



# INFOCIENCIA

VOLUMEN 9 / 2015



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



**UNIVERSIDAD DE LAS  
FUERZAS ARMADAS  
ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA**

Revista Científica  
**INFOCIENCIA**  
ISSN: 1390-339X  
Vol. 9 / 2015

**Rector**

Grab.  
Roque Moreira C.

**Director ESPE Extensión Latacunga**

Tcn. de E.M.  
Freddy Játiva C.

**Subdirector ESPE Extensión Latacunga**

Mayo de MG.  
Daniel Chamorro

**Jefe de Investigación, Innovación y  
Transferencia de Tecnología**

Ing. José Bucheli, MSc.

**Director General**

Ing. José Bucheli, MSc.

**Editor**

Ing. José Luis Carrillo M., MSc.

**Comité Editorial**

PhD. Marcos Gutiérrez  
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE -  
Ecuador  
PhD. Omar S. Gómez  
Escuela Superior Politécnica del Chimborazo  
ESPOCH - Ecuador  
PhD. María Villapol  
Universidad Tecnológica de Auckland - Nueva  
Zelanda  
PhD. Guillermo Palacios  
Universidad de Zaragoza - España

**Secretaria de redacción:**

Sra. María Berrazueta O.

**Responsable Legal:**

ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA  
Quijano y Ordoñez s/n y Hermanas Páez  
Telf.: (+593)32810206  
Fax: (+593) 2810208  
Página Web: <http://www.espe.edeu.ec>  
sie-el@espe.edu.ec

Diseño: Imprenta y papelería universitaria  
ESPE

500 Ejemplares  
Publicación: Anual  
Distribución: Gratuita



## CONTENIDO

Sub-ontología para la medición del ritmo cardiaco como registro de una historia clínica electrónica Alexandra Corral y Patricio Espinel	7
Procedimiento para efectuar una Clasificación Ascendente Jerárquica de un Conjunto de Puntos utilizando el Método de Ward Patricio Espinel	13
Diseño y Simulación Aerodinámica y Estructural de un Vehículo Aéreo no Tripulado Jonathan Vélez, Félix Manjarrés y Oscar Arteaga	19
Sistema didáctico para el monitoreo de variables utilizando el protocolo HART en válvulas de control Edwin Pruna, Ivone Escobar, Patricia Calvopiña, Estefanía Serna, Marco Pilatásig y Washington Freire.	31
Diagnóstico y Mantenimiento de Inyectores de Sistemas de Inyección Directa de Gasolina GDI Germán Erazo, Félix Mayorga y Martín Núñez.	37
Diseño y construcción del Sistema de Propulsión de un triciclo monoplaza eléctrico para personas con discapacidad en sus extremidades inferiores Wilson Vargas, William Bonilla, Freddy Salazar, Hernán Lara, Javier Ortiz, Stalin Mena y Mauricio Cruz	44
Procedimiento de Trabajo Colaborativo Asistido por Computador para el Desarrollo del Artículo: Crowdsourcing en la Ingeniería de Requisitos Patricio Espinel y Alexandra Corral	52
Análisis por el método de los elementos finitos de las cargas actuantes en los rodillos y engranes de un prototipo de laminador Roberto Beltrán Reyna, Santiago Santana Reyes, Alexis Álvarez Cabrales, Yoan Ramos Botello, Yoandrys Morales Tamayo, Julio Pino Tarragó, Euro Mena Mena, Héctor Terán Herrera y José Bucheli Andrade	59
Utilización de la planta Jatropha Curcas como energía renovable para el desarrollo ambiental y sostenible de una finca en la provincia Granma, Cuba Joao Bázaga Quesada, Yoandro Rodríguez Ponce, Euro Mena Mena, Roberto Beltrán Reyna y Leandro Lorente Leyva	67
Procesamiento de imágenes tomográficas de un fémur humano para obtener los modelos CAD 3D de las superficies cortical y trabecular Jorge Bosch Cabrera, Joffre Herrera Lamar, Yoan Ramos Botello, Roberto Beltrán Reyna, Yoandrys Morales Tamayo, Euro Mena Mena y Joao Bázaga Quesada	72
La perspectiva cientificista-cuantitativa y la perspectiva humanista-cualitativa: binomio clave en los procesos de investigación científica Magda Cejas, Galo Vásquez y Carlos Albán.	78





## EVALUADORES

PhD. Edison Espinosa  
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,  
Ecuador

PhD. Ender Carrasquero  
Prometeo Senescyt,  
Ecuador

PhD. Sergio Albiol Pérez  
Universidad de Zaragoza  
España

PhD. Víctor Andaluz  
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,  
Ecuador

Ing. Cecilia Hinojoza Raza, MSc.  
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,  
Ecuador

Dr. Carlos Grau Algueró  
Universidad de Barcelona,  
España

Ing. Eddie Galarza, MSc.  
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,  
Ecuador

Ing. Roger Clotet Martínez, MSc.  
Universidad Simón Bolívar  
Venezuela

Ing. Juan Correa Jácome, MSc.  
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,  
Ecuador

Ing. Nancy del Roció Velazco  
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,  
Ecuador

Ing. Julio Acosta Núñez, MSc.  
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,  
Ecuador

Ing. José María Rodríguez Rivera  
Servicios Petroleros Igapo S.A Halliburton,  
Ecuador

PhD. Marcos Gutiérrez Ojeda  
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,  
Ecuador

PhD. Brenner Santana Rego  
Universidad Federal de Minas Gerais  
Brasil

PhD. Mónica Huerta  
Universidad Simón Bolívar,  
Venezuela

Ing. Fausto Vinicio Acuña, MSc.  
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,  
Ecuador

PhD. María Elena Villapol  
Universidad Tecnológica Auckland  
Nueva Zelanda

Ing. Yoan Manuel Ramos Botello, MSc.  
Universidad de Granma  
Cuba

Ing. Raúl Arturo Jiménez Rodríguez, MSc.  
Universidad de Granma  
Cuba

Dra. Angélica Beatriz Contreras Cueva  
Universidad de Guadalajara  
México

Ing. Ariana T. Rivas Lárez, MSc.  
Universidad Carabobo,  
Venezuela

Ing. Jorge Alexander Bosh Cabrera, MSc.  
Universidad de Granma  
Cuba

Ing. Ernesto Pablo Lana Ulloa, MSc.  
Universidad Federal de Minas Gerais  
Brasil

Ing. Alexis Álvarez Cabrales  
Universidad de Granma  
Cuba



## **PRESENTACIÓN**

Louis Pasteur mencionó que en el campo de la investigación el azar no favorece más que a los espíritus preparados; convencidos de la verdad que encierra esta expresión y que la Academia tiene a la investigación como uno de sus ejes fundamentales, la Universidad de las Fuerzas Armadas extensión Latacunga, de manera continua no desmaya en aportar a la sociedad científica y a la comunidad universitaria con la publicación de algunos artículos que tienen relación con los trabajos que han emprendido sus docentes investigadores dentro de este vasto universo, es así que a través de la revista Infociencia 2015 se realiza una nueva entrega de temas que han sido seleccionados para el análisis pertinente de los lectores seguros que serán de utilidad para fortalecer o generar el deseo de ampliar los conocimientos en las diversas áreas del saber ya que el verdadero e íntimo origen de la Universidad está en el afán del conocimiento, que es propio del hombre.

La publicación científica es uno de los últimos pasos de la investigación científica, previo al debate externo que realiza la comunidad académica, y en el presente caso se lo realiza a través de la Jefatura de Investigación, Innovación y transferencia de Tecnología.

Bajo estas premisas, me es grato presentar, en esta edición especial de INFOCIENCIA en la cual se expone las actividades realizadas a través de proyectos de docencia, investigación y vinculación con la colectividad ejecutados por distinguidos docentes-investigadores a nivel nacional e internacional. Es pertinente mencionar que la revista se destaca por tres aspectos importantes:

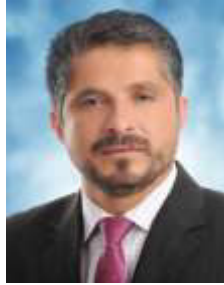
Su carácter pionero y original, que resalta los contenidos propuestos y su desarrollo, lo que habla extraordinariamente bien de la capacidad de entrega, motivación y calidad de las investigaciones. Su aparición se da en momentos en que se requiere dinamizar el diálogo y debate sobre materias substanciales que permitan avanzar en el camino de la ciencia y tecnología hacia un desarrollo sustentable. Finalmente por el contenido sobre los interesantes tópicos y temas así como los artículos que se presentan.

Agradezco y felicito a todas las personas que han contribuido para que el Volumen 9 de la revista sea publicado, invito para continuar con ese ímpetu que mantienen en la búsqueda del conocimiento, su aporte permanecerá en el tiempo.

**Freddy J. Játiva C.**

**Tcrn de E.M.**

**Director Universidad de las Fuerzas Armadas  
Extensión Latacunga**



Para iniciar quiero reflexionar sobre la complejidad de esta nueva era, que nos ha tocado vivir, caracterizada por el poder de la información, la inmediatez de los medios de comunicación así como de lo prolífico y diverso del conocimiento, le corresponde a la universidad, realinear y relacionar mejor su modo de ser con su modo de hacer.

Es por ello que para que la universidad, logre ser trascendente, debe convertirse en fuente y reservorio del conocimiento de la sociedad. En especial a través de procesos de investigación científica y tecnológica contextualizados en su entorno, pero con visión global, por lo que es llamada a propiciar la generación, aplicación, transferencia, gestión y socialización del conocimiento.

Bajo estas premisas, es grato presentar a su consideración esta edición de INFOCIENCIA, la cual se encuentra indexada dentro del Directorio de Latindex, para así de esta manera ir trascendiendo dentro de los procesos de calidad y mejora continua, que a futuro permitan ser una plataforma de alto impacto para visualizar los resultados de investigaciones realizadas por distinguidos docentes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga, así como de investigadores de universidades y centros de investigación de otras latitudes. En este número se muestran trabajos en las áreas de conocimiento de investigaciones realizadas, que incluyen los campos de la ingeniería: Electrónica, Automatización y Control, Comunicaciones, Software, Mecatrónica, Mecánica Automotriz.

Es por ello oportuno el enhorabuena, por la aparición de esta nueva edición de la Revista INFOCIENCIA, que viene a sumar un peldaño más en la madurez científica de los que la integran y participan en su desarrollo. Así como plasma, desde la perspectiva académica el rigor del método, sirviendo de tribuna para la confrontación de saberes de las distintas áreas objeto del conocimiento, lo que significa una enorme contribución a la generación e innovación de aportes técnico-científico desde la Universidad de las Fuerzas Armadas - Extensión Latacunga.

Otro elemento de madurez, que viene experimentando la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en los últimos tiempos, muestra una mayor internalización de la cultura investigativa, así como un creciente número de contribuciones intelectuales, las cuales responden a elementos de pertinencia técnica, científica y social, esto último como caja de resonancia del entorno-universidad, lo que convierte a INFOCIENCIA, en el medio de socialización por excelencia de las soluciones que desde la ESPE, se brinda al entorno social.

No quiero terminar esta presentación, sin antes valorar la enormidad de este desafío, de desarrollar cultura para la investigación y la innovación. Asintiendo con especial énfasis en la complejidad en el mantenimiento de medios de socialización del conocimiento, en especial cuando los retos de la globalización del conocimiento así lo imponen. Asimismo, quiero agradecer al Comité Editorial, a los revisores quienes desinteresadamente, han contribuido con su experticia, felicitar a los autores por su contribución al escoger y confiar en INFOCIENCIA, como medio para la divulgación de sus aportes.

Para cerrar, expreso que sigo siendo optimista de que ésta es una tarea posible con la colaboración de ustedes, el respaldo de las autoridades, así como de la aceptación de una comunidad científica que valoran la importancia y trascendencia de la ciencia, la tecnología y la innovación, como medios para el desarrollo del Ecuador.

**Ing. José G. Bucheli Andrade**  
**DIRECTOR INFOCIENCIA**

# Sub-ontología para la medición del ritmo cardiaco como registro de una historia clínica electrónica

## Sub-ontology for heart rate measurement as a record of an electronic health record

Alexandra Corral y Patricio Espinel

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga

[macorral@espe.edu.ec](mailto:macorral@espe.edu.ec), [gpespinel@espe.edu.ec](mailto:gpespinel@espe.edu.ec)

**Recibido:** Agosto 2015, **Publicado:** Diciembre 2015

**Resumen**—Actualmente la gran mayoría de los centros hospitalarios públicos en el Ecuador cuentan únicamente con sistemas de gestión de historias clínicas con bajos procesos de automatización, lo cual obliga a que un mismo paciente tenga una historia en cada consultorio donde se atiende. Casos de atención de salud complejos son pacientes con enfermedades crónicas, en el que se requiere la intervención de múltiples profesionales de la salud para la toma de decisiones, una intervención correcta de este tipo de pacientes implica un análisis preciso de la información y de la intervención estándar por parte de los profesionales. En este trabajo se describe una subontología para representar el conocimiento semántico de una condición observable de enfermedades crónicas como la medición del ritmo cardiaco de un paciente. La subontología toma terminología desde una ontología médica estándar, como SNOMED CT, y la validación se realizó a través de una herramienta de modelado conceptual avanzado que garantice el diseño y construcción.

**Palabras Claves**— Ontologías, Historia Clínica Electrónica, Methontology, SNOMED-CT.

**Abstract**— Currently the vast majority of public hospitals in Ecuador have only management systems with low medical records automation processes, which requires that one patient has a history in every office where they attend. Cases of complex health care are patients with chronic diseases, in which the involvement of multiple health professionals for decision-making is required, a proper intervention of these patients involves a precise analysis of the information and intervention Standard by professionals. This paper presents subontology to represent the semantic knowledge of an observable condition of chronic diseases such as heart rate measurement of a patient. The subontology taken from a standard medical terminology ontology like SNOMED CT, and validation was performed through an advanced conceptual modeling tool that ensures the design and construction.

**Key words**— Ontologies, Health Electronic Record, Methontology, SNOMED-CT

### I. INTRODUCCIÓN

Una ontología es la representación concreta del conocimiento de un dominio, su origen se remonta a los antiguos filósofos que estaban interesados en la conceptualización del mundo, en el área de las ciencias de la computación una ontología es definida "como una especificación explícita formal de una conceptualización compartida para un dominio de interés "[1]. Esta conceptualización es la representación del conocimiento sobre el mundo en términos de entidades (las cosas, las relaciones que mantienen y las limitaciones entre ellos), la especificación es la representación concreta de esta conceptualización y una especificación explícita significa que el modelo debe especificarse en un lenguaje sin ambigüedades[2]. Las ontologías en el campo de la informática han prestado interés en áreas como la gestión del conocimiento, la integración de la información, sistemas de información y comercio electrónico [2], a su vez, se ha dado enfoque a la construcción de sistemas inteligentes modernos, la reutilización y el intercambio de conocimiento declarativo [3], actualmente las ontologías han recibido un importante impulso por la llamada Web Semántica acuñada por [4]. La ontología forma un modelo de dominio de información especializada en áreas como la medicina para la descripción de objetos comunes [5].

El estándar Ontology Web Language (OWL) de la World Wide Web Consortium (W3C) permite la expresión de ontologías en un formato procesable por computadoras. Las ontologías definidas en OWL, en combinación con herramientas de inferencia, son capaces de derivar razonamientos lógicos encontrando nuevas reglas e informaciones basadas en ellas y en informaciones actuales.

Las ontologías se han aplicado en muchas áreas dentro del sector de la salud. Algunas normas terminológicas existentes incluyen: SNOMED CT (Systematized Nomenclature of Medicine – Clinical Terms), LOINC

(Logical Observation Identifiers Names and Codes) y UMLS (Unified Medical Language System) que contiene muchas ontologías biomédicas incluyendo SNOMED CT y LOINC[6].

Al definir ontologías para conceptos básicos que componen los sistemas de salud, como son las personas, usuarios, profesionales, instituciones, servicios y prestaciones, es posible construir una base semántica consistente para todo el sistema de salud desde la cual genera información y servicios con capacidad de interoperabilidad semántica global y de negocio.

La historia clínica electrónica (HCE) única, interoperable y estándar es un ejemplo concreto y preciso de lo que puede lograrse mediante la estandarización en el ámbito de la salud. Es fundamental contar con ella. La HCE consiste principalmente en la descripción de un paciente, condición médica, los tratamientos administrados, y los resultados obtenidos. Estas descripciones son sobre entidades concretas de la realidad. El ejemplo más claro de un sistema de información que apunte a una asistencia sanitaria oportuna y de calidad es la HCE única de cada persona, que da acceso transversal y longitudinal a la información de salud de un individuo; esto es, información registrada en distintos centros de salud y durante toda la vida, desde su nacimiento[7].

Crear una ontología para HCE es un campo amplio, por lo que el presente artículo se centra específicamente en una sub-ontología en la que se enfoque los datos del paciente relacionados con la medición del ritmo cardiaco de una persona, la cual va ser validada a través de la utilización de una herramienta de modelado conceptual avanzado que garantice su diseño y construcción.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Ontología en salud

Las ontologías, que permiten el razonamiento automatizado, son muy adecuadas para modelar el conocimiento médico. En el dominio de la medicina, hay una fuerte necesidad de determinar la relación y la separación entre ontologías, y sistemas de codificación (como SNOMED CT) [8]. La integración del modelo de significado (es decir, la ontología), el modelo de códigos (es decir, la terminología) y el modelo de información, es importante en la representación de conocimiento que permita generar un lenguaje como OWL.

Las ontologías en el desarrollo de aplicaciones médicas permiten recuperación de información, búsqueda de respuestas en fragmentos de textos que responden preguntas y a clasificación de documentos.

### B. SNOMED –CT

SNOMED CT es una terminología clínica, multilingüe, que se basa en tres pilares fundamentales: conceptos, descripciones y relaciones[9]. A su vez, los conceptos se

agrupan en jerarquías [10]. SNOMED es un conjunto de términos enumerados que intentan comunicar información en forma no ambigua. O más específicamente, SNOMED se compone de Términos + Códigos + Capacidad de representar significados mediante la combinación de conceptos.

En SNOMED CT se encuentran conceptos que pertenecen a una amplia variedad de ejes semánticos. En el nivel superior se encuentra el concepto raíz de la terminología, un concepto único que actúa como origen de todos los significados (ver Figura 1).

— 138875005|SNOMED CT Concept (SNOMED RT+CTV3)|

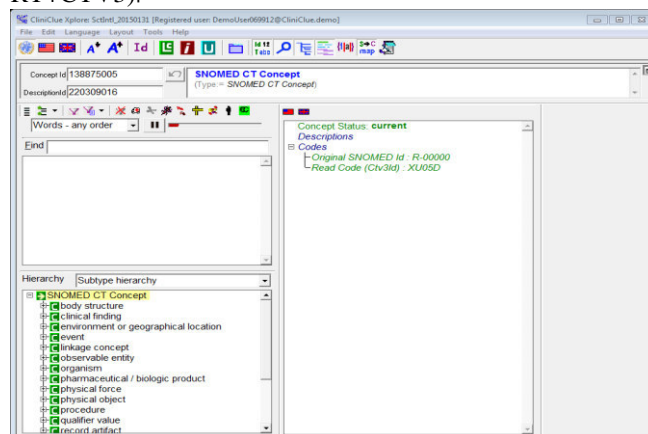


Fig. 1: Terminología Snomed-CT en nivel superior

Por debajo del concepto raíz, se encuentran 19 jerarquías que incluyen las siguientes categorías de alto nivel:

- Hallazgos clínicos
- Procedimientos
- Entidades observables
- Estructuras corporales
- Organismos
- Sustancias
- Productos farmacéuticos/biológicos
- Especímenes
- Conceptos especiales
- Objetos físicos
- Fuerzas físicas
- Eventos
- Ambientes/localizaciones geográficas
- Contexto social
- Categorías dependientes del contexto
- Estadificaciones y escalas
- Conceptos de enlace
- Calificadores
- Elementos de registro

Existen dos tipos de relaciones que se conectan entre conceptos SNOMED-CT:



- *Relación Es\_Un*: Conecta conceptos en relaciones simples. Este tipo de relaciones son las que conectan los conceptos dentro de una jerarquía (relación padre-hijo). Todo lo que es verdad del concepto padre es verdad para todos sus descendientes. Las relaciones *Es\_Un(a)* permiten la recuperación selectiva de enfermedad y permiten ejecutar consultas como “ritmo cardíaco” que a su vez recopilarán hijos de este concepto. Los sistemas informáticos representan el concepto de enlace *Es\_un(a)* con el identificador 116680003.
- *Atributo*: Las relaciones basadas en atributos permite conectar conceptos entre diversas jerarquías. Sirven para aportar más detalles al significado de un concepto. Por ejemplo, el atributo agente causal (ConceptID: 246075003) permite indicar que una neumonía (concepto de la jerarquía hallazgo clínico) está causada por un virus (concepto de la jerarquía organismos).

Los atributos mínimos de SNOMED- CT son:

- Sitio del hallazgo
- Sitio del procedimiento
- Morfología Asociada
- Método

**C. Herramientas SNOMED-CT**

Algunos navegadores de terminologías con soporte de SNOMED- CT son detalladas a continuación:

- ClinClue Xplore: Navegador gratuito de SNOMED CT.
- SNOB: Navegador gratuito de SNOMED CT.
- Integrated Terminology Server (ITS): Servidor de terminología.
- Description Lookup Service: Un servicio de IHTSDO para obtener las descripciones de un concepto a partir de su identificador (concept ID).

En el ámbito más específico de la salud, es decir, el campo clínico, openEHR ha propuesto un nuevo modelo clínico conocido como un arquetipo. Este modelo es adoptado por el CEN TC / 2512 en sus informática Salud - Comunicación Historia Clínica Electrónica (EN 13606) norma europea. Un arquetipo es un modelo de conocimiento de dominio específico, en este caso, el conocimiento clínico. Cada arquetipo describe un concepto conocimiento clínico completo como "diagnóstico" o "resultado de la prueba"[6].

**D. Terminologías médicas**

La tabla 1 describe referencias cruzadas con otras terminologías utilizada en el campo de la salud.

Códigos específicos para mensajes	DICOM HL7 IEEE
Códigos de diagnóstico y procedimientos	CIE-9-MC CIE-10 CIAP-2 CIE-11
Códigos de Laboratorio	LOINC
Códigos de enfermería	NIC NANDA NOC PNDS HHCC OMAHA NMMDS
Código de Farmacología	MedDRA ATC RxNORM
Otros códigos	DSM-IV Snomed-RT Gabrieli MEDCIN Snomed-III

**E. Metodología para La construcción de la Ontología**

La metodología utilizada para el desarrollo de la ontología de la historia clínica fue la de Methontology; la selección de la metodología es por que describe una serie de pasos bien definidos y rigurosos para su construcción.

Methontology describe las siguientes actividades[11]:

1. Proceso de gerencia
2. Proceso de desarrollo
  - 2.1 Especificación
  - 2.2 Conceptualización
  - 2.3 Formalización
  - 2.4 Implementación
3. Proceso de soporte
  - 3.1. Adquisición de conocimiento
  - 3.2. Evaluación de la ontología
  - 3.3. Integración
  - 3.4. Documentación
  - 3.5. Gestión de configuración

Para el presente trabajo se tomó las actividades del proceso de desarrollo y dos subactividades del proceso de soporte para la construcción de la subontología.

**1. Proceso de desarrollo**

Las actividades de desarrollo incluyeron las siguientes actividades:

**1.1. Especificación**

La especificación establece el propósito y alcance de la ontología, esta fue realizada en lenguaje natural.

- a. Propósito: El dominio de la ontología de la HCE comprende a todos los conceptos y sus relaciones relativos a la interacción clínica existente entre paciente, síntomas y diagnóstico. No considera otras interacciones involucradas en HCE.

TABLA 1  
REFERENCIAS DE TERMINOLOGÍAS EN EL CAMPO SALUD  
SNOMED CT

- b. Alcance: La ontología del tema de estudio del presente trabajo está orientada a determinar el cuerpo conceptual de la historia clínica general, es decir lo que corresponde a la sintomatología de una enfermedad en particular.

Los casos complejos de atención a la salud son los pacientes con enfermedades crónicas que requieren la interacción coordinada de múltiples profesionales. Una intervención correcta de este tipo de pacientes implica el análisis preciso de las condiciones de cada paciente y la adaptación de las pruebas basadas en los planes de intervención estándar a éstas condiciones[8]

El artículo, presenta una subontología basada en arquetipos para representar el contenido semántico, extraída de una ontología como SNOMED CT que permite determinar terminología en el ámbito de la salud.

Se aplica como ejemplo una subontología que describe la información para la capturar de la medición del ritmo cardiaco, esta subontología puede ser vista como la representación de conocimiento que define una estructura de información válida.

1.2. Conceptualización

El objetivo de esta actividad es organizar y estructurar el conocimiento adquirido durante las actividades de adquisición de conocimiento usando representaciones que son independientes de los paradigmas de representación de conocimiento e implementación en las cuales la sub ontología será formalizada e implementada. En nuestro caso, utilizaremos la Norma Técnica de Salud SNOMED CT, para la definición de un conjunto de términos que se convertirá en nuestro glosario inicial.

La subontología toma conceptos relacionados a la medición del ritmo cardiaco cuyos conceptos y relaciones son descritos en la tabla 2.

TABLA 2  
TÉRMINOS ENCONTRADOS DE LA MEDICIÓN DEL RITMO CARDIACO

Termino	ConceptID SNOMED-CT	Tipo de concepto
Ritmo cardíaco	364075005	Entidad observable
Hallazgo ritmo cardiaco	301113001	Hallazgo clínico
Estructura del sistema cardiaco	24964005	Estructura corporal
Estructura del sistema cardiovascular	113257007	Estructuras corporales
Procedimiento de examen físico	5880005	Procedimientos
Postura examen	163674002	Hallazgo clínico
Rango normal	76863003	Hallazgo clínico
Rango irregular	361138002	Hallazgo clínico
Examen cardiovascular	211883001	Hallazgo clínico
CTG	47101004	Procedimientos
Postura sentado	33586001	Hallazgo clínico
Postura acostado	255576009	Hallazgo clínico
Es_Un	116680003	Concepto de vinculación

Interpreta	363714003	Concepto de vinculación
Sitio de hallazgo	363698007	Concepto de vinculación
Sitio de procedimiento	363704007	Concepto de vinculación

La herramienta utilizada para navegar conceptos SNOMED-CT es CliniClue Xplore como se ilustra en la figura 2.

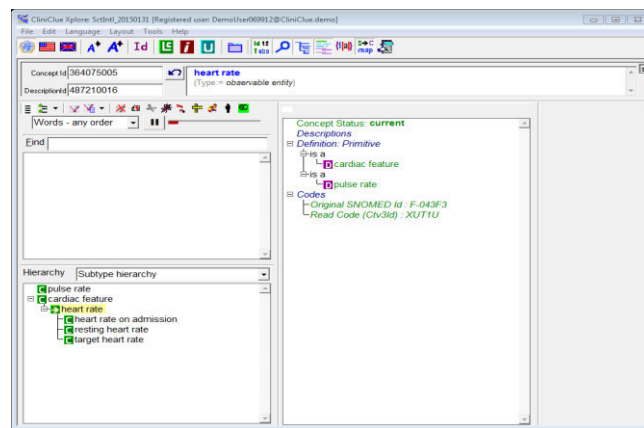


Fig. 2: Navegador Snomed Cliniclue

Las ontologías describen la información en un contexto general, a diferencia de un arquetipo que describe la información en un contexto operacional.

1.3. Formalización

La representación de la ontología es a través de un lenguaje semiformal en lenguaje natural estructurado y estricto. En SNOMED CT la lateralidad puede ser aplicada añadiendo un atributo calificador de lateralidad (que se aplica a una topografía) y el valor correspondiente. 272741003 | laterality (attribute) |

En el presente artículo se utiliza la codificación que detalla los conceptos y atributos a través de un topográfico informático SNOMED-CT como se describe a continuación:

Ritmo Cardiaco: 364075005 | heart rate (observable entity)  
 301113001 | finding of heart rate (clinical finding) |  
 24964005 | cardiac conducting system structure (body structure) |  
 113257007 | structure of cardiovascular system (body structure) |  
 5880005 | physical examination procedure (procedure) |  
 163674002 | posture (clinical finding) |  
 76863003 | normal heart rate (clinical finding) |  
 361138002 | irregular heart rate (clinical finding) |  
 47101004 | cardiocogram (procedure) |  
 33586001 | sitting position (clinical finding) |  
 255576009 | telling untruths (clinical finding) |

116680003 | is a (linkage concept) |  
 363714003 | interprets (linkage concept) |  
 363698007 | finding site (linkage concept) |  
 363704007 | procedure site (linkage concept) |

1.4. Implementación

ICOM es una herramienta avanzada de modelado conceptual, que permite al usuario diseñar diagramas ER o UML con restricciones inter e intra-modelo[12].

La especificación del modelo es verificado a través de un razonador lógico, empleado por la herramienta que permite inferir hechos implícitos, diseñar restricciones y verificar inconsistencias.

En el presente artículo se incluyó esta herramienta para la representación semiformal del modelo, permitiendo mostrar la subontología del dominio medición del ritmo cardiaco como parte de la historia clínica general en un nivel alto de abstracción.

En la figura 3 ilustra la representación del dominio para medición del ritmo cardiaco utilizando la herramienta ICOM

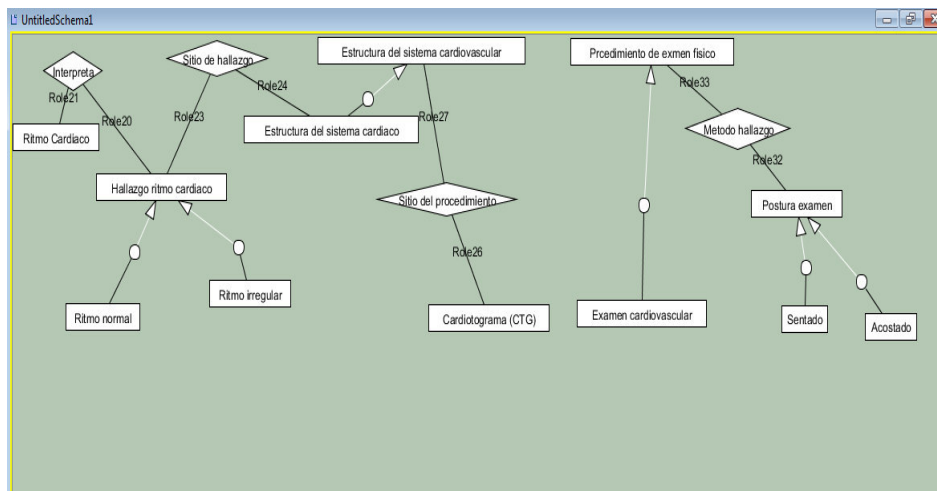


Fig. 3: Ontología para la medición del ritmo cardiaco

2. Proceso de soporte.

Las actividades de soporte fueron ejecutadas en paralelo con las actividades de desarrollo.

2.1 Adquisición de conocimiento

Las fuentes de información fueron adquiridas de investigaciones realizadas respecto a lo que se refiere a ontologías en historias clínicas tomando como referencia las normas que definen terminología de salud pública como SNOMED-CT.

2.2. Evaluación de la ontología

Habiendo delimitado el alcance, y diseñado la subontología se ha validado la consistencia del modelo utilizando la herramienta ICOM a través de un razonador lógico como RacePro.

III. RESULTADOS

El uso de estándares en informática médica permite generar importantes desarrollos en la atención clínica. En el presente trabajo se consideró a SNOMED.CT como base terminológica para el intercambio de información médica, ya que se le considera como una ontología pesada, con un formalismo declarativo basado en descripciones lógicas cuyo propósito es facilitar el desarrollo de sistemas de HCE que permitan el intercambio de información entre diferentes sistemas. La nomenclatura que utiliza SNOMED-CT permite conocer la prevalencia de una enfermedad crónica y sus complicaciones (p.ej., ritmo cardiaco). En HCE la armonización del intercambio de información a través de la interoperabilidad semántica, permite a los médicos tratantes consultar el historial del paciente aun cuando éste se traslade a diferentes instituciones de salud.

Para nuestro caso la subontología desarrollada permite ver los conceptos y relaciones establecidas para una enfermedad crónica, pudiendo ser utilizada como base para la descripción del dominio de interés, el modelo fue probado a través de la herramienta ICOM utilizando un razonador lógico con el que se comprobó la consistencia del modelo ontológico.

#### IV. CONCLUSIONES

El desarrollo de una ontología no es una tarea fácil ya que se debe tener el conocimiento de expertos, los sistemas de información y los nuevos requerimientos que se presenten a fin de poder obtener ontologías de calidad que sean útiles en la web semántica.

Se utilizó a SNOMED-CT como base de terminología médica para la construcción de la subontología para la medición del ritmo cardiaco, apoyada de la herramienta CliniClue Xplore como navegador de conceptos-códigos y descripciones relacionados en el campo de la salud.

En el presente trabajo se utilizó la herramienta ICOM para diseñar y mantener la ontología verificando la consistencia del modelo a través de un servidor de descripción lógica como RacePro.

#### REFERENCIAS

- [1] T. R. Gruber, "A translation approach to portable ontology specifications," *Knowledge acquisition*, vol. 5, pp. 199-220, 1993.
- [2] S. Staab and R. Studer, *Handbook on ontologies*: Springer Science & Business Media, 2013.
- [3] M. Ivanović and Z. Budimac, "An overview of ontologies and data resources in medical domains," *Expert Systems with Applications*, vol. 41, pp. 5158-5166, 2014.
- [4] T. Berners-Lee, J. Hendler, and O. Lassila, "The semantic web," *Scientific american*, vol. 284, pp. 28-37, 2001.
- [5] N. Mamani-Macedo, F. Ticona-Pacheco, O. Canchumani, V. Jara, and J. Pariona, "Inference in the electronic health record using Semantic Web technologies," in *Health Care Exchanges (PAHCE), 2014 Pan American*, 2014, pp. 1-6.
- [6] A. K. Sari, W. Rahayu, and M. Bhatt, "Archetype sub-ontology: Improving constraint-based clinical knowledge model in electronic health records," *Knowledge-Based Systems*, vol. 26, pp. 75-85, 2012.

- [7] S. Indarte and P. Pazos Gutiérrez, "Estándares e interoperabilidad en salud electrónica: Requisitos para una gestión sanitaria efectiva y eficiente," 2011.
- [8] D. Riaño, F. Real, J. A. López-Vallverdú, F. Campana, S. Ercolani, P. Mecocci, R. Annicchiarico, and C. Caltagirone, "An ontology-based personalization of health-care knowledge to support clinical decisions for chronically ill patients," *Journal of biomedical informatics*, vol. 45, pp. 429-446, 2012.
- [9] H. Wasserman and J. Wang, "An applied evaluation of SNOMED CT as a clinical vocabulary for the computerized diagnosis and problem list," in *AMIA Annual Symposium Proceedings*, 2003, p. 699.
- [10] M. G. Rojo, "Normalización semántica en anatomía patológica. Uso práctico de SNOMED CT e informes normalizados."
- [11] M. Fernández-López, A. Gómez-Pérez, and N. Juristo, "Methontology: from ontological art towards ontological engineering," 1997.
- [12] P. R. Fillotrani, E. Franconi, and S. Tessaris, "The ICOM 3.0 intelligent conceptual modelling tool and methodology," *Semantic Web*, vol. 3, pp. 293-306, 2012.



**Alexandra Corral D.** Nació en Latacunga Provincia de Cotopaxi en Ecuador. Es graduada de la Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga-Ecuador en Sistemas e Informática en el año 1998 y cuenta con: Diplomado en Gestión del Desarrollo de Software en la Escuela Politécnica del Ejército, Diplomada en Gerencia de Marketing en la Universidad Autónoma de los Andes, un Masterado en Ingeniería de Software de la Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga-Ecuador y

actualmente está postulándose en el Doctorado en Ciencias de la Informática en la Universidad Nacional de Argentina. Actualmente Docente Tiempo Parcial del Departamento de Eléctrica y Electrónica de la ESPE Extensión Latacunga. Email: macorral@espe.edu.ec.

**Espinel Patricio.** Nació en Latacunga Provincia de Cotopaxi en Ecuador. Es graduado de la Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga-Ecuador en Sistemas e Informática en el año 1999 y cuenta con: una Especialidad en Gestión de las Comunicaciones y Tecnologías de la Información de la



Escuela Politécnica Nacional Quito-Ecuador, y un Masterado en Ingeniería de Software de la Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga-Ecuador. Actualmente Docente Tiempo Completo del Departamento de Eléctrica y Electrónica de la ESPE Extensión Latacunga. Email: gpespinel@espe.edu.ec.



# Procedimiento para efectuar una Clasificación Ascendente Jerárquica de un Conjunto de Puntos utilizando el Método de Ward

## Process to carry out an Ascendant Hierarchical Classification of a Set of Points using the Ward method

Patricio Espinel

Departamento de Eléctrica y Electrónica,  
Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga  
[gpespinel@espe.edu.ec](mailto:gpespinel@espe.edu.ec)

**Recibido:** Agosto 2015, **Publicado:** Diciembre 2015

**Resumen**— Se presenta un procedimiento de clasificación jerárquica de un conjunto de objetos, donde para el análisis de clusters se utiliza el método Ward, que permite medir la distancia entre grupos para producir las agrupaciones y conformar una representación gráfica en forma de árbol o dendrograma. Se crea el dendrograma para resumir el proceso agrupación y permitir observar los cambios de varianza más significativos. Se consigue una partición del conjunto de puntos cortando el dendrograma mediante una línea horizontal donde se observen saltos importantes entre los grupos. Se describen los pasos para garantizar la conformación de los conglomerados en la herramienta de software Matlab, y se ilustra el procedimiento de construcción de un dendrograma y su significado con un ejemplo.

**Palabras Claves**— Agrupación jerárquica, método de Ward, distancia de Ward, dendrograma, árbol de clasificación.

**Abstract**— A process of hierarchical classification of a group of objects is studied, where the clusters analysis uses the Ward method. This method allows to measure the distance among the points to produce the grouping and plot a graphic representation in the shape of a tree or dendrogram. This dendrogram summarizes the grouping process and shows the meaningful variance changes. The set of points could be cropped in the dendrogram using a horizontal line in order to observe important variations among the groups. All the necessary steps to generate sets are described using the software Matlab. Finally, the process of construction of a dendrogram is demonstrated through a meaningful example.

**Keywords**— Hierarchical cluster, Ward method, distance, dendrogram, classifying tree.

### I. INTRODUCCIÓN

Los llamados métodos jerárquicos tienen por objetivo agrupar un conjunto de objetos individuales (animales, plantas, etc.) para formar un nuevo grupo o bien separar alguno ya existente para dar origen a otros dos, de tal forma que, si sucesivamente se va efectuando este proceso de

aglomeración o división, se minimice alguna distancia o bien se maximice alguna medida de similitud. Los métodos jerárquicos se subdividen en aglomerativos y divisivos. Cada una de estas categorías presenta una gran diversidad de variantes.

Los aglomerativos comienzan el análisis con tantos grupos como individuos haya en el estudio. A partir de ahí se van formando grupos de forma ascendente, hasta que, al final del proceso, todos los casos están englobados en un mismo conglomerado. Los métodos divisivos o disociativos realizan el proceso inverso al anterior. Empiezan con un conglomerado que engloba a todos los individuos. A partir de este grupo inicial se van formando, a través de sucesivas divisiones, grupos cada vez más pequeños. Al final del proceso se tienen tantos grupos como individuos en la muestra estudiada [1].

Para fijar ideas, centrémonos en los métodos aglomerativos. Sea en el conjunto de individuos de la muestra, de donde resulta el nivel  $K = 0$ , con  $n$  grupos. En el siguiente nivel se agruparán aquellos dos individuos que tengan la mayor similitud (o menor distancia), resultando así  $n - 1$  grupos; a continuación, y siguiendo con la misma estrategia, se agruparán en el nivel posterior, aquellos dos individuos (o grupos ya formados) con menor distancia o mayor similitud; de esta forma, en el nivel  $L$  tendremos  $n - L$  grupos formados. Si se continúa agrupando de esta forma, se llega al nivel  $L = n - 1$  en el que solo hay un grupo, formado por todos los individuos de la muestra.

Esta manera de formar nuevos grupos tiene la particularidad de que si en un determinado nivel se agrupan dos clases, éstas quedan ya jerárquicamente agrupadas para el resto de los niveles. Los métodos jerárquicos permiten la construcción de un árbol de clasificación, que recibe el nombre de dendrograma, en el cual se puede continuar de forma gráfica el procedimiento de unión seguido, mostrando que grupos se van uniendo, en qué nivel concreto lo hacen.

La forma general de operar de estos métodos es bastante simple. Por ejemplo, en los métodos aglomerativos se parte de tantos grupos como individuos haya. A continuación se selecciona una medida de similitud, agrupándose los dos grupos con mayor similitud. Así se continúa hasta que:

- Se forma un solo grupo.
- Se alcanza el número de grupos prefijado.
- Se detecta, a través de un contraste de significación, que hay razones estadísticas para no continuar agrupando clases, ya que los más similares no son lo suficientemente homogéneos como para determinar una misma agrupación [1].

En resumen, el método de clasificación jerárquica comienza de manera que en cada etapa o nivel se forma un grupo. En el nivel inicial, la distancia entre individuos viene dada por la distancia de Ward o por la distancia Euclídea, pero cuando más adelante se trata de unir grupos hay que especificar qué regla de agregación se va a utilizar. En nuestro caso, utilizaremos el método de Ward [2]. Este método utiliza una aproximación al análisis de la varianza para evaluar la distancia entre grupos, intentando minimizar la suma de los cuadrados de los residuos de cada dos hipotéticos grupos que pueden ser formados en cada paso. Su representación gráfica es un dendrograma [3].

El documento está organizado de la siguiente manera: en la Sección 2 el fundamento de los métodos de clasificación y el procedimiento para obtener el dendrograma es presentado. El análisis de los resultados obtenidos se muestra en la Sección 3. Por último, las conclusiones son descritas en la Sección 4.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Métodos de Clasificación

Una forma de sintetizar la información contenida en una tabla de datos es mediante la formación de clases o grupos de sujetos o de variables de manera que la variabilidad dentro de los grupos sea inferior a la variabilidad entre grupos, es decir que al interior de los grupos los elementos sean lo más homogéneos posible y que entre grupos se obtenga un alto grado de heterogeneidad [4] [5].

#### 1. Fundamentos de los métodos

Los métodos de análisis de clusters han sido estudiados desde hace muchos años [6] [7] [8]. Los métodos de clasificación se pueden dividir en jerárquicos y no jerárquicos. En los no jerárquicos el número de clases se establece previamente y el algoritmo de clasificación asigna los individuos a las clases, partiendo de algunos valores iniciales y buscando optimizar algún criterio establecido de antemano.

La representación gráfica básica de los métodos de clasificación jerárquicos son los dendrogramas. Estos gráficos muestran la formación de grupos jerárquicos a modo de árbol invertido, así como la distancia entre los

grupos. Un dendrograma representa una serie de particiones embebidas, en donde el número de grupos decrece a medida que se aumenta la altura del árbol. Para obtener alguna clasificación particular se hace un corte en el árbol [9] [10].

Un árbol se puede construir partiendo del tronco (el conjunto de todos los individuos) y haciendo divisiones sucesivas hasta llegar a cada uno de los individuos o partiendo de las ramas terminales (cada uno de los individuos) y haciendo uniones sucesivas hasta llegar a un grupo con todos los individuos. El primer método se denomina clasificación jerárquica divisiva y el segundo clasificación jerárquica aglomerativa o método de Ward, es la que más se usa en la práctica [11] para lograr grupos homogéneos desde el punto de vista estadístico.

#### 2. Clasificación jerárquica con el método de Ward

Los métodos de clasificación jerárquica requieren, además de la distancia entre puntos, una distancia entre grupos de puntos, que se denomina también criterio de agregación y es la que da el nombre al método de clasificación jerárquica. El método de Ward es el que más sentido estadístico tiene, en el caso de variables continuas, pues en cada paso del algoritmo se obtienen grupos de manera que la varianza dentro de los grupos es mínima y por ende la varianza entre los grupos es máxima [9] [10].

#### 3. Distancia de Ward

El método de Ward utiliza la distancia entre conglomerados que cumple con el objetivo de buscar grupos que tengan menos varianza dentro de cada grupo, como criterio de homogeneidad estadística.

Sean A y B dos grupos no vacíos y disjuntos y sean  $p_A$ ,  $p_B$  y  $g_A$ ,  $g_B$  sus pesos y centros de gravedad, respectivamente. La distancia de Ward entre los dos grupos, en función de la distancia euclidiana canónica  $d$ , viene dada por: (la deducción se puede ver en [12]).

$$W(A, B) = \frac{p_A p_B}{p_A + p_B} d^2(g_A + g_B) \quad (1)$$

Este valor es el incremento de la varianza dentro de los grupos al unir los grupos A y B en uno solo, a continuación se observa cómo se encuentra definida la distancia de Ward para dos individuos  $i$  y  $l$  [4].

$$W(i, l) = \frac{p_i p_l}{p_i + p_l} d^2(i, l) \quad (2)$$

Si los pesos son iguales a  $1/n$  para los dos individuos, se tiene que:

$$W(i, l) = \frac{1}{2n} d^2(i, l) \quad (3)$$

#### 4. Formula de recurrencia

El método de Ward tiene la propiedad de ser secuencial, es decir, que es posible calcular la distancia de Ward en un paso de la construcción del árbol en función de las

distancias del paso precedente. Sean A, B y C tres grupos presentes en el mismo paso de construcción del árbol. Si se unen A y B para formar el grupo AB, es necesario calcular la distancia de Ward entre los grupos AB y C. Se conocen las distancias  $W(A, B)$ ,  $W(A, C)$  y  $W(B, C)$ . La distancia  $W(AB, C)$  en función de las anteriores es [11]:

$$W(A \cup B, C) = \frac{(p_A + p_C)W(A,C) + (p_B + p_C)W(B,C) - p_C W(A,C)}{p_A + p_B + p_C} \quad (4)$$

**B. Procedimiento**

La propuesta descrita utiliza como punto de partida un conjunto de puntos homogéneos, a través del cual se efectúa una clasificación ascendente jerárquica donde los elementos terminales del árbol son los individuos del conjunto de partida. El árbol correspondiente se construye según el criterio de Ward, el cual une en cada paso de agregación los dos grupos que incrementen lo menos posible la varianza dentro de los grupos. El árbol o dendrograma que resume el procedimiento de clasificación permite ver la estructura de clases de los individuos que son objeto de análisis, además es más fácil observar los cambios de varianza más grandes (saltos) y decidir el número de grupos [13].

El procedimiento para obtener el árbol de clasificación, utilizando el método de Ward es el siguiente [11]:

1. Calcular las distancias de Ward entre parejas de individuos según la ecuación (2).
2. Seleccionar la pareja de grupos (individuos en el primer paso) que presente la menor distancia de Ward para conformar el nuevo grupo.
3. Calcular las distancias entre todos los grupos y el grupo recién conformado utilizando la ecuación (4) de distancia de Ward o la fórmula de recurrencia.
4. Eliminar las filas y columnas correspondientes a los individuos o grupos unidos y adicionar una fila y una columna para registrar las distancias entre el nuevo grupo y los demás.
5. Repetir el proceso hasta llegar a un solo grupo.

**C. Ejemplo**

Para ilustrar el procedimiento y facilitar la comprensión de los elementos de una clasificación jerárquica con el método de Ward, se hace la clasificación de seis puntos. En la Tabla I se presentan las coordenadas, las frecuencias y los pesos de los puntos:

TABLA I  
COORDENADAS, FRECUENCIAS Y PESOS SOBRE LOS EJES DE LOS PUNTOS

GRUPO	PUNTOS	XI	YI	Frecuencias	Pesos
1	(0 0)	0	0	1	0.1667
2	(-1 1)	-1	1	1	0.1667
3	(-2 -2)	-2	-2	1	0.1667

4	(1 3)	1	3	1	0.1667
5	(-1 -2)	-1	-2	1	0.1667
6	(1 2)	1	2	1	0.1667

El procedimiento se ilustra utilizando como variables las coordenadas sobre los ejes X e Y, es decir con la información resumida en la Tabla I. La varianza, es decir la suma de las varianzas de las dos variables (X1 y X2) es:  $1.2222 + 3.5556 = 4.7778$ , de acuerdo a la fórmula para la varianza de una población:

$$v^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2 \quad (5)$$

Donde N es el tamaño de la población y  $\mu$  es la media aritmética de la población.

*Procedimiento para obtener el árbol de clasificación utilizando el criterio de Ward*

1. Calcular las distancias de Ward entre parejas de puntos según la ecuación (2), las cuales constituyen la matriz de partida para el método de Ward: como ejemplo se calcula la distancia entre los puntos (0 0) y (-1 1):

$$W((0\ 0), (-1\ 1)) = (0.1667 * 0.1667) / (0.1667 + 0.1667) [(0-1)^2 + (0+1)^2] = 0.0834(1+1) = 0.1667$$

La matriz de distancias de Ward entre puntos se muestra en la Tabla II.

TABLA II  
DISTANCIAS DE WARD ENTRE PUNTOS

GRUPO	(0 0)	(-1 1)	(-2 -2)	(1 3)	(-1 -2)	(1 2)
(0 0)	0.0000					
(-1 1)	0.1667	0.0000				
(-2 -2)	0.6667	0.8333	0.0000			
(1 3)	0.8333	0.6667	2.8333	0.0000		
(-1 -2)	0.4167	0.7500	0.0833	2.4167	0.0000	
(1 2)	0.4167	0.4167	2.0833	0.0833	1.6667	0.0000

2. Seleccionar la pareja de puntos que presente la menor distancia de Ward para conformar el nuevo grupo: el punto (-2 -2) y (-1 -2) a una distancia de 0.0833, el grupo conformado se denomina 7.
3. Calcular las distancias entre todos los grupos y grupo recién conformado utilizando la ecuación (4), donde A y B representan los grupos de la pareja que se une y C los grupos restantes y  $p_A$ ,  $p_B$  y  $p_C$  son los pesos de cada grupo: cálculo de la distancia entre 1 y 7:

$$W((0\ 0) \cup (-2\ -2), (-1\ -2)) = ((0.1667 + 0.1667) * 0.6667 + (0.1667 + 0.1667) * 0.4167 - 0.1667 * 0.0833) / (0.1667 + 0.1667 + 0.1667) = 0.3473 / 0.5001 = 0.6944$$

De forma similar se hacen los cálculos para las distancias entre 7 ((-2 -2) U (-1 -2)) y los demás puntos.

- Eliminar las filas y columnas correspondientes a los grupos A y B, y adicionar una fila y una columna para registrar las distancias calculadas en el paso 3; se eliminan las filas y las columnas (-2 2) y (-1 -2) y se introducen la fila y columna 7, en donde se registran las distancias calculadas, la matriz de distancias de Ward entre grupo de puntos es:

**TABLA III**  
**DISTANCIAS DE WARD ENTRE EL GRUPO 7 Y LOS DEMÁS PUNTOS Y GRUPOS**

GRUPO	(0 0)	(-1 1)	(1 3)	7	(1 2)
(0 0)	0.0000				
(-1 1)	0.1667	0.0000			
(1 3)	0.8333	0.6667	0.0000		
7	0.6944	1.0278	3.4722	0.0000	
(1 2)	0.4167	0.4167	0.0833	2.4722	0.0000

- Repetir 2 a 4 hasta llegar a una matriz de 2x2.

Ahora se unen (1 3) y (1 2) a una distancia de 0.0833 y el nuevo grupo se denomina 8. Es necesario calcular las distancias entre 8 y los demás puntos y grupos. Se eliminan de la matriz anterior las filas y columnas correspondientes a (1 3) y (1 2) y se introducen una fila y una columna para en grupo 8. La nueva matriz es:

**TABLA IV**  
**DISTANCIAS DE WARD ENTRE EL GRUPO 8 Y LOS DEMÁS PUNTOS Y GRUPOS**

GRUPO	(0 0)	(-1 1)	7	8
(0 0)	0.0000			
(-1 1)	0.1667	0.0000		
7	0.6944	1.0278	0.0000	
8	0.8056	0.6944	4.4167	0.0000

La menor distancia es 0.1667, entre (0 0) y (-1 1), los cuales se unen en el grupo denominado 9, repitiendo el procedimiento descrito antes, se obtiene la nueva matriz:

**TABLA V**  
**DISTANCIAS DE WARD ENTRE EL GRUPO 9 Y LOS DEMÁS GRUPOS**

GRUPO	9	7	8
9	0.0000		
7	1.2083	0.0000	
8	1.0417	4.4167	0.0000

Luego se unen 8 y 9 a una distancia de 1.0417, conformando el grupo 10 y la nueva matriz de distancias de Ward es:

**TABLA VI**  
**DISTANCIAS DE WARD ENTRE EL GRUPO 10 Y EL 7**

GRUPO	7	10
7	0.0000	
10	3.4028	0.0000

Solo hace falta calcular la distancia entre 7 y 10, la cual es: 3.4028, obteniendo el grupo 11. Esta es la última distancia de unión entre 7 y 10, con lo cual todos los puntos conforman un solo grupo [14].

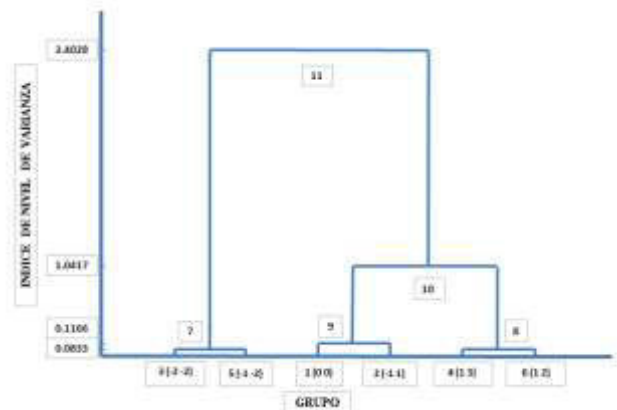
*Procedimiento para obtener el árbol de clasificación utilizando la herramienta de software Matlab*

Las instrucciones que se deben ejecutar en el software Matlab para obtener el dendrograma que nos permita verificar y comparar los resultados obtenidos para el mismo conjunto de datos, son las siguientes:

- $x = [0\ 0; -1\ 1; -2\ -2; 1\ 3; -1\ -2; 1\ 2]$
- $p = \text{pdist}(x)$
- $\text{squareform}(p)$
- $l = \text{linkage}(p, 'ward')$
- $\text{dendrogram}(l)$

### III. RESULTADOS

Previa la construcción del dendrograma se tiene 6 grupos, cada uno formado por un punto, con una varianza entre grupos de 4.7778. La primera unión es de 3 (-2 -2) con 5 (-1 -2), con un índice de nivel de varianza 0.0833. Esta primera unión corresponde a la distancia de Ward entre los dos puntos, es decir el aumento de la varianza dentro de los grupos. La varianza entre los 5 grupos es 4.6944 (4.7778 - 0.0833). El grupo 8 está formado por la unión entre 4 (1 3) y 6 (1 2), en este paso la varianza dentro de los grupos es 0.1667 (0.0833 + 0.0833) y la varianza entre los cuatro grupos es de 4.6111 (4.6944 - 0.0833). La varianza dentro de los grupos se va incrementando en cada paso, en la distancia a la que se unen los dos grupos y la varianza entre grupos va disminuyendo.



**Fig. 1. Dendrograma resultante empleando el método de Ward**



Al final toda la varianza es dentro de los grupos, pues se tiene un solo grupo con todos los puntos, lo cual quiere decir que la suma de los índices de nivel es igual a la varianza total. A continuación se muestra la Fig. 1, que representa el árbol de clasificación resultante empleando el método de Ward:

Para el análisis de resultados obtenidos nos apoyamos de la herramienta de software matemático Matlab y sus funciones: pdist, linkage y dendrogram, consiguiendo el dendrograma del conjunto de datos. De pdist se logra la matriz de partida para el método de Ward basada en la distancia Euclidiana (Tabla VII), posteriormente de linkage se adquiere un arreglo de pares matricial de los integrantes del nuevo grupo con una tercera columna que detalla el índice de nivel de varianza del grupo que irá en el dendrograma (Tabla VIII). Finalmente con dendrogram se obtiene la representación gráfica del dendrograma [15] (Fig. 2).

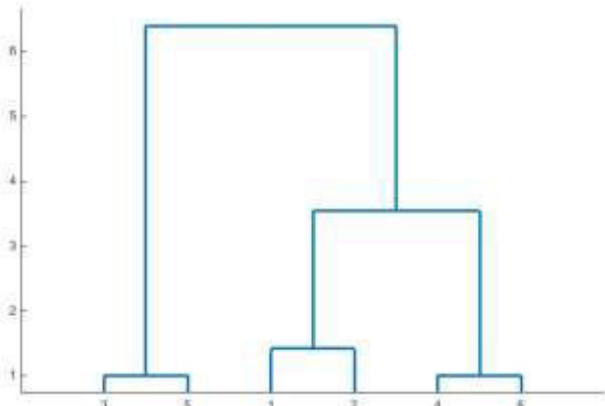


Fig. 2. Representación gráfica del dendrograma utilizando la herramienta dendrogram de Matlab

En el ejemplo, para conseguir una partición del conjunto de puntos, es necesario cortar el dendrograma en un lugar apropiado. En el dendrograma resultante se observan saltos importantes entre los grupos 10 y 11 y entre los grupos 9 y 10. Al cortar entre los grupos 10 y 11 se obtienen dos grupos: uno con el 7 y el otro con el 10 (Fig. 3). Si se corta entre los grupos 9 y 10 se obtienen 3 grupos: 7, 9 y 8 (Fig. 4).

**TABLA VII**  
MATRIZ DE PARTIDA PARA EL MÉTODO DE WARD BASADA EN LA DISTANCIA EUCLIDIANA UTILIZANDO LA HERRAMIENTA PDIST DE MATLAB

0	1.4142	2.8284	3.1623	2.2361	2.2361
1.4142	0	3.1623	2.8284	3.0000	2.2361
2.8284	3.1623	0	5.8310	1.0000	5.0000
3.1623	2.8284	5.8310	0	5.3852	1.0000
2.2361	3.0000	1.0000	5.3852	0	4.4721
2.2361	2.2361	5.0000	1.0000	4.4721	0

**TABLA VIII**  
ARREGLO DE PARES MATRICIAL DE LOS INTEGRANTES DEL NUEVO GRUPO CON UNA TERCERA COLUMNA QUE DETALLA EL ÍNDICE DE NIVEL DE VARIANZA DEL GRUPO UTILIZANDO LA HERRAMIENTA LINKAGE DE MATLAB

3.0000	5.0000	1.0000
4.0000	6.0000	1.0000
1.0000	2.0000	1.4142
8.0000	9.0000	3.5355
7.0000	10.0000	6.3901

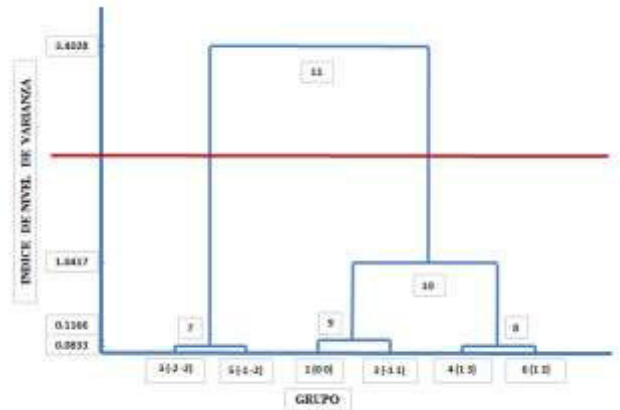


Fig. 3. Corte del dendrograma salto importante entre los nodos 10 y 11, se obtienen 2 grupos: 7 y 10

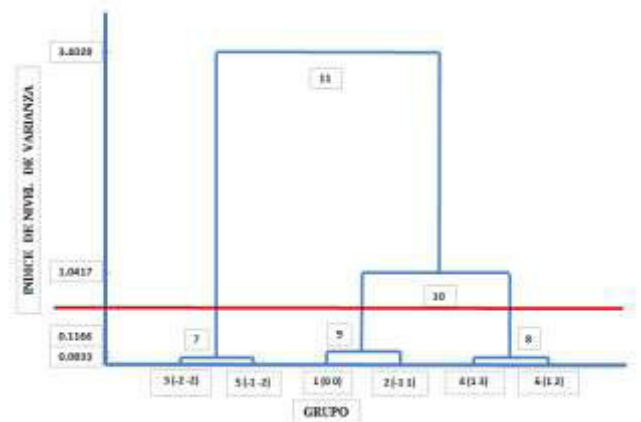


Fig. 4. Corte del dendrograma salto importante entre los nodos 9 y 10, se obtienen 2 grupos: 7, 9 y 8

**IV. CONCLUSIONES**

- La decisión sobre el número óptimo de clusters es subjetiva. Como ayuda a la decisión sobre el número de grupos se recomienda representar los distintos pasos del procedimiento propuesto a través de un dendrograma. Tomando como referencia que en los primeros pasos el salto en las distancias es pequeño, mientras que en los últimos el salto entre pasos es mayor. Además el punto de corte es aquel en el que comienzan a producirse saltos bruscos.
- Comparando el dendrograma obtenido a través del procedimiento propuesto con el conseguido mediante las herramientas de pdist, linkage y dendrogram de

Matlab, podemos observar que la conformación de los nuevos grupos es similar, pero el índice del nivel de varianza dentro de cada grupo es diferente ya que la matriz de partida para el método de Ward en Matlab utiliza la distancia Euclidiana, por lo tanto la suma de los índices de nivel de varianza es mayor a la varianza total.

- La principal ventaja de los métodos jerárquicos es que se puede representar el problema en forma de árbol o dendrograma donde se observa muy bien la solución final. En el ejemplo se advierte una buena partición en tres grupos. La comparación de las alturas de los índices de nivel de varianza (Fig. 1), constituyen en un buen criterio para decidir cuántos grupos tomar para la partición.

## REFERENCIAS

- [1] Gutiérrez, R, González, A, Torres, F, & Gallardo, JA. (1994). Técnicas de análisis de datos multivariable: Tratamiento computacional: Universidad de Granada.
- [2] Ward Jr, J. H. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American statistical association*, 58(301), 236-244.
- [3] Díaz, B, Cruces, E, & Morillas, A. (1997). Las regiones europeas: una tipología basada en la aplicación de técnicas multivariantes. *Rev. Astur. Econ*, 10, 249-265.
- [4] Chauza López, Leidy Johanna, & Villa Villada, Edward Alfonso. (2012). Análisis de conglomerados comparando el coeficiente de similaridad de gower y el método análisis factorial múltiple para el tratamiento de tablas mixtas: Aplicado al diagnóstico del PDA para la caracterización de los municipios del Valle del Cauca [recurso electrónico].
- [5] A. K. Jain and R. C. Dubes. *Algorithms for Clustering Data*. Prentice Hall Advanced Series. Prentice Hall, 1988.
- [6] R. Xu and D. Wunsch. Survey of clustering algorithms. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 16(3):645-678, 2005.
- [7] Y. Li, S. Zhu, L. Wang, and S. Jajodia. A privacy-enhanced microaggregation method. In *Foundations of Information and Knowledge Systems*, pages 148–159, 2002.
- [8] B. Everitt. *Cluster Analysis*. Social Science Research Council by Heinemann Educational Books, 1974.
- [9] Guillén, Andrés Argüello. (2014). Aproximación de mediciones de tensión perdidas en sistemas de potencia por sensibilidad y disimilitud.
- [10] Pardo, C. E., Ortiz, J. E., & Cruz, D. (2012, July). Análisis de datos textuales con DtmVic. In *XXII Simposio Internacional de Estadística*.
- [11] Cabarcas, Germán, & Pardo, Campo Elias. (2001). Métodos estadísticos multivariados en investigación social. Paper presented at the Simposio de Estadística.
- [12] Pardo, C. E. (1992). Análisis de la aplicación del método de Ward de clasificación jerárquica en el caso de variables cualitativas, Tesis de Maestría, Estadística, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Matemáticas y Estadística, Bogotá.
- [13] Campo Elias Pardo. Combination of Factorial Methods and Cluster Analysis in R: The Package FactoClass. *Revista Colombiana de Estadística* Diciembre 2007, volumen 30, no. 2, pp. 231 a 245.
- [14] Villardón, J. (2007). Introducción al análisis de cluster. Departamento de Estadística, Universidad de Salamanca. 22p.
- [15] Guillén, Andrés Argüello. (2014). Aproximación de mediciones de tensión perdidas en sistemas de potencia por sensibilidad y disimilitud.



**Espinel Patricio.** Nació en Latacunga Provincia de Cotopaxi en Ecuador. Es graduado de la Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga-Ecuador en Sistemas e Informática en el año 1999 y cuenta con: una Especialidad en Gestión de las Comunicaciones y Tecnologías de la Información de la Escuela Politécnica Nacional Quito-Ecuador, y un Masterado en Ingeniería de Software de la Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga-Ecuador.

Actualmente Docente Tiempo Completo del Departamento de Eléctrica y Electrónica de la ESPE Extensión Latacunga. Email: gpespinel@espe.edu.ec.

# Diseño y Simulación Aerodinámica y Estructural de un Vehículo Aéreo no Tripulado

## Design and Simulation Aerodynamics and Structural of an Unmanned Air Vehicle

Jonathan Vélez, Félix Manjarrés, Oscar Arteaga  
Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica  
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

[jvelez91@hotmail.com](mailto:jvelez91@hotmail.com), [fxmanjarres@espe.edu.ec](mailto:fxmanjarres@espe.edu.ec), [obarteaga@espe.edu.ec](mailto:obarteaga@espe.edu.ec)

**Recibido:** Octubre 2015, **Publicado:** Diciembre 2015

**Resumen**— El presente trabajo propone el estudio del comportamiento estructural y aerodinámico del perfil del ala y estabilizadores, verticales y horizontales de un vehículo aéreo no tripulado, así como también el análisis de la relación mecánica entre ellos, para posteriormente verificar los parámetros físicos principales en los perfiles, mediante una simulación con asistencia computacional. El proyecto contempla el análisis estructural y la simulación aerodinámica de la aeronave utilizando software especializado. La información recabada será útil para generar conclusiones acerca de la resistencia estructural de un UAV, en función de su comportamiento aerodinámico.

**Palabras Claves**— Aerodinámica, Dinámica de fluidos, Simulación aeroespacial, Vehículo aéreo no tripulado.

**Abstract**— This paper proposes the study of structural and aerodynamic performance of the wing and stabilizers, vertical and horizontal of a UAV profile, as well as the analysis of the mechanical connection between them, to verify subsequently the main physical parameters in the profiles through a simulation with computer assistance. The project includes structural analysis and simulation of aerodynamics of the aircraft using specialized software. The information collected will be useful to generate conclusions about the structural strength of a UAV, according to their aerodynamic performance.

**Keywords**— Aerodynamics, Fluid Dynamics, Aerospace Simulation, Unmanned Air Vehicle.

### I. INTRODUCCIÓN

Los vehículos aéreos no tripulados denominados también UAV, que representa Unmanned Aerial Vehicle, que en español quiere decir Vehículo Aéreo no Tripulado, son aeronaves capaces de volar autónomamente, sin la necesidad de un piloto humano, son mayormente utilizados en aplicaciones militares, aunque también en el ámbito civil, tales como misiones de reconocimiento en desastres naturales, monitoreo en eventos públicos, entre otros.

El problema se genera a partir de que en el Ecuador no existe una metodología definida para el diseño de este tipo de aeronaves, por lo cual mediante este proyecto se llegó a establecer un precedente sobre el estudio aerodinámico de Vehículos Aéreos No Tripulados y de esta manera contribuir con información de ingeniería de UAV's para aplicarla en campos de vinculación con la sociedad.

Además, la simulación aerodinámica y estructural de aeronaves permite obtener un diagnóstico acerca de la resistencia de la estructura y el desempeño aerodinámico de una aeronave, lo cual permitirá realizar trabajos posteriores de mejora estructural y aerodinámica, a su vez, en la actualidad se requieren vehículos que sean capaces de desempeñar tareas cada vez más complejas, lo cual se puede llevar a cabo, al incorporar cámaras y distintas clases de sensores para ejecutar misiones de reconocimiento o vigilancia, lo cual nos indica que se debe realizar un estudio responsable para que las aeronaves muestren la mayor eficacia para realizar estos trabajos [2].



Fig. 1. Vehículo Aéreo No Tripulado (ANKA KAWAK)

## II. PARÁMETROS DE DISEÑO

Los parámetros de diseño son analizados bajo las siguientes condiciones:

- **Materiales:** Los materiales seleccionados para el UAV resultaron ser del tipo compuestos, ya que estos tienen la capacidad de resistir bajas temperaturas, además tienen la característica de ser inoxidable en virtud de que la aeronave estará sometida a condensación por su trabajo a temperaturas bajas así como en ciertas circunstancias a temperaturas relativamente altas. Teniendo así para la Fibra de Carbono una resistencia a la tracción de 209 MPa y una resistencia a la compresión de 206 MPa [3].
- **Geometría estructural:** Depende directamente de la relación peso – dimensión; el diseño es fundamental para la aeronave debido a que la forma aerodinámica que se asigne a las alas permitirá generar la sustentabilidad en el UAV, si el perfil alar no es el adecuado, puede ocasionar una pérdida de la fuerza de sustentación sobre el ala en el despegue o en el aterrizaje o quizá en una simple maniobra, lo cual ocasionaría que la nave se desplome.
- **Seguridad:** estos vehículos tripulados por radiocontrol son utilizados en misiones de reconocimiento y rescate por lo que la seguridad de vuelo debe ser fundamental, en este punto se tomará en consideración las cargas sobre la estructura para determinar la resistencia a flexión y fatiga. Un factor de seguridad óptimo para el ala y el estabilizador debe estar entre 2 y 2.5, ya que con este valor se garantizará la seguridad en vuelo.

## III. SELECCIÓN DE PERFILES AERODINÁMICOS

### A. Ala Principal

Con el fin de reducir la búsqueda del perfil alar en los procesos de diseño, se ha tomado como referencia una lista de perfiles [4], que son los más utilizados en los UAV, como se observa en la Tabla 1

TABLE 1  
PERFILES UTILIZADOS EN ALAS DE UAV'S Y SUS COEFICIENTES

a	Eppler E222			Wortmann FX 67K170		
	C <sub>L</sub>	C <sub>D</sub>	C <sub>M</sub>	C <sub>M</sub>	C <sub>L</sub>	C <sub>D</sub>
0	0.3523	0.0090	-0.084	0.4461	0.0162	-0.0896

Para escoger un perfil se debe tomar en cuenta las siguientes condiciones:

- **Coefficiente de sustentación (CL):** Debe tener el mayor valor posible sin importar el ángulo al que se encuentre el UAV.
- **Coefficiente de arrastre (CD):** Deberá tener el menor valor, debido a que este coeficiente representa la resistencia al avance.
- **Coefficiente de momento (CM):** Deberá tener el menor valor ya que este momento es el que genera las condiciones de balance, picado y guiñada sobre la aeronave, y es necesario que las magnitudes de estas condiciones sean las menores posibles.

TABLE 2  
SELECCIÓN DEL PERFIL AERODINÁMICO DEL ALA PRINCIPAL

Formato de selección	FP	Eppler E222	Wortmann FX 67K170
C <sub>L</sub>	0.50	-	X
C <sub>D</sub>	0.30	X	-
C <sub>M</sub>	0.20	-	X
	Σ	0.30	0.70

Mediante la Tabla 2 se determina la alternativa óptima para el ala principal y se selecciona un perfil alar WORTMANN FX 67K170.

### B. Estabilizador horizontal

Mediante similar proceso se selecciona el perfil del ala, para el estabilizador horizontal. La Tabla 3 contiene los datos referentes a la selección establecida.

TABLE 3  
PERFILES UTILIZADOS EN ESTABILIZADORES DE UAV'S Y SUS COEFICIENTES

a	NACA 0009			RA163C3		
	C <sub>L</sub>	C <sub>D</sub>	C <sub>M</sub>	C <sub>L</sub>	C <sub>D</sub>	C <sub>M</sub>
0	0	0.0101	0	0.249	0.014	-0.08

Las condiciones que se utilizaron anteriormente para la selección del perfil alar se aplican ahora para la selección del perfil del estabilizador.



Proceso que se muestra en la Tabla 4.

**TABLA 4**  
**SELECCIÓN DEL PERFIL AERODINÁMICO DEL ESTABILIZADOR PRINCIPAL**

Formato de selección	FP	NACA 0009	RA163C3
$C_L$	0.50	-	X
$C_D$	0.30	X	-
$C_M$	0.20	-	X
	$\Sigma$	<b>0.3</b>	<b>0.7</b>

Se determinó que la alternativa óptima para el estabilizador horizontal es un perfil alar tipo RA163C3.

#### IV. CÁLCULO Y SELECCIÓN DE PERFILES ESTRUCTURALES

##### A. Ala Principal

La estructura del ala principal estará constituida por dos vigas, una principal y una secundaria, las cuales soportarán las cargas aerodinámicas, adicional a esto se añadirán dos elementos a los extremos de las vigas para que estas formen una configuración en C denominados caps a cada una de las vigas.



Fig. 2. Configuración estructural del ala

De la Figura 2 se determina que la viga principal se encuentra a una distancia de 30% de la cuerda del perfil y la viga secundaria está a una distancia equivalente al 65% de la cuerda del perfil.

**TABLA 5**  
**LISTADO DE DIMENSIONES DE LA ESTRUCTURA EN EL PERFIL**

SECCIÓN	COTA	DIMENSIÓN N (m)
Altura de la viga principal	d	0,140
Longitud del cap sup. de la viga principal.	e	0,04
Longitud del cap inf. de la viga principal.	f	0,04
Longitud del cap sup. de la viga secundaria	g	0,031
Longitud del cap inf. de la viga secundaria	h	0,031
Altura de la viga secundaria	i	0,108
Espesor de la viga principal	t1	0,005
Espesores de los caps	t2, t3, t4, t5	0,005
Espesor de la viga secundaria	t6	0,005

En la Tabla 5 se observan los valores de las vigas y las dimensiones de la estructura diseñada. Para realizar los cálculos de esfuerzos es necesario obtener los valores de sustentación y arrastre máximos generados sobre el perfil alar, para lo cual se utilizarán las formulas (1) y (2) respectivamente.

$$F_L = \frac{S \cdot \rho \cdot v^2}{2 \cdot (\cos a)} \cdot C_L \tag{1}$$

$$F_D = \frac{S \cdot \rho \cdot v^2}{2 \cdot (\cos a)} \cdot C_D \tag{2}$$

Dónde:

- $F_L$  = Fuerza de sustentación (N)
- $F_D$  = Fuerza de arrastre (N)
- S = Superficie alar (m<sup>2</sup>)
- $C_L$  = Coeficiente de sustentación
- $C_D$  = Coeficiente de arrastre
- $\rho$  = Densidad de flujo (Kg/m<sup>3</sup>)
- v = Velocidad del flujo (m/s)
- a = Ángulo de ataque (rad)

**TABLA 6**  
**FUERZAS DE SUSTENTACIÓN Y ARRASTRE SOBRE EL PERFIL DEL ALA**

a	Superficie (m <sup>2</sup> )	Velocidad (m/s)	CL CD	FL (N)
18	3,24	50	1,5630	8153,4
18	3,24	50	0,05815	303,342

En la Figura 3 se observa la viga del ala en una vista frontal, en donde FL está dividida para 4 ya que la fuerza de sustentación total que soporta cada una de las vigas es FL/2, como se pretende determinar la fuerza para la mitad del ala entonces FL/2 se divide para 2 obteniéndose FL/4.

Además R1 y R2 representan las reacciones que se generan en los puntos de anclaje entre el ala y el fuselaje.

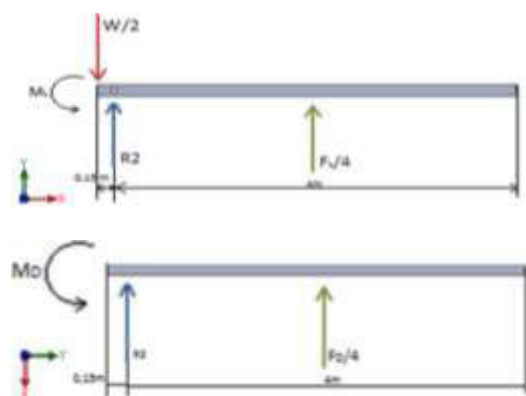


Fig. 3. Diagrama de cuerpo libre. Eje X y Y

Para las fuerzas generadas sobre el eje X:

$$\sum Fy = 0$$

$$-\frac{W}{2} + R2 + \frac{F_L}{4} = 0$$

$$R2 = -1058,37 N$$

$$\sum M_{R2} = 0$$

$$M_L = -\frac{W}{2}(0,15m) - \frac{F_L}{4}(2m - 0,15m)$$

$$M_L = -3917,98 N$$

Para las fuerzas generadas sobre el eje Y:

$$\sum Fy = 0$$

$$R3 = -\frac{F_D}{4}$$

$$R2 = -75,84 N$$

$$\sum M_{R2} = 0$$

$$M_D + \frac{F_D}{4}(2m - 0,15m) = 0$$

$$M_D = -140,3 Nm$$

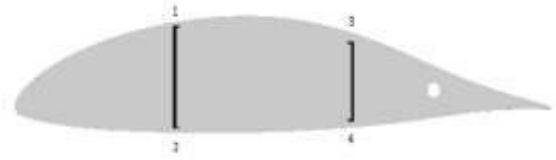
Además de estos cálculos es requerido obtener los momentos de inercia de las vigas utilizadas.

Los valores de inercia se enuncian en la tabla 7.

**TABLA 7**  
**MOMENTOS DE INERCIA**

<b>Momentos de inercia viga principal</b>
$I_{x_{vp}} = 2,967 \times 10^{-6} m^4$
$I_{y_{vp}} = 1,273 \times 10^{-6} m^4$
<b>Momentos de inercia viga secundaria</b>
$I_{x_{vs}} = 1,347 \times 10^{-5} m^4$
$I_{y_{vs}} = 5,893 \times 10^{-7} m^4$

El cálculo de los esfuerzos normales se aplica para cada uno de los 4 puntos de análisis establecidos en la figura 4, mediante la Ecuación 3.



**Fig. 4.** Puntos de análisis de la estructura.

$$\sigma_{xx} = \frac{M_L \cdot C_y}{I_{x_{vp}}} + \frac{M_D \cdot C_x}{I_{y_{vp}}} \tag{3}$$

Dónde:

- $M_L$  = Momento flector con respecto a la sustentación
- $M_D$  = Momento flector con respecto al arrastre
- $C_y$  = Distancia sobre el eje Y, desde el centroide  $\bar{Y}$  hasta el punto de análisis.
- $C_x$  = Distancia sobre el eje X, desde el centroide  $\bar{X}$  hasta el punto de análisis.
- $I_{x_{vp}}$  = Momento de inercia sobre el eje X
- $I_{y_{vp}}$  = Momento de inercia sobre el eje Y

En la Tabla 8 se listan los valores para los esfuerzos normales de cada uno de los 4 puntos de análisis, para este caso los valores con signo negativo corresponden a tensión y los de signo positivo a compresión.

**TABLA 8**  
**ESFUERZOS NORMALES EN LA ESTRUCTURA**

<b>Puntos</b>	<b>Esfuerzos Normales (MPa)</b>
1	-96,22
2	93,61
3	-17,86
4	22,12

Se ha utilizado los 4 puntos de referencia antes indicados, para realizar el cálculo de los esfuerzos cortantes, se lo realiza mediante la Ecuación 4.

$$\tau_{xy} = \frac{F_L + F_D}{4 \cdot A} \tag{4}$$

Dónde:

- F = Fuerzas máximas que se aplican sobre la viga. ( $F_L$  y  $F_D$ )
- A = Área de la viga principal y secundaria respectivamente.

La Tabla 9 expresa los valores para los esfuerzos cortantes en cada punto de análisis.

**TABLA 9**  
**ESFUERZOS CORTANTES EN LA ESTRUCTURA.**

<b>Puntos</b>	<b>Esfuerzos Cortantes (MPa)</b>
---------------	----------------------------------

Centro de la viga principal	1,92
Centro de la viga secundaria	2,49

Es menester calcular los esfuerzos principales, para lo cual se aplica el círculo de Mohr, a partir de lo cual se obtienen los valores indicados en la Figura 5.

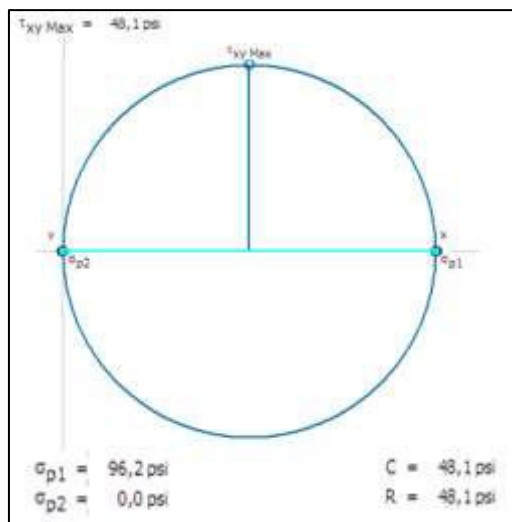


Fig. 5. Círculo de Mohr

Ya determinados el esfuerzo principal máximo y el mínimo se calcula el factor de diseño mediante el criterio de Mohr-Coulomb modificado, mismo que es idóneo para materiales frágiles como es el caso de la fibra de carbono, para condiciones estáticas según la Ecuación 5, se tiene:

$$n = \frac{S_{ut}}{\sigma_{P1}} \tag{5}$$

Dónde:

$S_{ut}$  = Resistencia ultima del material a utilizarse.

$\sigma_{P1}$  = Esfuerzo máximo aplicado sobre la viga

Para el cálculo se tomó en cuenta que el material que se ha utilizado para la estructura del UAV es fibra de carbono que tiene una resistencia a la tracción mínima y máxima de 190 a 228 MPa respectivamente.

Las características del material se muestran en la Figura 6. En la cual se ha obtenido un factor de seguridad mínimo de 1,97 a 2,37, valores que se encuentran en un rango aceptable de diseño de este tipo de naves.

Mechanical properties			
Young's modulus	12.8	- 24.1	GPa
Compressive modulus	* 12.8	- 24.1	GPa
Flexural modulus	12.8	- 22.2	GPa
Shear modulus	* 4.81	- 9.06	GPa
Bulk modulus	* 16.8	- 17.7	GPa
Poisson's ratio	0.319	- 0.345	
Shape factor	8.3		
Yield strength (elastic limit)	* 190	- 228	MPa
Tensile strength	190	- 228	MPa
Compressive strength	172	- 240	MPa

Fig. 6. Propiedades de la fibra de carbono. Fuente: (CES EduPack 2009)

*B. Estabilizador horizontal*

Se ha efectuado un procedimiento similar al de las alas, excepto el momento de inercia el que merece ser calculado mediante una nueva expresión.



Fig. 7 Configuración estructural del estabilizador

El cálculo de esfuerzos normales se ha realizado para cada punto de análisis establecidos en la Figura 4, y mediante la Ecuación 6.

$$\sigma_{xx} = \frac{M_L}{S_x} + \frac{M_D}{S_y} \tag{6}$$

Dónde:

- $M_L$  = Momento flector con respecto a la sustentación
- $M_D$  = Momento flector con respecto al arrastre
- $S_y$  = Inercia de la viga en el eje Y
- $S_x$  = Inercia de la viga en el eje X

$$\sigma_{xx} = 151,28 \text{ MPa}$$

Se ha utilizado los 4 puntos de referencia para realizar el cálculo de los esfuerzos cortantes, mediante la Ecuación 4.

$$\tau_{xy} = 0,668$$

El cálculo de los esfuerzos de corte principales se ha realizado mediante el círculo de Mohr, y se expresan en la Figura 8.

Se determina el factor de diseño mediante la Ecuación 5.

$$n = \frac{S_{ut}}{\sigma_{P1}}$$

El material seleccionado para este componente del UAV, es fibra de carbono que tiene una resistencia a la tracción mínima y máxima de 197 a 217 MPa respectivamente. Las características del material se muestran en la Figura 8.

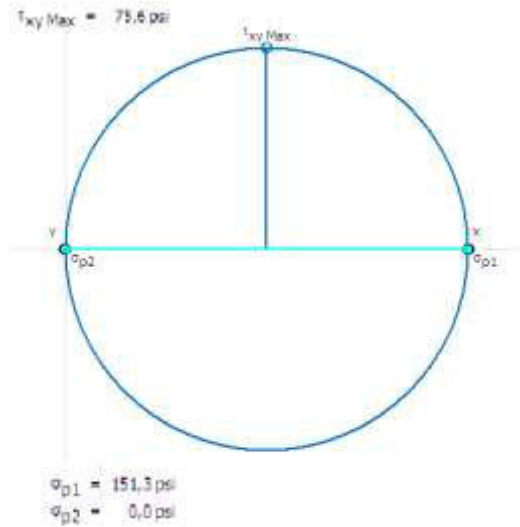


Fig. 8. Círculo de Mohr

El factor de diseño obtenido es 1.3 a 1,43, valores que se encuentran en un rango aceptable de diseño.

V. SIMULACIÓN ESTRUCTURAL DEL UAV

A. Análisis de esfuerzos en el Ala Principal

Sobre la estructura del ala principal se distribuyen las fuerzas tanto de sustentación como de arrastre que se generan debido a su área y coeficientes de perfil.

Estas fuerzas actúan directamente sobre la viga principal y secundaria, sin embargo en el diseño se ha agregado elementos estructurales denominados en aviación costillas falsas las cuales proporcionan referencia estructural para la forma de la piel y adicional a esto contribuyen a la distribución de los esfuerzos generados sobre el ala.

TABLA 10  
PARÁMETROS DE SIMULACIÓN PARA EL ALA PRINCIPAL

Fuerza	Valor (N)
$F_L$	4076
$F_D$	151,66
Peso	960
$R_1$	1058
$R_2$	151,68

En la figura 9 se representa los puntos de sujeción y aplicación de fuerzas sobre el ala principal.

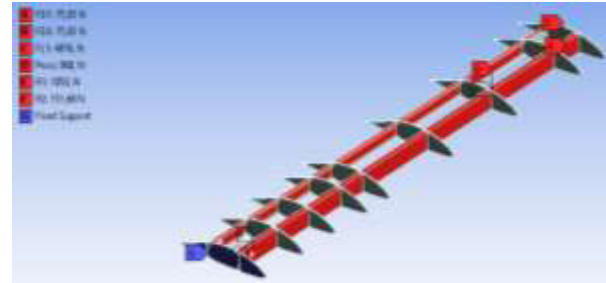


Fig. 9. Aplicación de cargas y sujeciones sobre el ala.

En la figura 10 se ilustran los resultados obtenidos en el análisis realizado sobre el ala principal.

La figura A representa la deformación total generada en ala DE 262,39 mm, localizada en el extremo de la misma.

En la figura B se ilustra el esfuerzo principal máximo, con un valor máximo de 90,235 Mpa, por los datos de la Figura 3.16, este valor es menor al límite de fluencia del material.

La figura C representa el factor de seguridad del diseño cuyo valor mínimo es de 1.97, este resultado permite validar el diseño [5].

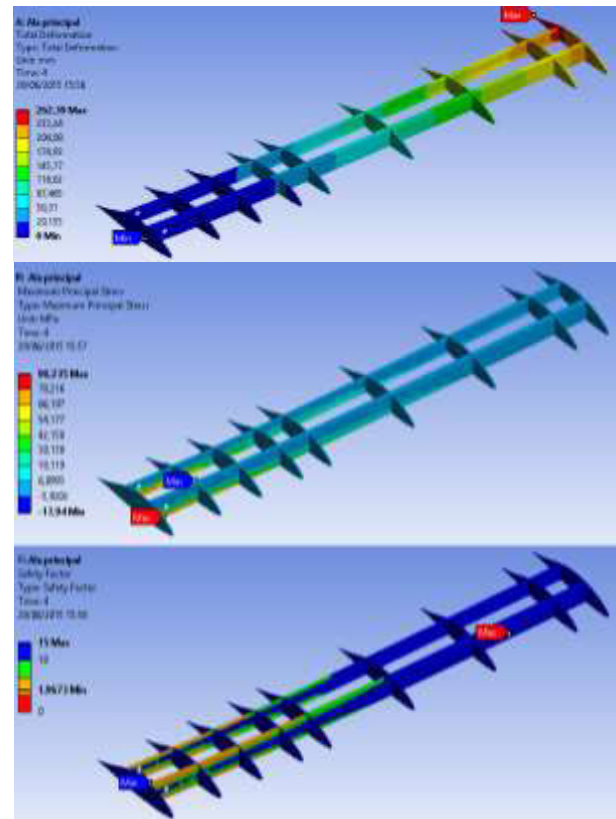


Fig. 10. Resultados de la simulación del ala.

B. Análisis de esfuerzos en el Estabilizador Horizontal

Al igual que ocurre sobre el ala principal la fuerzas de sustentación y arrastre actúan sobre este elemento y de igual manera el estabilizador cuenta con dos perfiles estructurales y



varias costillas falsas las cuales ayudaran a formar la piel del ala y para mejorar la distribución de los esfuerzos generados sobre el estabilizador.

TABLA 11  
PARÁMETROS DE SIMULACIÓN PARA EL ESTABILIZADOR

Fuerza	Valor (N)
$F_L$	1595,41
$F_D$	98,94
$R_1$	1585,4
$R_2$	98,94

En la figura 11 se representa los puntos de sujeción y aplicación de fuerzas sobre el estabilizador principal.

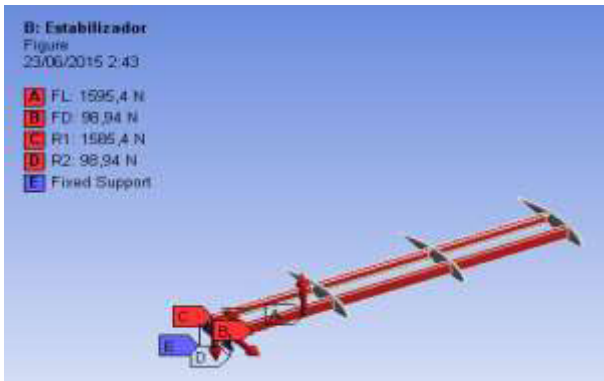


Fig. 11. Aplicación de cargas y sujeciones sobre el estabilizador.

Mediante la figura 12 se ilustran los resultados obtenidos en el análisis realizado sobre el estabilizador.

La figura A representa la deformación total en el estabilizador cuyo valor máximo es de 115,98 mm y está localizado en el extremo de la misma.

En la figura B se ilustra el esfuerzo principal máximo, de 153,04 Mpa, valor que es menor la al límite de fluencia del material.

La figura C representa el factor de diseño cuyo valor es de 1,34, este resultado permite validar el diseño del estabilizador [5].

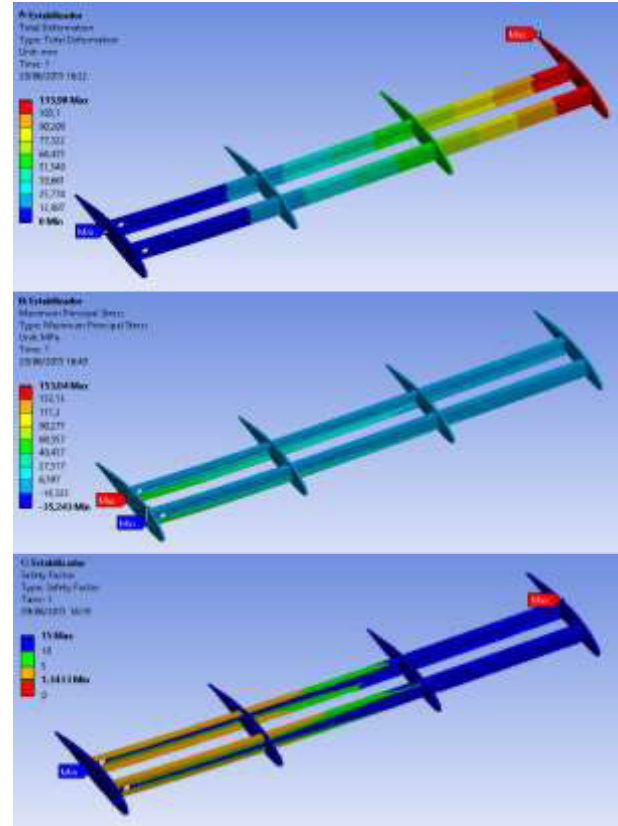


Fig. 12. Resultados de la simulación del estabilizador

C. Análisis de esfuerzos en el Fuselaje

El fuselaje es tipo monocasco, es decir, que está compuesto por anillos que conforman la estructura del UAV, misma que también esta reforzada por parantes que la atraviesan toda.

TABLA 12  
PARÁMETROS DE SIMULACIÓN PARA EL FUSELAJE

Fuerza	Valor (N)
$F_{Lala}$	8152
$F_{Dala}$	303,32
Peso	2450
$R_{1ala}$	2116
$R_{2ala}$	303,36
$F_{Lestabilizador}$	3190,8
$F_{Destabilizador}$	197,88
$R_{1estabilizador}$	3170,4
$R_{2estabilizador}$	197,88

En la figura 13 se presentan los puntos de sujeción y aplicación de fuerzas sobre la estructura del UAV.

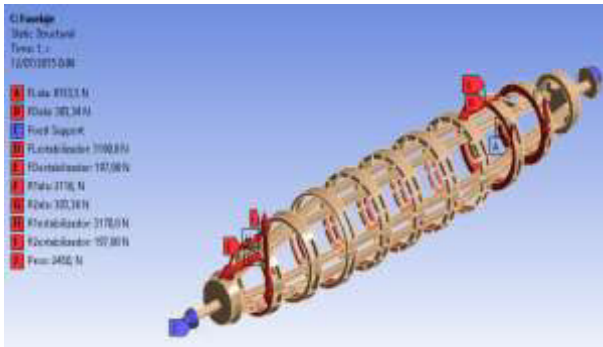


Fig. 13. Aplicación de cargas y sujeciones sobre el fuselaje.

LA figura 14 ilustra los resultados obtenidos en el análisis realizado sobre la estructura.

La figura A representa la deformación total generada en la estructura, EL valor máximo es de 1,18 mm y SE localiza en el punto de sujeción del ala.

En la figura B se ilustra el esfuerzo principal máximo de 244,33 Mpa, siendo este valor menor al del límite de fluencia del material.

La figura C presenta el factor de diseño de 1,62, este resultado permite asegurar la fiabilidad del fuselaje.

#### VI. SIMULACIÓN DE PERFILES AERODINÁMICOS.

Para las simulaciones se toma en cuenta el peor escenario al que se someten en vuelo los perfiles estructurales que componen el UAV, el cual se genera al momento del despegue, estas condiciones son las siguientes:

**Velocidad de vuelo** = 50 m/s (Despegue)

**Temperatura** = 15°C

**Densidad ( $\rho$ )** = 1,225 Kg/m<sup>3</sup>

**Presión** = 101325 Pa = 1 atmosfera (nivel del mar)

**Viscosidad Dinámica ( $\mu$ )** = 1,789 x 10<sup>-5</sup> Pa.s

##### A. Perfil aerodinámico ala principal

En el ala principal se tiene el perfil WORTMANN FX67K170.

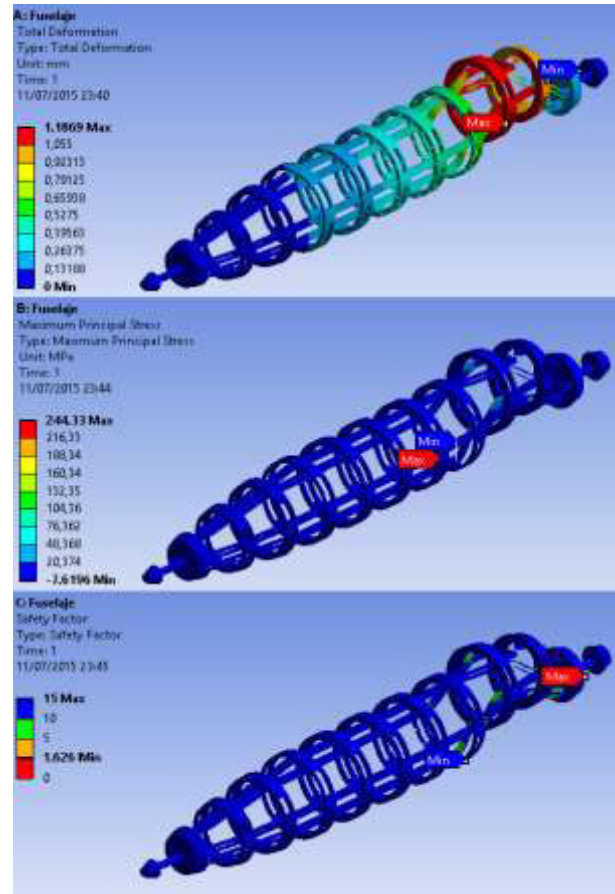
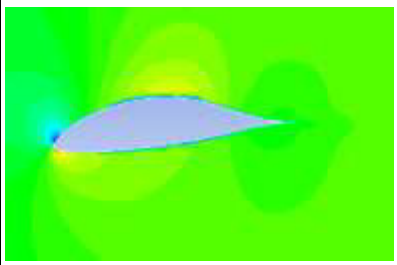
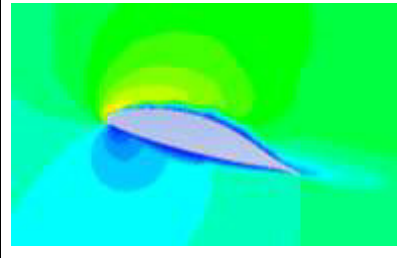




Fig. 14. Resultados de la simulación del Fuselaje

TABLA 13  
VELOCIDAD DEL AIRE SOBRE EL PERFIL WORTMANN  
FX67K170

-5°	Observación (Velocidad)
	Max = 213 m/s Min = 0 m/s
15°	Observación (Velocidad)
	Max = 289,21 m/s Min = 0 m/s

La Tabla 13 muestra los valores de velocidad del aire que pasan a través del perfil seleccionado en el ala principal, para optar por el perfil con mejor rendimiento aerodinámico se toma en cuenta que el valor de velocidad debe ser lo mayor posible, mientras que por debajo del ala debe ocurrir lo contrario, debe haber una menor velocidad [6], observando la tabla se puede reconocer que el perfil WORTMANN FX67K170 cumple con estas condiciones.

**TABLA 14**  
**PRESIÓN DEL AIRE SOBRE EL PERFIL WORTMANN FX67K170**

-5°	Observación (Presión)
	Max = 109208 Pa Min = 75577,62 Pa
15°	Observación (Presión)
	Max = 109278,2Pa Min = 35522,18 Pa

Los valores de presiones que se generan sobre el perfil se los observa en la Tabla 14, el valor máximo de presión se debe generar por la parte de abajo del perfil, esto es lo que produce la sustentación, mientras que el valor mínimo se genera en la parte superior del perfil, esta caída de presión genera un vacío que ayuda a la sustentabilidad.

**B. Perfil aerodinámico estabilizador horizontal**

La Tabla 15 representa los datos de velocidad y presión que se genera el sobre el perfil del estabilizador horizontal.

En esta misma tabla se aprecia que este perfil es idóneo para el trabajo que debe realizar, ya que, sin importar el ángulo de taque al que sea expuesto este seguirá teniendo valores aceptables de sustentabilidad, asegurando la fiabilidad del vuelo.

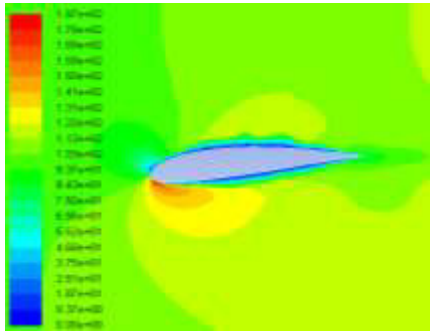
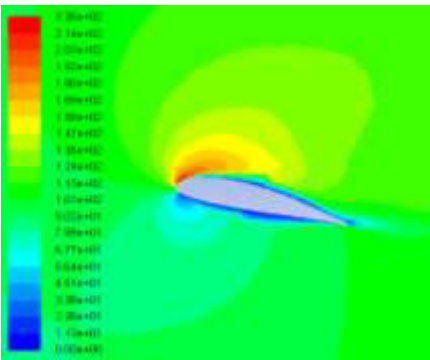
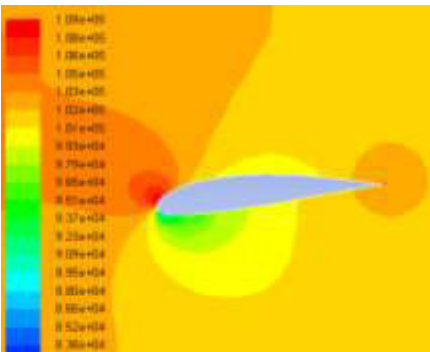
**C. Fuselaje**

La Figura 14 representa datos de velocidad y presión que se genera sobre el fuselaje. Es importante mencionar que sobre el fuselaje se debe generar la misma velocidad y presión tanto en la parte de superior como en la inferior del mismo, sobre todo para un ángulo de ataque de 0°.

Es así debido a que se requiere que el fuselaje tenga la menor influencia sobre el vuelo, y al tener un flujo de aire

simétrico se estarían contrarrestando las fuerzas generadas sobre el fuselaje.

**TABLA 15**  
**VELOCIDAD Y PRESIÓN DEL AIRE SOBRE EL PERFIL RA163C3**

a	VELOCIDAD
-5°	
15°	
b	PRESIÓN
-5°	

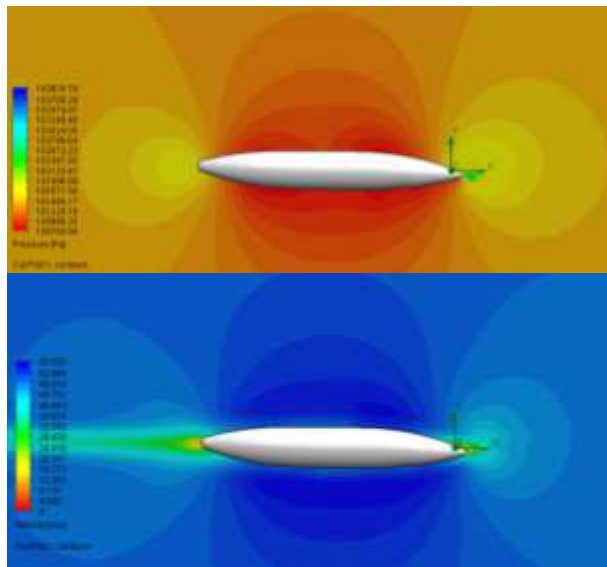
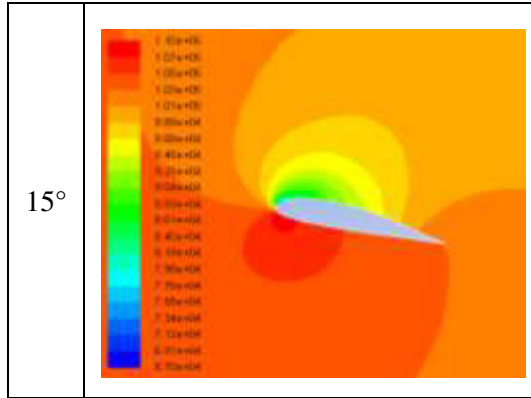


Fig. 14. Velocidad y presión sobre el fuselaje

## VII. SIMULACIONES DEL UAV EN VUELO

### A. Despegue del UAV

Las simulaciones del despegue se realizarán para  $15^\circ$ , con una apertura de los alerones de  $30^\circ$  y bajo las siguientes condiciones del aire:

**Presión del aire:** 101325 Pa  
**Densidad del aire:** 1,225 Kg/cm<sup>3</sup>  
**Velocidad de vuelo:** 50 m/s

- Ángulo de ataque  $15^\circ$

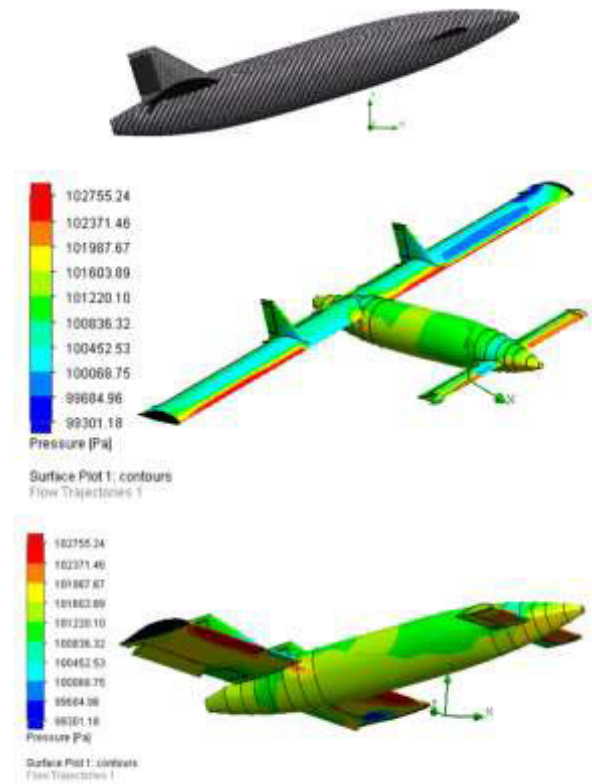


Fig. 15. Despegue del UAV

La Figura 15 muestra que para todos los ángulos de ataque al despegue se observa la incidencia que tiene el uso de alerones para realizar los despegues ya que a medida que la inclinación del UAV va en aumento, la fuerza de sustentación que se encuentra por debajo del ala se ve reducida lo que significa que la aeronave puede entrar en pérdida de sustentación, para lo cual los alerones provocan que sobre ellos la presión aumente ayudando al ala a generar la suficiente sustentabilidad para el vuelo.

### B. Vuelo crucero

Las simulaciones del vuelo crucero se realizarán para una altura de 3000 metros sobre el nivel del mar y con una apertura de los estabilizadores verticales de  $45^\circ$  para poder determinar la funcionalidad de los mismos. Las condiciones atmosféricas son las siguientes:

**Presión del aire:** 70100 Pa  
**Densidad del aire:** 0,9093 Kg/cm<sup>3</sup>  
**Velocidad de vuelo:** 33 m/s

- Ángulo de ataque  $0^\circ$



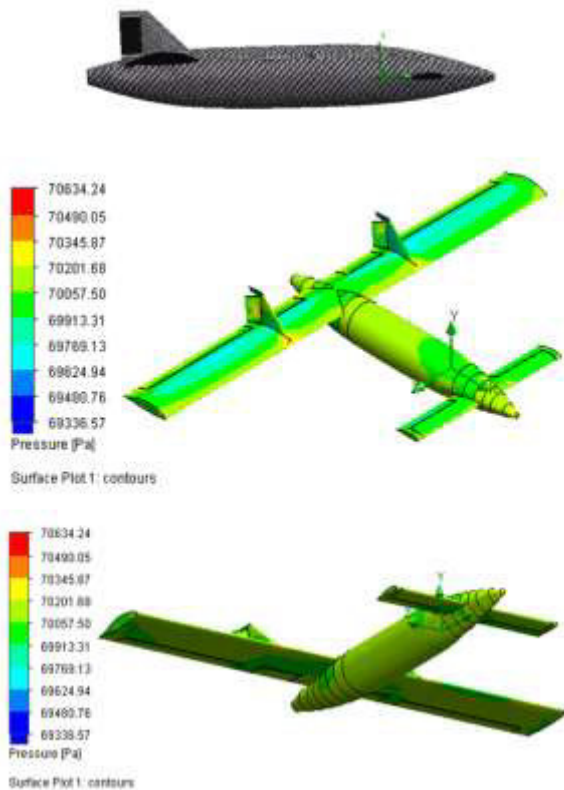


Fig. 16. Vuelo crucero

En la Figura 16 se observa la generación de una mayor presión sobre los estabilizadores verticales lo que ayuda al momento de realizar una maniobra o un giro.

**C. Aterrizaje del UAV**

La simulación del aterrizaje será para  $-10^\circ$ , con una apertura de los alerones de  $20^\circ$  y bajo las siguientes condiciones del aire:

- Presión del aire:** ( $-5^\circ$ ) 70100 Pa, ( $-10^\circ$ ) 101325 Pa
- Densidad del aire:** ( $-5^\circ$ )  $0,9093 \text{ Kg/cm}^3$ , ( $-10^\circ$ )  $1,225 \text{ Kg/cm}^3$
- Velocidad de vuelo:** 33 m/s

- **Ángulo de ataque  $-10^\circ$**

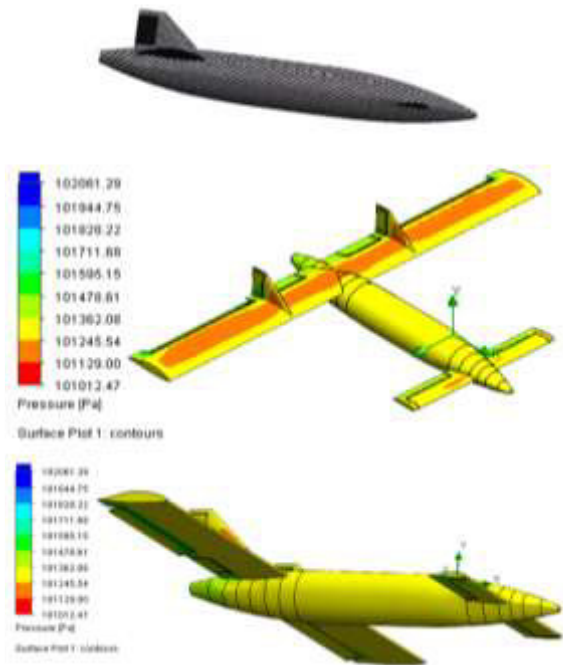


Fig. 17. Aterrizaje del UAV

En la Figura 17 se aprecia un vuelo en descenso para diferentes ángulos de ataque, al igual que al momento del despegue los alerones ayudan en gran medida a crear sustentación positiva, además se observa que sobre el ala existe una caída de presión por la parte superior de la curva del perfil aerodinámico denominado extradós, esta disminución produce que se cree un vacío por la parte superior del ala, esto ayuda a crear la sustentabilidad requerida.

**VIII. CONCLUSIONES**

- El diseño un vehículo aéreo no tripulado merece un amplio estudio, en el cual se debe realizar múltiples análisis tanto teóricos como prácticos, con ayuda del presente trabajo se logró obtener una metodología que puede ser utilizada como punto de partida para posteriores diseños aplicados a toda clase de aeronaves.
- Para el UAV se ha seleccionado el perfil Wortmann FX64X170 ya que genera una fuerza de sustentación máxima de 8153,4 N para un ángulo de ataque de  $18^\circ$ , además de que tiene una baja resistencia aerodinámica, algo que es primordial al momento de requerir un bajo consumo de combustible; además se determinó que el perfil a utilizarse para el estabilizador horizontal será el RA136C3, ya que este tiene la capacidad de sustentarse en ángulos de ataque de hasta  $18^\circ$  y con una fuerza de sustentación máxima de 1595,41 N, por lo que al juntar los dos perfiles en una aeronave se garantiza que la misma tendrá una excelente sustentabilidad.
- En el diseño estructural se determinó que gracias a la geometría utilizada para el ala principal esta tiene la



capacidad de soportan esfuerzos máximos de Von Mises de 100 Mpa, mientras que el estabilizador horizontal soporta hasta 126 Mpa, además la deformación que presenta el ala y estabilizador es 262,39 mm y 102,39 mm respectivamente; todos estos valores han sido obtenidos mediante los cálculos y corroborados por la simulación en ANSYS.

- El factor de seguridad obtenido en el ala mediante las simulaciones es de 1,89 y para el estabilizador tenemos un valor de 1,5; teniendo en cuenta que este valor ha sido obtenido para el centro del ala en donde el material tiene mayor posibilidad de fallar se concluye que estos factores de seguridad pueden garantizar la fiabilidad del vuelo.
- Se realizó la simulación del comportamiento aerodinámico que tendrá el UAV en un vuelo, teniendo en cuenta las posiciones para el vuelo crucero, despegue y aterrizaje, llegando a las conclusiones de que los perfiles tanto del ala como del estabilizador fueron los correctos, ya que sin importar el ángulo de ataque el UAV mantendrá su sustentabilidad, teniendo en cuenta que para el ala principal es necesaria la inclusión de alerones para poder aumentar las posibilidades de que la aeronave no entre en pérdida y por ende sufra un desplome.

#### REFERENCIAS

- [1] ESCAMILLA, R. (2010). Diseño, Construcción, Instrumentación y Control de un Vehículo Aéreo No tripulado. Mexico.
- [2] VÉLEZ, J. (2015). Diseño y Simulación Aerodinámica y Estructural de un Vehículo Aéreo No tripulado. Ecuador.
- [3] CES - Cambridge Engineering Selector – EduPack 2009.
- [4] ORTIZ, A., & BUSTAMANTE, S. (2007). Diseño del Ala para un Vehículo Aéreo No Tripulado. Cundinamarca.
- [5] GUASCAL, J., & QUIROZ, L. (2015). Diseño Y Construcción De Un Chasis Para Vehículo Tipo Formula Sae. Latacunga, Ecuador.
- [6] Cruz, D. (s.f.). Fundamentos de aerodinámica. Obtenido de <http://www.cruzdesanandres.com/material/esadocs/Aerodinamica.pdf>



Manjarrés Arias Félix Javier, nació en Guayaquil – Ecuador, Tecnólogo en Mecánica de Aviación, Ingeniero Automotriz, Ingeniero Industrial, Máster en Gestión de Empresas mención PYMES, Egresado en la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador, en el programa de maestría en Diseño, Producción y Automatización Industrial. Docente tiempo parcial en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en la ciudad de Latacunga desde el 2010. Consultor de proyectos en el área de Ingeniería Industrial y Mecánica,



desde el 2000.

Arteaga Oscar, nació en Ambato – Tungurahua – Ecuador, Graduado de Ingeniero Mecánico en la Escuela Politécnica del Chimborazo y Master en Nuevas Tecnologías de la información y Comunicación de la Universidad Técnica de Ambato. Docente tiempo completo en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en la ciudad de Latacunga



Vélez Salazar Jonathan Samuel, nació en Latacunga – Cotopaxi – Ecuador, Graduado de Ingeniero Automotriz en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Latacunga – Ecuador. Docente tiempo completo en la Unidad de Gestión de Tecnologías de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en la ciudad de Latacunga desde el 2015.

# Sistema didáctico para el monitoreo de variables utilizando el protocolo HART en válvulas de control

## Training system for monitoring variables using the protocol HART at control valves

E. Pruna, I. Escobar, P. Calvopiña, E. Serna, M. Pilatásig, W. Freire.

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga

[eppruna@espe.edu.ec](mailto:eppruna@espe.edu.ec), [ipescobar@espe.edu.ec](mailto:ipescobar@espe.edu.ec), [jpcalvopinal@espe.edu.ec](mailto:jpcalvopinal@espe.edu.ec), [emserna@espe.edu.ec](mailto:emserna@espe.edu.ec), [mapilatagsig@espe.edu.ec](mailto:mapilatagsig@espe.edu.ec), [wrfreire@espe.edu.ec](mailto:wrfreire@espe.edu.ec)

**Recibido:** Octubre 2015, **Publicado:** Diciembre 2015

**Resumen**— Este trabajo presenta un sistema didáctico de monitoreo que proporciona información del estado de la válvula de control con el protocolo HART, un análisis de las variables HART obtenidas también es mostrado, hoy en día esta información es muy importante para el control automático de plantas industriales y para el mantenimiento industrial.

**Palabras Claves**— HART, firma de una válvula, elemento de control final (ECF), PLC (Controlador lógico programable), PID (control proporcional integral derivativo).

**Abstract**— This paper presents an educational monitoring system that provides information of the control valve state with a HART protocol. An analysis of the obtained HART variables is also showed. Nowadays, this information is very useful for automatic control of industrial plants and for the industrial maintenance.

**Keywords**— HART, signature of the valve, final control element, programmable logic controller, Proportional integral derivative controller (PID).

### I. INTRODUCCIÓN

El control automático de procesos industriales en la actualidad es utilizado en una gran cantidad de industrias, por sus grandes prestaciones como son: aumento de producción y productividad, eliminar tareas tediosas y peligrosas para el ser humano, mejorar la calidad de los productos, entre otras [1-4]. Para el control automático en las plantas industriales el elemento de control final más utilizado en la actualidad son las válvulas de control [5-8], con la evolución de la tecnología y el apareamiento de los protocolos industriales se han implementado sistemas automatizados de diagnóstico de válvulas de control que permiten aumentar el tiempo de vida de estos sistemas, obtener información del funcionamiento del sistema así como permiten en la actualidad programar los diferentes tipos de mantenimiento[9-12], el protocolo más ampliamente extendido en las soluciones industriales es HART (highway addressable remote transducer), que es un

protocolo abierto de mucha utilidad en los sistemas de control[13,14], con HART se puede determinar si una válvula de control está en funcionamiento correcto o si necesita alguna acción correctiva o debe ser reemplazada.

En este contexto es necesario que existan profesionales capacitados en el diseño, implementación y mantenimiento de sistemas industriales, por lo que toma una gran importancia que las instituciones de educación superior cuenten con sistemas de entrenamiento que incluya el protocolo HART.

En la actualidad en los sistemas didácticos el control automático de nivel se lo realiza con el elemento de control final (válvula de control + conversor de corriente a presión) lo que no permite el desarrollo de prácticas de laboratorio en la temática antes mencionada limitando el aprendizaje de los estudiantes en este tópico tan utilizado en la actualidad; ante esta necesidad en el presente trabajo se presenta la implementación de un sistema didáctico para el monitoreo de variables utilizando el protocolo HART en válvulas de control, el mismo que será implantado en un módulo didáctico de control automático de nivel, que permitirá a los estudiantes de las áreas técnicas obtener una formación integral donde se fortalecerá el conocimiento teórico con las prácticas de laboratorio en la temática HART, así como se presentarán las principales prestaciones de las variables HART en una válvula de control.

El presente trabajo está dividido en cinco partes como se detalla a continuación:

- i) Introducción.
- ii) Implementación del sistema de monitoreo
- iii) Resultados
- iv) Discusión
- v) Conclusiones

### II. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO

En la actualidad a las válvulas de control es posible realizarle dos tipos de diagnóstico: i) en línea. Cuando la

válvula es monitoreada en funcionamiento dentro de un lazo de control automático, ii) fuera de línea. Cuando la válvula es monitoreada fuera del lazo de control automático.

La etapa de implementación está estructurada en: i) descripción del sistema, ii) integración de la red HART, iii) implementación del algoritmo de control automático

i) *Descripción del sistema.* El sistema de monitoreo se ha implementado sobre el módulo didáctico de nivel, ya que el mismo permite realizar prácticas de laboratorio del control automático de la variable nivel en una columna de 90 cm de altura, para ello existe un tanque reservorio que permite la recirculación de agua, en la instrumentación existe un transmisor que genera una señal de corriente de 4-a 20 mA en relación lineal a la altura de la columna de 0 a 90cm, para el control se utiliza un PLC, para la regulación se ha implementado una válvula de control que incluye un posicionador con comunicación HART.

A continuación se presenta el diagrama de bloques del sistema implementado.

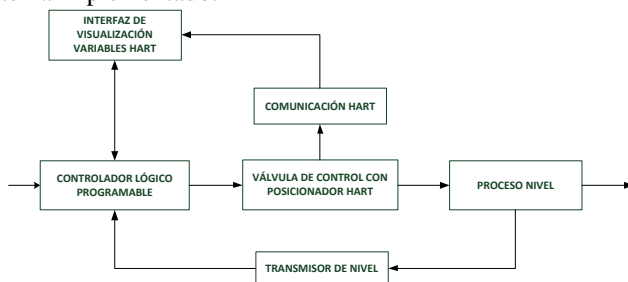


Fig. 1 Diagrama de bloques del sistema implementado

ii) *Integración de la red HART.* El controlador digital de la válvula, es un instrumento inteligente de campo con capacidad de comunicarse mediante protocolos tales como Fieldbus y HART, de nuestro interés es aprovechar el protocolo HART que permite establecer una comunicación digital sobre el mismo bucle de dos hilos que proporciona la señal de control del proceso de (4-20 mA), sin interrumpir esta señal. De esta manera, se puede utilizar para el control automático de nivel y al mismo tiempo para diagnóstico digital, monitoreo y procesamiento adicional de datos como por ejemplo la posición de la válvula, presión de alimentación, presión en el actuador, etc.

La figura 2 muestra la conexión para la comunicación HART entre un dispositivo de campo HART (posicionador) y un maestro primario HART (PC), se establece una red punto-punto entre el posicionador y la PC, para esto se utiliza un modem HART como interfaz. También se indican los terminales donde se debe conectar un maestro secundario HART (configurador de campo) que permite configurar y calibrar el instrumento de campo sin necesidad de retirarlo de su lugar de funcionamiento.

Para que esta comunicación sea exitosa se requiere que la dirección del dispositivo de campo sea cero ya que el programa operativo utiliza esta dirección para establecer la comunicación sobre el lazo 4-20 mA.

Esta red permite monitorear y registrar los valores de las

variables HART del posicionador a lo largo de su funcionamiento para su posterior análisis, esto se debe a que todos los dispositivos HART permiten adquirir cuatro variables generales, en el caso de la válvula de control la variable primaria siempre proporciona el valor de corriente de lazo actual, mientras que a las demás variables se les puede asignar parámetros como: el punto de consigna, el desplazamiento del vástago, la presión del actuador, presión de alimentación, entre otras; con fines de monitoreo del estado de la válvula y el posicionador las variables HART adquiridas en este trabajo se muestran en la tabla 1.



Fig. 2 Conexión punto-punto HART

TABLA I  
VARIABLES HART DE LA VÁLVULA DE CONTROL

Item	Variable	Rango
PV	Variable Primaria	Corriente de lazo
SV	Variable Secundaria	Punto de consigna (Desplazamiento del vástago)
TV	Variable Terciaria	Presión
QV	Variable Cuaternaria	Desplazamiento del vástago

Los valores proporcionados por estas variables son representados y procesados en el software Labview, mediante el servidor HART, para que esta información sea de mayor utilidad al usuario se han desarrollado algoritmos que permiten implementar dos opciones de monitoreo para el conjunto válvula – posicionador, que son: el monitoreo en línea y fuera de línea. En el monitoreo en línea se puede observar el comportamiento del posicionador y la válvula en tiempo real mediante los registros gráficos de las variables HART: Desplazamiento del vástago y Presión del actuador, en contraste con la variable HART, Punto de consigna del desplazamiento del vástago y la variable de control respectivamente, esta última es entregada por el PLC. Para el monitoreo fuera de línea se utiliza el método de la firma de la válvula que se basa en el registro gráfico de la relación entre la presión del actuador y el desplazamiento del vástago, para su obtención se requiere que la válvula esté in-situ pero fuera de servicio.

Para ambos tipos de monitoreo se manipula la corriente de lazo que es proporcional a la presión del actuador que modifica el desplazamiento del vástago en la válvula. Si la válvula se encuentra en servicio debe comportarse acorde a las acciones comandadas por el control automático existente en

un proceso; mientras que si se encuentra fuera de línea debe responder a valores de corriente generados automáticamente por el programa de monitoreo, para cualquiera de las alternativas la variable modificada es la corriente de lazo.

La figura 3 muestra el sistema didáctico implementado, que nos permite el control del nivel de agua en el depósito y simultáneamente la adquisición de información HART para el monitoreo en línea y fuera de línea.

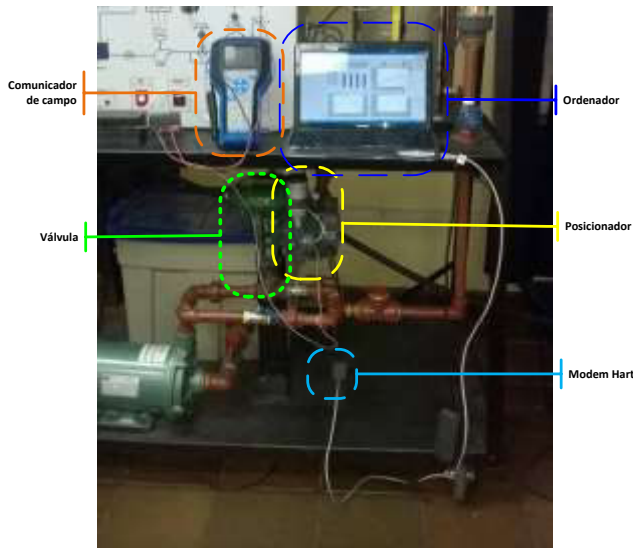


Fig. 3 Sistema didáctico implementado

iii) *Implementación del algoritmo de control automático.* Para la implementación del monitoreo en línea de la válvula de control es necesario que este en ejecución el control automático del proceso nivel, para ello se utilizó un PLC y se implementó el control PID por ser el más utilizado en procesos industriales [15].

Para la sintonía del controlador fue utilizado el método de ganancia límite. A continuación se presentan las constantes determinadas.

TABLA II  
CONSTANTES ÓPTIMAS DEL CONTROLADOR PID IMPLEMENTADO AL PROCESO NIVEL

Controlador PID	Constantes
KP	3
TI	0,075 min
TD	0,00001 min

### III. RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados del sistema didáctico implementado en el siguiente orden: i) monitoreo en línea, ii) monitoreo fuera de línea y iii) control automático del proceso nivel en el que es utilizada como elemento de control final la válvula en estudio.

i. *Monitoreo en línea* El monitoreo en línea permite verificar que exista una variación proporcional entre la corriente de lazo y la variación de presión en el elemento de control final cuando la válvula está trabajando en el control

automático de nivel. Por lo expresado anteriormente en la figura 4 el usuario puede determinar en línea que la válvula de control presenta una variación de corriente de manera proporcional a la variación de la presión mientras se desarrollaba un control PID; esto permite determinar que la válvula de control muestra un correcto funcionamiento en el lazo de control que se encuentra implementada.

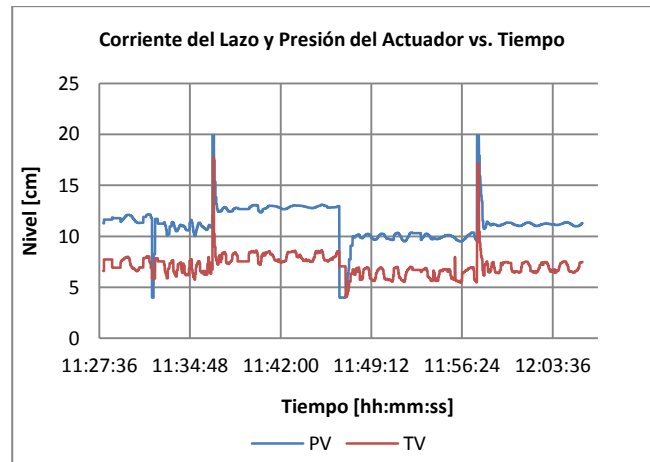


Fig. 4 Datos HART: corriente de lazo (PV) y presión del actuador (TV).

También es importante conocer la información de una válvula de control relacionada al porcentaje de desplazamiento y punto de consigna del desplazamiento del vástago en el tiempo, lo que permite determinar que la válvula de control no posee pegue o stiction, situación que no permitiría realizar el desplazamiento adecuado de acuerdo a la regulación requerida por el control automático. En este contexto el usuario puede observar en la figura 5 que existe un correcto desplazamiento del vástago en relación al punto de consigna, lo que determina que la válvula de control se encuentra operada de forma adecuada.

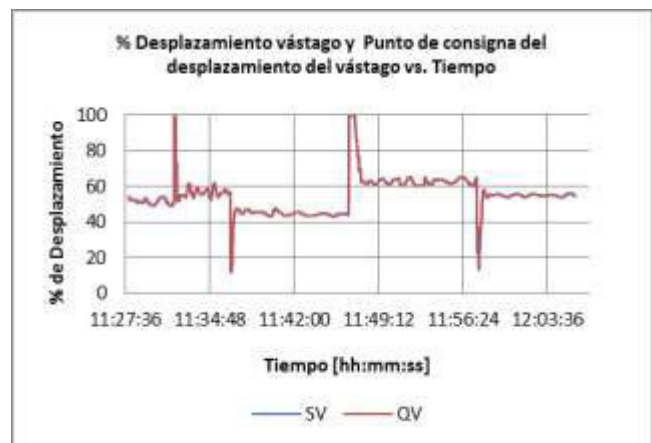


Fig. 5 Datos HART: porcentaje de desplazamiento vástago (QV) y punto de consigna de desplazamiento del vástago (SV).

ii. *Monitoreo fuera de línea* El monitoreo fuera de línea representa la firma de la válvula que es visible en el gráfico de



la figura 6, que muestra la presión del actuador en función del desplazamiento del vástago, la línea de cierre (azul) muestra la presión cuando el vástago es ascendente y la línea de apertura (rojo) muestra la presión cuando el vástago se mueve de manera descendente.

La figura 6 permite conocer la presión inicial necesaria para que la válvula empiece a cerrarse, en este caso es de 2,5 PSI, mientras que se necesita una presión de 12 PSI para que la válvula empiece a abrirse, es decir estos valores de presión son los necesarios para vencer la fricción del actuador. Se observa también que la válvula se ha desplazado del 0 al 100% de su carrera y viceversa, los picos de los extremos de las líneas de apertura y cierre permiten verificar que la válvula alcanzó una parada sólida en ambos extremos del recorrido.

La banda diferencia de presión existente entre la línea de apertura y la de cierre representan la presión necesaria para lograr la transición del movimiento de apertura al de cierre y viceversa; en este caso la transición fue de 1,24 PSI.

La figura 6 permite al usuario determinar el estado de funcionamiento de una válvula de control cuando se encuentra fuera de servicio, para este caso la válvula de control responde de forma adecuada en los desplazamientos ascendente y descendente lo que permite establecer que la válvula se encuentra calibrada y es apta para ser utilizada en control automático.

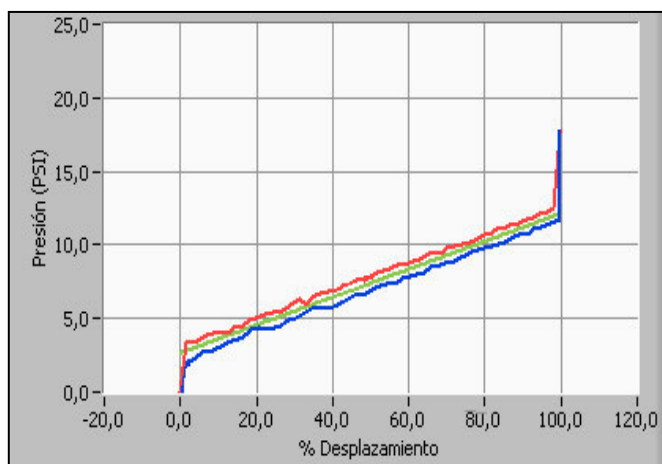


Fig. 6 Firma de la válvula

iii) *Control automático del proceso nivel.* Esta prueba ayuda a determinar el correcto desempeño de la válvula en el control. En la Fig. 7a el usuario puede ver en el control automático nivel que la variable de proceso (PV) se estabiliza en pequeños periodos de tiempo situación deseable en regulaciones automáticas. Así como también en la Fig. 7b el usuario determina que la respuesta de la válvula de control es la correcta sin presencia de oscilaciones ante cambios de consigna o set point.

#### IV. CONCLUSIONES

El sistema implementado permite a los usuarios determinar

el funcionamiento de una válvula de control gracias a la comunicación HART que se establece cuando se encuentra en servicio, situación que es imposible determinar en los elementos de control final que poseen convertidores de corriente a presión.

Este sistema permite a los estudiantes del área de instrumentación determinen el estado de una válvula de control mediante la firma de la válvula ya que permite comprobar detalladamente el estado del conjunto válvula posicionador, dando a conocer un conjunto de parámetros como: presión de transición, presión inicial para apertura y cierre, desplazamiento del vástago, rango de presión del actuador de la válvula, etc.

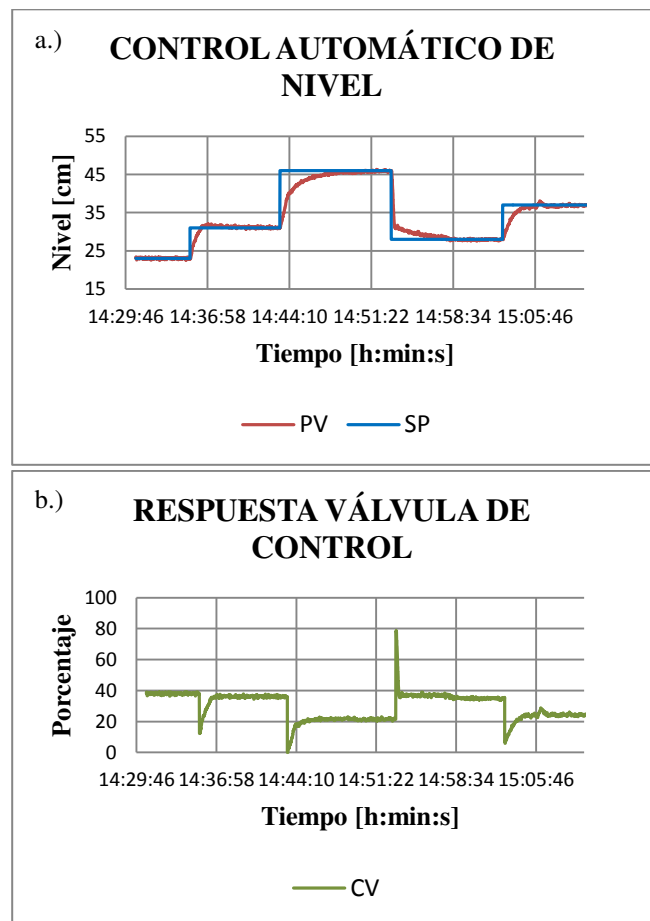


Fig. 7 Tendencias del control automático de nivel: a) set point (SP), process Value (PV) b) Señal de la válvula de control (CV).

Finalmente se puede visualizar el correcto funcionamiento de una válvula de control como parte de un sistema de control automático.

El sistema implementado es de bajo costo en relación a otros sistemas propietarios que permite realizar el monitoreo de válvulas de control y está siendo utilizado en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE- Latacunga.

#### V. DISCUSIÓN

Al implementar el controlador digital a la válvula esta se



convirtió en un instrumento inteligente con capacidad de comunicarse mediante el protocolo HART por lo que se pudo integrar en red con una PC mediante un modem USB-HART en base a lo cual se desarrolló un sistema de monitoreo que permite llevar un registro de los parámetros de funcionamiento de la válvula paralelamente a un registro del comportamiento del sistema en sí, también se puede obtener gráficas como la firma de la válvula, la evolución de corriente, presión y desplazamiento del vástago con resultados muy satisfactorios respecto a los obtenidos con un configurador de campo, pero la comunicación HART entre el dispositivo de campo y el ordenador es unidireccional, por lo que el control se sigue desarrollando mediante la variación de corriente del lazo mientras que los datos digitales simplemente pueden ser leídos. En la actualidad existen transmisores inteligentes que se comunican directamente con el actuador, con una variación de corriente que responde a un algoritmo de control automático antes que a la variación de la señal física en sí, para el control de la variable nivel no se han desarrollado, puesto que la debilidad de la tecnología mencionada es que tiene cierto retardo de respuesta, no admisible para el control de una válvula, por lo que no es posible suprimir el controlador como elemento físico intermediario.

Con la implantación del posicionador se mejoró notablemente la señal del actuador evitando las grandes oscilaciones y se mejoró la estabilidad del sistema.

#### RECONOCIMIENTOS

Un agradecimiento a la Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE por el financiamiento del proyecto de investigación número 2014-PIT-030; a la Jefatura de Investigación, Innovación y transferencia de tecnología de la extensión Latacunga y al Departamento de Eléctrica y Electrónica por todo el apoyo brindado en el desarrollo del presente trabajo.

#### REFERENCIAS

- [1] N. Ulaganathan y R. Rengaswamy, «Blind identification of stiction in nonlinear process control loops,» *IEEE*, 2008.
- [2] M. Tawanda, C. Ngoni, M. Kumbirayi y C. N. Namatai, «A study into the role of Fuzzy logic systems in condition based maintenance for control of the pneumatic valve of bottle washer in beverage companies, specifically the Kronos group of companies,» *IEEE*, 2012.
- [3] Barbu, M.; Ifrim, G.A.; Ceanga, E.; Caraman, S., "Modelling of a multipurpose biotechnological plant in view of automatic control. Process modelling and control properties analysis," in *System Theory, Control and Computing (ICSTCC), 2015 19th International Conference on*, vol., no., pp.61-68, 14-16 Oct. 2015
- [4] Zhang Jing; Wu Min, "Design and implementation of an automatic control system for coke riddling process," in *Control Conference, 2008. CCC 2008. 27th Chinese*, vol., no., pp.86-89, 16-18 July 2008 doi: 10.1109/CHICC.2008.4605328
- [5] Kiesbauer, J.; Hoffmann, H., "Modern control valves with failure diagnostics," in *Control Conference (ECC), 1999 European*, vol., no., pp.350-355, Aug. 31 1999-Sept. 3 1999
- [6] Offutt, Carl R., "Computer-Controlled Transducer Systems: the "Unspecialized" Approach to Component Testing," in *Industry and General Applications, IEEE Transactions on*, vol.IGA-6, no.6, pp.638-646, Nov. 1970
- [7] Finlayson, S.; Gupta, G.S., "Instrumentation and automated control of aircraft leading edge temperature," in *Sensors Applications Symposium (SAS), 2013 IEEE*, vol., no., pp.182-187, 19-21 Feb. 2013 doi: 10.1109/SAS.2013.6493582
- [8] Jingzhuo Wang; Guolei Qiao, "Flow Rate Process Control Based on LonWorks," in *Control Conference, 2006. CCC 2006. Chinese*, vol., no., pp.1487-1490, 7-11 Aug. 2006
- [9] E. T. Ladd Jr., «Leveraging Diagnostic Data,» *Flow Control*, vol. 15, nº 10, pp. 30-34, 2009.
- [10] Wallen, A., "Valve diagnostics and automatic tuning," in *American Control Conference, 1997. Proceedings of the 1997*, vol.5, no., pp.2930-2934 vol.5, 4-6 Jun 1997
- [11] Qinghua He; Jin Wang, "Valve stiction modeling: First-principles vs data-drive approaches," in *American Control Conference (ACC), 2010*, vol., no., pp.3777-3782, June 30 2010-July 2 2010
- [12] Russell, M.J.; Lecakes, G.D.; Mandayam, S.; Jensen, S., "The "Intelligent" Valve: A Diagnostic Framework for Integrated System-Health Management of a Rocket-Engine Test Stand," in *Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on*, vol.60, no.4, pp.1489-1497, April 2011
- [13] Liu Chang; Zhang Guoguang, "The Design of Intelligent Temperature Transmitter Based on HART Protocol," in *Instrumentation, Measurement, Computer, Communication and Control (IMCCC), 2012 Second International Conference on*, vol., no., pp.1499-1502, 8-10 Dec. 2012
- [14] Gangyi Wang; Qunli Shang; Shan-en Yu; Sheng Yang, "Design of PC Communication with HART Field Instrumentation," in *Computer Science and Electronics Engineering (ICCSEE), 2012 International Conference on*, vol.3, no., pp.299-302, 23-25 March 2012
- [15] H. Sánchez, R. Vilanova, O. Arrieta, "Implementación de controladores PID: Equivalencia y Optimalidad," *XXXV Jornadas de Automática, España*, pp. 1-6, Sep. 2014



**Edwin Pruna** Es ingeniero en Electrónica e Instrumentación de la Escuela Politécnica del Ejército (2007), obtuvo el grado de Magister en Gestión de Energías en el año 2013. Las áreas de investigación son diseño e implementación de prototipos para la enseñanza en ingeniería y la rehabilitación virtual motora.



**Ivón Escobar** Es Ingeniera en Electrónica e Instrumentación de la Escuela Politécnica del Ejército (2008), obtuvo el grado de Magister en Gestión de Energías en el año 2013. Las áreas de investigación son diseño e implementación de prototipos para la enseñanza en ingeniería y la rehabilitación virtual motora.



**Calvopiña P.** Nació en Latacunga; Ecuador en 1992. Recibió su título de Ingeniera en Electrónica e Instrumentación en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga en 2015.



**Estefanía Serna.** Es ingeniera en Electrónica e Instrumentación de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Latacunga.



**Marco Pilatásig Panchi.** Nació en Latacunga, Ecuador en 1980. Recibió su título de Ingeniero Electrónico e Instrumentación en la Escuela Politécnica del Ejército ESPE Extensión Latacunga en 2005; de Master en Gestión de Energías, de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador en 2013. Desempeña las funciones de Docente del departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Extensión Latacunga.



**Washington Freire** nació en Ambato provincia de Tungurahua en Ecuador. Es graduado de la Escuela Politécnica Nacional en el año 2001, cuenta con una especialidad en Redes Digitales Industriales en la Escuela Politécnica del Ejército. Desempeña sus actividades en el Departamento de Eléctrica y Electrónica como profesor a tiempo completo en el área de Sistemas Eléctricos

# Diagnóstico y Mantenimiento de Inyectores de Sistemas de Inyección Directa de Gasolina GDI

## Diagnosis and Maintenance Systems Injectors Gasoline Direct Injection GDI

Germán Erazo<sup>1</sup>, Félix Mayorga<sup>2</sup>, Martín Núñez<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,

Departamento de Energía y Mecánica

<sup>2,3</sup> Profesionales Independientes

[wgerazo@espe.edu.ec](mailto:wgerazo@espe.edu.ec)<sup>1</sup>, [fmmayorga@hotmail.com](mailto:fmmayorga@hotmail.com)<sup>2</sup>, [jmnunezf90@gmail.com](mailto:jmnunezf90@gmail.com)<sup>3</sup>.

**Recibido:** Octubre 2015, **Publicado:** Diciembre 2015

**Resumen** — La tecnología en los vehículos en general y en los diferentes sistemas de inyección de combustible en particular han ido evolucionando aceleradamente, tal es el caso de la inyección directa de gasolina GDI, este es un cambio de avanzada en la industria de desarrollo de los motores de combustión gasolina, presenta muchas ventajas en comparación con los sistemas de inyección en el múltiple de admisión PFI (inyección de gasolina en puerto) o MPFI (inyección de gasolina multipunto), su principal diferencia es la inyección directa al cilindro y la alta presión de combustible que puede llegar hasta 200 bares, lo que genera efectos positivos en el comportamiento del vehículo como disminución en el consumo de combustible, emisiones contaminantes, optimizando la potencia, el par motor y sus parámetros de desempeño característicos.

En el mercado automotriz ecuatoriano, ha ingresado vehículos con sistemas de inyección de directa de gasolina que al ser una tecnología nueva en el medio requiere que se apliquen métodos y procedimientos de diagnóstico y pruebas adecuadas.

La investigación presenta la utilización de un banco de pruebas genérico construido a partir de investigaciones realizadas del comportamiento, operación de inyectores usados en sistemas de inyección directa de gasolina para proceder a realizar el diagnóstico considerando, tablas de medición y la utilización del osciloscopio para obtener las curvas de funcionamiento para establecer comparación a través de diferentes medidas obtenidas para desarrollar gráficos que establezcan la condición de operación.

**Palabras Claves** — Inyección directa de gasolina, banco de pruebas, osciloscopio, curvas características, potencia, par motor.

**Abstract** — The technology in vehicles in general and in different fuel injection systems in particular have evolved rapidly, as in the case of gasoline direct injection GDI, this is a change in the industry advanced development engine fuel combustion, has many advantages compared with injection systems in the intake manifold PFI (port fuel injection) or MPFI (multi-point fuel injection), the main difference is the direct injection into the high pressure cylinder and fuel which can reach up to 200 bars, generating positive effects on vehicle behavior and decrease in fuel consumption, emissions, optimizing the power, torque and performance parameters characteristic.

In the Ecuadorian automotive market, has entered vehicles with direct injection gasoline being a new technology requires the means and methods appropriate diagnostic procedures and tests applied.

The research presents the use of a generic test bench constructed from behavioral investigations, operation of injectors used in fuel injection systems of gasoline to proceed with considering the diagnosis, measurement tables and use the oscilloscope for the operating curves for comparison set by different measurements obtained to develop graphics establish the operating condition.

**Keywords** — Direct fuel injection, test, oscilloscope, characteristics, power, torque.

### I. INTRODUCCIÓN

La inyección directa de gasolina GDI genera una serie de ventajas en el motor de combustión interna Otto como son: Bajo consumo de combustible y emisiones. Trabajan con un valor de lambda comprendido entre 1,6 y 3 lo que permite el ingreso de mayor cantidad de aire por los ductos de admisión con una menor resistencia, se reducen las pérdidas de calor cedido a las paredes ya que en el modo estratificado la combustión únicamente se lleva a cabo en la zona próxima al salto de chispa mejorando el rendimiento térmico del motor; como la inyección se produce dentro del cilindro, el calor en el aire de admisión se ve notablemente reducido, con este efecto de refrigeración la posibilidad de que exista picado disminuye por lo que se aumenta la compresión. Este aumento conlleva al incremento de la presión de compresión por lo que también se optimiza el rendimiento térmico del motor [1][2][3].

Los motores de gasolina con inyección directa tienen mayor eficiencia volumétrica, esto se atribuye a la extracción de calor en la cámara de combustión debido a la evaporación casi total del combustible durante el proceso de admisión, que también puede mejorar el comportamiento de golpeteo. Por otra parte, no hay más dinámica de la película de combustible en el colector de admisión, ya que este se inyecta directamente en la cámara de combustión. Esto se

traduce en una mejor respuesta durante el arranque en frío, un mejor comportamiento operativo durante los cambios de carga y las emisiones más favorables [2][4].

La inyección directa de gasolina (GDI) es una tecnología que contribuye con el cuidado del medio ambiente, permite que los motores turboalimentados de menor tamaño reduzcan sus emisiones de CO<sub>2</sub> y su consumo de combustible, en respuesta a unas normativas cada vez más exigentes como lo es la ISO 14001/94 (Sistema de gestión ambiental). [5][6]. El mercado de la tecnología GDI experimenta una expansión vertiginosa y se calcula que pasará a nivel mundial de unos 5 millones de motores en 2010 a 37 millones en el año 2020 donde prácticamente una cuarta parte de todos los motores de gasolina del mundo contarán con tecnología GDI . [7]

Los constructores de vehículos han optado por fabricación de motores con tecnología GDI, tal como es el caso de Mitsubishi, que tiene como ventajas: menor consumo de combustible (20% de ahorro), potencia superior menor emisión de CO<sub>2</sub> (10% inferior), a igual cilindrada. [8][20]

El inyector de alta presión es el interfaz entre el rail de combustible y la cámara de combustión. Su función es dosificar el combustible y vaporizarlo de tal modo que este y el aire se mezcle en una zona específica de la cámara de combustión a fin de lograr una quema perfecta. [3] [9][10]

La presión de trabajo de estos inyectores puede superar los 100 bares, la resistencia de la bobina está bajo los 2 ohmios; por lo que la resistencia de la bobina es más baja y se activado por sistema "peak and hold" (elevación y retención de pico de corriente). [4] [10]

El sistema Peak and hold (elevación y retención de pico de corriente) regula la corriente de activación dado que al ser una resistencia interna muy baja tiene un consumo alto de corriente lo que podría calentar el bobinado produciendo que el inyector o su control electrónico se averíe de modo permanente [14].

La presión de combustible (presión de inyección) y el ángulo de conicidad de pulverización tienen un efecto considerable en el diámetro de las gotas de combustible y su profundidad de penetración. El tamaño de la gota aumenta con la disminución de la presión de inyección, al mismo tiempo que la profundidad de penetración disminuye [10] [18].

Las pruebas relacionadas con la preparación de la pulverización para inyección de alta presión consideran parámetros que influyen en la pulverización de inyección y la formación de la mezcla. Para un proceso de combustión precisamente sintonizado con inyección directa, también es importante ajustar la válvula de inyección y la presión de inyección para el motor de manera precisa en función de las características de funcionamiento deseadas [11][12].

**II. MATERIALES Y MÉTODOS**

Para el desarrollo de la investigación se utilizo el banco de pruebas de fabricación nacional figura 1, desarrollado en la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE con la participación de los autores de este artículo científico [13].

El banco de pruebas para el sistema de inyección directa de gasolina GDI debe ajustarse a parámetros de aplicación y funcionalidad como son [13]:

Versatilidad de acoples para distintos inyectores de sistemas de inyección directa de gasolina GDI.

Realizar pruebas de comprobación de estanqueidad, caudal y ángulo de pulverización.

Comandado electrónico por circuitos de control de potencia para la activación en del banco de pruebas de forma automática con selección manual o selección asistida por la interface del computador.



**Fig. 1. Banco de inyectores de sistemas de inyección directa de gasolina GDI fabricación nacional.**

Las solicitaciones mecánicas quedan establecidas en el diseño, considerando los factores críticos de operación, resistencia y calidad de los materiales empleados para asegurar su correcto desempeño y durabilidad.

La aplicación del software y hardware de programación (Arduino) del diseño del sistema de activación y control de tiempos, convierte al banco de comprobación de inyectores en un dispositivo de alta precisión frente a las elevadas exigencias del sistema de verificación.

El banco de pruebas se compone de los siguientes elementos y materiales para lograr la fiabilidad de las pruebas del sistema de inyectores GDI.

El mismo que considera componentes mecánicos, hidráulicos, eléctricos y electrónicos en la Tabla 1.

**TABLA 1  
COMPONENTES DEL SISTEMA**

SISTEMA	COMPONENTE	FUNCIÓN
Sistema de combustible de baja presión 5 bar.	Depósito	Es el reservorio de almacenamiento del fluido limpia inyectores.
	Bomba de transferencia	Es de tipo eléctrico y su accionamiento se da por la activación de un interruptor.
	Mangueras	Es la encargada de soportar la presión y transportar el fluido a su destino.
	Válvula regulador de presión de 10 Bar.	Regula la presión máxima del circuito de baja presión.

	Manómetro 11 Bar.	Instrumento de medición que mide la presión generada en un circuito hidráulico de baja presión.
	Filtros	Dispositivo del tipo metálico que filtra del fluido algún tipo de residuos que podrían afectar al sistema.
Sistema de alimentación de alta presión 0-1500 Psi (0-103 bar).	Bomba de alta presión 1000 Bar	Encargada de generar la alta presión a través de émbolos internos, la cual es movida a través de un motor eléctrico de 1,5 kW por transmisión polea-correa.
	Válvula check	Válvula anti retorno se encarga de que el fluido no regrese así siga generando presión y evita contraflujo en el sistema.
	Válvula de alivio 130 Bar	Regula la presión es decir que al llegar a la presión máxima esta se abre y devuelve el fluido extra al depósito, esta se regula igual de manera manual.
	Manómetro de alta 0-150 Bar	Instrumento de medición que mide la presión generada en un circuito hidráulico con carga en este caso circuito de alta presión.
	Válvula de paso	Permite o no el paso del fluido en este caso sirve para despresurizar el sistema.
	Riel de inyectores	Es el distribuidor de combustible donde van a instalarse los 4 inyectores
	Inyectores	Válvulas solenoides a los cuales se les realizara las operaciones de comprobación y mantenimiento.
	Probetas	Dispositivos de medición y recolección del fluido de pruebas para verificación del estado de los inyectores.
	Electroválvulas	Solenoides encargados de drenar el fluido que contienen las probetas con dirección al depósito.

El circuito hidráulico del banco de pruebas considera la generación de la presión necesaria para el sistema de inyección directa de gasolina GDI dispone de los circuitos de:

- Activación sistema de baja presión.
- Activación sistema de alta presión.
- Despresurización del sistema por válvula bypass

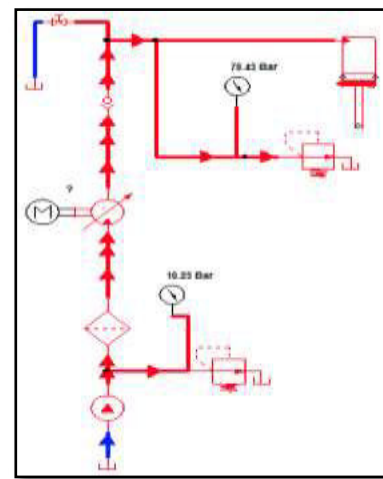


Fig. 2. Circuito hidráulico del banco de pruebas.

Los valores de voltaje de operación y control del banco de pruebas consideran tres transformadores conectados a sus respectivos puentes rectificadores, esto para generar corrientes DC y poder activar distintos componentes de la siguiente manera:

- Transformador de 110 V AC 1A – 12 V DC 1A para activar las electroválvulas de control.
- Transformador de 110 V AC 10 A – 12 V DC 10 A para la activación de los inyectores a verificarse.
- Transformador de 110 V AC 10 A – 12 V DC 3A para la activación de la bomba de transferencia del circuito de baja presión.

El equipo dispone de probetas para medición de volumen de inyección, un sistema de control electrónico de activación de los 4 inyectores, incorpora la rampa de donde se suministra el fluido de prueba y los manómetros en el circuito de alta como de baja presión con sus respectivos reguladores.

El circuito de control de inyectores y electroválvulas permite modificar la amplitud de los pulsos de acuerdo a las revoluciones que se desea trabajar. Alarma de aviso al finalizar la prueba seleccionada.

La metodología utilizada en la investigación es experimental ya que mediante el desarrollo de experimentos, pruebas de laboratorio y estimación de variables se obtuvo resultados de: tiempos de apertura, tiempos de cierre, voltaje pico, señal del inyector en las pruebas de verificación [13].

En el proceso de la investigación científica se utiliza diversos métodos y técnicas según la ciencia particular de que se trate y de acuerdo a las características concretas del objeto de estudio.

Existen, sin embargo, métodos que pueden considerarse generales para todas las ramas de la ciencia en tanto que son procedimientos que se aplican en las distintas etapas del proceso de investigación con mayor o menor énfasis, según el momento en que éste se desarrolle [14] Figura 3.



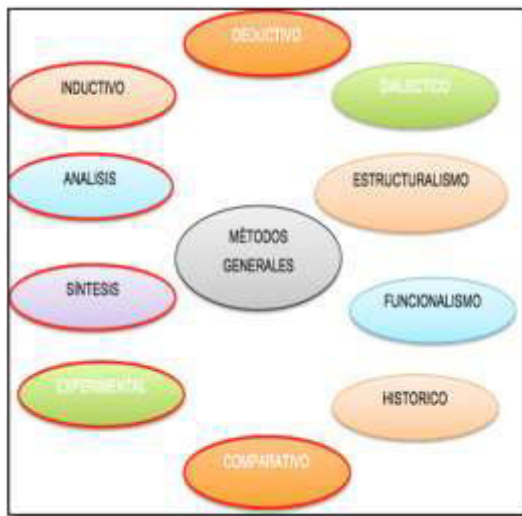


Fig. 3. Métodos generales utilizados en la investigación

Se aplicó los métodos generales como son: Método experimental, deductivo, inductivo, Sintético, analítico, medición, matemático [14] figura 4.

Una vez establecido los materiales, requerimientos y marco metodológico se procede a realizar las mediciones para generar y obtener los resultados de la investigación.

El inyector de alta presión es el interfaz entre el rail de combustible y la cámara de combustión. Dosifica el combustible en una zona específica de la cámara de combustión a fin de lograr una combustión perfecta [15].

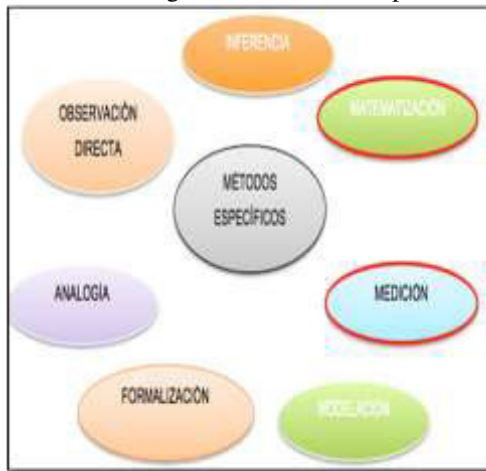


Fig. 4. Métodos específicos de la investigación

La presión de trabajo de los inyectores supera los 100 Bar, la resistencia de la bobina está bajo los 2 ohmios; por lo que se activa por el modo peak and hold.

La estrategia de operación peak and hold regula la corriente de activación para proteger al inyector [15], figura 5.

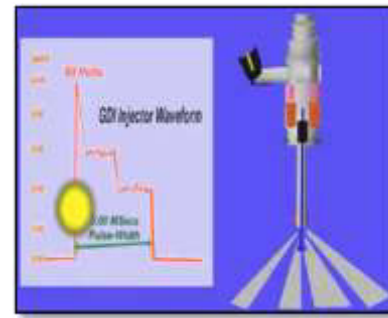


Fig. 5. Control Peak and Hold

La activación del inyector se realiza colocando una tensión alta de 12 V hasta 110 V, este pico produce la apertura del inyector, una vez que el voltaje se agota por la descarga del capacitor, el inyector se queda con 12 voltios y el valor de corriente se estabiliza en los 10 A y luego baja a 2.5 A.

### III. RESULTADOS

Se desarrollaron pruebas de flujo, estanqueidad, pulverización, reverse flush considerando la presión del circuito de baja en 3 bar y la del circuito de alta en 150 bar para tiempos de 5 segundos, con ciclos de trabajo variables , 800, 3000 y 7000 revoluciones por minuto similares a las de funcionamiento del motor dadas en la tabla 3.

Para efectos de análisis y diagnóstico se tomó en cuenta los datos medidos en la prueba de pulverización a distintos rangos de operación, aquí se evalúa un correcto cono de atomización para cada uno de los inyectores, para esta verificación es indispensable disponer de un cono simétrico con pulverización en los extremos y compacto en el centro, los valores fijados son: 800 RPM, presión de 40 Bar, una corriente fija de activación de 1,308 amperios con una altura de referencia en función del diámetro de la probeta y la altura a la que se genera el cono Tabla 5 que se analizan en la figura 7 .

TABLA 3  
PARÁMETROS DE LAS PRUEBAS DEL EQUIPO

Condición	Prueba	Presión		Amplitud de pulso
		Baja	Alta	
Prueba por Prueba	Flujo	3 bar	30 – 80 bar	5000 ms
	Estanqueidad	3 bar	30 – 80 bar	0 ms
	Pulverización	3 bar	30 – 80 bar	8,57 – 75 ms
	Flujo inverso	3 bar	30 – 80 bar	10 – 75 ms
Prueba automática	Auto limpieza	3 bar	30 – 80 bar	8,57 – 75 ms

Las pruebas de desempeño eléctrico se basan en la medición de resistencia figura 6 previa al montaje en el banco de pruebas y consumo de corriente realizadas con el uso del multímetro tabla 4.



Fig. 6. Medición de la resistencia de los inyectores

**TABLA 4**  
**CORRIENTE DE CONSUMO DE LOS INYECTORES EN LA APLICACIÓN DE PRUEBAS**

Prueba	Corriente
Atomización (Spray test)	1,308 A
Inyección (Injecting)	3,275 A
Reversa (Reverse)	0,449 A

**TABLA 5**  
**DATOS DE LA PRUEBA DE ATOMIZACIÓN**

Inyector	Presión (Psi)	Volumen (ml)	∠ Inyección (°)	Corriente A
1	40	80	51	1,308
2	40	84	41.6	1,308
3	40	98	40.1	1,308
4	40	82	41.6	1,308

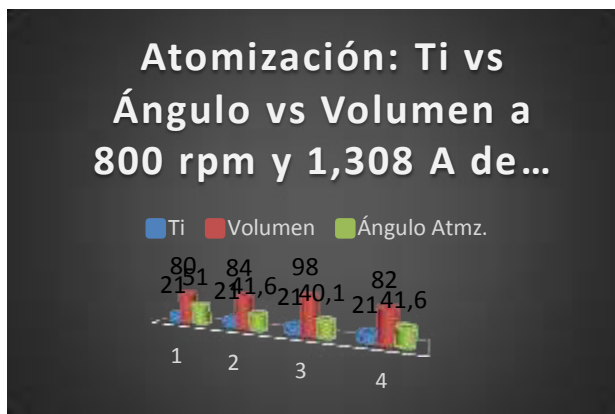


Fig. 7. Atomización o pulverización considerando el volumen de inyección y RPM.

En función de parámetros como la corriente consumida, la presión de trabajo y tiempo de activación de los inyectores que se mantienen constantes permite identificar un incremento de caudal en los inyectores #2 y #3, así como una variación en el ángulo del inyector #1 que es el valor más elevado tanto para el caudal como para la pulverización se considera una variación de entre 1 a 3 ml y de 3 grados respectivamente por lo que se encuentran fuera de tolerancia y en lo posterior se requiere realizar un sistema de limpieza de los componentes para que en el motor de combustión no se encuentre desbalanceada.

El diagnóstico en este sistema de inyección utiliza el osciloscopio automotriz para verificar el consumo de corriente y voltaje como se presenta en la figura 8 donde se observan valores similares de corriente característicos en aperturas de inyectores con tiempos prolongados, de igual manera ángulos de cono de atomización uniformes y de acuerdo a la presión de operación del banco a un régimen de 800 rpm sin que se evidencie ninguna clase de fuga o goteo en la mitad el cono de pulverización.

La figura 8 presenta un periodo de 74,9 ms con un voltaje pico del inyector de 29,2 V presentado posteriormente al momento de apertura del inyector, el tiempo de apertura es de 21 ms aproximadamente en la parte donde la señal concluye la descarga de la fuente switch de activación.

A continuación se desarrolla pruebas de atomización, caudal y estanqueidad a 2500 rpm,  $T_i=6.72$  ms y 60 Bar que están en la tabla 6

Se aplican valores de corriente similares en aperturas de inyectores con tiempos prolongados (0,755 A), de igual manera ángulos de cono de atomización uniformes, con una presión de 60 Bar y a un régimen de 2500 rpm sin evidenciar ninguna clase de fuga o goteo en la mitad el cono de pulverización.

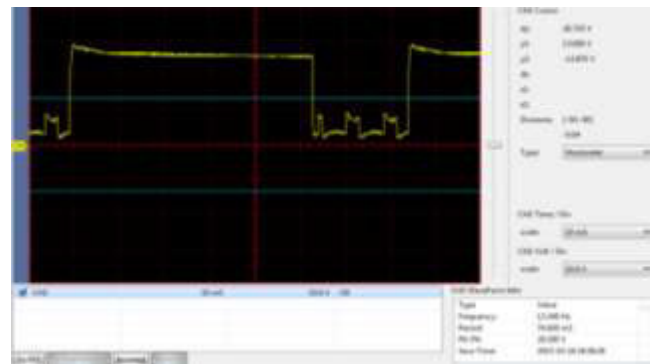


Fig. 8. Oscilograma obtenido de la señal de activación de los inyectores

**TABLA 6**  
**DATOS DE LA PRUEBA DE ATOMIZACIÓN**

Inyector	Presión (Bar)	Volumen (ml)	∠ Inyección (°)	Corriente A
1	60	36	37,3	0,755
2	60	38	26,5	0,755
3	60	42	28,8	0,755
4	60	42	27,3	0,755

En la figura 9 a través del osciloscopio se obtiene una medición de período de 24,9 ms aproximados con un voltaje pico del inyector de 29,2 V presentado posteriormente al momento de apertura del inyector, el tiempo de apertura es de 6,7 ms aproximadamente en la parte donde la señal de la fuente switch termina.

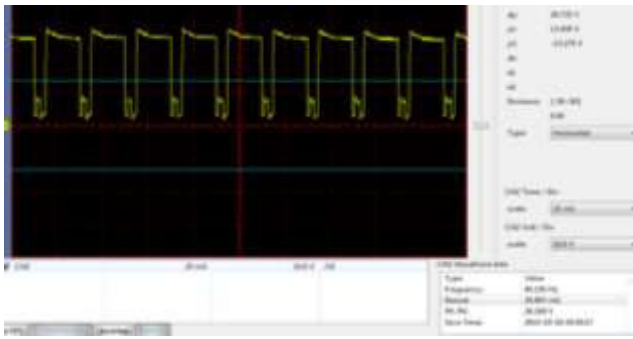


Fig. 9. Oscilograma de activación del inyector a 2500 rpm.

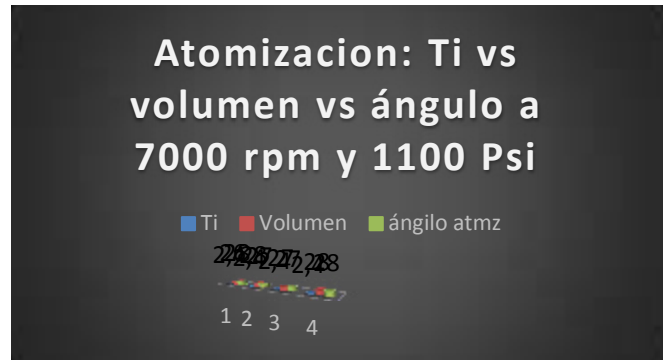


Fig. 11. Atomización, volumen y ángulo de pulverización a 2500 RPM

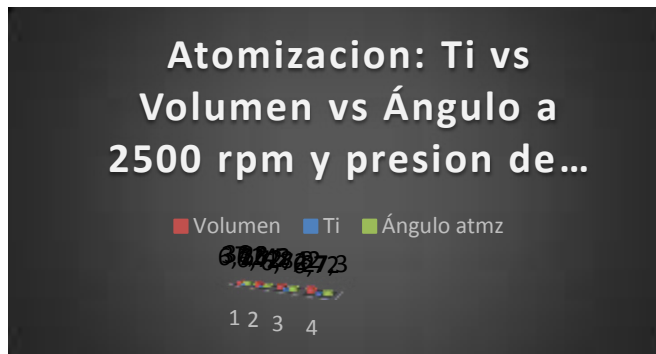


Fig. 10. Atomización, volumen y ángulo de pulverización a 2500 RPM

Finalmente se aplica una prueba de atomización a 7000 rpm,  $Ti=2.4$  ms y 150 Bar con lo que llega a condiciones extremas de operación del motor de combustión interna ciclo Otto con una constante de 0,355 amperios como se observa en la tabla 7.

TABLA 7  
DATOS DE LA PRUEBA DE ATOMIZACIÓN

Inyector	Presión (Bar)	Volumen (ml)	∠ Inyección (°)	Corriente A
1	150	26	28	0,355
2	150	28	27	0,355
3	150	27	27	0,355
4	150	28	28	0,355

Se muestran valores similares de corriente característicos en aperturas de inyectores con tiempos prolongados (0,355 A), de igual manera ángulos de cono de atomización uniformes y de acuerdo a la presión de operación del banco a un régimen de 7000 rpm sin que se evidencie ninguna clase de fuga o goteo en la mitad el cono de pulverización.

En función de parámetros como la corriente consumida, la presión de trabajo y tiempo de activación de los inyectores que se mantienen constantes permite identificar variaciones mínimas que se encuentran en valores tolerables por ende se estima que los inyectores requieren un mantenimiento reducido con el fluido de pruebas recomendado para que se niveles caudales y se mejoren los ángulos de pulverización en las condiciones anteriores.

Para la prueba de estanqueidad se eleva las RPM de la bomba de alta presión a 7000 RPM elevándose la presión a 150 bar donde se observa que no presento goteo luego de un minuto de haber aplicado la presión

Finalmente se conecta el osciloscopio para analizar la curva de desempeño de voltaje y corriente donde se ratifica la estabilidad de la onda de activación ratificando que el estado del inyector es aceptable y requiere de un mínimo mantenimiento.

El osciloscopio presenta un período de 11,9 ms aproximados con un voltaje pico del inyector de 26,4 V presentado posteriormente al momento de apertura del inyector, el tiempo de apertura es de 2,3 ms aproximadamente en la parte donde la señal aterriza a masa del transistor.

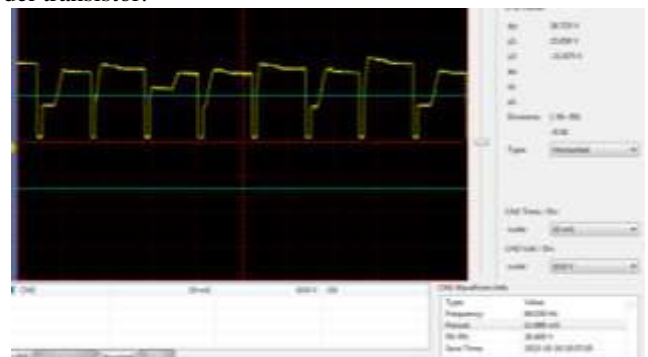


Fig. 12. Curva de consumo y corriente a 7000 RPM

#### IV. CONCLUSIONES

El análisis de desempeño de los inyectores de sistemas GDI a más de considerar la verificación de pulverización, caudal, estanqueidad requiere de un profundo análisis de consumo de voltaje y corriente para un diagnóstico acertado.

El sistema de inyección directa de gasolina es un sistema novedoso aplicado en motores Otto que pretende disminuir emisiones y elevar los parámetros característicos del mismo.

Se utiliza un banco de pruebas de fabricación nacional que presenta gran versatilidad de ajustes de parámetros similares ay superiores de desempeño que se generan en el motor Otto.

En función de la corriente medida se determina que: con tiempos de activación más largos del inyector, mayor va a ser el consumo de combustible.

El osciloscopio es necesario para realizar diagnósticos avanzados de tipo electrónico en los sistemas GDI.

La corriente de activación de los inyectores GDI es elevada y debe ser controlada ya que los mismos pueden averiarse de forma irreversible.

Se estima que estos sistemas tendrán mayor auge en nuestro medio en el año 2020 por lo que es necesario seguir desarrollando investigaciones relacionadas a fin de estar a la par con los avances científicos.

En función de la presión de inyección se determina que: el ángulo de atomización de los inyectores es inversamente proporcional a la presión.

#### REFERENCIAS

- [1] BOSCH. (29 de Junio de 2015). BOSCH AUTOMOVIL. Recuperado el 10 de Septiembre de 2015, de youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=wXNX7YhAAP8>
- [2] Basshuysen, R. v. (2009). Gasoline Engine With Direct Injection (Vol. 1). Alemania: exlibris.
- [3] Lenz, H. (1990). Effect of fuel injection process on the structure of diesel spray. Springer, new york.
- [4] Nauwerck, A. (2006). untersuchung der gemischbildung in Ottomotoren mit Direkteinspritzung. logos, Verlag.
- [5] Bayvel, L. (1993). Liquid atomization.
- [6] Pischinger, F. (2001). Motorische Verbrennung.
- [7] Krebs, R., J., B., R., D., Wurms, R., Friedmann, K., J, H., y otros. (2004). Derneue Audi 2,0T FSI Motor-Der erste direkteinspritzende Turbo-Ottomotor bei Audi.25.Wiener Motorensymposium.
- [8] Voss, E., Schmitter, W., Koenigeinsten, A., Scholten, I., Poepperl, M., y otros. (2003). 2,2 1 ECOTEC DIRECT.24.Internationales Wiener Motorensymposium.
- [9] Schnittger, W., Koenigstein, A., Pritze, S., Poepperl, M., & Samstag, P. (2003). 2.2 Direct Ecotec-Neuer Ottomotor mit Drekteinspritzung von Opel. In: MTZ 64 (2003),Nr. 12,S. .
- [10]Herzog, P., & Athenstaedt, R. (1996). Internationales Wiener Motorensymposium.VDI Fortschritt-Berichte, Reihe 12, . Kraftstoffsysteme fuer DE-Ottomotoren.
- [11]Fischer, J. (2004). Einfluss variabler Einlassstroemung auf zyklische Schwankungenbei Benzin-Di-ekteinspritzung. Logos, Verlag.
- [12]Stiebels, B., Schweizer, M., Ebus, F., & Pott, E. (2003). : Die FSI-Technologie von Volkswagen-nitch nur ein Verbrauchskonzept. In: Direkteinspritzung im Ottomotor IV. . Essen: Expert, Verlag.
- [13]Mayorga, Núñez, Erazo G. (2015) Banco de prueba para diagnóstico y mantenimiento en sistema de inyección a gasolina GDI. Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.
- [14]Ruiz, R. (2007). Metodología de la Investigación (Vol. 1).
- [15]Augeri, F. (17 de Marzo de 2014). cise electronics. Recuperado el 24 de Marzo de 2015, de [www.cise.com](http://www.cise.com)
- [16]Skala, F. (17 de Marzo de 2014). ciseelectronics. Recuperado el 24 de Marzo de 2015, de [www.cise.com](http://www.cise.com)
- [17]Lueckert, P., Rau, E., Schuapp, U., Vent, G., & Waltner, A. ( 2004. ). Weiterentwicklung der Benzin-Di-ekteinspritzung beiMercedes-Benz. DaimlerChrysler-Sonderdruck zum 13. Aachener Kol-loquium Fahrzeug-und Motorentechnik.
- [18]Xander, B. (2006). Grundlegende Untersuchungen en einem Ottomotor mit Direkteinspritzung und strahlgefuehrtem Brennverfahren. Dissertation Universitaet Karlsruhe (TH). Logos-Verlag.

- [19]pischinger, R., Grassing, G., Taucar, G., & Sams, T. Thermodynamik der Verbrennungskraftmaschine. Berlin, Alemania.
- [20]Mitsubishi Motors: Mitsubishi Benzinmotor mit Direkteinspritzung. (1995). Technisches Dossier. Frankfurt.



**Germán Erazo** nació en Latacunga, Ecuador, es Ingeniero Automotriz, Ingeniero Industrial posee estudios de Posgrado en Autotrónica, Gerencia de Marketing, Gerencia de Proyectos, Diseño Curricular, Administración de Empresas y Magíster en Gestión de Energías. Especialista en Gerencia de Proyectos. Técnico Máster CISE Electronics en Electrónica del Automóvil y Vehículos Híbridos. Docente en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE desde 1993. Imparte servicios de asesoramiento y capacitación en mecánica y electrónica automotriz.



**Félix Mayorga**, nació en Ambato Es ingeniero automotriz, Técnico Máster en electrónica automotriz CISE Electronics, presta sus servicios profesionales como asesor en mecánica y electrónica automotriz.



**Juan Martín Núñez**, nació en Ambato Es ingeniero automotriz presta sus servicios profesionales como asesor en mecánica y electrónica automotriz.



# Diseño y construcción del Sistema de Propulsión de un triciclo monoplaza eléctrico para personas con discapacidad en sus extremidades inferiores

## Design and construction of the propulsion system of an electric tricycle car for people with disabilities in their lower limbs

Wilson Vargas<sup>1</sup>, William Bonilla<sup>1</sup>, Freddy Salazar<sup>1</sup>, Hernán Lara<sup>2,3</sup>, Javier Ortiz<sup>1</sup>, Stalin Mena<sup>1</sup>, Mauricio Cruz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica  
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga

<sup>2</sup>Centro de Innovación en Diseño y Tecnología,  
Tecnológico de Monterrey, Monterrey, México,

<sup>3</sup>Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica  
Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE

[vwilithedu81989@hotmail.com](mailto:vwilithedu81989@hotmail.com), [wmbonilla@espe.edu.ec](mailto:wmbonilla@espe.edu.ec), [fwsalazar@espe.edu.ec](mailto:fwsalazar@espe.edu.ec), [echvlara@espe.edu.ec](mailto:echvlara@espe.edu.ec), [jsmena@espe.edu.ec](mailto:jsmena@espe.edu.ec)  
[gmcruz@espe.edu.ec](mailto:gmcruz@espe.edu.ec)

**Recibido:** Octubre 2015, **Publicado:** Diciembre 2015

**Resumen**— Con la finalidad de brindar apoyo a personas con discapacidad en sus extremidades inferiores se propuso diseñar y construir un sistema de propulsión para un triciclo monoplaza con un motor eléctrico tipo Brushless. Este sistema incluye un dispositivo de alimentación-almacenamiento de energía, un controlador que usa un algoritmo para manipular las variables que intervienen en el movimiento del vehículo y un grupo de sensores para indicar las señales al controlador. Se espera que el prototipo sea incluido en el mercado nacional como una nueva alternativa de movilidad eficiente para personas con capacidades motrices limitadas.

**Palabras Clave** — Sistema de propulsión, Triciclo monoplaza, Motor Brushless, Alternativa de movilidad, Personas con problemas en sus extremidades inferiores.

**Abstract**— In order to provide support to people with disabilities in their lower limbs set out to design and build a propulsion system for a tricycle car with a brushless electric motor. This system includes a power-energy storage, a controller which uses an algorithm to manipulate the variables involved in the movement of the vehicle and a group of sensors to manage the signals. The prototype is expected to be included in the national market as a new efficient alternative for people with limited mobility.

**Keywords**— Propulsion system, Tricycle car, Brushless Motor, Alternative of mobility, People with disabilities in their lower limbs.

### I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere al Diseño y Construcción del Sistema de Propulsión de un Triciclo Monoplaza Eléctrico, para personas con Discapacidad en sus Extremidades Inferiores que se puede definir como una alternativa de futuro a la movilidad y el transporte urbano.

La característica principal del sistema de propulsión es 100% ecológico gracias a la utilización de una energía limpia y eficiente como es la energía eléctrica.

Analizando las cifras del INEC en el Ecuador, en el año 2010 existían 1'608.334 personas con algún tipo de discapacidad, que representan el 12,14% de la población total [1], en la provincia de Cotopaxi de acuerdo a cifras del CONADIS en el 2014 (Consejo Nacional de Igualdad de Discapacidades del Ecuador) el número de personas con discapacidad es de 10,347 entre hombres y mujeres, con diferentes tipos de discapacidad, auditivas, físicas, intelectuales, de lenguaje, psicológicas y visuales [2].

La investigación de esta problemática se realizó por que Durante los últimos años, la toma de conciencia hacia las personas con distintas discapacidades ha hecho que muchas fundaciones, entidades y organizaciones; en éste caso la Asociación de Discapacitados de Cotopaxi (ADICO), luchan por dar igualdad, confort y facilidad al desplazamiento de



dichas personas por los diferentes senderos de la ciudad de Latacunga.

Sabemos que el medio común de transporte para personas con discapacidad en sus extremidades inferiores siempre ha sido la silla de ruedas, razón por la cual una de las innovaciones introducidas en medios de transportes unipersonales es el acceso a los mismos por personas con dicha discapacidad, valiéndose de sus propios medios y facultades físicas, es decir sobre su silla de ruedas y sin ayuda de terceras personas.

De allí la utilidad de estudio del sistema de propulsión eléctrica, previo a cálculos necesarios para la implementación del sistema e investigar las características del motor, el controlador y las baterías que necesitará el triciclo para que cumpla con la autonomía necesaria a la que está proyectada, y así seleccionar los componentes que se utilizarán para la construcción y montaje de las mismas.

Este sistema es una alternativa al futuro en la industria automotriz ya que se puede implementar en cualquier tipo de vehículo.



Fig. 1. Triciclo monoplaza eléctrico

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

En este proyecto de investigación se realizó una entrevista a los miembros de la Asociación de Discapacitados de Cotopaxi “ADICO” en la ciudad de Latacunga (ver figura 2), sus ideas fueron tomadas en cuenta para que el triciclo eléctrico cumpla con la autonomía requerida para la movilización de las mismas en zonas urbanas.



Fig. 2. Beneficiarios de ADICO

### A. Cálculos y Selección de Componentes

Para un buen desempeño del triciclo, en pendiente tendrá que cumplir con la segunda ley de Newton que plantea que la sumatoria de fuerzas en el eje x es igual a la masa del cuerpo en movimiento por la aceleración que este tenga [4].

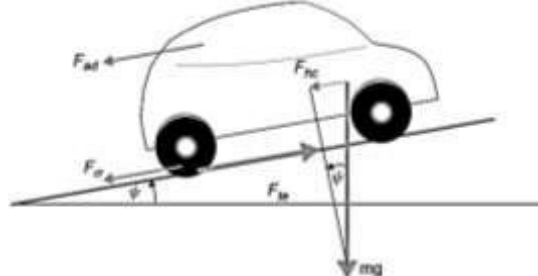


Fig. 3. Fuerzas que actúan en una pendiente

$$F_{te} - F_{rr} - F_{ad} - F_{hc} = m \cdot a \quad (1)$$

Dónde:

$F_{rr}$ = Fuerza de fricción entre la superficie a rodar y los neumáticos. (N) [4].

$F_{ad}$ = Fuerza de fricción con el viento. (N) [4].

$F_{hc}$ = Componente del peso del vehículo a lo largo de la pendiente. (N) [4].

La potencia que va a impulsar el triciclo, se necesita plantear en base a las condiciones más exigentes (pendientes, figura 3) [5], esto significa que tendrá que impulsar a una persona con discapacidad en sus extremidades inferiores con su respectiva silla de ruedas si esta condición se cumple, entonces el triciclo podrá cumplir con las demás condiciones de recorrido.

TABLA I  
PESO TOTAL DEL PROTOTIPO

Componentes	Peso en kg
Carrocería	40
Chasis	130
Motor eléctrico	20
Baterías	120
Silla de ruedas	20
Pasajero	70
<b>TOTAL</b>	<b>400 kg</b>

Con estos datos se utilizan las siguientes ecuaciones para el cálculo de la fuerza de tracción que es la que impulsa al vehículo eléctrico.

$$F_{rr} = U_{rr} * m * g * \cos(\psi) \quad (2)$$

Dónde:

$U_{rr}$  = Coeficiente de rozamiento dinámico entre caucho y asfalto (0.015) [6]

$m$  = Masa del vehículo eléctrico. (Tabla I)

$\psi$  = Ángulo de la pendiente en grados 15% = 8.53°. [5]

$g$  = Gravedad  $(9,8 \frac{m}{s^2})$

$$F_{rr} = (0.015)(400kg) \left(9,8 \frac{m}{s^2}\right) * \cos(8,53^\circ)$$

$$F_{rr} = 58.15 N$$

La fuerza de fricción con el viento se aplica sobre la sección transversal del triciclo (ver figura 4) debido a que estará en movimiento y será ejercida por la acción del viento en contra el avance del triciclo.

$$F_{ad} = \frac{1}{2} * \rho * A * C_d v^2 \quad (3)$$

Dónde:

$\rho$  = Densidad del aire (0.833 Kg/m<sup>3</sup> a 2750 m.s.n.m altitud a la cual se encuentra ubicada la ciudad de Latacunga. [7]. (Kg/m<sup>3</sup>)

$A$  = Sección transversal del triciclo en.(m<sup>2</sup>)

$C_d$  = Coeficiente aerodinámico 0.3 a 0.8 en vehículos de turismo [6].

$v^2$  = Velocidad estimada para subir pendientes del 15% [5]  $(15 \frac{km}{h} = 4.167 \frac{m}{s})$

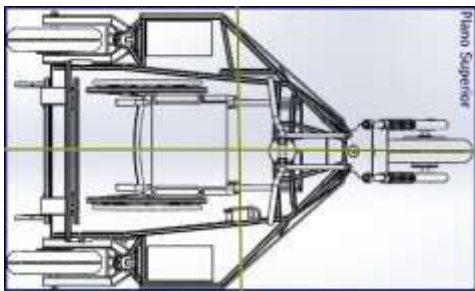


Fig. 4. Sección transversal del triciclo

$A$  = Ancho \* Alto

$A = 1.40 m * 1.20 m$

$A = 1.68 m^2$

$$F_{ad} = \frac{1}{2} * \left(0.833 \frac{kg}{m^3}\right) (1.68 m^2)(0.5)(4.167 \frac{m}{s})^2$$

$$F_{ad} = 6.075 N$$

Componente del peso del vehículo a lo largo de la pendiente [4] constituye la sumatoria de fuerzas que más exige al motor eléctrico, el peso aplicado para este cálculo, es el peso total (Tabla I)

$$F_{hc} = m * g * \sin(\psi) \quad (4)$$

Dónde:

$m$  = Masa total del vehículo eléctrico. (Tabla I)

$\psi$  = Ángulo de la pendiente en grados 15% = 8.53° [5].

$g$  = Gravedad  $(9,8 \frac{m}{s^2})$

$$F_{hc} = (400 Kg) \left(9,8 \frac{m}{s^2}\right) * \sin(8.53^\circ)$$

$$F_{hc} = 581.44 N$$

Fuerza de tracción que es la que impulsa al vehículo eléctrico es la fuerza que necesita proveer el motor eléctrico, despejando la fuerza de tracción eléctrica de la ecuación (1) tenemos.

$$F_{te} = m.a + F_{rr} + F_{ad} + F_{hc} \quad (5)$$

$$F_{te} = (400Kg) \left(0,04 \frac{m}{s^2}\right) + 58.15N + 6.075 N + 581.44 N$$

$$F_{te} = 661.66 N$$

El torque necesario, depende del radio de la rueda que se implementara y de la fuerza de tracción de empuje [8]

$$T_n = R.F \quad (6)$$

Dónde:

$T_n$  = Torque necesario. (Nm)

$R$  = Radio del neumático. (m)

$F$  = Fuerza de empuje. (N)

$R$  = Radio del neumático utilizado 10 pulg. = 0,127 (m)

$$T_n = (0.127 m)( 661.66 N)$$

$$T_n = 84.03 Nm$$

La potencia es igual al producto de la fuerza de tracción necesaria para mover al triciclo y la velocidad máxima que llevará. (La velocidad máxima en pendiente 15 km/h = 4.167 m/s) para este cálculo utilizaremos la siguiente ecuación.

$$P_{calculada} = F_{te} \cdot v_{max} \quad (7)$$

Dónde:

$P_{calculada}$  = Potencia calculada (W)

$F_{te}$  = Fuerza de tracción eléctrica (N)

$v_{max}$  = Velocidad máxima para pendientes del 15% [5]  $(\frac{km}{h})$

$$P_{calculada} = (661.66 N)(4.167 m/s)$$

$$P_{calculada} = 2757.14 W$$

Suponiendo que existan pérdidas de energía de un 20%, es decir una eficiencia del motor de un 80% tenemos que utilizar la siguiente ecuación.

$$P_{Motor} = \frac{P_{calculada}}{eficiencia} \quad (8)$$

Dónde:

$P_{Motor}$  =Potencia del motor (W)

$P_{calculada}$  =Potencia calculada (W)

$$P_{motor} = \frac{2757.14 \text{ W}}{0.80}$$

$$P_{motor} = 3446.42 \text{ W}$$

Para la selección de la potencia y torque del motor a utilizar en el prototipo deberá tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

**TABLA II**  
**VALORES REQUERIDOS PARA LA SELECCIÓN DEL MOTOR**

CRITERIOS	VALORES
Fuerza de tracción eléctrica total en pendientes ( $F_{te}$ ).	661.66 N
Torque necesario ( $T_n$ ).	84.03 Nm
Potencia calculada ( $P_{motor}$ )	3446.42 W

### 1. Motor Eléctrico

Para la selección del motor se tomaron en cuenta los parámetros calculados (Tabla II), donde se optó por un motor de las siguientes características.

**TABLA III**  
**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MOTOR SELECCIONADO**

PARÁMETRO	ESPECIFICACIÓN
Tipo de motor	Motor brushless CC de alta potencia
Voltaje nominal	48V
Potencia nominal	4000W
Corriente máxima	60 A
Velocidad máxima	50 km/h
Eficiencia	85%
Torque	100 N*m
Tipo de freno	Tambor
Capacidad de ascenso	28° sin carga
Tamaño de la rueda	10 pulg.
Peso	20 kg

A este tipo de motores también se los conoce como Motor de magnetismo permanente [9], figura 5, estos son conmutados electrónicamente, es un tipo de motor sin escobillas que tiene control del par y velocidad.



**Fig. 5.** Motor brushless 48V/4000W MOD-0704509598

### 2. Controlador Electrónico

El controlador, es el componente más importante para el funcionamiento del motor eléctrico Brushless, ver figura 6, y en la actualidad la mayoría son muy eficientes [8].

Las funciones principales del controlador en el motor eléctrico, son:

- Regulación de velocidad.
- Regulación de par



**Fig. 6.** Controlador KEB 48601F

El controlador para cumplir con las funciones antes expuestas hace uso de microprocesador que hace un control PWM (modulación por ancho de pulsos), que controla a un conjunto de transistores MOSFET de alta potencia dispuestos en forma de H, para lograr eficiencias de hasta el 97%. El microprocesador permite un control preciso del motor en base a las señales de entrada como: posición del acelerador, sensor de freno y selección del sentido de giro (avance y retroceso) [12].

### 3. Baterías

El objetivo principal de las baterías es suministrar el voltaje necesario para mover el motor eléctrico y la capacidad para alcanzar la autonomía deseada, [13] a continuación se detalla las especificaciones técnicas de la batería seleccionada.

**TABLA IV**  
**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL LA BATERÍA SELECCIONADO**

Especificaciones técnicas	
Modelo	RA12-100D
Tipo de batería	Ciclo profundo AGM

Temperatura de operación	Descarga: -20°C ~ 60°C Carga: 0°C ~ 50°C Almacenamiento: -20°C ~ 60°C
Rango de operación	25°C ± 5°C
Capacidades nominales	100Ah@10hr-rate to 1.80V per cell @25°C
Voltaje nominal	12 VD
Máxima corriente de descarga	1000 A (5 seg.)
Límite de máxima carga recomendado	30.0 A
Peso aproximado	30.0 kg

En pendientes con un consumo promedio de 80 A y una velocidad promedio de 35 km/h y conociendo que la capacidad de las baterías seleccionadas es 100 Ah entonces la autonomía queda determinada por la siguiente ecuación.

El cálculo para su autonomía se lo hace:

$$Autonomía = \frac{C_{Batería} \times V_{Promedio}}{C_{Promedio}} \quad (9)$$

Dónde:

$C_{Batería}$  = Carga de la bacteria seleccionada (Ah)

$V_{Promedio}$  = Velocidad promedio (km/h)

$C_{Promedio}$  = Carga promedio (A)

$$Autonomía = \frac{100 \text{ Ah} \times 35 \text{ km/h}}{80 \text{ A}}$$

$$Autonomía = 43,75 \text{ km}$$

### B. Diseño e implementación del sistema de propulsión

#### 1. Distribución de Peso

La distribución de peso sobre cada eje determina la correcta ubicación longitudinal del centro de gravedad, factor importante para el correcto comportamiento dinámico del vehículo, ya sea acelerando, frenando o al cambiar de dirección, como se detalla en la figura 7.

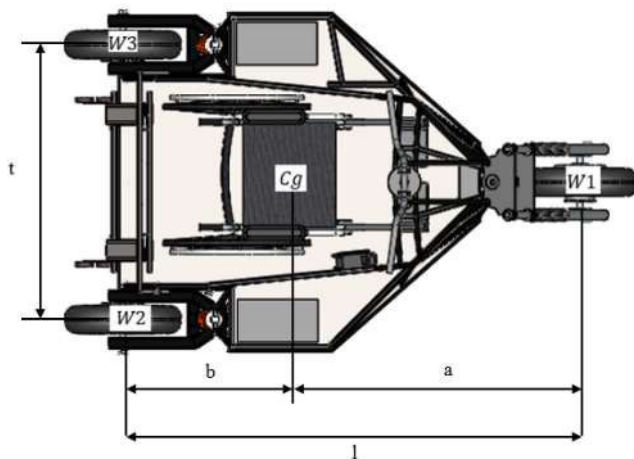


Fig. 7. Dimensiones principales del triciclo

Dónde:

$cg$ : Centro de gravedad.

$l$ : Distancia entre ejes.

$t$ : Ancho de vía.

$a$ : Distancia del centro de gravedad al eje delantero.

$b$ : Distancia del centro de gravedad al eje posterior.

$w_1$ : Peso sobre la rueda  $w_1$ .

$w_2$ : Peso sobre la rueda  $w_2$ .

$w_3$ : Peso sobre la rueda  $w_3$ .

TABLA V  
CARGAS ESTÁTICAS DEL TRICICLO

Carga estática en cada rueda	
Rueda delantera $w_1$	180 kg
Rueda posterior derecha $w_2$	110 kg
Rueda posterior izquierda $w_3$	110 kg

TABLA VI  
DISTRIBUCIÓN DE PESOS

Peso eje delantero	Peso eje posterior
45%	55%
180 kg	200 kg

Los datos de la distribución de pesos (Tabla VI) se obtuvo a través de un software de diseño asistido por computadora Solidworks, estos datos nos servirán para realizar el análisis del soporte motor en ANSYS.

#### C. Análisis del Soporte del Motor

Los criterios de diseño empleados fueron los siguientes:

- Elegir el material de acero ASTM A36 con un límite de fluencia de  $S_Y = 250 \text{ MPa}$  [14].
- Con los datos de la (Tabla VI) se aplicara el peso del eje delantero porque allí es donde se encuentra ubicado el motor.
- Soportar el torque del motor (Tabla III)
- Deberá contar con un factor de diseño  $N= 4.0$  a  $8.0$  diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas, con incertidumbre acerca de cargas, propiedades de materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente [14].

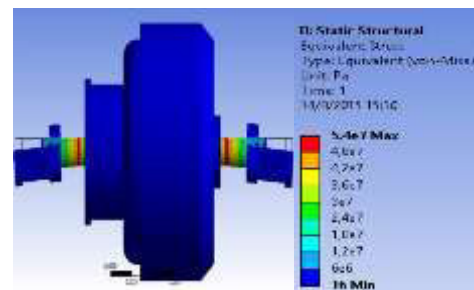


Fig. 8. Tensión equivalente de Von Mises

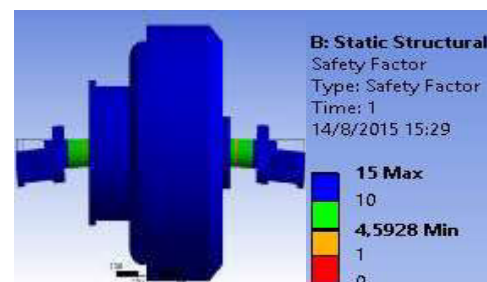


Fig. 9. Factor de seguridad



**TABLA VII  
RESULTADO DEL ANÁLISIS DEL SOPORTE DEL MOTOR EN ANSYS**

Tensión equivalente máxima obtenida (Von Mises)	54 MPa
Límite de fluencia acero ASTM A36	2 530 kg/cm <sup>2</sup> , 250 Mpa, 36 ksi
Factor de seguridad	4,6

Según el análisis aplicado, se obtuvo una tensión equivalente de Von Mises de  $\sigma_{V,M} = 54 \text{ MPa}$ , ver figura 8, obteniendo como resultado un factor de seguridad de 4,6, ver figura 9, el cual nos da paso a su construcción ya que nos indica su alta seguridad ante el fallo de la base del motor.

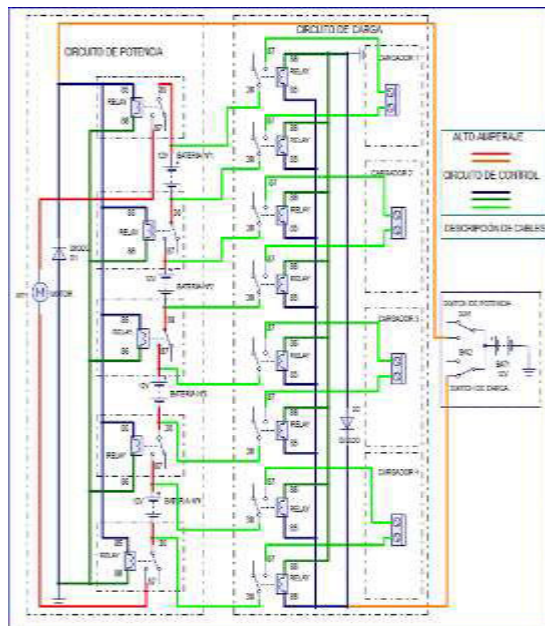
**1. Implementación**

Con los datos obtenidos del análisis se procedió a construir una base que servirá como sujeción del motor Brushless, una vez implementado el motor se procederá a la instalación del neumático 135/90R10 en el respectivo aro del motor (ver figura 10).



**Fig. 10. Instalación del motor**

Se construirá un circuito de control, como se muestra en la figura 11, con relés que active el sistema de potencia (controlador, motor) y el sistema de carga (baterías, cargadores) este circuito será controlado mediante un interruptor de codillo (ojo de cangrejo) de tres posiciones, su funcionamiento será activar el circuito de potencia y circuito de carga independientemente, a su vez desactivar a todo el circuito.



**Fig. 11. Circuito de control**

Los relés utilizados en la construcción de este circuito funcionarán como contactores o interruptores automáticos que son comandados por una tensión de corriente minimizando riesgos de corto circuito.

El sistema de alimentación consta de 4 baterías conectadas en serie, para la implementación del sistema de accesorios se utilizaron luces led, de acuerdo a figura 12, el consumo de corriente de este sistema es mínimo esto ayudara a la autonomía del triciclo.



**Fig. 12. Implementación de luces led**

**D. Aplicaciones del sistema de propulsión eléctrica**

Una de las oportunidades que brinda el triciclo eléctrico, como se muestra en la figura 13, es la de eliminar por completo el esquema de propulsión convencional con una única unidad propulsora, donde, el motor Brushless es el verdadero protagonista al enviar el torque necesario para mover el triciclo, es decir, instalar el motor directamente en la rueda sin transmisiones intermedias, en las cuales los beneficiados serán personas con discapacidad en sus extremidades inferiores.





Fig. 13. Triciclo eléctrico para discapacitados

El sistema de propulsión eléctrica se puede aplicar en vehículos, motos o bicicletas (figura 14), su utilización presenta ventajas desde el punto de vista medioambiental, ya que permite disminuir el nivel de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.



Fig. 14. Aplicación del sistema de propulsión

### III. RESULTADOS

#### A. Pruebas de aceleración

La prueba de aceleración se la realizo en una distancia de 50 m partiendo desde el reposo, el tiempo cronometrado fue de 10 s en una superficie plana dándonos los siguientes resultados:

$$V_f = \frac{d}{t}$$

Dónde:

$V_f$  = Velocidad final ( $\frac{m}{s}$ )

$d$  = Distancia (m)

$t$  = Tiempo (s)

$$V_f = \frac{50 \text{ m}}{10 \text{ seg.}}$$

$$V_f = 0,5 \frac{m}{seg.} = 18 \frac{km}{h}$$

$$a = \frac{V_f - V_o}{t_f - t_o}$$

Dónde:

$a$  = Aceleración ( $\frac{m}{s^2}$ )

$t_o$  =Tiempo inicial (s)

$t_f$  =Tiempo final (s)

$V_o$  =Velocidad inicial ( $\frac{m}{s}$ )

$V_f$  =Velocidad final ( $\frac{m}{s}$ )

$$a = \frac{0,5 \frac{m}{seg.} - 0}{10 \text{seg.} - 0} = 0,05 \frac{m}{seg^2}$$

La prueba de aceleración determinó que el triciclo eléctrico monoplaza tiene una buena respuesta a la aceleración y velocidad alcanzada.

#### B. Pruebas en recta

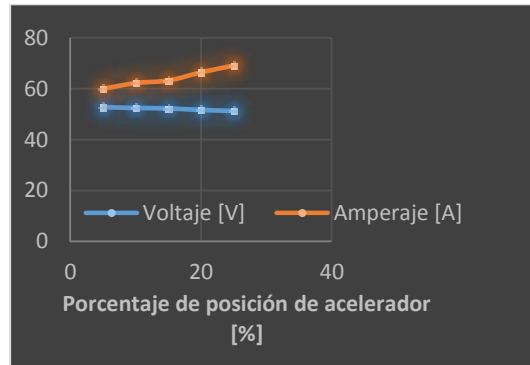


Fig. 15. Pruebas en recta al 25% del acelerador

En esta prueba la posición del acelerador se encuentra al 25% el voltaje disminuye de un 52,8 V al 51,3 V y el amperaje que necesita el motor aumenta de 60 A - 66 A, lo cual se detalla en la figura 15.

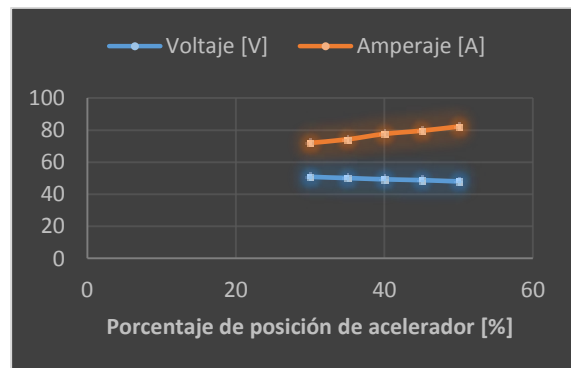


Fig. 16. Pruebas en recta al 50% del acelerador

Al aumentar la posición del acelerador a un 50 % el voltaje disminuye a 48,1 V y el amperaje que necesita el motor aumenta a 82,3 A, figura 16.

Al realizar estas tres pruebas se estableció que a medida que la posición del acelerador varía, el voltaje y la intensidad de corriente también varían directa e inversamente y la caída de voltaje máxima al acelerar al 100% es de 42,24 V, por lo tanto el consumo del amperaje desde el 25% hasta el 100% es de 30.8 A por lo que se recomienda no acelerar al 100% para mantener la autonomía, como se muestra en la figura 17.

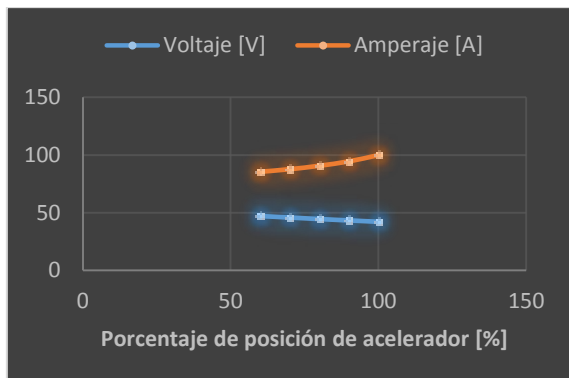


Fig. 17. Pruebas en recta al 100% del acelerador

En la tabla VIII se observan los resultados obtenidos en las pruebas en carretera en recta a media y plena carga.

TABLA VIII  
RESUMEN DE PRUEBAS

Posición del acelerador %	Corriente consumida (A)	Caída de voltaje (V)
25	69,2	51,3
50	82,3	48,1
100	100	42,24

### C. Pruebas de autonomía.

Esta prueba dependerá de las características de las baterías seleccionadas, conociendo que la capacidad de las baterías es de 100 Ah, la ruta establecida para esta prueba consta de 8 km con pendientes poco pronunciadas.



Fig. 18. Recorrido del triciclo

Con las baterías cargadas al 100% se procedió a realizar la pruebas de autonomía logrando dar 5 vueltas a una velocidad de 35 km/h durante 3 horas y media logrando recorrer 42 km, cumpliendo así con el cálculo teórico establecido, ver figura 18.

## IV. CONCLUSIONES

El triciclo cumple con los parámetros de diseño dinámicos calculados, consiguiendo implementar el sistema de propulsión con un motor eléctrico Brushless modelo MOD-0704509598, capaz de producir 4000 W de potencia efectiva que alcanza una velocidad de 50km/h, con un voltaje de 48 V y 60 A para su funcionamiento.

Para el control de los componente eléctricos y electrónicos se implementó un módulo de control

electrónico de marca Kelly Controls KEB48601F, que cuenta con un puerto de programación RS232 y un conector J2 de 14 pines que controlan la aceleración, retro y freno regenerativo del motor Brushless.

Con los datos de la capacidad específica calculada se procedió a seleccionar las baterías de ciclo profundo de electrolito tipo AGM 12 V y 100 A, para alcanzar el voltaje de funcionamiento de 48 V se conectaron 4 baterías en serie.

Se ha diseñado un sistema de control con relés el cual activará al sistema de potencia del motor, y también activara al sistema de carga de las baterías, a su vez este circuito de control funcionará como un dispositivo de seguridad ya que funcionarán como un elemento de paro de emergencia o como un contactor.

Para el sistema de accesorios se implementó luces led de 12V/20mA ya que el consumo de corriente es mínima esto ayudara a que el triciclo posea una buena autonomía.

Para las conexiones de todo el sistema de propulsión se ha seleccionado adecuadamente elementos eléctricos y electrónicos como, las baterías, controlador electrónico, motor, acelerador, relés y conductores de corriente eléctrica de acuerdo al calibre para la conexión de alto y bajo amperaje.

Según el análisis aplicado, se obtuvo una tensión equivalente de Von Mises de  $\sigma_{V.M} = 54 \text{ MPa}$ , obteniendo como resultado un factor de seguridad de 4,6, el cual nos da paso a su construcción ya que nos indica su alta seguridad ente el fallo de la base del motor.

Después de realizar las pruebas en carreteras a baja, media y carga plena se determinó que el voltaje y la intensidad de corriente también varían directa e inversamente y la caída de voltaje máxima al acelerar al 100% es de 42,24 voltios, por lo tanto el consumo del amperaje desde el 25% hasta el 100% es de 30.8 A por lo que se recomienda no acelerar al 100% para mantener la autonomía

El triciclo monoplaza eléctrico cumple con las expectativas propuestas por los miembros de la Asociación de Discapitados de Cotopaxi "ADICO", alcanzando una distancia de recorrido de 42 km con una velocidad media de 35km/h y una velocidad máxima de 50km/h, suficiente para moverse en zonas urbanas ya que la velocidad máxima permitida en ciudades es de 50km/h.

La necesidad de transporte independiente, para las personas con discapacidades en sus extremidades inferiores residentes en la ciudad de Latacunga con este tipo de vehículo, ha sido de gran importancia; ya que es un triciclo monoplaza 100% eléctrico como alternativa de futuro gracias a la utilización de una energía limpia y eficiente como es la energía eléctrica.

## REFERENCIAS

- [1] M. A. Acurio, «Obtenido de BIBLIOTECA UTPL,» 03 04 2013. [En línea]. Available: [http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/8020/1/Acurio\\_RecaIde\\_Monica\\_Anabelly.pdf](http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/8020/1/Acurio_RecaIde_Monica_Anabelly.pdf). [Último acceso: 18 08 2015].
- [2] CONADIS, «Consejo Nacional Para la Igualdad de

Discapacidades.» Obtenido de Estadísticas de personas con discapacidad de Cotopaxi, 12 07 2014. [En línea]. Available: [https://public.tableau.com/profile/javier.gaona#!/vizhome/DICAPA\\_CIDADESECUADOR/Discapacidades](https://public.tableau.com/profile/javier.gaona#!/vizhome/DICAPA_CIDADESECUADOR/Discapacidades). [Último acceso: 07 08 2015].

- [3] IDAE, «Movilidad eléctrica.» Observatorio Tecnológico de la Energía, 12 01 2012. [En línea]. Available: [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_Movilidad\\_Electrica\\_ACC\\_c603f868.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Movilidad_Electrica_ACC_c603f868.pdf). [Último acceso: 17 08 2015].
- [4] J. Larminie, Electric Vehicle Technology, USA: John Wiley & Sons Inc., 2003.
- [5] Regrabables, «Pasar pendientes en grados a porcentaje y al revés.» Regrabables, 24 06 2011. [En línea]. Available: <https://regrabables.wordpress.com/2011/06/24/pasar-pendientes-en-grados-a-porcentaje-y-al-reves/>. [Último acceso: 17 08 2015].
- [6] Kindler, Coeficiente dinámico entre caucho y asfalto, Bogotá: REBERTÉ S.A., 1986.
- [7] Wikipedia, «Altitud de Latacunga.» Wikipedia, 08 07 2015. [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Latacunga>. [Último acceso: 18 08 2015].
- [8] Beceril, «Diseño de etapa de potencia y control para un motor brushless de CD con frenado regenerativo aplicado a una moto deportiva eléctrica.» 07 12 2014. [En línea]. Available: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3489/Tesis.pdf?sequence=1>. [Último acceso: 18 08 2015].
- [9] L. Moya y L. Abatta, «Diseño, Adaptación Y Conversión De Una Motocicleta De 100 C.C. A Gasolina En Eléctrica.» 13 07 2013. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/6885/1/T-ESPE-047278.pdf>. [Último acceso: 18 08 2015].
- [10] D. Yumbo y P. Reyes, «Implementación de un motor eléctrico sobre el chasis de una motocicleta Yamaha TTR125.» 24 09 2012. [En línea]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2915/1/UPS-CT002474.pdf>. [Último acceso: 18 08 2015].
- [11] Obtenido de Kelly Controls, «Obtenido de Kelly Controls.» 24 09 2008. [En línea]. Available: <http://kellycontroller.com/Electric-Scooter-Controller.php>. [Último acceso: 18 08 2015].
- [12] Roboteq, «Brushless DC motor controller.» 07 22 2015. [En línea]. Available: <http://www.roboteq.com/index.php/roboteq-products-and-services/brushless-dc-motor-controllers>. [Último acceso: 19 08 2015].
- [13] RENOAENERGÍA, S. A., «Baterías de ciclo profundo.» RENOAENERGÍA, S. A., 28 06 2015. [En línea]. Available: [http://www.renova-energia.com/productos\\_baterias/index.html](http://www.renova-energia.com/productos_baterias/index.html). [Último acceso: 18 08 2015].
- [14] R. Mott, Propiedades de los aceros estructurales, México D.F: Cámara Nacional De la Industria Mexicana., 2006.



**Freddy Salazar**, nació en Latacunga provincia de Cotopaxi en Ecuador. Es Ingeniero Electromecánico en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Latacunga. Cuenta con un masterado en Gestión de la Energía de la Universidad Técnica de Cotopaxi Latacunga – Ecuador. Actualmente es docente del Departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” en la ciudad de Latacunga Ecuador.



**Hernán Lara**, nació en Guano Provincia de Chimborazo en Ecuador. Es Ingeniero Mecánico por la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo - Riobamba, cuenta con una maestría en Diseño, Producción y Automatización Industrial en la Escuela Politécnica Nacional - Quito, actualmente cursa el segundo año del Doctorado en Ciencias de la Ingeniería en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey en México en el área de Mecatrónica y Materiales Inteligentes. Perteneció al Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” campus Sangolquí.



**Javier Ortiz**, nació en la ciudad de Salcedo, Ecuador. Es Ingeniero Electromecánico de la ESPE Latacunga presta sus servicios profesionales como Fiscalizador Eléctrico en Petroamazonas Departamento de Facilidades Ingeniería y Construcción (FIC).



**Mauricio Cruz**, nació en Latacunga, Ecuador, Es ingeniero Automotriz, Diplomado en Autotrónica, Diplomado en Gestión del Aprendizaje Universitario, Docente Tiempo Parcial en la Escuela Politécnica del Ejército desde 2009. Imparte servicios de asesoramiento y capacitación en mecánica básica y manejo de software CAD.



**Stalin Mena**, nació en Ambato - Ecuador, Es Ingeniero Automotriz, es docente Tiempo Parcial en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE desde 2008. Imparte servicios de asesoramiento, capacitación en el ámbito automotriz, compartiendo sus conocimientos teórico práctico a los estudiantes y promulgando la investigación científica y la vinculación con la colectividad.



**Wilson Vargas**, nació en Archidona Provincia de Napo en Ecuador. Es Ingeniero Automotriz en la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE-Latacunga.



**William Bonilla**, nació en Salcedo Provincia de Cotopaxi en Ecuador. Es Ingeniero Mecánico en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo - Riobamba, dispone estudios de Posgrado en Gestión de Energías. Perteneció al Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” extensión Latacunga.

# Procedimiento de Trabajo Colaborativo Asistido por Computador para el Desarrollo del Artículo: Crowdsourcing en la Ingeniería de Requisitos

## Process of Computer Supported Cooperative Work for the Development of the Article: Crowdsourcing on Requirements Engineering

Patricio Espinel y Alexandra Corral

Departamento de Eléctrica y Electrónica, Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga

[gpespinel@espe.edu.ec](mailto:gpespinel@espe.edu.ec), [macorral@espe.edu.ec](mailto:macorral@espe.edu.ec)

**Recibido:** Agosto 2015, **Publicado:** Diciembre 2015

**Resumen**— Se presenta un procedimiento de trabajo para colaborar en el desarrollo del artículo, donde se utilizan herramientas informáticas para su soporte. Se muestra información que fundamenta el potencial del crowdsourcing en la ayuda a la ingeniería de requisitos, aunque este campo plenamente está todavía por explorar, nos centramos en la etapa de obtención de requisitos. Se examina la literatura sobre crowdsourcing en una variedad de disciplinas y se deduce un conjunto de características que son la base de sus principales construcciones. Se describe CrowdREquire, una plataforma que apoya la ingeniería de requisitos utilizando el concepto de crowdsourcing. Se especifican los métodos StakeNet y StakeRare y la herramienta StakeSource que apoyan la obtención de requisitos en grandes proyectos de software.

**Palabras Claves**— Crowdsourcing, CSCW, Awareness, CrowdREquire, StakeNet, StakeRare, StakeSource.

**Abstract**— A process for working collaboratively was presented in order to develop an article where informatics tools are used as support. Information showing the fundamentals of crowdsourcing and its potential for the requirement engineering is discussed. Even though this field is still in development, we concentrate on the stage of requirements demand. The literature for crowdsourcing is examined through a variety of subjects and it is summarized in a set of characteristics which are the fundamentals of all constructions. CrowdREquire is studied as a platform which supports the requirement engineering using crowdsourcing. The methods StakeNet, StakeRare, and StakeSource are described as support of requirement gathering on big software projects.

**Keywords**— Crowdsourcing, CSCW, Awareness, CrowdREquire, StakeNet, StakeRare, StakeSource.

### I. INTRODUCCIÓN

El trabajo colaborativo asistido por computador (CSCW en sus siglas en inglés) “es el estudio de como las actividades

de trabajo en grupo (colaboración, cooperación) pueden ser soportadas con sistemas de computadoras” [1]. Abarca la tecnología así como su efecto psicológico y sociológico/organizacional, en consecuencia, es un área multidisciplinaria que involucra a profesionales de la informática, sociología, psicología, pedagogía, entre otros. CSCW “es la disciplina que estudia las formas en las que la gente trabaja en equipo, con las tecnologías que facilitan su trabajo incluyendo hardware, software, servicios y técnicas” [1]. Ha evolucionado con el software como un componente central: en USA motorizada por las empresas, con foco práctico en pequeños grupos de trabajo y en Europa motorizada por el estado y la academia con foco en grandes empresas [2].

Awareness “conocimiento de las actividades de otros que provee contexto para tus propias actividades” [3], permite a los usuarios coordinar su trabajo basado en el conocimiento de lo que otros hacen o han hecho, motiva la colaboración espontánea y mantiene a los miembros del equipo mejor informados del estado del proyecto. Particularmente las actividades de las formas de CW enmarcan la necesidad de awareness.

Hoy en día, la incertidumbre de los entornos técnicos y sociales, donde los sistemas de software operan, ha aumentado radicalmente. Este fenómeno se ha acelerado por la creciente utilización de sistemas basados en la web, por ejemplo, software como servicio, y aplicaciones móviles. En esencia, esto significa que los desarrolladores de sistemas e ingenieros de software se encuentran con una audiencia más amplia de usuarios, llamada público en general. Para atender los requisitos de la gente, es necesario involucrar a esa multitud; de ahí, la importancia de crowdsourcing [4].

El crowdsourcing en la obtención de requisitos tiene el



potencial de aumentar la calidad y exhaustividad e incluso la viabilidad económica de la obtención de requisitos. Crowdsourcing da acceso al software y al equipo de ingeniería a una amplia diversidad de usuarios reales y potenciales. Podría ser utilizado durante todo el ciclo de vida del software. Esto permitiría a los desarrolladores, potencialmente, obtener un amplio y mayor conocimiento de cómo los usuarios perciben el rol del sistema en el cumplimiento de sus requisitos, y para entender cómo esa percepción cambia en el tiempo. Los enfoques tradicionales de obtención, por ejemplo, las entrevistas y los grupos de discusión, son demasiado costosos para hacer frente eficientemente a las aplicaciones orientadas a la gente. Mientras el crowdsourcing parece un enfoque prometedor, sólo unos pocos intentos han estado utilizando este potencial, por ejemplo, [5,6]. Fundamentalmente, como disciplina, no se ha establecido los enfoques de ingeniería para desarrollar plataformas de ingeniería requisitos basadas en crowdsourcing.

El desarrollo de la plataforma CrowdREquire es necesario porque va a ayudar a los individuos y las empresas en la búsqueda de la mejor especificación de requisitos para sus tareas propuestas y proyectos. CrowdREquire también proporciona una herramienta de comunicación para conectar a los profesionales de la ingeniería requisitos con las empresas que requieren sus servicios. El objetivo de CrowdREquire es dar respuesta oportuna y completa a los clientes que presenten una definición de tareas [7].

Para apoyar a los métodos StakeNet y StakeRare en la identificación y priorización de requisitos utilizando las redes sociales y el filtrado colaborativo [8], se ha desarrollado StakeSource, una herramienta de software novel que automatiza los procesos manuales en StakeNet. StakeSource recoge recomendaciones de las partes interesadas, se basa en la red social, y da prioridad a los grupos de interés de forma automática. Los métodos y herramientas han sido evaluados utilizando proyectos de software reales a gran escala [9].

El resto de este documento se divide en tres secciones, además de esta introducción. En la Sección 2 el procedimiento de trabajo para colaborar en el desarrollo del artículo es presentado. Los resultados de la revisión literaria producto de la utilización del procedimiento CSCW se detallan en la Sección 3. Por último, las conclusiones son descritas en la Sección 4.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. CSCW (Cooperative Work)

Algunas formas de trabajo colaborativo (CW en sus siglas en inglés) son más adecuadas que otras para ciertas tareas. Lógicamente cada forma de CW tiene sus necesidades de soporte por computador (CS en sus siglas en inglés).



Figura 1: Fases de la formas de trabajo colaborativo CW

Las fases de las formas de CW en función del grado de comunicación grupal son: información coordinación, colaboración y cooperación [10] (Figura1).

*Resumen de Características e Implicaciones de las formas CW*

#### 1. Informar



Figura 2: Fase 1 de la formas de CW

Características:

- La información fluye solo en un sentido.
- El proveedor no necesita conocer al receptor (aunque le sería útil).
- El que envía y el que recibe información tienen poco contacto.
- Ejemplos: publicar noticias en una pizarra, publicar información en un sitio web tradicional.

Implicaciones:

- Ofrecer al proveedor soporte para: crear la información, transmitirla/publicarla donde pueda accederla el receptor.
- Mecanismos para que el receptor pueda encontrar y acceder a la información.

#### 2. Coordinar



Figura 3: Fase 2 de la formas de CW

Características:

- El que envía y el que recibe entran en contacto.
- Coordinan el uso de información/recursos/ tiempo.
- No (necesariamente) comparten el objetivo pero (probablemente) si afiliación y/o interés.
- La información fluye en ambos sentidos.
- Ejemplos: coordinar el uso de recursos compartidos (p.e. aulas), planear reuniones/eventos (en este caso, el recurso compartido es el tiempo).



Implicaciones:

- Modelar los recursos compartidos.
- Registrar su disponibilidad y uso.
- Permitir a los involucrados consultar disponibilidad, ocupar recursos, negociar su uso.

### 3. Colaborar

Características:

- Los involucrados participan en un mismo proceso.
- Es común que haya disparidad de responsabilidades (involucramiento).



Figura 4: Fase 3 de la formas de CW

- Hay un resultado conjunto, pero cada uno es responsable de una parte (se lo evalúa independientemente).
- La frecuencia de interacción entre los involucrados es variada.
- Ejemplos: procesar un expediente, construir un software (métodos tradicionales), atender a clientes (p.e. CRM).

Implicaciones:

- Modelar el proceso (tareas, recursos, tiempos, etc.).
- Actualizar y publicar el estado del proceso.
- Asignar responsabilidades y dar seguimiento.
- Soportar la integración de los resultados individuales.

### 4. Cooperar



Figura 5: Fase 4 de la formas de CW

Características:

- El objetivo es común con un plan compartido.
- Los objetivos del grupo están sobre los de los individuos (se evalúa el equipo).
- Existe interacción regular y frecuente.
- Proporciona fuerte énfasis en reuniones cara a cara.
- Las decisiones generalmente están basadas en consenso.

- Las decisiones son responsabilidad de todo el equipo.
- Ejemplos: reuniones, toma de decisiones en equipo, escritura conjunta de un artículo.

Implicaciones:

- Asistencia para la toma conjunta de decisiones.
- Acceso concurrente a los recursos compartidos.
- Soporte para reuniones/actividades cara a cara (aún para equipos distribuidos).

### Awareness

¿Qué nos preguntamos para seleccionar awareness?

- Contexto
  - ¿Qué actividad enmarca la necesidad de awareness?
  - ¿Qué está haciendo el usuario en el momento que recibe la información de awareness?
- Propósito
  - Saber qué cambió desde la última vez que miré.
  - Saber que están haciendo los otros.
  - Saber quiénes somos, que sabemos.
- Sobre quiénes? sobre qué?
  - Me muestra información sobre todo el mundo, solo sobre mi equipo, solo de gente relevante al contexto actual.
  - Me muestra información sobre todos los recursos, sobre los que me interesan, sobre los que estoy usando (mi foco), relevantes al contexto actual.
- Privacidad y confianza
  - ¿Cuánta información sobre mí está divulgando?
  - ¿Puede ser peligroso para mi privacidad? ¿Y para mi estrategia de trabajo?
  - ¿Es transparente?
  - ¿Tengo control sobre la cantidad y calidad de la información que se divulga y recibo?
- Interfaces
  - ¿Me interrumpe? ¿Me molesta?
  - ¿Está integrado de forma orgánica en las interfaces de trabajo?
  - ¿Está ubicado en una interface exclusiva?
  - Maneja datos históricos o en tiempo real.
  - ¿Puedo configurarlo?
  - ¿Es claro?
- Tipo
  - Awareness informal: ofrece conocimiento general sobre los miembros del grupo como su ubicación, presencia, foco, etc. Permite reconocer y aprovechar oportunidades para interactuar con otras personas de su entorno (p.e. UMLEditor).
  - Awareness de estructura de grupo: maneja pertenencia, roles, responsabilidades, particularmente dentro del equipo de trabajo (p.e. Trello).

Awareness social: trata habilidades especiales de otros, estados emocionales, intereses. (p.e. Emoticones, Facebook).

Awareness del espacio de trabajo: administra información actualizada sobre acceso y modificaciones a objetos compartidos y de actividades de otros miembros del grupo [10].

#### B. Procedimiento CSCW para el desarrollo del artículo

El procedimiento de trabajo elegido para colaborar en el desarrollo del artículo. En particular, aplica las actividades de las formas de CW [11] y awareness, apoyadas del uso de herramientas CS.

1. *Informar.* Como primer punto el líder del grupo se encargó de publicar las indicaciones generales de la tarea, para esto se creó un tablón de avisos utilizando una herramienta Web 2.0 llamada Lino it. Este instrumento nos permitió realizar un trabajo colaborativo donde se aportó ideas y opiniones para el establecimiento de las políticas de trabajo grupal que regirán el desarrollo de la investigación.
2. *Coordinar.* Se utilizó el correo electrónico como punto de partida para la organización de tareas y se creó un grupo cerrado en Facebook como apoyo para la realización de recopilaciones de materiales relacionados con los contenidos del tema propuesto. Se definió la estructura de contenidos de la publicación y se determinó abrir un documento en GoogleDocs para la elaboración del artículo.
3. *Colaborar.* Se procedió a elaborar un documento compartido en GoogleDocs para poder contribuir con el desarrollo del artículo, cada integrante se responsabilizó específicamente de una sección de la publicación sin perder de vista la estructura de contenidos y el trabajo en equipo.
4. *Cooperar.* Se realizó una reunión vía Skype para apoyar con la revisión de cada una de las secciones del artículo, enfatizando en las reflexiones finales del grupo sobre todo el proceso y qué ha supuesto llevar a cabo este trabajo. Cabe recalcar que en este punto se hizo un consenso sobre los cambios que se debían hacer cumpliendo con un fin común.

Se utilizó el tipo de Awareness de estructura de grupo en cada una de las etapas de las formas CW, ya que se trabajó con herramientas de software totalmente separadas pero que eran ideales para cooperar con el desarrollo de la publicación. Por último se decidió buscar y utilizar una herramienta de software que resuma las propiedades de las formas de CW, para lo cual se empleó la herramienta basada en listas de tareas llamada Trello que es muy empleada para gestionar proyectos y equipos de trabajo.

### III. RESULTADOS

Como resultado del uso de herramientas de soporte al trabajo colaborativo para el desarrollo de la publicación, se presenta el producto de la revisión literaria que cubre la temática referente al potencial del crowdsourcing en la ayuda a la ingeniería de requisitos, específicamente en la etapa de obtención de requisitos. Información que fue recopilada, organizada y validada a través de la utilización del procedimiento CSCW detallado.

El crowdsourcing es un área de estudio que ha ganado recientemente la atención en diversos campos científicos, como negocios, administración, ciencias ambientales, estudios sociales, computación, entre otros. El crowdsourcing también podría ayudar al desarrollo de software, sobre todo en la etapa de ingeniería de requisitos, ya que la gente podría ser los posibles usuarios de software que está diseñado para satisfacer sus necesidades. Hay un número de estudios que trataron de utilizar el poder de la gente y los usuarios finales para resolver problemas de la ingeniería de requisitos. Éstos incluyen:

- *La Adaptación Social Conducida por Requisitos.* La incertidumbre sobre el papel de un software para satisfacer sus necesidades en un contexto dinámico hace que la validación de un sistema sea una tarea difícil y prolongada. En [12] y [13], Ali et al. proponen las nociones de Adaptación Social y Percepción Social para una validación total de las diferentes alternativas de un software variable. El enfoque se basa en la adquisición y el análisis de la percepción de los usuarios reales sobre el papel del sistema en la consecución de sus requisitos y su calidad. Propone utilizar eso para tomar decisiones de adaptación.
- *La ingeniería de requisitos basada en retroalimentación.* La retroalimentación de los usuarios en software podría ayudar a los desarrolladores a entender mejor las necesidades de la próxima versión del sistema. Esta retroalimentación podría ser explícita, por ejemplo, a través de foros o implícita, por ejemplo, mediante el seguimiento de sus patrones de uso del software. Pagano y Maalej [14] proponen los efectos de la retroalimentación de los usuarios en los equipos de ingeniería de requisitos y software. Significan la importancia de la retroalimentación del contenido de retroalimentación de los usuarios en el número de descargas que recibe una aplicación de teléfono móvil.
- *Descubrimiento de las partes interesadas.* En sistemas complejos y dinámicos, es difícil identificar el conjunto actores, roles, conocimientos y también sus requisitos. Crowdsourcing aquí ayudaría a la identificación de un conjunto inicial e integral de participantes especificado por los analistas. Lim et al. [15] proponen que la identificación relevante de las partes implicadas para el sistema no está encaminada y propone un enfoque participativo para identificar a los implicados.

Considera el conjunto de las partes interesadas como una red social. Los analistas podían saber sólo de unos pocos miembros quienes recomendaran más miembros a los analistas y así sucesivamente.

- *Identificación de requisitos.* En los paradigmas de software como la Computación en Nube y Aplicaciones Móviles, el conjunto de usuarios es muy diverso e impredecible. Esto significa confiar en un grupo élite de usuarios para entender que atributos funcionales y de calidad que reúne el software, la identificación de requisitos es limitada y también costosa. Se podría aprovechar el poder de la gente para entender sus necesidades como parte de la etapa de obtención de requisitos. CrowdREquire [7] es un ejemplo de iniciativas donde el concepto de crowdsourcing se abogó para la obtención de requisitos.
- *La validación empírica.* La validación y las pruebas de usuario para la implementación de sistemas comparten las mismas dificultades que se han mencionado anteriormente para la obtención de requisitos y para la adaptación conducida por requisitos, en el sentido de que son costosas y largas y que a menudo conducen a resultados que son válidos sólo temporalmente, sobre todo en un entorno dinámico. Esto es así ya que los usuarios podrían no mantener la misma opinión cuando pasa el tiempo, debido a la aparición de soluciones de la competencia y al uso de software en contextos que no fueron pensados en la etapa de ingeniería. Ha habido también una investigación sobre el uso de crowdsourcing para estudios empíricos en ingeniería de software [16]. Si bien esto no era para una actividad particular en ingeniería de software, la naturaleza empírica de la obtención y validación de requisitos sugeriría invertir en el desarrollo de plataformas crowdsourcing para estudios empíricos.

Los mercados laborales como InnoCentive [17], iStockPhoto [18] y prospectivamente, CrowdREquire, requieren especializaciones y talentos específicos. CrowdREquire es similar a Amazon Mechanical Turk, pero una de las principales diferencias es que las tareas en Turk son relativamente simples y pueden ser realizados por cualquier persona, mientras que el proceso de desarrollo de requisitos, como es el objetivo de CrowdREquire, es más complejo. Esto explica la razón por la cual Amazon Turk ha sido descrita como "crowdsourcing para las masas" [19]. CrowdREquire utiliza un modelo de concurso [20] en el que la solución final a una tarea es seleccionada basada en la competencia entre los miembros del público en general. Está estrechamente relacionada con InnoCentive que recibe peticiones de corporaciones externas, para proporcionar soluciones innovadoras a los problemas. Es importante crear un ambiente de sana competencia entre los usuarios, ya que tiene el potencial de producir excelentes resultados de la gente. Las recompensas en efectivo actúan como un incentivo muy importante para la gente como lo hace el

sentido de prestigio entre sus pares, es decir, la gente CrowdREquire en este caso. También es importante tener en cuenta que el éxito de crowdsourcing ha sido ayudado por la era de Internet ya que estas empresas se han estructurado para trabajar con la gente cercana a la red [19]. La comunicación es la forma más fácil y más rápida que los tiempos pre-Internet, con lo que la gente se encuentre junta en un área global. Por lo tanto, la Web 2.0 ha sido un factor fundamental responsable del éxito de la revolución crowdsourcing [7].

Se ha desarrollado el método StakeRare que utiliza las redes sociales y el filtrado colaborativo para identificar y priorizar los requisitos. Usando StakeRare, el ingeniero de requisitos pide a los grupos de interés identificados por el método StakeNet evaluar una lista inicial de requisitos y sugerir otros, recomienda otros requisitos relevantes a las partes interesadas mediante filtrado colaborativo, y prioriza las necesidades utilizando las votaciones y la prioridad de las partes interesadas de StakeNet [9].

Por último, para apoyar a los métodos, se ha desarrollado StakeSource, una herramienta de software novel que automatiza los procesos manuales en StakeNet. StakeSource recoge recomendaciones de las partes interesadas, se basa en la red social, y da prioridad a los grupos de interés de forma automática [9].

#### IV. CONCLUSIONES

- El éxito del procedimiento descrito se fundamenta en el grado de comunicación grupal y del efectivo apoyo de las herramientas de soporte al trabajo grupal, para lo cual se tomó como referencia principalmente las siguientes implicaciones: en la actividad de Información se involucró mecanismos para que el receptor pueda encontrar y acceder a la información. En la actividad de Coordinación se permitió a los involucrados consultar, registrar y negociar la disponibilidad y el uso de recursos. En la actividad de Colaboración se asignó responsabilidades y se proporcionó seguimiento al proceso (tareas, recursos, tiempos, etc.). En la actividad de Cooperación se aportó con asistencia para la toma conjunta de decisiones y soporte para el acceso concurrente a los recursos compartidos.
- Para la integración de las propiedades de las herramientas de CS utilizadas en las actividades de las formas de CW, se empleó el Awareness de estructura de grupo Trello ([www.trello.com](http://www.trello.com)), el mismo que permitió manejar particularmente dentro del equipo de trabajo: pertenencia, roles y responsabilidades.
- Producto de la investigación, se explica CrowdREquire, una plataforma que apoya la ingeniería de requisitos utilizando el concepto de crowdsourcing, la misma que especifica cómo la ingeniería de requisitos puede aprovechar las habilidades disponibles en la gente. Adicionalmente, se describen los métodos StakeNet y StakeRare, y la herramienta StakeSource, los mismos que son una de las primeras aplicaciones de las redes sociales y el filtrado colaborativo, que permiten

identificar y priorizar a los interesados y sus requisitos. Además apoyan la obtención de requisitos en grandes proyectos de software. Finalmente se espera que usando métodos como estos los proyectos de orden del día no fallen por la sobrecarga de información, la entrada inadecuada de interesados, y la priorización sesgada de requisitos.

## REFERENCIAS

- [1] Grudin, J. (1994). Computer-supported cooperative work: History and focus. *Computer*, (5), 19-26.
- [2] Grudin, J., & Poltrock, S. (2013). Computer supported cooperative work. *The Encyclopedia of Human-Computer Interaction*, 2nd Ed.
- [3] Portholes: supporting awareness in a distributed work group. Dourish y Bly. (1992).
- [4] Hosseini, Mahmoud, Phalp, Keith T, Taylor, Jacqui, & Ali, Raian. (2014). Towards crowdsourcing for requirements engineering.
- [5] A. Adepetu, A. Altaf Khaja, Y. Al Abd, A. Al Zaabi, and D. Svetinovic. 2012. CrowdREquire: a requirements engineering crowdsourcing platform. *The 2012 AAAI Spring Symposium Series*.
- [6] S. L. Lim, D. Quercia and A. Finkelstein. 2010. StakeSource: harnessing the power of crowdsourcing and social networks in stakeholder analysis. In *ICSE'10*: 239-242.
- [7] Adepetu, Adedamola, Ahmed, Khaja Altaf, Al Abd, Yousif, Al Zaabi, Aasha, & Svetinovic, Davor. (2012). CrowdREquire: A Requirements Engineering Crowdsourcing Platform. Paper presented at the AAAI Spring Symposium: Wisdom of the Crowd.
- [8] Lim, Soo Ling, Damian, Daniela, & Finkelstein, Anthony. (2011). StakeSource2. 0: using social networks of stakeholders to identify and prioritise requirements. Paper presented at the Proceedings of the 33rd international conference on Software engineering.
- [9] Lim, S. L. 2010. *Social Networks and Collaborative Filtering for Large-Scale Requirements Elicitation*. PhD, University of New South Wales, Sydney, Australia. Available at: [http://www.cs.ucl.ac.uk/staff/S.Lim/phd/thesis\\_soolinglim.pdf](http://www.cs.ucl.ac.uk/staff/S.Lim/phd/thesis_soolinglim.pdf)
- [10] Saavedra, E. A. H. Modelo de Awareness Basado en Topologías de Interacción para Espacios Virtuales de Trabajo Colaborativo.
- [11] J. H. Bair, "Supporting cooperative work with computers: addressing meeting mania," *COMPCON Spring 89*. Thirty-Fourth IEEE Computer Society International Conference: Intellectual Leverage, pp. 208-217.
- [12] R. Ali, C. Solis, M. Salehie, I. Omoronyia, B. Nuseibeh and W. Maalej. 2011. Social sensing: when users become monitors. In *ESEC/FSE11*.
- [13] R. Ali, C. Solis, I. Omoronyia, M. Salehie, and B. Nuseibeh. 2012. Social adaptation: when software gives users a voice. In *ENASE'12*.
- [14] D. Pagano and W. Maalej. 2013. User feedback in the appstore: An empirical study. In *Requirements Engineering Conference (RE)*, 2013 21st IEEE International: 125-134.
- [15] Lim, S. L., and Finkelstein, A. StakeRare: using social networks and collaborative filtering for large-scale requirements elicitation. submitted to the *IEEE Trans. on Soft. Eng.*
- [16] K. T. Stolee and S. Elbaum. 2010. Exploring the use of crowdsourcing to support empirical studies in software engineering. In *Proceedings of the 2010 ACM-IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement*: 35-38.

- [17] Innocentive.com. Home-innocentive. Accessed on 19 January 2012, at <https://www.innocentive.com/>.
- [18] iStockPhoto.com. istock photo: Royalty free stock photography, vector art images, music & video stock footage. Accessed on 19 January 2012, at <http://www.istockphoto.com/>.
- [19] Howe, J. 2006. The rise of crowdsourcing. *Wired magazine*.
- [20] Vukovic, M., and Bartolini, C. 2010. Towards a research agenda for enterprise crowdsourcing. In Margaria, T., and Steffen, B., eds., *Leveraging Applications of Formal Methods, Verification, and Validation*, volume 6415 of *Lecture Notes in Computer Science*. Springer Berlin / Heidelberg. 425-434.



**Espinel Patricio.** Nació en Latacunga Provincia de Cotopaxi en Ecuador. Es graduado de la Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga-Ecuador en Sistemas e Informática en el año 1999 y cuenta con: una Especialidad en Gestión de las Comunicaciones y Tecnologías de la Información de la Escuela Politécnica Nacional Quito-Ecuador, un Masterado en Ingeniería de Software de la Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga-Ecuador y actualmente está postulándose en el Doctorado en Ciencias de la Informática en la Universidad Nacional de la Plata-Argentina. Docente Tiempo Completo del Departamento de Eléctrica y Electrónica de la ESPE Extensión Latacunga. Email: [gpespinel@espe.edu.ec](mailto:gpespinel@espe.edu.ec).



**Alexandra Corral D.** Nació en Latacunga Provincia de Cotopaxi en Ecuador. Es graduada de la Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga-Ecuador en Sistemas e Informática en el año 1998 y cuenta con: Diplomado en Gestión del Desarrollo de Software en la Escuela Politécnica del Ejército, Diplomada en Gerencia de Marketing en la Universidad Autónoma de los Andes, un Masterado en Ingeniería de Software de la Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga-Ecuador y actualmente está postulándose en el Doctorado en Ciencias de la Informática en la Universidad Nacional de la Plata-Argentina. Docente Tiempo Parcial del Departamento de Eléctrica y Electrónica de la ESPE Extensión Latacunga. Email: [macorral@espe.edu.ec](mailto:macorral@espe.edu.ec).

# Análisis por el método de los elementos finitos de las cargas actuantes en los rodillos y engranes de un prototipo de laminador

## Stress analysis by finite element method of acting loads in on rollers and gears of a prototype of a laminator

Beltrán Reyna Roberto F.<sup>1</sup>, Santana Reyes Santiago A.<sup>2</sup>, Álvarez Cabrales Alexis<sup>2</sup>, Ramos Botello Yoan M.<sup>2</sup>, Morales Tamayo Yoandrys<sup>3</sup>, Pino Tarragó Julio C.<sup>4</sup>, Mena Mena Euro R.<sup>1</sup>, Terán Herrera Héctor C.<sup>1</sup>, Bucheli Andrade José G.<sup>5</sup>.

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica,  
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga- Ecuador.  
<sup>2</sup>Departamento de Ciencias Técnicas. Facultad de Ciencias Técnicas.  
Universidad de Granma, Cuba  
<sup>3</sup>Unidad Académica Ciencia de la Ingeniería y Aplicadas (CIYA),  
Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná, La Maná- Ecuador.  
<sup>4</sup>Unidad Académica Ciencia de la Ingeniería y Aplicadas (CIYA),  
Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga- Ecuador.  
<sup>5</sup>Departamento de Eléctrica y Electrónica  
Universidad de las Fuerzas Armadas  
ESPE, Latacunga- Ecuador

[rbeltrnr@espe.edu.ec](mailto:rbeltrnr@espe.edu.ec), [ssantanar@udg.co.cu](mailto:ssantanar@udg.co.cu), [aalvarezc@udg.co.cu](mailto:aalvarezc@udg.co.cu), [yramosb@udg.co.cu](mailto:yramosb@udg.co.cu), [ymoralesta83@gmail.com](mailto:ymoralesta83@gmail.com),  
[julio.pino@utc.edu.ec](mailto:julio.pino@utc.edu.ec), [ermena@espe.edu.ec](mailto:ermena@espe.edu.ec), [hcteran@espe.edu.ec](mailto:hcteran@espe.edu.ec), [jgbucheli@espe.edu.ec](mailto:jgbucheli@espe.edu.ec)

**Recibido:** Agosto 2015, **Publicado:** Diciembre 2015

**Resumen**— Los procesos de manufactura han ocupado en la actualidad gran parte del mercado mundial y de la industria metal mecánica, la obtención de chapas metálicas laminadas no queda exenta de todos estos avances tecnológicos. El objetivo del presente trabajo es determinar el comportamiento tensional de los principales componentes que forman parte de un laminador (rodillos de laminación y engranes de transmisión), a través de la modelación en software profesionales de diseño y su posterior análisis por el método de los elementos finitos (MEF). Los resultados obtenidos demuestran la factibilidad y viabilidad de fabricación de este tipo de máquinas, basado en el comportamiento de las tensiones y los esfuerzos resultantes, quedando demostrado a través de la distribución isocromática de factor de seguridad (FDS) que los elementos mecánicos resisten las sollicitaciones a las que estarán sometidos durante el cumplimiento de su destino de servicio.

**Palabras Claves**— Elementos finitos, engranes, laminador, rodillos, tensiones.

**Abstract**— The manufacturing processes have now occupied much of the world market and the industries mechanical metal, obtaining laminated sheet metal is not exempted from these technological advances. The aim of this study is to determine the stress behavior of the main components that are part of a rolling mill (mill rolls and gear transmission), through professional modeling design software and subsequent analysis by the method of the elements finite (MEF). The results demonstrate the feasibility and viability of manufacturing these machines, based on the

*behavior of the tensions and the resulting effort, being demonstrated through the isochromatic distribution of safety factor (FDS) that the mechanical elements resist stresses to which they will be subjected during the fulfillment of his destiny of*

**Keywords**— Finite elements, gears, laminator, rollers, stress.

### I. INTRODUCCIÓN

El laminado es una de las operaciones más usadas del conformado de metales debido a la utilización de los perfiles y láminas que se obtienen a partir de él. Más del 90% de los metales conformados son laminados. Por lo general las prácticas modernas tanto de aceración como de fabricación de diversos metales y aleaciones ferrosas y no ferrosas combinan los procesos de colada continua con los de laminación, lo que mejora en gran medida la productividad y disminuye los costos de producción (Kalpakjian, 2010).

En los últimos 20 años, la formulación de análisis matemáticos sofisticados en los procesos de conformado ha favorecido la creación de productos con mejor calidad, así como el aumento considerable de la eficiencia en la industria de la metalurgia.

El metal, conforme a lo expresado por A. Malishev (1987), en estado sólido es un cuerpo policristalino que consta de una gran cantidad de granos de forma geométrica



irregular, denominados monocristales. Para realizar la deformación plástica, el metal se somete a tensiones que rebasan el límite elástico y son inferiores al límite de rotura (Figura 1). La deformación plástica del monocristal se desarrolla, en lo fundamental, a base de traslaciones (deslizamientos) de un grupo de redes cristalográficas respecto a otro. Las traslaciones tienen lugar, principalmente, siguiendo los planos que están más densamente poblados por átomos. Al aumentar el grado de deformación los granos giran, se trituran y sus fragmentos se orientan en dirección de la deformación formando una estructura fibrosa.

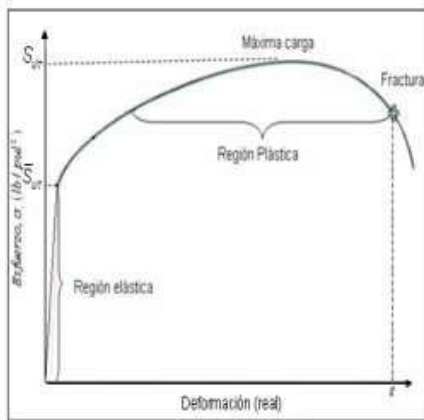


Fig. 1 Curva esfuerzo – deformación. (Mott, 2014)

La plasticidad de los metales, desde el punto de vista de los estados de la materia (líquido, sólido y gaseoso), puede valorarse como una etapa transitoria entre el estado sólido y el líquido (Salueña y Nápoles, 2000). Con la finalidad de aumentar la plasticidad del metal y disminuir la cantidad de trabajo que se consume en la deformación, antes de someter el metal a cualquier operación de conformado es necesario calentarlo hasta una determinada temperatura.

Para otros autores el conformado es un proceso en el que una masa de metal, o una aleación es sometida a fuerzas mecánicas. Bajo la acción de dicha fuerza mecánica, la forma y el tamaño de la pieza metálica cambian (Gupta, et al., 2009).

El laminado es el proceso de reducir el espesor, o modificar la sección transversal, de una pieza mediante fuerzas de compresión aplicadas a través de un juego de rodillos. La laminación, que representa un alto porcentaje de todos los metales producidos usando procesos de conformado, fue desarrollada por primera vez a comienzos del siglo XVI (Kalpakjian, 2010). M. Groveer (1997) plantea que el laminado es un proceso de deformación en el cual el espesor del material de trabajo se reduce mediante fuerzas de compresión ejercidas por dos rodillos opuestos, como se muestra en la figura 2.

En el laminado (Figura 2), de acuerdo con (Kalpakjian, 2010), una cinta metálica de espesor  $H_0$  entra en el espacio de laminación y un par de rodillos giratorios la reducen a un espesor  $H_f$ . La velocidad de la superficie de los rodillos es  $V_r$ . La velocidad de la cinta aumenta desde su valor de entrada  $V_0$  conforme se mueva a través del espacio de

laminación, de la misma manera en que un fluido incompresible debe fluir más rápidamente cuando pasa a través de un canal convergente. La velocidad en la superficie de los rodillos  $V_r$  debe de ser mayor que la velocidad de entrada  $V_0$ . La velocidad de la cinta será mayor a la salida del espacio de laminación y se denota  $V_f$ , el arco de contacto entre los rodillos y el material se denomina  $\alpha$ .

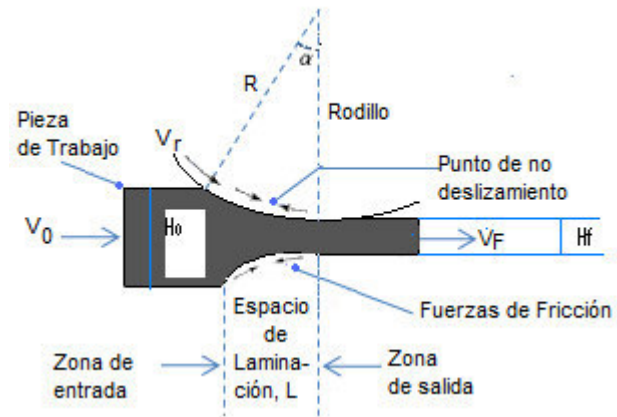


Fig. 2 Esquema de fuerzas y velocidades que actúan en el proceso de laminado (Kalpakjian, 2010)

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Requerimientos funcionales del laminador

Este laminador se diseña con el objetivo de reducir el espesor de cintas de latón tipo UNS C26000 recocido, las propiedades se encuentran en las tablas I y II respectivamente.

TABLA I  
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL LATÓN UNS C26000 RECOCIDO (MATWEB, 2012).

Dureza	125 HB
Resistencia a la flexión	130 MPa
Resistencia a la compresión	350 MPa
Módulo elástico	110 GPa
Coefficiente de Poisson	0,375
Elongación	55 %
Densidad	8,53 g/cm <sup>3</sup>

TABLA II  
COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL LATÓN UNS C26000 RECOCIDO (MATWEB, 2012).

Componentes	Proporción
Cobre (Cu)	68,5-71,5 %
Hierro (Fe)	Hasta 0,05 %
Plomo (Pb)	Hasta 0,07 %
Zinc (Zn)	28,5-31,5 %
Otros	Hasta 0,15 %

### B. Características típicas de los rodillos de laminación plana

Los rodillos de un laminador constan de la parte de trabajo, a la que se le une por ambos extremos los llamados cuellos, siendo estas las partes más pequeñas de los mismos, que sirven como sujeción del rodillo en los cojinetes (Malishev, 1987). Según S. Kalpakjian (2010), estos sufren cambios de forma geométrica, durante la laminación debido a las fuerzas que actúan directamente sobre los órganos de

trabajo (rodillos). Las fuerzas del laminado tienden a doblar los rodillos elásticamente durante la laminación, los cuales presentan un comportamiento similar al de una viga recta que se flexiona con una carga transversal. Debido a las deformaciones que experimentan los rodillos durante el cumplimiento de su destino de servicio, la cinta laminada tiende a ser más gruesa en el centro que en los extremos. Para evitar este problema se hace necesario rectificar los rodillos de manera tal que el diámetro en el centro sea un poco más grande que en sus extremos, (Nielsen, 2015).

### C. Características de los rodillos del laminador

En la figura 3 se muestran los rodillos del laminador con los respectivos engranes acoplados, los cuales aplican presión sobre la lámina en una pequeña área de contacto. Debido a la ley de acción y reacción, esta presión que se le aplica a la lámina es devuelta con la misma magnitud, pero en sentido opuesto sobre los rodillos. Sobre estas piezas también se encuentran aplicadas fuerzas tangenciales y radiales, debido a que son estas las que se encuentran incidiendo sobre los engranes. En el caso del rodillo inferior en uno de sus extremos está sometido a un momento torsor que provoca el movimiento de todo el conjunto. Estas piezas se apoyan en dos cojinetes de deslizamiento, los cuales restringen el movimiento, permitiéndoles solo rotar a una velocidad de  $10^{-1}$  min.

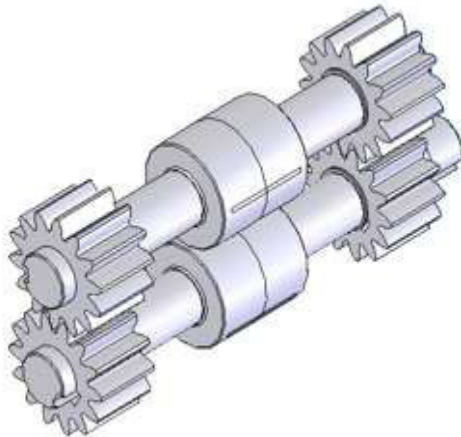


Fig. 3 Representación gráfica de los rodillos y engranes del laminador.

El material de estos rodillos es acero AISI 1040 estirado en frío, las propiedades mecánicas y composición química se encuentran en las tablas III y IV respectivamente.

TABLA III  
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO AISI 1040 ESTIRADO EN FRÍO

Dureza	143 HB
Resistencia a la flexión	450 MPa
Resistencia a la rotura	485 MPa
Módulo elástico	200 GPa
Coefficiente de Poisson	0,29
Elongación	12 %
Densidad	7,845 g/cm <sup>3</sup>

TABLA IV  
COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACERO AISI 1040 ESTIRADO EN FRÍO

Componentes	Proporción
Carbón (C)	0,37 – 0,43 %
Hierro (Fe)	98,6 – 99 %
Manganeso (Mn)	0,60 – 0,90 %
Fósforo (P)	Hasta 0,04 %
Azufre (S)	Hasta 0,05 %

Sin embargo, el material utilizado para los engranes es un acero AISI 4340 normalizado, el cual presenta buen comportamiento durante la aplicación de tratamiento térmico, con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas (usualmente el templado en aceite seguido de un revenido) lo que le permite poseer una buena combinación de ductilidad y dureza. Entre los usos más comunes de este tipo de material se encuentran: pasadores de biela y pistón, engranes, dados extrusores, válvulas, etc. Las propiedades mecánicas y la composición química se exponen en las tablas V y VI respectivamente.

TABLA V  
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO AISI 4340 NORMALIZADO

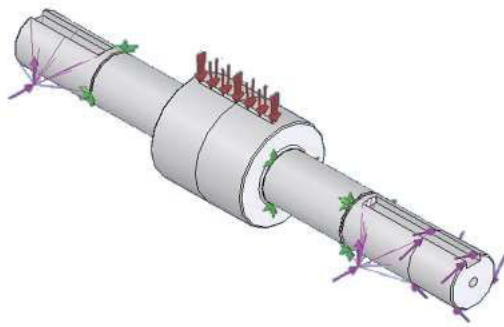
Dureza	321 HB
Resistencia a la flexión	710 MPa
Resistencia a la rotura	1110 MPa
Módulo elástico	205 GPa
Coefficiente de Poisson	0,29
Elongación	13,2 %
Densidad	7,85 g/cm <sup>3</sup>

TABLA VI  
COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACERO AISI 4340 NORMALIZADO

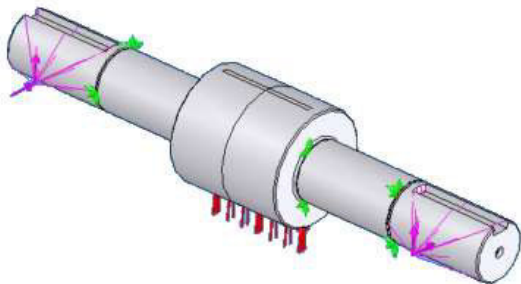
Carbón (C)	0,37 – 0,43 %
Cromo (Cr)	0,70 – 0,90 %
Hierro (Fe)	95,19% – 96,33 %
Manganeso (Mn)	0,60 – 0,80 %
Molibdeno (Mo)	0,20 – 0,30 %
Níquel (Ni)	1,65 – 2,0 %
Fósforo (P)	Hasta 0,035 %
Silicio (Si)	0,15 – 0,30 %
Azufre (S)	Hasta 0,040 %

### D. Análisis por el MEF de los rodillos del laminador

Para iniciar el análisis, utilizando el Método de Elementos Finitos (MEF), los rodillos se modelaron por medio de un software de diseño mecánico, posteriormente se definió el tipo de material (tabla III). Se aplicó el valor de la presión de  $2,972 \cdot 10^8$  Pa. Los valores de las fuerzas tangencial y radial poseen valores de 2225 N, fuerzas estas que se aplicaron como cargas remotas, puestos que estas son las fuerzas que actúan sobre los engranes, la representación de estas fuerzas se muestra en las figuras 4 y 5 para los rodillos inferior y el superior respectivamente.



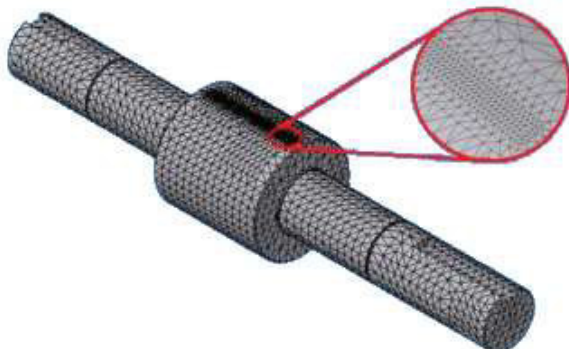
**Fig. 4 Representación gráfica de las restricciones del rodillo inferior (RI).**



**Fig. 5 Representación gráfica de las restricciones del rodillo superior (RS).**

Las restricciones que se establecieron en cada pieza solamente permiten el movimiento rotacional, imposibilitando otro tipo de traslación, como muestra en las figuras 4 y 5, el rodillo inferior (RI) tiene la particularidad de estar sometido además a un momento torsor con un valor igual a 85,65 J.

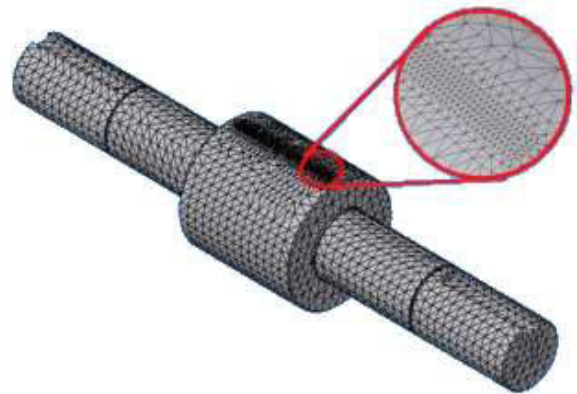
Para el mallado se escogió un elemento sólido tetraédrico de alto orden (10 nodos) con 3 grados de libertad por nodo con un tamaño global de 5,8 mm y una tolerancia de 0,29 mm, para ambos rodillos a calcular, aspectos estos que fueron preestablecidos por el software atendiendo a las características del modelo CAD. Para garantizar precisión en los resultados en la zona de contacto de ambos rodillos se realizó un control del mallado, con un tamaño de elemento de 1 mm para ambos rodillos. La malla del rodillo inferior (RI) tiene 56125 elementos y 80617 nodos. La malla del rodillo superior (RS) tiene 48802 elementos y 71133 nodos como se puede observar en las figuras 6 y 7 respectivamente.



**Fig. 6 Representación gráfica del mallado de rodillo inferior (RI)**

*E. Análisis por el MEF del engrane para los esfuerzo de contacto*

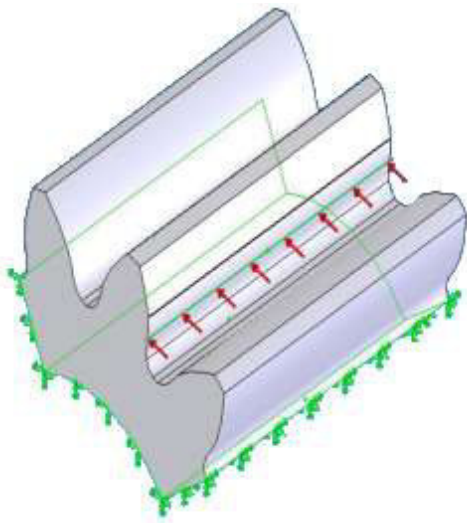
Con la finalidad de simular las condiciones de operación real se toma el punto más crítico de funcionamiento, cuando un solo par de dientes recibe toda la carga (punto de contacto único inferior) según lo establecido por (Carro, et al., 2012). Debido a que el RS se desplazará cierta distancia del RI, lo que traerá como consecuencia un aumento en la longitud existente entre los centros de los engranes, por tanto la circunferencia primitiva ajustada se desplazará a la mitad de la distancia entre los centro de los engranes y a partir de esta posición se establecen los puntos de contacto único inferior y superior, muy cerca de la circunferencia primitiva. Esta circunferencia primitiva ajustada sirve también como eje de simetría para el área de contacto. En este estudio sobre el área establecida se aplicará la presión cuyo valor es  $4,636 \cdot 10^8$  Pa.



**Fig. 7 Representación gráfica del mallado de rodillo superior (RS).**

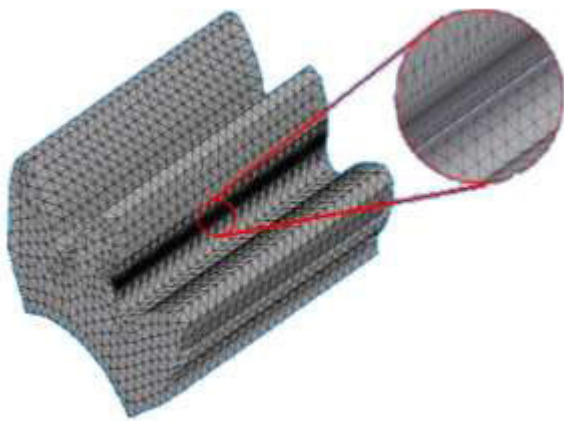
Las restricciones no le permiten al engrane rotar ni moverse en ningún eje de traslación (el engranaje rota a medida que lo hace el rodillo), por lo que las restricciones del modelo son fijas sin ningún grado de libertad y se establecen en la zona donde el engrane se monta con el rodillo y en las caras adyacentes, a donde se hizo el corte del engrane para simplificar el modelo, como se muestra en la figura 8.





**Fig. 8** Representación gráfica de las restricciones del engrane para los esfuerzos de contacto.

El tipo de malla utilizado es el mismo que se empleó en los rodillos superior e inferior, tiene un tamaño general de 2 mm con una tolerancia de 0,09 mm, para obtener un resultado más exacto, en el área de contacto se emplea una malla fina con elementos de un tamaño de 0,3 mm, atendiendo a todas estas características la malla tiene 43101 elementos y 63683 nodos, aspectos estos que fueron preestablecidos por el software atendiendo a las características del modelo CAD; como se puede observar en la figura 9.

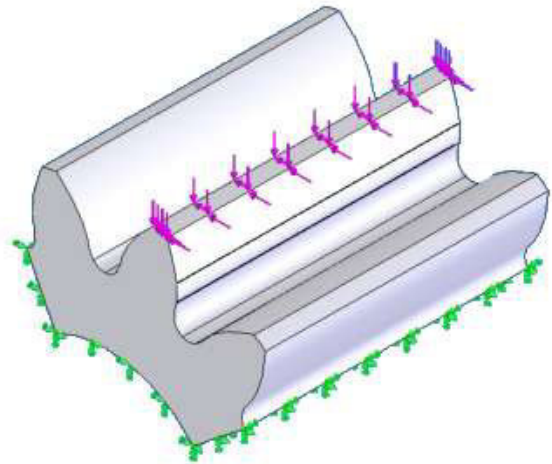


**Fig. 9** Representación gráfica del mallado del engrane para los esfuerzos de contacto.

*F. Análisis por el MEF del engrane para el esfuerzo de flexión*

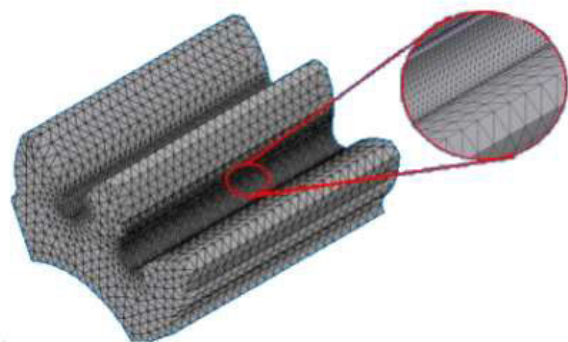
Las cargas actuantes que determinan la falla del diente son la fuerza tangencial y fuerza radial, ambas son componentes de la carga normal. Para la AGMA estas fuerzas actúan en la cabeza del diente, además de considerar la carga distribuida uniformemente a lo largo de toda la línea de contacto, estudios realizados por J. Carro (2011) han tomado como basamento este principio. Por lo tanto como se muestra en la

figura 10 las componentes radial y tangencial de la fuerza normal se sitúan en la cabeza del diente y las restricciones en la zona donde se ensambla en el rodillo, en las caras adyacentes a donde se hizo el corte.



**Fig. 10** Representación gráfica de las restricciones del engrane para los esfuerzos a flexión.

En este estudio el tipo de malla utilizado es igual a la empleada para el análisis de los engranes para los esfuerzos de contacto; el tamaño global de la misma fue de 2 mm, una tolerancia de 0,1 mm. Debido a que el área de especial interés en este tipo de análisis es la base de los dientes, fue en esta zona donde la densidad del mallado fue más pequeña, el tamaño del elemento de la malla fue de 0,6 mm. La cantidad de elementos y de nodos fue de 154917 y 28196 respectivamente, aspectos estos que fueron preestablecidos por el software atendiendo a las características del modelo CAD, como se evidencia en la figura 11.



**Fig. 11** Representación gráfica del mallado del engrane para los esfuerzos de contacto.

**III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

Para desarrollar el presente estudio y obtener los resultados que se muestran a continuación, se utilizaron software de Ingeniería y Diseño Asistido por Computadora (CAD - CAE) empleando el Método de los Elementos Finitos como herramienta de simulación.

Las cargas que actúan sobre los rodillos generan tensiones internas en el material, por lo que se hace necesario determinar las tensiones de von Mises- Hencky o criterio de

fallo elástico, estas tensiones se expresan como un valor escalar proporcional a la energía de deformación elástica de distorsión, además de ser las resultantes de las componentes de las tensiones máximas en los tres ejes de coordenadas.

La teoría del fallo elástico establece que los materiales comienzan a ceder en una cierta ubicación una vez que el valor de la tensión de von Mises se iguala al límite de tensión del material en cuestión.

Para el caso del rodillo inferior (RI) las tensiones de von Mises alcanzan el valor máximo de  $2,969 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$  como se muestra en la figura 12; donde se puede apreciar que la máxima concentración de las tensiones se encuentra en el área de contacto de la lámina con el rodillo, este resultado se debe al alto valor de las cargas concentradas en esta zona cuando se laminan las cintas. Otra importante zona de concentración de las tensiones es el área de cambio de sección transversal del rodillo, producto a la propia geometría de esta pieza. Para disminuir el valor de las tensiones en esta región se han considerado radios que permitirán un suave cambio de sección transversal y un alivio de dichas tensiones.

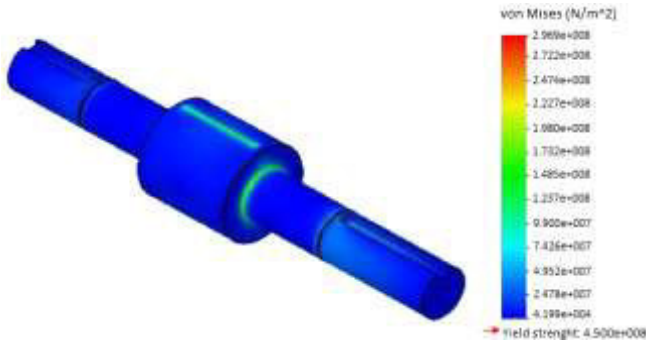


Fig. 12 Representación gráfica de tensiones de von Mises en el rodillo inferior (RI).

En la figura 13 se puede apreciar la forma en que progresan las tensiones en el rodillo inferior (RI), al actuar las cargas sobre la pieza estas generan esfuerzos internos prematuros en las zonas de contacto y cambio de sección y luego sobre las demás áreas de la pieza.



Fig. 13 Representación gráfica del progreso de las tensiones de von Mises en el rodillo inferior (RI).

El factor de seguridad en el RI es de 1,3 como se muestra en la figura 14, el valor numérico es mayor que 1 por lo que

se puede expresar que las máximas tensiones internas en la pieza producto de las cargas actuantes no sobrepasan el límite elástico, por lo que las deformaciones no serán permanentes.

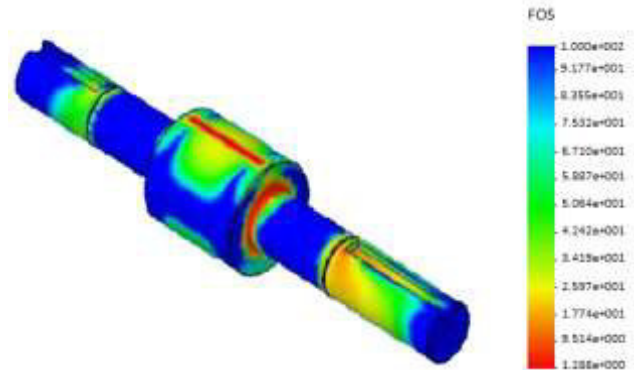


Fig. 14 Representación gráfica de la distribución del factor de seguridad en el rodillo inferior (RI).

Como se muestra en la figura, las zonas más peligrosas en este rodillo se encuentran en las áreas de laminado y cambio de sección transversal, en la zona donde se aplica el momento torsor existe una lógica distorsión en el estado tensional la cual no es significativa, igualmente ocurre en las zonas donde se encuentran ubicados los engranes.

En el rodillo superior (RS) las tensiones de von Mises tienen un comportamiento similar al RI, con un valor máximo de  $2,796 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$ , como se muestra en la figura 15.

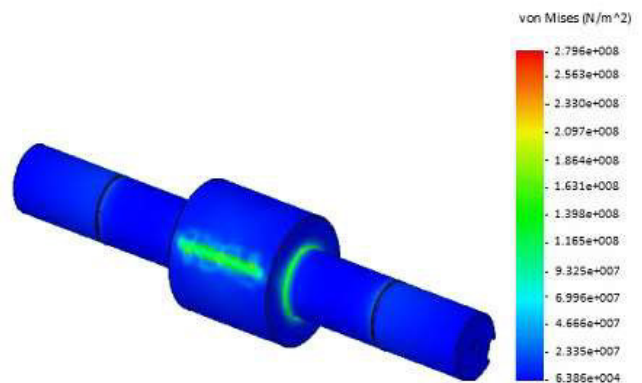


Fig. 15 Representación gráfica de tensiones de von Mises en el rodillo superior (RS).

Como en el RI, el progreso de las tensiones internas ocurre de manera similar en el RS solo que en esta pieza no existe, un valor significativo de los esfuerzos internos en el extremo ya que la transmisión de momento torsor no ocurre en esta zona sino a través de los engranes. Producto de la acción de las cargas, las tensiones internas se producen de forma prematura, debido a la configuración de la pieza y a la acción de las cargas sobre la misma como se observa en la figura 16.



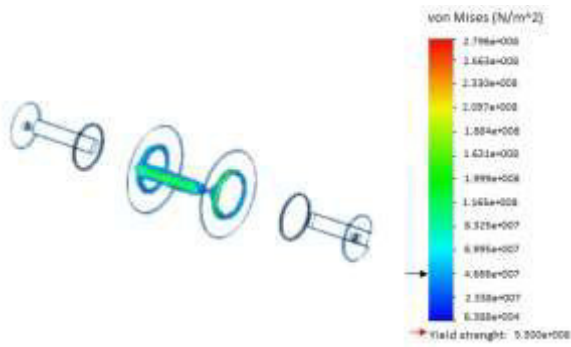


Fig. 16 Representación gráfica del progreso de las tensiones de von Mises en el rodillo superior (RS).

El factor de seguridad en esta pieza es de 1,9 como se evidencia en la figura 17, al igual que el rodillo inferior las tensiones máximas que se generan no comprometen el desempeño del rodillo, porque las cargas no alcanzan valores que causen deformaciones plásticas en el material. Las zonas más peligrosas son las se encuentran en contacto con la cinta a laminar, el cambio de sección transversal.

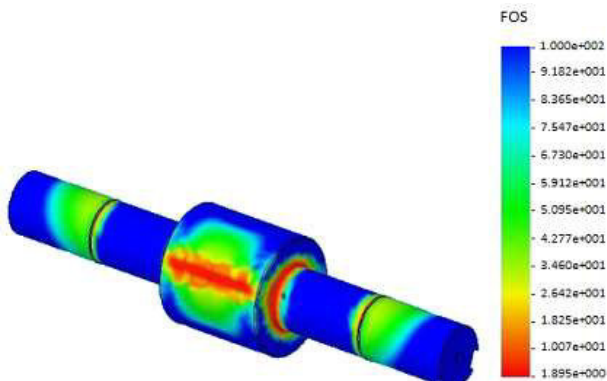


Fig. 17 Representación gráfica de la distribución del factor de seguridad en el rodillo superior (RS).

Al realizar el análisis usando el MEF las tensiones que se generan en los engranes producto al esfuerzo de contacto son de  $3,689 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$ , como se muestra en la figura 18. Claramente se demuestra que la concentración de las máximas tensiones se encuentra localizada en el área de contacto (según Hertz), en las otras regiones del engrane los esfuerzos internos no son significativos.

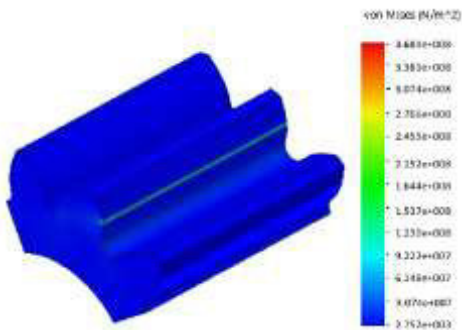


Fig. 18 Representación gráfica de las tensiones de von Mises causadas por los esfuerzos de contacto en los engranes.

El valor del factor de seguridad es de 1,925 lo que está en

concordancia con el tipo de material asignado al engrane, por lo que se puede afirmar que las cargas actuantes no deformarán permanentemente el diente del engrane durante su funcionamiento, como se puede observar en la figura 19.

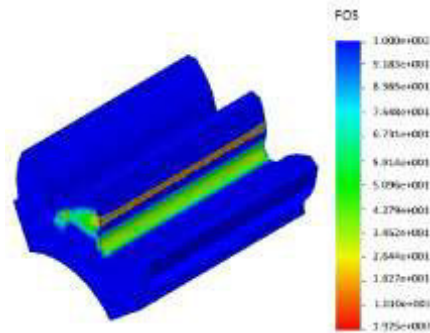


Fig. 19 Representación gráfica del factor de seguridad causado por los esfuerzos de contacto en los engranes.

Las tensiones máximas, para el esfuerzo de flexión, son de  $3,971 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$ , como se evidencia en la figura 20, y se encuentran ubicadas en la base del diente, lo cual demuestra que estas tensiones quedan por debajo del límite elástico del material, por lo que la pieza en cuestión podrá cumplir con su destino de servicio.

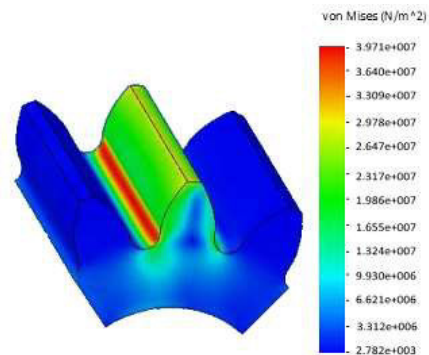


Fig. 20 Representación gráfica de las tensiones de von Mises causadas por los esfuerzos de flexión en los engranes.

El valor del factor de seguridad alcanza el valor de 11 quedando por encima de 1, esto se debe a que los esfuerzos de flexión no son los principales a los que está sometido un engrane, y por tanto se puede afirmar que las fuerzas actuantes en este estudio no deformarán plásticamente el diente del engrane durante su funcionamiento, como se observa en la figura 21.

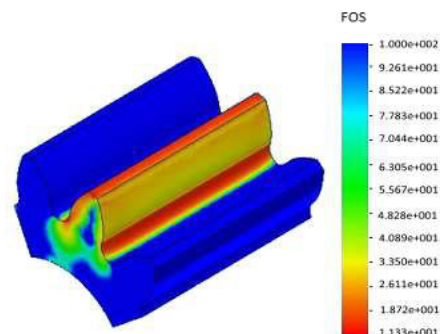


Fig. 21 Representación gráfica del factor de seguridad causado por los esfuerzos de flexión en los engranes.

#### IV. CONCLUSIONES

Los resultados muestran que es posibilidad fabricar el laminador, teniendo en cuenta las condiciones de diseño, las tensiones que intervienen durante el funcionamiento, los esfuerzos máximos tanto los de contacto como los de flexión para el caso de los engranes. Se puede afirmar que los elementos presentan un factor de seguridad aceptable para el cumplimiento de su destino de servicio, por lo cual la fiabilidad de trabajo de cada una de las piezas se encuentra dentro de los valores preestablecidos.

#### REFERENCIAS

- [1] S. Kalpakjian, "Manufactura, ingeniería y tecnología", Vol. II La Habana: Ed. Félix Valera, 2010.
- [2] A. Malishev, "Tecnología de los metales", Moscú: Ed. Mir, 1987.
- [3] Robert MOTT, "Diseño de elementos de máquinas", Vol. II La Habana: Ed. Félix Valera, 2010.
- [4] X. Salueña y A. Nápoles, "Tecnología mecánica", Barcelona: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL, 2000.
- [5] H. N. Gupta, R. C. Gupta, y A. Mittal, "Manufacturing Processes", Secon Edition ed. New Delhi New Age International (P) Ltd, 2009.
- [6] M. Groveer, "Fundamentos de la Manufactura Moderna", Naucalpan de Juárez. Estado de México: Pretince-Hall Hispanoamericana, S. A., 1997.
- [7] Matweb, "Cartridge Brass, UNS C26000 (260 Brass), OS025 Temper flat products", (Disponible en: www.matweb.com), (Consultada el, 8 de mayo 2015).
- [8] J. Carro, "Propuesta metodológica para el análisis de engranes rectos aplicando ingeniería asistida por computadora", en 10º Congreso Nacional de Mecatrónica Puerto Vallarta, Jalisco: Universidad Politécnica de Tlaxcala 2011.
- [9] J. Carro, F. Flores, e I. Flores, "Análisis de esfuerzo de contacto en engranes rectos aplicando el criterio de Hertz con ingeniería asistida por computadora", en Científica. Vol. 16 México: ESIME Instituto Politécnico Nacional México, 2012, pp. 25-32.
- [10] K.L. Nielsen, "Rolling induced size effects in elastic-viscoplastic sheet metals", European Journal of Mechanics – A/Solids, Volumen 53, September – October 2015, Pages 259-267.



**Beltrán Roberto.** Nació en Manzanillo provincia de Granma en Cuba. Es graduado de la Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya", Holguín – Cuba en Ingeniería Mecánica en el año 2009 y cuenta con un masterado en Diseño y Manufactura Asistida por Computadoras (CAD-CAM) de la Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya", Holguín – Cuba. Actualmente es docente del departamento de Ciencia de la Energía y

Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE" en la ciudad de Latacunga Ecuador.



**Álvarez Alexis.** Nació en Bayamo provincia de Granma en Cuba. Es graduado de la Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya", Holguín – Cuba en Ingeniería. Actualmente es docente del departamento de Ciencias Técnicas de la Universidad de Granma en la ciudad de Bayamo Cuba.



**Ramos Yoan.** Nació en Bayamo provincia de Granma en Cuba. Es graduado de la Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya", Holguín – Cuba en Ingeniería Mecánica en el año 2008 y cuenta con un masterado en Diseño y Manufactura Asistida por Computadoras (CAD-CAM) de la Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya", Holguín – Cuba. Actualmente es docente del departamento de Ciencias Técnicas de la

Universidad de Granma en la ciudad de Bayamo Cuba.



**Morales Yoandrys.** Nació en Manzanillo provincia de Granma en Cuba. Es graduado de la Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya", Holguín – Cuba en Ingeniería Mecánica en el año 2007, cuenta con un masterado en Diseño y Manufactura Asistida por Computadoras (CAD-CAM) de la Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya", Holguín – Cuba. Y además posee un Doctorado en

Ciencias relacionado con la manufactura de metales obtenido en la Universidad Politécnica de Madrid, España en el 2014. Actualmente es docente de la Unidad Académica, Ciencia de la Ingeniería y Aplicada (CIYA) de la Universidad Técnica de Cotopaxi en la ciudad de La Man – Ecuador.



**Pino Julio.** Nació en Holguín provincia de Holguín en Cuba. Es graduado de la Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya", Holguín Cuba en Ingeniería Mecánica en el año 1993 y cuenta con un masterado en Maquinaria Agrícola en la Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya", Doctor en Ciencias Técnicas en la Universidad Politécnica de Madrid. Actualmente es docente de la Unidad Académica, Ciencia de la Ingeniería y Aplicada (CIYA) de la Universidad

Técnica de Cotopaxi en la ciudad de Latacunga – Ecuador.



**Mena Euro.** Nació en Quevedo provincia de Los Ríos en Ecuador. Es graduado de la Universidad de las Fuerzas Armadas, en Ingeniería Automotriz en el año 1997. Actualmente es docente del departamento de Ciencia de la Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE" en la ciudad de Latacunga Ecuador.



**Terán Héctor.** Nació en New York, Estados Unidos. Es graduado Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador en el año 2008, de Ingeniero Electromecánico, y cuenta con diplomado en Redes Industriales. Máster en Gestión de Energías y en Seguridad Industrial y Riesgos del trabajo. Actualmente es docente del departamento de Ciencia de la Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas

Armadas "ESPE" en la ciudad de Latacunga Ecuador.

# Utilización de la planta *Jatropha Curcas* como energía renovable para el desarrollo ambiental y sostenible de una finca en la provincia Granma, Cuba

## Use of *Jatropha Curcas* plant as renewable energy for environmental and sustainable development of a farm in Granma province, Cuba

Bárzaga Quesada Joao L.<sup>1</sup>, Rodríguez Ponce Yoandro <sup>1</sup>, Mena Mena Euro R.<sup>2</sup>,  
Beltrán Reyna Roberto F.<sup>2</sup>, Lorente Leyva Leandro L.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Mecánica,  
Universidad de Granma, Granma, Cuba.

<sup>2</sup> Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica,  
Universidad de las Fuerzas Armadas  
ESPE, Latacunga- Ecuador.

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas,  
Universidad Técnica del Norte, Ibarra – Ecuador.

[joaobarzaga@gmail.com](mailto:joaobarzaga@gmail.com), [yrodriguezp@udg.co.cu](mailto:yrodriguezp@udg.co.cu), [ermena@espe.edu.ec](mailto:ermena@espe.edu.ec),  
[rfbeltrnr@espe.edu.ec](mailto:rfbeltrnr@espe.edu.ec), [llorente@utn.edu.ec](mailto:llorente@utn.edu.ec)

**Recibido:** Octubre 2015, **Publicado:** Diciembre 2015

**Resumen**— *La presente investigación se basa en la utilización de fuentes de energía renovable para lograr un desarrollo ambiental y sostenible de la finca Antonio Sánchez Días y con ello disminuir el cambio climático que se genera en el mundo actualmente. Para lograr tal objetivo se plantea la siembra de la planta *Jatropha Curcas* para la reforestación y disminución del impacto ambiental permitiendo obtener aceite de sus frutos, y con los subproductos de la planta y desechos de los animales de cría que poseen, producir biocombustibles.*

*Como resultado de la investigación se puede observar que se logró extraer y caracterizar el aceite de la planta obteniéndose valores similares a otros trabajos que según las normas utilizadas el aceite se puede utilizar como biocombustible en la generación de energía eléctrica y en tractores agrícolas pertenecientes a la finca, además se obtuvieron las dimensiones de un biodigestor para la producción de biogás que generará a los 40 días de operación un volumen de 29 m<sup>3</sup> de gas para la cocción de alimentos.*

**Palabras Claves**— *Energía Renovable, cambio climático, biocombustibles.*

**Abstract**— *The present research is based on the renewable energy sources utilization to achieve an environmental and sustainable development of the Antonio Sánchez Días farm and with it decreasing the climatic change that is generated in the world at present. In order to achieve such objective it proposes the planting of the *Jatropha Curcas* plant for reforestation and decrease of the environmental impact allowing getting oil from his fruits and use residual products*

*and animal wastes to producing biofuels.*

*As a result of the research it can be seen to be able to extract and characterize the plant oil yield values similar to other work according to the rules used the oil can be used as biofuel in power generation and agricultural tractors belonging to the farm, besides were obtained the size of a digester to produce biogas that will generate 40 days of operation a volume of 29 m<sup>3</sup> of gas for cooking food.*

**Keywords**— *renewable energy, climatic change, biofuels.*

### I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial cada día se logran pasos importantes en la implementación del uso de Energías Renovables en cualquiera de sus variantes para hacer del planeta Tierra un lugar limpio y evitar el uso excesivo de combustibles fósiles los cuales afectan en gran magnitud al Medio Ambiente.

Los aceites vegetales han sido uso de investigaciones para comprobar sus propiedades y utilizarlos como biocombustibles ejemplos de estos se encuentran los productos de la palma, colza, soya, maní, girasol, higuera y en la actualidad la *Jatropha Curcas*.

Especialmente la *Jatropha Curcas* ha ganado atención en países tropicales y subtropicales porque que se ha esparcido más allá de su centro de origen, por su vigor, propagación fácil, resistencia a la sequía, su alto contenido de aceite, el

crecimiento rápido, la adaptación a diferentes condiciones agro-climáticas, así como los múltiples usos que presenta. El potencial completo de la *Jatropha Curcas* no ha sido del todo demostrado debido a varias razones tecnológicas y económicas. Una de las razones principales es la falta de variedades flexibles con alto contenido de aceite (Divakara, 2010).

En muchos países tropicales de América y África se usa ampliamente como cerca viva, tutores de otros cultivos, control de la erosión y como árbol de sombra y ornato. Asimismo, puede ser una excelente alternativa en la reforestación de zonas erosionadas, para los agricultores que se encuentran en regiones donde sus cultivos han perdido el valor comercial, para aquellas tierras que no son aptas para cultivo, e inclusive como cultivo alternativo (Heller, 1996; Toral et al., 2008).

Heller (1996) y Toral et al. (2008) plantean que el aceite de la semilla es una fuente de energía renovable no convencional, de bajo costo y amigable con el ambiente, además de ser un sustituto para el diesel, el keroseno y otros combustibles. En los frutos y semillas se han reportado propiedades contraceptivas. Las semillas enteras contienen entre 35 y 38 % de aceite, y las semillas descascaradas y frescas alrededor de 37 %. El aceite es incoloro, inodoro y muy fluido.

Los aceites vegetales pueden ser usados directamente o mezclados con diesel para accionar motores de ignición por compresión. Estos y sus mezclas con diesel mineral han sido puestos a prueba a nivel mundial, los cuales son los aceites de *Jatropha*, karanja, colza, de desperdicio de cocina, aceite de marihuana deccan, jojoba, de semilla de caucho, de palma, etcétera. Altas concentraciones de aceite se utilizan mediante el precalentamiento antes de la inyección al cilindro. Las pruebas de operación del motor a corto plazo han indicado potencial para la mayoría de aceites vegetales como combustible mediante la mezcla y el precalentamiento (Agarwal, A. K. y Dhar, 2010).

Luego de la extracción del aceite se obtienen subproductos como partes de las semillas y la denominada torta las cuales poseen nutrientes orgánicos en mayor medida que el pollo y el ganado, además sirven de suministro para la producción de biogás y así lo ha declarado Achten et al. (2008) en su investigación donde además plantea que estos desechos se pueden utilizar como fertilizantes.

Varios autores como Heller (1996), Agarwal, D. y Agarwal (2007), Sotolongo et al. (2007), Kumar y Sharma (2008), Nahar y Ozores-Hampton (2011), Raja et al. (2011) Grimsby et al. (2012), Chen et al. (2013) apuntan a la *Jatropha curcas* como una planta de gran importancia para el desarrollo ambiental y sostenible para zonas rurales debido su fácil adaptación a cualquier clima, la protección que brinda a los suelos y su reforestación, además de ser gran fuente de biomasa y el aceite de su semilla tener excelentes propiedades para ser utilizado como biocombustible.

En Cuba tras la necesidad del uso de las Energías Renovables se comenzó a expandir el uso de muchas variantes, es por ello que se toma la planta *Jatropha Curcas*

para su uso como biomasa debido a la facilidad de adaptación en suelos cubanos y que se caracteriza por no ser comestible lo que favorece su rápida expansión y aprovechamiento.

En la finca de autoconsumo Antonio Sánchez Días ubicada en la zona rural el Caney de las Mercedes del municipio Bartolomé Masó de la provincia Granma, ante la necesidad de desarrollo ambiental y sostenible requerida a nivel mundial se llevaron a cabo labores de siembra y cultivo de la planta *Jatropha Curcas* en suelos no cultivables y otros que si con el objetivo de utilizar los subproductos de dicha planta como fuente de Energía Renovable para garantizar el desarrollo local del área y la disminución del uso de combustibles fósiles y con ello el impacto ambiental.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

Para lograr el objetivo que se planteaba en la finca antes mencionada se realizaron plantaciones de *Jatropha* pertenecientes a la variedad africana que en la actualidad llevan 4 años de explotación y junto a la cría de animales como ganado vacuno y ovino, caballos y cerdos se aprovecharán todo tipo de biomasa para la producción de biogás y biocombustible producto del aceite de las semillas.

### A. Extracción y caracterización del aceite de *Jatropha Curcas*

Para la obtención del aceite y el subproducto primeramente se recolectaron los frutos secos, los mismos fueron introducidos en una descascaradora (ver figura 1) para eliminar la cúpula de las semillas.



**Fig. 1 Máquina descascaradora.**





Fig. 2 Sistema máquina extractora (A) – filtros (B).

Luego se extrajo el aceite en una máquina extractora marca Fiellin (ver figura 2) de procedencia italiana con una capacidad de producción de 70 litros diarios, después el aceite de la *Jatropha Curcas* fue filtrado con el objetivo de eliminar algunas impurezas provenientes de la cosecha y su posterior manipulación.

#### B. Caracterización del aceite de *Jatropha Curcas*

Para lograr la utilización del aceite como biocombustible es indispensable conocer propiedades como la viscosidad y la densidad, las cuales afectan en mayor medida el funcionamiento de un motor de combustión interna diésel, para ello se muestra la tabla 1 donde se pueden apreciar las propiedades evaluadas.

TABLA 1.  
NORMAS EMPLEADAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES

Propiedades	Norma empleada	Unidad
Viscosidad cinemática	ASTM D 445-04	cSt
Densidad	ASTM D 287-92	g/cm <sup>3</sup>
Insolubles	ASTM D 893-97	%
Punto de inflamación	ASTM D 93-02	°C

#### C. Evaluación de desechos sólidos y líquidos para la producción de biogás

Para la producción del biogás se cuenta básicamente con 20 vacas, 30 cerdos y 25 carneros, y con el subproducto de la extracción del aceite de la *Jatropha Curcas*. El biodigestor que se propone construir es del modelo chino con cúpula tipo bóveda. Para llevar a cabo el dimensionamiento del mismo se utilizaron principalmente las siguientes ecuaciones:

$$S_d = (1 + N) \cdot M_d \quad (1)$$

Donde:

S<sub>d</sub>: Cantidad de material de entrada (l/día).

N: Tasa de disolución (l/día).

M<sub>d</sub>: Cantidad de Material (kg/día).

$$G = \frac{M_d \cdot Y}{1000} \quad (2)$$

Donde:

G: Capacidad del biodigestor (m<sup>3</sup>).

Y: Producción de biogás (l/día).

$$V_d = \frac{S_d \cdot RT}{1000} \quad (3)$$

Donde:

V<sub>d</sub>: Volumen de descompuesto (m<sup>3</sup>).

RT: Tiempo de retención (día).

$$V_g = G \cdot K \quad (4)$$

Donde:

V<sub>g</sub>: Volumen de contención del gas (m<sup>3</sup>).

G: Capacidad del biodigestor.

K: Coeficiente de contención de gas (Depende de la temperatura ambiente)

$$V = V_d + V_g + V_c \quad (5)$$

Donde:

V: Volumen del biodigestor (m<sup>3</sup>).

V<sub>c</sub>: Volumen del espacio muerto (m<sup>3</sup>).

Para lograr el cálculo de cada una de las ecuaciones hicieron algunos datos preconcebidos para ello se presentan las tablas 2 y 3. En la tabla 2 se presenta la producción de biogás y en la tabla 3 la cantidad de material de desecho que aporta cada animal.

TABLA 2.  
DATOS DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS POR ANIMALES

Animal	Producción de biogás	Unidad
Ganado vacuno	30	l/día
Ganado ovino	30	l/día
Cerdo	50	l/día

TABLA 3.  
MATERIAL DE DESECHO APORTADO POR CADA ANIMAL

Animal	Producción de biogás	Unidad
Ganado vacuno	18	kg/día
Ganado ovino	3	kg/día
Cerdo	3	kg/día

### III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Para desarrollar el presente estudio y obtener los resultados que se muestran a continuación, se hizo necesario analizar el aceite de la planta *Jatropha Curcas* y de las posibilidades que brindaba la finca de autoconsumo Antonio Sánchez Días para la utilización del aceite de la misma así como sus desechos para la producción de Energía Renovable complementado con los desechos animales que permitieron el dimensionamiento de un biodigestor para la producción de biogás.

#### D. Propiedades obtenidas del aceite de *Jatropha curcas*

Las propiedades del estudio realizado al aceite en cuestión se pueden observar en la tabla 4 las cuales pueden ser



comparadas con estudios similares como los obtenidos por Pramanik (2003), Piloto et al. (2011) y Mehta et al. (2012).

**TABLA 4.**  
**PROPIEDADES OBTENIDAS DEL ACEITE DE JATROPHA CURCAS**

Propiedades	Valor	Unidad
Viscosidad cinemática	12,49	cSt
Densidad	0,9207	g/cm <sup>3</sup>
Insolubles	0,066	%
Punto de inflamación	238	°C

Según las propiedades del aceite caracterizado y teniendo en cuenta los resultados obtenidos por Errasti (2013) en su investigación con variedad similar en Cuba, se usará como biocombustible para la generación eléctrica de la finca y la zona rural cercana. La forma de utilización del biocombustible será a través de 20 % de aceite con 80 % de diésel y se procederá a evaluar el funcionamiento de tractores agrícolas, además se utilizará esta misma fórmula durante el laboreo del suelo y otras acciones en la finca para con esto contribuir al desarrollo sostenible y ambiental que se busca, sobre todo por los pocos requerimientos que se exigen para la producción de este biocombustible. Además con la expansión de la siembra de la planta se podrá reforestar áreas que no se utilizan y de esta forma aumentar la producción del aceite.

#### E. Resultados del dimensionamiento del biodigestor

Las dimensiones del biodigestor que se utiliza en la actualidad en la finca se obtuvieron a través de varias ecuaciones y las principales que se expusieron anteriormente. Para ello se muestra la tabla 5 con los datos calculados y teniendo en cuenta los 1575 L/día de material de entrada.

**TABLA 5.**  
**DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR**

Propiedades	Valor	Unidad
Volumen de descompuesto	63	m <sup>3</sup>
Capacidad del biodigestor	57,75	m <sup>3</sup> /día
Volumen de contención del gas	28,87	m <sup>3</sup>
Volumen del biodigestor	96,46	m <sup>3</sup>

Las dimensiones del biodigestor se obtuvieron mediante ecuaciones geométricas a través del volumen del equipo donde se diseñó uno tipo chino con 3,00 m de diámetro y 2,5 m de alto, la cúpula tiene una altura de 0,95 m y el reservorio final de gas posee 0,6 m de altura y 0,3 m de diámetro. Para que se pueda observar se presenta la figura 3.



**Fig. 3 Biodigestor**

#### IV. CONCLUSIONES

A través de la investigación se demostró que se puede cumplir el objetivo perseguido y con ello alcanzar el desarrollo ambiental y sostenible de la finca Antonio Sánchez Días, basado en que se logró la extracción y caracterización del aceite de *Jatropha Curcas* obtenido en la misma, cumpliendo con las normas para su uso como biocombustible para la generación de energía eléctrica y para su uso en tractores agrícolas, además que los subproductos se pueden utilizar para la producción de biogás. Por otra parte se calculó y dimensionó un biodigestor partiendo de los desechos anteriormente mencionados así como los de los animales de cría que posee la finca que son la mayor aportación logrando con ello la producción de biogás para la cocción de alimentos.

## REFERENCIAS

- [1] Achten, W. M. J., Verchot, L., Franken, Y. J., Mathijs, E., Singh, V. P., Aerts, R., y Muys, B. (2008), *Jatropha* bio-diesel production and use, *Biomass and Bioenergy*, 32 (12), 1063-1084.
- [2] Agarwal, A. K. y Dhar, A. (2010), Experimental Investigations of Preheated *Jatropha* Oil Fuelled Direct Injection Compression Ignition Engine—Part 1: Performance, Emission, and Combustion Characteristics, *Journal of ASTM International*, 7 (6), 1-13.
- [3] Agarwal, D. y Agarwal, A. K. (2007), Performance and emissions characteristics of *Jatropha* oil (preheated and blends) in a direct injection compression ignition engine, *Applied Thermal Engineering*, 27 (13), 2314-2323.
- [4] Chen, L.-Y., Chen, Y.-H., Hung, Y.-S., Chiang, T.-H., y Tsai, C.-H. (2013), Fuel properties and combustion characteristics of *jatropha* oil biodiesel–diesel blends, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 44 (2), 214-220.
- [5] Divakara, B. N., Upadhyaya, H.D., Wani, S.P., Laxmipathi Gowda, C.L. (2010), Biology and genetic improvement of *Jatropha curcas* L.: A review, *Applied Energy*, 87 (2010), 732–742.
- [6] Errasti, M., Melo, E., Piloto, R., Werner de Dios, A., Ferrer, N., Goyos, L. (2013), Caracterización de un motor diesel trabajando con mezclas de aceite de *Jatropha* y combustible diesel, *Ingeniería Energética*, XXXIV (3), 198-207.
- [7] Grimsby, L. K., Aune, J. B., y Johnsen, F. H. (2012), Human energy requirements in *Jatropha* oil production for rural electrification in Tanzania, *Energy for Sustainable Development*, 16 (3), 297-302.
- [8] Heller, J. (1996), Physic nut (*Jatropha curcas* L.). Promoting the conservation and use of underutilization and neglected crops. <<http://www.ipgri.cgiar.org/%20publications/pdf/161.pdf>>.
- [9] Kumar, A. y Sharma, S. (2008), An evaluation of multipurpose oil seed crop for industrial uses (*Jatropha curcas* L.): A review, *Industrial Crops and Products*, 28 (1), 1-10.
- [10] Mehta, A., Joshi, M., Patel, G., y Saiyad, M. J. (2012), Performance of single cylinder diesel engine using *jatropha* oil with exhaust heat recovery system, *International Journal of Advanced Engineering Technology*, 3 (4), 1-7.
- [11] Nahar, K. y Ozores-Hampton, M. (2011), *Jatropha*: An Alternative Substitute to Fossil Fuel, Horticultural Sciences Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, Horticultural Sciences (HS1193), 10. <<https://edis.ifas.ufl.edu/pdf/files/HS/HS119300.pdf>>, accessed December 14, 2013.
- [12] Piloto, R., Goyos, L., Alfonso, M., Duarte, M., Caro, R., Galle, J., Sierens, R., y Verhelst, S. (2011), Characterization of *Jatropha curcas* oils and their derived fatty acid ethyl esters obtained from two different plantations in Cuba, *Biomass and Bioenergy*, 35 (2009), 4092-4098.
- [13] Pramanik, K. (2003), Properties and use of *jatropha curcas* oil and diesel fuel blends in compression ignition engine, *Renewable Energy*, 28 (2), 239-248.
- [14] Raja, A., Smart, R., y Lee, L. R. (2011), Biodiesel production from *jatropha* oil and its characterization, *Research Journal of Chemical Sciences*, 1 (1), 81-87.
- [15] Sotolongo, J. A., Díaz, A., Montes de Oca, S., del Valle, Y., y García, S. (2007), Potencialidades energéticas y medioambientales del árbol *Jatropha curcas* L en las condiciones edafoclimáticas de la región semiárida de la provincia de Guantánamo, *Tecnología Química*, XXVII (2), 76-82.
- [16] Toral, O., Iglesias, J., Montes de Oca, S., Sotolongo, J., García, S., y Torsti, M. (2008), *Jatropha curcas* L., una especie arbórea con potencial energético en Cuba, *Pastos y Forrajes*, 31 (3), 191-207.

**Rodríguez Yoandro.** Nació en Holguín, Cuba. Es graduado de la Universidad de Holguín “Oscar Lucero Moya”, Holguín – Cuba en Ingeniería Mecánica. Doctor en Ciencias Técnicas en la Universidad Politécnica de Madrid. Actualmente es docente del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Granma, Granma - Cuba.



**Mena Euro.** Nació en Quevedo provincia de Los Ríos en Ecuador. Es graduado en la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”, en Ingeniería Automotriz en el año 1997. Actualmente es docente del Departamento de Ciencia de la Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” en la ciudad de Latacunga - Ecuador.



**Beltrán Roberto.** Nació en Manzanillo provincia de Granma en Cuba. Es graduado de la Universidad de Holguín “Oscar Lucero Moya”, Holguín – Cuba en Ingeniería Mecánica en el año 2009 y cuenta con un masterado en Diseño y Manufactura Asistida por Computadoras (CAD-CAM) de la Universidad de Holguín “Oscar Lucero Moya”, Holguín – Cuba. Actualmente es docente del departamento de Ciencia de la Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” en la ciudad de Latacunga - Ecuador.



**Lorente Leandro.** Nació en Manzanillo provincia de Granma en Cuba. Es graduado de la Universidad de Holguín “Oscar Lucero Moya”, Holguín – Cuba en Ingeniería Mecánica en el año 2009 y cuenta con un masterado en Diseño y Manufactura Asistida por Computadoras (CAD-CAM) de la Universidad de Holguín “Oscar Lucero Moya”, Holguín – Cuba. Actualmente es docente de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte en la ciudad de Ibarra - Ecuador.



**Bárzaga Joao.** Nació en Bayamo Granma en Cuba. Es graduado de la Universidad de Holguín “Oscar Lucero Moya”, Holguín – Cuba en Ingeniería Mecánica en el año 2009. Actualmente se encontraba trabajando como docente en el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Granma, Granma - Cuba.

# Procesamiento de imágenes tomográficas de un fémur humano para obtener los modelos CAD 3D de las superficies cortical y trabecular

## Processing tomographic images of a human femur models for surface 3D CAD cortical and trabecular

Bosch Cabrera, Jorge A.<sup>1</sup>; Herrera Lamar, Joffre<sup>2</sup>; Ramos Botello, Yoan M.<sup>1</sup>; Beltrán Reyna, Roberto F.<sup>3</sup>; Morales Tamayo Yoandrys<sup>4</sup>; Mena Mena Euro R.<sup>3</sup>; Bázaga Quesada, Joao L.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Mecánica. Facultad de Ciencias Técnicas.  
Universidad de Granma, Cuba

<sup>2</sup> Ingeniería Electromecánica. Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.  
Universidad Técnica de Cotopaxi. Latacunga, Ecuador.

<sup>3</sup> Departamento de Energía y Mecánica,

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga

<sup>4</sup> Unidad Académica Ciencia de la Ingeniería y Aplicadas (CIYA),  
Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná, La Maná- Ecuador.

[jboschc@udg.co.cu](mailto:jboschc@udg.co.cu), [rolisherrera@gmail.com](mailto:rolisherrera@gmail.com), [yramosb@udg.co.cu](mailto:yramosb@udg.co.cu), [rfbeltrnr@espe.edu.ec](mailto:rfbeltrnr@espe.edu.ec), [yoandrys.morales@utc.edu.ec](mailto:yoandrys.morales@utc.edu.ec),  
[ermena@espe.edu.ec](mailto:ermena@espe.edu.ec), [joaobarzaga@gmail.com](mailto:joaobarzaga@gmail.com)

**Recibido:** Octubre 2015, **Publicado:** Diciembre 2015

**Resumen**— Las estructuras anatómicas conformadas por tejidos duros y blandos, están representados por geometrías complejas, en cuyo análisis no es posible realizar simplificaciones que por lo general sobreestiman la rigidez de las estructuras. Por ello, se han desarrollado diferentes técnicas para obtener reconstrucciones en tres dimensiones (3D) de geometrías anatómicas complejas. La presente investigación tiene por objetivo procesar imágenes tomográficas de un fémur humano para la obtención de modelos CAD del mismo en 3D de las partes compacta y esponjosa. Para lograr el objetivo se siguió un grupo de pasos lógicos y se auxilió del software de biomodelado MIMICS versión 10.01 donde se importaron las imágenes para luego redefinir la parte de la imagen con que se iba a trabajar y crear dichas capas mediante la escala de Hounsfield, escala que mide la humedad y la densidad presente en los huesos y músculos. Las partes compacta y la esponjosa del fémur difieren en sus propiedades mecánicas y a la hora de realizar estudios futuros sobre el comportamiento mecánico de dicho hueso, la inserción de implantes o análisis de fracturas se pueden tener resultados más cercanos a la realidad si se obtiene un modelo en 3D de las mismas. Finalmente se exportaron los archivos obtenidos con una extensión de intercambio gráfico para el software CAD SolidWorks 2014 donde se convirtieron en sólidos trabajables.

**Palabras clave**— Fémur, biomodelado, tomografía, MIMICS, SolidWorks.

**Abstract**— The anatomical structures formed by hard and soft tissues, are represented by complex geometries, in which analysis is not possible simplifications generally overestimate the stiffness of structures. Therefore, we have developed various techniques for reconstruction into three dimensional (3D) anatomical complex geometries. This research aims to process tomographic images of a human femur to obtain the same CAD 3D models of compact and spongy parts. To achieve the goal a group of logical steps are followed and aided version 10.01 biomodels MIMICS software where the images and then redefine the part of the image that is going to work and create these layers by the scale of Hounsfield were imported, scale measuring humidity and present density in the bones and muscles. The compact and spongy parts of the femur differ in their mechanical properties and when carrying out further studies on the mechanical behavior of the bone, the insertion of implants or fracture analysis can be closer to reality results if a model is obtained 3D thereof. Finally the obtained files with an extension of graphic exchange for CAD software SolidWorks 2014 where they became workable solids were exported.

**Keywords**— Femur, biomodels, tomography, MIMICS, SolidWorks

### I. INTRODUCCIÓN

La ingeniería biomédica, ha alcanzado niveles relevantes en diferentes especialidades médicas. Se dedica a la aplicación de conceptos y técnicas de ingeniería para la investigación y

exploración de procesos biológicos. Su producto final más convincente y útil es la construcción de modelos físico-matemáticos apropiados que expliquen un sistema biológico específico (Cabrera, 2011). Los avances en la tecnología aumentan cada día la esperanza de una vida más larga y sana, por medio de la aplicación de una medicina menos invasiva y más eficiente. Entre los avances que se pueden mencionar está la creación de equipos como tomógrafos computacionales y resonadores magnéticos, que permiten observar al cuerpo humano internamente sin tener que intervenir quirúrgicamente para realizar un diagnóstico. El creciente número de personas de edad avanzada, que son las más propensas a sufrir fracturas, el elevado costo de la experimentación, el desconocimiento del comportamiento del material óseo ante un dispositivo de fijación y la imposibilidad de la personalización de las prótesis, entre otros factores, han motivado un mayor protagonismo de la biomecánica computacional (Botello, 2013).

Las personas que llegan a fracturarse un hueso requieren a veces de un implante interno (prótesis) que les ayude a recobrar en un cierto porcentaje los movimientos normales en un periodo de tiempo corto (Adrián Romero, 2007). Las estructuras anatómicas conformadas por tejidos duros y blandos, están representados por geometrías complejas, en cuyo análisis no es posible realizar simplificaciones que por lo general sobreestiman la rigidez de las estructuras. Por ello, se han desarrollado diferentes técnicas para obtener reconstrucciones en 3D de geometrías anatómicas complejas, como huesos, músculos, arterias etc. Estos modelos tridimensionales reproducen con precisión los detalles geométricos de las estructuras anatómicas, estas reconstrucciones en 3D son posibles a partir de imágenes médicas como la tomografía axial computarizada (TAC) lo cual se ha convertido en una herramienta importante para el diagnóstico médico y la planeación de terapias y procedimientos quirúrgicos. El procesamiento de imágenes médicas ha hecho posible el estudio biomecánico de estructuras óseas por el método de elementos finitos como herramienta para el análisis de geometrías y condiciones de contorno complejas (Buroni, 2004). En la actualidad se hace cada vez más común el empleo de softwares de cálculo, en los cuales el método de elementos finitos ha ampliado su campo de aplicación hacia la biomecánica, demostrando ser adecuado para el estudio del comportamiento de cualquier unidad fisiológica, a pesar de su complejidad. Dicho método permite conocer los cambios biomecánicos que ocurren después del implante de una prótesis o una osteosíntesis. Además como ventaja adicional da la posibilidad de predecir los cambios en las distribuciones de cargas alrededor de las zonas implantadas, ayudando a prevenir futuras patologías provocadas por un inadecuado posicionamiento o fijación. El uso del método de elementos finitos en el área femoral ha sido notable durante la última década empleando modelos numéricos cada vez más cercanos a la realidad, especialmente en problemas biomecánicos, que permiten al investigador reducir el tiempo y los costos requeridos para optimizar,

aclarar o crear un nuevo concepto clínico (Thevenot, 2014).

En la presente investigación se presenta un procedimiento para la obtención y modelación de un fémur humano utilizando Tomografías Axiales Computarizadas (TAC) tanto para extraer la geometría del hueso como los materiales que lo componen, ya sea la zona compacta como la esponjosa. Para lograr este objetivo, se utilizará un software de biomodelado para luego exportar el fichero a un software CAD donde se pueda manejar el modelo de fémur como una pieza CAD (Computer Aided Design).

Este diseño pretende demostrar lo necesario de la obtención de un modelo CAD 3D de un fémur humano a partir de imágenes tomográficas para contribuir desde el punto de vista técnico a conocimientos médicos e ingenieriles y a su vez a la biomecánica y su constante desarrollo que aporta de manera importante a la traumatología y la ortopedia, por el alto nivel de demanda social ya sea por enfermedades o accidentes de los individuos. Con este modelo CAD 3D de fémur humano se puede obtener resultados más acercados a la realidad que contribuyan con la toma de decisiones a la hora de seleccionar los especialistas médicos el dispositivo de fijación adecuado para la consolidación de fracturas en el fémur humano.

## II. PROCEDIMIENTO PARA LA MODELACIÓN EN 3D DE LAS PARTES CORTICAL Y TRABECULAR DE UN FÉMUR HUMANO

Para la modelación de las partes compacta y esponjosa del fémur humano se obtuvo una tomografía de un hombre de aproximadamente 40 años de edad y una altura de 1.80 m, donde se procesó para la investigación el fémur izquierdo de la tomografía simplificando las partes correspondientes a otros huesos de la zona.

Se utilizó el software de biomodelado MIMICS en su versión 10.01 para procesar las imágenes tomográficas obtenidas de ambos muslos de un humano masculino, para luego ser exportadas al software de diseño mecánico SolidWorks 2014 donde se utilizó el módulo ScanTo3D de dicho software el cual se encargó de obtener los modelos CAD de las partes antes mencionadas del fémur humano. El procedimiento que se utilizó contó con los siguientes pasos: 1- Predefinir la imagen a trabajar para crear capa. 2- Editado de las capas seleccionadas. 3- Convertir la capa en un modelo en 3D deseado en el software de biomodelado. 4- Realizar un remallado del modelo para refinar las capas. 5- Exportar el archivo con un formato de salida de intercambio gráfico. 6- Procesar el archivo con el módulo ScanTo3D del SolidWorks 2014 para obtener un modelo CAD en 3D de las partes cortical y trabecular de un fémur humano.

### A. *Importar las imágenes en formato de tomógrafo al software de procesamiento*

Para realizar el procesamiento de las imágenes tomográficas primeramente se importan las imágenes que se necesitan del fémur humano obtenidas desde un tomógrafo axial computarizado para luego procesarlas en el software de biomodelado MIMICS versión 10.01. En el estudio se

introdujeron al software 113 imágenes tomográficas las cuales se consideraron necesarias para la modelación con una extensión .dcm.

### B. Predefinir la parte de la imagen a trabajar para crear capa

Para crear una capa sobre la cual se trabajará se necesita predefinir la parte del hueso que se limpiará, las cuales fueron la esponjosa (trabecular) y la compacta (cortical) (ver figura 1), se toman las superficies del fémur compacta y esponjosa ya que son las que desde el punto de vista mecánico tienen importancia para un posterior análisis ya que sus propiedades mecánicas difieren en varios aspectos en ambas zonas comportándose como sólidos diferentes. La zona compacta desde el punto de vista mecánico se comporta como un sólido con propiedades mecánicas ortotrópicas o isotrópico transversal mientras que la zona esponjosa es más compleja ya que sus propiedades pueden variar a lo largo de su extensión por lo que generalmente se comporta como un sólido anisotrópico (Sáenz, 2012 y Jiménez, 2003).

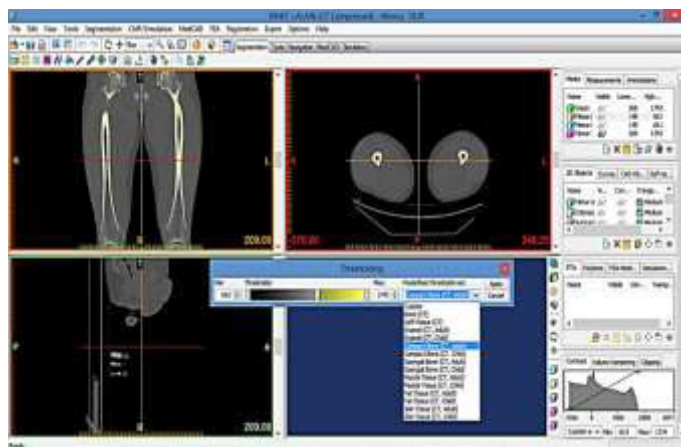


Fig. 1. Seleccionando las partes compacta y esponjosa mediante la escala de Hounsfield. Fuente: Los autores

Para la definición de las capas antes mencionadas se basa en el principio de escala de Hounsfield o escala de grises que tiene en cuenta la densidad y la humedad presentada en la imagen mostrando el software el resultado en colores donde se regula la intensidad del color para definir la capa del hueso que se mostrará para trabajar en la imagen (Müller-Karger, 2001 y Enns-Bray). En el presente estudio se utilizó un rango de unidades Hounsfield con una intensidad mínima para la superficie esponjosa de 148 HU y una máxima de 661 HU mientras que para la zona compacta se utilizó una intensidad mínima de 662 HU y una máxima de 1 713 HU.

### C. Editado de las capas seleccionadas

Al editar las capas seleccionadas es necesario borrar impurezas propias de una imagen real pertenecientes a otros huesos que se encuentran en la imagen que no son de interés para el estudio y que entorpecen el proceso de modelado pudiendo causar interferencia a la hora del remallado y exportación al software CAD; por lo que se necesita realizar una limpieza a las imágenes tanto para la capa compacta

como para la esponjosa, en algunos casos se rellena alguna irregularidad o algunos contornos que se encuentren abiertos para mejorar la estructura manualmente.

Una vez obtenidas las capas compactas y esponjosa del modelo es necesario aplicar operaciones booleanas en la cual se obtiene una tercera capa que contempla la zona de intersección de la zona compacta y trabecular. Esta delgada capa se obtiene con el objetivo de restarla a la capa esponjosa para cuando el modelo sea posteriormente llevado a un sólido en 3D y ensamblado no ocurra interferencia entre ellos. Todo este tratamiento es con el fin de obtener una imagen lo más definida posible que contribuya para la obtención de un modelo en 3D lo más acercado a la realidad. Al terminar este paso la máscara está lista para ser convertida a un modelo en tres dimensiones.

### D. Convertir la capa en un modelo en 3D deseado en el software de biomodelado

El software de biomodelado contiene una interface flexible para animar y calcular la región de interés en un modelo en 3D. Una vez realizado el tratamiento manual a las capas definidas se procede a la conversión de las máscaras en tres dimensiones mostrando cómo queda el modelo de hueso a medida que se le realiza la limpieza a las imágenes. Al convertir las capas a un modelo 3D tanto de la zona esponjosa como de la compacta se define el cálculo con una calidad óptima lo cual le brinda a la capa calculada un acabado lo más exacto posible de acuerdo al terminado en que se procesaron las imágenes (ver figura 2).

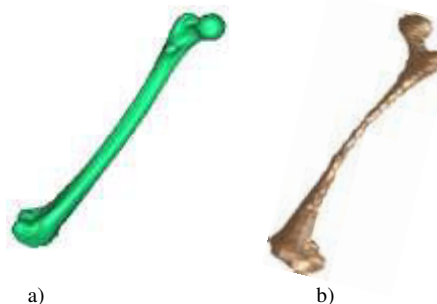


Fig. 2. Modelado del hueso en 3D. a) Hueso cortical. b) Hueso trabecular. Fuente: Los autores

### E. Realizar un remallado del modelo para refinar las capas

Luego de calcular los modelos del hueso en 3D se le realizó un remallado de los mismos, este paso es de vital importancia en el procedimiento ya que es necesario refinar las superficies creadas pero que a la vez no se pierdan las propiedades geométricas de las mismas cercanas a la realidad de la tomografía. La superficie del hueso se dividirá para el remallado en triángulos equiláteros ya que según Delaunay el mallado con triángulos equiláteros te permite una mejor distribución de la malla (Greine, 2000). Posteriormente es necesario pulir la superficie mallada para eliminar las algunas rugosidades creadas por la malla (ver figura 3).





**Fig. 3. Proceso de alisado de la superficie mallada.**  
Fuente: Los autores

Una vez que se realiza un correcto remallado de los modelos en 3D de las partes del hueso teniendo en cuenta los principios básicos para el mallado de superficies se obtienen los modelos en 3D del fémur de mejor calidad listo para una posterior exportación a otro tipo de software CAD como un archivo de intercambio gráfico.

### III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Las partes compacta y esponjosa se exportaron con un formato STL el cual es un formato compactible con el software de diseño SolidWorks 2014 en el cual se obtiene un modelado en 3D a partir de un mallado de superficie. El archivo de intercambio gráfico más recomendado para estos casos son el STL y el nube de puntos (Point Cloud), pero para esta investigación se exportan los archivos de las partes compactas y esponjosa del fémur en formato STL y no con la nube de puntos ya que el primero te predefine una malla, paso que no se obtiene con el otro formato.

#### A. Procesamiento de los archivos con el módulo ScanTo3D del SolidWorks 2014 para obtener los modelos CAD en 3D de las partes compacta y esponjosa

Una vez abierto este archivo en el SolidWorks se trabajó con uno de sus módulos especializado para este tipo de trabajo como lo es el ScantTo3D. Con este módulo se trabaja mediante una secuencia de pasos lógicos en la cual se trata de formar un sólido a partir de un archivo de malla (ver tabla 1).

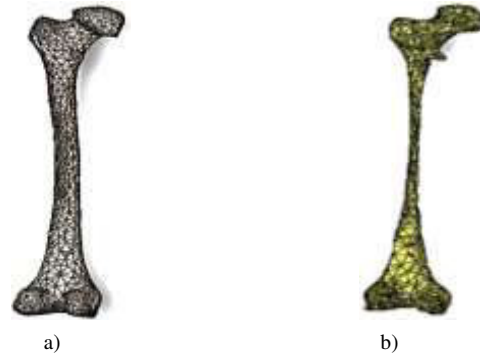
**TABLA 1**  
**PASOS DEL ASISTENTE DE PREPARACIÓN DE MALLAS**

Pasos	Valores (Trabecular y Cortical)
Orientación de la malla	Automático
Referencia de origen	Parte superior de la cabeza del hueso
Eliminación de ruido de la malla	Defecto
Selección de la herramienta	Selección por cuadro
Simplificación del porcentaje de reducción de malla	0%
Suavizado de superficie	30%

Primeramente se utiliza la opción de asistente de preparación de malla, donde se ingresó el formato de malla. Para la eliminación de ruido de la malla se mantuvo el valor que aparece por defecto en el software para mantener el mismo números de caras originales de 5 859 para el modelo esponjoso y 11 210 para el modelo compacto. La

simplificación del porcentaje de reducción de malla deseado fue de un 0% para un mejor terminado de superficie, mientras que el suavizado que se aplicó fue de un 30% para dar finalización a la malla e iniciar el asistente para superficie, donde se procede a la creación de sólidos, para lo cual se utilizó la creación automática. Con este paso se termina el asistente de superficies que nos transforma el mallado de hueso en un sólido el que se guarda como un archivo formato pieza del software SolidWorks (.slprt) (ver figura 4 a) y b)).

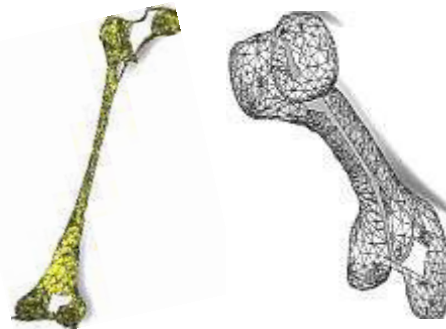
El procedimiento expuesto se empleó tanto para el archivo de fémur compacto como para el esponjoso. Una vez obtenido los modelos de fémur humano con el procedimiento antes planteado se comprobó que el peso del archivo de hueso compacto fue de 4.7 MB mientras que el del esponjoso fue de 5.6 MB lo que demuestra la ligereza de los archivos obtenidos por lo que pueden ser procesados posteriormente en cualquier ordenador sin necesidad de grandes prestaciones de los mismos.



**Fig. 4. Obtención final de los modelos de huesos a modelos CAD sólidos. a) Modelo de fémur cortical. b) Modelo de fémur trabecular.**

Los modelos obtenidos pueden ser transformados en el software de diseño Solidwoks 2014 ya que las operaciones extruir corte y otras propias del software son funcionales en los modelos obtenidos (ver figura 5).

En la figura 5 se puede apreciar que el modelo de hueso esponjoso tiene su interior sólido tal y como ocurre en la realidad, mientras que el modelo de fémur compacto tiene un determinado espesor que define la parte compacta del hueso, espesor que no es igual en cada una de las zonas del hueso tal y como ocurre en la realidad también.



**Fig.5 –Muestra de operaciones realizadas con el SolidWorks 2014 en los modelos de fémur cortical y trabecular.**

Fuente: Los autores

#### IV. CONCLUSIONES

Con el procedimiento aplicado se importaron las imágenes en formato de tomográfico al software de biomodelado MIMICS 10.01 obteniéndose los modelos en 3D de las partes compacta y esponjosa del fémur. Para lograr el objetivo trazado se realizó el tratamiento de las capas antes mencionadas para conformar los modelos de huesos. Posteriormente se realizó un remallado de los modelos lo que permitió exportar los archivos con un formato de intercambio gráfico al software CAD SolidWorks 2014. Los modelos compactos y esponjosos procesados fueron convertidos en sólidos trabajables para futuros trabajos de la biomecánica computacional siendo esto un paso de avance en esta rama y el análisis por el método de los elementos finitos, es posible ensamblar ambas partes del fémur y asignar las propiedades mecánicas a cada una de ellas para realizar estudios donde se pueda conocer el comportamiento mecánico del mismo. También será posible con estos modelos estudiar el comportamiento de diferentes trazos de fracturas así como la inserción de dispositivos de fijación para su consolidación.

#### REFERENCIAS

1. Cabrera, J.B., R.E. Cingualbres, and Y.R. Botello, *Análisis numérico comparativo de fijadores para el tratamiento de fracturas proximales del fémur* Ingeniería Mecánica, 2011. **14**. No. 3: p. 199-208.
2. Botello, Y.M.R., R.E. Cingualbres, and J.A.B. Cabrera, *Empleo de elementos finitos en un estudio comparativo de dos sistemas de fijación interna para la fractura de cadera*. Revista Cubana de Ortopedia y Traumatología, 2013. **27**(2): p. 186-198
3. Adrián Romero, I., G.D.Á. Miranda, and O.G. Galindo. *BIOMODELACIÓN PARAMETRIZADA COMOSOLUCIÓN A LOS PROBLEMAS DE FRACTURAS ATÍPICAS Y MALFORMACIONES ÓSEAS EN CADERA*. . in *8º CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERIA MECANICA*. 2007. Cusco, Perú.
4. Buroni, F.C., et al., *Determinación de las constantes elásticas anisótropas del tejido óseo utilizando tomografías computadas, aplicación a la construcción de modelos de elementos finitos*. Mecánica Computacional 2004. **XXIII**: p. 3009-3032.
5. Thevenot, J., et al., *A novel methodology for generating 3D finite element models of the hip from 2D radiographs*. Journal of Biomechanics, 2014. **47**(2): p. 438-444.
6. Sáenz, A.G., *Estimación del Amortiguamiento del Fémur Proximal por Medios Ópticos-Espectroscópicos*, in *Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Departamento de Ingeniería Mecánica*. 2012, Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez. p. 98.
7. Jiménez, J.C.S. and R.L. Arroyo, *Análisis estructural biomecánico de articulación de rodilla*, in *III Conferencia Internacional de Diseño e Ingeniería por Computadora*. 2003: Instituto Tecnológico de Celaya. p. 20.
8. Müller-Karger, C.M. and M.Cerrolaza, *Un nuevo método para la simulación de la estructura ósea mediante la versión de P elementos finitos*. Boletín Técnico, 2001. **39** n.3: p. 1-32.
9. Enns-Bray, W.S., et al., *Mapping anisotropy of the proximal femur for enhanced image based finite element analysis*. Journal of Biomechanics, 2014. **47**(13): p. 3272-3278.
10. Greiner, G., *Graphical Algorithms*. 2000.



de Ciencias Técnicas de la Universidad de Granma en la ciudad de Bayamo Cuba.

**Bosch Jorge Alexander.** Nació en Manzanillo, provincia de Granma en Cuba. Es graduado de la Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya", Holguín – Cuba en Ingeniería Mecánica en el año 2007 y cuenta con un masterado en Diseño y Fabricación Asistida por Computadoras (CAD/CAM) de la Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya", Holguín – Cuba. Actualmente es docente del departamento



**Herrera Joffre.** Nació Valencia provincia de Los Rios en Ecuador. Graduado en la Universidad Técnica de Cotopaxi - Ecuador en Ingeniería Electromecánica en el año 2015.



Universidad de Granma en la ciudad de Bayamo Cuba.

**Ramos Yoan Manuel.** Nació en Bayamo provincia de Granma en Cuba. Es graduado de la Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya", Holguín – Cuba en Ingeniería Mecánica en el año 2008 y cuenta con un masterado en Diseño y Fabricación Asistida por Computadoras (CAD/CAM) de la Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya", Holguín – Cuba. Actualmente es docente del departamento de Ciencias Técnicas de la

**Beltrán Roberto.** Nació en Manzanillo provincia de Granma en Cuba. Es



Ecuador.

graduado de la Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya", Holguín – Cuba en Ingeniería Mecánica en el año 2009 y cuenta con un masterado en Diseño y Manufactura Asistida por Computadoras (CAD/CAM) de la Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya", Holguín – Cuba. Actualmente es docente del departamento de Ciencia de la Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE" en la ciudad de Latacunga



obtenido en la Universidad Politécnica de Madrid, España en el 2014. Actualmente es docente de la Unidad Académica, Ciencia de la Ingeniería y Aplicada (CIYA) de la Universidad Técnica de Cotopaxi en la ciudad de La Maná – Ecuador.

**Morales Yoandrys.** Nació en Manzanillo provincia de Granma en Cuba. Es graduado de la Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya", Holguín – Cuba en Ingeniería Mecánica en el año 2007, cuenta con un masterado en Diseño y Manufactura Asistida por Computadoras (CAD-CAM) de la Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya", Holguín – Cuba. Y además posee un Doctorado en Ciencias relacionado con la manufactura de metales



**Mena Euro.** Nació en Quevedo provincia de Los Ríos en Ecuador. Es graduado de la Universidad de las Fuerzas Armadas, en Ingeniería Automotriz en el año 1997. Actualmente es docente del departamento de Ciencia de la Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” en la ciudad de Latacunga Ecuador.



**Bárzaga Joao.** Nació en Bayamo Granma en Cuba. Es graduado de la Universidad de Holguín “Oscar Lucero Moya”, Holguín – Cuba en Ingeniería Mecánica en el año 2009. Actualmente se encontraba trabajando como docente en el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Granma, Granma – Cuba.

# La perspectiva cienticista-cuantitativa y la perspectiva humanista-cualitativa: binomio clave en los procesos de investigación científica

## Scientific – Quantitative and Humanistic Qualitative Perspectives: Key Binomial in Scientific Research Processes

Magda Cejas, Galo Vásquez y Carlos Albán.  
Departamento de Ciencias Económicas Administrativa y de Comercio - CEAC  
Universidad de las Fuerzas Armadas. ESPE  
mfcejas@espe.edu.ec, [grvasquez@espe.edu.ec](mailto:grvasquez@espe.edu.ec), [cgalban1@espe.edu.ec](mailto:cgalban1@espe.edu.ec)

**Recibido:** Octubre 2015, **Publicado:** Diciembre 2015

**Resumen**— En todos los escenarios universitarios, investigar tiene una preponderancia de primera categoría. Las instituciones de educación superior y sus actores reflejan en sus actividades la gran complejidad que representa el proceso de investigación, entendiéndose este a través de diversas prácticas que conllevan a la creación y difusión de géneros discursivos -tanto oral como escrita, que a su vez han permitido comprender la actividad científica como una encrucijada que está permanentemente en transformación. Esto permite a los estudiosos de la metodología abordar la amplitud y gama de productos científicos en el marco de una postura globalizada donde conocer las reglas, normativas y procedimiento es imperioso pero además darle cabida a las perspectivas cuantitativas y cualitativas es resaltar la significación que hoy tiene los trabajos de investigación en cualquier área que se aborde. Este trabajo de investigación tiene como propósito reflexionar y analizar desde un visión holística, simple y a la vez compleja que determina la importancia generada por el conocimiento, la ciencia, los métodos, las técnicas entre otros. Se determina así en el marco del desarrollo de una metodología sistemática y ajustada al rigor de este artículo que cualquiera sea la perspectiva que se adopte- La Perspectiva Cienticista -Cuantitativa Y La Perspectiva Humanista-Cualitativa- el investigador genera un aporte al conocimiento que fundamente genera valor en el mundo académico en tiempo de cambios complejos.

**Palabras Claves**— Ciencia, Investigación, Perspectivas Cuantitativas Y Cualitativas.

**Abstract**— In all scenarios university, research has a preponderance of first category. Institutions of higher education and its actors in their activities reflect the great complexity involved in the research process, meaning this through various practices that lead to the creation and dissemination of gender discursive both oral and written, which in turn have elucidated the scientific activity as a crossroads that is constantly changing. This allows students of the methodology to address the breadth and range of scientific products in the framework of a global approach to meet the rules, regulations and procedures is imperative but also make room for the

quantitative and qualitative perspective is to highlight the significance it has today the research in any area being addressed. This research aims to discuss and analyze from a holistic vision yet complex, simple as it determines the importance generated by knowledge, science, methods, techniques and more. It is thus determined in the context of the development of a systematic methodology adjusted to the rigors of this article that whatever perspective is Adopt-Cienticista Perspective quantitatively and qualitatively-Humanist Perspective researcher generates a contribution to the knowledge generated to substantiate value in the academic world of complex changes in time.

**Keywords**— Science, Research, quantitative and qualitative perspectives.

### I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad es evidente reconocer la encrucijada que atraviesa la actividad científica, sus métodos y sus procesos. Muestra de ello se observa en la evolución que ha tenido la sociedad a través de los diferentes eventos propiciados por fenómenos como la globalización y las tecnologías de comunicación y de información. La complejidad misma que encierra la globalización, la economía y la gran incertidumbre hacia lo desconocido ponen de manifiesto la necesidad de buscar nuevos horizontes en el marco de las transformaciones globales que la sociedad ha experimentado en el presente siglo, siendo uno de estos y quizás el más significativo en las últimas décadas la sociedad del conocimiento.

La sociedad del conocimiento cada vez más se impone en la producción de conocimiento y en sus aplicaciones en los diferentes campos de la ciencia, como un mecanismo que requiere el empleo de diversas estrategias para alcanzar el impacto social deseado. Es por esta razón que las

universidades e instituciones que se inclinan al desarrollo de la investigación se desplazan a través de diversas opciones que permiten el incremento de potencialidades, capacidades y competencias de las carreras profesionales teniendo como único fin la formación de equipos profesionales que eleven su competitividad y el alto desempeño en el ámbito de la docencia e investigación.

De esta manera la evolución de la sociedad así como la interpretación de la realidad, cada vez más se transforma y produce la necesidad de perfeccionarse en el arte de la comprensión y el razonamiento para superar las vicisitudes del mundo actual. La naturaleza del saber hace posible comprender el significado de todo conocimiento, es igualmente necesario comprender que este significado tiene su esencia en saber captar no solo la apariencia de los objetos, sino su esencia. Por tanto el saber moderno se ha desarrollado sobre el supuesto de una realidad en sí dotada de una racionalidad matemática que centra su atención en el objetivismo que adquiere hegemonía en las ciencias de la naturaleza y desde ella es posteriormente transferido a los conocimientos sobre el hombre y la sociedad. Damián (1997).

En el ámbito de la ciencia en 1962, Kuhn inicia sus planteamientos sobre la tradición y el cambio en el campo científico, alude a la condición del paradigma, Determinándose así múltiples acepciones que se adoptan con este término, siendo una de las más usadas “patrón”, “muestra”, “modelo”, también tiene cabida “un modo de conocer en un tiempo”.

- Realizaciones científicas universalmente reconocidas que, durante cierto tiempo, proporcionan modelos de problemas y solución a una comunidad científica-destacando que la actividad científica normalmente va dirigida a la articulación de aquellos fenómenos y teorías que proporcionan el paradigma vigente. Por lo cual la concepción más objetiva y precisa en la ciencia esta igualmente demarcado la interpretación del paradigma científico comprendiese este como un conjunto de logros compartidos por una comunidad científica empleados por esta, y considerando la definición de diversos problemas con énfasis en soluciones legítimas. Miguel Martínez (1994); Jaime (1998); González Ibarra (2005); León Rúgeles (2012); entre otros.

En la ciencia, el cambio de una teoría o de un paradigma tradicional obedecen a muchas razones, quizás la infinita ansia de llegar a la última de las repuestas hace que permanentemente se reemplacen o renueven interrogantes del presente.

Según T. Kuhn algunos criterios que son realmente necesarios considerar en una teoría de carácter científica sería:

- La exactitud como primer criterio que debe poseer una teoría.
- La coherencia como criterio para la elección de teorías.

- La teoría debe ser amplia, aquí hay que recordar que el balance existente en términos de la multidisciplinariedad conlleva a la producción del conocimiento.
- La teoría debe ser simple, en consecuencia está íntimamente relacionada con el ordenamiento de fenómenos que, sin ella, y tomados uno por uno, estarían aislados y en conjunto serían confusos.
- La fecundidad de la teoría, tiene una gran importancia para las decisiones reales.
- El interés en el proceso dinámico durante el cual se adquiere el pensamiento más que en la estructura lógica de los productos de la investigación científica.

Estos valores que han dado lugar a múltiples interpretaciones hace posible comprender que en el análisis en toda investigación científica es necesario considerar la forma en que la ciencia se practica realmente, en consecuencia no existe reglas para inducir teorías correctas a partir de los hechos, las teorías bien sean correctas o incorrectas no pueden considerarse producto de la inducción, lo que implica que es un acto de reflexión.

Algunas de las interrogantes fundamentales en la teoría y arte de conocer, entre la que se señalan están:

- Precisar si el origen del conocimiento como parte de la experiencia o de la razón.
- Interpretar la relación sujeto objeto en la concepción propia de la ciencia.
- Clarificar el origen y la naturaleza del sentido común.
- Identificar el conocimiento científico con el problema del método científico.
- Determinar los límites del conocimiento en la sociedad actual.
- La clarificación de los conceptos epistémicos, sociales e históricos.

En este orden de ideas, cabe así destacar que la teoría en el marco de lo científico y en cualquiera de los textos científicos que se utilice permite explicar las generalizaciones empíricas-afirmaciones necesarias en conceptos y proposiciones apropiadas, así mismo, predicen generalizaciones empíricas todavía desconocidas y a la vez guían el futuro de la ciencia. Es importante señalar que todo documento académico de cara a una tesis doctoral debe llevar el sustento teórico, el cual será la base de lo que se ha desarrollado y de los resultados alcanzados en la investigación.

## II. LA GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO: TEORÍAS Y PERSPECTIVAS DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO:

En la era de la información, gracias a la gran diversidad científica y la abundancia de los datos con que se dispone para la investigación, la productividad científica ha logrado alcanzar nuevas dimensiones en donde el avance del



conocimiento ha llegado a un nivel superior al de décadas pasadas. Cabe destacar en este sentido que para efectos de los procesos de investigación la productividad científica es aquella que permite la medición de la eficacia con la cual la gente mejora dando significación al trabajo que realiza.

En este sentido, desde la perspectiva del conocimiento científico, importante destacar lo señalado por Berganza y Ruiz (2005) quien señala cinco características que han de considerarse en campo del conocimiento científico y en consecuencia en la ciencia entre ellas están:

- a) **La investigación científica** ha de ser transferida libremente de unos expertos a otros.
- b) **La ciencia es objetiva**, a la hora de desarrollar su labor, el investigador debe respetar una serie de reglas explícitas y de procedimientos.
- c) **La ciencia es empírica**: es decir hay que considerar la experiencia, es decir está basada en la experimentación de cuestiones cognoscibles y potencialmente medibles de la realidad.
- d) **La ciencia es sistemática y acumulativa**: no se puede realizar investigación científica sin tener en cuenta los trabajos anteriores realizados sobre el mismo tema o cuestiones análogas.
- e) **La ciencia es predicativa**: se ocupa de elaborar conocimientos que sirvan para predecir acontecimiento.

De igual manera, necesario es considerar los criterios que deben usarse para considerar una u otra información de interés en el proceso de investigación. En correspondencia resulta oportuno señalar:

**CUADRO 1:  
CRITERIOS DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN**

<p><b>Objetividad</b> : como criterio para evaluar la información y la toma de decisiones</p> <p><b>Confiablez</b>: la cual tiene un carácter eventual para resolver los problemas del momento.</p> <p><b>Oportunidades</b>: como criterio a considerar para medir su productividad, evaluar los costos y los beneficios que puedan proporcionarse en el uso de la información.</p> <p><b>La Suficiencia</b>: como elemento importante en la suficiencia de la información, determinada por la cantidad necesaria para la toma de decisiones</p> <p><b>Actualidad</b>: considerar de la información la vigencia que tenga en el marco de lo que se propone investigar</p>
---

Fuente: Cejas, Vásquez y Albán (2016) a partir de Namakforoosh (2009)

Por tanto al considerar los elementos para la construcción del conocimiento científico, es necesario destacar:

1. Los modelos
2. Pluralidad metodológica
3. Las técnicas cuantitativas y cualitativas
4. La triangulación
5. La inducción y deducción
6. La validez y la fiabilidad

De esta forma explicitar cada uno de estos elementos se requiere dado que los mismos hacen posible la comprensión del conocimiento científico en la investigación, a continuación se detalla los elementos mencionados:

1. **Los modelos**: son una simplificación inteligible de la realidad obtenida tras un proceso de abstracción. Por tanto para Weber, un modelo pretende mostrar los elementos principales de cualquier estructura y proceso y las relaciones que existen entre estos elementos. La referencia al tema de los modelos surgen en tres ámbitos distintos: el primero identificado como los problemas de la ciencia – nomenclatura, valoración y modelos- el segundo determina los elementos que forman la cultura-técnicas, código simbólico, modelos y mundo normativo- y el tercero el estudio del proceso de la investigación científica- generalizando de las hipótesis a las teorías y de estas a los modelos.

Algunas de las ventajas e inconvenientes que pueden tener en la investigación la utilización de los modelos son:

TABLA 1:  
VENTAJAS Y DESVENTAJAS

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Evita empezar desde cero en el estudio.	Nos da un enfoque previo: prejuicios
Facilita la acumulación de conocimientos.	No facilita el contraste con la realidad.
Hace posible la comunicación	Ofrece dificultades para el cambio de perspectivas.
Procura una base común de dialogo a todos lo que lo comparten.	Los hechos deben deducirse de la realidad no de los modelos.

Fuente: Lucas (2002) citado por Berganza y Ruiz (2005)

Es necesario destacar que los modelos se dividen en modelos materiales y formales, cada uno de ellos a la vez se subdivide en tipos de modelos aplicables a las ciencias.

2. **La pluralidad metodológica**: es aquella que diversifica los modos de aproximación, descubrimiento y justificación en atención a la faceta o dimensión de la realidad social que se estudia, como consecuencia de ese pluralismo se plantea cinco vías de acceso a la realidad:

- a) La perspectiva histórica
- b) La perspectiva comparativa
- c) La perspectiva crítico racional
- d) La perspectiva cuantitativa
- e) y la perspectiva cualitativa.

En el proceso de complejidad de las ciencia, esta clasificación determina por sí misma una distinción de carácter científico-metodológico que permite interpretar la existencia de un marco epistémico que permite plantear las

investigación considerando los procesos, métodos y las técnicas.

3. **Las Técnicas Cuantitativas y Cualitativas:** los estudiosos de temas sobre metodología cuantitativa y cualitativa consideran que en todo procesos de investigación se hace necesario considerar los métodos y técnicas a seguir, por lo cual esta estrategia podrá garantizar la sistematicidad de lo que se pretende abordar y desarrollar, no obstante hay que aclarar que no existe un diseño estándar para realizar una investigación, no es posible que un investigador espere encontrar un diseño perfecto, un ejemplo de esto lo señala Namakforoosh (2009, p.85) cuando señala que en la construcción existen varios tipos de planos y estos están divididos en modelos especiales, en la investigación también existen ciertos tipos clásicos de planificación, para la elaboración y el desarrollo de una investigación científica.

Por tanto las técnicas cuantitativas y cualitativas quizás sean las más difundidas en el mundo académico, por lo cual se han presentado como un punto controversial, la tabla 1 refleja algunas de las características de estas técnicas.

**TABLA 2**  
**CARACTERÍSTICAS DE LAS TÉCNICAS CUANTITATIVAS Y CUALITATIVAS**

INVESTIGACION	CUANTITATIVA	CUALITATIVAS
ORIGEN Y CONTEXTO HISTORICO	Siglo XVIII Capitalismo Y Burguesismo	Siglo XX, Antropología
RACIONALIDAD	Cientifismo -Racionalismo	Hermenéutica Experiencias
OBTENCION DEL CONOCIMIENTO	Objetividad	Subjetividad
RELACION SUJETO OBJETO	Independencia	Interdependencia
PAPEL DE LA TEORIA	Aporta Origen Marco Y Fin	Systematization de la Teoría
RECEPCION DE LA REALIDAD SOCIAL	Comprensión Explicativa Y Predilectiva De La Realidad	Comprensión Interpretativa De La Realidad
CONCEPCION DE LA INVESTIGACION	Lineal, Finalista Nomotética	Cíclica ideográfica
METODO	Hipotético deductivo	Pluralidad De Métodos Y Pluralidad Cognoscitiva
CONCEPTOS CLAVES	Confiabilidad, Hipótesis Variables Etc.	Significado, Contexto, Interpretación
CONCEPCION GLOBAL A MANERA DE RESUMEN	Positivista, Objetiva, Hipotético, Deductivo.	Fenomenológicas, Estructuralistas Y Subjetivista

Fuente: Hurtado y Toro (2010) Paradigmas y Métodos de la Investigación.

El proceso de inducción y de deducción parte de cualquier estudio empírico el cual puede recorrerse en dos sentidos: bien partiendo de ideas que habrán de ser contrastadas con datos o bien observando realidades empíricas de las que se

inferirán ideas. Desde la inducción el investigador comienza con los datos observados y realiza una generalización que explica las relaciones entre los objetos observados y desde la deducción uno parte de alguna ley general y la aplica a una instancia particular.

4. **La Triangulación:** representa una articulación ínter paradigmático, la cual adquiere un mismo significado: la utilización de múltiples puntos de referencia para localizar la posición exacta de un objeto en el espacio. Representa para el investigador el uso de distintas metodologías en el análisis de una misma realidad social.

Entre los tipos de triangulación que se conocen se encuentra la triangulación de datos, la triangulación de investigadores, la triangulación teórica y la metodológica. Esta tipología conocida en la investigación representa una gran herramienta para el análisis y composición del abordaje de estudios para los investigadores.

5. **La Deducción e Inducción:** representa los dos métodos principales de razonamiento en base a una lógica racional del conocimiento. Cejas, M (2015); la deducción aborda lo general a lo más específico, en cambio la inducción va de lo específico a lo general. Ambas condiciones implican una forma lógica que establece posible conclusiones a partir de diversas premisas que se estudian y en base al objeto de estudio.

Es importante reconocer que el conocimiento surge necesariamente de la captación de la realidad por parte del sujeto, implica ello, que se requiere el contacto real con la práctica vital que el hombre por sí mismo realiza, en correspondencia es destacable, lo señalado por La Madriz, J (2011,p.1) quien apunta a que el conocer surge indisolublemente de la práctica vital y del trabajo de los hombres, así entonces y en correspondencia a las antiguas narraciones literarias, el pensamiento de esas lejanas épocas no se circunscribió exclusivamente al conocimiento instrumental, sino que junto a este aparecieron simultáneamente las preocupaciones por comprender el sentido general del cosmos y de la vida, la toma de conciencia el hombre frente a su propia forma de convivencia y la interacción social, lo que provocó en el hombre los primeros intentos de elaborar explicaciones globales de la naturaleza, los fundamentos de la magia, las explicaciones religiosas y luego los sistemas filosóficos.

Todos estos componentes son en la actualidad de suma relevancia en el contexto de la investigación. No obstante, en este mismo orden de ideas, resulta importante señalar – Sierra, B (ob.cit)- aquellos elementos o aspectos y además significados del conocimiento como actividad, resultados y lenguaje tal como se muestra en la tabla 1:

**TABLA 3**  
**ELEMENTOS FUNDAMENTALES PARA LA NOCIÓN DEL CONOCIMIENTO**

ELEMENTOS	SIGNIFICADOS DE LOS ELEMENTOS.
<b>RAZON O ENTENDIMIENTO</b>	Determinan la facultad que permite a las personas discurrir, son las palabras y/o frases con que se expresa el discurso.
<b>LA ACTIVIDAD DE LA FACULTAD CONGNOSCITIVA</b>	Se refiere a la acción de conocer en su más amplio sentido que aquella efectúa. Es decir, se manifiesta a través de los conceptos, criterios, razonamientos y juicios.
<b>RESULTADO</b>	Es el conjunto de ideas, resultado del proceso de conocimiento.
<b>INSTRUMENTO O INSTRUMENTOS</b>	Toda actividad en que interactúa el ser humano requiere de un instrumento o instrumentos para llevarla a cabo. Por tanto, se requiere de los mismos para alcanzar con éxito el propósito que se plantearon.

Fuente: Cejas, M. Vásquez y Albán (2015) a partir de Sierra B (1983).

Es así como el hombre a través de la realidad y de su interés particular, adquiere las condiciones del ambiente, construyendo el conocimiento solo sobre aquello que le puede interesar, puede así indicarse que el conocimiento representa un modelo organizado de concebir el mundo y de dotarlo de ciertas características que resulta de la experiencia y de la captación de la realidad que lo circunda.

### III. LOS PARADIGMAS DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Hoy en día existe un énfasis y predominio de ciertos órdenes de ideas respecto al escenario de la investigación científica, por lo cual se toma en cuenta 5 paradigmas que dominan en mayor proporción:

1. Paradigma Marxista que tiene como proceso básico de la teoría central los procesos de producción, fuerzas productivas relaciones de producción infraestructura, estructura ideológica, clases sociales y lucha de clases. Su función consiste en explicar las estructuras y leyes de funcionamiento y desarrollo de la sociedad. Se fundamenta en las categorías y principios propios del materialismo histórico y dialéctico.
2. Paradigma Funcionalista que tiene como proceso básico de la teoría central que lo fundamenta la función, sistema de acción social, objetos de orientación, roles, institucionalización de normas, socialización, estratificación social, estructuras sociales y cambio social. Su función consiste en explicar la conducta humana y la estructura de la sociedad.
3. Paradigma Analítico explicativo el cual tiene como concepto básico de la teoría central, percepción, pensamiento, niveles de realidad, relación investigador objeto, ideología, intersubjetividad. Su función finalmente es describir y explicar la realidad.

4. Paradigma Cualitativo Interpretativo el cual tiene como concepto básico de la teoría elementos tales como la realidad múltiple, verdad como significación de la realidad, interacción sujeto-objeto, descripción ideográfica, comprensión del fenómeno y explicación cultural. Su función finalmente es interpretar la conducta, estudiar e interpretar las actividades y pensamiento individual.
5. Paradigma Estructuralista: consiste en confrontar conjuntos diferentes para descubrir una estructura común y diferencia significativas que permitan la distinción y relación entre ellos. La estructura es la unidad a la disposición interna de un conjunto que perdurará en el tiempo. Es la que da significación a cada una de las partes que son dependientes del todo y solidarias entre sí. De tal manera que toda modificación en cualquiera de ellas, afecta inevitablemente a los demás.

Estos paradigmas permiten fundamentar la investigación en el marco de la científicidad. En otro orden de ideas y para fines didácticos se considerara la clasificación de la investigación científica sobre la base de tres aspectos:

- El primero según el propósito o razón de la investigación
- El segundo según el nivel de conocimiento que se busca
- Y el último, es decir el tercero será según la estrategia empleada

El interés en materia de -realidad- y -conocimiento- estarían asociados en estos criterios que se emplean en todo proceso de investigación.

### IV. EL CONOCIMIENTO, LA CIENCIA, EL MÉTODO, LA TÉCNICA Y LA METODOLOGÍA: HERRAMIENTAS VINCULANTES AL PROCESO DE INVESTIGACIÓN

La concepción generalizada del conocimiento apunta a toda actividad que es esencial en de las personas para obtener información, desarrollar su vida y obtener la certeza de la realidad. Se reconoce así los objetos empíricos que constituyen nuestro sistema del mundo a través de la aprensión establecida del objeto de estudio que el hombre permite para canalizar la realidad. Por tanto se concibe el conocimiento científico como aquel que determina los fenómenos naturales y sociales, sobre la base de la observación y la experimentación. Por tanto el hombre se caracteriza en su actuación por la forma de abordar la realidad y no tanto por el objeto de estudio. El conocimiento científico es considerado uno de los más importantes porque cuenta con un sistema por medio del cual desarrolla proposiciones o teoría que se exponen, se apoya en los métodos y además en las investigaciones científicas. Landeau, Rebeca (2007, p.3)

A lo largo del artículo, se ha expuesto la significación de la ciencia en el proceso de investigación, de esta manera, darle significancia a la misma implica considerarla como un conjunto de acciones que se realizan de manera disciplinada y sistematizada, lo cual implica abarcar fenómenos de una misma naturaleza que provea conocimiento sobre un aspecto de la realidad determinada, para Bunge, M (1970) la ciencia es controlada, sistemática, asequible, metódica, provisional, comprobable y especializada. Por lo cual las ciencias (formales y fácticas) se fundamentan en cualidades y factores que permiten considerar la ciencia como parte de la teoría del conocimiento. Siendo el objetivo primordial de la ciencia explicar los fenómenos naturales, es decir, especificar cuáles variables está relacionado con otras, y de qué manera se relacionan, capacitando así el investigador para predecir ciertas variables a partir de otras.

El método son aquellos procesos que fundamentalmente plantean relaciones entre causas y efectos, es un medio que permite la aplicación de manera lógica para el abordaje y estudio de un fenómeno de la realidad. El método busca la explicación que se deriva de un conocimiento, de la experiencia, de observaciones entre otros. Se conoció el método científico como un proceso de investigación que alude a la observación del fenómeno, al estudio de la hipótesis, a la aplicación de un diseño y a la obtención de resultados.

En cuanto a la técnica es considerada como un procedimiento específico, introspectivos y confiable, destinado al empleo de instrumentos, o de una herramienta para el estudio de la realidad, de una situación o bien para la operatividad de un método. Existen diversos tipos de técnicas, siendo las más comunes la técnica conceptual, la técnica descriptiva y la técnica científica todas estas principalmente útil y de gran relevancia en el desarrollo de los trabajos de investigación.

El empleo de la metodología permite fundamentalmente ayudar a la evaluación e las teorías ya existentes, siendo su principal herramienta los métodos y las formas de trabajo seguidos por la ciencia. La metodología permite comprender la integralidad de los métodos en el marco de la realización del conocimiento, y las ramas del saber.

#### **V. LAS DOS PERSPECTIVAS: CUANTITATIVA Y CUALITATIVA COMO FACTORES METODOLÓGICOS INELUDIBLES EN EL CAMPO CIENTÍFICO**

La Ciencia ha sido concebida como un cuerpo sistematizado de información que incluye principio, teorías y normas, por tanto este punto de vista enfatiza los resultados acumulativos de la investigación y define la totalidad de nuestro conocimiento actual. Por tanto, la labor del investigador es precisamente el descubrimiento de hechos al conjunto de información existente.

Esta condición de la Ciencia se conoce desde un punto de vista estático, no obstante la ciencia igualmente se puede concebir desde una perspectiva dinámica que contribuye a

una definición más compleja para la comprensión de la misma, entendiéndose a la Ciencia como una amplia búsqueda, la apertura hacia el futuro o hacia nuevas maneras de comprender la realidad.

A tenor de lo expuesto Bunge, M (2010) establece que la ciencia se ha convertido en el eje de la cultura contemporánea, y por ser el motor de la tecnología, en la actualidad la ciencia ha venido a controlar indirectamente la economía de los países desarrollados, en consecuencia, si se quiere adquirir una idea adecuada de la sociedad moderna, es menester estudiar el mecanismo de la producción científica, así como la naturaleza de sus productos.

Para los estudiosos de la metodología, la década de los años sesenta, fue escenario del final de la hegemonía de dos paradigmas, uno el paradigma cuantitativo o positivista, propiciando en ese entonces una apertura al renacimiento del paradigma interpretativo o cualitativo, a ello se le sumaron la reaparición de las ideas fenomenológicas que da nuevamente interés a la visión de la ciencia y del desarrollo del conocimiento científico, reafirmando el pluralismo teórico-metodológico evidenciado en la Ciencia.

En consecuencia, estos abordajes originaron una gran preocupación en el tema de las metodologías cualitativas y desde entonces se han multiplicado las publicaciones sobre ellas, tratando indudablemente de cubrir los vacíos que dejaban en sí el paradigma cuantitativo, hoy en día se mantienen las discusiones en los contextos académicos sobre la integración de las dos metodologías en los que reflejan la necesidad de repensar las categorías de construir la divisoria cuantitativo-cualitativo para observar de nuevo la realidad .

Así entonces, las reflexiones en torno a la dualidad de las metodologías se destaca autores y textos como los de Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio (2009); Namakforoosh (2009); De la Garza Y Leyva (2014) entre otros, destacan desde el proceso investigativo que ambas condiciones rigen con el mismo impacto para el desarrollo de una investigación que pretenda cuantificar y cualificar el objeto de estudio. Coincide con los planteamientos señalados Cerda, H (2000) al indicar que el perfil epistemológico y teórico de la investigación así como sus tipos, hace énfasis en explicar el régimen operativo en la Investigación Científica, lo que genera por parte del investigador utilizar diversas opciones cuantitativas y cualitativas dependiendo sea el abordaje objeto de estudio.

Dentro de los nuevos tipos de investigación aparecen La Etnografía, Los Estudios de Casos, Los Estudios de Comunidad, Las Historias de Vida, La Investigación Acción Participativa, por otro lado, Coffey y Atkinson (1996) exponen las condiciones que rige en los investigadores cualitativos a través de una gran variedad de estrategias y métodos para recopilar y analizar la diversidad de materiales empíricos, destacando las formas de los datos cualitativos –entrevistas, grabaciones, observaciones- en la investigación, así entonces, Martínez (2008) expone el debate de la epistemología y la metodología cualitativa, no cabe duda de

la infinidad de textos y especialistas que agregan valor a los métodos cuantitativos y cualitativos.

Lo relevante del abordaje del proceso investigativo es precisamente el requerimiento de un sistema que pueda garantizar una metodología capaz de ofrecer información homogénea y concatenada al objeto del estudio propuesto, por ello al momento de escoger una determinada metodología, lo importante es que el investigador tenga presente los propósitos y las líneas que direccionaran su estudio, el nivel de la conveniencia de los métodos y técnicas en el desarrollo del mismo y la aplicación de las estrategias en la investigación. Por otro lado, la evolución de la sociedad así como la interpretación de la realidad, cada vez más se transforma y produce la necesidad de perfeccionarse en el arte de la comprensión y el razonamiento para superar las vicisitudes del mundo actual. La naturaleza del saber hace posible comprender el significado de todo conocimiento, es igualmente necesario comprender que este significado tiene su esencia en saber captar no solo la apariencia de los objetos, sino su esencia. La esencia de los cambios de una teoría o de un paradigma tradicional obedecen a muchas razones, quizás la infinita ansia de llegar a la última de las repuestas hace que permanentemente se reemplacen o renueven interrogantes del presente.

Según Kuhn algunos criterios que son realmente necesarios considerar en una teoría son:

- La exactitud es uno de los primeros criterios que debe poseer una teoría.
- La coherencia es otro de los criterios de elección de teorías.
- La teoría debe ser amplia, aquí hay que recordar que el balance existente en términos de la multidisciplinariedad conlleva a la producción del conocimiento.
- La teoría debe ser simple, en consecuencia está íntimamente relacionada con el ordenamiento de fenómenos que, sin ella, y tomados uno por uno, estarían aislados y en conjunto serían confusos.
- La fecundidad de la teoría, tiene una gran importancia para las decisiones reales.
- El interés en el proceso dinámico durante el cual se adquiere el pensamiento más que en la estructura lógica de los productos de la investigación científica.

Estos valores que han dado lugar a múltiples interpretaciones hace posible comprender que en el análisis de todo desarrollo científico se hace necesario considerar la forma en que la ciencia se practica realmente, en consecuencia no existe reglas para inducir teorías correcta a partir de los hechos, las teorías bien sean correctas o incorrectas no pueden considerarse producto de la inducción, lo que implica que es un acto de reflexión.

La teoría desde el positivismo en cualquiera de los textos científicos que se utilizan permite explicar las generalizaciones empíricas-afirmaciones necesarias en conceptos y proposiciones apropiadas, así mismo, predicen

generalizaciones empíricas todavía desconocidas y a la vez guían el futuro de la ciencia. Desde la perspectiva cualitativa la teorización es parte integral del análisis, estas no son etapas independientes en el proceso de investigación. Las estrategias de análisis se basan siempre en la investigación empírica, haciendo uso de una inspección minuciosa de los datos mismo, lo que implica que la buena investigación no es generada por el análisis riguroso de los datos, no se detiene en la codificación y recuperación de fragmentos de datos ni se agota en el análisis formal de las estructuras narrativas, las relaciones semánticas, los mecanismos de redacción o estrategias equivalentes. Estos implican-desde esta perspectiva- ir más allá de los datos y desarrollar ideas, usarlas y expresarla de manera formal. Coffey y Atkinson (ob.cit, p.167)

Lo que importa en este caso en particular es conocer de los dos enfoques, que ambas perspectivas difieren tanto en la estrategia seguida como en la recogida de la información como en su análisis, debido a su vinculación a distintas perspectivas paradigmáticas. De igual forma lo que importa es destacar que ambas perspectivas tienen relevancia y se ponen en práctica en la medida que se hace necesario explicar la realidad en estudio. Para muchos investigadores-Bericat, Eduardo (1998); Hurtado Iván y Josefina Toro (1997); Miguel Martínez (1989); Rafael Bizquera (1989); Jacqueline Hurtado (1998); Cea D'Ancona (1999) - la estrategia de articular distintos métodos en una misma investigación, permite plantear una variedad de combinaciones metodológicas válida para el logro de los objetivos que se proponen en una investigación.

En estas dos perspectivas, se debe conservar el rigor científico (aun más hacerlo viable) a la utilidad que desee darle el investigador, sobre la base de un marco teórico que dé sustento al objeto de estudio. Durante muchos años en el campo de las ciencias sociales ha prevalecido el método de investigación científica, el cual -según Sierra Bravo (1999) - hace énfasis en la práctica de los principios que reformen, completen o confirmen las teorías iniciales o el conjunto racional de ideas que han servido de partida a la investigación en curso. El especialista considera que se hace necesaria la teoría para observar la realidad, sin embargo, en cualquiera de los escenarios los hechos de por sí son mudos y nada dice si no se sabe interpretarlos y se va a ellos con ideas y enfoques previos.

Para María Á. Cea D Ancona (1999) cada vez mas es notoria en campo de la investigación y de las Ciencia la dicotomía existente entre las perspectivas científicas y humanistas, al respecto refiere:

1. La perspectiva científica/cuantitativa: la cual defiende la existencia de un único método (el de las ciencias naturales y exactas) general a todas las ciencias, al igual que el principio de causalidad y la formulación de leyes generales en el análisis de la realidad social, el énfasis se



pone en la explicación de la contratación empírica y en la medición objetiva de los fenómenos sociales.

2. La perspectiva humanista/cualitativa la cual concibe la especificidad de las ciencias sociales. Rechaza el modelo metodológico de las ciencias naturales y aboga, en cambio, por el análisis de lo individual y concreto, por medio de la comprensión o interpretación de los significados ínter subjetivo de la acción social (desde el punto de vista del actor social). El énfasis se pone en el lenguaje y en los aspectos micro de la vida social (situaciones caras a cara).

Lo importante en la escogencia al momento de un trabajo de investigación de estas dos perspectivas es comprender que las Ciencias son el resultado de esfuerzos sistemáticos, coherentes y metódicos de investigación que confluyen mutuamente para la búsqueda de respuestas a problemas específicos y cuya solución procura ofrecer una representación adecuada en el contexto donde se investiga y se pretenda generar el conocimiento.

## VI. RESULTADOS

Finalmente que todas las sociedades humanas adquieren, preservan y transmiten una cantidad sustancial de saberes, que son notablemente visibles a través del lenguaje, bien sea escrito u oral., esto en correspondencia al avance que ha tenido las civilizaciones, la acumulación y la difusión de conocimientos, los cuales se multiplica por medio de la investigación y donde la utilización de métodos y técnicas es de vital importancia. Hoy más que nunca el docente universitario debe estar a la vanguardia en base al desarrollo de investigaciones –teóricas o aplicadas- cuyo alcance permita la valoración de la información y además el aporte al mundo de la ciencia.

## VII. CONCLUSIONES

Para Tolchinski, Rubio y Escofet (2002) la comunidad científica debe garantizar la originalidad propia de todo proceso de investigación, en este sentido y a tenor de lo expuesto en desarrollo de este artículo, se hacen necesario destacar puntalmente aspectos claves para lograr con éxito el abordaje de las perspectivas cuantitativas o cualitativas:

- En todo proceso de investigación se deberá llevar a cabo una investigación empírica que no se haya realizado antes
- Se debe realizar una síntesis que no se haya realizado antes.
- Habrá que tomar en cuenta la utilización adecuada de los métodos y técnicas o bien revisar desde diversas ópticas la concepción de lo que se pretende estudiar.
- Tendrá que considerarse la utilización de una técnica particular pero aplicándola a otra área o problema
- Se debe proporcionar evidencia nueva sobre un tema conocido

- Establecer preferiblemente un enfoque interdisciplinario a través del uso de diferentes metodologías
- Se requiere observar áreas en las cuales otra gente en la disciplina no haya realizado observaciones.

De igual forma la utilización de reglas semánticas y gramaticales de la lengua se hace necesario en cualquier investigación, así como también la necesidad de incorporar una competencia retórico – pragmática, la cual consiste en apreciar adecuadamente los conocimientos y las expectativas de nuestros potenciales interlocutores, saber colocar en el texto todas las referencias espacio-temporales que necesita el lector para entender el mensaje de acuerdo con el sentido que se desee abordar teniendo en cuenta la continuidad estilística o una coherencia lógica y argumentativa. Se hace necesario destacar lo que los especialistas en el área de metodología consideran aquellos factores a tomar en cuenta en el discurso científico y los procesos de redacción entre los que se encuentra Hablar llano, Resaltar la significación, Persuadir, Escribir y re-escribir, Originalidad, Enmarque, Ignorancia y transgresión.

Por estas razones todo proceso investigativo debe tener el reconocimiento de la originalidad, el logro de los objetivos propuestos, el uso de fuentes fidedignas y un contenido de calidad. En palabras de Alvira (1995, p.247) citado por D'Ancona, la determinación y éxito de un trabajo de investigación apunta hacia dar cuenta del cómo, cuándo y con qué resultados se han cumplido los objetivos además del procesamiento científico que se siguió para lograrlo. Desarrollar un trabajo de investigación así como escribir un texto académico científico, representa para cualquier investigador un gran reto, en la redacción del documento final se cristaliza cada uno de las etapas desarrolladas durante el proceso de investigación. De esta manera, la investigación adquiere un lugar protagónico en los escenarios académicos que conlleva a interpretarlo como un agregado al conocimiento y un esfuerzo por parte del investigador.

## RECONOCIMIENTOS

Este trabajo de investigación ha sido producto del apoyo en conversatorios con el Grupo de Investigación Empresa, Universidad y Sociedad-GEUS- Universidad de Carabobo. Venezuela.

## REFERENCIAS

- [1] Bunge, Mario (2010). Epistemología. Editorial Siglo XXI México.
- [2] Castello, Montserrat (2007). Escribir y Comunicarse en Contextos Científicos y Académicos. Editorial Grao. España
- [3] Cea D Ancona (1999) Metodología Cuantitativa. Estrategias y técnicas de Investigación Social. Síntesis Sociología. España
- [4] Coffey y Atkinson (1996). Encontrar el sentido a los datos cualitativos. Editorial Contus. Colombia.
- [5] Damiani (2005) Epistemología y Ciencia en la Modernidad. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

- [6] De la Garza Toledo (2014). Tratado de Metodología de las Ciencias Sociales. Perspectivas Actuales. Editorial Fondo de Cultura Económica. México.
- [7] Ediciones Universidad de Barcelona.
- [8] Etkin, Jorge (2012). Gestión de la Complejidad. Editorial Gránica. Colección Mangement. Buenos Aires. Argentina
- [9] Jaimes Rosalvina (1998) Origen y Destino del Conocimiento Científico. Editorial Tripykos. Caracas.
- [10] Landeau, Rebeca (2007) .Elaboración de Trabajos de Investigación. Editorial Alfa. Caracas.
- [11] León Rúgeles (2014) Teoría del Conocimiento. Ediciones Biblioteca de Ciencias de la Educación. Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela
- [12] Martínez, Miguel (2009) Epistemología y Metodología Cualitativa. Editorial Trillas. Caracas Venezuela.
- [13] Mendicoa Gloria (2003). Sobre Tesis y Tesista. Editorial Espacio. Argentina.
- [14] Namakforoosh M. (2009). Metodología de la Investigación. Editorial Limusa. México.
- [15] Tolchinski, Rubio y Escofet (2002). Tesis, Tesinas, y otras Tesituras. De la pregunta de investigación a la defensa de la tesis.
- [16] Vieytes, Rut (2004) Metodología de la Investigación en la Organizaciones, Mercado y Sociedad. Editorial de las Ciencias. Argentina.



**Magda Cejas M.** Nacida en Carupano. Venezuela. Lic. en Relaciones Industriales y Lic. En Administración y Organización de Empresas. Posee Doctorado en Economía de Empresas (Universidad de Barcelona-España), Doctorado en Ciencias Sociales (Universidad de Carabobo-Venezuela). Postdoctorados en: Ciencias Humanas y en Educación Superior. Master en Administración y Relaciones Laborales (1996), Máster en Sociología (2004), Máster en Experto Laboral (2004), Máster en Investigación Avanzada (2003), Especialista en Gerencia (1994),

Especialista en Recursión Profesional (2004), Especialista en Educación Superior (1998). Especialista en Docencia (2003). Es investigadora Acreditada con el Premio Nacional de Investigación otorgado por Ministerio del Poder Popular para Ciencia, Tecnología e Industrias Intermedias (Venezuela). Profesora Investigadora y Titular de la Universidad de Carabobo. Actualmente docente del CEAC-ESPE. Extensión Latacunga. Ecuador.



**Galo R. Vásquez A.** Nacido en Latacunga. Ecuador. Es Ingeniero de Empresas, Posee Maestría en Docencia Universitaria y Administración Educativa. Es master en Gestión de Proyectos. Ha ocupado cargos de relevancia en la empresa privada (Ecuador) relacionados con el Área de Administración y de Recursos Humanos. Se desempeña como docente investigador de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Extensión Latacunga. Actualmente es Director del Departamento de Ciencias Económicas, Administrativas y de Comercio-CEAC- Extensión de Latacunga. Ha realizado múltiples cursos profesionales en el área de Gestión de Recursos Humanos y Administración de Empresas.



**Carlos Geovanny Albán Yáñez** Nacido en Latacunga. Ecuador. Es Ingeniero en Ecoturismo, Curso estudios de Maestría en Gestión Empresarial Agroturismo. Conferencista. Director de la Carrera Ingeniería en Turismo y Hotelería. Universidad de las Fuerzas Armadas. ESPE. Extensión Latacunga. Se ha desempeñado como docente en Instituciones de Educación Superior en Ecuador, Actualmente Docente investigador de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Extensión Latacunga. Posee cursos profesionales en el marco del Turismo y Agroturismo.

## **NORMAS DE PUBLICACIÓN REVISTA INFOCIENCIA**

1. La revista "Infociencia" es de carácter científico y tecnológico, con aplicación al campo de las ciencias de la ingeniería. Infociencia consta en el directorio de Latindex desde el año 2005. El objetivo de la revista es difundir investigaciones originales, útiles y relevantes que presentan nuevos conocimientos sobre aspectos teóricos o prácticos de las metodologías y métodos usados en ingeniería y/o conducentes a la mejora de la práctica profesional.
2. Todo trabajo científico debe ser inédito, la revista acepta artículos escritos en idiomas español e inglés. La revista aparece anualmente en el mes de diciembre.
3. Los trabajos científicos se aceptan, hasta el mes de agosto, en la Secretaría de la Jefatura de Innovación, Investigación y Transferencia Tecnológica, en la dirección Quijano y Ordoñez y Hermanas Páez, o bien, vía email: [sie-el@espe.edu.ec](mailto:sie-el@espe.edu.ec)
4. El editor inicialmente evaluará los trabajos científicos determinando la pertinencia del mismo para proseguir con la evaluación de los trabajos por pares.
5. Los trabajos científicos serán enviados a pares evaluadores los cuales realizarán las respectivas revisiones a través de comentarios y sugerencias que permitan mejorar los trabajos científicos en fondo y en forma.
6. Es responsabilidad del autor obtener permiso para utilizar material que aparece en otras publicaciones.
7. Los autores deberán suministrar sus trabajos científicos en formato Word. El ancho de los márgenes será de 1,78 cm inferior y superior y de 2 cm de izquierda y derecha.
8. New Times Roman será el tipo de letra a utilizarse para la elaboración de los trabajos científicos.
9. El formato del título principal será: tamaño 2 centrado, en minúsculas.
10. Se deberá incluir el nombre del autor o autores en tamaño 10, en una línea. En las siguientes líneas se indicará la institución donde trabaja con la dirección respectiva en tamaño 10 normal. En la siguiente línea las direcciones email del autor y coautores en cursiva y tamaño 10. Todo esto centrado.
11. A continuación se pondrá el Resumen y el Abstract en español y en inglés respectivamente así como sus respectivas palabras claves y Keywords. Las palabras Resumen, Abstract, Palabras Claves y keywords va a la izquierda con negrilla, en tamaño 9 cursiva, seguida de dos líneas. El texto va en tamaño 9. La extensión máxima del Resumen o Abstract es de 300 palabras.
12. Los apartados de un artículo irán escritos con letras mayúsculas, en negrita, centrado, con numeración arábica, con tamaño 10. Los subapartados se escribirán con letras minúsculas, de tamaño 10 en negrita, alineado a la izquierda y destacados con letras mayúsculas siguiendo el orden alfabético. El texto propiamente del artículo será escrito en tamaño 10 normal.
13. Entre el título o enunciado del apartado o subapartado y el número arábigo o letra debe quedar en espacio en blanco.
14. Los gráficos, figuras o fotos se enumerarán y señalarán como Figura. Los cuadros y tablas se han de enumerar independientemente de las figuras y se han de señalar con la palabra Tabla.
15. Se recomienda numerar las fórmulas utilizadas entre paréntesis y con la debida alineación hacia la derecha. Dichas fórmulas o ecuaciones deberán estar centradas.
16. Las referencias serán enumeradas, entre corchetes, con números romanos y se presentan al final del artículo, siguiendo estrictamente el orden: Apellidos, Nombres, Título, Editorial, Año y Números de página de ser el caso. Toda referencia deberá tener una cita en el texto mediante el número de referencia encerrado entre corchetes.
17. Lo no previsto en las normas señaladas será decidido por el Comité Editorial de la revista.





REVISTA INFOCIENCIA

ISSN: 1390-339X

UNIVERSIDAD DE FUERZAS ARMADAS ESPE - EXTENSIÓN LATACUNGA

Quijano y Ordóñez s/n y Hermanas Páez

Tel: (03)281020 Fax: (03)2810280

<http://www.espe.edu.ec>