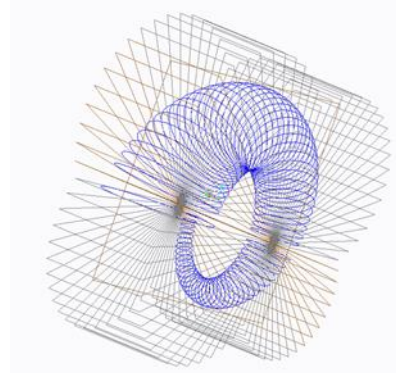
En el software PTC Creo 3.0 ®, Inicialmente son generados 35 planos con un desfaz angular de 5°, más dos de los tres planos por defecto, luego son generados los bosquejos de cada una de las secciones transversales, en los respectivos planos (2 por plano), cada una de estas secciones está compuesta por una circunferencia, la distancia del centro de la misma al origen del plano es calculada con la suma del radio de la zona central y el radio del círculo de la sección; el radio de cada sección se calcula de la forma expuesta previamente en el planteamiento matemático. La Figura 5 expone las características de la primera sección, generada y la Figura 6 distribución de los planos y bosquejos en el espacio.

## 3 Resultados

Por ambos métodos, es posible generar las geometrías de las cámaras en espiral, inicialmente están definidos los resultados usando el código computacional, y posteriormente los obtenidos por el método tradicional.



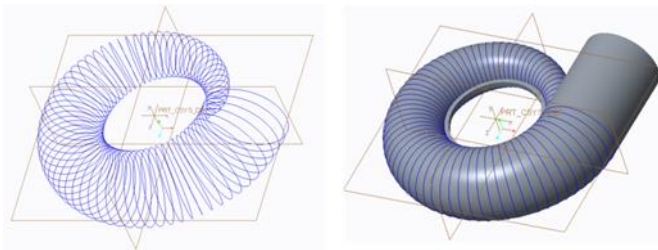
**Figura 5.** Diseño de la primer sección transversal.



**Figura 6.** Distribución de planos y bosquejos en el espacio.

### 3.1 Generación de la geometría a través del código computacional

Es generada la interfaz gráfica que permite al usuario generar las curvas que definen la geometría de la cámara en espiral de sección transversal circular en la cual se deben definir, el radio de entrada de la cámara en espiral, el radio de la turbina, y cada cuantos grados desea que sean generadas las secciones, acordes a la técnica de construcción que se pretenda usar. El archivo en formato .IBL (IBasic Component Language File), define cual es el número de la sección, y el comienzo de la curva, luego están definidos todos los puntos que componen la sección con sus respectivas coordenadas rectangulares en XYZ, es la interpolación de dichos puntos la que permite la generación de las curvas. Una vez importadas las curvas, están actúan como bosquejos para la generación del volumen de fluido de la cámara en espiral, usando la herramientas de mezcla de límites, rellenar, combinar y solidificación respectivamente, la Figura 8 expone como partiendo de las curvas importadas se realiza la generación de la geometría.



**Figura 8.** a) Curvas importadas. b) Volumen de fluido cámara en espiral.

El tiempo requerido para la generación de los bosquejos usando las curvas obtenidas mediante el código computacional, es de alrededor de cuatro minutos, pues solo hace falta ingresar 3 datos, y el archivo tan solo pesa 232kB, razón por la cual es rápidamente procesable por cualquier computador actual.

### 3.2 Generación de la geometría de la forma tradicional

Esta forma de generar la geometría, depende en gran medida de la pericia del dibujante, en el caso analizado, toma alrededor de 70 minutos, sin tener que hacer correcciones, cerca de diez minutos generando todos los planos requeridos, un promedio de 50 segundos en la generación de cada bosquejo con sus respectivas dimensiones y posicionamiento, además es factible incurrir en errores, y la localización de los mismos puede ser tediosa.

## 4 Conclusiones

El planteamiento matemático realizado, e implementado a través del código computacional, permite generar los bosquejos que definen la geometría de la cámara en espiral, los cuales habitualmente deben de ser calculados en cuanto a tamaño, posicionamiento y condiciones de frontera; logrando así, que la persona encargada de hacer el diseño, pueda saltarse los pasos

de generación de planos y bosquejos, reduciendo el tiempo requerido para generar el modelo CAD, y evitando la generación de errores geométricos por intervención humana, ya que los datos obtenidos por medio del código son compatibles con software de diseño digital comerciales, como lo es el PTC Creo 3.0 ®. Lo anterior se resume en mayor calidad del modelo digital y mayor eficiencia en la generación del mismo.

## 5 Referencias

- [1] C. P. Ion and C. Marinescu, "Autonomous micro hydro power plant with induction generator," *Renew. Energy*, vol. 36, no. 8, pp. 2259–2267, 2011.
- [2] G. Ardizzon, G. Cavazzini, and G. Pavesi, "A new generation of small hydro and pumped-hydro power plants: Advances and future challenges," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 31, pp. 746–761, Mar. 2014.
- [3] I. Göde, E., & Ryhming, "3D-Computation of the flow in a Francis runner.," *Sulzer Tech. Rev. No. 4.*, no. 4, 1987.
- [4] H.-J. Choi, M. A. Zullah, H.-W. Roh, P.-S. Ha, S.-Y. Oh, and Y.-H. Lee, "CFD validation of performance improvement of a 500 kW Francis turbine," *Renew. Energy*, vol. 54, pp. 111–123, Jun. 2013.
- [5] E. Flores, L. Bornard, L. Tomas, J. Liu, and M. Couston, "Design of large Francis turbine using optimal methods," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 15, no. 2, p. 022023, Nov. 2012.
- [6] R. A. Saeed, A. N. Galybin, and V. Popov, "3D fluid–structure modelling and vibration analysis for fault diagnosis of Francis turbine using multiple ANN and multiple ANFIS," *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 34, no. 1–2, pp. 259–276, Jan. 2013.
- [7] P. Guangjie, W. Zhengwei, X. Yexiang, and L. Yongyao, "Abrasion predictions for Francis turbines based on liquid–solid two-phase fluid simulations," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 33, pp. 327–335, Oct. 2013.
- [8] C. G. Rodriguez, E. Egusquiza, X. Escaler, Q. W. Liang, and F. Avellan, "Experimental investigation of added mass effects on a Francis turbine runner in still water," *J. Fluids Struct.*, vol. 22, no. 5, pp. 699–712, Jul. 2006.
- [9] S. Tridon, S. Barre, G. D. Ciocan, and L. Tomas, "Experimental analysis of the swirling flow in a Francis turbine draft tube: Focus on radial velocity component determination," *Eur. J. Mech. - B/Fluids*, vol. 29, no. 4, pp. 321–335, Jul. 2010.
- [10] J. D. Canales Rivas, Antonio José; Mariona Gómez, "Métodos de diseño hidráulico de turbinas francis para pequeñas centrales hidroeléctricas," UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA JOSÉ SIMEON CAÑAS, 2014.
- [11] R. López, "TRABAJO ESPECIAL DE GRADO DISEÑO DE CAJAS ESPIRALES DE SECCIÓN CIRCULAR PARA," Universidad Central de Venezuela UCV, 2003.

# MODELOS COMPUTACIONALES PARA LA REPRESENTACIÓN DEL MOVIMIENTO ANTROPOMORFO

Julián Galeano E. Autor

*1Facultad de Ingeniería, Institución Universitaria Pascual Bravo, Medellín, Colombia*

*Grupo de Investigación - GICEI*

*correo-e: julian.galeano@pascualbravo.edu.co*

**Resumen:** Este estudio tiene como objeto el indagar en los modelos computacionales para la interpretación tridimensional del movimiento antropomorfo, las cuales utilizan diferentes técnicas y algoritmos que permiten una representación gráfica más precisa del movimiento humano. La aplicabilidad de este tema es directo en las áreas de robótica, animación digital y medicina. Utilizando estos modelos es posible facilitar los mecanismos para estudios posteriores en pacientes o para uso lúdico.

La representación tridimensional en tiempo real o asíncrono del movimiento capturado a través de diferentes métodos es otro de los retos abordados en el desarrollo de esta propuesta por la capacidad técnica requerida para mostrar la información capturada. De igual forma, son analizados diferentes tipos de almacenamiento de captura de movimiento y sus características son discutidas para determinar la mejor opción.

**Palabras Clave:** Curvas de Bèzier, MOCAP, Cinemática, análisis de movimiento humano.

**Abstract:** This study aims to investigate the computational models for three-dimensional interpretation of the anthropomorphic motion, which use different techniques and algorithms that allow a more accurate graphical representation of human movement. The applicability of this issue is directly in the areas of robotics, digital animation and medicine. Using these models it is possible to provide mechanisms for further studies in patients or for recreational use.

The three-dimensional rendering in real time or asynchronous movement captured through different methods is another of the challenges addressed in the development of this proposal by the technical capacity required to display the captured information. Similarly, they are analyzed different types of motion capture storage and its characteristics are discussed to determine the best option.

**Keywords:** Bèzier Curves, MOCAP, Cinematics, motion human analysis.

## 1 INTRODUCCIÓN

El estudio del movimiento humano es objeto de estudio por su aplicación directa en medicina, animación digital y videojuegos principalmente. Sin embargo, a la hora de diseñar un sistema de captura de movimiento que también provea la posibilidad de analizar dicha información implica un desafío técnico mayor.

Las características Geométricas para análisis de archivos de captura de movimiento basado en archivos de texto requieren mucho conocimiento y reducen la redundancia de datos y son consideradas como unidades básicas para definir los movimientos humanos, bajo este método es posible encontrar la posición de alguien "con pío derecho o pío izquierdo al frente", lo cual indica que está caminando.



Utilizando las  $n$  características geométricas, el número de combinaciones es  $2^n$  lo cual es bastante extenso.

En trabajos relacionados con el tema, proponen el desarrollo de un sistema capaz de traducir los datos secuenciales a una representación de cadena de caracteres luego la búsqueda de movimientos por métodos de recuperación de texto o búsqueda de sub-cadenas de caracteres.

[4]

A través de las técnicas de Motion Graph se toman las piezas del movimiento original y generan automáticamente la transición de movimiento entre ellos teniendo en cuenta la restricción de los ejes y cada hueso para generar un movimiento ampliamente fluido. [6]

### Curvas de Bèzier

Por otra parte la utilización de las curvas de Bèzier son bastante utilizados en el CAD, para moldear curvas de compartimento (suave), en el sentido de que no existan puntos angulosos, lo cual describirá una trayectoria mucho más suave en cada una de las partes del cuerpo humano representado. Las curvas de Bèzier se construyen utilizando un número infinito y ordenado de puntos de control, que con frecuencia son tres cuadráticos, cúbicos y la curva que une el primero y el último de los puntos de control mediante un trazo sin puntos angulosos, pero generalmente, no pasa por los puntos de control, sino que estos actúan como si tuvieran una cierta capacidad de atracción "cuerda elástica" que uniera los puntos extremos con el resultado una deformación suave. [7]



Figura 1. Curva de Bèzier.

Cuando se evalúan las curvas en tres dimensiones con  $n+1$  puntos de control  $P_i$

$$B(t) \sum_{i=0}^n P_i b_i, n(t), t \in [0,1] \quad (1)$$

Tomando  $P$  como las tres dimensiones, tenemos:

$$B1(t) \sum_{i=0}^n X_i b_i, n(t), t \in [0,1] \quad (2)$$

$$B2(t) \sum_{i=0}^n Y_i b_i, n(t), t \in [0,1] \quad (3)$$

$$B3(t) \sum_{i=0}^n Z_i b_i, n(t), t \in [0,1] \quad (4)$$

### Cinemática Directa

Es un análisis de la física que interviene en el desplazamiento tomando en cuenta la posición, velocidad y aceleración de cada uno de los elementos y articulaciones que hacen parte de un sistema de movimiento sin considerar la fuerza que lo causa. Es decir todas las propiedades geométricas y basadas en el tiempo del movimiento; donde el problema es calcular la posición y orientación del efector final del manipulador. La cinemática directa permite determinar la localización de un extremo de un miembro, conocidos los valores de las coordenadas articulares.

El Método geométrico aplicado es:

$$X: r_1 \cos \theta_1 \quad (5)$$

$$Y: r_1 \sin \theta_1 \quad (6)$$

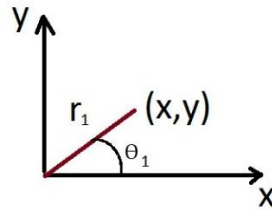


Figura 2. Cinemática Directa, método geométrico.

$$X: r_1 \cos \theta_1 + r_2 \cos (\theta_1 + \theta_2) \quad (7)$$

$$Y: r_1 \sin \theta_1 + r_2 \sin (\theta_1 + \theta_2) \quad (8)$$

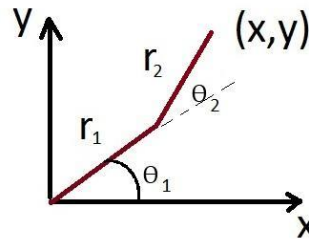


Figura 3. Cinemática Directa, método geométrico.

### Cinemática Inversa

La cinemática inversa procura determinar los valores de las coordenadas articulares conocida la localización de un extremo del miembro. "La cinemática inversa tiene como objetivo encontrar la posición que deben adoptar las diferentes articulaciones para que el final del sistema articulado llegue a una posición concreta". [2]

$$\left. \begin{array}{l} Y: r \cos \theta \\ X: r \sin \theta \end{array} \right\} \theta = \text{Arctan2}(y, x), r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (9)$$

## 2 METODOLOGÍA

Este estado del arte tiene por objetivo, indagar en los modelos matemáticos utilizados para la descripción, captura de movimiento humano y métodos para almacenar esta información, teniendo representaciones bidimensionales y tridimensionales que puedan ser implementadas y codificadas (software) como una aproximación a proyectos relacionados con movimiento antropomorfo, enfocados en software para discapacidad.

### 2.1 TIPOS DE SISTEMAS DE CAPTURA DE MOVIMIENTO

#### 2.1.1 Sistema Óptico

El sistema óptico es un método de captura de movimiento bastante preciso para el análisis de objetos cuya trayectoria o movimiento no sea muy complejo ya que el procesamiento de información no es en tiempo real.

### 2.1.2 Sistema De Radio Frecuencia (Rf)

El sistema de radiofrecuencia es un sistema que no es muy exacto en cuanto posición pero si muy exacto en cuanto a medición en tiempo real. “No debe confundirse con el uso de RF para entregar datos de forma inalámbrica, sino más bien el uso de RF para el cálculo de medición de posición”.

### 2.1.3 Sistema electromagnético

El sistema electromagnético funciona con transmisor (marcador o fuente) y una unidad de control electrónico (sensor). Su funcionamiento en palabras simples consiste en un transmisor que posee varios sensores de posicionamiento que son los que se encargan de dar información a la unidad de control electrónico de la posición mediante campos electromagnéticos de baja frecuencia, para que luego la unidad de control realice los cálculos respectivos.

### 2.1.4 Sistema electromecánico

El sistema electromecánico se basa en dispositivos electrónicos (marcadores o fuentes) que se fijan a una estructura rígida o elástica que a su vez va ceñida al objeto en estudio. Los marcadores utilizados frecuentemente son potenciómetros, giroscopios o dispositivos similares que ayuden a medir cambios de posición y de corrientes unidades de medición de tal modo que muestren que hay un cambio en dicho punto o marcador. [6]

## 2.2 Aproximación a primera Implementación

Por efectos de desarrollo ágil, se utiliza la placa Arduino Uno R3 y 3 resistencias de 50k; tal como lo describe la figura 4, dicho sistema puede ser adecuado a un exoesqueleto que permita registrar el movimiento de las extremidades superiores.

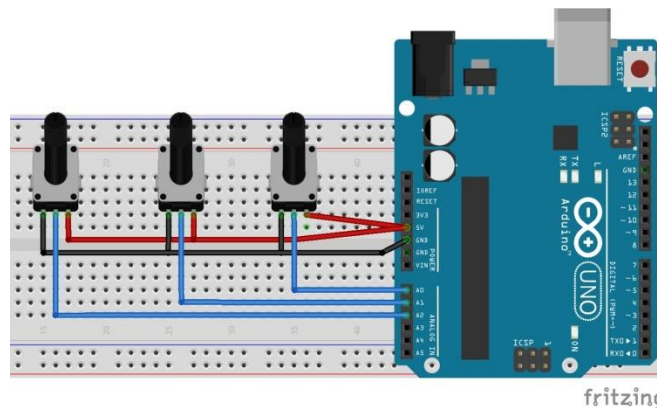


Figura 4. Montaje utilizando Arduino y resistencias de 50k.  
Fuente: propia

Los datos enviados a través del puerto serial por el Arduino, son capturados por la interfaz, la cual se encarga de realizar la representación gráfica del movimiento realizado. Los datos capturados pueden ser posteriormente enviados a un archivo de texto, pero todavía sin ningún formato específico.

## 2.2 Aproximación a segunda Implementación

A través de sensores de profundidad se puede lograr, llevar los datos de cada uno de los puntos registrados por este; a un archivo de texto plano y posteriormente realizar la conversión a archivos comerciales.





Figura 5. Sistema de huesos rastreado por sensor de profundidad.  
Fuente: propia

Con esta aplicación se logró guardar cada uno de los puntos en sus tres coordenadas, brindando mayor información de cada hueso.

### 2.3 Almacenamiento

De igual forma, son evaluadas diferentes métodos para archivos de captura de movimiento y se realizan conversiones a los formatos a evaluar donde se compara no solo su compresión y usabilidad, sino también la calidad con la que quedan dichos movimientos.

Para definir el vector al extraer los datos del archivo en formato BVH se realiza la conversión de los huesos en cada uno de sus canales.

$$M^{24} = (Zrot_{j1}, Yrot_{j1}, Xrot_{j1}, Zrot_{j2}, \dots, Xrot_{j8})$$

Esta interpretación de los datos permite establecer con respecto a los otros formatos una mejor compresión en cada punto de referencia o hueso.

Tabla 1. Comparación de formatos

Formato	Compresión	Usabilidad
BVH	97%	90%
FBX	82%	96%
ASF	60%	48%
BIP	30%	70%

Evaluación de formatos de MOCAP.

## 3 RESULTADOS

Entre otros logros de este trabajo se tienen la definición del desplazamiento por tramos rectos unidos por empalmes definidos con las curvas de Bézier, el estudio de los ángulos de presión y la curvatura cuyo desplazamiento se diseña con curvar de Bézier y la generación de gráficas para calcular el ángulo de presión y curvaturas mencionadas. La definición del formato comercial a utilizar de acuerdo a los requerimientos de proyectos específicos.

Se generaron las bases del sistema y se desarrolla un primer prototipo que toma los datos registrado por el sistema a través de dispositivos electromecánicos y ópticos por ser separado, donde pueden ser analizadas y llevadas a una representación gráfica. Aunque todavía presenta algunos detalles de precisión y requieren calibración.

## 4 CONCLUSIÓN

Las curvas de Bézier tienen como finalidad crear trayectos como rectas o curvas, que se puedan manipular con gran facilidad, logrando las formas deseadas. Su aplicación está orientada a todas

los programas para creación de gráficos y de Diseño Asistido por Computador (CAD), ya que facilita trabajar con descripción de curvas y formas geométricas que son difíciles de calcular y de almacenar.

Los formatos que mejor pueden soportar diferentes necesidades del mercado son FBX y BVH, por su estandarización compresión en el almacenamiento de disco e interpretación y soporte de las aplicaciones del mercado en animación digital.

La aplicación de este tipo de sistemas al área de biomédicina y de fisioterapia, es de especial relevancia porque ayudan a crear equipos de bajo costo al alcance de fundaciones y demás entidades dedicadas a ayudar a personas con problemas en su movimiento.

## 5 REFERENCIAS

- [1] Xiaopeng, W., Boxiang, X., & Qiang, Z. (2010). A Retrieval Method for Human Mocap Data Based on Biomimetic Pattern Recognition. *Computer Science & Information Systems*, 7(1), 99-109. doi:10.2298/CSIS1001099W
- [2] Luengas, L. A., Marín, C. A., & González, J. F. (2013). Modelo de la marcha bípeda humana usando Modelica. *Visión Electrónica*, 7(2), 110-124.
- [3] Guzmán, M. A., & Peña, C. A. (2013). Algoritmos bioinspirados en la planeación off-line de trayectorias de robots seriales. (Spanish). *Visión Electrónica*, 7(1), 27-39.
- [4] Zhu, M., Sun, H., Lan, R., & Li, B. (2012). Human motion retrieval using topic model. *Computer Animation & Virtual Worlds*, 23(5), 469-476. doi:10.1002/cav.432
- [5] Yueting, Z., Jun, X., Yizi, W., Tao, Y., & Fei, W. (2005). Automatic generation of human animation based on motion programming. *Computer Animation & Virtual Worlds*, 16(3/4), 305-318. doi:10.1002/cav.109
- [6] Kovar L, Gleicher M. Motion graphs. In *Proceedings of SIGGRAPH'2002*, 2002, pp. 473–482.
- [7] Norimasa, Y., Ryo, F., Toshio, S., & Takafumi, S. (2013). Quasi-Log-Aesthetic Curves in Polynomial Bezier Form. *Computer-Aided Design & Applications (Computer-Aided Design & Applications)*, 10(6), 983-993. doi:10.3722/cadaps.2013.983-993
- [8] Humberto Guzmán Valdivia, C., Blanco Ortega, A., Antonio Oliver Salazar, M., & Luís Carrera Escobedo, J. (2013). ANÁLISIS CINEMÁTICO DE UN ROBOT TERAPÉUTICO PARA LA REHABILITACIÓN DE MIEMBROS INFERIORES. (Spanish). *Revista De La Ingeniería Industrial*, 7(1), 21-30.

# CARACTERIZACIÓN DE LA HUMEDAD EN BOBINAS ESTATÓRICAS POR MEDIO DE LA ESPECTROSCOPIA DIELECTRICA EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA

M.Sc. Oscar S. Marín<sup>1</sup>, Ph.D. Carlos A. Platero<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>*Departamento de Máquinas Eléctricas, Universidad Politécnica de Madrid, Calle de José Gutiérrez Abascal 2, 28006, Madrid, España & HVM Ingenieros Ltda – Medellín, Colombia.*

<sup>2</sup>*Departamento de Máquinas Eléctricas, Universidad Politécnica de Madrid, Calle de José Gutiérrez Abascal 2, 28006, Madrid, España*

*correo-e: sebastian.marin@ieee.org, carlosantonio.platero@upm.es*

**Resumen:** La espectroscopía dieléctrica en el dominio de la frecuencia (FDS) es una prueba ampliamente usada para la estimación del contenido de humedad en transformadores de potencia. En este artículo se presenta la metodología utilizada para determinar la capacidad de esta misma prueba para la caracterización de la humedad en una bobina de un devanado estático, por medio de pruebas controladas de laboratorio de humidificación y deshumidificación con barridos de FDS y cuantificación del contenido de humedad a través de pesaje.

**Palabras Clave:** Espectroscopia Dieléctrica en el dominio de la frecuencia (FDS), humedad, Devanados estáticos, Bobina.

**Abstract:** The Dielectric Spectroscopy in Frequency (FDS) domain is a widely-used test to estimate the moisture contain in power transformers. In this article, the methodology used to determine the reliability of this test for moisture characterization in a stator-winding coil is presented. This has been performed by humidification and de-humidification controlled laboratory tests, using FDS sweeps and measuring the moisture content by the coil weight.

**Key words:** Frequency Domain Spectroscopy (FDS), Moisture, Stator Windings, Coil.

## 1. INTRODUCCIÓN

Mientras pruebas convencionales como el factor de potencia [1], el factor de disipación o el índice de polarización miden en tan solo puntos o limitadas franjas de frecuencias, los más modernos métodos de espectroscopia dieléctrica [2], brindan información a lo largo del amplio rango de frecuencia que brinda la posibilidad de discriminar entre diferentes efectos o anomalías.

Al aplicar el barrido en frecuencia a través de un amplio rango de frecuencias permite medir la respuesta dieléctrica. Como se explica en [3][1] y [4], para transformadores aislados con papel embebido en aceite, su respuesta dieléctrica consiste en tres componentes: la respuesta del aislamiento de la celulosa, la respuesta del aceite y el efecto de la polarización interfacial. Por medio de la metodología detallada a continuación, se busca determinar la capacidad de esta técnica para la caracterización de la humedad en una bobina de un devanado estático por medio de pruebas controladas de laboratorio por medio de la realización de pruebas de FDS.

## 2. METODOLOGÍA

Se realizaron tres ensayos de laboratorio con el fin de probar la capacidad del FDS para caracterizar la humedad en una bobina de un devanado estatórico de un motor de media tensión (Figura 1). Estos ensayos consistieron en realizar procesos controlados de humidificaciones, usando recipientes de gran tamaño para humidificar uniformemente, y deshumidificaciones inyectando corriente continua para disminuir la cantidad de humedad; para realizar en cada una de estas etapas un pesaje de la bobina utilizando una balanza electrónica de muy buena precisión y barridos de FDS usando perfiles metálicos utilizados para simular el entrehierro del estator (Figura 2).

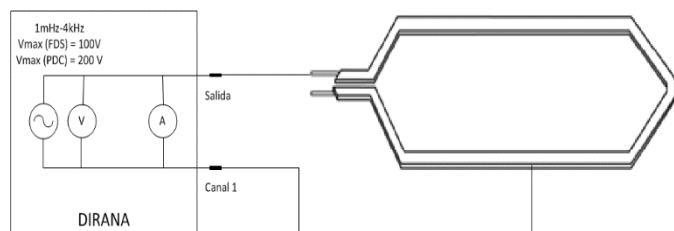


Figura 6. Esquema de conexión para todas las pruebas realizadas con el DIRANA



Figura 7. Simulación completa del entrehierro usando los perfiles metálicos y conectándolos entre sí por medio de un cable común

## 3. RESULTADOS

De manera ilustrativa, en la Tabla No. 1 y la Figura No. 3 se presenta los resultados de la tercera y última de las pruebas de FDS del ensayo realizado y demás pasos detallados en la metodología, los cuales fueron consistentes con los primeros dos realizados; ejecutados con muy similares condiciones ambientales, para verificar que fuera un repetible. Antes de realizar la primera prueba, era imprescindible hacer un análisis inicial que permitiera conocer el estado actual de la bobina. Este análisis inicial, no varía mucho de las mediciones que se realizan en cada paso después de mojar o calentar, ya que es simplemente realizar una medida de peso de la bobina sin haber mojado y obtener el barrido en frecuencia<sup>1</sup> del factor de disipación por medio del DIRANA de Omicron.

<sup>1</sup> Este barrido se realizó entre 0.01 Hz y 1 kHz dado que es el rango con una mejor relación tiempo de realización vs. Cobertura de frecuencia.

Tabla 1. Características de los ensayos de calefacción de la prueba No. 3

Procedimiento	Duración [horas]	Corriente [A dc]	peso final [g]	humedad evacuada [g]	humedad en la bobina [g]	humedad en la bobina [%]
Estado inicial	-	-	3410,8	-	0	0
Humidificación 3	3	-	3459,9	-	49,1	1,44
Calefacción 34	0,35	70,3	3422	37,9	11,2	0,328
Calefacción 35	1	61,3	3411,7	10,3	0,9	0,026
Calefacción 36	1	60,3	3411,3	0,4	0,5	0,015
Calefacción 37	2	62	3410,8	0,5	0	0

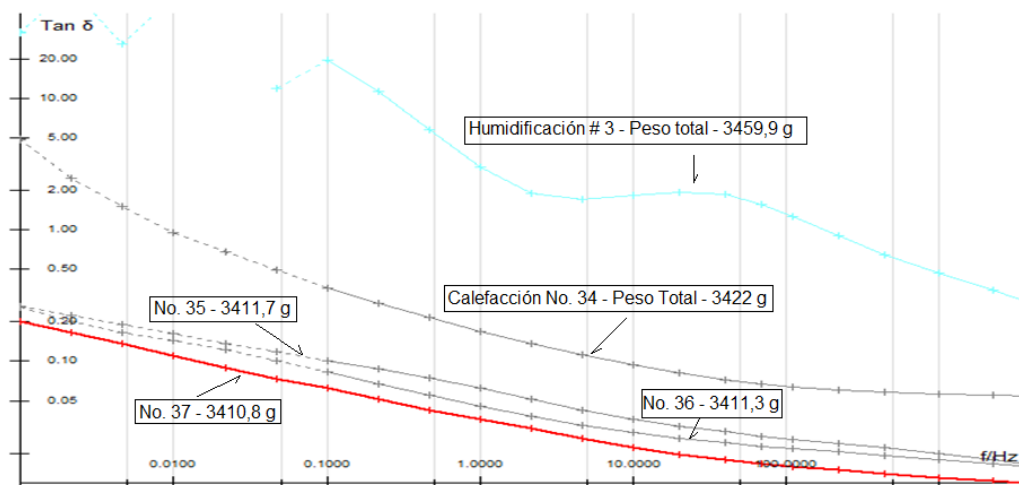


Figura 8. Factor de disipación de los distintos estados de humedad de la parte inicial de las calefacciones de la prueba No. 1

Los resultados presentados en la Figura 3 permiten ver que la pendiente e inclinación de la curva de tangente delta a lo largo de la frecuencia permite saber la cantidad de humedad en bobina, ya tiene más humedad la curva tiene mayor inclinación que cuando la bobina posee menos humedad.

#### 4. CONCLUSIÓN

Se prueba que el comportamiento del factor de disipación, medido indirectamente con el equipo DIRANA usando el FDS, es repetible y permite caracterizar la cantidad de humedad contenida en una bobina.

Se demostró también la capacidad de obtener diferencias muy apreciables cuando cambia el contenido de humedad en la bobina (figura 5). Incluso, los resultados permitieron observar que este equipo detecta incluso muy pequeñas variaciones de humedad, que incluso la medición del peso por sus limitaciones de precisión por debajo de décimas de gramos.

Estos resultados permiten prever que con esta técnica por medio de futuros estudios y desarrollos pueda realizarse caracterizaciones de humedad estandarizadas no solo en bobinas individuales sino en devanados completos, por ello el departamento de Máquinas Eléctricas de

la Universidad Politécnica de Madrid ve con especial interés las posibilidades que brinda esta prueba.

## 5. AGRADECIMIENTOS

A OMICRON Technologies España, S.L. y en especial a Boris Battle quienes además de facilitar los equipos de medida fueron parte activa en el proyecto con información y conocimiento.

A Francisco Blázquez, Francisco Blánquez, Emilio Rebollo y Bosco de la Vega quienes fueron parte fundamental por su ayuda y acompañamiento en la realización de este proyecto.

## 6. REFERENCIAS

- [1] International Headquarters Department of US Navy, *Power Transformer Maintenance and Acceptance Testing- Technical Manual*, TM 5-686, 1998; p 7-5.
- [2] Omicron, Moisture Diagnostics of Power Transformers by a Fast and Reliable Dielectric Response Method, Conference Record of the 2010 IEEE International Symposium on Electrical Insulation (ISEI), pp. 1-5, 2010.
- [3] J. ROJAS, *Espectroscopía dieléctrica en el dominio de la frecuencia como herramienta de diagnóstico del aceite dieléctrico*, Puerto Iguazú, Argentina: Cigré XIII/PI-A2-19, 2009.
- [4] International Electrotechnical Commission, *Mineral insulating oils in electrical equipment - Supervision and maintenance guidance*, IEC 60422, 2013.

# PREDICCIÓN DE TRAYECTORIA DE UNA PELOTA EN VUELO MEDIANTE EL USO DEL SENSOR KINECT® Y TÉCNICAS DE VISIÓN ARTIFICIAL

José F. Pamplona Zuluaga<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, ITM, Cl. 54a #1 - 30, Medellín, Colombia  
correo-e: josepamplona212620@correo.itm.edu.co

**Resumen:** Se presenta un método para el análisis de trayectoria en tres dimensiones de una pelota en vuelo, que permite la predicción de las coordenadas del lugar de impacto. El método utiliza un sensor Kinect® para adquirir imágenes RGB-D, e integra técnicas de visión artificial para la segmentación de la pelota y algoritmos para extraer la información espacial. Además, se hace un análisis de la trayectoria mediante el uso de las ecuaciones cinemáticas del movimiento para predecir el lugar de impacto. El método se probó con 100 eventos, comparando la predicción con las coordenadas en el lugar de impacto medidas por el sensor Kinect. Los resultados obtenidos reflejan una predicción del lugar de impacto con un error cuadrático medio de 17.13 milímetros en un rango de distancia de 0.6 a 4 metros.

**Palabras Clave:** OpenCV, OpenNI, Predicción de Trayectoria, Sensor Kinect, Visión Artificial.

**Abstract:** In this paper is presented a method to analyze a flying ball trajectory in 3-D to predict the coordinates of the impact place. It is used a Kinect® sensor to capture RGB-D information, then, artificial vision techniques are implemented to segment the ball and get the spatial information. Also a trajectory analysis is made using kinematic equations. The method was tested with 100 events matching the prediction with the coordinates measured by the Kinect on the impact point. The results shows that the impact place prediction have a mean square error of 17.13 millimeters in a 0.6 to 4 meters range.

**Key words:** Artificial Vision, Kinect Sensor, OpenCV, OpenNI, Trajectory Prediction,

## 1 INTRODUCCIÓN

El sensor Kinect desarrollado por Microsoft para su consola Xbox tiene la capacidad para obtener imágenes RGB-D que se ha extendido más allá de los videojuegos, exponiendo un enorme potencial para detección de objetos y predicción de movimiento a un costo mucho menor que las cámaras 3-D tradicionales [1]; estos potenciales se pueden explotar en aplicaciones de suma utilidad en seguridad, deportes, educación y milicia. La predicción de trayectorias es un problema desafiante aún con la disponibilidad de sistemas de visión robustos como lo es la visión estéreo, incluso solo la detección de posición con este sensor tienen un costo computacional alto [2], [3]. Con el sensor Kinect se han explorado múltiples aplicaciones, como en el reconocimiento de seres humanos basados en los datos de profundidad [4] y el mapeo 3-D de espacios cerrados, estos métodos son ampliamente utilizados para la navegación automática de robots y la reconstrucción tridimensional de espacios [5]; también se ha explorado la capacidad metrológica del Kinect para la identificación de objetos y la estimación de la distancia entre ellos [6], [7].

En este documento se presenta un método para predecir la trayectoria tridimensional de una pelota a partir de imágenes RGB-D, éste extrae las características de color del entorno RGB



para identificar la pelota mediante un proceso de segmentación por umbralización, luego extrae información espacial basada en la información de profundidad y las características específicas de la cámara RGB. Las coordenadas de la pelota se analizan con las ecuaciones cinemáticas del movimiento tridimensional para obtener una predicción del lugar de impacto. El método es evaluado con 100 eventos, mediante la comparación de las coordenadas arrojadas por la predicción y las medidas por el sensor en el punto de impacto, obteniendo un error cuadrático medio de 17.13 milímetros.

## 2 METODOLOGÍA

Para la implementación del método se utiliza el sensor Kinect modelo 1414, éste adquiere imágenes RGB-D a una frecuencia de 30Hz [1], [8]. Tiene una cámara RGB y una infrarroja con sensores de 640x480 pixeles cada una [9] y un campo de visión de 43° verticalmente y 57° horizontalmente [10], [1]. Para el acceso a la información del Kinect se usan las librerías desarrolladas por OpenNI y para el tratamiento de esta información se usan las librerías de OpenCV. Todo el algoritmo se desarrolla en C++ mediante el uso de Visual Studio.

### 2.1 Preprocesamiento, segmentación y extracción coordenadas

Se adquieren las imágenes de color y profundidad y se almacenan los tiempos de captura de cada imagen, Se convierte la imagen RGB al espacio HSV, se realiza una segmentación de color por umbralización y se realizan operaciones morfológicas para eliminar elementos no deseados; de la imagen segmentada se obtiene la posición de la pelota en la imagen y esta posición se usa como referencia para buscar la pelota en la imagen de profundidad.

Se segmenta la imagen de profundidad por umbralización y se obtienen las coordenadas en pixeles de la pelota. Mediante las características de la cámara [1] y el sensor [9] se calculan los coeficientes para transformar las coordenadas en pixeles a las coordenadas reales en milímetros (1), teniendo como referencia la posición del Kinect.

$$[X, Y, Z] = \left[ \text{Depth} \left( \frac{\text{Center}.x - 319}{589.362} \right), \text{Depth} \left( 0.733 - \frac{\text{Center}.y}{653.595} \right), \text{Depth} \left( 0.786 + \frac{\text{Center}.y}{1666.667} \right) \right] \quad (1)$$

### 2.2 Predicción de trayectoria

Luego de obtener las primeras coordenadas de la pelota se repite cuatro veces el procedimiento para extraer la misma información de los cuadros subsiguientes como se observa en la Fig. 1, obteniendo un arreglo con las coordenadas de cinco puntos de la trayectoria. Relacionando las coordenadas se obtienen las velocidades promedio en los ejes X y Z y usando éstas en el eje Y con las ecuaciones cinemáticas se predice el tiempo de la trayectoria para finalmente obtener las coordenadas del punto de impacto (2).

$$\begin{aligned} [V_x, V_y, V_z] &= \left[ \frac{X_i - X_{i-1}}{t_i - t_{i-1}}, \frac{Y_i - Y_{i-1}}{t_i - t_{i-1}}, \frac{Z_i - Z_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \right]; \text{ Prediction}[X, Y, Z] \\ &= [ (X_i + V_x t), 0, (Z_i + V_z t) ] \end{aligned} \quad (2)$$

## 3 RESULTADOS

La evaluación del método se realizó con 100 eventos en un lugar cerrado libre de obstáculos con un espacio en profundidad de 4 metros; se realizaron pruebas con cinco diferente





direcciones de trayectoria. En cada evento se comparó la coordenada resultado de la predicción con la medida por el Kinect en el punto de impacto, como se muestra en la Fig. 2. Se obtuvo un error cuadrático medio de 17.13 milímetros y se determinó que el método está limitado por el rango de distancias del Kinect (de 0.5m a 10m) [10], [11]; también se limita por el tiempo de vuelo ya que un vuelo en el campo de visión del Kinect menor de 200 milisegundos no suministrará suficiente información; en última instancia el tamaño de la pelota es limitante debido a el ruido estructural del sensor IR [10] no permite que éste defina objetos pequeños que estén a una distancia considerable.

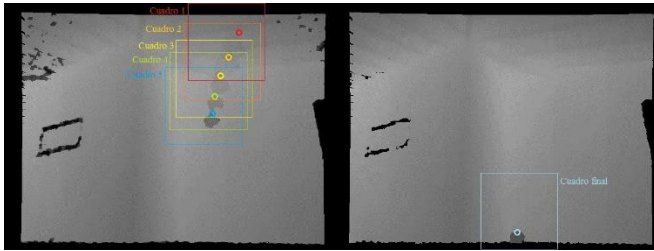


Figura 9. Adquisición de profundidad

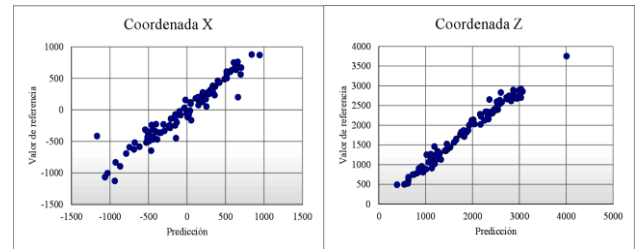


Figura 10. Representación de los 100 eventos

## 4 CONCLUSIONES

Se presenta un método para la predicción de trayectoria de una pelota en vuelo mediante el uso del sensor Kinect y técnicas de visión artificial; éste se evalúa mediante 100 eventos en los que se prueba satisfactoriamente. Durante el desarrollo del método fue notable el desempeño del Kinect para establecer las coordenadas tridimensionales de un objeto, pero para el seguimiento de objetos que se muevan a una velocidad considerable se presentan limitaciones basadas en las características del sensor como la frecuencia de muestreo, el rango de distancia y el ruido estructural.

## 5 REFERENCIAS

- [5] J. Han, L. Shao, S. Member, D. Xu, and J. Shotton, "Enhanced Computer Vision with Microsoft Kinect Sensor: A Review," no. October, pp. 1318–1334, 2013.
- [6] X. Chen, Y. Tian, Q. Huang, W. Zhang, and Z. Yu, "Dynamic model based ball trajectory prediction for a robot ping-pong player," *2010 IEEE Int. Conf. Robot. Biomimetics*, no. October 2015, pp. 603–608, Dec. 2010.
- [7] S. L. Anthony Mallet and L. Gallo, "Position Estimation in Outdoor Environments using Pixel Tracking and Stereovision," in *International Conference on Robotics & Automation*, 2000, no. April, pp. 3519–3524.
- [8] L. Xia, C.-C. Chen, and J. K. Aggarwal, "Human detection using depth information by Kinect," in *Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), 2011 IEEE Computer Society Conference on*, 2011, pp. 15–22.
- [9] P. Henry, M. Krainin, E. Herbst, X. Ren, and D. Fox, "RGB-D mapping: Using Kinect-style depth cameras for dense 3D modeling of indoor environments," *Int. J. Rob. Res.*, vol. 31, no. 5, pp. 647–663, 2012.
- [10] M. Strbac, M. Markovic, and D. B. Popovic, "Kinect in neurorehabilitation: computer vision system for real time hand and object detection and distance estimation," in *Neural Network Applications in Electrical Engineering (NEUREL), 2012 11th Symposium on*, 2012, pp. 127–132.
- [11] O. Rodríguez Zalapa, A. Hernández Zavala, and J. A. Huerta Ruelas, "Sistema de medición de distancia mediante imágenes para determinar la posición de una esfera utilizando el sensor Kinect XBOX," *Polibits*, vol. 49, pp. 59–67, 1014.
- [12] K. Khoshelham, "ACCURACY ANALYSIS OF KINECT DEPTH DATA," *ITC Fac. Geo-information Sci. Earth Obs. Univ. Twente*, pp. 29–31, 2011.
- [13] Micron Technology Inc, "1 / 6-INCH SOC VGA CMOS Features PART NUMBER: MT9V112I2ASTC." pp. 1–58, 2004.
- [14] M. R. Andersen, T. Jensen, P. Lisouski, A. K. Mortensen, M. K. Hansen, T. Gregersen, and P. Ahrendt, "Kinect depth sensor evaluation for computer vision applications," 2012.
- [15] T. Stoyanov, A. Louloudi, H. Andreasson, and A. J. Lilienthal, "Comparative evaluation of range sensor accuracy in indoor environments," in *5th European Conference on Mobile Robots, ECMR 2011, September 7-9, 2011, Örebro, Sweden*, 2011, pp. 19–24.

# CONSTRUCCIÓN DE CURVAS DE FACTOR DE CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS POR MEDIO DE SIMULACIONES

Felipe Hoyos Gómez<sup>1</sup>, Juan Diego Betancur Gómez<sup>2</sup>, Daniel Osorio Patiño<sup>3</sup>, Juan Gonzalo Ardila Marín<sup>4</sup>.

<sup>1, 2, 3, 4</sup>Facultad de Ingenierías Instituto Tecnológico Metropolitano, Calle 75 No 75 - 101, Medellín, Colombia.

correo-e: [1felipehoyos151539@correo.itm.edu.co](mailto:1felipehoyos151539@correo.itm.edu.co); [2juanbetancur134613@correo.itm.edu.co](mailto:2juanbetancur134613@correo.itm.edu.co); [3danielosorio144724@correo.itm.edu.co](mailto:3danielosorio144724@correo.itm.edu.co); [4juanardila@itm.edu.co](mailto:4juanardila@itm.edu.co)

**Resumen** El objetivo del presente estudio es comprobar que las curvas de factor de concentración de esfuerzos experimentales, disponibles en la literatura, pueden ser realizadas por medio de simulaciones logrando un ajuste significativo. Por tal motivo, se seleccionaron dos geometrías para el estudio: eje con perforación pasante y eje con cambio brusco de área de sección transversal, para ambas geometrías se obtuvo el esfuerzo máximo y se calculó el esfuerzo nominal como la relación entre la fuerza aplicada y el área mínima perpendicular a la fuerza, para poder, a partir de ellos, evaluar el factor de concentración de esfuerzo, graficarlo y compararlo con el experimental. Finalmente con los resultados obtenidos podemos concluir que es posible construir curvas de factor de concentración de esfuerzo por medio de simulaciones, con la misma confianza que se tienen de los métodos experimentales convencionales, pero a un menor costo.

**Palabras clave:** concentración de esfuerzos, curva, StaticStructural, Axiales.

**Abstract:** The objective of the present study is to check that curves of factor concentration available in the literature, experimental efforts, can be performed by means of simulations making a significant adjustment. For this reason, we selected two geometries for the study: shaft with thru hole and shaft with sudden change in cross-sectional area, for both geometries was obtained the maximum effort and calculated nominal effort as the relations between the applied force and the minimum area perpendicular to the force, to be able, from them, assess the concentration of effort factor, plot and compare it to the pilot. Finally with the obtained results we can conclude that it is possible to build curves of factor concentration of effort by means of simulations, with the same confidence that have conventional experimental methods, but at a lower cost.

**Keywords:** Factor concentration, Curves, StaticStructural, Axial force.

## 1 INTRODUCCIÓN

Analizar los fenómenos de concentración de esfuerzos experimentalmente puede ser demorado y costoso, para ello se podrían implementar metodologías de simulación que proporcionen el mismo resultado con el valor agregado de ahorro de tiempo y dinero. En este proyecto se emplearon los programas ANSYS® y Microsoft Office Excel® y se logró demostrar que por medio de simulaciones se pueden realizar curvas de factores de concentración de esfuerzo con una precisión adecuada y a bajo costo.



## 2 METODOLOGÍA

### 2.1 Geometrías, mallado, cargas y simulación [1].

Para este estudio se eligen dos geometrías, un eje de 1.5 in de radio con una perforación de radio variable (Fig. 1) y un eje con un cambio abrupto en la sección transversal (Fig. 2) con una relación entre diámetro mayor a diámetro menor igual a 2.0, estas dos geometrías elegidas se dibujan en el módulo DesignModeler®, en las Figuras puede apreciarse la definición de algunos parámetros.

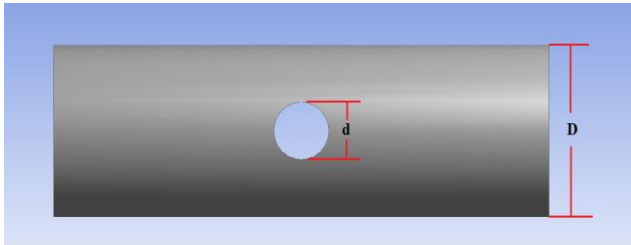


Fig. 1. Eje con perforación.

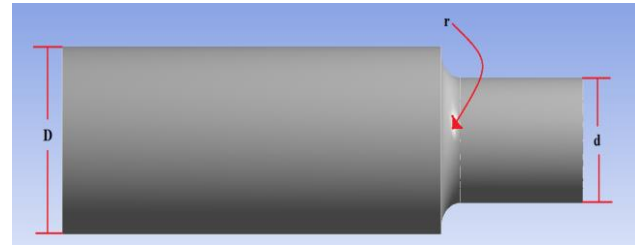


Fig. 2. Eje con cambio abrupto en la sección transversal

Luego de dibujar se pasa a hacer el proceso de mallado de la pieza, haciendo énfasis en las áreas de la geometría en donde habrá mayor concentración de esfuerzo (Fig. 3), después de que el mallado este listo, se procede a ubicar cargas de 10klb, en este caso axiales (Fig. 4). Estas se colocan una en sentido opuesto a la otra en las caras extremas de la geometría. Este proceso de mallado y configuración se realizó en el módulo Mechanical®.

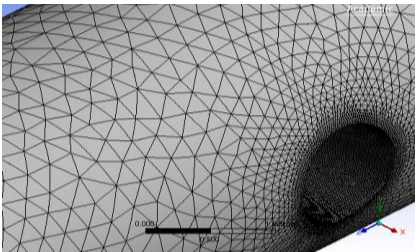


Fig. 3. Mallado de la pieza

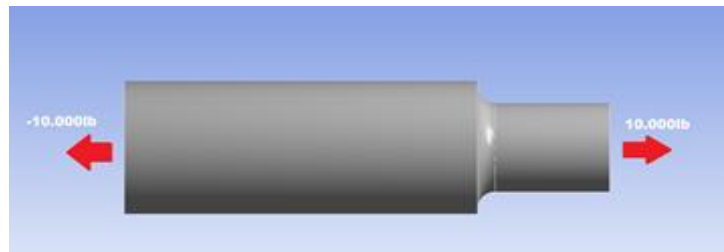


Fig. 4. Ubicación de la carga de 10klb

Después de haber mallado y ubicado las fuerzas correctamente se procede a seleccionar los resultados que se desean obtener de la simulación en la opción Solution®, en el caso de la fuerza axial se selecciona la opción esfuerzo de Von-Mises para así obtener el valor y la ubicación del esfuerzo máximo que luego será comparado gráficamente en Microsoft Office Excel® con los valores experimentales reportados en la literatura que fueron obtenidos de [2].

### 2.2 Modelo de comparación

Después de registrar el esfuerzo máximo ( $\sigma_{max}$ ), la fuerza ( $F$ ) y los diámetros utilizados ( $D, d$ ) en el archivo de Microsoft Office Excel®, se halla el esfuerzo nominal ( $\sigma_{nom}$ ): Ecuación (1) como la relación entre la fuerza y el área transversal menor ( $A_{men}$ ): Ecuación (2), para la carga

aplicada y después se divide el esfuerzo máximo hallado por simulación con el nominal hallado por fórmula para así hallar el factor computacional ( $K$ ): Ecuación (3). Para este análisis se utilizan las siguientes formulas [3] :

$$\sigma_{nom} = \frac{F}{A_{men}} \quad (1)$$

$$K = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{nom}} \quad (3)$$

$$A_{men} = \frac{\pi d^2}{4} \quad (2)$$

$$\%_{error} = \frac{K_{lit}-K}{K_{lit}} * 100 \quad (4)$$

### 3 RESULTADOS

Luego de haber obtenido los resultados arrojados por el programa ANSYS® (Fig. 5 y Fig. 6), se toman los datos de esfuerzo máximo que son los necesarios para poder hallar  $K$  computacional, el cual será comparado con el experimental que se obtuvo de la literatura ( $K_{lit}$ ). Soportados por el programa Microsoft Office Excel® se construye una tabla donde se ingresan todos los datos a comparar para después obtener los porcentajes de error ( $\%_{error}$ ): Ecuación (4), finalmente se grafican los dos valores de  $K$  con lo que se obtienen dos curvas (Fig. 7 y Fig. 8).

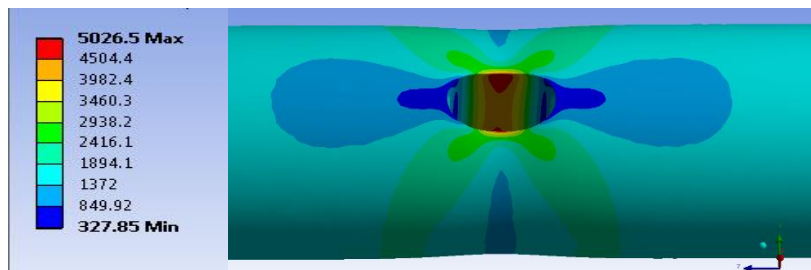


Fig. 5. Resultado de simulación de (Fig1).



Fig. 6. Resultado de simulación de (Fig2)

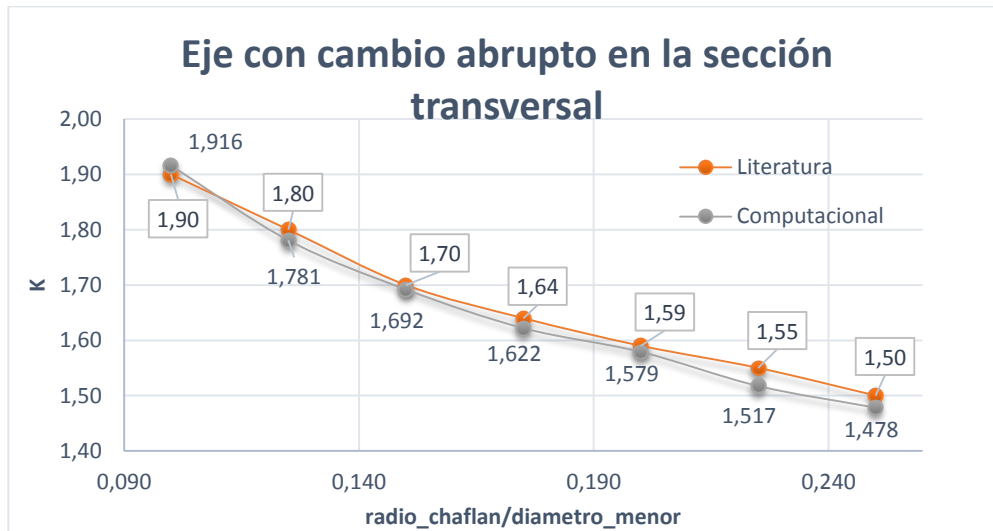


Fig7. Resultados de la comparación de (Fig2)

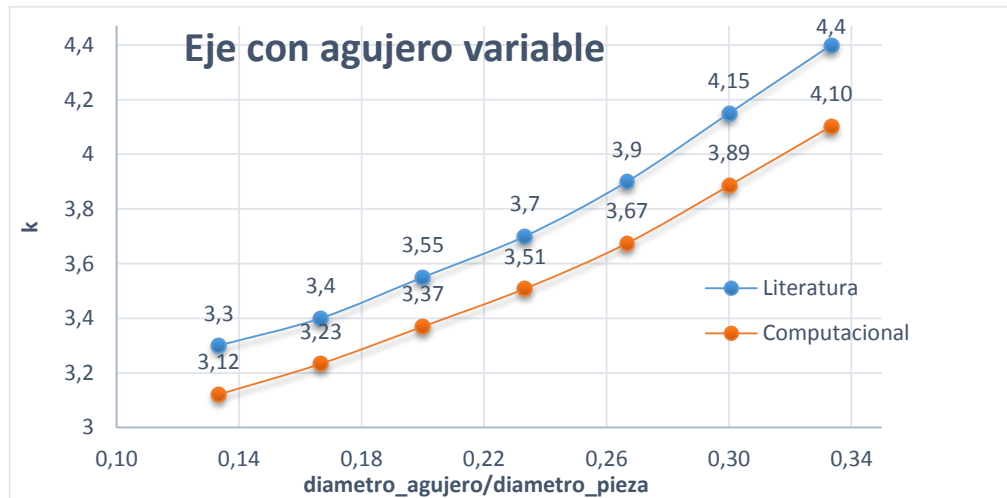


Fig8. Resultados de la comparación de (Fig1)

Al observar los resultados obtenidos por las dos gráficas, se comprobó que para el eje con cambio de sección el error oscila entre  $-0.86\%$  y  $2.10\%$ , mientras que para el eje perforado varía entre  $5.08\%$  y  $6.76\%$ , demostrando la confiabilidad del proceso de los métodos computacionales a la hora de la construcción de curvas de concentradores de esfuerzos.

#### 4 CONCLUSIÓN.

Es posible construir curvas de factor de concentración de esfuerzo por medio de simulaciones, con la misma confianza que se tienen de los métodos experimentales convencionales, pero a un menor costo.

#### 5 REFERENCIAS

- [1] ANSYS, Inc. , «ANSYS Meshing,» ANSYS, Inc. , 2014. [En línea]. Available: <http://www.ansys.com/Products/Workflow+Technology/ANSYS+Workbench+Platform/ANSYS+Meshing>. [Último acceso: 2014].
- [2] R. L. MOTT, Diseño de elementos de máquinas, México: PEARSON EDUCACIÓN, 2006.
- [3] R. C. HIBELER, Mecánica de materiales, México: PEARSON EDUCACIÓN, 2006.

# DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL TIPO SOFTWARE TITULADO “AGRUPAMIENTO\_IUPASCUALBRAVO”, PARA AGRUPAR DATOS USANDO LAS TÉCNICAS K-MEDIAS Y FUZZY K-MEDIAS

Héctor Tabares Ospina<sup>1,2</sup>

<sup>123</sup>*Institucion Universitaria Pascual Bravo, Calle 73 No. 73A - 226, Medellín, Colombia  
correo-e: h.tabares@pascualbravo.edu.co.*

**Resumen:** En este artículo se presenta el manual de usuario resumido de un producto software titulado “Agrupamiento\_IUPB”, desarrollado en la Facultad de Ingeniería de la I.U. Pascual Bravo, con el propósito de hacer agrupamiento de datos utilizando las técnicas k-medias y fuzzy k-medias. El producto es un resultado parcial del proyecto de investigación con código IN201503 y titulado “Redes Eléctricas Inteligentes. Caso de estudio: Nuevas funcionalidades de un PLC para la gestión activa de cargas”.

**Palabras Clave:** Agrupamiento de datos, Inteligencia Artificial.

**Abstract:** This article summarized an user manual of the software entitled "Agrupamiento\_IUPB", developed in the College of Engineering, I.U. Pascual Bravo, with the purpose of grouping data using k-means and fuzzy k-means techniques. The product is a partial result of the research project IN201503 code, entitled "Smart Grids. Case Study: New features of a PLC for the active load management".

**Key words:** Data clustering, Artificial Intelligence.

## 1 INTRODUCCIÓN

Un algoritmo de agrupamiento es un procedimiento de agrupación de un conjunto de datos de acuerdo a un criterio de cercanía, en un conjunto de subclases significativas llamadas grupos (en inglés clusters). Esta cercanía se define en términos de una determinada función de distancia, como la euclidiana [1]. Se plantea como problema que la I.U. Pascual Bravo no ha adquirido una herramienta informática para hacer agrupación de un conjunto de datos, lo que permite formular como objetivo, desarrollar el producto software para usarlo en el proyecto de investigación con código IN201503 y titulado “Redes Eléctricas Inteligentes. Caso de estudio: Nuevas funcionalidades de un PLC para la gestión activa de cargas”.

La metodología empleada para desarrollar el producto software fue el modelo en cascada, en el que el inicio de cada etapa del proceso debe esperar a la finalización de la etapa anterior [2].





Como resultado, se presenta el desarrollo tecnológico del tipo software “Agrupamiento\_IUPB”, desarrollado con Visual C#, acceso desconectado a una base de datos, para realizar agrupamiento de datos usando las técnicas k-medias y fuzzy k-medias [3], que devuelven al usuario una serie de puntos que en cierto modo representan al resto de puntos iniciales por su posición privilegiada con respecto al total. Las técnicas referidas producen grupos de alta calidad en las cuales la similitud intra-clases (dentro del grupo) es alta y la similitud inter-clases (entre clases) es baja.

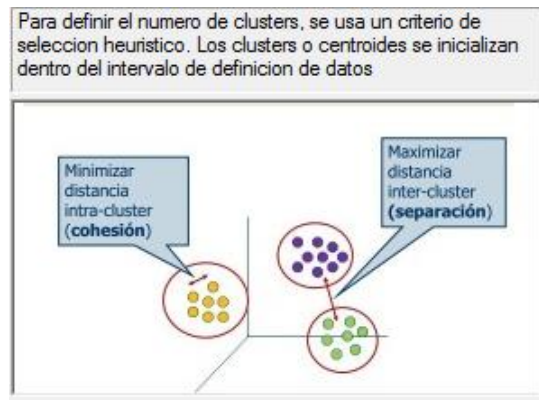


Figura 1. Agrupamiento de datos.

## 2 METODOLOGÍA

Para el desarrollo del producto software “Agrupamiento\_IUPB” se empleó el modelo en cascada que consiste en: Análisis de requisitos, Diseño del sistema, Diseño del programa, Codificación, Pruebas de validación, Verificación, Mantenimiento [2].

## 3 RESULTADOS

Entendiéndose este trabajo como un artículo corto o como un resumen extendido para las memorias del II ENCUENTRO DE TECNOLOGÍA E INGENIERIA & IX SIMPOSIO INTERNACIONAL EN ENERGÍAS, se presenta a continuación el manual de usuario resumido sobre la forma de manejar el programa “Agrupamiento\_IUPB”. Presione doble click sobre el nombre del programa. Sobre la barra de menú, elija “Datos de Entrada”. El sistema presenta la siguiente interfaz:

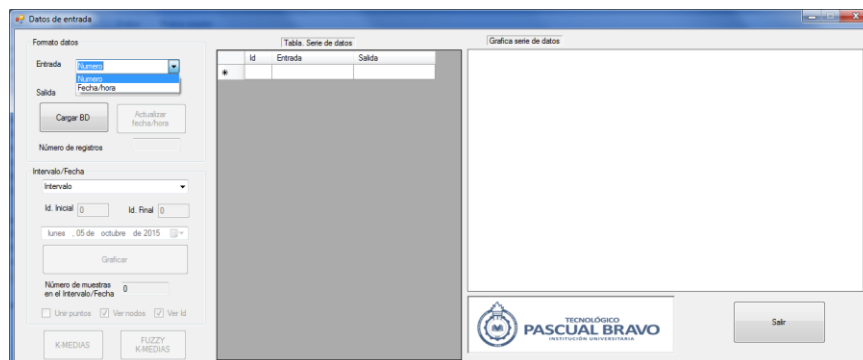


Figura 11. Interfaz Datos de entrada

Elija el formato datos entrada/salida, como se ilustra a continuación. Presione el botón “Cargar BD” y cargue el archivo con la serie historia de puntos de prueba titulada “DatabasNumeroOctober1-2013.mdb”.

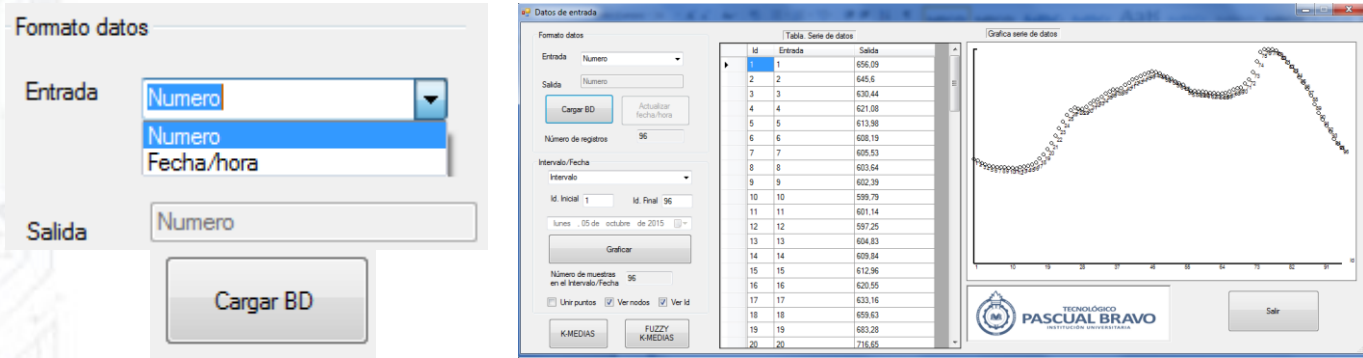


Figura 2. Selección formato variables de entrada y salidas

En la figura 3, el sistema dibuja la serie de datos en modo puntos, nodos, Id. Presione el botón “K-MEDIAS”



Figura3. Grafica serie de datos usando: puntos, nodos Id.

Agrupe los datos de manera equiespaciada con cuatro (4) centroides iniciales. Presione el botón “Calcular”. El sistema presenta cada centroide en forma de cuadrado azul. En las tablas “Cluster o centroides finales” y “Grupo de Datos”, se presenta el valor correspondiente de cada centroide y sus valores asociados.

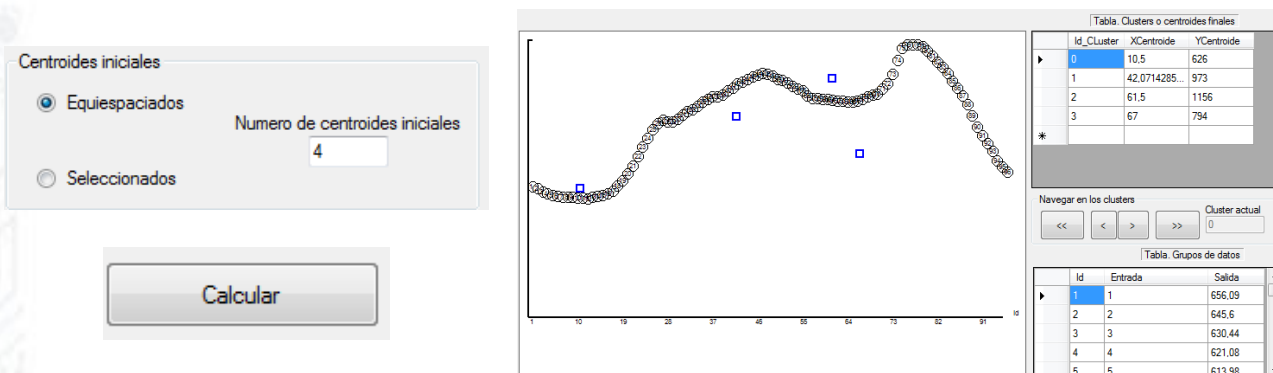


Figura 4. Especificaciones de cálculo y resultados

Con los botones de navegación, diríjase al primer, siguiente y ultimo centroide. El conjunto de datos presentado por el programa en cada caso, son como se ilustra en la figura 5.

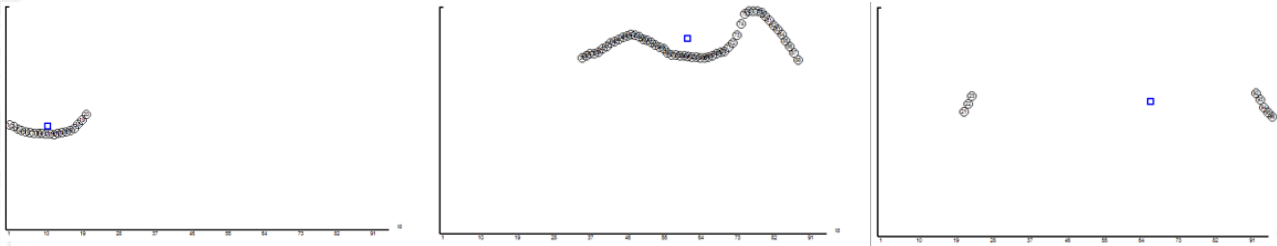


Figura 5. Conjunto de datos según el centroide elegido.

Finalmente, presione el botón “Guardar BD”.

Id_Cluster	CentroideX	CentroideY
10	626	626
1	42	973
2	62	1156
3	67	794

Id	Entrada	Salida
20	29/03/1900	999
21	30/03/1900	943
22	31/03/1900	903
91	01/04/1900	866
92	02/04/1900	825
93	03/04/1900	782
94	04/04/1900	752
95	05/04/1900	725

Figura 6. Guardar la BD y tablas de relaciones.

## 4 CONCLUSIÓN

El sistema almacena los datos en una base de datos Microsoft Access y centra su gestión en tres (3) aspectos: Tabla Serie de datos, Centroides y Datos Agrupados por Centroide. El significado de los atributos que componen las diferentes tablas es explícito, de tal manera que los lazos entre las relaciones es fácil de entender. Los datos finales, fueron validados usando el programa “Clustering Toolbox, MATLAB” [4].

Programa no liberado al público hasta que la Dirección Operativa de Investigaciones (DOI) no gestione su registro ante la Dirección Nacional de Derechos de Autor.

## 5 REFERENCIAS

- [16] C. Aggarwal, C. Reddy, “*Data Clustering. Algorithms and Applications*”, CRC Press. ISBN 978-1-4665-5821-2, p.p. 30-50, 2014.
- [17] A. Brown, I. Mistrake, “*Agile software architecture*”. ELSEVIER-Book Aid International. ISBN 9780-12-407772-0. p.p. 1-18,. 2014.
- [18] S. Mingoti. J. Lima, “*Comparing SOM neural network with Fuzzy c-means, K-medias and traditional hierarchical clustering algorithms*”, ELSEVIER, Stochastics and Statisticss p.p. 1742-1759, 2005.
- [19] MATLAB © Version 5.2 The Mathworks Inc. Natic, MA. 2002

## PREVISIÓN DEL CONSUMO DE POTENCIA Y ENERGÍA ELÉCTRICA, USANDO ALGORITMOS DE AGRUPAMIENTOS O “CLUSTERING”

Héctor Tabares Ospina<sup>1,2</sup>

<sup>1,2</sup>Institucion Universitaria Pascual Bravo, Calle 73 No. 73A - 226, Medellín, Colombia  
correo-e: h.tabares@pascualbravo.edu.co.

**Resumen:** Las limitaciones de los modelos estocásticos y de regresión lineal usados para la previsión de los pronósticos de consumo de energía y potencia eléctrica, caracterizadas por complejas dinámicas no lineales, motivan se presente en este artículo la modelación de la serie de consumos usando algoritmos agrupamientos. La aplicación de estos algoritmos tiene como objeto devolver al usuario una serie de puntos que representen al resto de puntos, por su posición privilegiada con respecto al total. Para validar el método, se empleara el programa de computadora “Agrupamiento\_IUPB”.

**Palabras Clave:** Agrupamiento de datos, Inteligencia Artificial, Consumos de potencia y energía eléctrica.

**Abstract:** The limitations of stochastic models used to forecasting energy, are characterized by complex nonlinear dynamics. It motivates to present in this article, modeling data using clustering algorithms. To validate the method, will be used the software "Agrupamiento\_IUPB".

**Key words:** Data clustering, Artificial Intelligence.

### 6 INTRODUCCIÓN

En el proyecto de investigación aprobado por la Dirección Operativa de Investigaciones (DOI) con código IN201503 y titulado “*Redes Eléctricas Inteligentes. Caso de estudio: Nuevas funcionalidades de un PLC para la gestión activa de cargas*”, se estudiaron los modelos de series de tiempo estocástica y de regresión lineal, utilizados en el sector eléctrico como instrumentos de modelación y predicción no paramétrica, para realizar los pronósticos de demanda de energía y potencia a corto plazo, en el horizonte de una semana con resolución diaria y en el horizonte de 24 horas con resolución horaria. Se plantea como problema, las limitaciones de los modelos estocásticos y de regresión lineal, por cuanto en la mayor parte de los casos, las series de tiempo de demanda de energía eléctrica, siguen complejas dinámicas no-lineales de carácter caótico, que motiva la aplicación de nuevos métodos para la previsión del consumo de energía eléctrica, que representen, de manera más exacta, las curvas de demanda [1]. Dentro de este contexto, y entendiéndose este trabajo como un artículo corto o un resumen extendido para las memorias del II ENCUENTRO DE TECNOLOGÍA E INGENIERIA & IX SIMPOSIO INTERNACIONAL EN ENERGÍAS, se formula como objetivo, usar algoritmos de agrupamiento, con el propósito de encontrar una serie de registros de consumo de potencia y energía eléctrica que en cierto modo representan al resto de registros iniciales por su posición privilegiada con respecto al total [2].

La metodología empleada consistirá en evaluar los atributos de eficacia de los registros agrupados o “clusterizados”.



Como resultado, se presenta la validación del método propuesto, usando el desarrollo tecnológico del tipo software “Agrupamiento\_IUPB” para realizar agrupamiento de datos usando las técnicas k-medias y fuzzy k-medias. [3]

## 7 METODOLOGÍA

La metodología empleada consistió en evaluar los atributos de eficacia, calidad, eficiencia o impacto de los registro de consumo de potencia y energía eléctrica agrupados o “clusterizados”.

## 8 RESULTADOS

Cargando en el programa el archivo con la serie historia de registros de potencia eléctrica en el horizonte de 24 horas con resolución cada 15 minutos, correspondiente al eje x, los Kw de consumo corresponde al eje y en un intervalo entre 597 a 1385, y titulado “DatabasNumeroOctober1-2013.mdb”, el sistema presenta gráficamente la serie, como se ilustra a continuación.

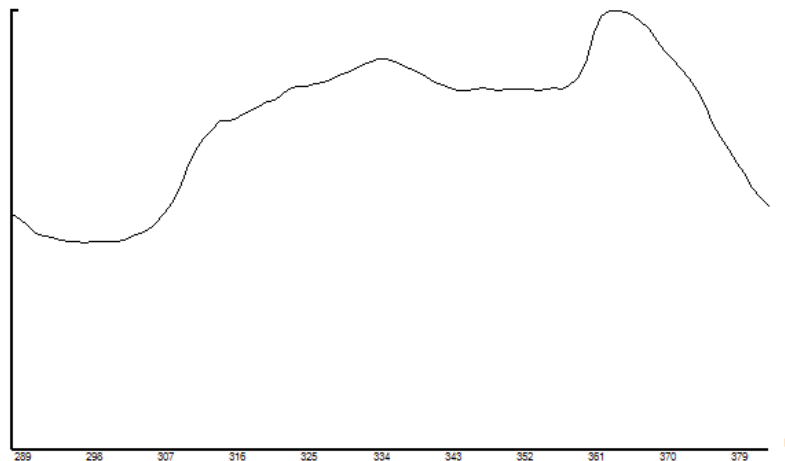
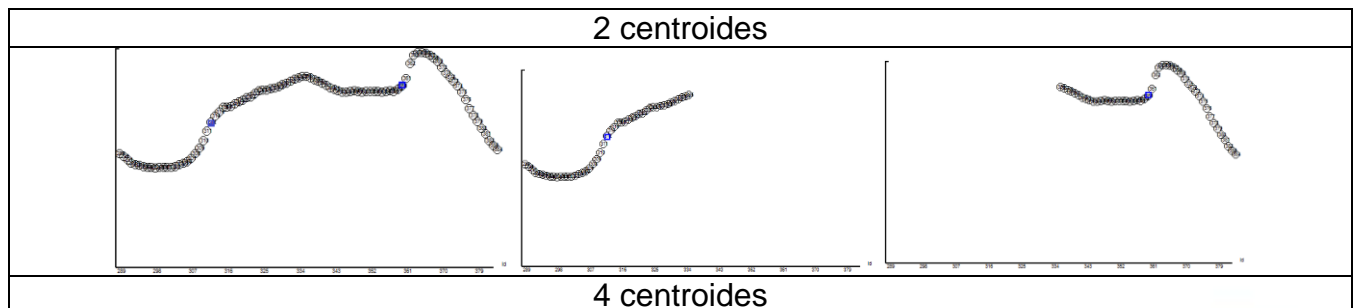
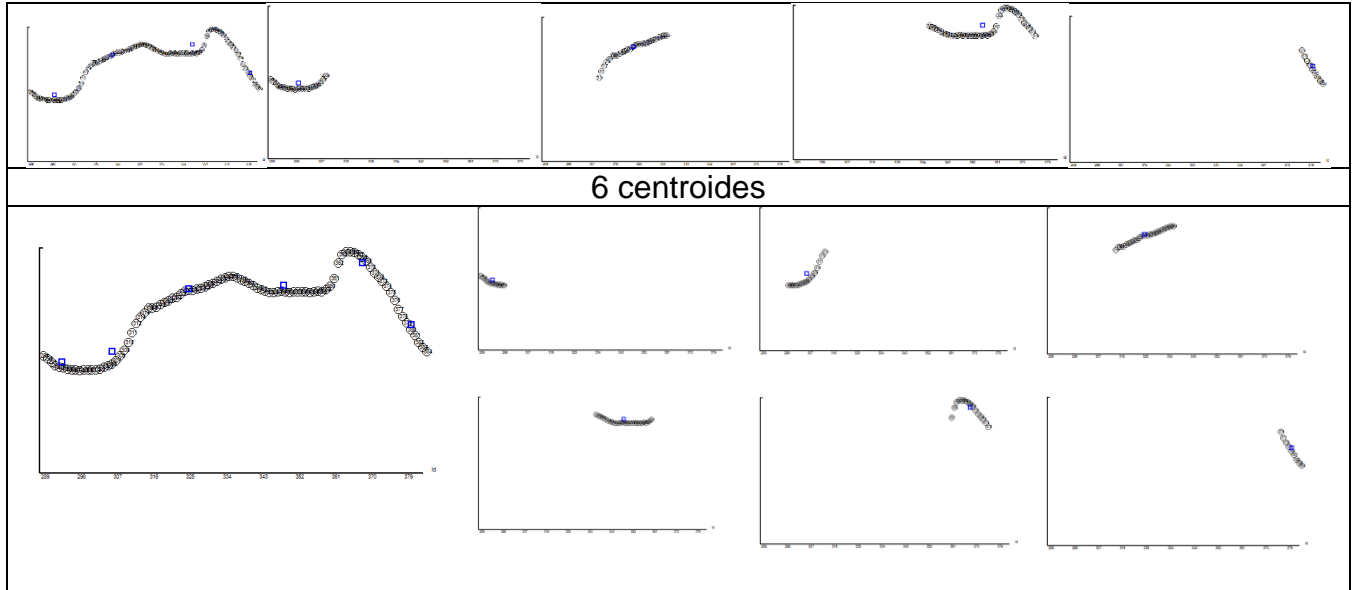


Figura 2. Selección formato variables de entrada y salidas

Utilizando un criterio heurístico, se agrupara la serie como se indica en la siguiente tabla 1.

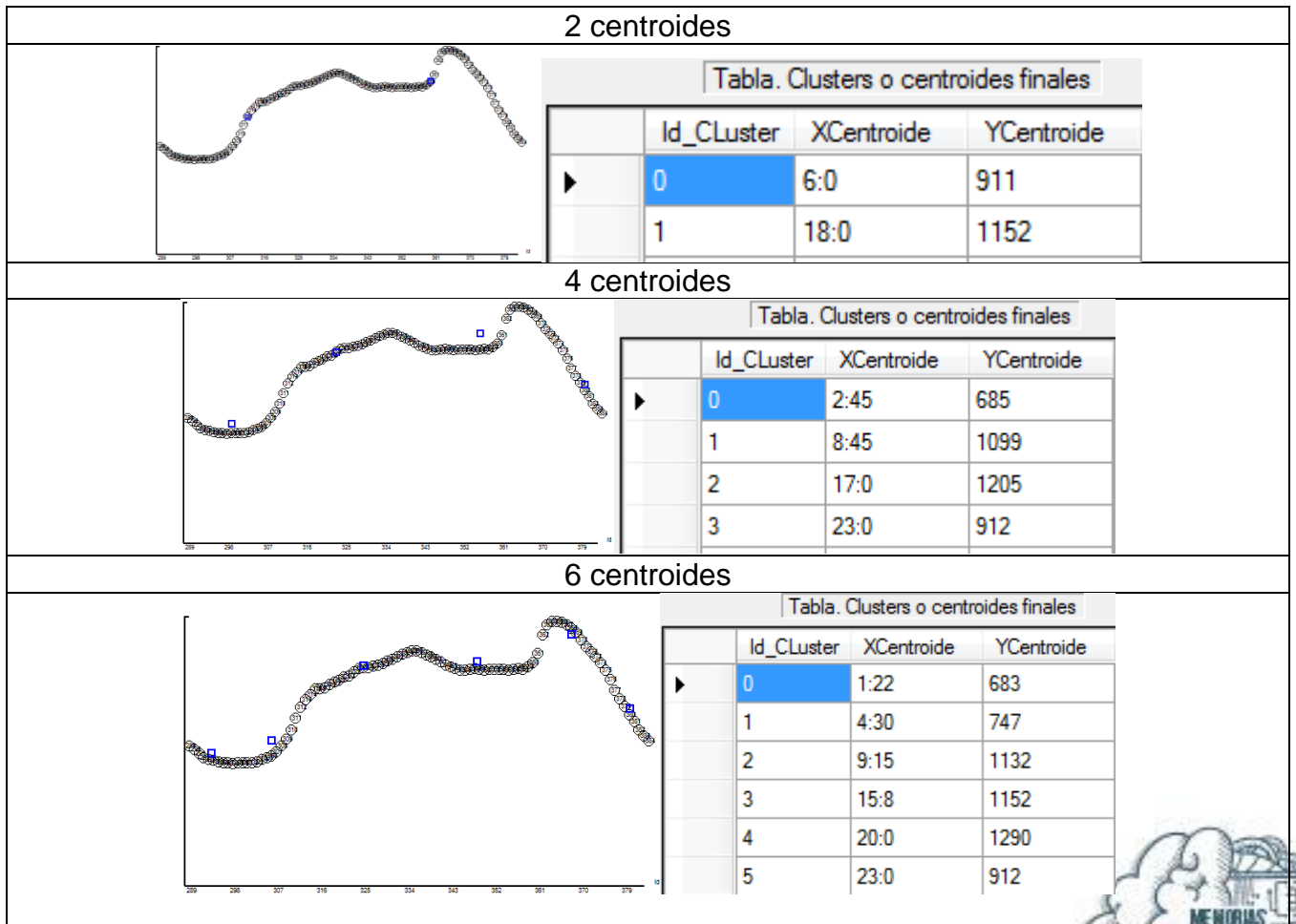
Tabla 1. Agrupando datos con 2, 4 y 6 centroides.





Según el número de centroides elegidos, en la tabla 2 se presenta sus respectivos valores.

Tabla 2. Valores de los centroides.



## 9 CONCLUSIÓN

Con criterio heurístico, se hicieron pruebas de agrupamientos de datos usando 2, 4, 6, 8 y 10 centroides. Para el caso en cuestión, y disponiendo la serie de datos de 96 registros, se encontró que con 6 centroides equiespaciados se representa con suficiente claridad el conjunto de datos. La aproximación mejora significativamente si con criterio heurístico se determina los centroides iniciales, funcionalidad que no dispone el programa “Clustering Toolbox, MATLAB” [4].

Finalmente se informa que el programa “Agrupamiento\_IUPB” no ha sido liberado al público, hasta que la Dirección Operativa de Investigaciones (DOI) no gestione su registro ante la Dirección Nacional de Derechos de Autor.

## 10 REFERENCIAS

- [20] H. Tabares., J. Hernandez, *"Pronostico demanda de energía y potencia a corto plazo. Caso de estudio: Unidad de control de pronóstico noroeste (area Antioquia-Chocó)"*. Tecnologicas. ISSN. 0123-7799. p.p. 31-54, 2009
- [21] C. Aggarwal, C. Reddy, *"Data Clustering. Algorithms and Applications"*, CRC Press. ISBN 978-1-4665-5821-2, p.p. 30-50, 2014.
- [22] S. Mingoti. J. Lima, *"Comparing SOM neural network with Fuzzy c-means, K-medias and traditional hierarchical clustering algorithms"*, ELSEVIER, Stochastics and Statisticss p.p. 1742-1759, 2005.
- [23] MATLAB © Version 5.2 The Mathworks Inc. Natic, MA. 2002

## METODOLOGÍA DE MODELADO DE UNA TURBINA KAPLAN VÍA NX® 10.0

Carlos Andrés Sánchez-Ríos\*, Cristian Camilo Cardona-Mancilla\*\*, Jorge Sierra del Rio\*\*\* y Diego Andrés Hincapié-Zuluaga\*\*\*\*

*Facultad de ingenierías, Instituto Tecnológico Metropolitano, Calle 73 No. 76A – 3sws54 Vía al Volador, Medellín, Colombia*

*correo-e: carlossanchez128938@correo.itm.edu.co - Estudiante\*, cristianmancilla17@gmail.com - Estudiante \*\*, jorgesierra@itm.edu.co - Docente\*\*\*, diegohincapie@itm.edu.co - Docente \*\*\*\**

**Resumen:** En este trabajo se presenta una metodología de diseño de una turbina Kaplan de dos álabes de manera conceptual y detallada, partiendo de curvas descriptivas de diferentes secciones transversales de la geometría, aprovechando las potentes herramientas de modelado CAD ofrecidas por el paquete ingenieril de Siemens NX® 10.0.

**Palabras Clave:** Modelado, turbina Kaplan, Siemens NX® 10.0.

**Abstract:** This paper presents a methodology of designing for a two blades Kaplan turbine of a conceptual and detailed manner, based on descriptive curves from different cross sections of geometry, using the powerful modeling tools offered by the engineering CAD package that NX® 10.0 Siemens presents.

**Key words:** Modeling, Kaplan turbine, Siemens NX® 10.0.

### INTRODUCCIÓN

El desarrollo sostenible se basa en tres pilares inseparables fundamentales que son el desarrollo social, económico y la protección del medio ambiente con el fin de garantizar la dignidad humana para todos, la falta de energía eléctrica en pequeñas comunidades aisladas es a menudo un obstáculo para el desarrollo socio-económico, para el 2008 este tipo de comunidades en Colombia llegaron a representar 5.38 % de los hogares. Al tener sistemas de generación de energía eléctrica/mecánica amigables con el medio ambiente con potencias no superiores a 100 kW, como es el caso de los sistemas modulares de microgeneración hidráulica, este obstáculo puede ser superado y relegado.

Para evaluar desde el área ingenieril este tipo de procesos es necesario desarrollar metodologías para el diseño de las turbomáquinas hidráulicas, y así modelar el entorno real y evaluarlo efectivamente en un entorno computacional controlado.





## 1. METODOLOGÍA

El procedimiento de construcción de la geometría fue realizado partiendo de un conjunto de curvas generadas a lo largo de la sección transversal de un cuerpo base generado de manera paramétrica en Heliciel®, éstas curvas fueron importadas al entorno CAD del programa Siemens NX® 10.0, paso seguido se procede a generar una superficie de barrido sobre las curvas importadas y un par de superficies cerradas sobre las curvas situadas a los extremos del modelo, una vez se cuenta un conjunto de superficies cerrado es necesario convertirlo en un solo elemento, éste procedimiento es realizado con una herramienta especializada en este tipo de operaciones que ofrece el programa, acto seguido se procede a la solidificación el conjunto de superficies y la creación del eje central de la turbina.

## 2. RESULTADOS

En la figura. 1 se observa el conjunto de curvas generadas a lo largo de la sección transversal; en las figuras. 2 y 3 se encuentran la construcción del conjunto cerrado de superficies; en la figura. 4 se puede observar el volumen final de la turbina.

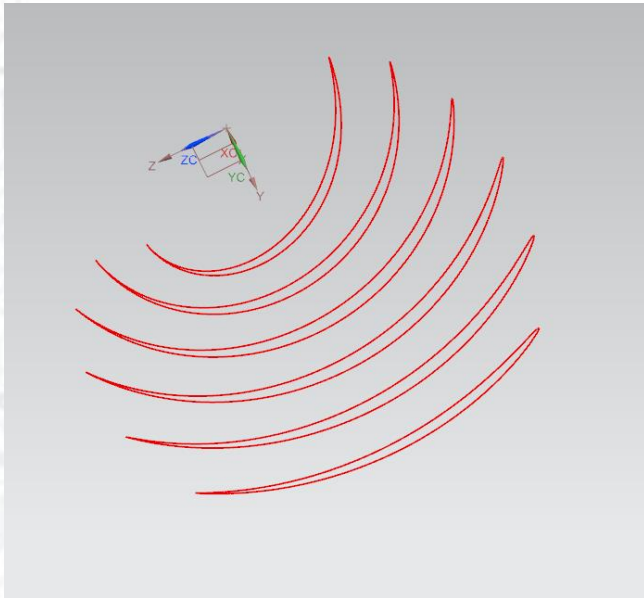


Figura. 1 Conjunto de curvas generadas a lo largo de la sección transversal

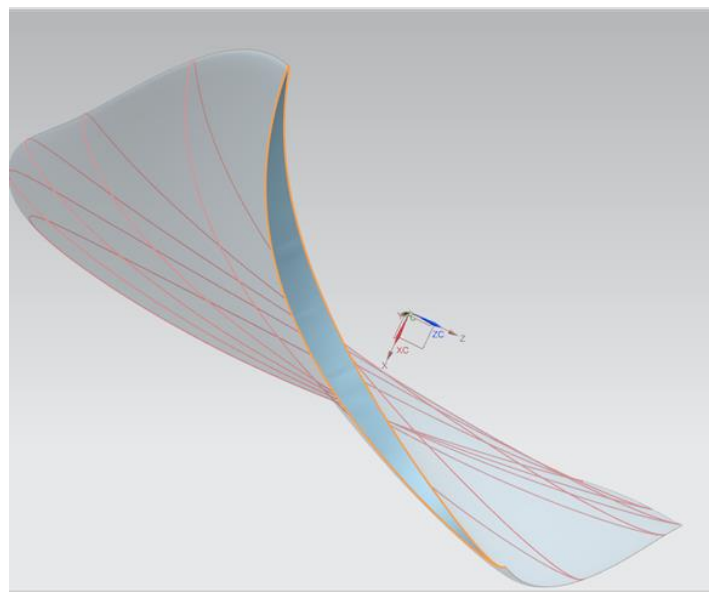


Figura. 2 Construcción del conjunto cerrado de superficies

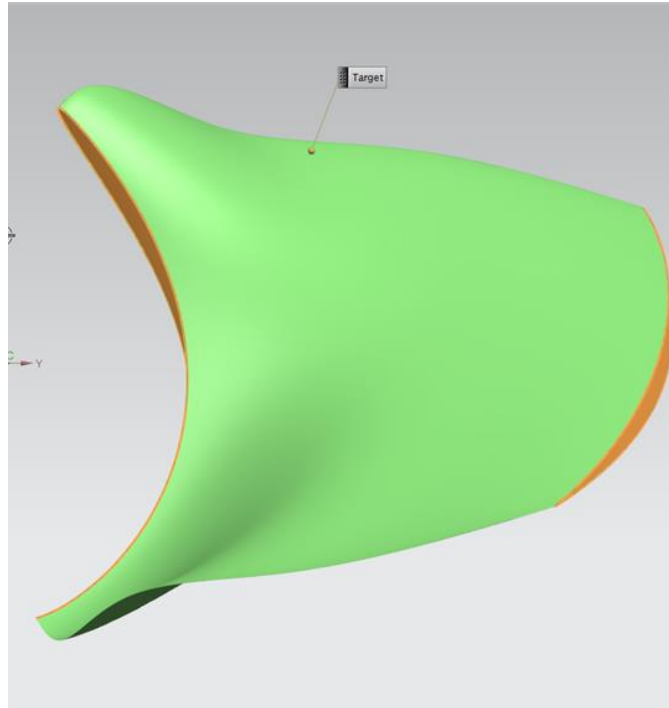


Figura. 3 Superficies terminadas

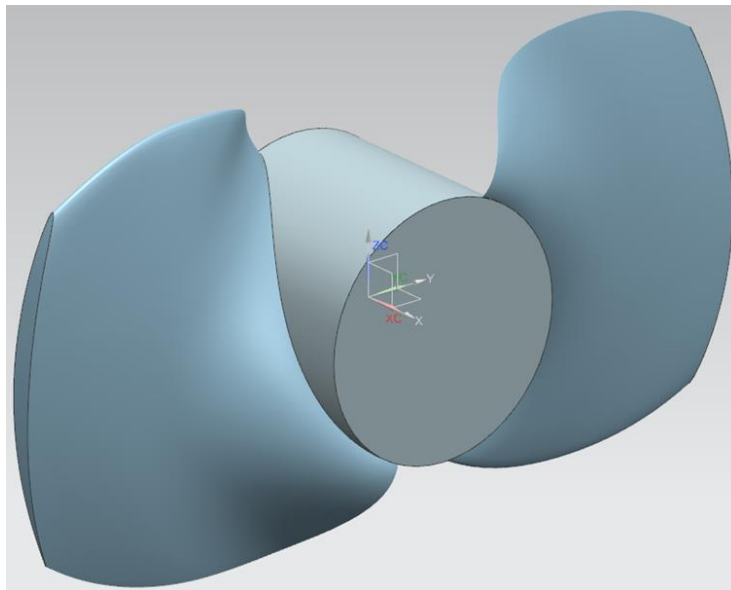


Figura.4 Volumen final de la turbina

### 3. CONCLUSIONES

Se debe tener precaución en la generación de las superficies, ya que se debe asegurar que el producto final sea un conjunto cerrado, incluso pequeñas aperturas en el modelo evitarán la generación de un modelo sólido.

El entorno CAD de Siemens NX® 10.0 ofrece una gran cantidad de herramientas que facilitan el modelado de geometrías complejas como la de las turbinas Kaplan.

Es recomendable explorar otras herramientas CAD y comparar los resultados obtenidos.

## SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA DE UNA TURBINA TIPO HÉLICE DE 2KW DE POTENCIA

Juan Fernando Zapata Cuartas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Ingeniería Electromecánica y Mecatrónica, Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín, Colombia.  
correo-e: juanfer-15@hotmail.com*

**Resumen:** En este trabajo se realiza la validación numérica, mediante simulaciones computacionales, para una turbina tipo hélice de 2kW existente, con el fin de conocer la eficiencia de las correlaciones teóricas disponibles en la literatura.

El proyecto es desarrollado por el grupo MATyER-CADD del ITM, en conjunto con el grupo GEA de la Universidad de Antioquia, y la simulación se lleva a cabo en el laboratorio de modelado del ITM con el software ANSYS CFX 16.0®. El diseño teórico de la turbina tipo hélice es: 2 kW de potencia generada, 3 álabes, con un salto de 4m y un caudal de 0,12 m<sup>3</sup> /s de agua.

Para este trabajo se diseñaron 2 geometrías diferentes. La primera geometría obedece al diseño original del sistema que quiere ser instalado, y la segunda es un diseño teórico, más apropiada para la aplicación de las ecuaciones matemáticas para el análisis fluido-dinámico.

Teóricamente se calcula un torque de 21,2 Nm para las condiciones iniciales anteriormente mencionadas. Para la primera geometría se encuentra que existe un error del 20% aproximadamente, respecto al mayor valor del torque obtenido (17.5 Nm) a partir de un estudio de malla realizado. Para la segunda geometría se obtiene un error del 5% (20.3 Nm).

Finalmente se encuentra que los resultados obtenidos son coherentes, ya que existe una correlación entre los resultados teóricos y los obtenidos a partir del análisis computacional. Queda como continuación al estudio de la turbina tipo hélice, la validación del modelo numérico obtenido, respecto al funcionamiento real (CFD vs experimental).

**Palabras claves:** Ansys CFX 16, CFD, Turbomaquinaria, turbina – hélice, Kaplan.

**Abstract:** In this paper the numerical validation is performed by computer simulations for a propeller type turbine 2kW existing, in order to know the efficiency of the theoretical correlations available in the literature.

The project is developed by the MATyER-CADD group from ITM, in conjunction with the GEA group at the University of Antioquia, and the simulation is performed in the laboratory ITM modeling with ANSYS CFX 16.0®software. The theoretical design of the propeller type turbine is: 2 kW of power generated, 3 blades, with a jump of 4m and a flow rate of 0.12 m<sup>3</sup> / s of water.

For this work two different geometries were designed. The first follows the original design geometry of the system that wants to be installed, and the second is a more suitable for the application of the mathematical equations for the fluid-dynamic analysis theoretical design.

Theoretically a torque of 21.2 Nm for the initial conditions mentioned above is calculated. For the first geometry it is that there is an error of about 20% compared to the higher value of torque obtained (17.5 Nm) from a study conducted mesh. The second geometry for an error of 5% (20.3 Nm) is obtained.

Finally it is found that the results are consistent, since there is a correlation between the theoretical results and those obtained from the computational analysis. The study is a continuation of the propeller type turbine, validation of the numerical model obtained from the actual operation (CFD vs experimental).

## 1 INTRODUCCIÓN

Las turbomáquinas hidráulicas son máquinas rotativas, las cuales realizan la transferencia de energía entre un fluido que circula y un rotor conformado por álabes o aletas. Si el fluido es quien cede energía al rotor se le conoce como turbina. [1]

Actualmente, se están realizando grandes investigaciones y mejoras continuas en sistemas de hidroeléctricas, debido a que se perfilan como las fuentes de energía eléctrica más viables, ya que no padecen los problemas de los generadores a partir de combustibles fósiles o nucleares [2].

Con el fin de mejorar estos sistemas, y por ende mejorar el desarrollo social, la salud y la educación de pequeñas poblaciones que carecen de energía eléctrica, el grupo MATyER-CADD del ITM se está enfocado en la investigación de las turbinas para pequeñas centrales hidroeléctricas-PCH´sbuscando procesos de optimización y de esta forma contribuir con la mejora de esta fuente de generación renovable de energía eléctrica.

El análisis CFD (Computational Fluid Dynamic), de turbomáquinas es de vital importancia en el área de ingeniería, ya que permite conocer y simular condiciones de flujo en una turbomáquina y de esta manera llevar a cabo un análisis del comportamiento, tanto del fluido, como de la turbina en estudio antes de su construcción, permitiendo, por medio de una configuración, generar datos del funcionamiento como velocidad de rotación de la hélice, potencia y torque generados.

Ya que se desea realizar un comparativo entre los resultados que se han obtenido desde el aspecto experimental y la parte de simulación, es necesario conocer el funcionamiento y trabajo realizado por la turbina, por tal motivo es necesario realizar la simulación de dicho sistema, creando unas condiciones y unos parámetros similares a los reales, dado que se requiere una comparación y validación de resultados.

## 2 METODOLOGÍA

Este proyecto está estructurado en 3 partes fundamentales: El diseño del modelo virtual de la turbina, la simulación del comportamiento hidrodinámico del sistema, y el análisis y discusión de los resultados. Este procedimiento se lleva a cabo para las 2 geometrías creadas.

## 2.1 DISEÑO VIRTUAL DE LAS TURBINAS.

Para el presente proyecto se crean 2 diseños para la simulación de una turbina tipo hélice con las características y dimensiones mostradas en la tabla 1:

CARACTERÍSTICAS	VALORES	UNIDADES
Caudal	0,1214	m <sup>3</sup> /s
Velocidad de rotación	900	rpm
Cabeza	4	m
Torque	21,22	Nm
Velocidad fluido	13,75	m/s
Ángulo de ataque	15	grados

Tabla 1. Características geométricas y de operación de la hélice. Fuente: Grupo GEA Universidad de Antioquia.[4]

Los diseños que se crearon pertenecen a un modelo teórico, en donde las ecuaciones dan un mayor porcentaje de exactitud, respecto al cálculo de las ecuaciones de Navier-Stokes; el otro diseño pertenece a la geometría original que se piensa instalar.

En la figura 1 y figura 2 es posible observar las geometrías que se generaron para realizar el análisis fluido- dinámico para la hélice.

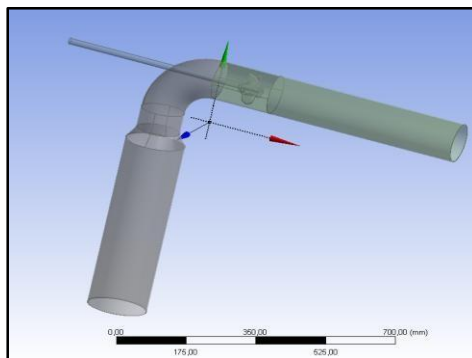


Figura 1. Geometría original.

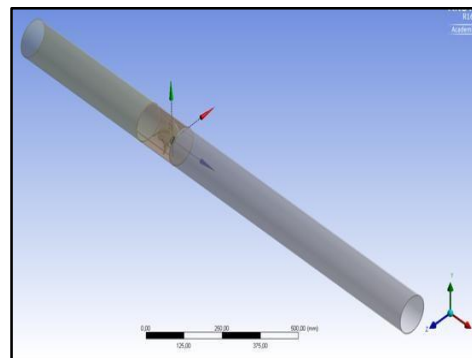


Figura 2. Geometría teórica

El modelo original fue entregado por el grupo GEA de la universidad de Antioquia, creado en el software SolidWorks, en el formato .IGES, con el fin de exportarlo al software ANSYS CFX 16 para llevar a cabo el análisis fluido-dinámico del sistema. El modelo teórico se crea a partir de la geometría original, en el laboratorio de modelado del ITM, utilizando el software ANSYS.

Para el análisis hidrodinámico del sistema, solo se requiere el volumen de fluido, ya que es el único cuerpo considerado en el análisis (CFX). El volumen de la turbina, que corresponde al sólido, no se considera en este trabajo, ya que este nos permite conocer comportamientos mecánicos en el sólido, que para este caso no son necesarios. Por esto, se procede a realizar una serie de operaciones booleanas, con el fin de sustraer y eliminar el volumen del sólido, dejando como cuerpo de trabajo el volumen externo, es decir, el fluido. Es importante verificar las condiciones de frontera, con el fin de que la hélice quede definida como fluido.

## 2.2 DISCRETIZACIÓN DE LA GEOMETRÍA

Para la discretización de la geometría, es de vital importancia conocer y utilizar el Método de Volúmenes Finitos (MVF), ya que permite generar una división espacial del dominio usando un mallado para conservar cantidades relevantes tales como masa, momento y energía [3]. Para este procedimiento es usado el módulo "MESH", del software Ansys CFX®16.0; en este módulo se genera una discretización del volumen total en volúmenes más pequeños, los cuales permiten evaluar las ecuaciones de fluidos de Navier-Stokes.

Para generar estos volúmenes finitos del fluido, es necesario la aplicación de métodos avanzados de mallado que permitan obtener dicha discretización, cumpliendo con los parámetros que facilitan la convergencia de la simulación. Los parámetros más relevantes para el mallado son: la oblicuidad, la relación de aspecto y la calidad ortogonal.

Para cada geometría se realiza el proceso de mallado, obteniendo como resultado el modelo discretizado con elementos de volumen tetraédricos. Es realizado un estudio de malla para cada una, a partir de la variación de las medidas de tamaño máximo, la relevancia y la tasa de crecimiento de la inflación. Como paso final para este procedimiento, se nombran las fronteras, entradas y salidas del fluido, con el objetivo de identificarlas fácilmente en el módulo de análisis al momento de realizar la configuración respectiva.

### 2.3 ANÁLISIS COMPUTACIONAL

Por medio del módulo CFX, en el software ANSYS CFX 16, se definen interfaces de trabajo, así como velocidad de entrada de fluido, que para este caso son 900 rpm, presión de entrada, que en el presente proyecto son 5.61 PSI; además se define el modelo de turbulencia  $k-\epsilon$  para la simulación e interfaces de periodicidad rotacional, de esta forma se obtiene el torque generado en eje de la turbina, y por ende la potencia.

## 3 RESULTADOS

A continuación, en las tablas 2 y 3, se muestran los resultados obtenidos a partir de la simulación, en donde se puede visualizar el comportamiento del torque, respecto a la variación del número de elementos de la discretización del dominio.

# Elementos	Mesh Max	Torque
2.324.445	0,906	-16,25
1.966.571	0,899	-16,20
1.824.694	0,895	-16,29
1.638.669	0,895	-16,36
1.356.476	0,899	-16,54
1.202.443	0,898	-16,86
588.435	0,908	-17,48

Tabla 2. Torques para geometría original.

Mesh Elements	Mesh Max	Torque
349.718	0,604	-18,37
1'681.783	0,842	-19,68
1'869.906	0,850	-20,06
1'852.142	0,897	-20,32
1'900.077	0,872	-20,10
2'422.869	0,914	-20,08

Tabla 3. Torques para geometría teórica.

Para el análisis final se trabaja con el mallado que generó 2'324.445 elementos, ya que esta malla, además de tener unas métricas que cumplen con las expectativas, permite un análisis más detallado en cada zona de la geometría en estudio, lo que permite obtener una simulación mucho más fiable y exacta.

A partir del torque calculado en la turbina, en el caso de estudio mencionado anteriormente, se obtiene la potencia que genera en el eje, y se muestra en la siguiente ecuación:

$$P = T \times W \text{ [kW]}; P = \frac{16.25[\text{Nm}] \times 900[\text{rpm}]}{1000} = 1.46[\text{kW}] \quad (1)$$

*Ecuación 1. Potencia generada en el eje de la turbina.*

En donde P es la potencia, T es el torque y W es la velocidad de rotación de la turbina.

Además de esto se obtiene que el error absoluto que existe entre el torque calculado mediante el análisis computacional, y el calculado por teoría, es del 31%.

$$T = \frac{P}{W}; T = \frac{2\text{kW}}{900\text{rpm}} = 21.22\text{Nm}$$

*Ecuación 2. Torque calculado.*

$$\frac{\text{Valor Max.} - \text{Valor Min}}{\text{Valor Max}} = 31\%$$

*Ecuación 3. Error absoluto.*

## 4 CONCLUSIÓN

Se encuentra que la literatura que se encuentra para el diseño de las turbinas tipo hélice está dentro de los rangos esperados, ya que al realizar la simulación para la geometría teórica, se obtienen valores cercanos al torque calculado teóricamente, ya que el error absoluto, es de 5% aproximadamente. Además, se pudo obtener el valor de la potencia generada en el eje de la turbina que es de 1,46 kW, la cual es calculada a partir del torque generado en la malla con mayor número de elementos a una velocidad de rotación de 900 rpm.

## 5 REFERENCIAS

- [1] Fernández, P. Turbinas hidráulicas. Universidad de Cantabria. Dpto de ingeniería eléctrica y energética. Cantabria, España.
- [2] Velez, S., Sierra, J. (2015). Análisis numérico de la influencia del ángulo de apertura de la cresta del cangilón en el torque generado por una turbina Pelton. Instituto TecnológicoMetropolitano. Medellín, Colombia. 1 – 8.
- [3] Sanchez, C., Cardona, C., Hincapié, D. (2015). Metodología de diseño y simulación hidrodinámica de una microturbina tipo kaplan usando herramientas computacionales. Instituto Tecnológico Metropolitano. 1 – 7. [4] Modelación geométrica. Capítulo 3. 44 - 86.

# INSPECCIÓN VISUAL AUTOMÁTICA DE UN PROCESO FLEXOGRÁFICO USANDO VISIÓN ARTIFICIAL PARA CORREGIR LA DESALINEACIÓN DE LAS PLANCHAS DE IMPRESIÓN

Daniel Giraldo<sup>1</sup>, Jonathan Graciano-Uribe<sup>1</sup>, Carlos Madrigal<sup>1</sup>, Jorge Londoño<sup>2</sup>

*Línea de investigación de electrónica y comunicaciones*

<sup>1</sup>*Instituto Tecnológico Metropolitano. - ITM, Calle 73 N° 76<sup>a</sup> – 354 Vía el Volador, Medellín, Colombia*

<sup>2</sup>*Familia Sancela S.A, Carrera 50 #8 Sur- 117, Medellín, Colombia*  
*correo-e: danielgiral93@gmail.com*

**Resumen:** La flexografía es un método de impresión industrial utilizado en diferentes materiales como papel, cartón, telas, entre otros, donde la alineación de las diferentes figuras impresas, es dependiente del sincronismo entre los cireles (planchas de impresión). Este trabajo desarrolla una solución por medio de visión artificial y automatización industrial, la cual permite conocer la desalineación de las planchas de impresión en el proceso flexográfico realizado en la empresa Familia Sancela S.A. Teniendo como base una imagen plantilla, se obtiene de manera automática información de color por medio de *k-means clustering*, el cual permite realizar una segmentación de la imagen adquirida en tiempo real del proceso por medio de una cámara industrial de alta velocidad y un sistema de iluminación estroboscópico. Luego, a partir de un proceso de comparación de plantillas (*template matching*), se adquieren datos como ubicación de cada objeto, distancia y ángulo, los cuales son comparados con la información de la imagen plantilla, esto permite conocer de manera rápida y eficaz la distancia que deben recorrer automáticamente los actuadores que estarían ubicados en los rodillos de las planchas de impresión para lograr un producto final de alta calidad y evitar en gran medida la pérdida de papel. En los resultados parciales obtenidos, la metodología de visión artificial propuesta genera una tasa de reconocimiento e interpretación cercana al 98%, además de entregar un resultado fácilmente interpretable por el actuador.

**Palabras Clave:** Flexografía, Estroboscópico, OpenCV, Plancha de impresión, Visión Artificial.

**Abstract:** The flexography is an industrial printing method used in different material such as paper, fabric, cardboard etc, where the alignment of the different printed figures dependent of sync between the printing plate. This work develops a solution through artificial vision and industrial automation, this allows know the printing plates misalignment in the flexography process it realized in the Familia Sancela S.A company. Having as basis a template image, is obtained of way automatic intensity color information through of k-means clustering. This allows make segmentation of the acquired image in real-time process through of high-speed industrial camera and stroboscopic lighting system so, getting from template matching process data such as location of each object, distance and angles between both are compared with the information of the image template this allows know quickly and efficiently the distance it has to travel automatically the actuator might locate in the printing plates for a final product of high quality and largely avoid the wastage of paper. In the partial results obtained, the methodology of artificial vision proposal generates a recognition rate and interpretation near to 98%, addition to providing an easily interpretable result for the actuator work.

**Key words:** Artificial Vision, Flexography, Printing plates, OpenCV, Stroboscopic.





## 1 INTRODUCCIÓN

La Flexografía es la única tecnología de impresión por medio de la cual se pueden hacer películas muy delgadas y flexibles de tinta, dicha impresión se puede hacer sobre papel, cartón, materiales de embalaje de superficie rugosa, telas, superficies poliméricas entre otros. Se requiere un contacto de ligera presión para permitir la transferencia de tinta de la plancha de impresión al papel, dicha presión debe ser lo más uniforme posible a lo largo de la zona de contacto y durante el paso de impresión. (Kipphan, 2001). Actualmente la empresa Familia Sancela S.A. cuenta con este proceso de impresión aplicado sobre papel, el cual debido a problemas externos como cambios de velocidad angular en el proceso, falta de lubricación y/o error en el montaje en los cireles, entre otros, se obtiene una desalineación en las planchas de impresión y por ende, la ubicación y la distancia entre centros de las siluetas impresas va ser incorrecta, por lo tanto, la calidad del producto final no va ser la requerida por el usuario. Cuando se presenta una desalineación en los rodillos, el operario con ayuda de una luz estroboscópica, se adentra en la máquina y observa el papel impreso que pasa a alta velocidad, de acuerdo a lo observado, el operario debe mover uno de los rodillos de forma manual en busca de la mayor exactitud con respecto a la imagen modelo. Lo que genera un alto grado de peligro para el operario y, además de no garantizar la medida correcta ya que es una operación basada en la capacidad del ojo humano.

En la revisión de la literatura realizada no se encontraron problemas similares al involucrado en este trabajo. En el mundo se trabaja actualmente en métodos de medición precisa que se utiliza para controlar y comprobar la calidad de impresión, es decir, medir el porcentaje de área de puntos durante el proceso de fabricación de la placa flexográfica, esto es de gran importancia para la mejora del proceso flexográfico y aumento en la calidad de impresión (Cao, Shen, & Qian, 2008). Otros autores han trabajado en la parte de la fabricación de anillos anilox para la impresión de medios tonos con una resolución de hasta 100 LPI (líneas por pulgada), esto permite la reproducción de un tono continuo monocromo a una imagen con full color, llegando a igual la calidad de una impresión litográfica (Dendge, 2014). Por otra parte el proceso de flexografía trabaja a velocidades por encima de los 400 m/min lo que genera incrementos en la temperatura de trabajo, esto hace que la tinta se caliente y pierda sus propiedades, como la viscosidad por ende puede influir en la calidad final de la impresión (Paper, Karlstads, & Karlstads, 2015) (Rentzhog, 2006) y (Żołek-Tryznowska, Izdebska, & Tryznowski, 2015) investigan la aplicación de tintas a base de agua sobre materiales recubiertos de polímero, donde las propiedades de la tinta cambian enormemente. En medicina, la flexografía es investigada con el fin de imprimir cultivos de células sobre sustratos poliméricos flexibles para la toma de bio-sensor, con esto poder analizar y detectar patógenos como virus y bacterias (Jpdlo, Pgvdoohk, & Hgx, 2013).

En este artículo se muestra un sistema de inspección visual automática capaz de identificar y dar solución al problema antes descrito, adquiriendo y procesando en tiempo real imágenes del proceso donde, por medio de procesamiento de imágenes, se obtienen datos necesarios para corregir la desalineación de los rodillos. Se realizaron dos visitas a la empresa Familia Sancela S.A, para conocer el proceso de flexografía e identificar todas las variables implicadas y caracterizar el problema de dicho proceso, además conocer específicamente cada procedimiento que realiza el operario para alinear los rodillos y obtener una muestra del proceso real. Luego de caracterizar el problema, por medio de visión artificial, tratamiento de imágenes y automatización

industrial se quiere dar solución a esta problemática de manera rápida y eficiente, y lograr con esto, disminuir la pérdida de papel y mejorar la calidad del producto final.

## 2 METODOLOGÍA

Después de conocer el proceso de flexografía realizado en Familia Sancela S.A, caracterizar el problema e identificar todas las variables importantes como son el ancho de la impresión, velocidad angular del rodillo donde está impregnado el molde a imprimir (cirel), velocidad del paso de papel y cantidad de colores, entre otros, se puede hacer una elección correcta del sensor óptico, lente, iluminación, requerimientos de procesamiento para el sistema de adquisición y cableado. Lo anterior está enfocado a los requerimientos del hardware. Respecto al software, es necesario un programa con la capacidad de procesar las imágenes a alta velocidad para esto se utilizó el lenguaje de programación C++, se ha utilizado este lenguaje puesto que se tiene conocimiento profundo en el desarrollo y arquitectura de este, por lo tanto se utilizó *Visual Studio®* y librerías gratuitas de *OpenCV* para el procesamiento de imágenes.

El proceso flexográfico de la empresa Familia Sancela S.A. está compuesto por dos rodillos de impresión o cireles, donde cada uno plasma sobre el papel una silueta diferente, y por consiguiente se obtiene un gráfico complementario al final del proceso. Por ejemplo, un árbol de navidad, donde un molde es la silueta del árbol de color verde y el otro molde son los adornos de color rojo, entre las dos figuras impresas se busca que la distancia entre centros sea siempre la misma, esta medida es determinada por una plantilla modelo. Para lograr esto, los dos cireles deben estar perfectamente sincronizados uno con respecto al otro, de lo contrario se obtendrá un error en la impresión final. En la fig. 1 se puede observar los pasos a seguir para resolver este problema en la etapa de visión artificial.

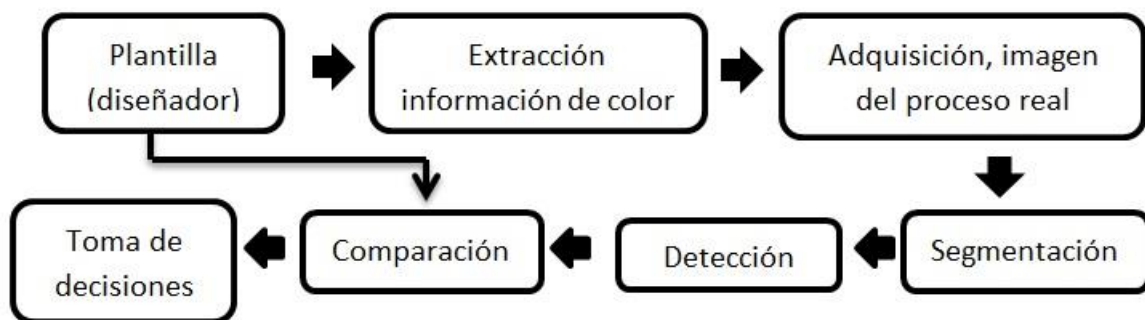


Fig. 1 Esquema de la metodología utilizada para dar solución al problema

### 2.1 Plantilla

A partir de una imagen proporcionada por el diseñador de la empresa, se utiliza para obtener información de color y distancia entre centros de cada una de las siluetas. En la Fig. 2 se observa una plantilla de un diseño específico, donde una silueta son las hojas y la otra, la fresa como tal. Con los mismos valores obtenidos de la plantilla de distancia e intensidad de color debe quedar la impresión final, de lo contrario, se dice que la impresión no cumple con los estándares de calidad deseados.

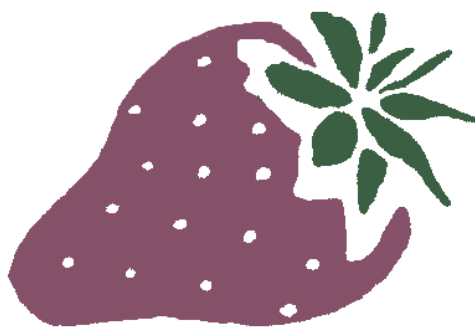


Fig. 2 Plantilla grafica de un diseño específico

## 2.2 Extracción información de color

Teniendo la plantilla suministrada por el diseñador, con la intensidad exacta de los colores antes adquiridos, se utiliza un método de clusterización llamado *K-means*. En la Fig 3 se observa la representación gráfica del método, donde se marca con una equis (x) el centro de intensidad. Todos los pixeles como tal de la imagen forman un conjunto  $M$  el cual es dividido en  $N$  grupo; el procedimiento general, es la búsqueda del pixel con la locación más óptima dentro de la suma de cuadrados de la agrupación, moviendo los pixeles de un grupo a otro. (Hartigan & Wong, 1979), es decir, de manera automática se adquieren los centros de intensidad de los colores presentes en la imagen, incluido el fondo. Primer color perteneciente a una de las siluetas, el segundo color se le atribuye a la otra silueta y un tercer color para el fondo. Evaluando el nivel de intensidad de cada pixel en el espacio de calor RGB, obteniendo un vector de tres posiciones, para el caso de la fresa se obtuvieron los siguientes centros de intensidad:

Tabla 1. Espacio de color

<i>Espacio</i>	<i>R</i> (red)	<i>G</i> (green)	<i>B</i> (blue)
<i>Diseño</i>			
Blanco	255	255	255
Purpura	134	82	105
Verde	59	95	69

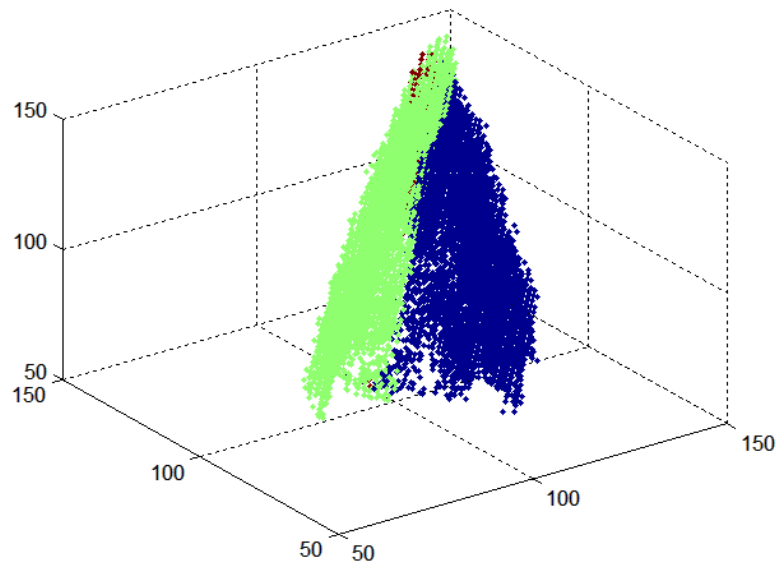


Fig. 3. K-means clustering

### 2.3 Adquisición y segmentación de la imagen real del proceso

A partir de una imagen real del proceso y con base a la información obtenida en pasos anteriores, se realiza una segmentación por color a la imagen adquirida, cada pixel de la imagen real es analizado y comparado con los centros de intensidad obtenidos de la imagen plantilla y se le asigna el color que tenga la distancia más cercana al a dicho centro de cada conjunto de color. En la Fig. 4 se puede observar el resultado de la segmentación.



A)

B)

Fig. 4. A) Imagen real B) Imagen segmentada

### 2.4 Identificación

Luego de obtener los datos de color, se procede entonces a individualizar cada una de las dos figuras o siluetas, en este caso: las hojas y el cuerpo de la fresa. Este proceso se realiza por medio de un algoritmo de comparación de plantillas llamado *template matching*, es un método utilizado para buscar y encontrar la ubicación de una imagen plantilla en una imagen más grande. Simplemente desliza la imagen plantilla sobre la otra imagen como en una convolución 2D y

compara la plantilla con un trozo de la imagen de entrada. Esto retorna una imagen en escala de grises donde cada pixel indica cuanto es el valor de la vecindad entre la plantilla y el trozo de la imagen grande. Si la imagen de entrada tiene un tamaño  $(W \times H)$  y la imagen plantilla un tamaño  $(w \times h)$ , la imagen resultante tiene como tamaño  $(W-w+1, H-h+1)$  (OpenCV, 2012).

Como se observa en la Fig. 5 cuando se satura la imagen por la suma de la vecindad, se crea un destello en color blanco, a partir de este punto se hallan los máximos pudiendo formar así mínimos y así se puede encerrar entonces en un rectángulo.

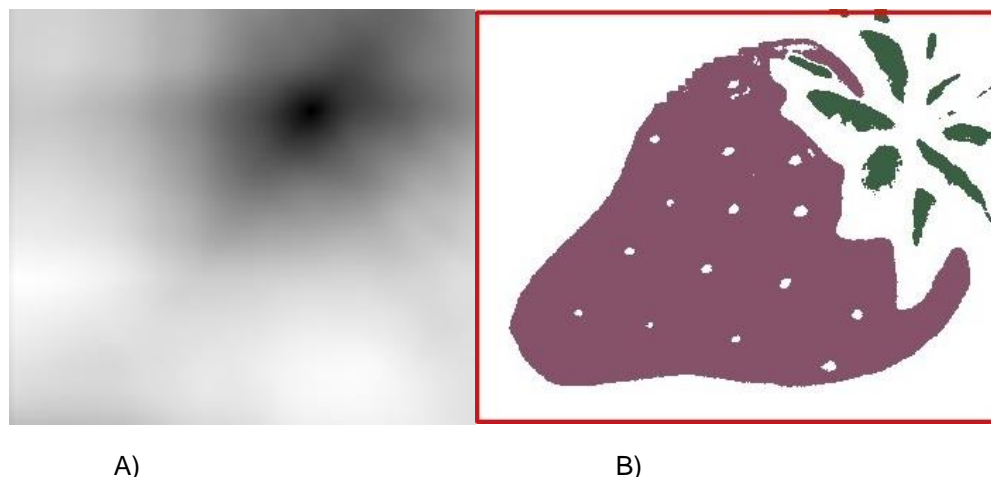


Fig. 5. A) Imagen saturada B) Imagen normalizada

Para este caso en especial, con la imagen segmentada correctamente se hace una búsqueda de las dos siluetas, se encierran en un rectángulo y se halla la distancia y el ángulo entre ambas, de manera automática de igual manera que en la imagen plantilla.

## 2.5 Comparación

Con los datos de la imagen plantilla y la imagen adquirida se hace una comparación, es decir, una resta entre las dos distancias entre centros de las dos siluetas y se identifica un valor de desfase de una con respecto a la otra. Este valor numérico se da en pixeles, por medio de las especificaciones de la cámara, se conoce el tamaño real del pixel, se hace una conversión a milímetros y se sabe entonces que distancia debe de recorrer el actuador que se ubicaría en el rodillo. En la Tabla 2 se pueden ver los valores arrojados después de realizada la comparación.

Tabla 2. Comparación

Datos	Distancia (pixeles)	Angulo (grados)	Corrección distancia (pixeles)	Corrección Angulo (grados)
Diseño				
Imagen plantilla	29.67	-23	--	--
Imagen real	430.57	-28	200	5

## 2.6 Toma de decisiones

Aunque esta etapa no está implementada aún, el diseño del proceso exige de un sistema de automatización, el cual estaría compuesto por un actuador y un sistema de procesamiento, por ejemplo un PLC que hace posible un acondicionamiento de la distancia entregada en pixeles a

una medida de 0 a 10V, interpretable por el actuador y así garantizar que la calibración del proceso sea de manera automática, rápida, precisa y segura.

### 3 RESULTADOS

A partir del diseño original, el procesamiento de imágenes, segmentación, identificación de siluetas, extracción automática de información como distancia entre centros y ángulo de ambas figuras y por ende comparados estos datos con la imagen obtenida en tiempo real, se obtiene los siguientes resultados, véase Fig. 6-8.



Fig. 6. A) Imagen real, B) Imagen plantilla individualizada, C) Imagen plantilla segmentada e individualizada, D) datos de imagen real y plantilla y, resultado de la comparación

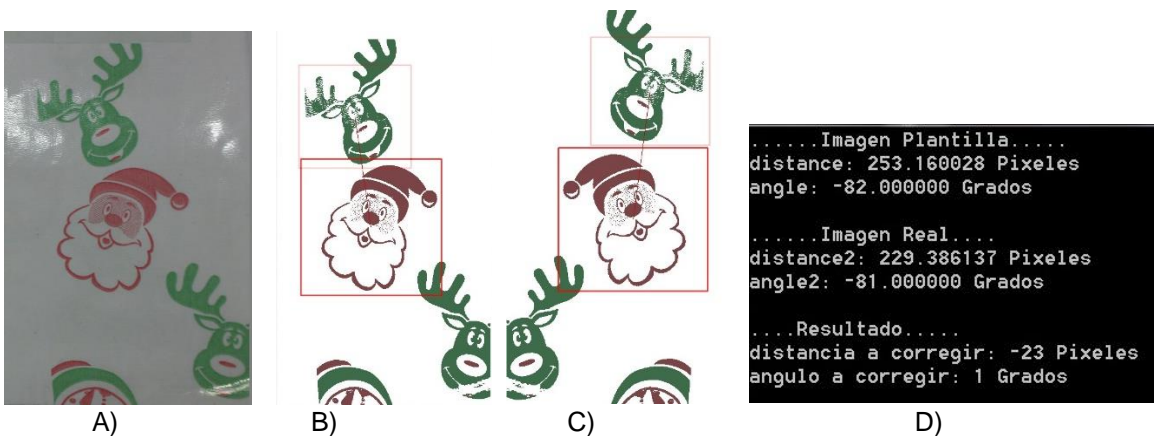


Fig. 7. A) Imagen real, B) Imagen plantilla individualizada, C) Imagen real segmentada e individualizada, D) Datos de imagen real y plantilla y, resultado de la comparación

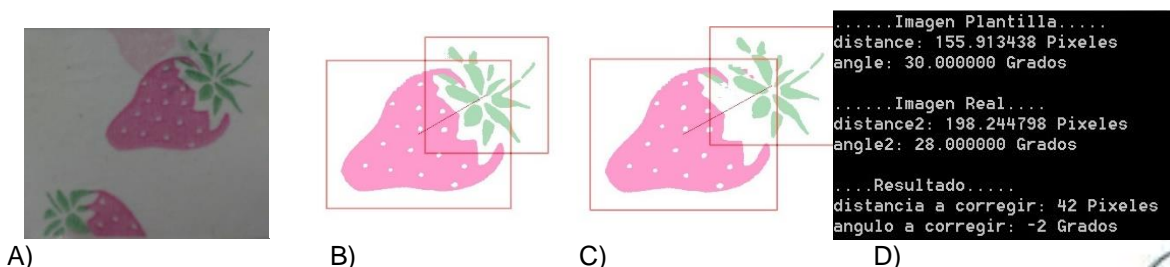


Fig. 8. A) Imagen real, B) Imagen plantilla individualizada, C) Imagen real segmentada e individualizada, D)

datos de imagen real y plantilla y, resultado de la comparación

Este proceso es iterativo y dependiendo del offset permitido entre la imagen plantilla y el proceso real se toman decisiones. En la tabla 2 se observan los datos obtenidos con base al procesamiento de imágenes y cuál es la corrección a realizar.

Tabla 3. Resultados

<i>Datos</i>	<i>Distancia (pixeles)</i>	<i>Angulo (grados)</i>	<i>Corrección distancia (pixeles)</i>	<i>Corrección Angulo (grados)</i>
<i>Diseño</i>				
Ponqué plantilla	112.07	-88	--	--
Ponqué 1	160.04	-87	47.97	5
Ponqué 2	157.9	-88	45.83	0
Navidad plantilla	253.16	-82	--	--
Navidad 1	229.38	-81	23.78	1
Navidad 2	233.5	-82	19.66	0
Fresa plantilla	155.91	30	--	--
Fresa 1	198.24	28	42.33	2
Fresa 2	204.07	30	42.33	0

#### 4 CONCLUSIÓN

Como resultado de la investigación realizada, es posible concluir que por medio de métodos eficientes en el procesamiento de imágenes, se obtienen datos suficientes con los cuales el sistema será capaz de mover actuadores ubicados en los rodillos de manera automática arreglando así la impresión final y dejando como resultado una impresión de alta calidad, y un ahorro de papel, mejorando y aumentando la producción del proceso y evitando riesgos en la seguridad del operario.

En trabajos futuros, se realizara la implementación completa del sistema de inspección visual automática además de integrar otros posibles problemas al sistema como la detección de formas irregulares debido a una mala impresión de tinta.

#### 5 REFERENCIAS

- [1] Arrighi, T., Rojas, J. E., Soto, J. C., Madrigal, C. a, & Londono, J. a. (2012). Recognition and classification of numerical labels using digital image processing techniques, 252–260. doi:10.1109/STSSIVA.2012.6340592
- [2] Batchelor, B. G., & Whelan, P. F. (2002). Intelligent vision systems for industry. *City*. Retrieved from <http://www.citeulike.org/group/2706/article/1389354>
- [3] Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2007). *Digital Image Processing* (p. 976). doi:10.1049/ep.1978.0474
- [4] H. Kirmann. (2005). *Industrial Automation*, 1–36. doi:10.1016/B978-0-12-800939-0/00001-2
- [5] Kanungo, T., Mount, D. M., Netanyahu, N. S., Piatko, C. D., Silverman, R., & Wu, a. Y. (2002). An efficient k-means clustering algorithm: analysis and implementation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 24(7), 881–892. doi:10.1109/TPAMI.2002.1017616
- [6] Kipphan, H. (2001). *Handbook of Print Media. Handbook of Print Media* (p. 1173). doi:10.1007/978-3-540-29900-4
- [7] Newman, T. S., & Jain, A. K. (1995). A Survey of Automated Visual Inspection. *Computer Vision and Image Understanding*. doi:10.1006/cviu.1995.1017



- [8] Peterson, C. (2001). How it works: the charged-coupled device, or CCD. Retrieved from <http://legacy.jyi.org/volumes/volume3/issue1/features/peterson.html>
- [9] Sonka, M., City, I., Hlavac, V., & Boyle, R. (2013). *Image Processing , Analysis , and Machine Vision* (p. 856). Cengage Engineering.
- [10] Venkatesan, S., & Karnan, M. (2009). Industrial Automation. *Articlesbase.com*, pp. 1–36. doi:10.1016/B978-0-12-800939-0/00001-2
- [11] Cao, B., Shen, X., & Qian, Q. (2008). Research of flexographic printing dot measurement instrument based on adaptive background method. *9th International Conference on Computer-Aided Industrial Design and Conceptual Design: Multicultural Creation and Design - CAIDCD 2008*, 623–627. <http://doi.org/10.1109/CAIDCD.2008.4730644>
- [12] Dendge, R. (2014). Minimizing the Print Quality Limitations During Selection of Anilox Roll Line Frequency in Flexographic Half Tone Printing, 107–111.
- [13] Hartigan, J. a., & Wong, M. a. (1979). A K-Means Clustering Algorithm. *Journal of the Royal Statistical Society*, 28(1), 100–108. <http://doi.org/10.2307/2346830>
- [14] Jpdlo, P., Pgvdoohk, F. R. P., & Hgx, X. (2013). 2Swlpl ] Lqj D 3Ro \ Gphwk \ Ovlor [ Rqh 3“ 06 Lqwr ) Oh [ Rjudsklf 3Ulqwlqj 3Urfhvv Iru 5 ),” % Lrphglfdo ’ Hylfhv Dqg & Hoo & Xowxuhv, 5–8.
- [15] OpenCV. (2012). The OpenCV User Guide. *OpenCV*.
- [16] Paper, C., Karlstads, S., & Karlstads, M. L. (2015). Effects of elevated temperature on flexographic printing, (October).
- [17] Rentzhog, M. (2006). *Water-Based Flexographic Printing on Polymer-Coated Board. Technology*.
- [18] Żołek-Tryznowska, Z., Izdebska, J., & Tryznowski, M. (2015). Branched polyglycerols as performance additives for water-based flexographic printing inks. *Progress in Organic Coatings*, 78, 334–339. <http://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2014.07.015>



## SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA DE UNA TURBINA TIPO HÉLICE DE 2KW DE POTENCIA

Juan Fernando Zapata Cuartas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Ingeniería Electromecánica y Mecatrónica, Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín, Colombia.*

correo-e: [juanfer-15@hotmail.com](mailto:juanfer-15@hotmail.com)

**Resumen:** En este trabajo se realiza la validación numérica, mediante simulaciones computacionales, para una turbina tipo hélice de 2kW existente, con el fin de conocer la eficiencia de las correlaciones teóricas disponibles en la literatura.

El proyecto es desarrollado por el grupo MAT y ER-CADD del ITM, en conjunto con el grupo GEA de la Universidad de Antioquia, y la simulación se lleva a cabo en el laboratorio de modelado del ITM con el software ANSYS CFX 16.0®. El diseño teórico de la turbina tipo hélice es: 2 kW de potencia generada, 3 álabes, con un salto de 4 m y un caudal de  $0,12 \text{ m}^3/\text{s}$  de agua.

Para este trabajo se diseñaron 2 geometrías diferentes. La primera geometría obedece al diseño original del sistema que quiere ser instalado, y la segunda es un diseño teórico, más apropiada para la aplicación de las ecuaciones matemáticas para el análisis fluido-dinámico.

Teóricamente se calcula un torque de 21,2 Nm para las condiciones iniciales anteriormente mencionadas. Para la primera geometría se encuentra que existe un error del 20% aproximadamente, respecto al mayor valor del torque obtenido (17.5 Nm) a partir de un estudio de malla realizado. Para la segunda geometría se obtiene un error del 5% (20.3 Nm).

Finalmente se encuentra que los resultados obtenidos son coherentes, ya que existe una correlación entre los resultados teóricos y los obtenidos a partir del análisis computacional. Queda como continuación al estudio de la turbina tipo hélice, la validación del modelo numérico obtenido, respecto al funcionamiento real (CFD vs experimental).

**Palabras claves:** Ansys CFX 16, CFD, Turbomaquinaria, turbina – hélice, Kaplan.

### **Abstract:**

In this paper the numerical validation is performed by computer simulations for a propeller type turbine 2kW existing, in order to know the efficiency of the theoretical correlations available in the literature.

The project is developed by the MATyER-CADD group from ITM, in conjunction with the GEA group at the University of Antioquia, and the simulation is performed in the laboratory ITM modeling with ANSYS CFX 16.0®software. The theoretical design of the propeller type turbine is: 2 kW of power generated, 3 blades, with a jump of 4m and a flow rate of  $0.12 \text{ m}^3/\text{s}$  of water.

For this work two different geometries were designed. The first follows the original design geometry of the system that wants to be installed, and the second is a more suitable for the application of the mathematical equations for the fluid-dynamic analysis theoretical design.



Theoretically a torque of 21.2 Nm for the initial conditions mentioned above is calculated. For the first geometry it is that there is an error of about 20% compared to the higher value of torque obtained (17.5 Nm) from a study conducted mesh. The second geometry for an error of 5% (20.3 Nm) is obtained.

Finally it is found that the results are consistent, since there is a correlation between the theoretical results and those obtained from the computational analysis. The study is a continuation of the propeller type turbine, validation of the numerical model obtained from the actual operation (CFD vs experimental).

## 1 INTRODUCCIÓN

Las turbomáquinas hidráulicas son máquinas rotativas, las cuales realizan la transferencia de energía entre un fluido que circula y un rotor conformado por álabes o aletas. Si el fluido es quien cede energía al rotor se le conoce como turbina. [1]

Actualmente, se están realizando grandes investigaciones y mejoras continuas en sistemas de hidroeléctricas, debido a que se perfilan como las fuentes de energía eléctrica más viables, ya que no padecen los problemas de los generadores a partir de combustibles fósiles o nucleares [2].

Con el fin de mejorar estos sistemas, y por ende mejorar el desarrollo social, la salud y la educación de pequeñas poblaciones que carecen de energía eléctrica, el grupo MATyER-CADD del ITM se está enfocado en la investigación de las turbinas para pequeñas centrales hidroeléctricas-PCH´sbuscando procesos de optimización y de esta forma contribuir con la mejora de esta fuente de generación renovable de energía eléctrica.

El análisis CFD (Computational Fluid Dynamic), de turbomáquinas es de vital importancia en el área de ingeniería, ya que permite conocer y simular condiciones de flujo en una turbomáquina y de esta manera llevar a cabo un análisis del comportamiento, tanto del fluido, como de la turbina en estudio antes de su construcción, permitiendo, por medio de una configuración, generar datos del funcionamiento como velocidad de rotación de la hélice, potencia y torque generados.

Ya que se desea realizar un comparativo entre los resultados que se han obtenido desde el aspecto experimental y la parte de simulación, es necesario conocer el funcionamiento y trabajo realizado por la turbina, por tal motivo es necesario realizar la simulación de dicho sistema, creando unas condiciones y unos parámetros similares a los reales, dado que se requiere una comparación y validación de resultados.

## 2 METODOLOGÍA

Este proyecto está estructurado en 3 partes fundamentales: El diseño del modelo virtual de la turbina, la simulación del comportamiento hidrodinámico del sistema, y el análisis y discusión de los resultados. Este procedimiento se lleva a cabo para las 2 geometrías creadas.



## 2.1 DISEÑO VIRTUAL DE LAS TURBINAS.

Para el presente proyecto se crean 2 diseños para la simulación de una turbina tipo hélice con las características y dimensiones mostradas en la tabla 1:

CARACTERÍSTICAS	VALORES	UNIDADES
Caudal	0,1214	m <sup>3</sup> /s
Velocidad de	900	rpm
Cabeza	4	m
Torque	21,22	Nm
Velocidad fluido	13,75	m/s
Angulo de ataque	15	grados

Tabla 1. Características geométricas y de operación de la hélice. Fuente: Grupo GEA Universidad de Antioquia. [4]

Los diseños que se crearon pertenecen a un modelo teórico, en donde las ecuaciones dan un mayor porcentaje de exactitud, respecto al cálculo de las ecuaciones de Navier-Stokes; el otro diseño pertenece a la geometría original que se piensa instalar.

En la figura 1 y figura 2 es posible observar las geometrías que se generaron para realizar el análisis fluido- dinámico para la hélice.

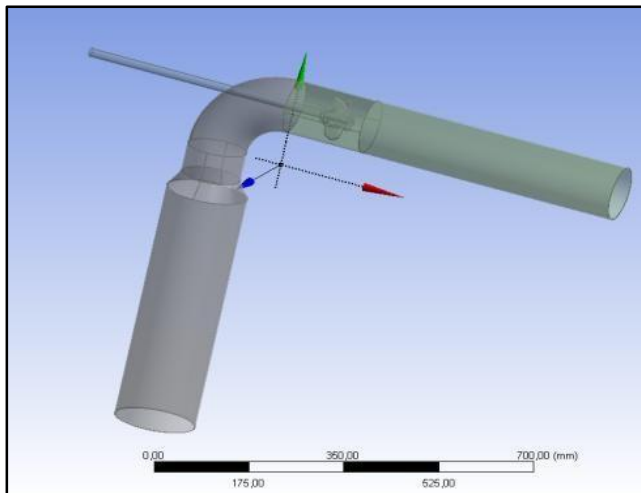


Figura 1. Geometría original.

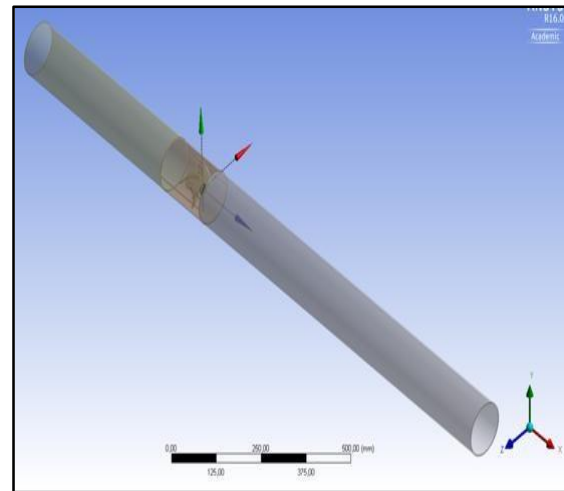


Figura 2. Geometría teórica.

El modelo original fue entregado por el grupo GEA de la universidad de Antioquia, creado en el software SolidWorks, en el formato .IGES, con el fin de exportarlo al software ANSYS CFX 16 para llevar a cabo el análisis fluido-dinámico del sistema. El modelo teórico se crea a partir de la geometría original, en el laboratorio de modelado del ITM, utilizando el software ANSYS.

Para el análisis hidrodinámico del sistema, solo se requiere el volumen de fluido, ya que es el único cuerpo considerado en el análisis (CFX). El volumen de la turbina, que corresponde al sólido, no se considera en este trabajo, ya que este nos permite conocer comportamientos mecánicos en el sólido, que para este caso no son necesarios. Por esto, se procede a realizar una serie de operaciones booleanas, con el fin de sustraer y eliminar el volumen del sólido, dejando como cuerpo de trabajo el volumen externo, es decir, el fluido. Es importante verificar las condiciones de frontera, con el fin de que la hélice quede definida como fluido.

## 2.2 DISCRETIZACIÓN DE LA GEOMETRÍA

Para la discretización de la geometría, es de vital importancia conocer y utilizar el Método de Volúmenes Finitos (MVF), ya que permite generar una división espacial del dominio usando un mallado para conservar cantidades relevantes tales como masa, momento y energía [3]. Para este procedimiento es usado el módulo "MESH", del software Ansys CFX®16.0; en este módulo se genera una discretización del volumen total en volúmenes más pequeños, los cuales permiten evaluar las ecuaciones de fluidos de Navier-Stokes.

Para generar estos volúmenes finitos del fluido, es necesario la aplicación de métodos avanzados de mallado que permitan obtener dicha discretización, cumpliendo con los parámetros que facilitan la convergencia de la simulación. Los parámetros más relevantes para el mallado son: la oblicuidad, la relación de aspecto y la calidad ortogonal.

Para cada geometría se realiza el proceso de mallado, obteniendo como resultado el modelo discretizado con elementos de volumen tetraédricos. Es realizado un estudio de malla para cada una, a partir de la variación de las medidas de tamaño máximo, la relevancia y la tasa de crecimiento de la inflación. Como paso final para este procedimiento, se nombran las fronteras, entradas y salidas del fluido, con el objetivo de identificarlas fácilmente en el módulo de análisis al momento de realizar la configuración respectiva.

## 2.3 ANÁLISIS COMPUTACIONAL

Por medio del módulo CFX, en el software ANSYS CFX 16, se definen interfaces de trabajo, así como velocidad de entrada de fluido, que para este caso son 900 rpm, presión de entrada, que en el presente proyecto son 5.61 PSI; además se define el modelo de turbulencia  $k-\epsilon$  para la simulación e interfaces de periodicidad rotacional, de esta forma se obtiene el torque generado en eje de la turbina, y por ende la potencia.

## 3 RESULTADOS

A continuación, en las tablas 2 y 3, se muestran los resultados obtenidos a partir de la simulación, en donde se puede visualizar el comportamiento del torque, respecto a la variación del número de elementos de la discretización del dominio.



# Elementos	Mesh Max	Torque
2.324.445	0,906	-16,25
1.966.571	0,899	-16,20
1.824.694	0,895	-16,29
1.638.669	0,895	-16,36
1.356.476	0,899	-16,54
1.202.443	0,898	-16,86
588.435	0,908	-17,48

Tabla 2. Torques para geometría original.

Mesh Elements	Mesh Max	Torque
349.718	0,604	-18,37
1'681.783	0,842	-19,68
1'869.906	0,850	-20,06
1'852.142	0,897	-20,32
1'900.077	0,872	-20,10
2'422.869	0,914	-20,08

Tabla 3. Torques para geometría teórica

Para el análisis final se trabaja con el mallado que generó 2'324.445 elementos, ya que esta malla, además de tener unas métricas que cumplen con las expectativas, permite un análisis más detallado en cada zona de la geometría en estudio, lo que permite obtener una simulación mucho más fiable y exacta.

A partir del torque calculado en la turbina, en el caso de estudio mencionado anteriormente, se obtiene la potencia que genera en el eje, y se muestra en la siguiente ecuación:

$$P = T \times W \text{ [kW]}; P = \frac{16.25[\text{Nm}] \times 900[\text{rpm}]}{1000} = 1.46[\text{kW}] \quad (1)$$

Ecuación 1. Potencia generada en el eje de la turbina.

En donde P es la potencia, T es el torque y W es la velocidad de rotación de la turbina.

Además de esto se obtiene que el error absoluto que existe entre el torque calculado mediante el análisis computacional, y el calculado por teoría, es del 31%.

$$T = \frac{P}{W}; T = \frac{2\text{kW}}{900\text{rpm}} = 21.22\text{Nm}$$

Ecuación 2. Torque calculado.

$$\frac{\text{Valor Max.} - \text{Valor Min}}{\text{Valor Max}} = 31\%$$

Ecuación 3. Error absoluto.

## 4 CONCLUSIÓN

Se encuentra que la literatura que se encuentra para el diseño de las turbinas tipo hélice está dentro de los rangos esperados, ya que al realizar la simulación para la geometría teórica, se obtienen valores cercanos al torque calculado teóricamente, ya que el error absoluto, es de 5% aproximadamente. Además, se pudo obtener el valor de la potencia generada en el eje de la turbina que es de 1,46 kW, la cual es calculada a partir del torque generado en la malla con mayor número de elementos a una velocidad de rotación de 900 rpm.

## 5 REFERENCIAS

[1] Fernández, P. Turbinas hidráulicas. Universidad de Cantabria. Dpto de ingeniería eléctrica y energética. Cantabria, España.

- [2] Velez, S., Sierra, J. (2015). Análisis numérico de la influencia del ángulo de apertura de la cresta del cangilón en el torque generado por una turbina Pelton. Instituto TecnológicoMetropolitano. Medellín, Colombia. 1 – 8.
- [3] Sanchez, C., Cardona, C., Hincapié, D. (2015). Metodología de diseño y simulación hidrodinámica de una microturbina tipo kaplan usando herramientas computacionales. Instituto Tecnológico Metropolitano. 1 – 7.
- [4] Modelación geométrica. Capítulo 3. 44 - 86.

## SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA DE UNA TURBINA DE FLUJO CRUZADO TIPO MICHELL BANKI DE 1.5 KW

Rodas. D<sup>1</sup>, Sierra. J<sup>1</sup>, Casas. J<sup>1</sup>, Ardila. J<sup>1</sup>, Chica. E<sup>2</sup>, Agudelo. S<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Mecatrónica y Electromecánica, Instituto Tecnológico Metropolitano-ITM, Medellín, Colombia*

<sup>2</sup>*Departamento de ingeniería Mecánica, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia*

correo-e [dalejandrorodass@gmail.com](mailto:dalejandrorodass@gmail.com), [jorgesierra@itm.edu.co](mailto:jorgesierra@itm.edu.co), [juliocasas@itm.edu.co](mailto:juliocasas@itm.edu.co), [juanardila@itm.edu.co](mailto:juanardila@itm.edu.co), [edwin.chica@udea.edu.co](mailto:edwin.chica@udea.edu.co), [sergio.agudelo@udea.edu.co](mailto:sergio.agudelo@udea.edu.co)

**Resumen:** Este artículo presenta la simulación computacional en ANSYS Workbench® V16.2 de una turbina de flujo cruzado tipo Michell Banki existente de 1.5 kW. El diseño teórico de la turbina corresponde a una geometría compuesta por 26 álabes y unas condiciones de operación de 10 m de salto neto, velocidad de giro de 400 rpm y un caudal de 0.0156 m<sup>3</sup>/s de agua para una potencia máxima generada de 1.5 kW. La geometría de ensamble de la turbina y el volumen de agua se realizaron en el programa Solidworks® V 2014. Simulaciones computacionales inestacionarias bajo un modelo de turbulencia bifásico homogéneo permitieron obtener los campos de velocidad, presión y fracción volumétrica de agua-aire, los cuales se utilizaron para calcular el torque teórico generado en el eje del rotor de la turbina. Se encontró que el torque generado mediante las simulaciones computacionales en comparación con el torque teórico presenta un error cercano al 55%, debido principalmente a la distorsión que genera el eje del rotor en el flujo. Además, esta reduce la energía que puede ser absorbida por los alabes de la segunda etapa, la cual representa normalmente el 25% del torque generado en el rotor. Recomendaciones para el diseño y optimización de la geometría de turbinas de flujo cruzado tipo Michel Banki son establecidas como resultado de este estudio numérico.

**Palabras claves:** ANSYS 16, CFX, CFD, Turbo maquinaria, turbina – flujo cruzado, Michell Banki.

**Abstract:** This paper present a computational simulation at ANSYS Workbench® 16 at a Mitchell Banki cross flow turbine, which generates 1.5kW. Turbine design has 26 impellers and works with 10m head, 0.01556m<sup>3</sup>/s water flow rate and 400rpm. Turbine assembly geometry and water volume where made at Solid Works ® V2014. Transient analysis using a biphasic homogenous turbulence models permit find velocity, pressure, and water-air volume fraction, which were used for calculate theoretic torque generated by the turbine. Thus where find simulated torque has 55% error, because the flux distortion produced by the turbine axis. So this reduces the energy that can be transformed at the second stage, which is 25% of generated total torque at the rotor. Recommendations for geometry design and optimization for cross flow turbines will be given as a result of this work.

**Key words:** ANSYS 16, CFX, CFD, Turbo machinery, cross flow turbine, Michell Banki.



## 1 INTRODUCCIÓN

La necesidad de energías limpias y la riqueza hídrica de nuestro país ha impulsado la explotación de energía hidráulica. Existen en la actualidad diferentes tipos de turbinas hidráulicas, las cuales son implementadas según las condiciones de operación como el salto neto y el caudal. Las turbinas Michell Banki (MB) son de fácil construcción en comparación con otro tipo de turbinas hidráulicas, no requieren grandes saltos o grandes caudales [1]. Este artículo presenta la simulación computacional de una turbina de flujo cruzado MB con el fin de establecer un modelo de simulación computacional y mejorar la eficiencia hidráulica de la turbina. Debido a que la turbina MB trabaja con flujo cruzado (dos etapas), siendo esta una turbina de reacción, el rodete no se encuentra inundado de agua y la presión de trabajo es la atmosférica, esto genera mayor complejidad al realizar un análisis numérico computarizado.

## 2 METODOLOGÍA

El modelo CAD de la turbina, compuesto por el inyector, el rotor y la carcasa se realizó en el software comercial Solidworks V2014®. Posteriormente, en Solid Edge ST7® mediante operaciones booleanas de extracción se obtuvo el volumen bifásico de agua y aire, contenido al interior del modelo, el cual se considera como el volumen de control de la simulación, este volumen se exporta como IGES. Este archivo se importó por medio del DESING MODELER de ANSYS WORKBENCH® V16.2; los demás procesos a seguir se realizaron en este mismo software. La discretización (mallado) (ver Fig1.), se desarrolló en el módulo MESHING®, garantizando calidad e independencia del mallado, según parámetros establecidos como la relación de aspecto, la calidad del elemento, y la oblicuidad; siendo este último parámetro el más importante. La generación de las condiciones de frontera (ver Fig1.) para cada uno de los dominios y la solución de las ecuaciones de cantidad de movimiento y continuidad, las cuales caracterizan el comportamiento del fluido difásico al interior de la turbina, se resolvieron en el Módulo CFX, utilizando el modelo de turbulencia Shear Stress Transport-SST bajo un marco de referencia transitorio.

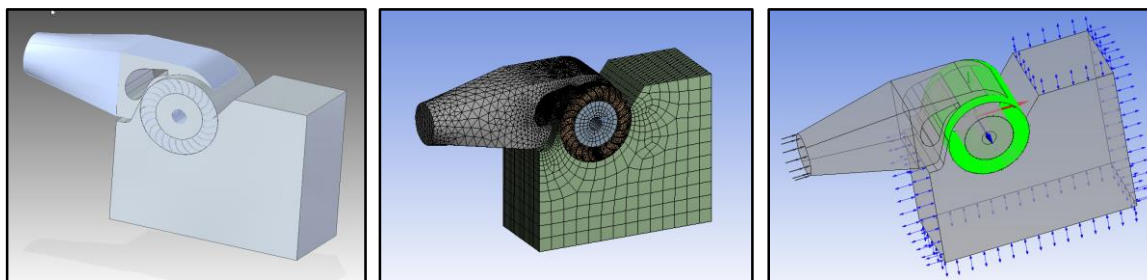


Figura 1. Generación volumen de control, volumen del fluido, malla, y condiciones de frontera, respectivamente.

## 3 RESULTADOS

Teniendo en cuenta que la turbina MB extrae la energía cinética del agua y no la potencial, ya que el inyector convierte la cabeza en velocidad, con esto se esperaba un torque de 37.5Nm y una potencia neta de 1.5kW a 400 rpm; Ya que la interferencia del eje reduce la energía del flujo de agua en dirección a la segunda etapa, el torque entregado por la simulación es de 13.7Nm y



una potencia neta de 0.6kW , esto es debido en primera instancia a las pérdidas generadas en el inyector y la energía perdida al chocar el flujo de agua con el eje, como se puede observar (ver Fig. 2)., la cual se muestra la fracción de volumen de agua en cada uno de los dominios y su localización dentro de él, así mismo se observa la dirección del flujo.

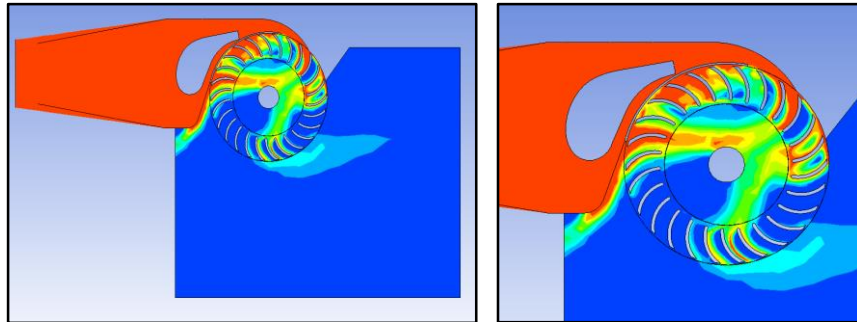


Figura 2. Resultados fracción de volumen de agua (rojo para 100% de agua y azul para 100% de aire).

## CONCLUSIÓN

El modelo generado en CFX es funcional para simular este tipo de turbinas, como se puede observar en la dirección del flujo. Se debe tener en cuenta que para algunas condiciones de frontera se necesita calcular parámetros más complejos y determinantes en la eficiencia de la turbina, estos pueden ser una de las causas por las cuales no se alcanza el torque esperado, además que las turbinas tipo MB alcanzan un factor máximo de eficiencia de 0.86[2], para este caso en el diseño, el eje cruza la dirección del flujo, esto también es un factor determinante en la eficiencia de la turbina, porque el flujo que debería ir a la segunda etapa se dirige hacia la carcasa, generando así un torque contrario.

## 4 REFERENCIAS

- [1] Velasquez, L., & Enriquez, W. (2012). Analisis de la influencia del porcentaje de apertura del alabe director sobre la potencia hidraulica de un pico generador de flujo cruzado mediante analisis numerico en software CFD. Medellin: Facultad de Ingenierias UdeA.
- [2] Sammartano, V., Aricò, C., Carravetta, A., Fecarotta, O., & Tucciarelli, T. (2013). Banki-Michell optimal design by computational fluid dynamics testing and hydrodynamic analysis. *Energies*, 2362-2385.

## COMBUSTIBLES DE TERCERA GENERACIÓN PROVENIENTE DE ALGAS

Nancy Montes Valencia<sup>1</sup>, Ismael Rivera Madrid<sup>1</sup>, Marlon R.Fulla<sup>1</sup>, Juan Luis Palacio<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Institución Universitaria Pascual Bravo, Calle 73 No.73<sup>a</sup>-226, Medellín, Colombia

[nmontes@pascualbravo.edu.co](mailto:nmontes@pascualbravo.edu.co) , [ismael.rivera@pascualbravo.edu.co](mailto:ismael.rivera@pascualbravo.edu.co) ,  
[mrfulla@pascualbravo.edu.co](mailto:mrfulla@pascualbravo.edu.co), [jlpalaci@pascualbravo.edu.co](mailto:jlpalaci@pascualbravo.edu.co).

**Resumen:** En este siglo la humanidad afronta una grave problemática debido al aumento de la demanda energética mundial, agotamiento de los combustibles fósiles, incremento del precio del petróleo y las dificultades ambientales causadas por los gases de efecto invernadero, la contaminación local del aire y el calentamiento global . Durante muchas décadas los combustibles fósiles han sido la principal fuente energética, sin embargo, no se han descubierto nuevos yacimientos petroleros de gran importancia o impacto en la producción mundial, la Agencia Internacional de la Energía (AIE) señala la necesidad de desarrollar tecnología que sustituya el uso de petróleo, ya que para el 2020 pronostica la disminución de la producción del petróleo convencional.

Los biocombustibles son una alternativa promisoría de los combustibles fósiles, específicamente los lípidos de las micro-algas que pueden ser usados para producir combustibles líquidos, los cuales pueden ser extensivamente usados para el transporte. Estos presentan otra ventaja que es la habilidad de actuar como una herramienta para combatir las emisiones de CO<sub>2</sub>, porque tienen la capacidad de ser una fuente de fijación del CO<sub>2</sub> y convertirlo en biomasa vía fotosíntesis a una velocidad más alta que los cultivos convencionales. Por tanto en este artículo se presentan las etapas involucradas en la producción de biocombustibles a partir de algas (cultivo, recuperación de la biomasa, extracción de los lípidos y transesterificación). También se realizó una búsqueda del estado actual de esta tecnología la cual se encuentra en escala piloto porque aún no se han optimizado los parámetros de operación, para maximizar la productividad y reducir costos en todas las etapas de producción del biodiesel.

**Palabras Clave:** combustibles fósiles, biocombustibles, algas, contaminación.

**Abstract:** In this century humankind confront a serious problematic due to the increase of the energetic world demand, depletion of the fossil fuels, increase of the oil price and the environmental difficulties caused by the greenhouse gases, the local pollution of the air and the global warming. During many decades the fossil fuels have been the main energetic source, however, new oil deposits of great importance or that affects the world production has not been discovered, the International Energy Agency (AIE) indicates the need to develop technology that replaces the use of oil, in 2020 is predicted the decrease of the petroleum conventional.

Biofuels are a promising alternative of the fossil fuels, specifically lipids of the micro-algae that can be used to produce liquid fuels, which can be extensively used for transport. They exhibit another advantage like their ability to act as a tool to combat CO<sub>2</sub> emissions, because they have capacity for being a source of CO<sub>2</sub> fixation and convert it into biomass by photosynthesis at a speed higher than conventional crops. Therefore, in this paper are showed the stages involved



in the production of biofuel from algae (cultivation, biomass recovery, extraction of lipids and transesterification). Also, was realized a review of actual state of this technology founding that It is in pilot scale because operating parameters are not yet optimized to maximize productivity and reduce costs of all stages of production of the biodiesel.

**Key words:** fossil fuels, biofuels, algae, pollution.

## 1 INTRODUCCIÓN

El uso de combustibles fósiles es insostenible debido a los gases de efecto invernadero asociados y a la disminución de las fuentes fósiles [1]. Existe una fuerte necesidad de encontrar fuentes de energías alternativas, renovables y ambientalmente compatibles para conservar el actual estilo de vida [2]. Los biocombustibles son una alternativa promisoría para la producción de combustibles fósiles. Estos se clasifican en biocombustibles de primera generación que pueden ser producidos de granos, caña de azúcar y aceites vegetales; sin embargo ante la creciente demanda de estos el riesgo del desplazamiento de los cultivos alimenticios debido a los cultivos energéticos es latente [3].

Como solución a este problema surgen los biocombustibles de segunda generación, producidos a partir de materias primas vegetales no alimenticias, como rastrojos de la producción agrícola o semillas no comestibles; no obstante similar al caso anterior pueden competir con los cultivos de alimentos por la disponibilidad de la tierra [4]. Por lo tanto aparece un creciente interés en el desarrollo de biocombustibles de tercera generación obtenidos de microalgas, las cuales acumulan grandes cantidades de lípidos que son extraídos, procesados y refinados para combustibles de transporte. Una característica importante es la habilidad para usar eficientemente el CO<sub>2</sub> y no presenta competencia con los cultivos de alimentos [2] y [5].

## 2 METODOLOGÍA

Se realizó una búsqueda bibliográfica de las etapas que hacen parte de la producción del biodiesel a partir de microalgas (cultivo, recolección o cosecha de la biomasa, extracción del aceite de la biomasa, reacción de transesterificación) analizándose diferentes condiciones, variables o parámetros que inciden en su productividad y el impacto ambiental.

Las condiciones generales para un cultivo de microalgas son: luz solar, dióxido de carbono como fuente de carbono, pH, oxígeno disuelto, nutrientes (nitrógeno y fósforo), agua dulce o salada (dependiendo del tipo de alga). Con el fin de proporcionar buenas condiciones para el crecimiento de la mayoría de las especies de algas una temperatura entre 20-35 °C es la adecuada [1] y [3]. A continuación se describe cada una de las fases del proceso de obtención de biodiesel.

### 2.1. El cultivo de microalgas

Se ha realizado por medio de dos métodos: cultivo abierto y cerrado. El primero es un estanque artificial, una piscina descubierta y expuesta al sol. La concentración en biomasa se reduce cuando la agitación es inadecuada y si hay baja luminosidad se afecta la productividad [6]. Además se presentan otras desventajas como la evaporación, la necesidad de grandes extensiones de terreno y exposición a contaminación por parte de organismos heterótrofos de rápido crecimiento y/o plancton pastoreador [7], transferencia limitada de CO<sub>2</sub> al cultivo por su

baja concentración en el aire y su difusión hacia la atmosfera, por ello muchas producciones comerciales se reducen a especies que crecen en condiciones ambientales extremas, tales como pH y temperatura [8].

El cultivo cerrado también denominado fotobioreactor ha surgido como una opción para solucionar los problemas en los cultivos abiertos ya que permiten controlar varios parámetros (ahorro de agua y nutrientes, menores requerimientos de superficie, flexibilidad de diseño, cortos periodos de producción y productividades considerablemente superiores), así como control y reproducibilidad de las condiciones de cultivo [8]. Estos fotobioreactores tienen diferentes diseños (planos, tubulares, verticales, horizontales) con el fin de captar la mayor cantidad de energía solar y todos requieren agitación por burbujeo [9].

El costo de producción de biomasa en fotobioreactores cerrados es de un orden de magnitud más alto que en sistemas abiertos; a pesar de obtener mayor concentración celular y productividad algunas veces no se compensa el costo del producto final por los altos costos de construcción y de operación [10].

## **2.2. Proceso de recolección o cosecha de la biomasa**

Este procedimiento se aplica para aumentar el peso seco de la biomasa y favorecer las etapas posteriores. La centrifugación, sedimentación, filtración y floculación, ya sea individualmente o combinados, son los procedimientos de cosecha más comunes. La aplicación del método depende del tipo de microalga cultivada [1].

## **2.3. Extracción del aceite de la biomasa**

Esta etapa es muy importante porque incide en la eficiencia y los costos globales del proceso, ya que los aceites extraídos se convertirán en biodiesel. Existen diferentes métodos de extracción basados en la pared celular de la microalga [3].

### **2.3.1 La extracción con solventes químicos**

Las mezclas de metanol y cloroformo son las más comunes, aunque se obtienen buenos resultados presentan el inconveniente de ser contaminantes con el medio ambiente. De otro lado, la mezcla diclorometano-metanol ha mostrado ser eficiente y recupera gran cantidad de lípidos neutrales [6].

### **2.3.2 El sistema de extracción Soxhlet**

Se ha utilizado ampliamente con los solventes éter de petróleo y éter etílico, los cuales son muy selectivos al extraer lípidos neutros como los triglicéridos (lípidos ideales para transformarse en biodiesel) pero a su vez son muy volátiles lo que implica pérdidas económicas [11].

### **2.3.3 Extracción mediante fluidos supercríticos**

Estos métodos son una alternativa al empleo tradicional de grandes cantidades de solventes tóxicos, los más adecuados son la extracción con fluidos supercríticos y la extracción con agua subcrítica estas técnicas se caracterizan por poseer cortos tiempos de extracción y altas selectividades.



El dióxido de carbono es el solvente más utilizado como fluido supercrítico debido a la facilidad para su eliminación después de la extracción, baja toxicidad y costo, aunque posee la desventaja de tener una baja polaridad, por lo que su eficiencia baja a la hora de extraer componentes polares.

La extracción mediante agua subcrítica, posee la ventaja de ser amigable con el ambiente y de gran eficiencia cuando se hace extracción en muestras sólidas. En esta técnica se utiliza agua a temperaturas entre 100 y 374 °C y presiones entre 10 y 60 bares [12].

#### **2.4. Conversión del aceite de microalgas (transesterificación)**

El biodiesel es exclusivamente el ester metílico producido a partir del aceite extraído de las microalgas. La reacción química como proceso industrial utilizado en la producción de biodiesel es la transesterificación (también llamada alcoholisis). La transesterificación consiste en la reacción de los aceites (triglicéridos) con un alcohol de bajo peso molecular como el metanol, aunque es preferible el uso de etanol debido a que puede generarse de productos agrícolas, es renovable y ambientalmente más amigable; sin embargo, el metanol es el alcohol más empleado por sus ventajas físicas, químicas y bajo costo [13], se requiere la presencia de un catalizador alcalino que es generalmente el hidróxido de sodio NaOH, para producir metilesteres y glicerina (este subproducto puede tener un valor comercial) [6].

### **3 RESULTADOS**

La producción de biocombustibles a partir de algas se está realizando a escala piloto, se espera que su producción a escala comercial comience en Europa en las próximas décadas. Muchas incertidumbres han evitado el avance hacia un escalado industrial como los impactos ambientales (pérdida de nitrógeno y fósforo al ambiente, consumo de agua y energía), la selección de la tecnología y la eficiencia.

Dentro de la comunidad científica es claro que las algas son altamente promisorias para la obtención de biocombustibles (por la alta capacidad de almacenar lípidos), pero hacen falta más estudios para explotar su potencial a gran escala como es la optimización de los parámetros de operación y maximizar la productividad. Otro aspecto son los altos costos de construcción y de operación de los cultivos cerrados o fotobioreactores.

La extracción con fluidos supercríticos se perfila como una de las técnicas más eficientes de extracción, sin embargo, se hace necesario determinar un fluido y unas condiciones de operación que permitan la extracción de lípidos aptos para la producción de biodiesel.

Buscando la sostenibilidad global de este proceso, se pueden considerar estrategias basadas en biorefinerías, para aprovechar la biomasa residual una vez se le han extraído los lípidos, tales como: alimento para ganado, extracción de pigmentos naturales y de otras sustancias de gran valor agregado que se pueden usar en la industria cosmética o alimenticia (astaxantina,  $\beta$ -caroteno, omega-3-, ácidos fáticos, vitamina E) y el uso en la digestión anaerobia para producir biogás o metano.

### **4 CONCLUSIÓN**

Las algas como materia prima para la producción de biocombustibles, prometen ser una fuente apropiada porque tienen un rápido crecimiento, buen contenido de aceite lo que significa una



alta productividad, capacidad de fijación de CO<sub>2</sub> y no compite por el uso de suelos, ni por alimentos. No obstante esta tecnología se encuentra a escala piloto, ya que se deben superar varios factores como los costos de: producción de la materia prima, el diseño de los fotobioreactores, la separación de la biomasa, la extracción de aceites y subproductos, la transesterificación. También se encuentran vacíos en la estandarización de parámetros y en las condiciones de operación para poderse llevar esta tecnología a escala comercial o industrial.

## 5 REFERENCIAS

- [1] V. Andersson, S. Broberg, R. Hackl, M. Karlsson, T. Berntsson. "Algae-based biofuel production as part of an industrial cluster". *biom. bioener.* vol.7 1, pp. 113-124, 2014.
- [2] D. Simionato, S. Basso, G. Giacometti, T. Morosinotto. " Optimization of light use efficiency for biofuel production in algae". *Biophy.Chem.*vol 182, pp.71–78, 2013.
- [3] P.J. Osorio. "Estudio técnico económico para la producción de biodiesel a partir de algas". Memoria para optar al título de ingeniero civil en biotecnología dirigida por J. Hernández. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, 2008.
- [4] H. Blaas, C. Kroeze. "Possible future effects of large-scale algae cultivation for biofuels on coastal eutrophication in Europe". *Science Tot. Environ.* vol 496, pp.45-53, 2014.
- [5] A. A. Adenle, G.E. Haslam, L. Lee."Global assessment of research and development for algae biofuel production and its potential role for sustainable development in developing countries". *Ener.Policy*, vol 61, pp. 182–195, 2013.
- [6] C. Monthieu. "Estudio técnico económico de la extracción de los lípidos de las microalgas para la producción de biodiesel". Proyecto fin de carrera dirigida por J. Montes. Escuela técnica superior de ingeniería, Universidad Pontificia Comillas, Madrid, 2010.
- [7] A. Hernández, J. I. Labbé."Microalgas, cultivo y beneficios". *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, vol. 49, No.2, pp. 157-173,2014.
- [8] A. Garibay, R. Vázquez, M. del Pilar Sánchez, L. Serrano, A. Martínez. "Biodiesel a Partir de Microalgas" *BioTecnología*, vol.13, No.3, pp.38-61, 2009.
- [9] L.C. Fernández, J. Montiel, A. Millán, J. Badillo. "Producción de biocombustibles a partir de microalgas". *Ra Ximhai*, vol. 8, No. 3, 2012.
- [10] T. M. Mata, N. S. Caetano, A. A. Martins. "Microalgae for biodiesel production and other applications: A review". *Renew. Sustain. Energy Reviews.* vol.14, No.1, pp.217-232, 2010.
- [11] Y. Li, M.Horsman, B.Wang, N. Wu , C.Q. Lan. " Effects of nitrogen sources on cell growth and lipid accumulation of green alga *Neochloris oleobundans*". *Appl. Microbiol. Biotechnol.* Vol 81, No. 4, pp. 629-636, 2008.
- [12] A. D. González, V. Kafarov, A. Guzmán. "Desarrollo de métodos de extracción de aceite en la cadena de producción de biodiesel a partir de microalgas". *Prospect.* Vol. 7, No. 2, pp. 53-60, 2009.
- [13] M. Balat, H. Balat. "Progress in biodiesel processing". *Appl. Energy.* vol.87, No.6, pp.1815-1835, 2010.

## EMISIONES DE CARBONO EN UNA PLANTA DE CEMENTO

Ismael Rivera Madrid<sup>1</sup>, Néstor Rojas<sup>2</sup>, Lina Chica<sup>3</sup>, Juan Luis Palacio<sup>1</sup>, Marlon R.Fulla<sup>1</sup>, Nancy Montes<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Institución Universitaria Pascual Bravo, Calle 73 No.73<sup>a</sup>-226, Medellín, Colombia

<sup>2</sup> Instituto de minerales CIMEX, Universidad Nacional de Colombia, Calle 59A No.63-20, Medellín, Colombia

<sup>3</sup> Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Medellín, Carrera 87 No.30-65, Medellín, Colombia

[ismael.rivera@pascualbravo.edu.co](mailto:ismael.rivera@pascualbravo.edu.co) , [nrojasr@unal.edu.co](mailto:nrojasr@unal.edu.co) , [lmchica@udem.edu.co](mailto:lmchica@udem.edu.co),  
[jlpalaci@pascualbravo.edu.co](mailto:jlpalaci@pascualbravo.edu.co) , [mrfulla@pascualbravo.edu.co](mailto:mrfulla@pascualbravo.edu.co) , [nmontes@pascualbravo.edu.co](mailto:nmontes@pascualbravo.edu.co)

**Resumen:** En este artículo se presentan algunos de los procesos utilizados en la fabricación del cemento y de cómo cada uno de estos contribuye en la contaminación ambiental por sus grandes emisiones de CO<sub>2</sub>. La industria del cemento aporta aproximadamente el 5% de las emisiones mundiales de dióxido de carbono por el hombre (CO<sub>2</sub>) y se está convirtiendo así en el segundo mayor contribuyente de CO<sub>2</sub> en la industria después de las centrales eléctricas. Existe una gran variedad de opciones disponibles para reducir considerablemente las emisiones de CO<sub>2</sub>. Este artículo menciona las principales fuentes de emisiones de CO<sub>2</sub> en todas las etapas de fabricación de cemento y de cómo reducirlas, incluyendo (1) preparación de la materia prima (molienda y transporte), (2) la producción de clinker y la quema de combustibles en el horno y (3) la producción de cemento.

**Palabras Clave:** Emisiones de CO<sub>2</sub> , fabricación de cemento, planta de cemento.

**Abstract:** In this article are presented some of the processes used in the manufacture of cement and how each of these contributes to environmental pollution by large emissions of CO<sub>2</sub>. The cement industry contributes about 5% of global emissions of carbon dioxide by man (CO<sub>2</sub>) and is thus becoming the second largest contributor of CO<sub>2</sub> in the industry after power plants. There are a variety of options available to significantly reduce CO<sub>2</sub> emissions. This article mentions the main sources of CO<sub>2</sub> emissions at all stages of cement manufacturing and how to reduce them, including (1) preparation of the raw material (milling and transport), (2) the production of clinker and fuel combustion in the furnace and (3) cement production.

**Key words:** CO<sub>2</sub> Emission, manufactory cement, cement factory.

### 1 INTRODUCCIÓN

El cemento es un producto compuesto principalmente de piedra caliza, arcilla, esquisto y arena de sílice. Se utiliza para formar una mezcla de hormigón (de cemento, agua, arena fina y agregados gruesos) que es el material de construcción más utilizado del mundo. Tiene un fuerte poder aglomerante hidráulico y se convierte en un material resistente y duradero en pocos días por la reacción con el agua [1].



La producción mundial de cemento ha crecido de 200 millones de toneladas en 1950 a más de 3,6 billones de toneladas en 2012 [2]. En la actualidad el cemento está impulsado en gran medida por el aumento de la producción en las economías emergentes y países en desarrollo. En 2011, casi el 80,3% de la producción mundial estaba en Asia, alrededor de 7,6% en Europa y el resto de África (4,7%), en los EE.UU. (1,9%) y en otros países de América (5,2%) [3]. Sin embargo, la producción de cemento registra haber liberado aproximadamente el 5% de la emisión de dióxido de carbono global o carbón artificial ( $\text{CO}_2$ ) [4]. Estas emisiones de carbono se originan a partir de la quema de combustibles fósiles en los hornos; uso de la electricidad en la molienda de crudo y de materias primas; y el proceso de clinkerización como principal materia prima [5]. Por lo tanto, la industria del cemento está profundamente comprometida con reducir las emisiones y otros impactos ambientales que se plantean durante el proceso de fabricación de cemento. Diversas soluciones para reducir la huella de carbono de las plantas de cemento han sido previamente investigadas en varios estudios. Algunos de estos estudios incluidos mejoras en la eficiencia energética [6,7], la recuperación del calor residual [8,9], la sustitución de combustibles fósiles por energías renovables [10,11], la producción de cemento mezclado o cemento geopolímero [12,13], y la captura y almacenamiento de carbono tal y como lo dice International Energy Agency (IEA) [14] por sus siglas en inglés.

## 2 METODOLOGÍA

Muchos comentarios se han centrado en la mitigación del carbono; es por esto que se hizo una revisión y discusión sobre la reciente publicación de [8], donde se investigó la reducción de  $\text{CO}_2$  en la producción de cemento. Este discutió la mitigación de  $\text{CO}_2$  para algunos procesos solamente. Sin embargo, en la producción de cemento se reducen las emisiones de carbono cuando se utilizan aglutinantes alternativos, tales como geo-polímeros, escorias del horno, cenizas volátiles de carbón y materiales naturales, y se ha demostrado que estas reducen significativamente las emisiones de  $\text{CO}_2$  tal como puede verse en [15]. Estos procesos no se abordaron en la revisión de [8], pero [15], hace una crítica exhaustiva y discute las fuentes de emisiones de  $\text{CO}_2$  y las estrategias de mitigación para la fabricación de cemento en los procesos (por ejemplo, la producción de clínker y la quema de combustible en el horno) que consumen energía y electricidad relacionados con las emisiones de carbono, rectificado, transporte de crudo, materiales y productos finales de las cementeras.

## 3 RESULTADOS

Las principales fuentes de emisión de  $\text{CO}_2$  en la fabricación de cemento son la quema de combustibles, además de la calcinación de las materias primas (descomposición de  $\text{CaCO}_2$  y  $\text{MgCO}_3$  a  $\text{CaO}$  y  $\text{Mg}$ ). En comparación, con otras fuentes, tales como el uso de la electricidad y el transporte del sistema (vehículo o equipo), que constituyen una pequeña fracción de las emisiones totales de  $\text{CO}_2$  en una planta de cemento.

## 4 CONCLUSIÓN

Las distribuciones de emisiones indica que aproximadamente el 83% del carbono se libera del proceso de producción de clínker. Es en este paso, donde los combustibles a quemar deben satisfacer la demanda de energía térmica para facilitar la reacción química durante el proceso de clinkerización. Desde este punto de vista se debe mejorar la eficiencia energética y así reducir las emisiones de  $\text{CO}_2$  que resultan de la quema combustible y el uso de la electricidad. Por lo tanto, mejorar el uso de energía durante el proceso de producción de clínker representa el mayor potencial para reducir las emisiones de  $\text{CO}_2$  de las plantas de cemento.





## 5 REFERENCIAS

- [24] Saidur R, Ahamed JU, Masjuki HH. Energy, exergy and economic analysis of industrial boilers. *Energy Policy* 2010;38:2188–97.
- [25] European commission, reference document on best available techniques in the cement, lime and magnesium oxide manufacturing industries, May 2010. Electronic versions of draft and finalized documents are publicly available and can be downloaded from <<http://eippcb.jrc.ec.europa.eu>>.
- [26] S. Geological Survey, Mineral commodity summaries; January 2013.
- [4] Stefanovi\_c, G.M., Vu\_ckovi\_c, G.D., Stojiljkovi\_c, M.M., Trifunovi\_c, M.B., 2010. CO2 reduction options in cement industry. *Therm. Sci.* 14 (No. 3), 671e 679.
- [5] Hendriks, C.A., Worrell, E., Jager, D., Blok, K., Riemer, P., 2004. Emission reduction of greenhouse gases from the cement industry. In: *Proceedings of the 7th International Conference on Greenhouse Gas Technologies (GHGT-7)*. Vancouver, Canada, 5e9 September 2004.
- [6] Ali, M.B., Saidur, R., Hossain, M.S., 2011. A review on emission analysis in cement industries. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 15, 2252 e 2261.
- [7] Madloul, N.A., Saidur, R., Hossain, M.S., Rahim, N.A., 2011. A critical review on energy use and savings in the cement industries. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 15 (Issue 4), 2042e2060.
- [8] Benhelal, E., Zahedi, G., Shamsaei, E., Bahadori, A., 2013. Global strategies and potentials to curb CO2 emissions in cement industry. *J. Clean. Prod.* 51, 142e161.
- [9] Saneipoor, P., Naterer, G.F., Dincer, I., 2011. Heat recovery from a cement plant with a Marnoch heat engine. *Appl. Therm. Eng.* 31, 1734e1743.
- [10] Kookos, I.K., Pontikes, Y., Angelopoulos, G.N., Lyberatos, G., 2011. Classical and alternative fuel mix optimization in cement production using mathematical programming. *Fuel* 90 (Issue 3), 1277e1284.
- [11] Schuhmacher, M., Nadal, M., Domingo, J.L., 2009. Environmental monitoring of PCDD/Fs and metals in the vicinity of a cement plant after using sewage sludge as a secondary fuel. *Chemosphere* 74, 1502e1508.
- [12] Sarker, P.K., Haque, R., Ramgolam, K.V., 2013. Fracture behaviour of heat cured fly ash based geopolymer concrete. *Mater. Des.* 44, 580e586.
- [13] Temuujin, J., van Riessen, A., MacKenzie, K.J.D., 2010. Preparation and characterization of fly ash based geopolymer mortars. *Constr. Build. Mater.* 24 (10), 1906e1910.
- [14] International Energy Agency (IEA), 2009. *Technology Roadmap: Carbon Capture and Storage*. International Energy Agency (IEA).
- [15] Siti Aktar Ishak, Haslenda Hashim., 2015. Low carbon measures for cement plant - a review. *J. Clean. Prod* 103, 260e274

## DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO POSICIONADOR DE UNA FUENTE ACÚSTICA TIPO BRAZO ROBÓTICO COMO APOYO EN LA PROSPECCIÓN DE OBJETOS NO METÁLICOS EN EL SUBSUELO

Jorge Iván Navarro Ospino<sup>1</sup>, Guillermo León Giraldo Giraldo<sup>1</sup>, Juan Luis Palacio<sup>1</sup>, Marlon R.Fulla<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Institución Universitaria Pascual Bravo, Calle 73 No.73<sup>a</sup>-226, Medellín, Colombia

[jino.fra@gmail.com](mailto:jino.fra@gmail.com) , [gu.giraldo@pascualbravo.edu.co](mailto:gu.giraldo@pascualbravo.edu.co), [ilpalaci@pascualbravo.edu.co](mailto:ilpalaci@pascualbravo.edu.co), [mfulla@pascualbravo.edu.co](mailto:mfulla@pascualbravo.edu.co)

**Resumen:** La detección de objetos no metálicos en suelos a baja profundidad es una aplicación de gran importancia en áreas económicas como la minería, la ingeniería ambiental y la construcción, y en áreas científicas como la geología, arqueología y ciencias forenses. A nivel nacional, la arqueología y las ciencias forenses urgen de este tipo de tecnologías debido a las condiciones locales. Si bien ya existen equipos comerciales para realizar estas tareas, con elevados costos asociados a su adquisición, no son completamente adecuados para ser utilizados en los diversos ambientes físicos y climatológicos de la nación, todo esto debido a que las regiones geográficas en Colombia presentan condiciones muy adversas a los equipos humanos y técnicos, como por ejemplo la alta presencia de vegetación, terrenos altamente inhomogéneos y con diferentes propiedades físicas (suelos arenosos, franco-arenosos, húmedos, arcillosos, etc.). Ya que los métodos basados en la detección de ondas sísmicas han constituido una herramienta base para muchos métodos geofísicos de prospección debido a sus propiedades y en la actualidad son ampliamente empleadas en el estudio de estratos superficiales en el campo de la geotecnia y en estudios ambientales, en el presente trabajo presentamos el desarrollo de un dispositivo posicionador, cuya estructura corresponde a la de un brazo robótico versátil que permite ubicar con precisión un generador de ondas acústicas.

**Palabras Clave:** Prospección de objetos, brazo robótico, diseño mecánico

**Abstract:** The prospection of non-metallic objects under the ground at low depth is an important application in economical areas as mining, environmental engineering, and construction, and in scientific areas such as the geology, archeology and forensic sciences. At the national level, the archeology and the forensic sciences require these type of technologies due to the local conditions. While there are already commercial equipment to perform these tasks, with high costs associated with its acquisition, they are not entirely suitable for use in the various physical and climatic environments of the nation, all this due to the geographic regions in Colombia have very adverse human and technical conditions, such as the high presence of vegetation, highly inhomogeneous terrain and with different physical properties (sandy, sandy loam, wet, clay, etc.). Since methods based on the detection of seismic waves have been a basic tool for many geophysical prospecting methods due to their properties and currently are widely used in the study of surface layers in the field of geotechnical and environmental studies, in this paper we present the development of a positioning device, whose structure corresponds to a versatile robotic arm that allows the precise positioning of an acoustic wave generator.



**Keywords:** Object prospection, robotic arm, mechanical design.

## 1 INTRODUCCIÓN

El diseño y la implementación de accesorios electromecánicos en tareas de prospección [1] es una actividad de vital importancia toda vez que las metodologías y los montajes experimentales que se requieren en técnicas como las propuestas por [2] conllevan a manipular y cambiar continuamente de posición equipos cuyos pesos superan los 50 kg. Algunos autores han desarrollado brazos robóticos de nueve grados de libertad para tareas similares [3] y otros autores han refinado este tipo de dispositivos vía control difuso [4]. Más recientemente [5] ha desarrollado brazos robóticos que simulan movimientos humanoides brindando mayor precisión y control en su operación hasta tal punto que han sido incluidos dentro de la instrumentación científica en sondas de exploración en misiones de exploración del suelo de Marte [6]. No obstante equipos automatizados para realizar tareas de prospección a nivel local no se han reportado en la literatura científica. En el presente trabajo se lleva a cabo el estudio del diseño de un brazo robótico para manipular la instrumentación relacionada con las tareas de prospección del subsuelo con fines de apoyo a tareas de calibración y pruebas de calidad de las metodologías de trabajo.

## 2 METODOLOGÍA

Para el desarrollo del prototipo posicionador se plantearon 4 fases. Cada fase es evaluada mediante la técnica de clasificación jerárquica asistida por matrices de decisión y corresponden a las siguientes:

1. Selección del modelo de posicionador electromecánico más apropiado en cuanto a consideraciones y especificaciones técnicas de diseño como por ejemplo, funcionalidad, resistencia, seguridad, apariencia, costo; entre otras.
2. Selección de los materiales de fabricación, el cálculo de la estructura, el cálculo de cada sistema y subsistema, selección de los mecanismos de accionamiento, elementos de sujeción, etc.
3. Realización del diseño asistido por computador (CAD), simulación de la estructura por medio de herramientas de análisis computacional.
4. Análisis de presupuestos para proceder a la futura fabricación de un prototipo real de prueba.

## 3 RESULTADOS

Posterior a la investigación de los diferentes tipos de actuadores robóticos de tipo hidráulico y electromecánico que son candidatos a la solución del problema de diseño, se clasificaron en la Tabla 1 en términos de sus características de potencia, control, peso y volumen, costo y mantenimiento, precisión y velocidad.

**Tabla 1.** Matriz de decisión para la selección de actuadores robóticos. Se evalúan las propiedades físico-mecánicas de los mecanismos de accionamiento motriz más usados con respecto a la configuración específica del robot.



MATRIZ DE DECISIÓN PARA LA SELECCIÓN DE ACTUADORES ROBÓTICOS								
PROPIEDADES FÍSICO-MECANICAS		Potencia	Control	Peso y volumen	Costo y mantenimiento	Precisión	Velocidad	RANGO
Factor de ponderación		0.05	0.2	0.2	0.3	0.2	0.05	1.0
ACTUADORES ROBÓTICOS HIDRÁULICOS Y ELECTROMECÁNICOS	Cilindro hidráulico	9 0,45	6 1,2	4 0,8	6 1,8	7 1,4	5 0,25	5.9
	Cilindro Neumático	4 0,20	5 1	6 1,2	8 2,4	6 1,2	7 0,35	6.4
	Motor hidráulico	9 0,45	6 1,2	6 1,2	4 1,2	6 1,2	6 0,3	5.6
	Motor Neumático	5 0,25	6 1,2	8 1,6	8 2,4	6 1,2	8 0,4	7.1
	Servomotor	6 0,3	9 1,8	8 1,6	7 2,1	9 1,8	8 0,4	8.0

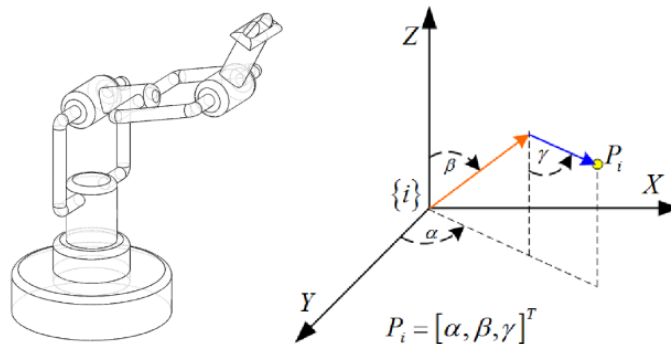
Se obtuvo que el servomotor se ajusta mucho mejor en comparación que los motores y cilindros neumáticos e hidráulicos para las necesidades de los equipos que se manipulan en las técnicas descritas en [1,2]. Una vez seleccionada la tecnología de generación del movimiento para el dispositivo se procedió a clasificar el tipo de material más óptimo en términos de su apariencia, anodizado, costo, comercialización, mecanizado, peso, rigidez y soldabilidad los cuales se muestran en la Tabla 2. Se encontró que una aleación 6061-T6 puede satisfacer con las características técnicas que se requieren para el posicionador.

**Tabla 2.** Matriz de decisión para la selección de actuadores robóticos. Se evalúan las propiedades Físico-mecánicas de los mecanismos de accionamiento motriz para este proyecto.

MATRIZ DE DECISIÓN-SELECCIÓN DE MATERIAL															
PROPIEDADES		Apariencia	Anodizado	Costo	Comercialización	Comportamiento natural	Mecanizado	Peso	Recubrimiento	Resistencia/efuerzo	Tratamiento térmico	Rigidez	Soldabilidad	RANGO	PROMEDIO
Factor de ponderación		0.1	0.05	0.05	0.05	0.1	0.05	0.1	0.05	0.2	0.05	0.1	0.05	1.0	
MATERIALES	Duroaluminio 2017-T4 (Aleaciones Cu)	6 0.6	4 0.2	8 0.4	9 0.45	2 0.2	8 0.4	8 0.8	8 0.4	8.5 1.7	7 0.35	8.5 0.85	6.5 0.33	6.7	6.96
	Aleación 5083 (Aleaciones Mg)	7.5 0.75	8.5 0.43	5 0.25	4 0.2	10 1	8.5 0.43	9 0.9	6.5 0.33	9.5 1.9	0 0	5 0.5	7.5 0.38	7.1	6.75
	Aleación 2024-T4 (Aleaciones Cu)	3.75 0.38	4.5 0.23	4 0.2	3 0.15	3 0.3	8 0.4	8 0.8	7 0.35	10 2	8 0.4	6 0.6	8 0.4	6.2	6.10
	Aleación 6082 (Aleaciones Mg-Si)	8.75 0.88	8.5 0.43	5 0.25	4 0.2	9 0.9	7 0.35	8.2 0.82	9 0.45	8.5 1.7	8 0.4	8 0.8	9.5 0.48	7.6	7.79
	Aleación 7075-T6 (Aleaciones Zn)	8.25 0.83	7.5 0.38	4 0.2	4 0.2	5 0.5	8 0.4	7 0.7	9 0.45	9.5 1.9	8 0.4	8 0.8	6 0.3	7.1	7.02
	Aleación 6061-T6 (Aleaciones Zn)	8.75 0.88	8.5 0.43	8 0.40	10 0.50	8.5 0.85	7.5 0.38	8.5 0.85	9 0.45	8 1.60	8 0.40	6.5 0.65	9 0.45	7.8	8.35

En la tercera fase de este proceso, se procedió a consultar diferentes fuentes de la literatura científica para hacer una selección de diversos mecanismos de accionamiento y elementos de

sujeción los cuales por razones asociadas al proceso de vigilancia tecnológica del proyecto, no se presentan con detalle aquí y son materia de un futuro trabajo. No obstante, se puede mencionar que dentro de los diferentes sistemas de posicionamiento [7] de un punto en el espacio (ver Figura 1) como es el caso del sistema cartesiano  $(x, y, z)$ , el cilíndrico  $(r, \theta, z)$  y el esférico  $(R, \theta, \varphi)$ , los sistemas cilíndrico y esférico se ajustan bien a los requerimientos del mecanismo, pero por el criterio de versatilidad del diseño se opta por el sistema cilíndrico. En este caso el sistema de sujeción deberá posicionar en un punto del espacio una fuente de excitación acústica con forma cónica cuyo peso aproximado es de 15 Kg.



**Figura 1.** El sistema de posicionamiento cilíndrico para el brazo articulado brinda las mejores prestaciones para el propósito de este proyecto. Figura extraída de la referencia [7].

Finalmente, en la última fase se obtuvo que el diseño es presupuestalmente viable en el marco del proyecto y se procederá a su proceso de construcción el cual es materia de otro trabajo futuro.

#### 4 CONCLUSIÓN

El uso de la estrategia de selección de los mecanismos actuadores y los materiales mediante matrices de decisión permitieron avanzar significativamente en el diseño del dispositivo mediante una clasificación selectiva de las características operacionales y mecánicas que requiere el sistema de posicionamiento de prospección, optimizando así el tiempo de diseño sin dejar de lado las múltiples variables de resistencia mecánica, potencia y naturaleza del mecanismo.

#### 5 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la dirección operativa de investigación y a la Facultad de Ingeniería de la Institución Universitaria Pascual Bravo por la financiación de esta investigación en el marco del proyecto “Optimización de una red XBee de vibrómetros y de un accesorio electromecánico de excitación para prospección de subsuelos” Código IN201403.

#### 6 REFERENCIAS

- [1] W. Zhao, E. Forte, G. Pipan y G. Tian, «Ground Penetrating Radar (GPR) attribute analysis for archeological prospection,» *Journal of Applied Geophysics*, vol. 97, pp. 107-117, 2013.
- [2] W. Scott, J. Martin y G. Larson, «Experimental Model for a Seismic Landmine Detection System,» *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 39, nº 6, pp. 1155-1164, 2001.
- [3] Ankit Sharma, Mathew Mithra Noel, “Design of a low-cost five-finger anthropomorphic robotic arm with nine degrees of freedom”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol.28, pp.551–558, Aug. 2012.

- [4] Zhi Liu, Ci Chen, Yun Zhang, C.L. Philip Chen, "Coordinated fuzzy control of robotic arms with actuator nonlinearities and motion constraints", *Information Sciences*, vol. 296, pp. 1–13, 1 Mar. 2015.
- [5] Jing Zhao, Biyun Xie, Chunyu Song, "Generating human-like movements for robotic arms", *Mechanism and Machine Theory*, vol. 81, pp. 107–128, Nov. 2014.
- [6] E Battistelli, A Bini, A Cisbani, M Cosi, P Falciani, G Preti, "Scientific instruments studied by Galileo Avionica for Mars surface exploration", *Planetary and Space Science*, vol. 52, pp. 47–53, Mar. 2014.
- [7] M. Hernández, M. B. Ortiz, C. A. Calles y J. C. Rodríguez, *Robótica: Análisis, modelado, control e implementación*, Tamaulipas: OminaScience, 2015.

# METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS DE SUSPENSIONES COLOIDALES EN APLICACIONES BIOMÉDICAS Y NANOTECNOLÓGICAS

Juan Luis Palacio<sup>1</sup>, Marlon R.Fulla<sup>1</sup>, Ismael Rivera Madrid<sup>1</sup>, Nancy Montes<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Institución Universitaria Pascual Bravo, Calle 73 No.73<sup>a</sup>-226, Medellín, Colombia

[jlpalaci@pascualbravo.edu.co](mailto:jlpalaci@pascualbravo.edu.co) , [mfulla@pascualbravo.edu.co](mailto:mfulla@pascualbravo.edu.co),

[ismael.rivera@pascualbravo.edu.co](mailto:ismael.rivera@pascualbravo.edu.co) , [nmontes@pascualbravo.edu.co](mailto:nmontes@pascualbravo.edu.co)

**Resumen:** El conocimiento de las características asociadas al tamaño de partículas del orden de las micras y los nanómetros ofrece una gran cantidad de información para un amplio rango de aplicaciones biológicas y biomédicas, tales como el desarrollo de biopolímeros, optimización de productos cosméticos, evaluación de la eficiencia de antibióticos y medicamentos contra el cáncer. En el caso de las aplicaciones en nanotecnología relacionadas con fluidos, el control de calidad en el tamaño de las nanopartículas en las suspensiones acuosas es fundamental para el correcto funcionamiento del producto final. Un factor común en estas aplicaciones radica en la necesidad de estimar el tamaño promedio de partículas en suspensiones coloidales, las cuales son conocidas como medios turbios por sus características ópticas. Las metodologías basadas en el esparcimiento Mie son muy utilizadas debido a que sus implementaciones son económicas con respecto a otras metodologías y es válida cuando se considere que el medio está compuesto por partículas esféricas dieléctricas transparentes en suspensiones altamente diluidas. Estos métodos se basan en el contraste de medidas experimentales con resultados de modelos teóricos de la intensidad de la luz esparcida por el medio. En este trabajo se presenta una metodología de bajo costo de implementación basada en el fenómeno de esparcimiento de la luz, mediante el uso de equipos de laboratorio existentes tales como el espectrofotómetro, y aplicando un modelo físico-matemático desarrollado para este propósito, que permitirá determinar el tamaño promedio de partículas aun en medios que presenten un alto grado de turbidez tales como los medios biológicos.

**Palabras Clave:** Tamaño de partículas, Nanopartículas, suspensiones coloidales, Medio turbio, esparcimiento Mie.

**Abstract:** The knowledge about the characteristics associated with the particle size of the order of microns and nanometers provides a wealth of information for a wide range of biological and biomedical applications, such as the development of biopolymers, cosmetics optimization, evaluation of antibiotics efficiency and anticancer drugs. For applications in nanotechnology related with fluids, the size quality control of the nanoparticles in aqueous suspensions it is essential to the proper final product performance. A common factor in these applications is the need to estimate the average size of particles in colloidal suspensions, which are known as turbid media by their optical characteristics. The methodologies based on Mie scattering are widely used because their implementations are inexpensive in comparison to other methodologies and is valid when is considered that the environment is composed of transparent dielectric spherical particles in highly diluted suspensions. These methods are based on the experimental measurements contrast with results of theoretical models of scattered light intensity in the medium. This paper presents a low-cost methodology based on the phenomenon of light



scattering, using existing laboratory equipment such as a spectrophotometer, and using a physical-mathematical model developed for this purpose, that will allow to determine the average particle size in turbid media, although these media exhibit a high degree of turbidity such as biological media.

**Key words:** Particle size, nanoparticle, turbid media, Mie Scattering.

## 1 INTRODUCCIÓN

Recientemente la extendida implementación de la nanotecnología en varias esferas de la ciencia ha promovido el desarrollo de partículas de tamaños nanométricos para aplicaciones tales como tintes, cosméticos, catalizadores, alimentos y medicamentos entre otros [1, 2, 3]. Uno de los parámetros físicos más importantes de las nanopartículas es el tamaño de partícula, puesto que juega un papel fundamental en varias de las propiedades que exhiben estas partículas en las suspensiones coloidales [4, 5]. En la figura 1 se presentan algunas de las aplicaciones del estudio de nanopartículas en ciencias médicas.

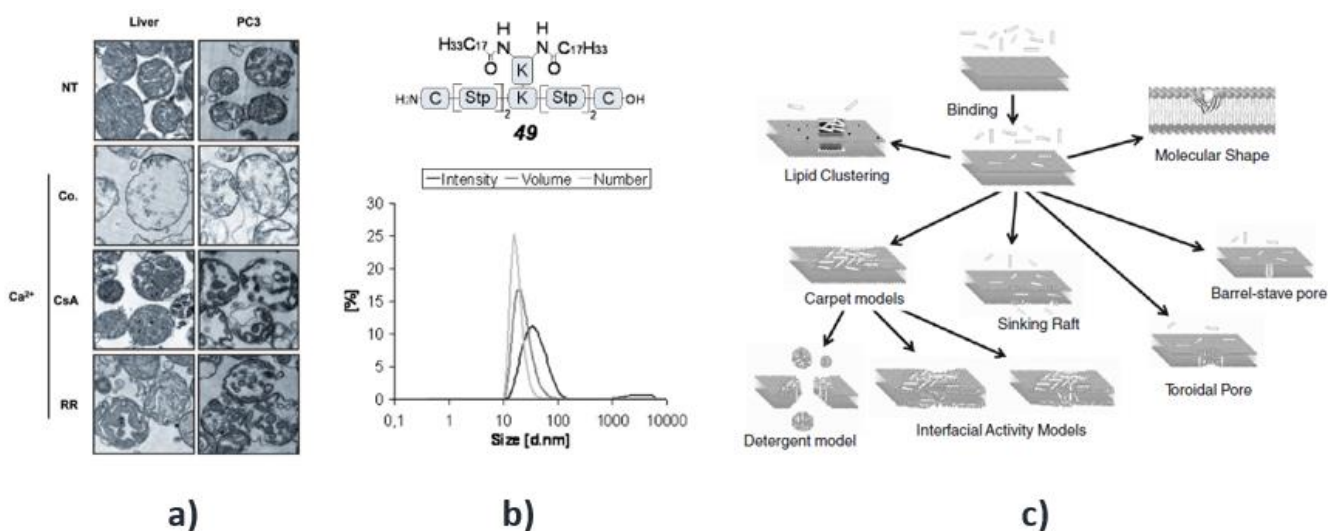


Figura 12. **a)** Estudio de los efectos de distintos agentes sobre mitocondrias de una línea de células cancerígenas (PC3) en comparación con las mitocondrias provenientes de células de hígado de rata [1]. Distribución de tamaños de partículas oligoméricas (*49 Polyplex siRNA*) [2]. Efectos de la interacción entre partículas (superior) y efectos gravitacionales sobre nanopartículas (inferior) en suspensiones acuosas [3].

El tamaño de partícula es la característica clave no solo para el monitoreo y control de calidad en la síntesis de nanopartículas, sino también en la manipulación de las propiedades asociadas a las suspensiones coloidales creadas a partir de estas partículas [6, 7]. Estas importantes aplicaciones, sumadas con la creciente aplicación de las nanopartículas en el sector alimenticio, han generado la necesidad de estimar el tamaño de partícula con mayor precisión y es donde las técnicas basadas en el esparcimiento de la luz son las más frecuentemente usadas.

El inconveniente de las técnicas ópticas para la estimación del tamaño de partícula radica en el hecho de su limitada validez en medios monodispersivos (suspensiones coloidales de alta dilución); es en las técnicas basadas en el Esparcimiento Dinámico de la Luz (DLS), donde se



han realizado mayores avances en la solución de este inconveniente debido que mediante esta metodología se puede determinar la distribución del tamaño de partículas en suspensiones coloidales [6, 7].

## 2 METODOLOGÍA

El esparcimiento de la luz (light scattering) hace alusión la desviación que experimentan los rayos de luz al incidir sobre partículas cuyo tamaño es comparable con la longitud de onda de la luz incidente. Las características asociadas al esparcimiento de la luz pueden dividirse entre tres dominios basados en un parámetro adimensional llamado parámetro de tamaño. Las nanopartículas, que al ser consideradas como esferas suelen tener una dimensión radial  $r_p \leq 100\text{nm}$ , son localizables en el dominio Mie cuando esparcen luz visible ( $380\text{nm} \leq \lambda \leq 750\text{nm}$ ), como se presenta en la figura 2. Por este motivo, la solución Mie al esparcimiento de la luz suele ser el modelo por excelencia en las técnicas para la estimación del tamaño de partículas y el la determinación de la distribución de tamaños de partículas en suspensiones coloidales.

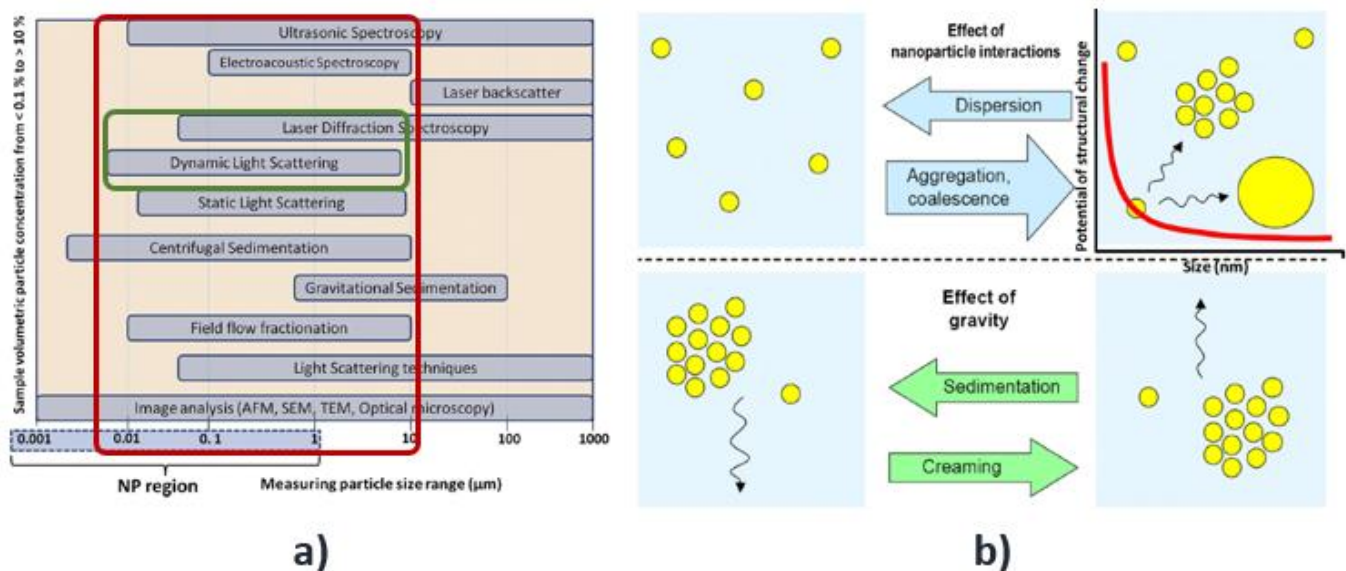


Figura 13. **a)** Técnicas para determinar tamaño de partículas. Sólo algunas de estas estrategias en la región considerada como “nanoescala” [1]. Efectos de la interacción entre partículas (superior) y efectos gravitacionales sobre nanopartículas (inferior) en suspensiones acuosas [1].

La primera inquietud a resolver en este modelo es: ¿Cómo determinar el número de interacciones de un fotón del haz de luz incidente con las partículas presentes en el medio antes de que pueda salir de este? Para simular el proceso de las posibles interacciones de la luz en los medios turbios, se puede hacer uso del método Monte Carlo usando un generador de números aleatorios para muestrear variables aleatorias de eventos como la distancia entre dos o más interacciones, ya sean de dispersión, de absorción o de ambas, y el ángulo de la trayectoria que seguirá un fotón después de una dispersión.

La polarización o la anisotropía de la luz esparcida ofrece información importante sobre las partículas en suspensiones coloidales, inclusive puede permitir una estimación más precisa del tamaño de partícula al contar con un parámetro adicional a las intensidades de la luz esparcida,

observada a  $0^\circ$  y a  $90^\circ$  con respecto a la luz incidente, de las técnicas clásicas. La ventaja de la anisotropía sobre la polarización radica en que su cálculo para múltiples eventos de esparcimiento corresponde al producto de las anisotropías de cada interacción.

### 3 RESULTADOS

El tamaño de partícula puede ser estimado contrastando medidas experimentales de la intensidad de la luz esparcida en distintos ángulos de dispersión aportados por el modelo teórico. Las metodologías clásicas, como se muestra en la figura 3<sup>a</sup>, hacen uso de dos ángulos:  $\theta=0^\circ$  y  $\theta=90^\circ$ , y comparan las medidas experimentales de la intensidad de la luz esparcida en estas direcciones con los valores teóricos aportados en estas mismas direcciones para estimar el tamaño de partícula.

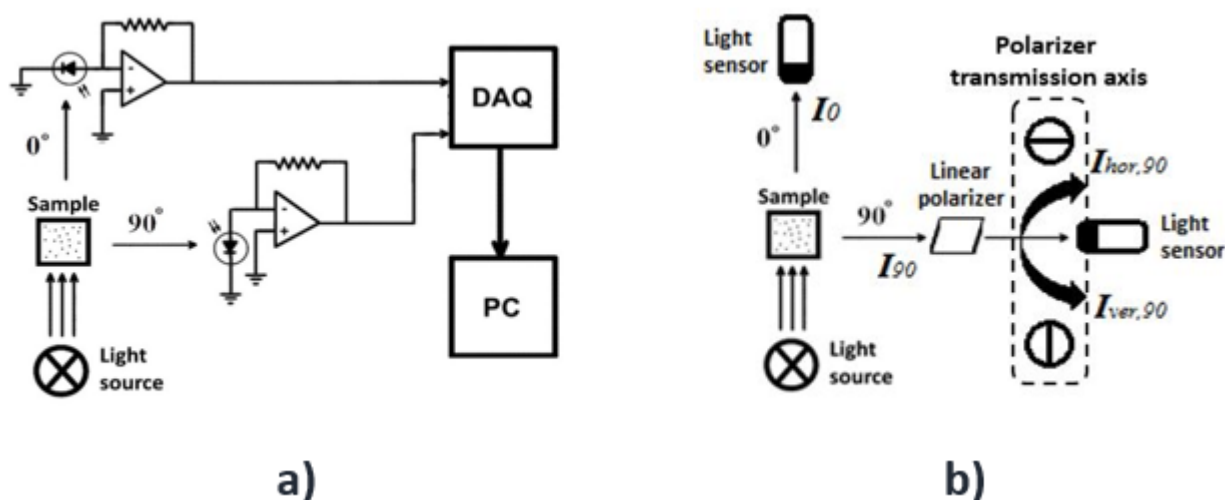


Figura 14. **a)** Montaje clásico para la estimación del tamaño de partículas midiendo la intensidad de la luz a  $90^\circ$  con respecto al haz de luz incidente [5]. Implementación de un polarizador para aplicar la metodología en suspensiones coloidales de baja dilución [5].

Mediante la implementación de polarizadores es posible discriminar el efecto de la turbidez del medio, puesto que el grado de polarización o anisotropía de la luz esparcida están directamente relacionadas con el parámetro de tamaño y su valor es proporcional al número de eventos de dispersión de la luz.

Los resultados de este trabajo fueron publicados en la revista Cintex volumen 20 [5], de la Institución Universitaria Pascual Bravo.

### 4 CONCLUSIÓN

Aunque en los últimos años se han desarrollado poderosas metodologías que permiten determinar la distribución de tamaños de partículas en suspensiones coloidales de baja dilución mediante técnicas DLS (Dynamic Light Scattering), es muy viable desde el punto de vista técnico y económico ampliar las posibilidades de las metodologías clásicas para la estimación del tamaño de partículas. En esta contribución se presentó un modelo que permite determinar el tamaño de partículas en suspensiones de baja dilución, cuyo instrumento de medida puede ser implementado mediante un diodo led, dos fotodiodos con sus respectivos amplificadores

operaciones y un polarizador, siendo mucho más simple y económico que los montajes de fototubos, sistemas de lentes y fibra óptica de las técnicas basadas en DLS.

La ventaja fundamental de las técnicas que permiten determinar la distribución de tamaños de partículas o la estimación del tamaño de partícula en suspensiones coloidales, es que se pueden monitorear procesos en suspensiones acuosas prácticamente sin alterarlas (sin realizar dilución que puede cambiar sus propiedades), como en el caso de medios biológicos. La metodología propuesta en este trabajo resulta ser una opción bastante atractiva para la estimación del tamaño de partículas en medios biológicos turbios, dado su relativa simplicidad de implementación y bajos costos asociados.

## 5 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la dirección operativa de investigación y a la Facultad de Ingeniería de la Institución Universitaria Pascual Bravo por la financiación de esta investigación en el marco del proyecto “Optimización de una red XBee de vibrómetros y de un accesorio electromecánico de excitación para prospección de subsuelos” Código IN201403.

## 6 REFERENCIAS

- [27] I. N. Buron, M. Porceddu, M. Brabant, D. Desgue, C. Racoer, M. Lassalle, C. Péchoux, R. Rustin, E. Jacotot y A. Borgne-Sanchez, “Use of Human Cancer Cell Lines Mitochondria to Explore the Mechanisms of BH3 Peptides and ABT-737-Induced Mitochondrial Membrane Permeabilization,” in *PLoS ONE*, vol. 5, n° 3, p. e9924, 2010.
- [28] C. Troiber, J. C. Kasper, S. Milani, M. Scheible, I. Martin, F. Schaubhut, S. Kuchler, J. Rädler, F. C. Simmel, W. Friess y E. Wagner, “Comparison of four different particle sizing methods for siRNA polyplex characterization,” in *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, vol. 84, p. 255–264, 2013.
- [29] W. C. Wimley y K. Hristova, “Antimicrobial Peptides Successes, Challenges and Unanswered Questions,” *J Membrane Biol*, vol. 239, p. 27–34, 2011
- [30] S. K. Brar y M. Verma, “Measurement of nanoparticles by light-scattering techniques,” in *Trends in Analytical Chemistry*, vol. 30, n° 1, pp. 1-17, 2011.
- [31] J. L. Palacio, M. R. Fulla e I. E. Rivera, “Modelo Físico-Matemático para la Estimación del Tamaño de Partículas en Suspensiones Coloidales de Baja Dilución,” in *Revista Cintex*, vol. 20, n° 1, pp. 54-68, 2015.
- [32] H. C. van de Hulst, *Light Scattering by Small Particles*, USA: *Dover Publications*, Inc., 1981.
- [33] N. Ghosh, S. Mjumder y P. Gupta, “Fluorescence depolarization in a scattering medium: Effect of size parameter of a scatter,” in *PHYSICAL REVIEW E*, vol. 65, pp. 026608-1, 026608-5, 2002.

## EVALUACIÓN TRIBOLÓGICA DE UN LUBRICANTE MODIFICADO CON NANOTUBOS DE CARBONO PARA APLICACIÓN EN SISTEMAS RODANTES-DESLIZANTES

María I. Ardila<sup>1</sup>, William Orozco Murillo<sup>1</sup>; Jesús A. Carlos Cornelio<sup>2</sup>; Paula A. Cuervo Velásquez<sup>3</sup>, Luis F. Jaramillo<sup>3</sup>, Alejandro Toro<sup>3</sup>; Lina M. Hoyos Palacio<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Mantenimiento y Materiales (IDEGMA) Facultad de Ingeniería, Institución Universitaria Pascual Bravo, Calle 75 #73A-223, Medellín, Colombia.

[isabel.ardila@pascualbravo.edu.co](mailto:isabel.ardila@pascualbravo.edu.co), [william.orozco@pascualbravo.edu.co](mailto:william.orozco@pascualbravo.edu.co)

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería Química, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México

<sup>3</sup>Grupo de Tribología y superficies, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia

<sup>4</sup> Centro de Bioingeniería, Grupo de Dinámica Cardiovascular, Facultad de Medicina, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia

**Resumen:** El propósito de este proyecto es modificar un lubricante comercial mediante la adición de nanotubos de carbono de pared múltiple y pared sencilla, para evaluar su comportamiento tribológico bajo condiciones rodantes-deslizantes y así poder determinar la capacidad de los nanotubos de carbono como un aditivo lubricante sólido.

Para tal propósito se obtuvieron probetas de la rueda y el riel, suministradas por la Empresa de Transporte Masivo – Metro de Medellín, a las que se les realizaron pruebas para determinar su composición química (medida por Espectroscopía de Emisión Óptica) y sus propiedades mecánicas en concordancia con las normas europeas EN 13674-1:2011 y EN 13262:2004.

Se sintetizaron los nanotubos de carbono, utilizando dos catalizadores diferentes para su crecimiento: níquel y cobalto; acompañados de análisis estructurales TEM. Estos fueron sometidos a un proceso de purificación; para luego ser usados como aditivo en un lubricante comercial (PAO) a diferentes concentraciones, con el fin de obtener la concentración óptima.

La “Evaluación de las propiedades tribológicas de los nanotubos de carbono”, se realiza comparando el comportamiento tribológico de las diferentes probetas, con base en el análisis de pérdida de masa, daño superficial y coeficiente de fricción de las diferentes probetas sometidas a dos presiones medias de contacto diferentes (0.8 GPa y 1.1 GPa), usando la máquina disco-disco del laboratorio de tribología y superficies de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. En estas pruebas se encontró que se obtienen los valores más bajos de coeficiente de fricción cuando se usa una concentración baja de nanotubos de pared múltiple MWCNT (0,01%) en la base-aceite, mientras que cuando se adicionan los nanotubos de pared simple SWCNT como aditivo lubricante en agua se obtienen valores más altos de coeficiente de fricción a una concentración de 0,05%.

**Palabras Clave:** tribología, lubricación, nanotubos de carbono, propiedades tribológicas.



**Abstract:** The purpose of this project is to modify a commercial lubricant by adding carbon nanotubes multi-walled and single-walled, to assess their tribological behavior under rolling-sliding conditions and thus determine the ability of carbon nanotubes as a solid lubricant additive.

For this purpose samples of the wheel and the rail, provided by the company were obtained Empresa de Transporte Masivo – Metro de Medellín, which were conducted tests to determine their chemical composition (as measured by Optical Emission Spectroscopy) and mechanical properties accordance with European standards EN 13674-1: 2011 and EN 13262: 2004.

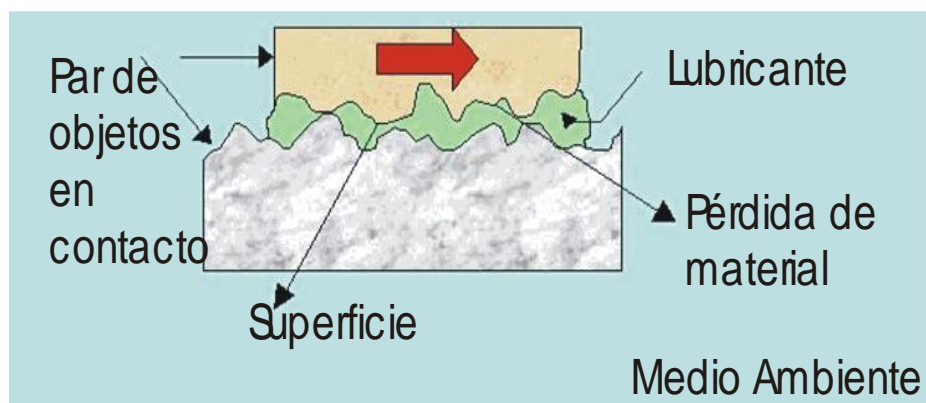
Carbon nanotubes were synthesized using two different catalysts for growth: nickel and cobalt; TEM accompanied by structural analysis. These were then subjected to a purification process; then additivated with these commercial lubricant (PAO) at different concentrations, in order to obtain the optimum concentration.

"Evaluation of the tribological properties of carbon nanotubes," is performed by comparing the tribological behavior of different samples, based on the analysis of mass loss, damage and surface friction coefficient of different specimens subjected to two medium pressures different contact (0.8 GPa and 1.1 GPa) using the machine disk-disk tribology laboratory and surfaces of Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. In these tests it was found that the lowest friction coefficient values are obtained when a low concentration of multi-walled nanotube MWCNT (0.01%) in the base-oil is used, while when the single-walled nanotubes are added SWCNT as lubricating additive in water higher coefficient of friction at a concentration of 0.05% values are obtained.

**Key words:** Tribology, lubrication, carbon nanotubes, tribological properties

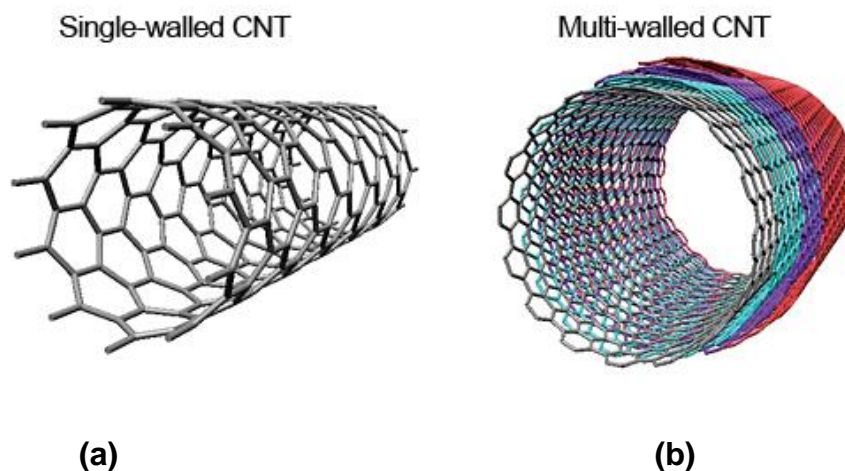
## 1 INTRODUCCIÓN

La generación de productos y servicios se logra a partir de mecanismos conformados por partes en movimiento relativo entre sí, las cuales por su actividad periódica y condiciones de operación están sometidas a desgaste, lo que hace fundamental el adecuado manejo de la lubricación (ver figura 1) [1]. Entre las causas que impiden el control del desgaste debido al mal manejo de la lubricación, pueden mencionarse que el lubricante aplicado no alcanza el coeficiente de fricción adecuado para el funcionamiento correcto de los mecanismos, otra puede ser porque el lubricante no tenga la capacidad de resistir la carga en la que funciona el sistemas mecánico, o el lubricante no tenga los aditivos necesarios para proteger la superficie de corrosión, temperatura y demás condiciones particulares de cada sistema; por lo tanto una mala selección de un lubricante pueden generar un mayor consumo de energía, pérdida de material de las superficies en contacto, consumo de repuestos, altos costos de operación; generando a la vez pérdidas económicas.



**Figura 1.** Representación de un sistema tribológico.

Es por esto que la tribología toma importancia tanto para estudiar la fricción como para determinar la manera de disminuirla, de esta manera diversos materiales a base de carbono han sido ampliamente estudiados como aditivos en lubricantes, entre los que se destacan el grafito, que por su estructura manifiesta excelentes propiedades tribológicas. En esta dirección, los nanotubos de carbono (NTC), tanto de pared sencilla como de pared múltiple, ver figura 2, poseen excelentes propiedades mecánicas, térmicas, eléctricas, químicas y ópticas [2], lo que los hace actualmente objeto de múltiples estudios para evaluar su comportamiento tribológico. Los NTC se han evaluado como refuerzo en materiales compuestos de matrices metálicas y poliméricas, así como aditivo lubricante disperso en agua o aceite.



**Figura 2.** Estructuras de diversos NTC de capa simple (a) y de capa múltiple (b)

## 2 METODOLOGÍA

Este proyecto pretende modificar un lubricante comercial, sintético-polioalfaolefina (PAO), adicionándole NTC de pared múltiple y de pared sencilla por sus buenas propiedades mecánicas que los sugieren como buenos aditivos; y evaluar entonces su comportamiento tribológico simulando las condiciones rodante-deslizantes en la rueda y el riel del Metro de Medellín, para determinar la capacidad de carga de rotura de la película del lubricante aditivado con NTC.

La primera etapa del proyecto consistió en la síntesis (fabricación) de los NTC, no se compraron ya fabricados porque solo con la respectiva síntesis se garantiza la homogeneidad en su estructura molecular. Para esto se utilizaron los catalizadores de Cobalto para fabricar los NTC monocapa y de Niquel para fabricar los NTC multicapa [3]. Luego de fabricados se purificaron, proceso a través del cual se retiran las impurezas con las que quedan los NTC, luego de su síntesis debido a que el 100% del catalizador no se transforma en NTC, esto se realiza a través de lavados y un secado posterior. Al caracterizarlo finalmente se obtienen NTC con una pureza entre el 95 y 98% [4]

Lo siguiente fue “funcionalizar” los NTC, proceso a través del que se crea un grupo funcional que garantice la dispersión de estos en agua y en el lubricante PAO en soluciones de 20 ml a concentraciones de 0.01% (0.002 gr) y 0,05% (0,01 gr) respectivamente. La dispersión se realiza utilizando un agitador magnético por 10 minutos y en sonicado por 5 minutos.

La verificación de que las estructuras obtenidas si corresponden a NTC se realizan a través de microscopías electrónicas de barrido – SEM. Se realizaron las siguientes pruebas:

- FeSEM: fotos de los NTC mono y multicapa (ver figura 3)
- Raman: gráficas (espectro) de los NTC mono y multicapa (ver figura 4)
- FTIR: prueba que comprueba la generación de los grupos funcionales.
- Reología: medición de la viscosidad del lubricante PAO aditivado a las concentraciones ya mencionadas con NTC mono y multicapa.
- Mojabilidad: prueba con la que se determina la capacidad del PAO aditivado para esparcirse en una superficie.

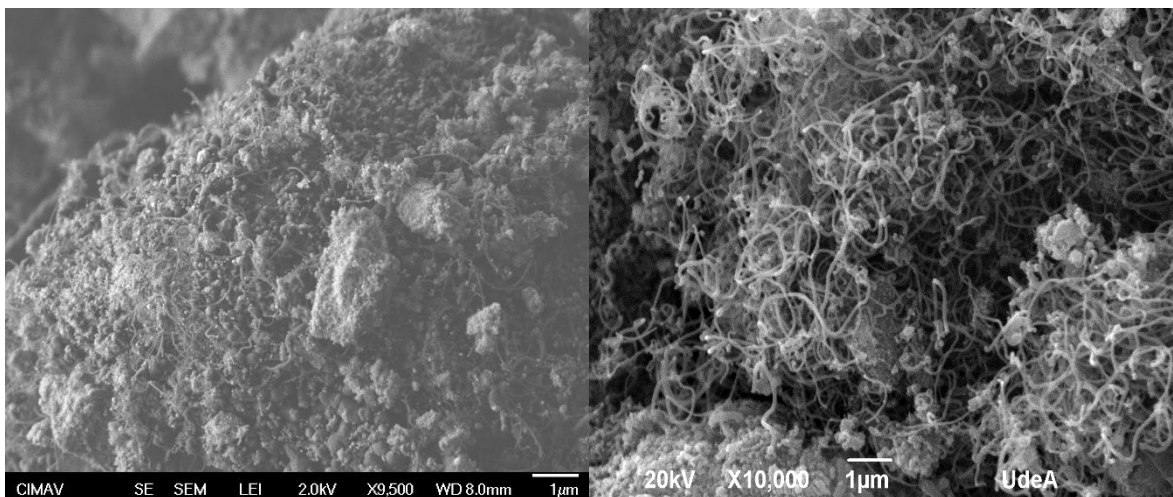


Figura 3. Imágenes SEM de los nanotubos de carbono obtenidos: SWCNT sintetizados, y SWCNT purificados

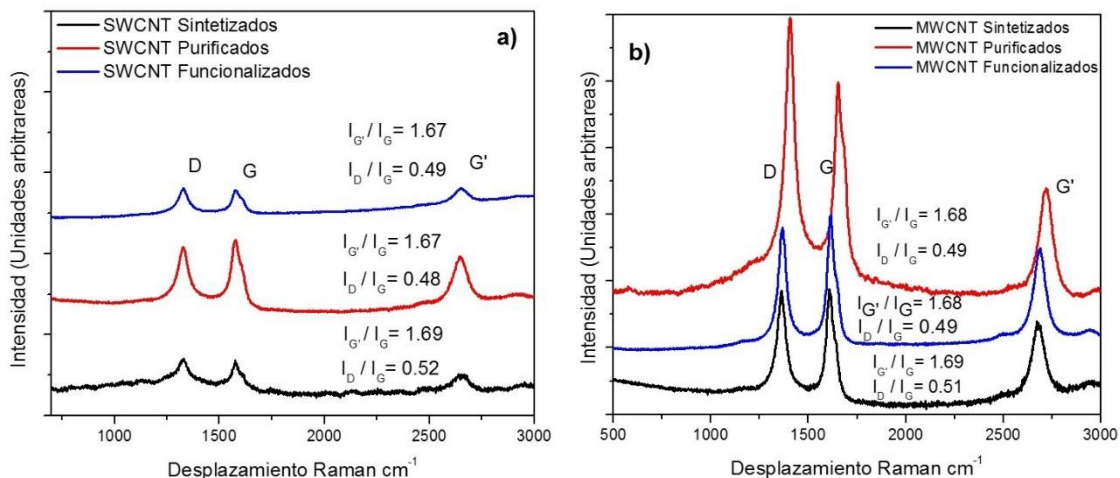


Figura 4. Análisis de Espectroscopia Raman para los nanotubos obtenidos  
a) Nanotubos de carbono monocapa b) Nanotubos de carbono multicapa.

Finalmente se procederá con la evaluación del lubricante PAO aditivado a las diferentes concentraciones, para determinar el efecto que tiene dicha concentración en el coeficiente de fricción y la tasa de desgaste, para poder así establecer las correlaciones entre la respuesta tribológica del lubricante con y sin NTC y concluir si los aditivos funcionan como modificadores de fricción que pueden ser utilizados para reducir desgaste entre las piezas con movimiento relativo entre sí. Dichas pruebas se realizarán en la máquina disco-disco del laboratorio de tribología y superficies de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín (ver figura 5).

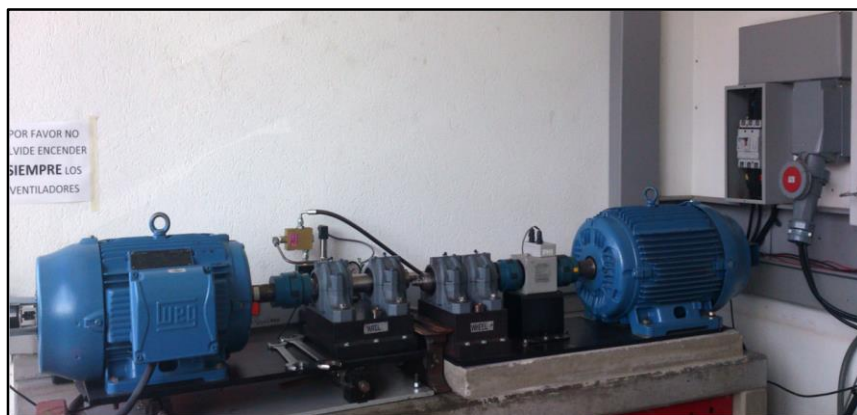


Figura 5. Máquina Disco-Disco versión 2.0 (MDDv2)

### 3 RESULTADOS ESPERADOS

Se espera que la adición de los nanotubos de carbono no modifiquen las condiciones de viscosidad del lubricante y que disminuya el coeficiente de fricción entre la rueda y el riel.

Los ensayos de caracterización reológica de aceites lubricantes se realizan principalmente con el objetivo de determinar la variación de la viscosidad en función de variables como la temperatura, la carga y la tasa de cizallamiento, dichos ensayos se realizarán al lubricante PAO con y sin nanotubos de carbono (SWCNT y MWCNT) a las dos concentraciones definidas de 0.01% y 0.05% respectivamente, determinando además efecto del tiempo en los resultados de las diferentes pruebas.



Las pruebas de pérdida de masa determinarán la efectividad de los NTC como aditivos del lubricante PAO, al comparar los resultados de la pruebas con el lubricante sin aditivar y con este aditivado, tanto con NTC SWCNT (mono capa) y MWCNT (multi capa). La cantidad de masa pérdida evidenciará la eficiencia de los NTC como modificadores de fricción que contribuyan con el control y reducción del desgaste en piezas sometidas a trabajo continuo.

#### **4 CONCLUSIÓN**

Se lograron sintetizar, purificar y funcionalizar NTC monocapa y multicapa de tal modo que sus grupos funcionales garantizan la dispersión en el lubricante PAO.

La pruebas reológicas realizadas hasta el momento indican que el comportamiento de lubricante aditivado con NTC varía dependiendo de las concentraciones y del tipo de NTC, presentándose cambios en la respuesta del lubricante con la velocidad de cizallamiento, mas no con la temperatura, presentándose un comportamiento independiente del tiempo.

La modificación del lubricante PAO con NTC aumenta la resistencia al corte, lo que podría ser importante frente al desgaste y al coeficiente de fricción; aspecto que se evidenciará con las pruebas de pérdida de masa.

#### **5 REFERENCIAS**

- [1] ASTM G40-13, «Standard Terminology Relating to Wear and Erosion», American Society of Testing and Materials, 2013.
- [2] Susumu Arai, Akihiro Fujimori, Masami Marai, Morinobu Endo. Excellent solid lubrication of electrodeposited nickel-multiwalled carbon nanotubes composite films, *Materials Letters*, 62, 3545-3548, 2008.
- [3] Hoyos Palacio, Lina Marcela. Tesis Meritoria Magna Cum Laude: "*Efecto de catalizadores metálicos soportados sobre sílice sol-gel, para la síntesis de nanotubos de carbono mediante deposición química de vapor, a partir de metano*". Tesis de Doctorado. Fecha de sustentación 3 diciembre 2010. Biblioteca Universidad Pontificia Bolivariana. Laureles, Medellín, Colombia.
- [4] Garcia-Garcia, A., Obtención y caracterización teórica y experimental de nanotubos de carbono dopados con diferentes elementos, 2010, Centro de Investigación y de estudios avanzados del Instituto Politécnico Nacional: Santiago de Querétaro, Qro. p. 230

# MOTORES ESTACIONARIOS DIESEL OPERADOS CON ACEITE VEGETAL CRUDO DE JATROPHA Y PALMA

VARGAS ALVAREZ, Fabián

[Fabian.vargas@pascualbravo.edu.co](mailto:Fabian.vargas@pascualbravo.edu.co)

Institución Universitaria Pascual Bravo, facultad de ingeniería, departamento de mecánica automotriz.

## 1 RESUMEN

La operación de los motores diésel con aceites vegetales crudos como combustible, fue concebido desde su invención; sin embargo, la facilidad de acceso a los combustibles fósiles dejó de lado esta iniciativa, la cual volvió a tomar fuerza a raíz de la crisis de precios del petróleo en los años setenta en adelante. Sumando a lo anterior el hecho de que en Colombia existen vastas zonas con potencial agrícola que no están conectadas a la red eléctrica nacional, donde resulta costoso y difícil disponer de combustible diésel, se hace imperativo proporcionar soluciones energéticas sostenibles y ambientalmente viable.

En este trabajo se utilizó un motor diésel estacionario, de inyección directa, utilizado normalmente en generación eléctrica. Se diseñó, construyó y adaptó un sistema de conversión que permitió operar el motor con aceites vegetales crudos de jatropha y palma, tomando el diésel comercial, como referencia de comparación para todos los parámetros analizados.

La experimentación se realizó en dos condiciones, primero a régimen de giro constante y tres grados de carga y la segunda a grado de carga constante y tres regímenes de giro. Las variables medidas más importantes fueron: eficiencia energética, emisiones contaminantes y análisis químico, morfológico, citotóxico y mutagénico del material particulado.

El consumo específico de combustible ( $g_{ef}$ ) incrementó con ambos aceites crudos respecto del combustible de referencia. Lo anterior obedece a su menor poder calorífico. El dosado relativo ( $Fr$ ) aumentó, como era de esperarse, con el grado de carga y con el régimen de giro. Esto se explica por la mayor cantidad de combustible inyectada dentro del cilindro. Consecuentemente la temperatura de gases de escape incrementó en ambas situaciones.

El tiempo de retraso disminuyó con el grado de carga para todos los combustibles debido al incremento en la temperatura media al interior del cilindro, esto se debió probablemente al contenido de oxígeno extra que aportan los aceites, lo que redujo el tiempo de retraso químico. La presión y temperatura máxima de combustión resultaron ser mayores con los aceites. Esto podría obedecer a que la cantidad de combustible inyectada por ciclo y por cilindro era mayor en el caso de los aceites, ya que tienen menor poder calorífico.

Las emisiones de CO y THC (Hidrocarburos totales sin quemar) aumentaron, mientras que las de NOx no variaron significativamente, por su parte la emisión de material particulado incrementó significativamente con el uso de aceites frente al diésel.



Los ensayos en el material particulado MP permiten concluir que en las partículas de hollín de los aceites hay más materia volátil pero esta se encuentra en forma líquida sobre las partículas (impregnados). Y en las pruebas biológicas se encontró finalmente que el material particulado proveniente de la combustión de aceites era más citotóxico y menos mutagénico que el del diésel.

Terminadas las pruebas se desmontó el múltiple de escape, la culata y las válvulas de uno de los cilindros con el fin de realizar una inspección visual. Se encontró en estas piezas depósitos de carbón con espesores hasta de 4 mm, la pieza con mayor espesor de depósitos de hollín fue el múltiple de escape.

### **Palabras claves**

Aceite vegetal crudo, motores diésel, combustión, emisiones, material particulado.

## **2 INTRODUCCIÓN**

Algunas alternativas en la producción de biocombustibles son la gasificación de biomasa, licuefacción, transesterificación de grasas animales y el uso de aceites crudos de origen vegetal con la visión del uso eficiente como combustible en motores diésel.

Las principales características reportadas en estudios sobre el uso de aceites crudos en motores diésel ha sido sobre las diferencias que se presentan entre los combustibles, debido a que los motores son sensibles a la calidad de los aceites utilizados, ya que presenta atraso en la ignición y disminución de la potencia debido a la mayor densidad y viscosidad en los aceites, tienen menor poder calorífico, mayor punto de llama, mayor densidad y viscosidad. [1, 2] [3,4].

Las primeras experimentaciones en Brasil con aceites crudos, fueron en motores diésel de aspiración natural aplicados a generación eléctrica. El uso de aceite de palma crudo mostró que estos motores que presentaron atraso en la ignición y disminución de la potencia debido a la mayor densidad y viscosidad en los aceites. El aceite crudo de palma tiene menor poder calorífico, mayor punto de llama, mayor densidad y viscosidad. Para mejorar estas propiedades físicas del aceite, se calentó hasta 85°C, con el objetivo de disminuir su viscosidad a un valor cercano al del diésel a temperatura ambiente, [3].

El aceite crudo de palma puede afectar la durabilidad del motor, en estudios realizados en la India, sobre el efecto del uso de mezclas de combustible diésel y aceite de palma en las partes del motor, se encontró, abundantes depósitos de carbón en la cámara de combustión, marcas de desgaste en los anillos del pistón, en las partes de la bomba de inyección y desigual pulverización en las toberas del inyector, la pieza que más desgaste mostró por el uso del aceite vegetal fueron en las válvulas de admisión causado por los depósitos de carbón en los asientos de las válvulas, esto puede afectar el rendimiento del motor hasta un 20%[5].

El aceite crudo de jatropha se está utilizando cada vez más en motores de encendido por compresión, y se han planteado parámetros de calidad que exija a los fabricantes de aceites que tengan ciertas normas de calidad similares a la del diésel, con el objetivo de que el funcionamiento de los motores con estos combustibles muestren una verdadera rentabilidad



económica en su mantenimiento y operación.[6]. La importancia del uso de aceite crudo de *jatropha* consiste en que no es comestible y no compite con la canasta alimenticia y hace parte de un grupo de aceites entre ellos la karanja, mahua, linaza, semillas de caucho, algodón y neem oils que han sido estudiados como alternativa para ser explotados como combustibles sustituto del diésel [7] [8][9].

En pruebas realizadas con ratones, células y órganos internos de estos, se pudo comprobar los efectos mutagénicos y citotóxicos de los gases de escape y del material particulado emitido en motores diésel operados con aceite de colza. El material particulado se recogió con filtros de fibra de vidrio recubiertos con plástico, en un mini túnel de dilución parcial utilizando diferentes ciclos de pruebas en motores montados en un banco dinamométrico. Se encontró aumento significativo de mutaciones para los extractos de partículas de ambos combustibles, pero para el diésel fue significativamente mayor, los valores más altos se encontraron en pruebas de arranque en frío, probablemente debido a la combustión incompleta en el motor en frío, los resultados indicaron una mayor capacidad de reacción mutagénica en las emisiones del diésel en comparación del diésel de colza, probablemente debido al menor contenido de compuestos aromáticos[10]

### 3 MONTAJE EXPERIMENTAL

Se utilizó un motor Diésel de inyección directa marca HATZ de uso estacionario refrigerado por aire acoplado a un freno hidráulico GO-POWER SYSTEM SN RD2192 en un banco de ensayos instrumentado para medir y controlar sus principales variables, las características técnicas del motor se mencionan en la Tabla 1.

*Tabla 1: Datos técnicos del Motor*

Configuración/tipo motor	2 Cilindros/ 4 tiempos
Desplazamiento	912 cm <sup>3</sup>
Diámetro /carrera	88/75 (mm)
Relación de compresión	20:1
Longitud de biela	150 mm
Inyección	Directa
Aspiración	Natural
Par máximo	43 N-m con combustible diésel

Se diseñó, construyó y adaptó un sistema de conversión que permitió operar el motor con aceites vegetales crudos de *jatropha* y palma, tomando el diésel comercial, el cual tiene 10% de biodiesel de aceite de palma, como referencia de comparación para todos los parámetros analizados. Las propiedades de los combustibles utilizados se mencionan en la Tabla 2.

Tabla 2: Propiedades de los aceites utilizados

Combustible	Fórmula química	% Peso de O <sub>2</sub>	Poder calorífico inferior PCI (kJ/kg)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Diésel	C <sub>15.0371</sub> H <sub>29.4106</sub> O <sub>0.1975</sub>	1.2	42.580	841.7
Aceite de Jatropha	C <sub>57</sub> H <sub>104</sub> O <sub>6</sub>	11.06	37.071	917
Aceite de Palma	C <sub>51</sub> H <sub>98</sub> O <sub>6</sub>	11	36.543	875

La experimentación se realizó en dos condiciones, primero a régimen de giro constante (1800 min<sup>-1</sup>) y tres grados de carga (15, 25 y 35 Nm) y la segunda a grado de carga constante (25Nm) y tres regímenes de giro (1800, 2400 y 3000 min<sup>-1</sup>). En cada uno de los 21 ensayos: (3 combustibles x 3 velocidades) + (3 combustibles x 3 pares) + (3 pruebas de repetibilidad). Las variables de los ensayos se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3: Variables de los ensayos

Parámetro	Unidad	Precisión	Incertidumbre
Consumo	g	± 0.1	-
Consumo de aire	%	± 1.2	-
Par	Nm	± 1	-
Régimen de giro	min <sup>-1</sup>	± 3	-
CO	%	± 0.1	-
THC	ppm	± 1	-
NOx	ppm	± 1	-
Temperatura de	K	± 1	-
Gef	g/kWh	-	15.7
Rendimiento	%	-	0.0012
Dosado absoluto	---	-	0.00032

El procedimiento se realizó de forma que en cada prueba las condiciones fueran iguales. Se mantuvo la temperatura de los aceites crudos a 80°C con el uso de resistencias en el tanque de combustible y en los filtros antes del ingreso a la bomba de inyección. Luego de encender el motor se dejó en operación más de 20 minutos para que llegara a su temperatura de trabajo, en este punto se fija el régimen y par deseado para la prueba y se deja que se establezca nuevamente, en estas condiciones se procede a hacer las mediciones de las variables. Garantizando en cada punto de medición el mismo procedimiento. En la Tabla 4 se mencionan las variables de ensayo y los equipos utilizados en la experimentación.

Tabla 4: Variables de ensayo, equipos utilizados y incertidumbre mínima de los equipos

Medida	Equipo de medición	Incertidumbre mínima
Consumo combustible	Balanza electrónica (Shimatzu)	0.1 g
Consumo de aire	Sensor de hilo caliente (Thermatel TA2 Mass Flow Transmitter)	1.2% de la lectura
Torque	Celda de carga	1 Nm
Revoluciones por minuto	Sensor de efecto Hall	5 min <sup>-1</sup>
Monóxido de carbono (CO)	AVL Dicom 4000	0.01% Vol.
HC hexano (ppm) en volumen	AVL Dicom 4000	1
NOx (ppm) en volumen	AVL Dicom 4000	1
Presión en cámara de combustión	Cadena de Combustión Kistler (5011B)	4.3 pC/N
Presión de inyección	Cadena de Combustión Kistler (5011B)	4.3 pC/N
Ángulo de giro de cigüeñal	Codificador angular (HEIDENHAIM)	1/1024 pulso/rev.
Material particulado (Morfología)	Minitunel de dilución parcial (Ricardo)	Grado de dilución 10
Material particulado (Pruebas químicas)	Trampa de paso (desarrollo propio)	NA

Después de cada prueba con los aceites, se retiró todo el combustible de las líneas de alimentación del motor, se realizó el cambio de combustible y reinicio la prueba siguiente. La obtención de las curvas de presión en cámara y presión de inyección se obtuvieron utilizando sensores piezoléctricos instalados en la cámara de combustión y en la línea de presión antes del inyector, y un codificador angular adaptado al cigüeñal. Se capturaron 100 curvas por prueba para obtener un promedio de la curva para el análisis de diagnóstico de combustión. Con una tarjeta de adquisición de datos de la National Instruments con puerto USB, se almaceno en un computador todos los datos de las pruebas.

En las emisiones contaminantes se utilizaron los equipos mencionados en la Tabla 4. Para las pruebas de toxicidad y mutagenidad se utilizó una trampa para el material particulado, en tres modos de las pruebas por un tiempo de dos horas.

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Prestaciones mecánicas

#### 4.1.1 Consumo específico de combustible (gef)

Indica la masa de combustible necesaria para producir una unidad de potencia en el eje

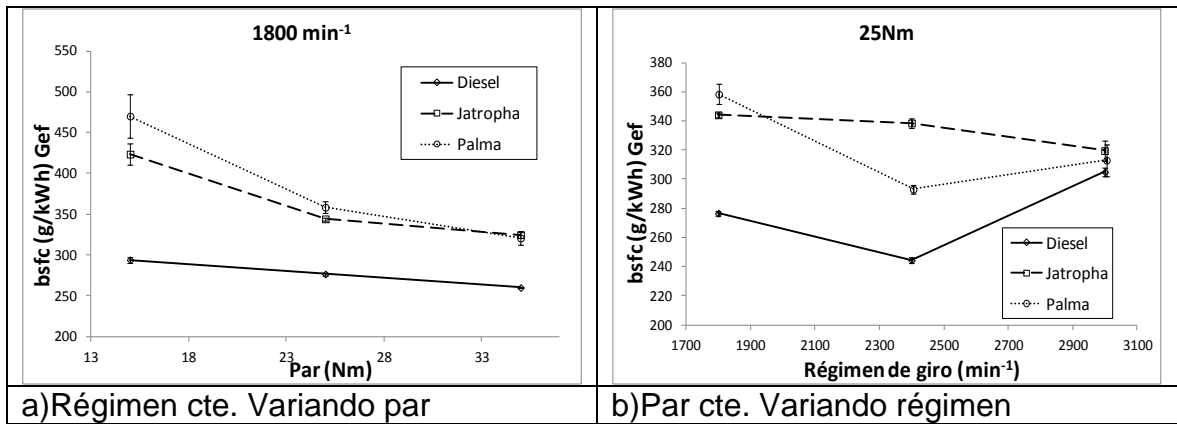


Figura 1: Consumo específico de combustible (bsfc-ger).

En la Figura 1a, se observa que a régimen constante y variando el par, presenta la tendencia de disminuir el *gef*, esto se da por el aumento de la temperatura en el cilindro que permite que el motor se acerque a la zona de menor consumo, el incremento del *gef*, en los aceites con referencia al diesel, se debe al menor poder calorífico y menor eficiencia del proceso de combustión. En la Figura 1b, a carga constante y variando régimen se obtuvo un comportamiento típico de la curva cóncava del *gef* para todos los combustibles, esto se explica que a bajo régimen el *gef* se incrementa por la mayor pérdida de calor por las paredes del cilindro, y en el caso de alto régimen este incremento se da por las pérdidas mecánicas. Eficiencia de conversión de combustible ( $\eta_f$ )

Es la medida de la eficiencia con la que el motor convierte la energía química del combustible en potencia en el eje.

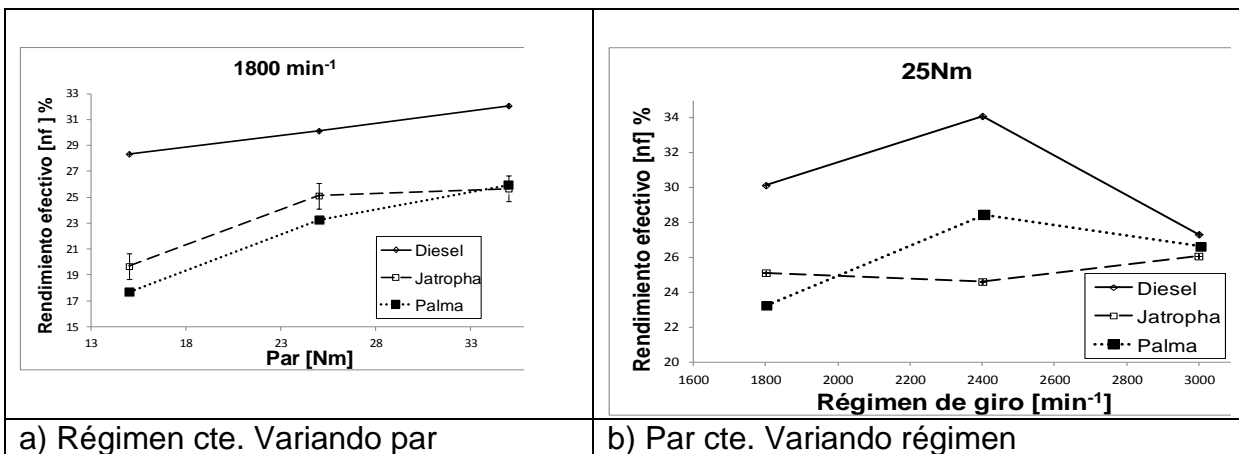


Figura 2: Rendimiento de conversión de combustible

En la Figura 2a, a régimen constante e incrementando carga, se observa que los tres combustibles presentan tendencia a aumentar el rendimiento efectivo del combustible ( $\eta_f$ ), esto ocurre por el incremento de temperatura en el cilindro, por lo que se requiere entregar menos calor para obtener la energía que da el combustible. El  $\eta_f$  disminuyó con ambos aceites crudos respecto del combustible de referencia, esto se debe al menor poder calorífico de los aceites. En la Figura 2b, este tiene el comportamiento inverso del *gef*, que se explicó anteriormente.

#### 4.1.2 Temperatura de gases de escape

La temperatura de los gases de escape se midió a la salida del cilindro del motor.

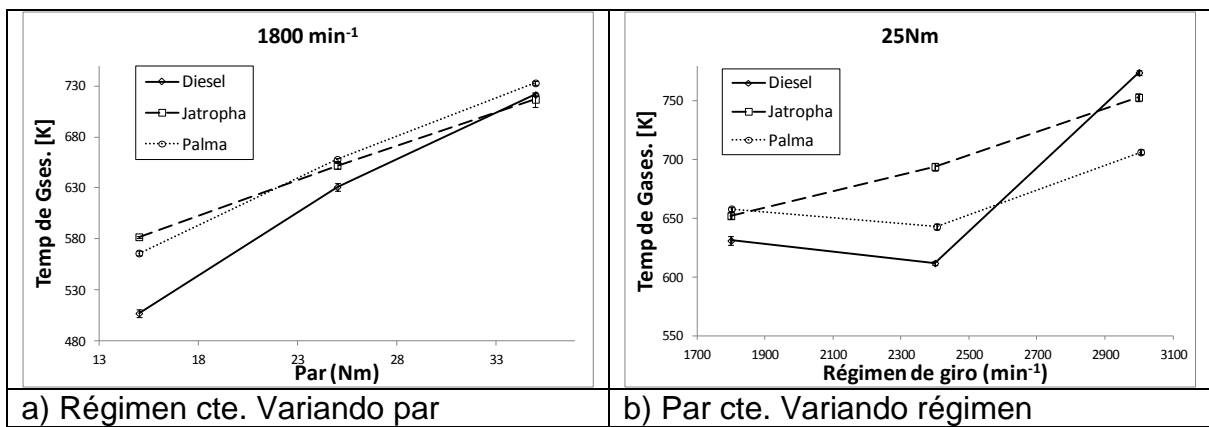


Figura 3: Temperatura de gases

En la Figura 3a, a régimen constante y variando carga los tres combustibles produjeron aumento en la temperatura de gases de escape. A mayor carga las temperaturas de los gases de escape tienden a ser similares para los tres combustibles, esto ocurre por el aumento de transferencia de calor al cilindro al aumentar el número de detonaciones por unidad de tiempo. La temperatura de gases de escape aumentó más con ambos aceites crudos respecto al combustible de referencia. Esto se debe al mayor contenido de oxígeno que hay presente en la combustión y al mayor grado de instauración.

En la Figura 3b, a par constante y variando régimen los tres combustibles presentan aumento en la temperatura de gases de escape. Esto se explica que para aumentar régimen hay que inyectar más combustible en el cilindro, es más energía que se convierte en calor que se transfiere a las paredes. Los dos aceites crudos presentaron mayor temperatura de gases de escape, esto se debe al mayor contenido de oxígeno que hay presente en la combustión y al mayor grado de instauración de los aceites crudos.

#### 4.1.3 Dosado absoluto ( $F_{abs}$ )

El Dosado absoluto es la relación *combustible/aire real*, que entra al motor.

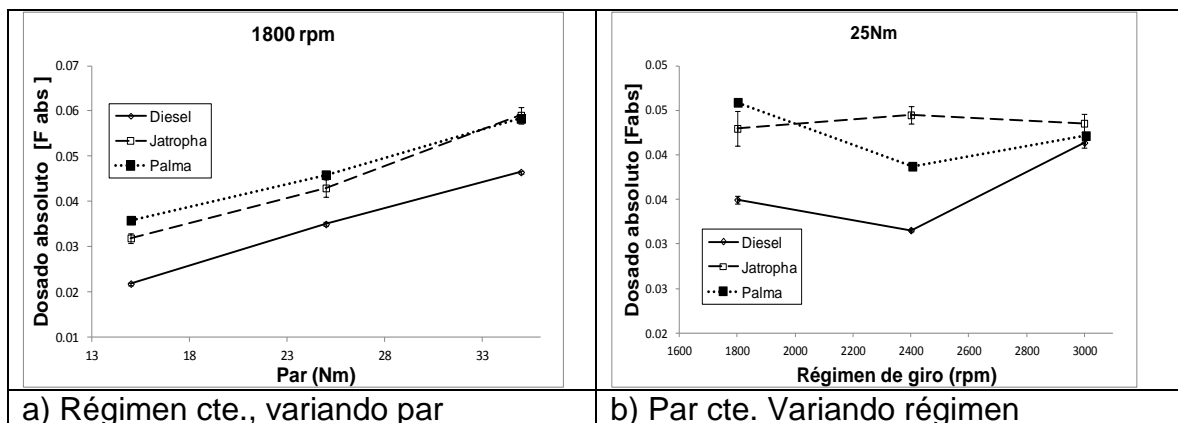


Figura 4: Dosado absoluto.

En la Figura 4a, los Aceites de jatropha y palma produjeron aumentos del 8.3% y 22.9% respectivamente en el  $F_{abs}$  frente al combustible diésel de referencia. El Aceite que provocó mayor aumento en el  $F_{abs}$  es el aceite de palma con 22.9%. Obsérvese que el diésel y los aceites de jatropha y palma presentaron diferencias estadísticas. Como era de esperarse los



resultados de dosado absoluto mostraron una variación o tendencia similar a la observada en la temperatura de gases de escape, debido a que esta última depende directamente de la cantidad de combustible inyectado al motor. En la Figura 4b los aceites crudos presentan mayor  $F_{abs}$  con referencia al diésel, la razón de este comportamiento se debe al menor poder calorífico de los aceites, como consecuencia se debe inyectar mayor cantidad de combustible para obtener la misma potencia en el eje.

## 4.2 Diagnóstico termodinámico

### 4.2.1 Presión en cámara de combustión.

El gradiente de presión máxima es un indicativo del ruido producido por el motor, a menor gradiente, menor ruido, la presión en cámara se ve afectada por el régimen, par y tipo de combustible.

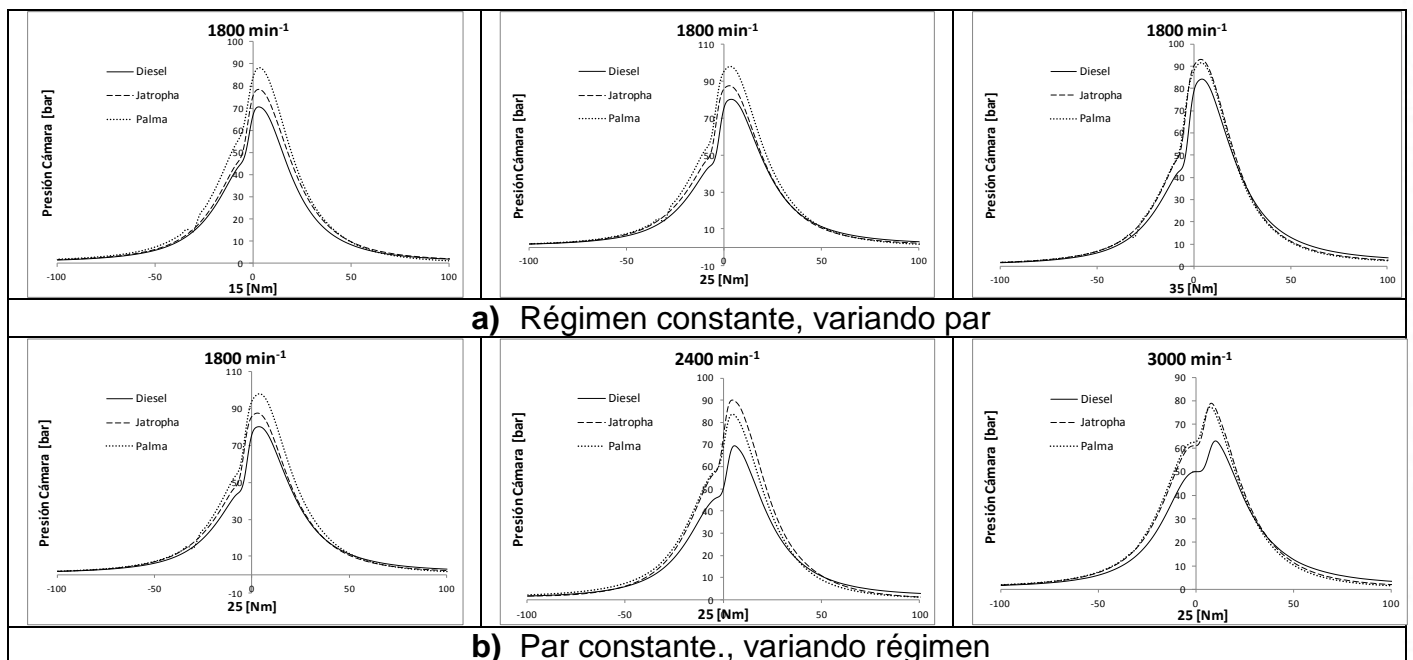


Figura 5: Curvas de presión en cámara de combustión

En la Figura 5a y Figura 5b, se muestran las curvas de presión en cámara de combustión, para las pruebas con régimen constante y variando par, y las curvas a par constante y variando régimen, en cada una de ellas se muestra las curvas de cada combustible utilizado en las pruebas con referencia del diésel.

Los aceite de jatropha y palma presentaron mayor presión en la cámara frente al combustible diésel de referencia. Esto se da por la mayor cantidad de aceite crudo inyectado para obtener la misma potencia deseada, el aumento de la presión se debe al aumento de la temperatura en el cilindro y el mayor contenido de oxígeno en los aceites crudos.

### 4.2.2 Ángulo de inicio de inyección

El ángulo de inicio de inyección se toma con referencia al punto muerto superior ( $pms$ ) del motor, los valores de los grados se miden antes del  $pms$ , esta información se obtuvo con el uso del

sensor de presión piezoeléctrico instalado en la tubería del combustible en la entrada del inyector y un codificador angular instalado en el cigüeñal, con estas dos señales, caída de presión en la tubería de combustible y posición del cigüeñal se obtiene el ángulo de inicio de inyección.

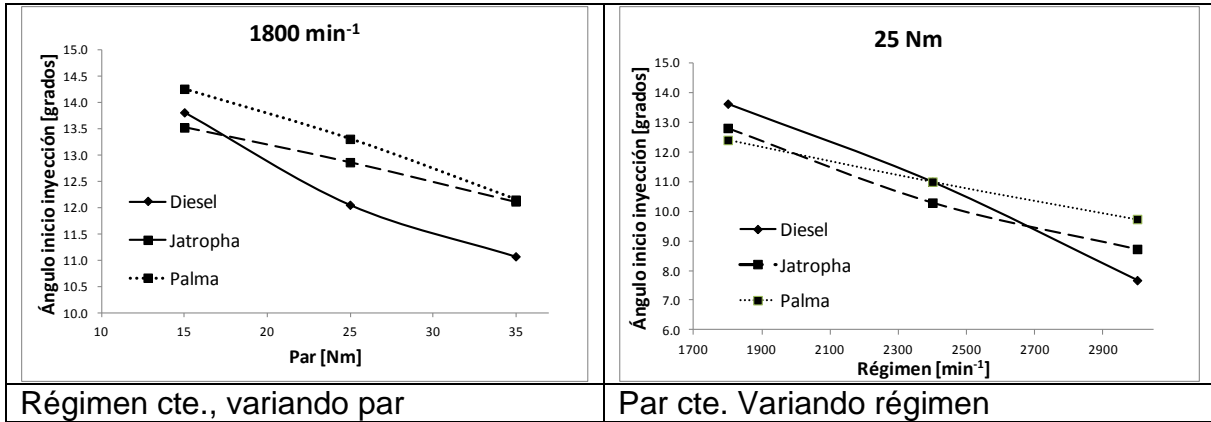


Figura 6: Ángulo de inicio de inyección

En la Figura 6a, se observó que los combustibles al incrementar el grado de carga a régimen constante, se producía una disminución en el ángulo de inicio de inyección, esto se debe a la mayor densidad de los aceites crudos, que al ser comprimidos transmiten más rápidamente la señal de presión dentro del inyector y se da más rápidamente la apertura del inyector.

En la Figura 6b, se observó que los combustibles al incrementar el régimen se producía una disminución en el ángulo de inicio de inyección, esto se debe a la mayor densidad de los aceites crudos, pero a bajos regímenes los aceites crudos presentaron menor ángulo de inicio de inyección, a regímenes de 2400 min<sup>-1</sup> presentaron valores cercanos entre sí, a altos regímenes es inverso el comportamiento, se tienen mayores ángulos de inicio de inyección con los aceites crudos de jatropha y palma.

### 4.3 Emisiones gaseosas

#### 4.3.1 Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)

Estos compuestos se producen durante la combustión por reacción entre oxígeno atómico y nitrógeno, son dependientes de la temperatura.

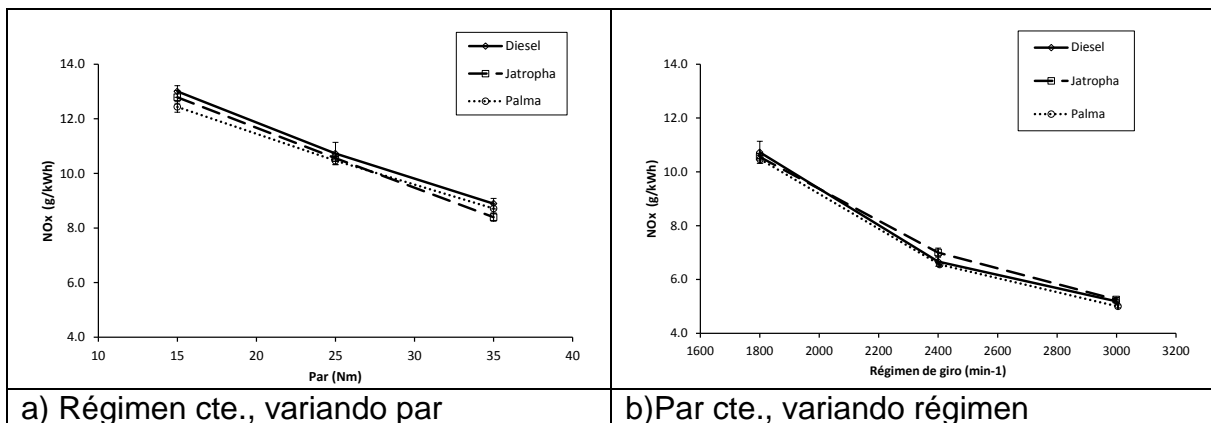


Figura 7: Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>).

En la Figura 7, Se observa aun con la variación de carga o régimen, una leve disminución de la emisión de NOx, con respecto al combustible de referencia. También esta disminución se puede dar por el mayor contenido de oxígeno del aceite crudo que hace que el motor trabaje con dosados globales más pobres, permitiendo menores temperaturas en la cámara de combustión[11].

#### 4.3.2 Material Particulado Específico (spm)

El análisis del Material Particulado Específico (spm) siglas en inglés, de los gases de escape diluidos, Bajo la norma CEE-49 (Comunidad Económica Europea).

El material particulado puede ser solido o líquido y está compuesto por una fracción insoluble que puede tener compuestos orgánicos e inorgánicos, en la que prevalecen el carbono (hollín), sulfatos, sales, agua y otros materiales orgánicos que dependen del combustible y por una fracción orgánica soluble (SOF) compuesta por hidrocarburos pesados provenientes del combustible y del aceite lubricante[12]

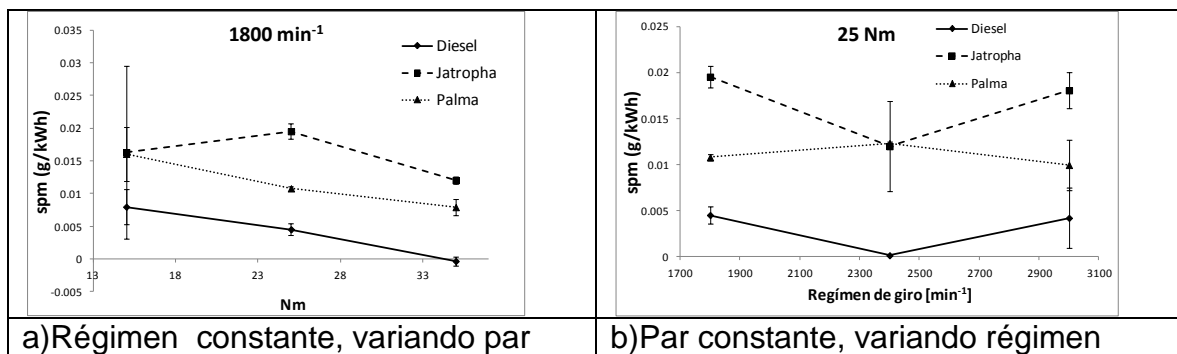


Figura 8: Material particulado específico SPM

En la Figura 8a, se observa que independiente del tipo de combustible, al incrementar el grado de carga a régimen constante se produce una disminución en el material particulado (hollín), se puede dar por la cinética química de las primeras fases de la combustión que hace que el tiempo de retraso sea más corto, permitiendo que se avance el momento de inicio de combustión lo que da más tiempo para la oxidación de las partículas. En la Figura 8b, a par constante y variando régimen se observa que el comportamiento de las emisiones es cóncava, esto muestra el punto de mejor operación del motor. El hollín se incrementó con ambos aceites crudos respecto al combustible de referencia, esto se debe a las características propias de los aceites como su viscosidad, poder calorífico entre otros.

Estos resultados indican que con el uso de aceites vegetales crudos de jatropha y palma es evidente el incremento en el material particulado en las emisiones del motor, este aumento del hollín tiene consecuencias en las partes mecánicas del motor. Se encontraron depósitos de hollín con espesores de hasta 3mm en los cuellos de las válvulas, múltiple de escape, cabeza del pistón y los inyectores.

#### 4.4 Hidrocarburos (THC)

La emisión hidrocarburos totales en caliente (TCH), suele ser muy pequeña en motores diésel convencionales debido a su principio de operación (mezclas globales pobres con condiciones de llama difusiva con contorno estequiométrico).

En la Figura 9<sup>a</sup>, y 9b se encontró un aumento significativo en la emisión de THC, Los Aceites de jatropha y palma produjeron un aumento en torno al 86.3% 113.9% respectivamente en las emisiones de HC frente al combustible de referencia. Este valor continúa siendo muy bajo como emisión global del motor. No obstante, este incremento se puede explicar por una combustión más incompleta generada por el uso de los aceites crudos. Y el mayor contenido de oxígeno en la molécula de los aceites

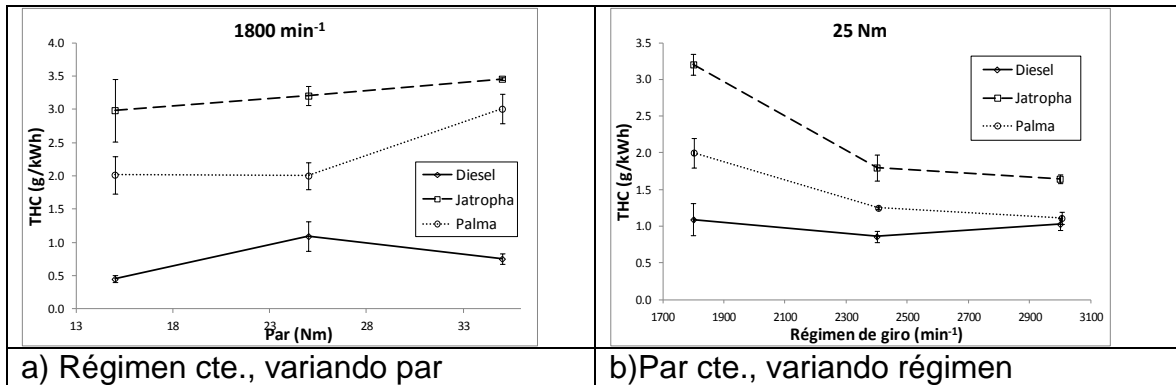


Figura 9: Hidrocarburos totales en base Hexano (THC).

#### 4.5 Morfología y composición química del hollín

Al comparar visualmente los hollines recogidos con los combustible utilizados en las pruebas se encontró que el aspecto del hollín del diésel era suelto, seco y opaco, el hollín del aceite de jatropha presento una apariencia un poco más aglomerada y brillante, el hollín del aceite de palma presentó una apariencia húmeda, brillante y formaba grumos fácilmente.

Los resultados de esta prueba de fracción orgánica volátil son entregados por la balanza TGA. En la Figura 10 se observa las curvas del hollín de los tres combustibles, se tiene que el peso inicial se considera un 100% y al final de la prueba las curvas representan la cantidad de masa perdida.

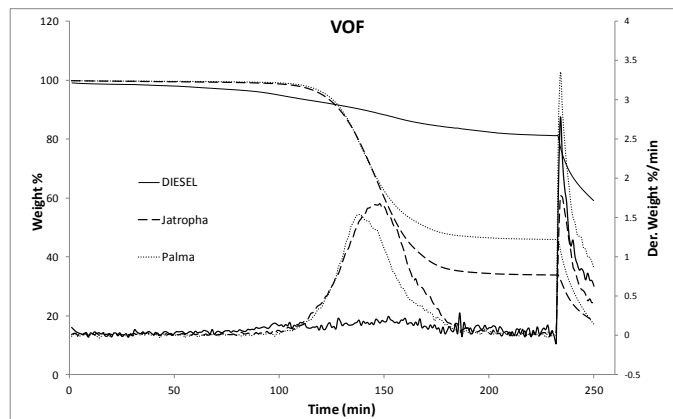


Figura 10: Prueba VOF diésel, Jatropha y Palma

En la Figura 10, se observa la curvas de desvolatilización del hollín de los aceites crudos de jatropha y palma pierden peso más rápidamente que el hollín del combustible diésel, esto indica que la naturaleza del material particulado de los aceites crudos y el diésel son muy diferentes entre sí.

#### 4.6 Actividad genotóxica

Cada uno de los extractos se diluyó en dimetilsulfoxido (DMSO), se trató 50.000 células con diluciones logarítmicas: 500, 50, 5, 0.5 y 0.05 de  $\mu\text{g}$  equivalentes de material particulado MP total, el tratamiento fue por 1 hora. En la Figura 11, aunque los tres combustibles presentaron alta actividad genotóxica, se encontró que esta actividad es mayor en el combustible diésel, probablemente debido al incremento en las especies reactivas, también a los hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPA) adheridos al MP y contenidos en el material orgánico extraíble. He et al [13], encontraron HPA característicos para diésel, biodiesel o biocombustible. También Krahl et al[14], encontraron diferencias entre las emisiones y en la actividad mutagénica del diésel, biodiesel y biocombustible de origen vegetal. Para determinar si el contenido de HPA es diferente en cada MP proveniente los combustibles usados en esta investigación, es necesario hacer caracterización química de cada MP.

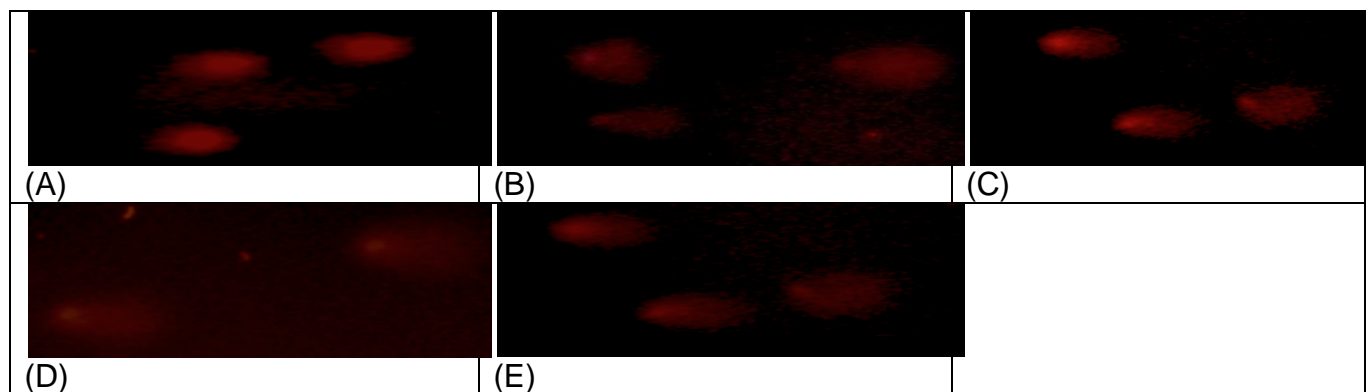


Figura 11: Núcleos altamente dañados con la dosis 5  $\mu\text{g}$  equivalentes de MP. (A). Control negativo, (B) Control Positivo. (C) combustible Diesel, (D) Combustible Palmay (E) Combustible Jatropha

## 5 CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

La operación del motor fue estable, no presentó variaciones significativas de potencia, variaciones instantáneas de régimen o apagado espontaneo con el uso de los aceites.

En la

Tabla 5, se resume los resultados más significativos de las pruebas y sus conclusiones.

Tabla 5: Tablas de conclusiones y observaciones

Conclusiones		
Variable	Resultado	Observaciones
Consumo específico de combustible GEF	-	El consumo específico es mayor con los aceites crudos, esto es de esperarse ya que tienen un poder calorífico menor, el mayor incremento se presentó a bajas revoluciones, jatropha 445 a 15Nm, Palma59% a15Nm
Eficiencia de conversión de combustible	-	En la eficiencia de conversión de combustible los aceites de jatropha y palma se encontraron por debajo de la eficiencia del combustible diésel en un 30%

Temperatura de gases de escape	+	El incremento máximo con los aceites se presentó por encima del combustible diésel en un 30 y 25% con aceite de jatropha y palma respectivamente, aunque no se presentó incremento en las emisiones de NOx
Dosado absoluto	-	El dosado está ligado al consumo de combustible si el consumo aumenta el dosado también aumenta, se encontraron variaciones del 46 y 64% con aceite de jatropha y palma respectivamente
Duración de la combustión	+	
Tiempo de retraso	+	Hay menor tiempo de retraso con los aceites crudos, esto se debe a la densidad de los combustibles.
Presión en cámara de combustión	+	A pesar de lo los aceites crudos tienen menor poder calorífico, se obtuvo mayores presiones en la cámara de combustión, esto se debe al mayor contenido de oxígeno
Fracción de calor liberado FQL	+	Se presenta adelanto en la fracción de calor liberado, esto se debe a que está directamente relacionado con los parámetros anteriormente mencionados
<b>Emisiones</b>		
Óxidos de nitrógeno NOx	+	A pesar de que hay aumento de temperatura y mayor presión en cámara, se presentó menores valores de NOx con los aceites de jatropha y palma
Hidrocarburos THC	-	Con los aceites de Jatropha y palma se presentó mayor hidrocarburos, esto se evidencia en el estudio de los hollines y en las pruebas de TGA
Material particulado	-	Se encontró que hay mayor emisión de partículas con los aceites de jatropha y palma, y se encontró
Prueba VOF (fracción orgánica volátil)		Con esta prueba se comprobó el alto contenido de material volátil o combustible si quemar en el hollín de los aceites de jatropha y palma
Actividad genotóxica en linfocitos humanos	+	Los resultados muestran que los tres combustibles presentan actividad genotóxica, el combustible diésel tiene mayores valores. Para poder hacer una discusión menos general y más asociada con los resultados hay que decodificar los combustibles y poder atribuir las diferentes respuestas al diésel o a cada biocombustible usado

## 6 AGRADECIMIENTOS

Me complace hacer el reconocimiento y agradecimiento al Grupo GIMEL, al profesor John Ramiro Agudelo Santamaría director del grupo de investigación del área de máquinas térmicas, a la Universidad de Antioquia, y la Universidad de Castilla-La Mancha, por sus aportes en el desarrollo de esta investigación

## 7 REFERENCIAS

- [1]. Pimentel, V.S.B., *ANALYSIS OF THE USE PALM OIL AS FUEL IN DIESEL GENERATORS*. COPPE, 2004.

- [2]. Nwafor, O.M.I., *The effect of elevated fuel inlet temperature on performance of diesel engine running on neat vegetable oil at constant speed conditions*. Renewable Energy, 2003. **28**: p. 171–181.
- [3]. Belchior, C.R.P., *The use of pal oil in diesel engine* COBEM, 2005.
- [4]. Dhar, A.K.A.a.A., *Experimental Investigations of Preheated Jatropha Oil Fuelled Direct Injection Compression Ignition Engine—Part 1: Performance, Emission, and Combustion Characteristics*. JAI, 2010. **7**.
- [4]. S Bari, C.W.Y.a.T.H.L., *Performance deterioration and durability issues while running a diesel engine with crude palm oil*. SAGE, 2002.
- [6]. Jan de Jongh, A.T.A., *Jatropha oil quality related to use in diesel engines and refining methods*. Technical Note, 2007.
- [7]. No, S.-Y., *Inedible vegetable oils and their derivatives for alternative diesel fuels in CI engines: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011. **15**: p. 131–149.
- [8]. Pramanik, K., *Properties and use of jatropha curcas oil and diesel fuel blends in compression ignition engine*. Renewable Energy, 2003. **28**: p. 239–248.
- [9]. Guenter Elsbett, M.B., *Engines running on pure vegetable oil as regrowing fuel History, Development, Experience, Chances*. Presentation for Shanghai International Symposium on I.C. Engine 2003, 2003: p. 1-18.
- [10]. Ju"rgen Bu"nger , Ju"rgen Krahl , Hans-Ulrich Franke , Axel Munack ,Ernst Hallier, *Mutagenic and cytotoxic effects of exhaust particulate matter of biodiesel compared to fossil diesel fuel*. Mutation Research 1998. **415**: p. 13–23.
- [11]. Lapuerta, M., Armas,O, Ballesteros,R., *Diesel particulate emissions from biofuels derived from spanish vegetable oils*. SAE paper 2002. **01**: p. 1657-2002.
- [12]. Agudelo, M.I.P.J.R., *Utilización de combustibles alternativos en motores térmicos*. 2004. **Modulo 2**: p. 119-124.
- [13]. He CH, G.Y., Tan J, You K, Han X, Wang J, *Characteristics of polycyclic aromatic hydrocarbons emissions of diesel engine fueled with biodiesel and diesel*. Fuel, 2010. **89**: p. 2040–2046.
- [14]. Krahl J, K.G., Munack A, Ruschel Y, Schrödel O, Hallier E, Westphal G, Bünger J, fuel, 2009. **88**: p. 1064 – 1069.

## SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y ALMACENAMIENTO DE DATOS, APLICADO A UN HORNO DE DESHIDRATACIÓN SOLAR

Jose Alfredo Palacio<sup>1</sup>, Bayardo Emilio Cadavíd<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Electrónica Institución Universitaria Pascual Bravo, Calle 73 No. 73A - 226, Medellín, Colombia*

<sup>2</sup>*Departamento de Mecánica Institución Universitaria Pascual Bravo, Calle 73 No. 73A - 226, Medellín, Colombia*

correo-e: josealpa@pascualbravo.edu.co, b.cadavid@pascualbravo.edu.co.

**Resumen:** Este documento está basado en la implementación de un sistema de adquisición y almacenamiento de datos, empleando sistemas embebidos y sensores de variables ambientales presentes en sistemas de deshidratación solar. El desarrollo de proyectos de investigación, necesita generalmente de la obtención de datos temporales, empleando instrumentos con personal dedicado para tomar las medidas para cada una de las variables de interés. Son entonces necesarios los sistemas de adquisición de datos con almacenamiento de información en forma automática, para su posterior procesamiento y reducción del proceso manual. El sistema de adquisición de datos desarrollado, forma parte del proyecto. “*Desarrollo de un sistema de deshidratado solar, controlado mediante sistemas embebidos para el secado plantas aromáticas y medicinales*”. Las variables que se tuvieron en cuenta para la adquisición en el proyecto fueron: temperatura y humedad, a partir una tarjeta electrónica acondicionada para sistemas de desarrollo con microcontroladores. Las demás variables a medir y sus valores a almacenar en el avance del proyecto son: radiación solar, la velocidad del flujo de aire y el peso de las plantas a deshidratar.

**Palabras Clave:** deshidratador, energía solar, plantas, humedad, temperatura, adquisición, almacenamiento, microcontrolador, sensores.

**Abstract:** This paper is supported in the implementation of data acquisition and storage system, Using embedded systems and sensors of environmental variables in solar drying systems. Development of research projects, generally requires obtaining temporary data, employing instruments with dedicated staff to make arrangements for each of the variables of interest. They are necessary data acquisition systems with storage automatically, for further processing and reducing manual process. The data acquisition system developed, it is part of project. "Development of a solar dehydrated, controlled by embedded systems for drying of aromatic and medicinal plants". The variables taken into account for the acquisition in the project were: temperature and humidity, from an electronic card conditioned for microcontroller development systems. Other variables to be measured and their values stored in the progress of the project are: solar radiation, the air flow rate and weight of plants to dehydrate.

**Key words:** dehydrator, solar energy, plants, moisture, temperature, acquisition, storage, microcontroller, sensors.





## 1 INTRODUCCIÓN

Con tiempos de secado prolongados, se obtienen productos agrícolas de mala calidad por caramelización de azúcares, reacciones de maillard, reacciones enzimáticas, degradación de pigmentos, y oxidaciones de ácidos [1]. Se busca entonces reducir el tiempo de deshidratación empleando energías más eficientes o mejorara las existentes. Para mejorar las existentes, se puede recurrir al uso de sistemas electrónicos para adquisición y almacenamiento de la información de las variables del proceso (Datalogger) y control del mismo, El uso de sistemas de Datalogger, es en ocasiones segmentado a cierto tipo de variables y resulta costoso si se requiere la medición de las mismas variables pero en diferentes ubicaciones y en forma simultánea [2].

El Sistema de adquisición y almacenamiento de datos planteado en este documento, está soportado en la necesidad que se presenta a la hora de obtener diferentes variables en campo [3], ya que esta actividad requiere la dedicación exclusiva de una persona, por periodos generalmente largos y zonas alejadas para los procesos agrícolas. Primero, se desarrolló una tarjeta tipo shield acoplable a sistemas Arduino con sistema de reloj e interfaz para conectar los sensores de humedad y temperatura, estos a su vez se conectan a una tarjeta que permite almacenar datos en memoria SD. Se emplearon tres sensores que incluyen humedad y temperatura en un solo dispositivo que tiene protocolo de comunicación One-Wire, para obtener medidas de un horno de deshidratación solar, en tres puntos diferentes. El desarrollo implementado recolecta datos que permiten la caracterización inicial del sistema de deshidratación, para lo cual se deja el sistema de adquisición por varios días y obtener con ello, los picos máximos y mínimos de temperatura y humedad. Inicialmente se obtuvo una medida saturada tanto para la humedad como para la temperatura, lo cual requirió del uso de sensores con niveles de saturación más altos. La salida de sensor AM2302 finalmente empleado y que posee un nivel más amplio de medida (0 a 100 %RH y -40 a 80° Celsius) [4], es una señal calibrada automáticamente que se puede conectar directamente a la entrada de un sistema Arduino y requiere mínimo consumo y amplio rango de medida [5].

## 7 METODOLOGÍA

Inicialmente se desarrolló un programa en una tarjeta Arduino Leonardo, empleando sensores DHT11 para analizar los niveles máximos medibles de temperatura y humedad y que permitieran obtener mayor intervalo para el sistema de control que se desarrollara en una etapa posterior al trabajo planteado en este documento. Luego de determinar dichos valores, se vio la necesidad de optar por un sensor más costoso pero con intervalo de medida superior (AM2302), se sometieron los tres sensores de la misma referencia a un ambiente controlado en el que se garantiza la presencia de temperatura y humedad similar, para consignar la desviación de la

medida de los mismos. Las pruebas posteriores se realizaron en horno de secado ubicado en el municipio de Guarne el cual posee doble cámara de secado y conductos de circulación de aire, estos últimos deshabilitados para esta primera prueba y los datos registrados en una memoria SD para su posterior procesamiento.

## 8 RESULTADOS

La tarjeta de adquisición implementada, se muestra en la Fig.1, La cual posee entrada para tres sensores y tiene un reloj para determinar la fecha de captura de los datos así como una interfaz adaptable a una shield de Arduino para el almacenamiento de la información obtenida. La Fig. 2, muestra las tres curvas obtenidas para humedad y temperatura en los sensores ubicados en el exterior del horno de secado y en las dos cámaras internas.

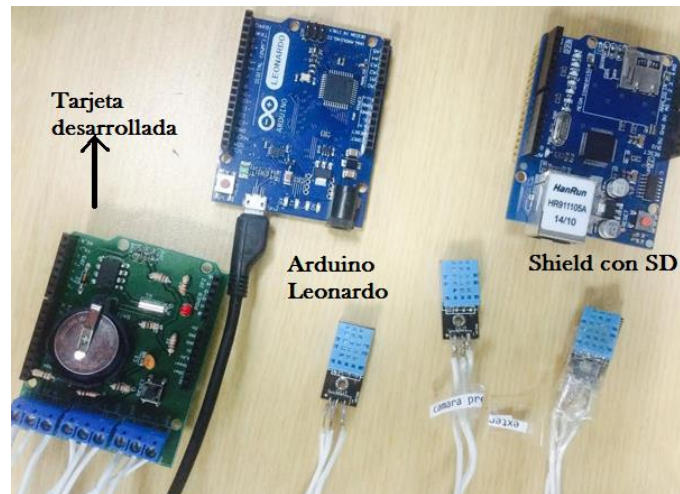


Figura 12. Sistema de adquisición y almacenamiento implementado (Fuente: Propia)

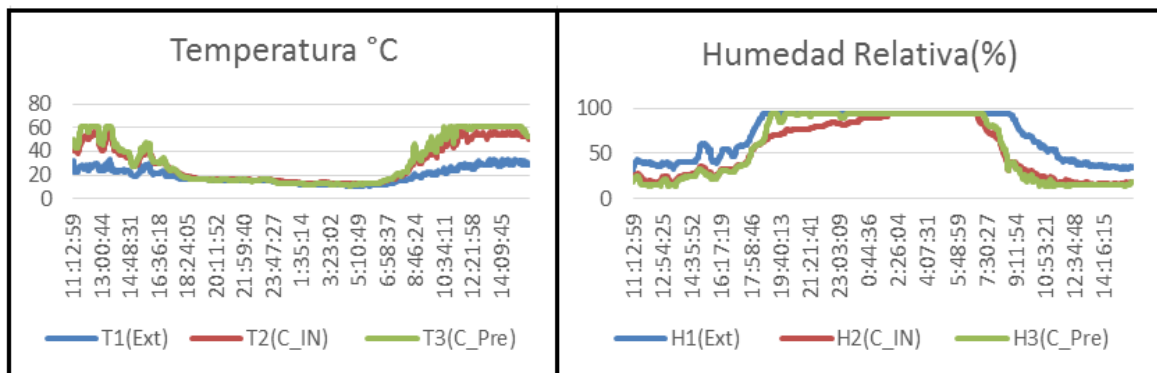


Figura 13. Medidas de humedad y temperatura con el sensor DHT11 (Fuente: Propia)

Como se tienen saturaciones de humedad y temperatura en niveles alcanzados en el horno, se realizan pruebas con otros sensores que poseen un rango de operación mayor y cuyos valores de medida cuando se somete a ambiente controlado, se muestra en la Fig. 3. Y los valores se entregan promediados.

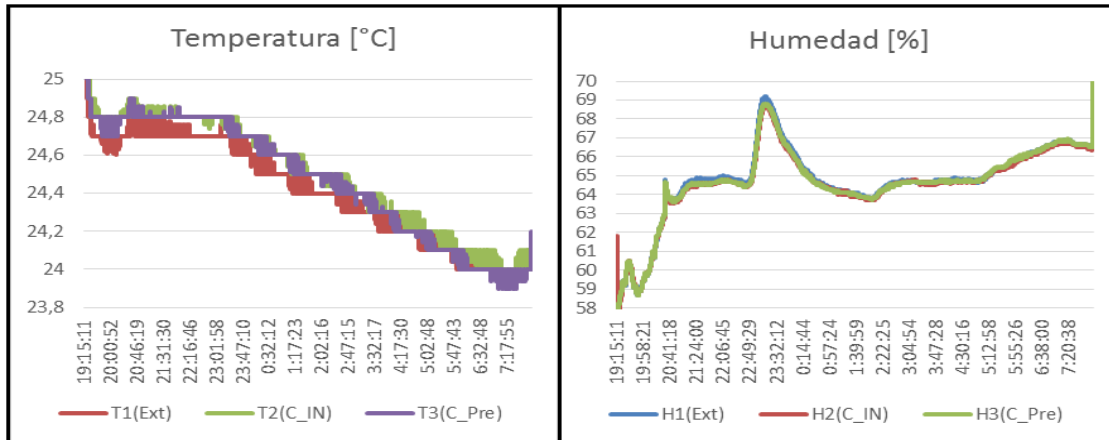


Figura 14. Medidas para los Sensores AM2302 en ambiente similar (Fuente: Propia)

Como paso posterior a la obtención de las variables aquí tratadas, se busca adicionar una fase siguiente, la obtención de medidas de radiación solar, medida de la velocidad del aire que entra y sale de la cámara interna y el peso de las bandejas con las plantas a deshidratar para obtener de forma indirecta porcentaje de humedad cedido por las plantas.

## 9 CONCLUSIÓN

El Sistema final, entrega valores con variación de medida entre sensores de máximo 0.1°C para temperatura y máximo 0.2% para humedad, es abierto a un número mayor y diferente de sensores y teniendo en cuenta que las variables a medir permiten un rango de desviación de medida entre sensores más amplio, el sistema desarrollado puede ser empleado en la etapa posterior del proyecto, que involucra la etapa de control y la medida de otras variables inherentes a los sistemas de deshidratación solar.

## 10 REFERENCIAS

- [1] A. González, A. Espinosa, A. Cañizares y J. R. Méndez, «Obtención de polvo de ají dulce producido mediante deshidratación por aire forzado.,» *Revista Científica UDO agrícola*, pp. 118-126, 2008.

- [2] S. M. S. R. M. H. S. E. & S. K. Misha, «Performance of a solar assisted solid desiccant dryer for kenaf core fiber drying under low solar radiation.,» *Solar Energy*, pp. 194-204, 2015.
- [3] L. Z. J. L. T. F. H. & L. X. Yuan, «Numerical simulation of flow and heat transfer characteristics in Solar Enhanced Natural Draft Dry Cooling Tower,» *Applied Thermal Engineering*, pp. 98-105, 2015.
- [4] AOSONG, «Aosong(Guangzhou) Electronics Co.,Ltd.,» [En línea]. Available: <http://www.aosong.com/en/products/details.asp?id=117>. [Último acceso: 9 2015].
- [5] A. A.-H. M. & E. W. Gaddam, «Designing a Wireless Sensors Network for Monitoring and Predicting Droughts,» *In Proceedings of the 8th International Conference on Sensing Technology*, pp. 2010-2015, 2014.

# SISTEMA PREDICTIVO PARA EVITAR FALLAS EN PLANTAS DE AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN

Carlos Alberto Valencia Hernández<sup>1</sup> Arley Salazar Hincapie<sup>2</sup>, y Andrés Felipe Romero Maya<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Facultad de ingeniería, Institución Universitaria Pascual Bravo, Medellín, Colombia

<sup>2</sup> Facultad de ingeniería, Institución Universitaria Pascual Bravo, Medellín, Colombia

<sup>3</sup>Facultad de ingeniería, Institución Universitaria Pascual Bravo, Medellín, Colombia

[carlos.valencia@pascualbravo.edu.co](mailto:carlos.valencia@pascualbravo.edu.co), [carlos.valencia@pascualbravo.edu.co](mailto:carlos.valencia@pascualbravo.edu.co), [andres.romero@pascualbravo.edu.co](mailto:andres.romero@pascualbravo.edu.co)

**Resumen:** Normalmente la programación del mantenimiento de los sistemas de aire acondicionado y de refrigeración se realiza basándose en aspectos como: las recomendaciones de los fabricantes, la bibliografía técnica y la normatividad internacional vigente. Todos los aspectos antes mencionados comparten la premisa de que los equipos de refrigeración funcionan en condiciones de trabajo ideales. Contrario a esto, en muchos casos los sistemas de aire acondicionado y refrigeración se hallan instalados en ambientes con niveles elevados de partículas disueltas en el aire, en ambientes corrosivos y rodeados de fuentes de altas temperaturas que pueden alterar los parámetros de operación del sistema.

En este proyecto se desarrolló un sistema predictivo para evitar fallas en plantas de aire acondicionado y refrigeración. Este realiza una adquisición de datos de temperatura con una plataforma de desarrollo Arduino, la cual se programó con un algoritmo basado en lógica difusa permitiéndole determinar la ocurrencia de fallas y sus posibles causas. Como resultado el sistema facilitó la programación de las tareas de mantenimiento preventivas y/o correctivas basadas ya en la condición real de operación del equipo y sus componentes.

Adicionalmente permitió prevenir fallas repentinas en el sistema y por consiguiente evito la suspensión del servicio de refrigeración de forma intempestiva

**Palabras Clave:** Alertas Tempranas, mantenimiento predictivo, Arduino, aire acondicionado.



**Abstract:** Normally scheduled maintenance of air conditioning systems and cooling is done based on aspects such as the recommendations of the manufacturers, the technical literature and existing international standards. All the above aspects share the premise that refrigeration equipment operating in ideal working conditions. Contrary to this, in many cases, air conditioning systems and cooling are installed in environments with high levels of dissolved particles in the air, surrounded by corrosive environments and sources of high temperatures that can alter the operating parameters of the system.

This project developed a predictive system to prevent plant failures of air conditioning and refrigeration. This makes a data acquisition temperature with Arduino development platform, which is programmed with a system based on fuzzy logic allowing you to determine the occurrence of failures and possible cause's algorithm. As a result the system facilitated the scheduling of preventive maintenance and / or corrective based on the actual condition and operation of the equipment and its components. Additionally allowed prevent sudden failures in the system and thus avoid service suspension cooling inopportuno

**Key words:** Early Warning, predictive maintenance, Arduino, air conditioning.

## 11 INTRODUCCIÓN

Los sistema de calefacción, ventilación, y aire acondicionado (HVAC) representan una suma significativa y creciente en los usuarios de energía. El sector residencial y comercial representa 20-40% del consumo final de energía en los países desarrollados, superando en muchos casos otros grandes sectores. Dentro del sector residencial y comercial, los sistemas HVAC representan aproximadamente el 50% del total, y tienen un equivalente al 10-20% del consumo final de energía [1].

En un estudio de consumo de subsistencia realizado por la Unidad de planeación Minero Energética (UPME), en Colombia los sistemas de aire acondicionado representaban unos de los consumos más altos en los diferentes sectores, hallándose que para el sector viviendas en las zonas caribes se presentaban consumos superiores a 400 kWh/mes, el aire acondicionado es lo que más pesa en el consumo (puede significar hasta el 80%), ( PROURE, 2015).

Proporcionar comodidad necesaria para los consumidores en establecimientos ocupados por personas, requiere grandes sistemas de HVAC y grandes cantidades de energía [3]. En los edificios destinados para oficinas, la fiabilidad de los sistemas de HVAC es seriamente considerada como un aspecto importante de la productividad y el confort de los ocupantes [4]. De hecho, la operación y mantenimiento ineficiente de los sistemas HVAC puede causar desperdicios de energía, quejas de los clientes, calidad pobre del aire interior e incluso daños al medio ambiente. Por lo tanto, el mantenimiento de sistemas de climatización debe

ser planeado y llevado a cabo con eficacia para asegurar la satisfacción de los ocupantes con el servicio y el sistema [5].

Generalmente, los fabricantes especifican las recomendaciones de mantenimiento y el entorno operativo para los usuarios [5]. Wu et al., (2006) destaca cuatro tipos de programas de mantenimiento para sistemas HVAC; Prueba e inspección, el mantenimiento programado, el mantenimiento basado en la condición y el mantenimiento correctivo.

Cuando una instalación de aire acondicionado funciona correctamente, tiene unos valores de presiones, consumos eléctricos, temperatura, que están dentro de unos valores estimados normales según el proyecto. Cuando un sistema de aire acondicionado entra en avería, exterioriza su “dolencia” cambiando varios de estos valores. La instalación de manómetros, pinzas amperimétricas, termómetros y un buen razonamiento de los valores detectados, permitirán al usuario o técnico diagnosticar de manera concreta del motivo causante de la avería [7].

## 12 METODOLOGÍA

Mediante el monitoreo en tiempo real, y variando las condiciones de operación del equipo en el proceso de condensación y evaporación se determinaron los parámetros alterados y mediante la lógica difusa y el microcontrolador se generó la alarma correspondiente y los posibles eventos que podrían estar alterando la operación del equipo por fuera de sus parámetros normales como se muestra en la Fig.1.

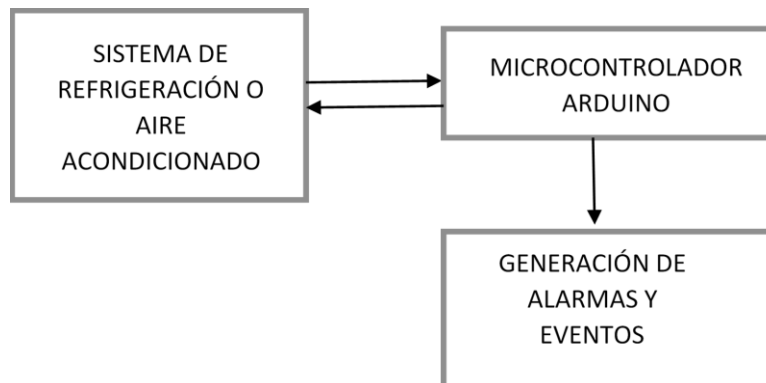


Figura 1. Diagrama de bloques para la generación de alarmas y eventos empleando un microcontrolador ARDUINO.

Para la generación de alarmas y evento se monitorearon en tiempo real parámetros como presión y temperaturas en diferentes puntos del sistema

### 13 RESULTADOS

Para la generación de alarmas y evento se monitorearon en tiempo real parámetros como presión y temperaturas en diferentes puntos del sistema como se muestra en la Fig.2.

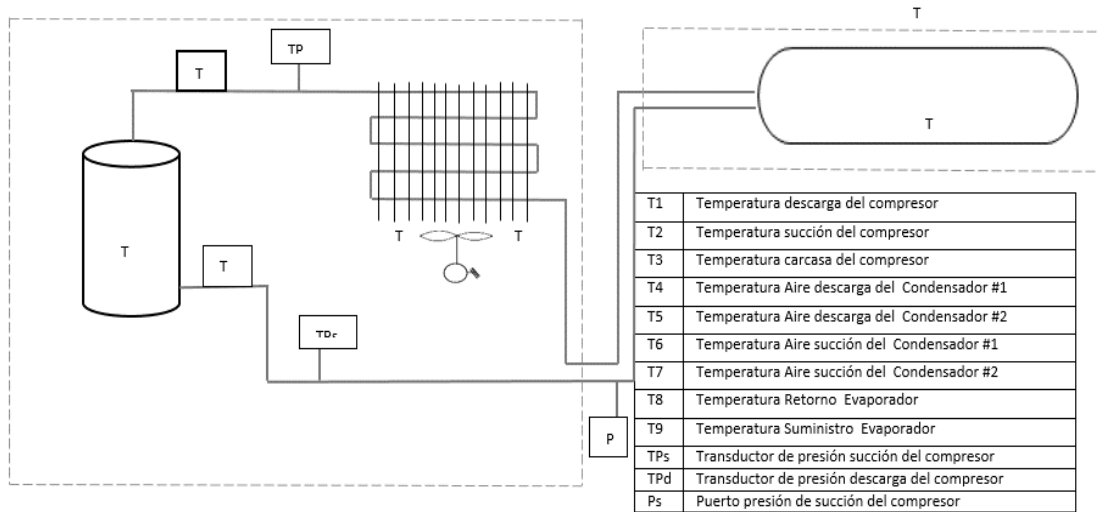


Figura 2. Adquisición de los parámetros de operación del sistema. Elaboración propia del autor

Se simularon condiciones de condensación y evaporación anormales para las cuales el sistema generó las siguientes alarmas de acuerdo a unos posibles eventos según el esquema mostrado en la Fig.3.

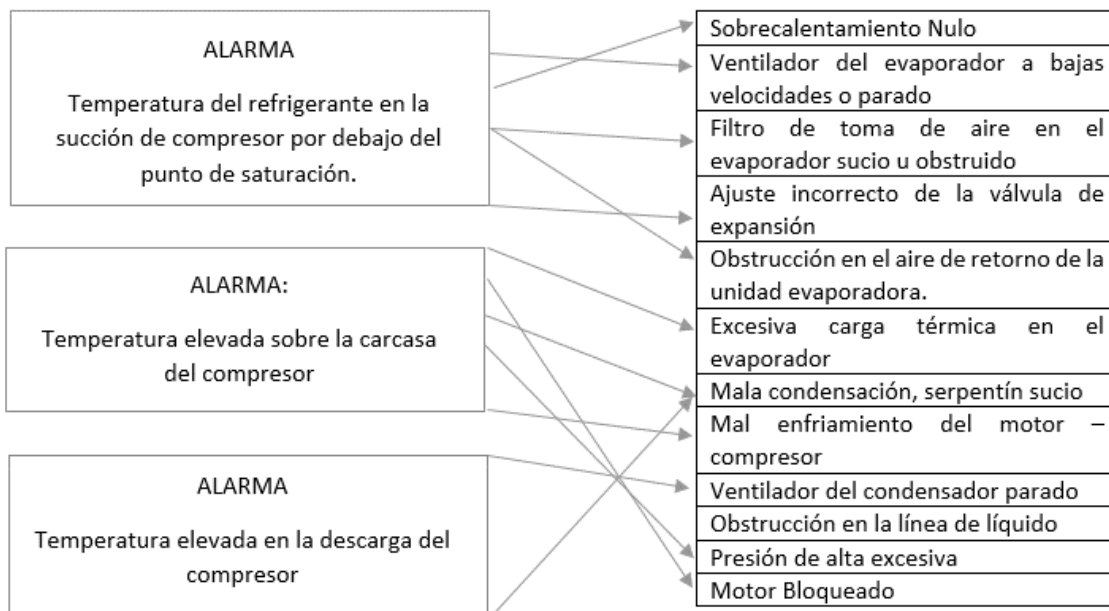




Figura 3. Generación de alarmas y posibles eventos. Elaboración propia del autor.

La generación de alertas tempranas mediante la detección y el diagnóstico de fallas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado empleando microcontroladores Arduino disminuye la ocurrencia repentina de fallas en el sistema a través de un sistema de bajo costo, evitando la parada de los equipos, pérdidas económicas en la producción, altos niveles de insatisfacción en el cliente final, horas extras en tareas de mantenimiento y la falla general de aquellos sistemas que dependen del aire acondicionado como es el caso de Racks, salas de computo, centro de datos.

## 14 CONCLUSIÓN

Al identificar problemas menores antes de que se conviertan en grandes problemas, la vida útil de los equipos puede ser extendida. Además, las reparaciones pueden ser programadas cuando sea conveniente, reduciendo el tiempo de inactividad y evitando las horas extras de trabajo

Mediante la identificación y el diagnóstico de fallos para su posterior reparación se pueden beneficiar los propietarios de edificios obteniendo reducciones en los consumos de energía, mejoras en la operación, el mantenimiento, y aumentar el control efectivo sobre las condiciones ambientales en espacios ocupados y/o refrigerados. Al identificar problemas menores antes de que se conviertan en grandes problemas, la vida útil de los equipos puede ser extendida. Además, las reparaciones pueden ser programadas cuando sea conveniente, reduciendo el tiempo de inactividad y evitando las horas extras de trabajo

Como valor agregado se mejoró el consumo de energía eléctrica en los sistemas que adopten esta tecnología, pues la operación bajo condiciones de falla en sistemas de aire acondicionado genera consumos energéticos por encima de los valores normales especificados por el fabricante.

## 15 AGRADECIMIENTOS (OPCIONAL)

A los estudiantes Wilson Rodas, Wilmis Viloría, Ivan Marín Suarez quienes participaron en la construcción del modulo de aire acondicionado para su posterior evaluación.

## 16 REFERENCIAS

- [1] L. Perez-Lombard, J. Ortiz, and I. R. Maestre, "The map of energy flow in HVAC systems," *Appl. Energy*, vol. 88, no. 12, pp. 5020–5031, Dec. 2011.



- [2] F. No and C. Proure, "Ministerio de Minas y Energía República de Colombia," 2015.
- [3] I. Zlatanović, K. Gligorević, S. Ivanović, and N. Rudonja, "Energy-saving estimation model for hypermarket HVAC systems applications," *Energy Build.*, vol. 43, no. 12, pp. 3353–3359, Dec. 2011.
- [4] R.-Y. Kwak, A. Takakusagi, J.-Y. Sohn, S. Fujii, and B.-Y. Park, "Development of an optimal preventive maintenance model based on the reliability assessment for air-conditioning facilities in office buildings," *Build. Environ.*, vol. 39, no. 10, pp. 1141–1156, Oct. 2004.
- [5] C. P. Au-Yong, A. S. Ali, and F. Ahmad, "Improving occupants' satisfaction with effective maintenance management of HVAC system in office buildings," *Autom. Constr.*, vol. 43, pp. 31–37, Jul. 2014.
- [6] S. Wu, D. Clements-Croome, V. Fairey, B. Albany, J. Sidhu, D. Desmond, and K. Neale, "Reliability in the Whole Life Cycle of Building Systems," vol. 13, pp. 1–17, 2006.
- [7] F. Buqué, *Manual Practico de Refrigeracion y Aire Acondicionado Tomo II*, MARCOMBO,. Colombia: Alfaomega, 2006.

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE BÚSQUEDA SATELITAL PARA LOCALIZACIÓN DE PACIENTES CON DISFUNCIÓN COGNITIVA

## Design of a Search Satellite System for Location of Patients with Cognitive Dysfunction

**Autores:** Catalina Tobón Zuluaga; Carlos Valencia Hernández; Luís Roberto Mercado Díaz; Kelly Johana Sepúlveda Quintero; Federico Martínez Aristizabal; Andrea Pérez Pérez.

**Resumen del artículo:** Las personas que sufren disfunción cognitiva presentan un alto riesgo de extravío y efectos adversos, motivación por la cual en este trabajo se diseñó una plataforma integral de búsqueda satelital para pacientes que presenten esta patología. Para llevar a cabo el trabajo, fue necesario llevar a cabo un estudio de la población objetivo. Se diseñó una pulsera telemática, se identificó la mejor ubicación del dispositivo, siendo el miembro inferior la mejor opción. Se desarrolló un prototipo del sistema electrónico para la transmisión de las coordenadas del paciente y se diseñó el sistema central de monitoreo.

**Palabras clave:** localización GPS; disfunción cognitiva.

**Abstract:** People who suffer cognitive dysfunction are at high risk of loss and to suffer adverse effects, this is the motivation whereby in this paper we designed a comprehensive platform of satellite search for patients who have this disease. To carry out the work, it was necessary to conduct a study of the target population. Telematic bracelet was designed, the best location of the device is identified, the lower member being the best option. A prototype of the electronic system for the transmission of the coordinates of the patient was developed and the central monitoring system was designed.

**Key words:** GPS location; cognitive dysfunction.

Catalina Tobón Zuluaga, PhD Ingeniera Biomédica, Grupo Investigación e Innovación Biomédica GI<sup>2</sup>B, Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín, Colombia, [catalinatobon@itm.edu.co](mailto:catalinatobon@itm.edu.co), Tel: 3013975674.

Carlos Valencia Hernández, MSc, Grupo de Investigación en Automatización y Robótica Pedagógica (GARPE), Institución Universitaria Pascual Bravo, Medellín, Colombia, [carlos.valencia@pascualbravo.edu.co](mailto:carlos.valencia@pascualbravo.edu.co)

Luís Roberto Mercado Díaz; Kelly Johana Sepúlveda Quintero; Federico Martínez Aristizabal; Andrea Pérez Pérez, integrantes del Semillero de Ciencias Ingenieriles Biomédicas del Grupo Investigación e Innovación Biomédica, Instituto Tecnológico



Metropolitano, Medellín, Colombia, luismercado119761@correo.itm.edu.co; joha1392@hotmail.com; federico\_2816@hotmail.com; andreita1419@hotmail.com.

## **INTRODUCCIÓN**

Enfermedades como demencia, Alzheimer, retraso mental, entre otras disfunciones cognitivas, son un importante problema de salud pública. Un estudio en 2005, estimó 24 millones de personas con demencia en el mundo y 4 a 6 millones de nuevos casos cada año (Ferri et al., 2006). Un estudio en 2011, estimó un total de 35.6 millones de personas con Alzheimer en todo el mundo (Prince et al., 2011). El extravío es uno de los principales riesgos; un 60% de estos pacientes a menudo vagan por fuera de su hogar sin ninguna orientación (Heimberg et al., 1990), lo cual está relacionado con eventos adversos como accidentes, lesiones, abusos, pérdida de peso y muerte prematura (Gaugler et al., 2000; Hope et al., 1998; Algase, 1992; Volicer et al., 1987). Los trastornos del comportamiento y de la memoria, como la pérdida de percepción espacial, provocan a su vez un sufrimiento psicológico a familiares y personas a cargo de estos pacientes.

En Colombia se ha determinado una prevalencia de demencia entre 1.3 % y 1.8 % en pacientes mayores de 50 años y entre 3.1 y 3.4 % en pacientes que superan los 70 años (Rosselli et al., 2000; Pradilla et al., 2001). Es importante considerar que dadas las condiciones sociales del país y sus altos niveles de delincuencia, la probabilidad de que personas extraviadas con disfunción cognitiva sufran eventos adversos, aumenta considerablemente.

El GPS es un sistema global de navegación por satélite por medio del cual se puede obtener la ubicación geográfica de una persona u objeto en cualquier lugar del mundo con una alta precisión (Ritchie, 1996; Rey, 2010) y ser transmitida a través de tecnología GSM-GPRS (Tisal, 2001). A pesar de existir en otros países tecnología de localización satelital para la ubicación de estos pacientes, en Colombia no se conoce de la existencia de este tipo de tecnología para dicho fin. Los dispositivos electrónicos de localización de personas con disfunción cognitiva que ofrecen las empresas internacionales tienen la apariencia de un reloj, convirtiéndolos en un factor que incrementaría la probabilidad de robo al paciente en nuestro país. Adicionalmente, deben ser importados a altos costos y sería necesaria la integración del dispositivo con una plataforma integral de monitoreo. En el presente trabajo se plantea el diseño de un sistema de monitoreo y localización, que permita disminuir el riesgo de extravío de estos pacientes, mejorando su calidad de vida y la de sus cuidadores.

## **DESARROLLO**

Para establecer la población objetivo se realizaron encuestas a 6 instituciones de la ciudad de Medellín que tienen a su cargo pacientes con disfunción cognitiva: El Comité de Rehabilitación, Hospital mental, la Colonia, Corporación Hogar Gerontológico Samana Wasi, Años Maravillosos, Hogar Geriátrico Mi Casita. Se



aplicaron tres tipos de encuestas dirigidas a: las instituciones mencionadas, 38 profesionales de la salud, y 112 familiares o cuidadores.

Se diseñó el sistema central de monitoreo y una pulsera telemática de silicona, la cual alberga dispositivos electrónicos para la localización y envío de información. Para definir el lugar del cuerpo en el cual se ubicaría la pulsera se tuvieron en cuenta los resultados de las encuestas, la comodidad del paciente y la seguridad, dada las condiciones sociales del país. Para la transmisión de la información sobre la ubicación del paciente fueron necesarios los siguientes componentes: módulo GSM-GPRS, módulo GPS, tarjeta SIM, batería y puerto micro USB; se procedió a su selección, diseño y desarrollo, teniendo en cuenta especificaciones de tamaño pequeño y peso ligero. Se realizó un estudio antropométrico a una muestra de 47 personas, en el cual se tomaron medidas del perímetro del miembro inferior, 1 cm arriba del tobillo.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

De los encuestados, 95% encuentran útil este sistema; el 90% consideran que reduciría el riesgo de pérdida y accidentes; y el 84% que contribuirá a mejorar la calidad de vida de pacientes y cuidadores.

De las instituciones encuestadas, 25 pacientes con disfunción cognitiva se extraviaron en el último año, 10 sufrieron accidentes y 2 abusos. Los tiempos para localizarlos fueron desde 1 hasta 180 días.

Se diseñó la pulsera telemática, ubicada 1 cm por encima del tobillo. De las mediciones antropométricas se obtuvo un promedio del perímetro de 22.7 cm. La pulsera cuenta con cierre de seguridad mediante llave hexagonal.

El montaje electrónico está compuesto por: módulo GSM-GPRS Quad Band con antena y tarjeta SIM, para transmisión de datos y ID para identificación en red; módulo GPS para ubicación mediante coordenadas de latitud y longitud; batería de polímero de litio; y puerto micro USB.

Se diseñó el sistema central de monitoreo para el procesamiento, almacenamiento y transmisión de información. Se creó una interfaz con acceso mediante usuario y contraseña. La información enviada por la pulsera ingresa al servidor donde se procesa y almacena en una base de datos en MySQL; e interactúa con el sistema google maps para la localización.



Figura 1. Diseño de pulsera telemática.

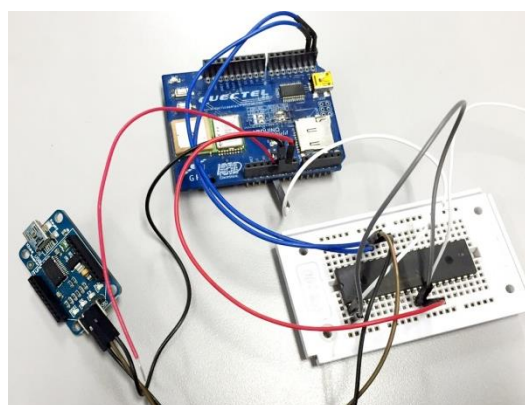


Figura 2. Diseño de componentes electrónicos y prototipo desarrollado.

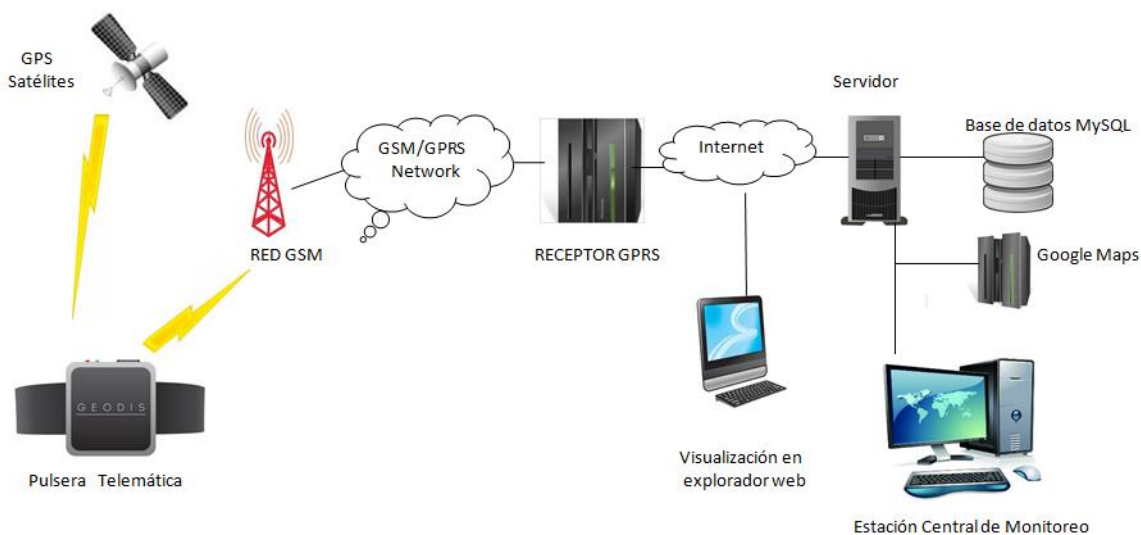


Figura 3. Sistema central de monitoreo.

## CONCLUSIÓN

Se realizó un estudio que permitió establecer la viabilidad del trabajo, siendo este tipo de sistema una solución para los problemas de extravío de las personas con disfunción cognitiva. Este sistema fue aceptado por la población encuestada, como un desarrollo que podría mejorar la calidad de vida de estas personas y sus cuidadores.

Se diseñó un sistema de búsqueda satelital para localización de pacientes con disfunción cognitiva. Se diseñó la pulsera telemática con tecnología GSM/GPRS/GPS con ubicación en miembro inferior y se desarrolló un prototipo del sistema electrónico para la transmisión de datos de localización.

Se diseñó el sistema central de monitoreo implementando una plataforma GPS satelital preexistente.

Como trabajo futuro se plantea el desarrollo final de la pulsera telemática y la realización de pruebas de transmisión de datos hacia el sistema central de monitoreo. Se realizará una aplicación móvil para los familiares usuarios del sistema.

## BIBLIOGRAFÍA

Ferri, C.P., Prince, M., Brayne, C., Brodaty, H., Fratiglioni, L., Ganguli, M., Hall, K., Hasegawa, K., Hendrie, H., y Huang, Y. (2006). Global prevalence of dementia: a delphi consensus study. *The lancet*, 366(9503), 2112–2117.

Prince, M., Bryce, R., y Ferri, C. (2011). *World Alzheimer Report 2011: The benefits of early diagnosis and intervention*. London, UK: Alzheimer's Disease International.

Heimberg, R.G., Dodge, C.S., Hope, D.A., Kennedy, C.R., Zollo, L.J., y Becker, R.E. (1990). Cognitive behavioral group treatment for social phobia: Comparison with a credible placebo control. *Cognitive Therapy and Research*, 14(1), 1–23.

Gaugler, J.E., Edwards, A.B., Femia, E.E., Zarit, S.H., Stephens, M.A.P., Townsend, A., y Greene R. (2000), Predictors of institutionalization of cognitively impaired elders family help and the timing of placement. *Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 55(4), P247–P255.

Hope, T., Keene, J., Gedling, K., Fairburn, C.G., y Jacoby, R. (1998). Predictors of institutionalization for people with dementia living at home with a carer. *International journal of geriatric psychiatry*, 13(10), 682–690

Algase, D.L. (1992). Cognitive discriminants of wandering among nursing home residents. *Nursing Research*, 41(2), 78–81.

Volicer, L., Seltzer, B., Rheume, Y., Fabiszewski, K., Herz, L., Shapiro, R., y Innis, P. (1987). Progression of alzheimer-type dementia in institutionalized patients: a cross-sectional study. *Journal of Applied gerontology*, 6(1), 83–94.

Rosselli, D., Ardila, A., y Pradilla G. (2000). The minimental state examination as a selected diagnostic test for dementia: a colombian population. GENECO. *Revista Neurológica Argentina*, 30(5), 428-432.

Pradilla, G., Vesga, B., Leon-Sarmiento, F., Bautista, L., Nuñez, L., Vesga, E., y Gamboa, N. (2001). Neuroepidemiology in the eastern region of Colombia. *Revista de Neurologia*, 34(11), 1035–1043.

Ritchie, D.M. (1996). The development of the C programming language. En T.J.(Jr.) Bergin y Gibson, R.G.(Jr.) (Ed.), *History of Programming Languages-II* (pp. 671–698). New York: ACM Press.

Rey, J.R. (2010). *El Sistema de Posicionamiento Global – GPS*. Recuperado de [Http://edis.ifas.ufl.edu/in657](http://edis.ifas.ufl.edu/in657).

Tisal, J. (2001). The GSM network the GPRS evolution: One step towards UMTS. *Recherche*, 67(02).

## **PRODUCCIÓN LIMPIA Y CONSUMO SOSTENIBLE EN CLÍNICAS DEL CLÚSTER DE SALUD DE MEDELLÍN**

William Orozco Murillo<sup>1</sup>; Gonzalo Narváez Benjumea<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Investigación e Innovación Ambiental (GIAM) y Grupo de Investigación en Mantenimiento y Materiales (IDEGMA) Facultad de Ingeniería, Institución Universitaria Pascual Bravo, Calle 75 #73A-223, Medellín, Colombia.  
william.orozco@pascualbravo.edu.co

<sup>2</sup> Grupo de Investigación ALQUIMIA, Facultad de Ciencias Exactas y Aplicadas, Instituto Tecnológico Metropolitano. Medellín, Colombia

Las instituciones prestadoras del servicio de salud, además de las intervenciones para transformar las enfermedades en bienestar a las personas, son generadoras de una serie de impactos negativos ocasionados desde los diferentes procesos e insumos que se utilizan para llevar a cabo los procedimientos de atención médica y las demás actividades que soportan el objeto y la naturaleza social.

La implementación de mejores prácticas de responsabilidad social y ambiental en Clínicas y Hospitales del Clúster de Salud de Medellín, orientadas desde la Producción Limpia y el Consumo Sostenible (PL&CS), es ratificado en Colombia desde el año 2010 a través de la Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible, con el objeto de mejorar las prácticas de responsabilidad corporativa en empresas del sector público y privado, generar valor agregado desde la producción y el consumo sostenible de bienes y servicios, hacer un uso racional de los recursos naturales, prevenir riesgos y peligros que afecten la salud humana y el medio ambiente, e incrementar la productividad y la competitividad en las empresas de los distintos sectores económicos del país a nivel nacional y en los mercados internacionales.

El presente proyecto tiene como finalidad fortalecer alianzas público - privadas, orientadas desde el sector académico para mejorar las prácticas de responsabilidad social y ambiental relacionadas con la producción limpia y el consumo sostenible en tres (3) Clínicas del Clúster Salud de la ciudad de Medellín.





Su pertinencia en el ámbito institucional y regional en distintos saberes, así como la conveniencia de la inversión presupuestal, constituyen una oportunidad académica para generar y transferir conocimientos de cada uno de los ejes temáticos a intervenir en las Clínicas beneficiadas de los resultados del proyecto de investigación.

La propuesta de investigación orientada a la producción limpia y el consumo sostenible, permitirá el mejoramiento de las prácticas en la prestación del servicio de salud por ser un sector estratégico de la economía con alto potencial de desarrollo en investigación aplicada en el contexto del saber científico y tecnológico de los diferentes saberes biomédicos, y por ser un sector generador de contaminantes de diferentes tipos y desde distintas fuentes, por ser alto consumidor de energía, y con perspectivas de optimización de sus procesos, entre ellos la generación y uso del vapor, y el funcionamiento de sus equipos con una excelente gestión metrológica y de mantenimiento además de una buena planeación en la gestión de los residuos hospitalarios, lo cual se verá reflejado en una producción limpia y un consumo sostenible de las clínicas beneficiadas, en mejoras de la eficiencia de recursos, y en la eficacia en la prestación del servicio biomédico.

## **DISEÑO DE UNA MESA DE SEPARACIÓN GRAVIMÉTRICA WILFLEY PARA LA REDUCCIÓN DEL USO DE AGUA EN LA MINERÍA DE ORO**

Andrés Felipe Arias<sup>1</sup>, Daniel Lopera Cano<sup>2</sup>, Carlos Mario Serna<sup>3</sup>, Juan David Ospina<sup>4</sup>, Alejandro Garcia<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Estudiante de Tecnología en Mecánica Automotriz, miembro del Semillero de Investigación Ambiental – SIA

<sup>2</sup> Estudiante de Tecnología en Mecánica industrial, miembro del Semillero de Investigación Ambiental – SIA

<sup>3</sup> Director del Semillero de Investigación Ambiental y Miembro del Grupo de Investigación e Innovación Ambiental – GIIAM

<sup>4</sup> Miembro del Grupo de Investigación e Innovación Ambiental – GIIAM

<sup>5</sup> Estudiante de ingeniería en Mecánica industrial, miembro del Semillero de Investigación Ambiental – SIA

Institución Universitaria Pascual Bravo, Medellín, Colombia

En este proyecto se diseñó una mesa de separación gravimétrica Wilfley utilizada en la minería del oro. Esta mesa Wilfley permite la separación de sulfuros polimetálicos mediante movimientos longitudinales vibratorios y un flujo de agua constante. Para esto se hizo un análisis de los equipos existentes, también se tuvo la oportunidad de ver en funcionamiento la mesa de la Universidad de Antioquia,



recopilando así todo lo posible relacionado con los parámetros mediante los cuales operan las mesas. Esto último con el objeto de diseñar y seleccionar los materiales utilizados en la construcción de la mesa desde el análisis de propiedades mecánicas con la ayuda del software Inventor de Autodesk.

La mesa se diseñó teniendo en cuenta las siguientes variables:

- Dimensiones y ángulos de inclinación de los rifles (5 mm\*5 mm) empezando por 5 mm de alto y terminando a ras de cubierta (deck)
- Fricción en la superficie de la cubierta en el menor coeficiente.
- Amplitud de movimiento lateral y frecuencia: Longitud de golpe de 10 mm a 25 mm y oscila entre 250 y 300 rpm.
- Flujo laminar: 38 a 83 lt/min.
- Flujo en la alimentación: 11 a 45 lt/min.

Teniendo en cuenta los anteriores datos se buscó mejorar el diseño de la mesa para así disminuir, aproximadamente a la mitad, la cantidad de agua utilizada en el proceso. Para lograrlo se le incorporó a la mesa tradicional un módulo que permite el filtrado y la reutilización del agua en el proceso de concentración de los minerales en el beneficio del oro.

Con la construcción de la mesa se busca dar inicio a un entable minero a escala de laboratorio, el cual facilitará también las actividades de investigación realizadas por el Grupo de Investigación e Innovación Ambiental – GIIAM de la Institución Universitaria Pascual Bravo. Donde se ahorrarán tiempo y costos, ya que estas mesas se pueden adaptar al material de alimentación que corresponda. Cualquier cambio en los parámetros modifica el comportamiento del material.

# **DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ELECTRO-RECUPERACIÓN DE MERCURIO PARA LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS COMO ALTERNATIVA AMBIENTAL Y ECONÓMICAMENTE VIABLE**

Ospina J., Osorio J., Mejía, E., Posada, A., Serna, C.  
Grupo de Investigación e Innovación Ambiental GIIAM

La contaminación por metales pesados impacta en forma directa la salud humana, los recursos agua y suelo especialmente y al entorno en general. Esta contaminación en la minería aurífera tiene como causas, la generación de drenajes ácidos, anteriormente referida y la derivada del empleo del mercurio (Hg) y cianuro (CN) para recuperar el oro mediante el proceso de amalgamación y cianuración.

El beneficio del oro utilizando mercurio sin el control y manejo adecuado, ha sido una práctica tradicional en el país, especialmente por la pequeña y mediana minería. Las emisiones de mercurio se producen tanto en forma de mercurio metálico durante el proceso de amalgamación, como en forma de vapor durante la separación oro-mercurio. Otras pérdidas pueden producirse durante su transporte y almacenamiento, por evaporación o derrame. El comportamiento del mercurio metálico consiste en la incorporación a las fuentes de agua y los suelos, efectuando su bioacumulación en los organismos vivos. El vapor de mercurio pasa a la atmósfera donde es transportado e incorporado dentro del ciclo hidrológico. Las dos formas de acumulación constituyen severos y graves impactos tanto al hombre como a los ecosistemas, dada su toxicidad.

En la actualidad las tres tecnologías más utilizadas a nivel mundial para la extracción de oro desde sus minerales son la separación gravitacional avanzada, la cianuración y la amalgamación con mercurio. En Colombia el proceso gravitacional avanzado no es acogido de forma general debido principalmente a los bajos recursos económicos y tecnológicos con los que cuentan la mayoría de los entables mineros y en parte también a las características del mineral. En Colombia se presenta un tipo de explotación aurífera que combina las 3 tecnologías, gravitacional intermedia, cianuración y amalgamación. En dicho proceso se producen residuos sólidos, acuosos y gaseosos con altas concentraciones de mercurio y cianuro que ocasionan graves e irreversibles daños a los ecosistemas.

En Colombia la explotación aurífera no ha tenido un desarrollo apropiado y actualmente se da, en buena parte, de forma artesanal generando alto impacto ambiental negativo. El mercurio ingerido a partir de fuentes hídricas y del suelo, deteriora la calidad de vida los humanos, afectando el sistema nervioso central y generando problemas mentales, motrices y mutaciones genéticas. Un estudio realizado en la década pasada mostró que el aire que se respira en el municipio de Segovia es considerado no apto para la vida y que los suelos y fuentes hídricas

aledañas poseen alto contenido del metal. La situación de otras poblaciones antioqueñas no es muy diferente de las del municipio de Segovia. Los actuales valores de concentración de mercurio en efluentes líquidos y suelos de algunos municipios del nordeste y bajo cauca antioqueños están por encima de los valores permisibles por normas nacionales e internacionales. Se ha considerado mitigar el problema proponiendo nuevas tecnologías de beneficio del mineral, pero la aplicación de estas tecnologías no está al alcance de todos los entables mineros y tampoco soluciona el problema existente, pues el mercurio ya vertido en los efluentes y suelos seguirá causando problemas. Es necesario entonces que se exploren nuevas metodologías para la recuperación del mercurio de colas de minería y de suelos contaminados, siendo esto responsabilidad no solo de la población minera sino también de los entes ambientales y del gobierno. Una de las tecnologías que puede implementarse de forma adecuada a los entables mineros para la recuperación de mercurio de colas de operaciones mineras antes de su disposición final es la tecnología electroquímica de electro-reducción o electro-extracción de mercurio.

**EXPOTECNOLÓGICA**  
15, 16 y 17 de octubre de 2015  
Institución Universitaria Pascual Bravo  
**LIBRO DE RESÚMENES DE LOS TRABAJOS ACEPTADOS EN  
EL III ENCUENTRO DE TECNOLOGÍA E INGENIERIA &  
XI SIMPOSIO INTERNACIONAL EN ENERGÍAS  
EVALUADORES**

Carlos Alberto Valencia Hernandez  
Jose Alejandro Posada Montoya  
Juan Sebastian Rudas Florez  
Luis Carlos Olmos Villalba  
Rosalba Rios Galvis

Institución Universitaria Pascual Bravo  
Compilador: Rosalba Rios Galvis.

Edita: Institución Universitaria Pascual Bravo  
PBX (+57 4) 448 0520 Fax: (+57 4) 493 6363

Dirección: Calle 73 No. 73A - 226,  
Medellín, Colombia.

Apartado Aéreo: 6564

Web: <http://www.pascualbravo.edu.co>

ISSN: 2422-3891

**NOTA EDITORIAL:** Las opiniones y contenidos de los artículos publicados en el libro son de responsabilidad exclusiva de los autores; así mismo, éstos se responsabilizarán de obtener el permiso correspondiente para incluir material publicado en otro lugar.





INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA  
**PASCUAL BRAVO**



TECNOLOGÍA, INNOVACIÓN  
CULTURA Y VIDA.

## EXPOTECNOLÓGICA 2015

3 ENCUENTRO INTERNACIONAL DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA  
& SIMPOSIO INTERNACIONAL EN ENERGÍAS  
•OCTUBRE 15, 16 Y 17•



EN LA RUTA DE LA ACREDITACIÓN  
**INSTITUCIONAL**



Alcaldía de Medellín  
**Cuenta con vos**