

# TECNO ESUFA

REVISTA DE TECNOLOGÍA AERONÁUTICA

ISSN 1900-4303 • volumen 19 • julio 2013



**“Durante 81 años educando suboficiales íntegros  
de indeclinable espíritu militar”**

**FUERZA AÉREA COLOMBIANA**  
Escuela de Suboficiales “CT. Andrés M. Díaz”



"Durante 81 años educando suboficiales íntegros de indeclinable espíritu militar"

Es una Publicación Académica, Científica y Tecnológica de la Escuela de Suboficiales "CT. Andrés M. Díaz" de la Fuerza Aérea Colombiana, cuyo Propósito se Fundamenta en la Divulgación de Artículos, Resultado del Proceso de Investigación Formativa, de Investigación Tecnológica y de las Investigaciones de las Instituciones Involucradas y Especializadas en el Campo Aeronáutico Militar y Civil.

## DERECHOS RESERVADOS

Prohibida su reproducción parcial o total sin autorización del Consejo Editorial.

La publicación y la Institución, no son responsables legales de los conceptos expresados en los artículos, ya que estos expresan la opinión de los respectivos autores y no genera la acusación de honorarios.

Nos reservamos el derecho de publicar los artículos seleccionados por el Comité Evaluador.

Idioma:	Español
Publicación:	Semestral
Número de ejemplares:	500
ISSN:	1900-4303
Publicación:	Sin ánimo de lucro
Distribución:	Interna

## NORMAS PARA LA PUBLICACIÓN DE ARTÍCULOS

El artículo debe ser un trabajo inédito y responder a un proceso de investigación en Ciencia y Tecnología Aeronáutica.

El artículo debe relacionar el nombre, cargo y especialidad del gestor y autor del proyecto.

El artículo debe llevar un resumen en inglés y en español con sus palabras claves.

Los artículos deben ser enviados en el primer y tercer trimestre de cada año, en medio impreso, magnético o vía Internet.

## INFORMACIÓN Y CORRESPONDENCIA

Enviar los artículos a: escuadrón de investigación Escuela de Suboficiales FAC "CT. Andrés M. Díaz"  
Cra. 5 No. 2-92 Sur, Madrid-Cundinamarca  
www.esufa.edu.co  
e-mail: investigacion.academico@gmail.com  
e-mail: revistatecnoesufa@gmail.com

## COMITÉ DE ARBITRAJE

CT. Erwin Alfonso Sierra Salazar  
*Magister en Ingeniería Industrial*

OD18. Alicia del Pilar Martínez Lobo  
*Estudiante de Maestría en Docencia e Investigación*  
*Universidad Sergio Arboleda*

OD15. Francia María Cabrera Castro  
*Magister en Física, Estudiante Doctorado en Física*

OD15. Patricia Cadena Caicedo  
*Estudiante de Maestría en Docencia e Investigación*  
*U. Sergio Arboleda*

## COMITÉ DE EVALUACIÓN

CT. Erwin Alfonso Sierra Salazar  
*Magister Ingeniería Industrial*  
*Pontificia Universidad Javeriana*

TS. Juan Edilberto Guío Vargas  
*Jefe Programa Tecnología de Comunicaciones Aeronáuticas*

TS. Fernando Mape Guzmán  
*Jefe Programa Tecnología de Inteligencia Aérea*

TS. Jorge Enrique Parra Montaña  
*Jefe Programa Tecnología Mantenimiento Aeronáutico*

TS. Omar Adolfo Morales Cueto  
*Jefe Programa Tecnología Electrónica Aeronáutica*

TS. Cesar Martínez Escobar  
*Jefe Programa Tecnología Defensa Aérea*

TP. Alexander Trejos Herrera  
*Jefe Programa Tecnología Abastecimientos*

T2. José Bernardo Alfaro Duarte  
*Jefe Programa Tecnología Seguridad Aeroportuaria*

OD15. Francia María Cabrera Castro  
*Magister en Física, Estudiante Doctorado en Física*

OD15. Guillermo Fabio Vargas  
*Especialista en Docencia Universitaria*

OD15. Daniel Arteaga Puentes  
*Ingeniero Aeronáutico*

## COMITÉ EVALUADOR EXTERNO

Gloria María Carrillo Lozano  
*Licenciada en Ciencias de la Educación con especialidad en física y estudiante de maestría en ciencias - Física.*

Diego Gerardo Roldán Jiménez  
*Magister en Matemática aplicada y estudiante de doctorado en matemáticas.*  
*Ingeniero aeronáutico Universidad los Libertadores, Bogotá.*

## ESPAÑOL - INGLÉS

OD.15. Marisol Romero Parra  
*Magister en educación en énfasis lenguaje cultura y comunicación*



## DIRECTOR

CR. Juan Marcos Perdomo Robledo

*Director Escuela de Suboficiales FAC*

## COMITÉ EDITORIAL

CR. Juan Marcos Perdomo Robledo

*Director Escuela de Suboficiales FAC*

CR. Edgar Ricardo Montenegro Romo

*Subdirector Escuela de Suboficiales FAC*

TC. Jhon Fredy Forero Soto

*Comandante Grupo Académico*

CT. Erwin Alfonso Sierra Salazar

*Comandante Escuadrón Investigación*

OD18. Alicia del Pilar Martínez Lobo

*Jefe Investigación Formativa*

OD15. Francia María Cabrera Castro

*Subdirectora de proyectos I+D+I*

OD15. Patricia Cadena Caicedo

*Jefe Protección del Conocimiento*

## DIRECCIÓN

Escuela de Suboficiales CT. Andrés María Díaz

Cra. 5 No. 2-92 Sur

Madrid - Cundinamarca/Colombia

Teléfono: (1) 8209078 / 80 Ext. 1724

Escuadrón de Investigación

e-mail: [investigacion.academico@gmail.com](mailto:investigacion.academico@gmail.com)

e-mail: [revistatecnoesufa@gmail.com](mailto:revistatecnoesufa@gmail.com)

Sitio web: [www.esufa.edu.co](http://www.esufa.edu.co)

Espanol – Inglés

OD.15. Marisol Romero Parra

*Magister en educación con énfasis en lenguaje cultura y comunicación*

Fotografía

Eliecer García Moreno

*Fotógrafo ESUFA*

## DISEÑO, PREPrensa E IMPRESIÓN

Strategy Ltda.

(1) 335 0778 | 571 0350

[www.strategyltda.com](http://www.strategyltda.com)

## ÍNDICE

### INSTITUCIONALES

4. ¿QUÉ SE ESPERA DE UN PROYECTO DE INVESTIGACIÓN?

*Leidy Esmeralda Herrera Jara*

### CIENCIA Y TECNOLOGÍA AERONÁUTICA

9. CAMPO TRANSITORIO DE TEMPERATURAS DEL ALMA DEL ÁLABE DE ESTATOR DEL MOTOR DE TURBINA A GAS TAY650-15

*Silvio Alejandro Jiménez*

*Maritza Nataly Gonzalez*

19. DISEÑO DE UN SEÑUELO RADAR ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

*TS. César Martínez Escobar*

*SBR. Andres Páez Calderón*

*SBR. Hugo Rosero Ruíz*

*DS. Andres Otálvaro Mora*

22. PROTOTIPO PARA LA PERTURBACIÓN DEL GPS QUE OPERA EN LA BANDA CIVIL 1,5742GHZ

*SBR. Cristian Cortés Molina*

*DS. Jeisson Javier Díaz Prieto*

*DS. Joshua Gaitán Junca*

28. PROTOTIPO PLATAFORMA CON MOVIMIENTO 6 DOF CON FLIGHT SIMULATOR 2004

*Grupo de investigación TESLA*

*ING. Nelson Rodriguez*

*TS. Omar Morales Cueto*

*BRM. Erick Alexander Cacmacho Tuta*

*BRM. Brayan Viveros Diaz*

*DS. Nestor Contreras Lozano*

31. IMPLEMENTACIÓN DE UNA TARJETA DE DESARROLLO ELECTRÓNICA PARA LA ENSEÑANZA EN EL ÁREA DE LOS MICROCONTROLADORES

*Ing. Nelson Javier Rodríguez*

46. DISEÑO DE UN TÚNEL DE VIENTO SUBSÓNICO PARA HÉLICES DE MÁXIMO 30 PULGADAS

*Ing. Manuel Fernando Caro Rincón*

37. DISEÑO Y ELABORACIÓN DE LA TAPA PROVEEDOR PARA EL FUSIL GALIL ACE

*DS. José Granados Mora*

*DS. Alejandro Bedoya Moreno*

*DS. Oscar Benavides Suárez*

### EDUCACIÓN AERONÁUTICA

49. PUNTOS MATEMÁTICOS DE LA MÚSICA

*TJ. Carlos Arturo Forero Farfán*

## PRESENTACIÓN

La Escuela de Suboficiales “CT. Andrés M. Díaz” Fuerza Aérea Colombiana participó y obtuvo el Segundo Puesto en el Tercer encuentro de Ciencia, Tecnología, Investigación e Innovación, organizado el pasado 4 y 5 de junio de 2013 por la Escuela de Suboficiales del Ejército Nacional “Sargento Inocencio Chinca”, este evento fue un referente para conocer el nivel en materia de investigación que ha logrado nuestra Escuela.

De otro lado, el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT siglas en inglés), a través de su publicación MIT Technology Review, creó el premio para jóvenes innovadores menores de 35 años que exponen los mejores proyectos de investigación, de esta forma la Escuela de Suboficiales “CT. Andrés M. Díaz” está postulada para este premio, por mostrar diferentes proyectos entre los cuales se encuentran el procesamiento digital de imágenes y arquitectura de automatización, aplicaciones utilizadas en el campo aeronáutico. Esta producción académica es la evidencia a la labor desarrollada por los diferentes actores que hacen parte de la Academia en la Institución.

Escuadrón Investigación





## EDITORIAL

La Escuela de Suboficiales FAC “Capitán Andrés M. Díaz”, además de ser el alma mater de la Suboficialidad de la Fuerza Aérea, es una de las pocas instituciones militares que se encuentra acreditada en alta calidad como Institución de Educación Superior; ya que cuenta con programas tecnológicos avalados por el Ministerio de Educación Nacional. Por lo tanto ESUFA a través de sus 81 años, ha evolucionado para llegar al nivel de estar certificada por parte del Consejo Nacional de Acreditación, en todos los procesos académicos orientados a la formación de sus alumnos; que como futuros Suboficiales soportarán las operaciones aéreas, mediante el mantenimiento de las aeronaves, y el desarrollo de labores logísticas, de seguridad y administrativas; que la Fuerza Aérea Colombiana día a día requiere para el cumplimiento de la misión constitucional.

Los Suboficiales egresados de ESUFA, son personas con características específicas: se trata de hombres y mujeres de altos valores y principios, con alta capacidad profesional; pilares fundamentales para resistir la gran exigencia que el conflicto interno los ha obligado a vivir; haciendo honor a la primera estrofa del himno de la Escuela: “El escudo que cubre mi frente, me recuerda mi diario deber; recorrer es mi lucha constante, los caminos del bien y el saber”.

La formación integral que reciben los jóvenes en ESUFA, corresponde a lo que los Soldados del Aire necesitan para enfrentar los retos del ambiente militar aeronáutico: el alto profesionalismo dentro de su especialidad y un espíritu férreo que no se doblegue ante las adversidades; esperando como único pago la gratitud y las oraciones de sus compatriotas.

Para el año 2013, la Escuela de Suboficiales FAC asumió un gran compromiso para estar a la par de las instituciones educativas militares de vanguardia: por primera vez se incorporaron damas dentro de los cursos regulares



que adelantarán su formación durante seis semestres para convertirse en Suboficiales Operativas, es así como en el curso No. 87 actualmente hay cuatro señoritas que aspiran a ser las primeras mujeres de carrera graduadas en ESUFA. Su reto es de mucha responsabilidad, ya que se constituyen en la punta de lanza que abrirá esa nueva opción para las damas bachilleres que deseen incorporarse a nuestra Escuela.

De la misma forma, otro gran compromiso es el de ajustar los programas tecnológicos para que sus currículos se orienten a la educación por competencias, lo cual se inició con las especialidades de Mantenimiento, Electrónica y Abastecimientos; para que los Suboficiales recién egresados puedan asumir las labores básicas enfocadas en el hacer, también en respuesta de la actual demanda operativa de la Fuerza Aérea.

Como Director de la Escuela de Suboficiales FAC, me siento gratamente rodeado de un equipo armónico, con intención de acertar y comprometido con la delicada misión de formar jóvenes que se constituyan en el bastión moral de esta gran nación llamada Colombia. Que el Señor de los Ejércitos proteja a quienes defienden con sus vidas a nuestra Patria. Somos la Fuerza !

**Coronel JUAN MARCOS PERDOMO ROBLEDO**  
Director de la Escuela de Suboficiales  
“CT. Andrés M. Díaz”



# ¿QUÉ SE ESPERA DE UN PROYECTO DE INVESTIGACIÓN?

*What is expected from a research project?*

## LEIDY ESMERALDA HERRERA JARA

Docente Presencial y Virtual Áreas de Investigación Escuela de Seguridad Vial Policía Nacional.

Docente Escuela de suboficiales Fuerza Area 2011 Areas de Investigación.

Administradora Educativa

Especialista en Gerencia Social

Especialista en Evaluación y

Construcción de

Indicadores de Gestión para la Educación Superior

Especialista en Docencia e

Investigación Universitaria

Magistranda en Docencia e

Investigación Universitaria Universidad Sergio Arboleda.

e-mail: asesorialh@gmail.com

*Fecha de Recepción: 08 de nov del 2012*

*Fecha de Aprobación: 24 de mayo de 2013*



## ABSTRACT:

The author, through her experience of 26 years on teaching research methodology, project design and work degree with undergraduate and postgraduate students, it is found the inclusion of different methodologies of teachers according to their training field, aims to focus their methodological advice and thematic in different jobs that students work in advance. High education institutions, as well as their leaders generate policies and criteria for the development of research projects which in most of the cases tend to be dissipated by the academic community.

## Key words:

Research, Methodology, types of research.

## RESUMEN

La autora a través de su experiencia de 26 años en la enseñanza de Metodología de la Investigación, Diseño de Proyectos y Trabajo de grado, con estudiantes de Pregrado y postgrado, se encuentra con la inclusión de diferentes metodologías de docentes que de acuerdo a su área de formación quieren enfocar su asesoría meteorológica y temática en los diferentes trabajos que adelantan los estudiantes. Las instituciones de educación superior así como los dirigentes generan políticas y criterios para el desarrollo de los proyectos de investigación, los cuales en muchos casos tienen a disipar por parte de la comunidad académica.

## Palabras Clave

Investigación, Metodología, Tipos de Investigación

Dentro del proyecto de investigación se encuentran pautas para formular las preguntas, hacer manifiestos los supuestos iniciales, articular los conceptos pertinentes al problema o problemas planteados, tomar decisiones sobre los enfoques metodológicos y sobre la calidad y la cantidad de las fuentes y de la información a ser obtenida.

La función que cumple un proyecto de investigación es doble: para quien lo elabora, el documento expresa de manera clara y justificada los temas de interés y las preguntas específicas que pretende indagar, además de ubicar la investigación en un paradigma o vertiente de investigación en particular. Además, sirve para prever los recursos metodológicos por emplearse y para planear cuestiones prácticas como tiempos, avances, etc.

El documento sirve para establecer la claridad de los planteamientos, de la relevancia o pertinencia del tema al que se le dedicará un gran esfuerzo, de la cohesión de todos los elementos del mismo (el problema, la base conceptual o teórica, los recursos metodológicos) y para valorar la factibilidad de su conclusión.

Es así como otro de los aspectos a desarrollar es el problema de investigación el cual debe estar orientado claramente por un problema de conocimiento expresado por un conjunto de preguntas relevantes que intentan dar respuesta a dicho problema y cuya solución constituye un aporte al conocimiento de aspectos precisos de la realidad sin requerir explícitamente ampliar la frontera del conocimiento. Esto determina el tipo de conocimiento que se pretende producir e impone límites a expectativas poco practicables.

Igualmente debe encontrarse acorde al campo de estudio de acuerdo con el programa que se encuentre adelantando. En cualquier caso, el esfuerzo consiste en tener claridad en qué se quiere conocer y ser capaz de expresarlo como pregunta de investigación.

Las preguntas deben poder formularse en forma directa y deben aludir a procesos, hechos o relaciones concretos con la temática de formación que se recibe.

Como estrategia se pretende la articulación del problema, los conceptos y la metodología: diseñar una

destreza de investigación responder a las preguntas previas y confirmar las informaciones que dieron sustento a la pregunta principal de investigación. Ello exige una ruta explícita para resolver estos aspectos.

De la buena formulación de las preguntas de investigación depende la correcta articulación entre teorías, conceptos, recursos metodológicos, hipótesis y conocimientos previos. Esto, a su vez, permite diseñar una buena estrategia de investigación: ¿Qué voy a hacer para resolver la problemática? ¿Cómo relaciono un avance del trabajo con las necesidades subsiguientes? ¿Qué tipo de fuentes y datos son los mínimos pertinentes para resolver mis preguntas? ¿Cómo me guío para recabar los datos? ¿Qué tiempo me doy para cubrir las etapas previstas?

Otro de los aspectos importantes es el *Marco referencial*, dentro del cual se encuentra inmerso las teorías y conceptos. El proyecto de investigación debe ofrecer una propuesta de conceptos pertinentes a las preguntas dentro de campos o perspectivas teóricos más generales. Esto supone deslindarse de otras perspectivas teóricas y de otros conceptos, no para restarles validez sino para delimitar el terreno analítico en el que se desarrollará la investigación. Es necesario evitar la tentación de usar muchos conceptos para explicar muchas cosas, eludir el problema frecuente de usar al mismo tiempo cuerpos conceptuales divergentes o diferentes para explicar los fenómenos, y prevenirse de armar grandes marcos conceptuales que no serán usados en la investigación empírica.

El proyecto debe ubicar los diferentes planos del uso de las teorías y de los conceptos. En el plano más general se ubican los marcos epistémicos y los paradigmas, es decir, los conceptos teóricos y metodológicos que funcionan como un sistema de creencias que determina la forma de ver los problemas. En un plano intermedio, se ubican las teorías generales, esto es, las proposiciones que se emplean para la explicación de los procesos y fenómenos, las cuales suponen una visión de la sociedad, del lugar de las personas en ellas (acciones, concepciones, roles, etcétera) y de las relaciones entre los diversos componentes de la sociedad. En un nivel básico están las

teorías sustantivas, es decir, las proposiciones específicas para abordar la parte de la realidad que se investigará. Con estas teorías se elabora el problema de investigación y las preguntas específicas.

El esquema de la investigación no es una simple acumulación de conceptos. Requiere coherencia interna y validez, dadas por su pertinencia para responder a las preguntas de investigación de acuerdo con el orden de asuntos que dichas preguntas implican. Los esquemas de análisis son relacionales y ello supone tener claridad sobre el ámbito de pertinencia de los conceptos usados.

Del esquema se desprenden las observaciones que se realizarán. Así, con el esquema usado es posible prever el tipo de información que se requiere en la investigación.

Al quererse definir los niveles de la investigación. Las preguntas deben orientar con claridad el nivel o los niveles de realidad en donde se ubica el problema de investigación, así como designar la población y la muestra en la que se sitúa el estudio. Las preguntas deben permitir una buena articulación entre ellos. Así, se requiere identificar si la información necesaria es sobre un programa, un establecimiento, sobre estudiantes, profesores o directivos (sujetos). Esto es importante para privilegiar la obtención de datos pertinentes al nivel en el que se sitúa la pregunta.

Además de determinar las poblaciones y los niveles, se requiere definir cuánta y qué tipo de información es necesaria: cuántas materias de un currículo o el currículo completo, cuántos y cuáles alumnos, profesores o funcionarios, cuántos y cuáles datos sobre la institución.

Por otro lado, es importante ser realista con las posibilidades de obtener información. Ciertos aspectos podrían requerir levantamientos de datos para los cuales no se tienen recursos o tiempo. Otros podrían exigir cierto tipo de información que las instituciones niegan. Pero muchos datos se pueden construir mediante entrevistas, encuestas representativas con bajo número de variables, consulta de archivos institucionales y personales, o hemerotecas.

La claridad sobre el tipo de fuentes y de información es crucial. No tiene caso hacer, por ejemplo, largas

entrevistas sobre asuntos que no conciernen directamente a las preguntas, ni coleccionar materiales que no guardan vinculación directa con el tema. Es preferible detectar en una segunda vuelta nuevas necesidades de información que intentar abarcarlas todas desde un inicio.

Antes de llegar al proyecto conviene hacer un ejercicio de anteproyecto. Éste consiste en una primera versión de las preguntas, los cuerpos teóricos, la bibliografía a usar, la aproximación metodológica y el calendario de actividades y recursos previstos. No sobra insistir que un anteproyecto y un proyecto no son resúmenes de lecturas efectuadas y mucho menos notas personales. Es una propuesta de cómo se percibe un problema, por qué se considera importante y cómo puede estudiarse a partir de lo que se sabe.

Un guión para la redacción del proyecto puede adoptar más o menos la siguiente forma:

**Planteamiento del problema.** responde a la pregunta: ¿Qué se va a investigar? (Castillo, 2000) para lo cual se requiere describir la situación actual en la cual se identifica la problemática exponiendo el Diagnóstico, Pronóstico y Control del Pronóstico; generando así la pregunta de Investigación y las subpreguntas.

Esta descripción debe estar apoyada en datos reales tomados de fuentes verídicas (con las citas bibliográficas y documentales correspondientes; referenciarse con Normas APA). Así mismo, debe explicarse cuál es el alcance del problema tratado, cómo se relaciona con hechos semejantes y cuáles son los interrogantes a los que quiere dar respuesta. Al mismo tiempo, se exponen las tesis e hipótesis a sustentar, teniendo en cuenta que una tesis es una afirmación categórica que requiere ser sustentada, demostrada o comprobada y que una hipótesis es un supuesto que explica la ocurrencia de un determinado fenómeno o evento.

**Revisión de la bibliografía pertinente.** Aspectos estudiados en la literatura (teórica y de resultados investigación) sobre el tema y el problema, Metodologías empleadas en otros estudios del tema y del problema,

debates y posiciones importantes sobre el tema y el problema.

**Justificación:** una vez definidos los objetivos de la investigación se debe responder a la pregunta de por qué se realiza la presente investigación. A este interrogante se puede dar respuesta desde la perspectiva metodológica, teórica y /o práctica.

La mayoría de las investigaciones se efectúan con un propósito definido, por tanto, se hace necesario explicar la conveniencia de la realización de la investigación y qué beneficios se derivarán de ella. Algunos de los motivos para realizar una investigación son:

1. Conveniencia: para qué sirve la investigación.
2. Relevancia social: a quiénes beneficiará la investigación.
3. Implicaciones prácticas: problemas prácticos que ayudará a resolver.
4. Valor teórico: aportes nuevos al conocimiento de un tema.
5. Utilidad metodológica: creación de nuevos instrumentos, técnicas para recolección a análisis de datos.

**Los objetivos:** deben responder a la pregunta: ¿Cuáles son los propósitos de la investigación?

Los objetivos hacen referencia a lo que se espera conseguir con la investigación. es decir, que al cumplir los objetivos, se debe dar respuesta a la pregunta de investigación, es decir, al problema. Los objetivos, por tanto, permiten orientar la investigación, y a la vez, estructuran la metodología.

Cumpliendo con las siguientes características, se garantiza una adecuada redacción de los objetivos de la investigación (Castillo, M., 2000).

1. Factibles de alcanzar en el horizonte de tiempo trazado para la investigación.
2. Verificables, es decir, que al final de la investigación se pueda comprobar si se lograron o no, ya que los objetivos se traducen finalmente en resultados.
3. Precisos y concretos, es decir, que indiquen en forma clara y directa las acciones a realizar, expresadas a través de acciones tangibles con verbos en infinitivo, por ejemplo: identificar, diseñar, evaluar, elaborar; evitando

acciones intencionadas como: propender, fomentar, fortalecer, estimular, propiciar, contribuir.

Se recomienda elaborar un objetivo general y dos o más específicos (máximo cinco).

El objetivo general: representa el propósito global o fin último del proyecto y se deriva del problema de investigación.

Los objetivos específicos: Se derivan del desglose del objetivo general y determinan las etapas o fases para el desarrollo del proyecto.

En el caso de que el problema de investigación se haya desglosado en subpreguntas, cada una de estas, se constituirá en un objetivo específico.

**Aproximación metodológica.** Relaciones entre las preguntas de investigación y los conocimientos previos sobre el tema, reconocimiento de las razones académicas y personales para elegir el problema de investigación, tipo de trabajo: descriptivo, relación de variables, socio-histórico, historiográfico, criterios para operacionalizar los conceptos en categorías y variables, determinación de las fuentes y del tipo de información que se busca, y criterios para analizar, interpretar y validar los datos.

**Calendario de actividades.** Contiene la relación de actividades que se desarrollarán durante el proyecto, que dan cuenta de las etapas o fases de la investigación indicando la duración en semanas o meses. El modelo más conocido es el diagrama de Gannt.

Es recomendable un cronograma flexible, es decir, que permita ajustes debido a imprevistos que se puedan presentar.

Algunos de los apartes que debe contener son: detección y selección de sitios, fuentes y datos; introducción al campo, establecimiento de contactos; solución de preguntas previas; visitas; asistencia a bibliotecas; elaboración de instrumentos de investigación, como guiones de entrevistas, cuestionarios, observación, sistematización de datos, entre otros; transcripción de cintas; productos intermedios, como reportes, informes, notas conceptuales; redacción de capítulos y entrega final.

En síntesis como lo explicita (Sabino, C, 1996) afirma que "el planteamiento de una investigación no puede

realizarse si no se hace explícito aquello que se propone conocer: es siempre necesario distinguir entre lo que se sabe y lo que no se sabe con respecto a un tema para definir claramente el problema que se va a investigar". El correcto planteamiento de un problema de investigación permite definir sus objetivos generales y específicos, como así también la delimitación del objeto de estudio.

El autor agrega que ningún hecho o fenómeno de la realidad puede abordarse sin una adecuada conceptualización. El investigador que se plantea un problema, no lo hace en el vacío, como si no tuviese la menor idea del mismo, sino que siempre parte de algunas ideas o informaciones previas, de algunos referentes teóricos y conceptuales, por más que estos no tengan todavía un carácter preciso y sistemático.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] SABINO, Carlos, *El proceso de investigación, Lumen-Humanitas, Bs.As., 1996n*
- [2] CASTILLO, Sánchez Mauricio, *Manual para la formación de investigadores : una guía hacia el desarrollo del espíritu científico, Editorial Magisterio, 2000.*
- [3] ANDER-EGG, Ezequiel, *Técnicas de Investigación Social, Humanitas, Bs.As., 1990.*
- [4] HERNÁNDEZ SAMPIERI, R., FERNÁNDEZ COLLADO, C. y BAPTISTA LUCIO, P., *Metodología de la Investigación, McGraw Hill, México, 2000.*
- [5] PICK, S. y LOPEZ, A.L., *Cómo investigar en ciencias sociales, Trillas, México, 1994*
- [6] TAMAYO, L. y TAMAYO, M., *El proceso de la investigación científica, Limusa S.A., México, 1998*





# CAMPO TRANSITORIO DE TEMPERATURAS DEL ALMA DEL ÁLABE DE ESTATOR DEL MOTOR DE TURBINA A GAS TAY650-15

*Transitory field of blade soul temperatures of stator of gas turbine engine TAY 650-15*

**SILVIO ALEJANDRO JIMÉNEZ**

Profesor titular transferencia de calor FULL, ingeniero mecánico UNAL, magíster en docencia UNISALLE.

E-mail: [sajimenezc@libertadores.edu.co](mailto:sajimenezc@libertadores.edu.co)

**MARITZA NATALY GONZALEZ**

E-mail: [nataly288912@hotmail.com](mailto:nataly288912@hotmail.com)

Ingeniera aeronáutica, estudiante de octavo semestre de ingeniería mecánica, Fundación Universitaria Los Libertadores.

Fundación Universitaria Los Libertadores, Semillero de investigación RETP

Abril 2013

Fecha de recepción: 8 de mayo de 2013

Fecha de aprobación: 24 de mayo de 2013

**ABSTRACT**

This article shows the history of scaling temperature field of the blade soul of gas turbine stator with the goal of determining the time on which the blade presents material fusion. The obtaining field was done in two ways: using a simplified bidimensional analytical model bases on product solution and a computational solution using the simulation program by finite elements ALGOR. For comparison between both methods were taken 4 reference landmarks: a landmark on trailing edge, a landmark on stagnation line edge, and two landmarks that consist of the maximum thickness of the blade: one over the suction surface and the other one over pressure, but not for the trailing edges. Both methods are used to justify the use of barrier thermal store (TBC) and cooling systems to increase the thermal resistant soul and therefore the inlet temperature of gases that come from the combustion chamber. Using inlet higher temperatures increase the thermal efficiency of gas turbine engines.

**Key Words:**

Gas turbine engine, stator blades, transient heat conduction, thermal resistance.

**RESUMEN**

En este documento se muestra la historia del campo escalar de temperaturas del alma del álabe de estator de un motor de turbina a gas con el fin determinar el tiempo en que el álabe presenta la fusión de material. La obtención del campo se realizó de dos formas: usando un modelo analítico bidimensional simplificado que se basa en la solución producto y una solución computacional utilizando el programa de simulación por

elementos finitos ALGOR. Para realizar la comparación entre ambos métodos se tomaron cuatro puntos de referencia: un punto en el borde de salida, un punto en la línea de estancamiento del borde de ataque, y dos puntos que conforman el espesor máximo del álabe, uno sobre la superficie de succión y el otro sobre la de presión. Los resultados presentaron un acuerdo aceptable para los puntos en el borde de ataque y en las superficies de succión y de presión pero no para el punto en el borde de salidas. Ambos métodos se utilizan para justificar el uso de materiales de barrera térmica (TBC) y sistemas de enfriamiento para aumentar la resistencia térmica del alma y por lo tanto la temperatura de entrada de los gases que provienen de la cámara de combustión. Utilizar temperaturas de entrada más altas aumenta la eficiencia térmica de los motores de turbina a gas.

### Palabras claves:

Motores de turbina a gas, álaves de estator, conducción transitoria de calor, resistencia térmica

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo del motor de turbina a gas como motor de propulsión de aviones ha sido modificado tan rápido que es difícil apreciar los avances que éste ha tenido. El principio básico de este motor se fundamenta en el ciclo Brayton que está compuesto por cuatro etapas: Este motor funciona básicamente en un ciclo similar al motor de cuatro tiempos: a) compresión isoentrópica, donde se introduce el aire atmosférico en el turbocompresor para aumentar su presión y disminuir su volumen; b) combustión, donde en la cámara del mismo nombre, se introduce y se quema combustible a presión constante que aumenta considerablemente la temperatura del aire y cuyos productos resultantes son generalmente agua,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$  y otros; c) expansión isoentrópica, donde los gases de combustión pasan a la turbina donde parte de su energía cinética se cede en forma de energía térmica a los álaves de rotor y estator y de energía

mecánica a los álaves de rotor y salen a la atmósfera, a alta velocidad por la tobera. Esta descarga es la que genera el efecto propulsivo; d) admisión, den considera el ciclo como cerrado al suponer que el aire que sale por la tobera cede calor al aire ambiente y vuelve a entrar por la boca del compresor. (Ver figura 1).

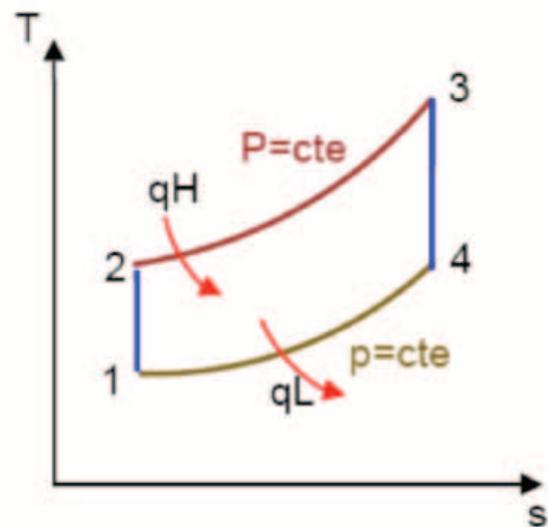


Figura 1. Ciclo Brayton del motor de turbina a gas

Con base en lo anterior se puede decir que los componentes básicos de un motor de turbina a gas son la toma de aire, el compresor, la cámara de combustión, la turbina y la tobera. (Ver figura 2).

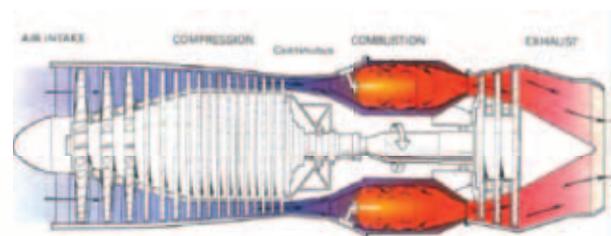


Figura 2. Componentes básicos de un motor de turbina a gas. [1]

La eficiencia teórica del ciclo Brayton se puede expresar como  $\eta = 1 - T_4/T_3$ . De la ecuación anterior se puede

deducir que si la temperatura de entrada de los gases de combustión a la turbina ( $T_3$ ) es lo más grande posible la eficiencia también aumentaría. Generalmente los gases entran a la turbina con temperaturas que oscilan entre los 1000 y 1200 °C pero si se quisieran temperaturas de entrada más altas se debería tomar medidas respecto al diseño y a los materiales para el conjunto de la turbina.

Precisamente, Sadowski&Golewski [2] analizaron el problema de transferencia de calor transitoria para un álabe del rotor de un motor de turbina a gas JP-67PL. El análisis se realizó para el álabe solo, el álabe con 0.5 mm de recubrimiento de barrera térmica  $ZrO_2+7wt,\%Y_2O_3$  y el álabe con el mismo recubrimiento y con cinco canales de enfriamiento ubicados en la parte central del álabe. La aplicación del recubrimiento redujo en un 18% la temperatura máxima de operación del álabe y la aplicación de los canales de enfriamiento en un 7%. La combinación del recubrimiento de barrera térmica y de los canales de enfriamiento permitieron alcanzar una reducción del 25% de esta temperatura, lo cual ocasiona un tiempo de vida más largo para los álabes y que el motor pueda funcionar a temperaturas más altas.

También los mismos autores [3], en otro estudio, analizaron la influencia del número, distribución y tamaño de los canales de enfriamiento sobre un álabe guía de tobera protegido con una capa de TBC de 0,1 mm de espesor. Este trabajo ayudó a estimar la eficiencia de los canales de enfriamiento, la distribución de esfuerzos de Von Mises en el álabe y la influencia del TBC sobre la respuesta térmica del elemento de turbina. La concentración de esfuerzos más importantes se encontró cerca de los canales de enfriamiento.

En otro estudio, Kumar&Kale[4] estudiaron mediante simulaciones numéricas, los mecanismos de transferencia de calor – convección y radiación- en estado estable para la superficie de un álabe fabricado con la superaleación MAR- M200, sin y con 0,6 mm de un compuesto de

circonia estabilizada como material de recubrimiento de barrera térmica (por sus siglas en inglés TBC). Los resultados mostraron que a una temperatura de entrada de los gases de 1500 K, la transferencia neta por radiación de los gases de combustión a un álabe desnudo es el 8.4% de la transferencia de calor total y un 3.4% si el álabe tiene recubrimiento de barrera térmica. Por lo tanto se encontró que el TBC bloquea la transferencia de calor por radiación, disminuye las temperaturas del metal y reduce la pérdida de calor al refrigerante. También se encontró que en presencia de la radiación y/o del TBC el desconocimiento del valor del coeficiente de transferencia de calor por convección no tiene una influencia significativa en las temperaturas del alma del álabe.

Albeirutty et al. [5] desarrollaron un modelo general para comparar la transferencia de calor en álabes de turbinas a gas que utilizan tres esquemas principales de enfriamiento: enfriamiento por aire, enfriamiento con vapor de circuito abierto y enfriamiento con vapor en circuito. El modelo sirvió para calcular el flujo másico necesario para alcanzar una determinada temperatura de álabe. También se demostró que el enfriamiento con vapor en circuito cerrado presenta un mejor desempeño que en circuito abierto o con enfriamiento por aire.

Kim et al. [6] calcularon, a través de simulación, la distribución del coeficiente de transferencia de calor en un álabe de turbina a gas con 10 conductos circulares internos para enfriamiento. Los resultados mostraron que el coeficiente más alto se presentó en el punto de estancamiento del borde de ataque y el más bajo en el borde de salida. La temperatura máxima también se presentó en el borde de salida.

A pesar de los resultados relevantes de los estudios anteriormente mencionados, en el semillero de investigación RETP (Research Engineering on the Transport Phenomena) de la Fundación Universitaria Los

Libertadores nació la inquietud de saber si el alma de un álabe de turbina de un motor a gas, sin TBC y sin canales de enfriamiento, alcanza realmente la fusión de material y el intervalo de tiempo en que esto ocurre, a las temperaturas de entrada de los gases de combustión. Esto se demostrará determinando cuatro temperaturas: una en un punto de la línea de estancamiento del borde de ataque, otra en la línea del borde de salida, otra en un punto que corresponde al espesor máximo en la superficie de succión de álabe y otra un punto que corresponde al espesor máximo en la superficie de presión del álabe.

Este documento mostrará en una primera parte, la solución utilizando un método analítico y en una segunda parte por medio de una simulación realizada en el programa de simulación por elementos finitos ALGOR. El estudio fue realizado por los miembros del semillero investigación RETP (Research Engineering on the Transport Phenomena), del departamento de ingeniería mecánica de la Fundación Universitaria Los Libertadores como aplicación de los conceptos vistos durante la carrera en la solución de problemas de investigación formativa.

## SOLUCIÓN ANALÍTICA

El elemento analizado fue el alma del álabe de estator de la primera etapa de la turbina del motor de turbina a gas TAY 650-15. Sus dimensiones fueron: cuerda 39.4 mm, espesor máximo 10.0 mm y alto 46.6 mm. El material del álabe fue el Nimonic 115, una aleación muy utilizada en piezas para este tipo de aplicación y cuyas propiedades aparecen en la Tabla 1. Una fotografía del álabe se muestra en la Figura 3.

Tabla 1. Propiedades del Nimonic 115

Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	7850
Calor específico (J/kg·C)	444
Conductividad térmica promedio (W/m·C)	19.6
Temperatura de fusión (C)	1315
Difusividad	5.6×10 <sup>-6</sup>

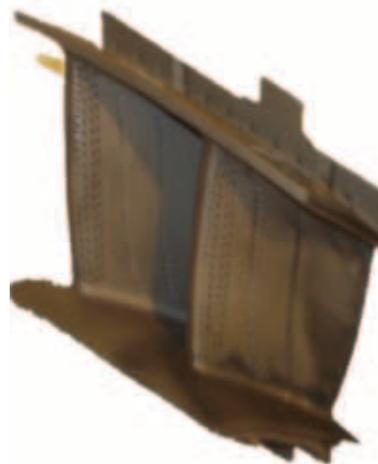


Figura 3. Álabe de estator de turbina del motor TAY 650-15 (se muestran dos)

Utilizando los resultados de Sadowksi y Golewski, se asumió que la tasa de calor por radiación influyó de manera poco significativa en la temperatura del álabe. Para el coeficiente externo de convección para flujo paralelo de gases de combustión se utilizó, para todas las superficies del álabe, el valor de 1560 W/m<sup>2</sup>K que corresponde al promedio de los datos experimentales de Daniels (turbulencia del 4% y  $Re = 1.3 \times 10^6$ ), presentados por Kumar y Kale [4]. Para poder realizar el modelo analítico, la geometría del álabe se simplificó a la de un paralelepípedo de 10.0 mm de espesor, 39.9 mm de ancho y 46.6 mm de alto. Ver figura 4.

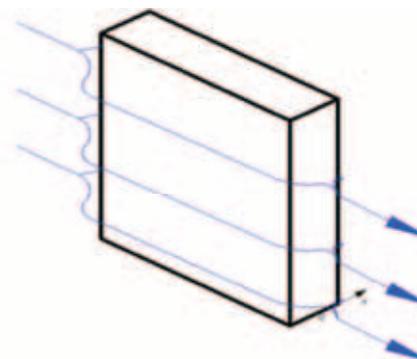


Figura 4. Álabe simplificado de estator de turbina del motor TAY 650-15 en flujo paralelo de gases (paralelo al ancho)

Para el análisis de transferencia de calor se va a asumir que los gradientes espaciales de temperatura son despreciables a lo largo de la altura (eje z). La ecuación de difusión del calor (ecuación 1), las condiciones de frontera (ecuaciones 2, 3, 4 y 5) y la condición inicial (ecuación 6) que definen el problema de calentamiento transitorio del álabe del estator son

$$(1) \quad \frac{\delta^2 T}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 T}{\delta y^2} = \frac{1}{\alpha} * \frac{\delta T}{\delta t}$$

$$(2) \quad -K \frac{\delta T(0,y,t)}{\delta x} = 0$$

$$(3) \quad -K \frac{\delta T(L,y,t)}{\delta x} = \bar{h}(T_s(L,y,t) - T_\infty)$$

$$(4) \quad -K \frac{\delta T(x,0,t)}{\delta y} = 0$$

$$(5) \quad -K \frac{\delta T(x,W,t)}{\delta y} = \bar{h}(T_s(x,W,t) - T_\infty)$$

$$(6) \quad T(x,0) = T_i$$

El problema se resolvió por el método de solución producto para lo cual fue necesario hacer suposiciones como que el coeficiente de convección era uniforme sobre toda la superficie y estable durante el proceso; la temperatura de corriente libre de los gases de combustión era uniforme y estable, la temperatura inicial del álabe es uniforme, propiedades constantes del Nimonic 115, simetría térmica y geométrica.

El método de la solución producto consiste en multiplicar las soluciones analíticas aproximadas para los problemas de conducción transitoria de calor unidimensionales. Para este problema se combinaron las soluciones para dos paredes planas unidimensionales de longitud infinita. (Ver figura 5)

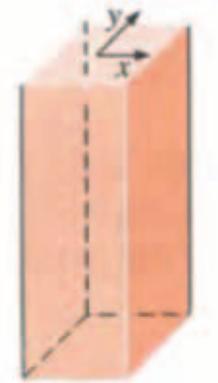


Figura 5. Barra rectangular para la solución producto bidimensional[7]

Fla ecuación para determinar el campo transitorio bidimensional de temperaturas del álabe es

$$\frac{T(x,y,t)-T_\infty}{T_i-T_\infty} = \left( \frac{T(x,t)-T_\infty}{T_i-T_\infty} \right)_{\text{pared}} * \left( \frac{T(y,t)-T_\infty}{T_i-T_\infty} \right)_{\text{pared}} \quad (7) \text{ donde}$$

$T(x,y,t)$  es la temperatura en cualquier punto del ala en un instante de tiempo determinado;  $T_i$  la temperatura inicial del álabe que para este estudio se supondrá como la temperatura ambiente y  $T_\infty$  es la temperatura de corriente libre del fluido que en este caso de los gases calientes provenientes de la cámara de combustión. Reemplazando la soluciones unidimensionales para placa plana en las direcciones x e y se tiene

$$\frac{T(x,y,t)-T_\infty}{T_i-T_\infty} = \left[ A_{1x} e^{-\lambda_{1x}^2 t} + \cos \left( \frac{\lambda_{1x} x}{l_x} \right) \right] * \left[ A_{1y} e^{-\lambda_{1y}^2 t} + \cos \left( \frac{\lambda_{1y} y}{l_y} \right) \right] \quad (8) \text{ donde}$$

$A_{1x}$ ,  $A_{1y}$ ,  $\lambda_{1x}$  y  $\lambda_{1y}$  son coeficientes utilizados en la solución aproximada a un solo término de la conducción de calor unidimensional en régimen transitorio para paredes planas, para la dirección x y para la dirección y. Los valores de estos coeficientes se obtienen por interpolación de datos publicados en la literatura[7] y son función del número de Biot que se calcula con

$$Bi = \frac{\bar{h} \cdot L}{K} \quad (9) \text{ donde}$$

es el coeficiente promedio de convección entre toda la superficie del álabe y los gases calientes provenientes de la cámara de combustión, L es la longitud característica y K es la conductividad térmica promedio del Nimonic 115. Los valores de las longitudes características para las direcciones x e y, los correspondientes números de Biot y sus respectivos coeficientes  $A_{1x}$ ,  $A_{1y}$ ,  $\lambda_{1x}$  y  $\lambda_{1y}$  se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2. Coeficientes para solución aproximada a un solo término para la conducción transitoria de calor unidimensional del álabe, direcciones x e y**

Longitud característica	Bi	A	$\lambda$
Lx= 0.005 m	0.398	1.058	0.593
Ly= 0.0197 m	1.567	1.153	0.983

Para una temperatura  $T_i = 18^\circ\text{C}$ , una temperatura  $T_\infty = 1400^\circ\text{C}$  y para los valores de la Tabla 2, la expresión para calcular el tiempo para el cual un punto sobre la línea de estancamiento del borde de salida del álabe ( $x = 0 \text{ mm}$ ,  $y = 19,7 \text{ mm}$ ) llega a la temperatura de fusión de  $1315^\circ\text{C}$ , según la ecuación 8, es

$$\frac{1315 - 1400}{18 - 1400} = \left[ 1,058 e^{-0,398 \tau} \cdot \cos\left(\frac{0,593 \cdot 0}{0,005}\right) \right] + \left[ 1,153 e^{-1,567 \tau} \cdot \cos\left(\frac{0,983 \cdot 0}{0,0197}\right) \right] \quad (10) \text{ donde}$$

$$0,091 = e^{-0,398 \tau} + e^{-1,567 \tau}$$

$\tau_x$  y  $\tau_y$  son los números de Fourier para las direcciones  $x$  e  $y$ , respectivamente. El número de Fourier se calcula por medio de

$$\tau = \frac{\alpha \cdot t}{L^2} \quad (11) \text{ donde}$$

$\alpha$  es la difusividad térmica,  $L$  es la longitud característica, en la dirección  $x$  o en la dirección  $y$ , y  $t$  el tiempo. Reemplazando los datos de las Tablas 1 y 2 y la ecuación 11 en la ecuación 10 se tiene que

$$0.091 = e^{-0.0793\tau} + e^{-0.014\tau}$$

$$t = 25.70 \text{ s}$$

Este resultado es exactamente igual para un punto sobre la línea del borde de salida, debido a las simetrías geométrica y térmica.

Aplicando la ecuación ocho, el tiempo para el cual el punto que coincide con el espesor máximo de álabe en la superficie de succión ( $x = 0.005 \text{ m}$ ,  $y = 0.0117 \text{ m}$ ) alcanza la temperatura de fusión es  $t = 28.07 \text{ s}$ . Este resultado es exactamente igual para un punto sobre el punto medio de la superficie de presión del álabe, debido a las simetrías geométrica y térmica.

## SOLUCIÓN POR SIMULACIÓN

En este apartado se mostrarán los resultados de la simulación del proceso de calentamiento del álabe. Se determinaron las cuatro temperaturas de comparación al término de una simulación de 30s. Este intervalo de tiempo se dividió en 60 partes para que la temperatura fuera calculada cada 0.5 s. El álabe se modeló en uno de los programas de computador más populares para este tipo de aplicaciones. (Ver figura 6). Como se había mencionado antes la temperatura inicial del álabe se supuso uniforme con un valor de  $18^\circ\text{C}$ , tal como lo muestra la figura 7. El modelo generó ocho superficies sobre las cuales se aplicaron condiciones de frontera de convección, excepto para las superficies superior e inferior, las cuáles se consideraron como adiabáticas. A cada superficie se le asignó un coeficiente de convección promedio, según su posición con respecto a la longitud de la cuerda del álabe, utilizando los valores experimentales obtenidos por Daniels (turbulencia del 4% y  $Re = 1.3 \times 10^6$ ) y mostrado gráficamente por Kumar&Kale. (Ver figura 8).

Figura 6. Modelamiento tridimensional del alma de álabe de estator motor TAY650-15

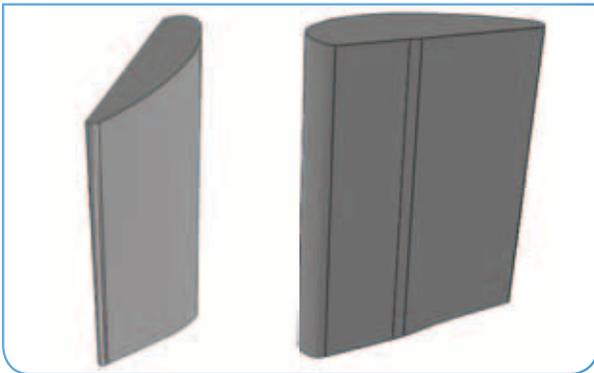


Figura 7. Campo inicial de temperaturas del alma de álabe de estator motor TAY650-15

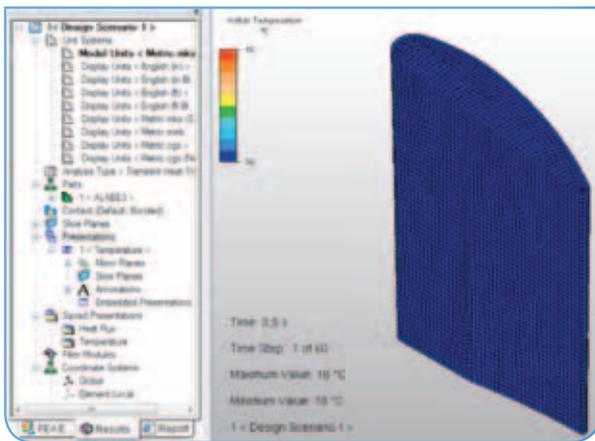
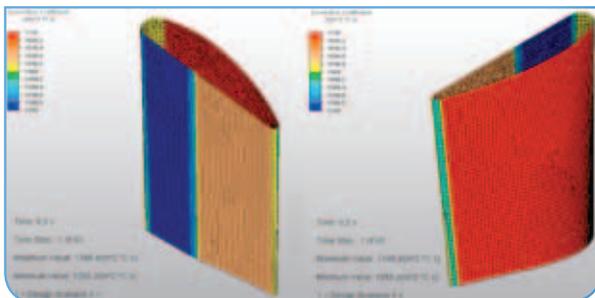


Figura 8. Distribución coeficiente de convección sobre superficie álabe de estator motor TAY650-15



En la figura 9 se observa el resultado de la simulación cuando ya han pasado 9 s del proceso de calentamiento. También se muestra el nodo que en el borde de salida

es el primero en alcanzar la temperatura de fusión. Es más, este nodo es el primero de todo el álabe en superar la temperatura de fusión. Esto sucede un poco antes de los 9 s (paso temporal 18) con una temperatura de 1321.01 °C. El nodo está ubicado en las coordenadas  $X = 0,0182792$ ,  $Y = 0,00239087$ ,  $Z = 0,000704105$  y está identificado con el número 7862.

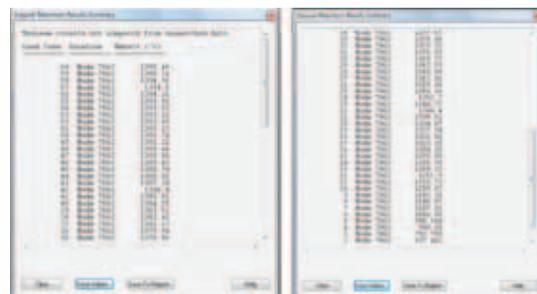
Figura 9. Campo de temperaturas álabe a los 9 s de calentamiento con detalle en borde de salida



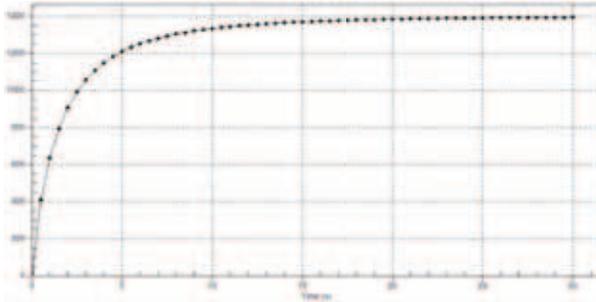
Durante todo el proceso de calentamiento, el nodo 7862 del borde de salida es el que siempre tuvo la máxima temperatura, como lo muestra la figura 10. La gráfica de la evolución de su temperatura se muestra en la gráfica 1

En la figura 11 se muestra el nodo que en el borde de ataque es el primero en alcanzar la temperatura de fusión. Este nodo está identificado con el número 1614 y sus coordenadas son  $X = -0,0183171$ ,  $Y = 0,0019305$ ,  $Z = 0,000738011$  y, alcanza el cambio de fase un poco antes de los 22 s a una temperatura de 1316.65 °C. La evolución temporal de su temperatura se observa en la gráfica 2.

Figura 10. Historia de temperaturas del nodo 7862 ubicado en el borde de salida.

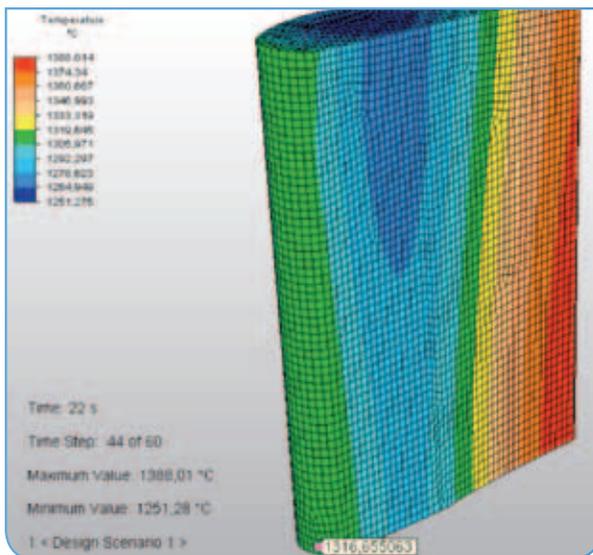


Gráfica 1. Perfil temporal de temperaturas nodo 7862 en el borde de salida.



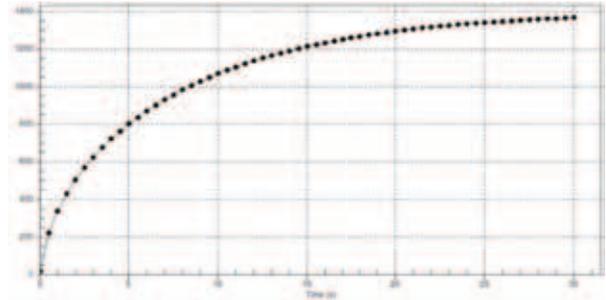
En la figura 11 se muestra el nodo que en el borde de ataque es el primero en alcanzar la temperatura de fusión. Este nodo está identificado con el número 1614 y sus coordenadas son  $X = -0,0183171$ ,  $Y = 0,0019305$ ,  $Z = 0,000738011$  y alcanza el cambio de fase un poco antes de los 22 s a una temperatura de 1316.65 °C. La evolución temporal de su temperatura se observa en la gráfica 2.

Figura 11. Campo temperaturas álabo con nodo 1614 en borde de ataque  $t=22s$



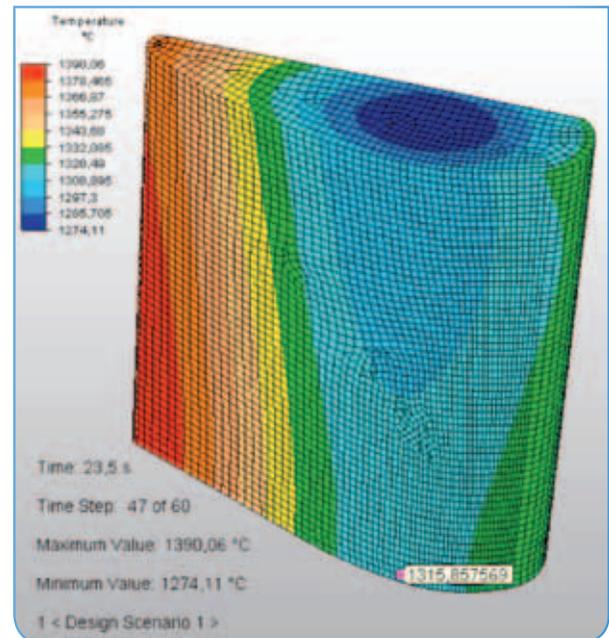
Gráfica 2. Perfil temporal de temperaturas nodo 1614 en el borde de ataque

En la figura 12 se muestra el nodo que corresponde al espesor máximo sobre la superficie de succión. Este nodo que es el primero en alcanzar la temperatura de fusión, está identificado con el número 765 y sus coordenadas son  $X = -0,00591997$ ,  $Y = 0$ ,  $Z = 0,000799271$  y



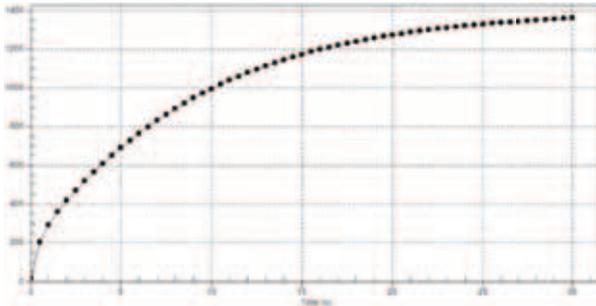
está identificado con el número 4497 y sus coordenadas son  $X = -0,00823126$ ,  $Y = 0,00900597$ ,  $Z = 0,000800792$  y, alcanza el cambio de fase un poco antes de los 23,5 s a una temperatura de 1315.85 °C. La evolución temporal de su temperatura se observa en la gráfica 3.

Figura 12. Campo temperaturas álabo con nodo 4497 en superficie de succión  $t=23.5s$



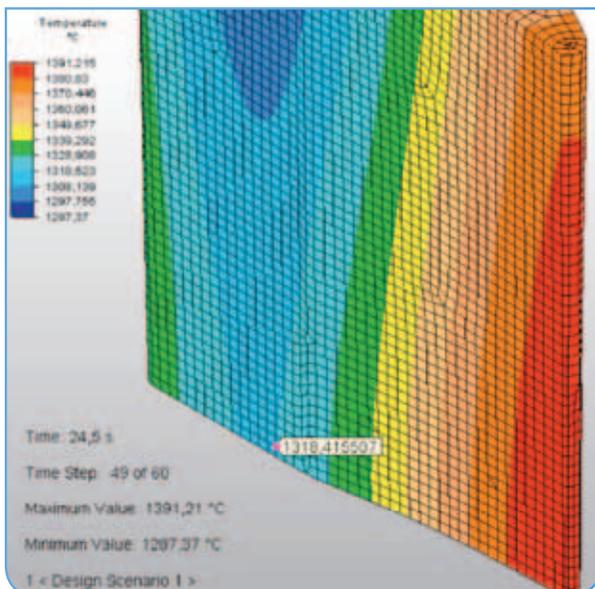
Gráfica 3. Perfil temporal de temperaturas nodo 4497 en la superficie de succión

En la figura 13 se muestra el nodo que corresponde al espesor máximo sobre la superficie de presión. Este nodo que es el primero en alcanzar la temperatura de fusión, está identificado con el número 765 y sus coordenadas son  $X = -0,00591997$ ,  $Y = 0$ ,  $Z = 0,000799271$  y

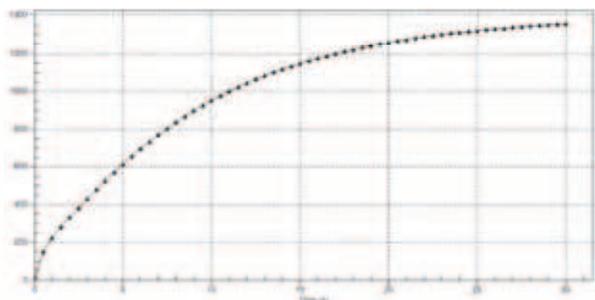


alcanza el cambio de fase un poco antes de los 24,5 s. La evolución temporal de su temperatura se observa en la gráfica 4.

Figura 13. Campo temperaturas álabes con nodo 765 en superficie de presión  $t=24.5s$



Gráfica 4. Perfil temporal de temperaturas nodo 765 en la superficie de presión



## DISCUSIÓN

Como se puede observar los nodos que alcanzan primero la temperatura de fusión del Nimonic 115 están ubicados en la parte inferior del álabes. Esto es debido a que la sección transversal del álabes no es constante y presenta espesores más delgados en su parte inferior. La misma explicación se puede dar para el borde de salida, donde el espesor del álabes es muy pequeño y por lo tanto es donde se presentan las temperaturas más grandes del todo el álabes.

Como era de esperarse los puntos más interiores del álabes son los que tardan más tiempo en calentarse.

Los perfiles de temperaturas mostrados en las Gráfica 1 a 4 confirman que el calentamiento de los nodos tienen un carácter exponencial: un gradiente de temperatura grande al principio y un gradiente pequeño después. La gráfica 1 muestra que este efecto es más significativo para el nodo del borde de salida.

La temperatura de fusión es alcanzada en el siguiente orden: primero el nodo ubicado en el borde de salida; segundo, el nodo en el borde de ataque; tercero, el nodo de espesor máximo en la superficie de succión y cuarto el nodo de espesor máximo en la superficie de presión.

El error relativo entre los tiempos de fusión obtenidos por el modelo analítico y la simulación son, respectivamente: 64.9% para el nodo ubicado en el borde de salida, 14.4% para el nodo ubicado en el borde de ataque, 16.2% para el nodo de espesor máximo en la superficie de succión y 12.7 % para el nodo de espesor máximo en la superficie de presión.

## CONCLUSIONES

Después de haber realizado el análisis del campo transitorio de temperaturas para el álabes de estator de turbina del motor TAY 650-15 se pueden hacer las siguientes inferencias:

El modelo analítico no es recomendable para predecir el tiempo en que inicia la fusión del material del álabe. Sin embargo, el modelo permite tener una aproximación aceptable del tiempo de fusión para algunas zonas: línea de estancamiento en el borde de ataque, puntos que conforman el espesor máximo tanto en la superficie de succión como en la de presión.

Si se quiere mejorar la exactitud de los resultados, se recomienda, en lugar de utilizar una solución producto bidimensional para una sección transversal rectangular, usar una solución numérica, por ejemplo diferencias finitas, para una sección transversal triangular.

El Nimonic 115 como material del alma del álabe, a pesar de su alto punto de fusión, no es capaz de soportar por sí sólo las altas temperaturas debido a su contacto con los gases calientes provenientes de la cámara de combustión. Se confirma la conveniencia de utilizar los recubrimientos de barrera térmica (por su siglas en inglés TBC) y sistemas de conductos para enfriamiento por convección forzada.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] ROLLS ROYCE. The Jet Engine. 5ª ed. England.: Rolls Royce plca, 1996.
- [2] Sadowski, T & Golewski, P. Multidisciplinary analysis of the operational temperature increase of turbine blades in combustion engines by application of the ceramic thermal barrier coatings (TBC) Computational Material Science (2011) 50, 1326 - 1335.
- [3] Sadowski, T & Golewski, P. The influence of quantity and distribution of cooling channels of turbine elements on level of stresses in the protective layer TBC and efficiency of cooling. Computational Material Science (2011).
- [4] Asok Kumar, N. & Kale, S.R. Numerical simulation of steady state heat transfer in a ceramic-coated gas turbine blade. International Journal of Heat and Mass Transfer (2002) 45, 4831 – 4845.
- [5] Albeirutty, Mohammad H., Alghamdi, Abdullah S. & Najjar, Yousef S. Heat transfer analysis for a multistage gas turbine using different blade – cooling schemes. Applied Thermal Engineering (2004) 24 (4), 563 - 577.
- [6] Kim, Kyung Min et al. Analysis of conjugated heat transfer, stress and failure in a gas turbine blade with circular cooling passages. Engineering Failure Analysis. (2011) 18(4), 1212 – 1222.
- [7] CENGEL, Y.A.. Transferencia de calor y masa: un enfoque práctico. 3ª ed. México D.F.: McGrawHill, 2007



# DISEÑO DE UN SEÑUELO RADAR ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

## *Design of a radar lure feasibility study*

**TS. CESAR MARTÍNEZ ESCOBAR**  
**SBR. ANDRES PAÉZ CALDERÓN**  
**SBR. HUGO ROSERO RUÍZ**  
**DS. ANDRES OTÁLVARO MORA**

E-mail: [investigacion.academico@gmail.com](mailto:investigacion.academico@gmail.com)

*Fecha de recepción: 16 de noviembre de 2012*

*Fecha de aprobación: 24 de mayo de 2013*

### **ABSTRACT**

Electronic warfare has been an effective tool in terms of security measures are concerned, the application of electronic warfare in a type of lure which emits an electromagnetic pulse which activate an aircraft RWR and implementation thereof coupled to the system national air defense using it to look like a strong defense system, thereby discouraging even possible enemy.

### **Key Words:**

Air defense, electronic war, interception of airships, radar.

### **RESUMEN**

La guerra electrónica ha sido una herramienta eficaz en cuanto a medidas de protección se refiere, la aplicación de la guerra electrónica con un tipo de señuelo donde este emite un pulso electromagnético el cual active el RWR de una aeronave y la implementación del mismo acoplado al Sistema de Defensa Aérea Nacional, utilizándolo para aparentar un sistema de defensa robusto, disuadiendo así a un posible enemigo.

### **Palabras claves:**

Defensa aérea, guerra electrónica, interceptación de aeronaves, radar.

## INTRODUCCIÓN

El trabajo de investigación pretende demostrar a través de un estudio de factibilidad, que el uso de los señuelos militares aportaría mucho a la seguridad nacional teniendo en cuenta que la Defensa Aérea de un país se basa en la vigilancia, el control y la protección del espacio aéreo.

## DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El sistema de Defensa Aérea Nacional para cumplir con la misión de efectuar la vigilancia del espacio aéreo de la nación, hace uso de radares militares, se observa que a nivel de cobertura radar la Fuerza Aérea Colombiana cuenta con cinco radares militares para el control del espacio aéreo, los cuales no tienen la cobertura total del territorio nacional. Es evidente que el costo de un radar militar es muy elevado y que países con un territorio más pequeño que el nuestro cuentan con mayor número de radares de vigilancia.

La causa de este déficit a nivel cobertura radar se atribuye a la situación económica del país por lo tanto existen diferencias en cuanto a radares se refiere, lo que nos hace más vulnerables en determinados puntos de la geografía, teniendo en cuenta que la nación en cualquier momento puede entrar en un conflicto con otra nación: por lo tanto se hace necesario pensar en implementar la vigilancia en todo nuestro territorio.

## OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio de factibilidad del señuelo radar militar que garantice una emisión de señal radar en puntos estratégicos del territorio colombiano haciéndole ver a las aeronaves enemigas que se cuenta con vigilancia en puntos geográficos a lo largo y ancho del territorio colombiano.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un estudio del sistema CAD para la creación del señuelo

- Realizar en sistema CAD el diseño del señuelo
- Evaluar el diseño su ventaja y desventaja en la utilización para la FAC.
- Evidenciar con las características del señuelo la necesidad de la ubicación del dispositivo militar.

## DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación realizada por el grupo investigador se desarrollo inicialmente a través de una revisión documental; puesto que el grupo investigador no contaba con el conocimiento necesario para realizar un tipo de proyecto de esta magnitud.

A su vez fue la investigación descriptiva ya que elabora los documentos y componentes de un radar así mismo sus características lo cual permitió la ampliación de nuestros conocimientos en antenas, líneas de transmisión, ondas electromagnéticas, equipos de apoyo a la guerra electrónica abordando de aeronaves y analítica porque se realiza un análisis de causa y efecto con el propósito de determinar la factibilidad para la creación del proyecto y análisis de los que tendrá en el entorno económico, social y operacional de la apariencia del sistema de defensa aérea nacional, por otro lado se utilizó el tipo de propuesta del estudio de factibilidad para la creación del señuelo.

## DISEÑO DE LA HERRAMIENTA

Basados en la investigación realizada anteriormente tomamos la decisión de realizar con base en la segunda guerra mundial del ejercito de gloss army ya que para llegar al éxito de la batalla usaron un ejército de vehículos inflables, esta técnica consiste en ocultar lo verdadero y hacer visible lo falso y así proteger el material real, para así analizar la forma de operar del enemigo y obtener algún tipo de ventaja.

## CONCLUSIONES

El presente proyecto no pretende solucionar este tipo de problema, pero si proporcionar una alternativa de

desarrollo a nivel de seguridad, ya que con el proyecto se quiere generar un estado de incertidumbre hacia el enemigo, y a su vez, el proyecto podría ampliarse, a mediano o largo plazo se podrían producir señuelos de baterías antiaéreas en mayor número de puntos estratégicos, con una muy alta calidad y aplicar señuelos con diversidad en nuestro sistema de defensa antiaéreo.

## RECONOCIMIENTOS

Nos gustaría que estas líneas sirvieran para expresar nuestro más profundo y sincero agradecimiento a Dios y a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo, en especial al personal de DEFENSA AEREA, por la orientación, el

Seguimiento y la supervisión continua del mismo, pero sobre todo por la motivación y el apoyo recibido a lo largo de estos años.

Un agradecimiento muy especial por la comprensión, paciencia y el ánimo recibidos de nuestras familias y amigos.

## REFERENCIAS

- [1], *Fuerza Aérea Colombiana. Manual de operaciones aéreas 12 de Agosto de 2012*
- [2], *Dirección de defensa aérea (DIDAR)*
- [3], *www.maxpreven.com*
- [4], *www.aeroinflablesrusbal.com 12 de Agosto de 2012*





# PROTOTIPO PARA LA PERTURBACION DEL GPS QUE OPERA EN LA BANDA CIVIL 1,5742GHZ

*PROTOTYPE IMPLEMENTATION OF A SYSTEM FOR THE PERTURBATION  
OF A GPS THAT OPERATES IN THE CIVIL 1,5742GHZ*

**SBR. CRISTIAN CORTÉS MOLINA**

Fuerza Aérea colombiana  
Escuela de Suboficiales CT. Andrés M.  
Díaz.  
Tecnología en defensa aérea

E-mail: [cristian.c.molina.5@hotmail.com](mailto:cristian.c.molina.5@hotmail.com)

**DS. JEISSON JAVIER DÍAZ PRIETO**

Fuerza Aérea colombiana  
Escuela de Suboficiales CT. Andrés M.  
Díaz.  
Tecnología en defensa aérea

E-mail: [jeisson.diaz.1@hotmail.com](mailto:jeisson.diaz.1@hotmail.com)

**DS. JOSHUA GAITÁN JUNCA**

Fuerza Aérea Colombiana  
Escuela de Suboficiales CT. Andrés M.  
Díaz.  
Tecnología en Defensa aérea.

E-mail: [joshua\\_9220@hotmail.com](mailto:joshua_9220@hotmail.com)

*Fecha de recepción: 16 de nov. de 2012  
Fecha de aprobación: 24 de mayo de 2013*

## ABSTRACT

The project originates from the difficulty displayed in the aircraft interception process. Given that the specialty was created by the continued growth of aircraft flight, who traveled without any permission or control and therefore posed a risk to other aircraft.

And presenting the use of this medium as transporting narcotics.

### **Key Words:**

Air defense, electronic war, interception of airships, radar.

## RESUMEN

El proyecto tiene origen a partir de la observación y determinación de la dificultad visualizada en el proceso de interceptación de aeronaves, en razón a que la especialidad de Defensa Aérea, fue creada por el continuo crecimiento de vuelos de aeronaves (ilegales) utilizadas para el transporte de sustancias psicoactivas, que transitaban sin ningún tipo de permiso o control y por lo tanto representaban un riesgo de seguridad operacional para las demás aeronaves, que se encuentran en progreso de vuelo en mismo espacio aéreo.

### **Palabras claves:**

Defensa aérea, guerra electrónica, interceptación de aeronaves, radar.

## INTRODUCCIÓN

Este proyecto se originó con el fin de generar un avance a nivel tecnológico en la especialidad, teniendo en cuenta el actual desarrollo e implementación de nuevas tecnologías, para el fortalecimiento de procedimientos en la Defensa Aérea, es de gran importancia implementar un sistema prototipo que apunte a fortalecer el procedimiento de seguimiento de aeronaves al servicio del narcotráfico, puesto que este tipo de aeronaves cuentan con un sistema de navegación tipo GPS que proporciona al piloto su ubicación y navegación.

El grupo investigador implementará un sistema de bloqueo tipo Jammer, para demostrar la viabilidad de la idea planteada y demostrar que si es posible hacer una interferencia del GPS a frecuencia 1,5742 GHz, y con ello tener una idea más clara sobre este procedimiento y como esta implementación fortalecería los diferentes procesos de la Defensa Aérea y más específicamente el seguimiento de aeronaves para su posterior interceptación.

Este proyecto apunta a fortalecer los procedimientos de interceptación de aeronaves prestas al narcotráfico, puesto que estas aeronaves una vez que cruzan fronteras marítimas o terrestres cuentan con una especie de liberación.

Para el desarrollo de este proyecto se implementó la necesidad de adquirir y elaborar dispositivos como lo fue el Jammer adquirido en Asia y el GPS se construyó por parte del grupo investigador, posterior a esto el debido empalme de programas como lo fue el Earth Bridge y Google Earth, para el desarrollo de la idea.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la Fuerza Aérea Colombiana y más específicamente en la Defensa Aérea no se cuenta con herramientas que aporten a un combate electrónico efectivo.

Este tipo de dispositivos que se implementarían en un futuro para las aeronaves prestas al servicio de la

Defensa Aérea, como son los SR 560, SR 26 y a las aeronaves que se puedan implementar con el debido estudio, con este primer prototipo se dejan abrir las puertas a nuevas ideas para la mejora de estas. En pro a la especialidad ¿y porque no? a la Fuerza Aérea Colombiana, siendo esta herramienta una potencial ayuda en el momento y modo operacional de la Defensa Aérea. Para una futura instalación en las plataformas de la Defensa Aérea.

De acuerdo a lo dicho anteriormente, el prototipo pretende arrojar el cómo interrumpir y hacer un bloqueo del modo operante de los GPS civiles en su respectiva frecuencia 1.5742 GHz, y demostrar que si es posible llevar a cabo este procedimiento que sería de gran aporte al momento de realizar un seguimiento a aeronaves del narcotráfico que una vez que sobrepasan nuestro espacio aéreo ya sea marítimo o terrestre cuentan con una especie de inmunidad que dificulta el libre desarrollo de la operatividad y en ocasiones se ve limitados a cumplir la misión ya que no se puede hacer uso del armamento aéreo, pero en dado caso se puede utilizar dispositivos electrónicos para llevar a cabo una Guerra Electrónica, nuevamente con este prototipo se deja abrir una puerta en la Guerra Electrónica, debido a que las guerras futuras apuntan a ser un uso más censurado de sus armas al hacer posible una guerra silenciosa.

## JUSTIFICACIÓN

Teniendo en cuenta el Desarrollo Tecnológico y haciendo uso de las herramientas electrónicas, con el fin de tener una mayor contundencia en las Interceptaciones, así como efectuar la implementación de este sistema de perturbación, proporcionando al personal en un futuro los medios necesarios para el ampliar los pasos de seguimiento de aeronaves ilegales.

El Sistema de Interferencia para la Perturbación del GPS propuesto, auxiliará en un futuro en los procesos de interceptación, esta implementación aporta para la solución de problemas tácticos y de seguridad. El efectuar ejercicios de bloqueo y perturbación donde se

encuentra el dispositivo real, implica la observación directa de los factores afectados en el GPS.

Por otro lado, se está aportando a la investigación para la implementación de nuevos equipos que optimicen la funcionalidad operacional en un futuro de las interceptaciones haciendo parte en los diferentes pasos para hacer el debido seguimiento y posible interceptación de aeronaves, básicamente el Sistema de Interferencia para la Perturbación del GPS, busca la perturbación del dispositivo localizado en la aeronave a disposición del narcotráfico.

## OBJETIVO GENERAL

Implementar un sistema electrónico de Interferencia para el GPS civil, mediante la emisión de la frecuencia 1,5742 GHz, como aporte a la Guerra Electrónica en el proceso de interceptación de las aeronaves.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diseñar y construir la báquela con circuito para el funcionamiento de la tarjeta GPS A 1080.
2. Empalmar de los programas Earth Bridge y Google Earth con la báquela GPS.
3. Adquirir e implementar el dispositivo electrónico jammer.
4. Medir la potencia emitida y alcance del jammer.
5. Analizar y comprender el funcionamiento de las tramas NMEA (latitud, longitud, velocidad en ND, altura msl)
6. Realizar pruebas piloto de emisión de la onda senoidal a frecuencia 1,5742GHz,
7. Realizar ajustes finales al sistema de Perturbación del dispositivo GPS para su sustentación.

## ESTUDIO TECNOLÓGICO

El sistema de perturbación para GPS, que va a ser implementado en el laboratorio de Defensa aérea de la Escuela de suboficiales de la Fuerza Aérea Colombiana, ha sido desarrollado bajo las siguientes etapas:

La implementación del sistema jammer para la perturbación de la señal GPS empieza con la creación del circuito en Circuit Maker con sus correspondientes componentes, luego se hizo el impreso para así llevarla a la báquela.

Figura N° 1 Earth Bridge Funcionando la tarjeta GPS

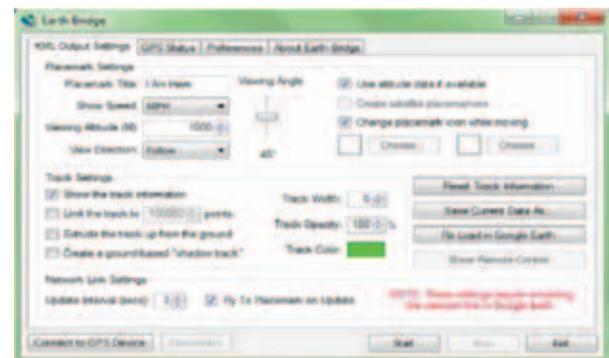


Figura N° 2 Earth Bridge Procedimiento 1

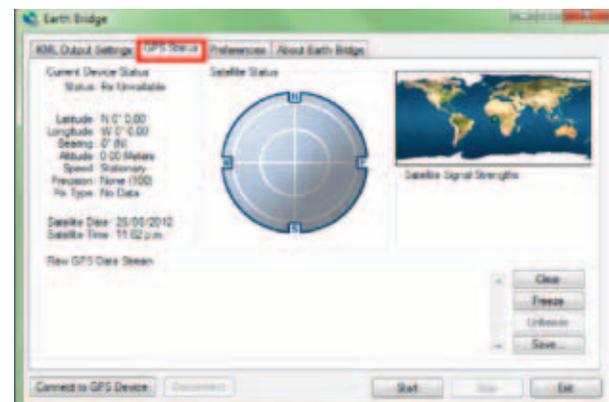


Figura N° 3 Earth Bridge Procedimiento 2

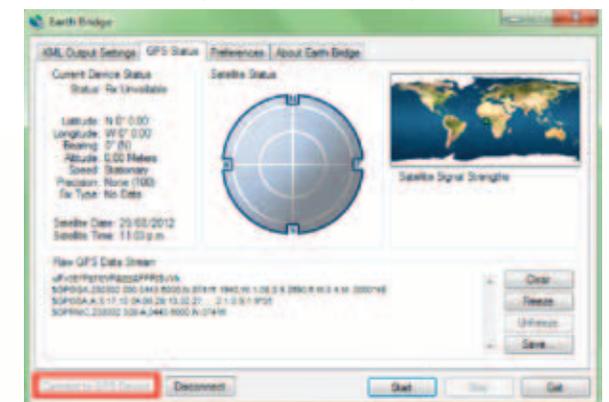


Figura N° 7 Earth Bridge Mostrando el flujo de datos

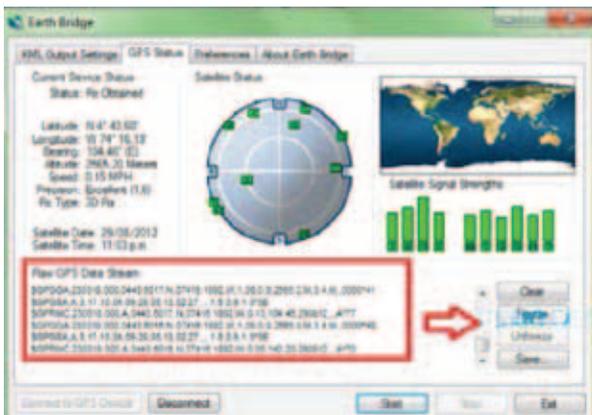


Figura N° 9 Earth Bridge Procedimiento 3

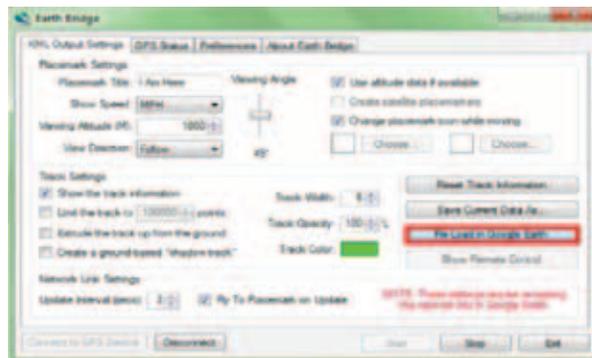


Figura N° 10 Google Earth Según los datos que arroja el GPS

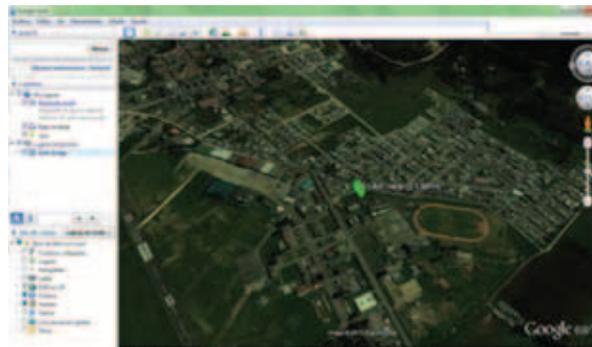


Figura N° 8 Earth Bridge Mostrando los datos recibidos del GPS



Figura N° 11 Después de activado el jammer

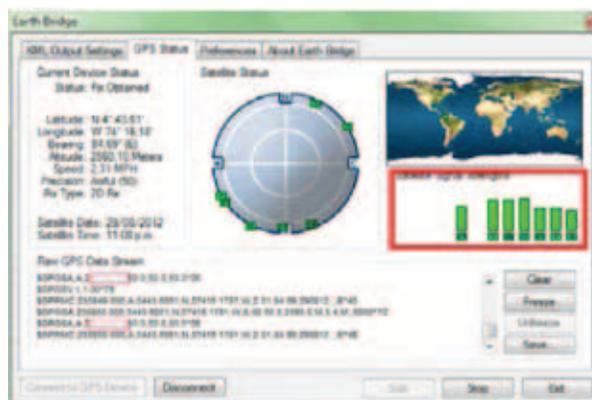


Figura N° 12 Earth Bridge Cuando pierde su totalidad de señal



Figura N° 13 Google Earth Bridge Después de desactivar el Jammer y actualizando su posición



## DISEÑO METODOLÓGICO

### TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para la implementación de este sistema prototipo en la perturbación del GPS civil, se desarrolló una investigación aplicada de acuerdo a la necesidad planteada.

Fue necesario acudir a una consulta documental, consistente en los espacios académicos durante el proceso de especialización en la tecnología en Defensa Aérea, como fueron diapositivas y diferentes mapas, en los cuales se planteaba esta problemática.

Es así que como grupo investigativo se originó la necesidad de crecer tanto en la Guerra Electrónica como en el proceso de interceptación.

## RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La información fue recolectada de fuentes confiables, de personal que tiene fuerte conocimiento sobre los distintos temas abordados de los procedimientos de interceptación e inmovilización de las aeronaves ilegales y de la efectividad de la FAC.

## FUENTES DE INFORMACIÓN

Se adquirió información de diferentes libros de Guerra Electrónica de la FAC, GPS (Global Positioning System), páginas de internet y ayudas obtenidas de la especialidad de Defensa Aérea.

Se realizaron entrevistas a un personal de la especialidad, quienes por su trayectoria y tiempo en la Fuerza tienen un amplio conocimiento sobre las interceptaciones y Guerra Electrónica.

## TIPO DE INSTRUMENTO

Como se observó anteriormente la entrevista se desarrolló en la ESUFA, donde se formularon 6 preguntas.

## CONCLUSIONES

Al presentarse en estos últimos años la variación del modo operandi por parte de los grupos narcotraficantes, se denota la utilización de rutas ilegales aéreas que transitan muy cerca a las fronteras terrestres y marítimas con los países cercanos a Colombia. Esto da a entender la necesidad cada vez más significativa de obtener este sistema como herramienta en la Defensa Aérea.

Se dio como evidencia por medio de este dispositivo ser viable para la implementación a los sistemas electrónicos de las aeronaves FAC y especialmente las que son utilizadas por la Defensa Aérea.

Debido a la carencia de instrumentos electrónicos que apoyen y den avance a la Guerra Electrónica se logra un gran aporte a esta rama de la Defensa Aérea.

Este proyecto es el inicio a saciar una de las necesidades generadas en el proceso de interceptación de aeronaves ilegales, por parte de las operaciones aéreas que realiza la FAC por tal razón los resultados obtenidos en la investigación, dan a conocer la prueba de el funcionamiento de este sistema como una herramienta eficaz para el proceso de interceptación.

La comprobación de este sistema por el grupo investigativo es la incitación a los siguientes grupos investigativos que pertenezcan a la especialidad de Defensa Aérea y requieran presentar su proyecto de grado, la continuación para el avance en el proceso de implementación de este sistema a las aeronaves interceptoras de la FAC, como herramienta en el proceso de interceptación.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1], *Fundamentals\_of\_Global\_Positioning\_System\_ Receivers\_2nd\_edition\_(2005)*
- [2], *Introduction\_to\_GPS-The\_Global\_Positioning\_System\_(200)*
- [3], *Manual de Instrucción y Entrenamiento de Guerra Electrónica (O-MEGE) Guerra Electrónica y sus Divisiones*
- [4], [http://www.didacticaselectronicas.com/index.php?option=com\\_virtuemart&Itemid=76&vmcchk=1&Itemid=76](http://www.didacticaselectronicas.com/index.php?option=com_virtuemart&Itemid=76&vmcchk=1&Itemid=76)
- [5], [http://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/ato/service\\_units/techops/navservices/gnss/gps/usersegments/aviation/index.cfm#q3](http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/gps/usersegments/aviation/index.cfm#q3)
- [6], [https://www.google.com.co/#hl=en&client=psyab&q=NAVSTAR+usaf+gps&oq=NAVSTAR+usaf+gps&gs\\_l=hp.3..0i8i30.1409.7470.2.7800.8.8.0.0.0.300.1358.0j7j0j1.8.0...0.0...1c.bfSkz5TxeM4&pbx=1&bav=on.2.or.r\\_gc.r\\_pw.r\\_cp.r\\_qf.&fp=265ff59ed20d6acb&biw=1366&bih=667](https://www.google.com.co/#hl=en&client=psyab&q=NAVSTAR+usaf+gps&oq=NAVSTAR+usaf+gps&gs_l=hp.3..0i8i30.1409.7470.2.7800.8.8.0.0.0.300.1358.0j7j0j1.8.0...0.0...1c.bfSkz5TxeM4&pbx=1&bav=on.2.or.r_gc.r_pw.r_cp.r_qf.&fp=265ff59ed20d6acb&biw=1366&bih=667)
- [7], <http://es.scribd.com/doc/36063555/81/EFEMERIDES-Y-ALMANAQUE-SATELITAL>



# PROTOTIPO PLATAFORMA CON MOVIMIENTO 6 DOF CON FLIGHT SIMULATOR 2004

*Platform prototype with movement 6 dof with flight simulator 2004*

## GRUPO DE INVESTIGACIÓN TESLA

**ING. NELSON RODRÍGUEZ**  
**TS. OMAR MORALES CUETO**  
**BRM. ERICK ALEXANDER CAMACHO**  
**TUTA**  
**BRM. BRAYAN VIVEROS DÍAZ**  
**DS. NESTOR CONTRERAS LOZANO**

E-mail: [investigacion.academico@gmail.com](mailto:investigacion.academico@gmail.com)

*Fecha de recepción: 16 de noviembre de 2012*

*Fecha de aprobación: 24 de mayo de 2013*

## ABSTRACT

The flight simulator is a project that combines science and technological development of the Colombian Air Force. It is evident that the design, operation and updating of training simulators are expensive. For future NCOs avionics technology will be successful in expanding Esufa expertise in avionics and every field and this field reaches areas, which is why we give birth to this great project to be completed in a flight simulator to comply with all the real characteristics of an aircraft

### **Key Words:**

Flight simulator, support tool, educative aid

## RESUMEN

El simulador de vuelo es un proyecto que combina la ciencia y el desarrollo tecnológico de la Fuerza Aérea Colombiana. Es evidente que el diseño, el funcionamiento y la actualización de simuladores de entrenamiento son caros. Para los futuros suboficiales de la tecnología de electrónica aeronáutica en la ESUFA será satisfactorio ampliar los conocimientos prácticos en aviónica y todos los campos y áreas que esta materia alcanza, por esa razón le damos inicio a este gran proyecto que se concluirá en un simulador de vuelo que cumplirá con todo las características reales de una aeronave

### **Palabras claves:**

Simulador de vuelo, herramienta de apoyo, ayuda educativa, virtual.

## INTRODUCCIÓN

Los simuladores son herramientas de apoyo en el proceso de aprendizaje y perfeccionamiento de habilidades, en este proyecto nos centraremos en la construcción de un prototipo de plataforma con movimiento para un simulador de vuelo.

Esto consiste en dotar de movilidad a la plataforma que representa la cabina en cabeceo (pitch), alabeo (roll), guiñada (yaw) y adaptarlo al simulador de vuelo Flight Simulator 2004 en tiempo real.

## DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los alumnos del programa tecnológico de electrónica requieren para su formación tener conocimientos en instrumentos, navegación, aerodinámica con el fin de implementarlos en la aeronavegación y en el manejo de los instrumentos de vuelo con perspectiva de la causa-efecto en el empleo de los controles de mando que normalmente tiene un avión, que son necesarios para realizar un mantenimiento efectivo.

Nos establece una necesidad que se manifiesta en la escuela, en la que carece de prácticas que permitan al alumno el contacto con la aeronave en tiempo real, la visualización de los instrumentos de vuelo y el funcionamiento de los diferentes sistemas presentes en la aeronave, además la reducción en costos que esto acarrearía al practicarse en una aeronave real y los daños que podrían ser causados por personal inexperto.

Por lo anterior se ve la necesidad de hacer un simulador de vuelo para llevar de lo teórico a lo práctico. Dándole inicio a el proyecto macro un prototipo de plataforma con movimiento de 6 grados de libertad que se refiere a el movimiento que se produce en un espacio tridimensional, la plataforma tiene la capacidad de moverse hacia delante/atrás, arriba/abajo, izquierda/derecha (traslación), a la vez que se combinan con la rotación de los tres ejes perpendiculares (roll ( $\psi$ ), pitch ( $\theta$ ), yaw ( $\phi$ )). Todos los movimientos son independientes unos de

otros, ajustado con el movimiento de la aeronave que se este ejecutando en el FLIGHT SIMULATOR 2004.

### OBJETIVO GENERAL

Construir el prototipo de una plataforma de movimiento para un simulador de vuelo de la escuela de suboficiales CT ANDRES M DIAZ.

### OBJETIVOS ESPECIFICOS

Recolectar información sobre plataformas de movimiento controladas con la aeronave del simulador de vuelo.

## DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación realizada en el presente proyecto es de tipo aplicado, ya que comprueba y afronta el aprendizaje teórico y práctico adquirido en la ESCUELA DE SUBOFICIALES "CT. ANDRES MARIA DIAZ DIAZ", supliendo la necesidad existente en la especialidad de aviónica en el laboratorio de electrónica para el aprendizaje de los procesos de interpretación de los sistemas de aviónica de la aeronaves, mejorando los procesos teórico-práctico y la innovación de nuevas estrategias para el aprendizaje que permitan agilizar, optimizar y tecnificar los procesos de mantenimiento electrónico de la especialidad de aviónica, aumentando el nivel de pericia y eficiencia de dichos procedimientos.

## DISEÑO

Por medio de nuestro AET en la base de COMANDO AÉREO DE TRANSPORTE AÉREO MILITAR en la ciudad de Bogotá, en nuestra enseñanza en dicha base vimos la ventaja en la facilidad de aprendizaje que se obtenía por medio del simulador, ya que por medio de él se aumenta la pericia y son conocimientos que cualquier persona militar de la fuerza aérea debe tener claro, de allí salió nuestro diseño básico de un simulador básico consistente en un monitor, un timón de vuelo, pedales para movimiento del ruder y el programa el más importante y para posibles mejoras en el futuro en ESUFA dejamos

un prototipo para que en el futuro puedan crear un simulador con movimiento completo todo esto con asesoría técnica y tecnológica tanto de la escuela como de CATAM.

## CONCLUSIONES

Con el diseño y construcción del simulador se obtiene una nueva ayuda educativa y una propiedad adquirida para la casa mater de los futuros suboficiales de la fuerza aérea colombiana.

La elaboración de este proyecto permitió afianzar nuestros conocimientos adquiridos en el programa tecnológico y AET, donde se combinó la parte electrónico con movimientos físicos y virtuales.

Este simulador logrará optimizar el conocimiento del personal de ESUFA sabiendo que su creación no está estipulada para una cierta tecnología.

Este proyecto nos abrió las puertas para involucrar nueva tecnología y programación, donde su mejoría involucra al alumno ESUFA a desarrollar nueva tecnología en pro de la fuerza.

## RECONOCIMIENTOS

A Dios todo poderoso, a todas las personas que con su sacrificio y ánimo nos impulsaron a seguir adelante con el desarrollo de Nuestro sueño, carrera tecnológica y vocación militar, a nuestros familiares que siempre estuvieron con nosotros y nos dieron su apoyo incondicional, y la no enseñaron la paciencia para cumplir con éxito nuestras metas y pertenecer a esta institución.

## REFERENCIAS

- [1], (<http://translate.google.com.co/translate?hl=es&langpair=en%7Ces&u=http://gabbai.com/academic/the-art-of-flight-simulation>)
- [2], (<http://upcommons.upc.edu/pfc/bits-tream/2099.1/8229/1/memoria.pdf>)



# IMPLEMENTACION DE UNA TARJETA DE DESARROLLO ELECTRÓNICA PARA LA ENSEÑANZA EN EL ÁREA DE LOS MICROCONTROLADORES

*Implementation of electronics development card for microcontrollers teaching area*

## **ING. NELSON JAVIER RODRÍGUEZ**

Docente Investigador grupo Tesla  
Escuela Suboficiales Fuerza Aérea  
Colombiana ESUFA

Investigador grupo GIDAM Universidad  
Militar Nueva Granada UMNG

E-mail: [nelsonhenge@hotmail.com](mailto:nelsonhenge@hotmail.com)

Fecha de recepción: 19 de mayo de 2013.

Fecha de aprobación: 24 de mayo de 2013

## **ABSTRACT**

This article shows the theoretical-practical development of an electronics card for teaching of digital electronics, in special of micro-controllers systems. This card has as goal providing the students a tool for the development of practices and labs inside of digital electronics field.

### **Key Words:**

Microcontroller, card of development, self-programming system (APS), USB, PCB, CAD software.

## **RESUMEN**

En este artículo se muestra el desarrollo teórico-práctico de una tarjeta electrónica para la enseñanza de la electrónica digital, en especial de sistemas microcontrolados. Esta tarjeta tiene el fin de darles a los estudiantes una herramienta para el desarrollo de prácticas y laboratorios dentro de la electrónica digital.

### **Palabras claves:**

Microcontrolador, tarjeta de desarrollo, sistema de autoprogramación (APS), USB, PCB, software CAD.

## INTRODUCCIÓN

Los microcontroladores son dispositivos electrónicos programables con unidades funcionales similares a una computadora que permiten mediante un hardware y software especializado realizar infinidad de aplicaciones tanto civiles, industriales y militares. El microcontrolador incluye dentro de un solo circuito integrado las unidades funcionales de un sistema de procesamiento digital como: CPU, memoria y unidades o periféricos de entrada y/o salida, módulos de comunicaciones.

Figura 1. Microcontroladores de montaje superficial (SMD) y Through-hole [1].

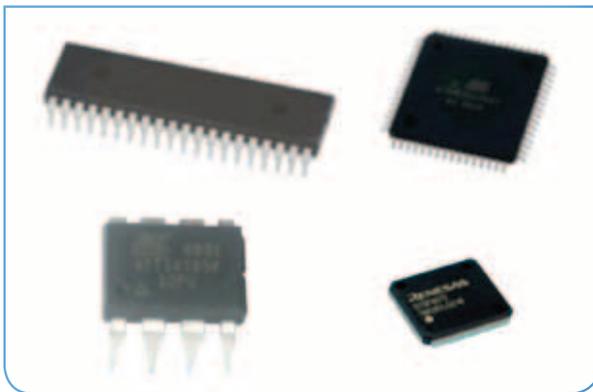
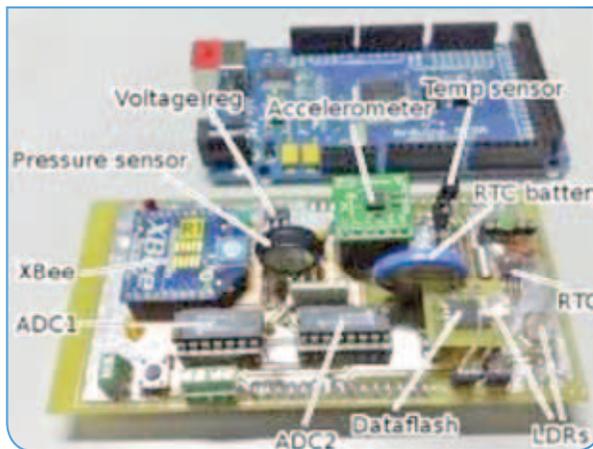


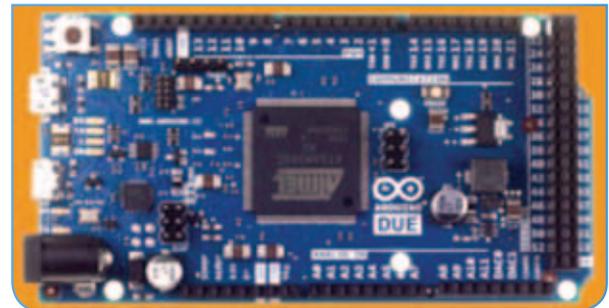
Figura 2. Algunos sensores y periféricos utilizados en un sistema electrónico digital.



Como en una aplicación electrónica típica usualmente se requiere leer y procesar la información analógica

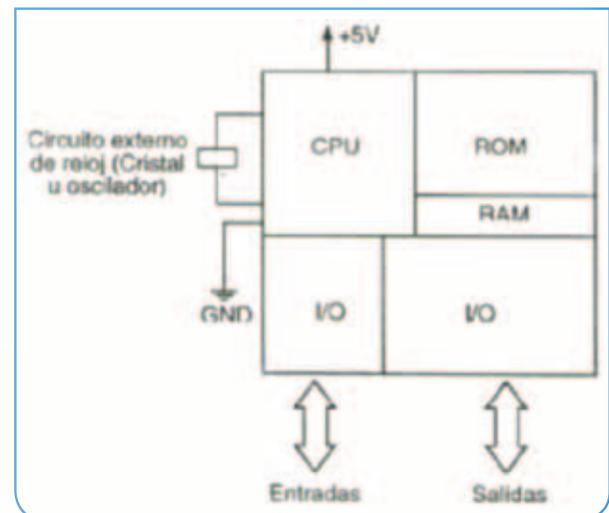
y/o digital de sensores (temperatura, presión, voltaje, corriente) y visualizarla por ejemplo en un display, o enviarla por internet, un microcontrolador sería el dispositivo electrónico encargado de realizar estas tareas de procesamiento digital, ya que en su mayoría los sensores y transductores no realizan ningún procesamiento digital sobre la variable física medida.

Figura 3. Microcontrolador como "cerebro" de procesamiento de un sistema electrónico digital [1].



## ESTRUCTURA FUNCIONAL DE UN MICROCONTROLADOR

Figura 4. Diagrama de bloques funcional de un microcontrolador [2].



En los microcontroladores tenemos bien diferenciadas los siguientes diagramas funcionales:

**CPU (Central Processor Unit) [3].** Unidad de procesamiento central que se encarga de ejecutar las instrucciones del programa que está almacenado en la memoria ROM.

**ROM (Read Only Memory) (Actualmente memoria flash) [3].** Memoria ROM de solo lectura donde se encuentra almacenado el programa que contiene las instrucciones que debe ejecutar el microcontrolador. Es análogo al disco duro de un computador (almacena los programas). Este tipo de memoria usualmente no se puede alterar durante el funcionamiento del programa. Si el microcontrolador se desenergiza (apaga), este tipo de memoria retiene la información guardada en el (no se borra). En un computador la memoria ROM o disco dura tiene capacidades del orden de gigabytes (GB), próximamente terabytes (TB), mientras que en un microcontrolador encontramos tamaños de memoria ROM máximo de 128 kilobytes (KB).

**RAM (Random Access Memory) [3].** Memoria de acceso aleatorio aunque hay una mejor definición (Read and memory) leer y grabar, esta memoria permite almacenar variables utilizadas en el procesamiento de datos durante la ejecución del programa. En un computador encontramos memorias RAM de alrededor de unas cuantas gigabytes, mientras que en un computador encontramos máximo 4kB para microcontroladores habituales.

**Circuito Oscilador.** Debido a que el microcontrolador efectúa las instrucciones de programa en forma secuencial, requiere para funcionar una señal de reloj (clk) la cual le da a su lógica secuencial la velocidad o frecuencia de funcionamiento. En un computador PC la velocidad de procesamiento está alrededor de los Gigahertz, lo que permite velocidades de procesamiento del orden de cientos o miles de MIPS (Millones de instrucciones por segundo), mientras que en un microcontrolador habitual tenemos velocidades de máximo 30 MIPS.

**Periféricos de entrada y/o salida (I/O lines).** Para que el microcontrolador sea útil aplicaciones reales, es

necesario que este se comunique con el “mundo exterior”, es decir que el microcontrolador se podrá conectar dependiendo de la aplicación a dispositivos de entrada y/o salida como:

#### Entradas:

**Sensores.** Temperatura, presión, humedad, capacidad, giróscopos, inductancia, acelerómetros.

**Pulsadores.** los pulsadores permiten a operadores humanos activar ciertas funcionalidades en los sistemas como las aeronaves.

#### Salidas:

Las salidas permiten indicar eventos, o activar o no cargas AC o DC, dentro de estas salidas tenemos:

**Leds.** El microcontrolador podrá indicar por medio de leds el estado de ciertos eventos, por ejemplo si una alarma de temperatura elevada.

**Displays.** los displays permiten la visualización alfanumérica de información como variables numéricas (temperatura, velocidad, altitud...) y variables textuales como informaciones de ciertos procesos.

*Figura 5. Displays utilizados en una aeronave de combate.*



Para el control de una aeronave el piloto debe conocer muchas variables físicas como temperatura de las toberas, velocidad del viento, altitud, velocidad del motor, yaw, pitch, etc, esta información se la muestran los displays o pantallas colocados en la cabina, detrás

de esta información vital se encuentran los sistemas electrónicos digitales como son los microcontroladores los cuales procesan la información de los sensores y la muestran al piloto.

**Relés y dispositivos de estado sólido.** Estos permiten la activación o no de cargas AC o DC según se requiera, dentro de este tipo de cargas tenemos como ejemplo:

- Motores.
- Lámparas halógenas, fluorescentes o led.
- Actuadores hidráulicos o neumáticos.

Aunque la capacidad de procesamiento de un microcontrolador comparado con un computador es menor, este ha permitido avances importantes en el ámbito industrial y militar, por ejemplo el sistema de control de vuelo del Apolo en el vuelo en el que se colocó un hombre en la luna era comandado por un microcontrolador de 8 bits, que para esa época era un gran avance.

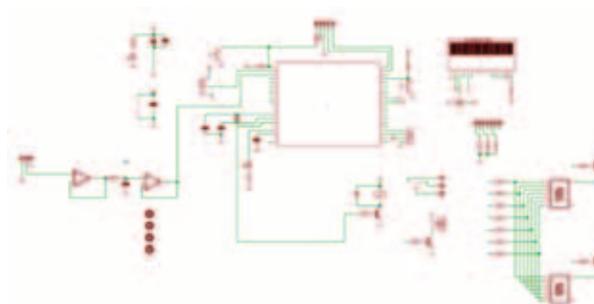
## FASES DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TARJETA DE DESARROLLO

- Reunión de requerimientos.
- Diseño y desarrollo esquemático o plano eléctrico.
- Diseño de la tarjeta PCB.
- Fabricación de la tarjeta PCB.
- Ensamble de la tarjeta.
- Pruebas.
- Desarrollo de laboratorios y prácticas de electrónica digital.

**Reunión de requerimientos.** en esta etapa se definen los periféricos de entrada y salida que va tener la tarjeta.

**Diseño y desarrollo esquemático o plano eléctrico.** en esta fase se utiliza un software CAD o de diseño asistido por computador, en el cual se harán las conexiones eléctricas necesarias para la tarjeta de desarrollo.

Figura 5. Esquemático tarjeta de desarrollo.



### Diseño de la tarjeta PCB:

Figura 6. Diseño CAD PCB

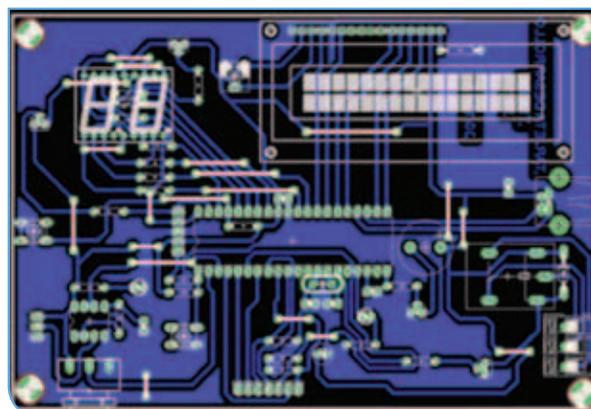


Figura 7. Estudiantes de TEA en la etapa de diseño del PCB.



**Fabricación de la tarjeta PCB.** en esta etapa se realiza la fabricación de la tarjeta PCB (Printed Circuit Board), existen varios métodos como foto-termotransferible, o la

utilización de la máquina de prototipado rápido la cual dispone la escuela de suboficiales de la fuerza aérea:

*Figura 8. Máquina de fabricación de prototipado rápido PCB en la escuela de suboficiales de la fuerza aérea FAC.*



*Figura 9. Etapa ensamble de la tarjeta, estudiantes TSA.*



## LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN UTILIZADO PARA PROGRAMAR LA TARJETA DE DESARROLLO

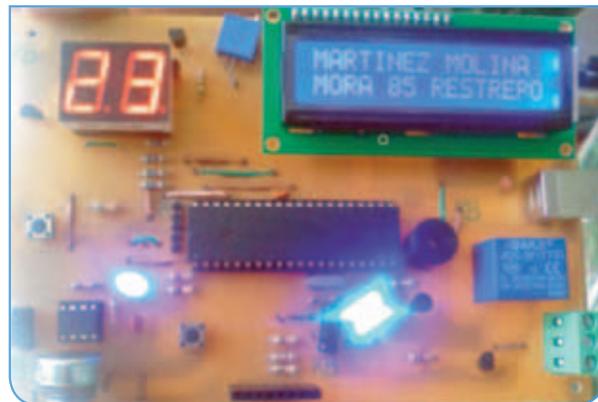
Existen muchos lenguajes de programación para implementar soluciones con microcontroladores como el lenguaje de máquina, el lenguaje assembler entre otros, el más aceptado a nivel mundial es lenguaje C. Este lenguaje es un estándar de programación, las diferentes empresas fabricantes de microcontroladores como Atmel, ARM, Freescale, Microchip, NXP, ST, Philips, etc entre otras

lo han elegido como lenguaje de programación nativo por lo cual no se recomienda utilizar otros lenguajes de programación.

El lenguaje de programación Assembler o ensamblador es un lenguaje de excelente, pero a nivel de implementación retrasa en tiempo la puesta en marcha de un proyecto, la curva de aprendizaje es más larga comparado con el lenguaje C, por ejemplo el lenguaje C tiene implementadas librerías para el control de periféricos y demás.

Pruebas y desarrollo de laboratorios y prácticas de electrónica digital:

*Figura 10. Pruebas y desarrollos de prácticas en la tarjeta implementada.*



Esta tarjeta además tiene implementada la función de auto programación, lo que le permite ser programada desde los computadores de los estudiantes sin necesidad de un hardware o programador adicional.

## COMPETENCIAS QUE SE PRETENDE DESARROLLAR EN LOS ESTUDIANTES CON LA IMPLEMENTACIÓN DE ESTA TARJETA DE DESARROLLO

- Comprender el funcionamiento y la forma de conectar periféricos de entrada como sensores, potenciómetros, comunicación serial y de salida como displays LCD y 7 segmentos.

- Conocer e implementar los métodos de fabricación de tarjetas PCB.
- Operar las herramientas de soldadura como cautín, estaño, flux, etc.
- Implementar buenas técnicas de manejo del equipo de laboratorio como pinzas, cortafíos, manejo de multímetro digital, osciloscopio, etc.
- Programar en el lenguaje de alto nivel C.
- Diagnosticar y solucionar fallas en sistemas electrónicos digitales.
- Dar soluciones a problemas tecnológicos en el ámbito de la aviación y la electrónica en general.

## AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a la profesora Alicia Martínez a la profesora Patricia Cadena por su apoyo para la elaboración de artículos para la revista Tecnoesufa y al TS. Omar Morales, Capitán Sierra y demás jefes de las tecnologías por su apoyo a las actividades de investigación.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] [https://www.google.com.co/search?q=microcontroladores+imagenes&bav=on.2,or.r\\_cp.r\\_qf.&bvm=bv.48175248,d.dmg&biw=1905&bih=949&um=1&ie=UTF-8&hl=es-419&tbm=isch&source=og&sa=N&tab=wi&ei=R\\_fCUbyHG47Q9gTKooDwCQ,»](https://www.google.com.co/search?q=microcontroladores+imagenes&bav=on.2,or.r_cp.r_qf.&bvm=bv.48175248,d.dmg&biw=1905&bih=949&um=1&ie=UTF-8&hl=es-419&tbm=isch&source=og&sa=N&tab=wi&ei=R_fCUbyHG47Q9gTKooDwCQ,») [En línea].
- [2] A. M. J.M. Angulo Usategui, *Microcontroladores PIC: Diseño práctico de aplicaciones*, McGraw Hill, 2006.
- [3] J. M. A. U. E. Martín Cuenca, *Microcontroladores Pic*, Paraninfo, 2001.
- [4] F. E. V. Pérez, *Microcontroladores: Fundamentos y Alfaomega*, 2007.



# DISEÑO DE UN TÚNEL DE VIENTO SUBSÓNICO PARA HÉLICES DE MÁXIMO 30 PULGADAS

*design of a subsonic wind tunnel for propellers of maximum 30 inches.*

## MANUEL FERNANDO CARO RINCÓN

Ingeniero Aeronáutico.  
Universidad San Buenaventura  
Docente Investigación ESUFA

Email: [manuelcarorincon@hotmail.com](mailto:manuelcarorincon@hotmail.com)

Fecha de Recepción 24 de mayo de 2013.  
Fecha de Aprobación: 24 de mayo de 2013

## ABSTRACT

This article summarizes the detailed design of a subsonic wind tunnel for measurement of parameters and constants that are assumed in the detailed design of unmanned air vehicle or remotely manned. For the design of this wind tunnel was considered height correction factors because the location of this would be in the city of Bogota, thus obtaining some conclusions on the analysis of fluid along the tunnel and its behavior in the different sections.

### Key words:

Wind Tunnel, CFD, UAV, Propeller, dynamic pressure, aerodynamic, ART

## RESUMEN

Este artículo resume el diseño detallado de un túnel de viento subsónico para la medición de parámetros y constantes que son asumidas en el diseño detallado de aeronaves no tripuladas o remotamente tripuladas. Para el diseño de este túnel de viento se tuvo en cuenta factores de corrección por altura debido a que la ubicación de este sería en la ciudad de Bogotá, obteniendo así algunas conclusiones sobre el análisis de fluidos a lo largo del túnel y su comportamiento en las diferentes secciones.

### Palabras clave:

Túnel de viento, CFD, UAV, hélice presión dinámica, aerodinámica, ART.

## INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, el desarrollo de vehículos aéreos no tripulados (UAV o ART) y el interés actual por el micro-vehículo no tripulados (MAV's) ha estado en constante crecimiento. Los aviones de radio control (R/C) así como los diseñadores de los mismos; han estado ligados de la mano en este crecimiento. El hobby de pilotar un avión R/C se ha estado convirtiendo un deporte profesional con un crecimiento de competencias oficiales, paralelamente el interés de los estudiantes de ingeniería y las universidades sobre este tema han llevado el hobby a una práctica neta de ingeniería; las competencias pasaron de simple hecho de volar a cumplir misiones y requerimientos, que a futuro estos diseños pueden ser considerados verdaderas obras de ingeniería. Desde el nacimiento de la aviación, las hélices han sido parte fundamental en el diseño de las aeronaves, cabe recordar que para los ingenieros de esa época no existía el motor a reacción, y la medición de rendimiento y comportamiento de las hélices era una gran ayuda para culminar el diseño de la aeronave. En la actualidad los UAV y MAV poseen hélices pequeñas que operan a bajo número de Reynolds; es decir en un rango entre 30000 y 400000; además se debe tener en cuenta que las hélices no deben exceder el número Mach en la punta por cuestiones de vibraciones y pérdida del fluido.

Las mediciones de los comportamientos dinámicos de un elemento pasando a través de un fluido se realizan mediante un túnel de viento; los cuales pueden ser clasificados según su configuración, por lo cual la medición de rendimiento de una hélice se debe realizar con su modelo a escala y teniendo en cuenta los parámetros requeridos para las misiones y requerimiento a los cuales va a ser asignada, porque básicamente no se puede hacer una comparación con un modelo a escala de una hélice con la realidad.

Un túnel de viento para la medición de parámetros de rendimiento de hélices debe tener un sistema de medición preciso y una calidad de flujo casi perfecta, la necesidad de estas mediciones para un óptimo diseño de una aeronave es un punto clave en rendimiento de la aeronave.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El desarrollo de métodos, máquinas o estudios de hélices en la industria aeronáutica; es una de las pocas aéreas que no se ha tratado, siendo este es un componente fundamental para el análisis y diseño de aeronaves, debido a esto, nace la necesidad de desarrollar un medio de estudio a este componente como lo es un túnel de viento enfocado principalmente a hélices, en el cual se puedan analizar factores relevantes como velocidad de viento, ángulo de las palas, resistencia al avance, empuje, relación de avance, coeficientes de empuje y poder, y eficiencia de la hélice, todo estos enfocados a un análisis completo.

¿Cómo debe ser un túnel de viento para la prueba de hélices de máximo 30 pulgadas (0.75 metros) de diámetro?

## JUSTIFICACIÓN

El proyecto de investigación tiene como propósito el diseño de un túnel de viento para realizar estudios de rendimiento de hélices, debido a que la industria aeronáutica no posee los equipos adecuados para realizar un estudio teórico-práctico. El poco desarrollo en el estudio de hélices y de instrumentos de medición a nivel mundial, ha llevado a la necesidad de diseñar un túnel de viento; en el cual se puedan mostrar y analizar diferentes tipos de hélices. Con este proyecto se podrán ver beneficiadas todas las personas interesadas en realizar un estudio de rendimiento para hélices y complementar los cálculos realizados en el diseño de una aeronave donde los directos beneficiados serán los ingenieros e

investigadores debido a que se podrá mejorar algunas investigaciones ingenieriles así mismo relacionar estudios realizados en diversos programas de simulación y comparar resultados de rendimiento mediante una base de datos, teniendo en cuenta que existen factores que nos pueden ayudar a determinar características relevantes de estudio como lo son el rendimiento de la hélice, el empuje dinámico, y otras que serán de gran ayuda a la hora de establecer referencias de lo teórico con lo real.

## OBJETIVOS

### Objetivo general

Diseñar un túnel de viento subsónico para pruebas de hélices no mayores a 30 pulgadas de diámetro.

### Objetivos específicos

- Diseñar componentes y arreglos geométricos del túnel de viento a partir de un procedimiento analítico con base en los requerimientos de operación y medición de parámetros.
- Corroborar los datos previamente calculados por medio de simulaciones en software de CFD.
- Realizar un análisis estructural de los componentes principales del túnel de viento.
- Desarrollar un estudio de costos para evaluar la factibilidad de la construcción del túnel de viento.

## ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO

El proyecto está centrado en obtener un diseño detallado de un túnel de viento para probar hélices hasta de 30 pulgadas de diámetro, usadas principalmente en vehículos aéreos no tripulados. El túnel de viento debe permitir la obtención de parámetros tales como coeficiente de empuje y coeficiente de torque para distintos ángulos de incidencia y coeficientes de avance.

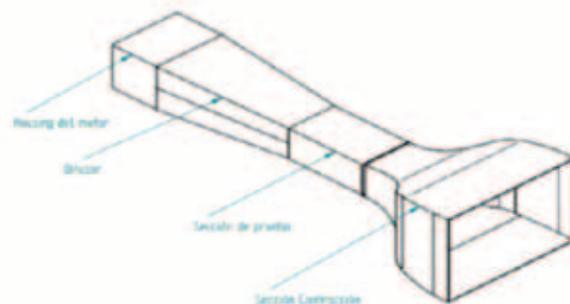
La simulación en software de CFD comprende el análisis de los componentes principales con simplificaciones en la sección del fan (para no modelar en detalle

el ventilador) y no se tendrán en cuenta detalles en la geometría con unas dimensiones reducidas comparadas con las del túnel en general. Las simulaciones pretenden verificar las presiones y velocidades obtenidas con los cálculos analíticos y estimar la calidad del flujo de aire en la sección de prueba mediante número de Reynolds; no se simulara el comportamiento de una hélice dentro de la sección de prueba.

## METODOLOGÍA

El enfoque investigativo de este proyecto es empírico-analítico pues está orientado a la solución de un problema mediante un interés técnico y no enfocado a la transformación de un mundo social, ya que se realizara una retroalimentación de los análisis de modelos matemáticos y simulaciones computacionales con la experimentación buscando la solución más practica a la necesidad de tener un túnel de viento para realizar pruebas de hélices de máximo 30 pulgadas que será de características de un túnel de viento abierto.

Figura 1. Partes del túnel de viento

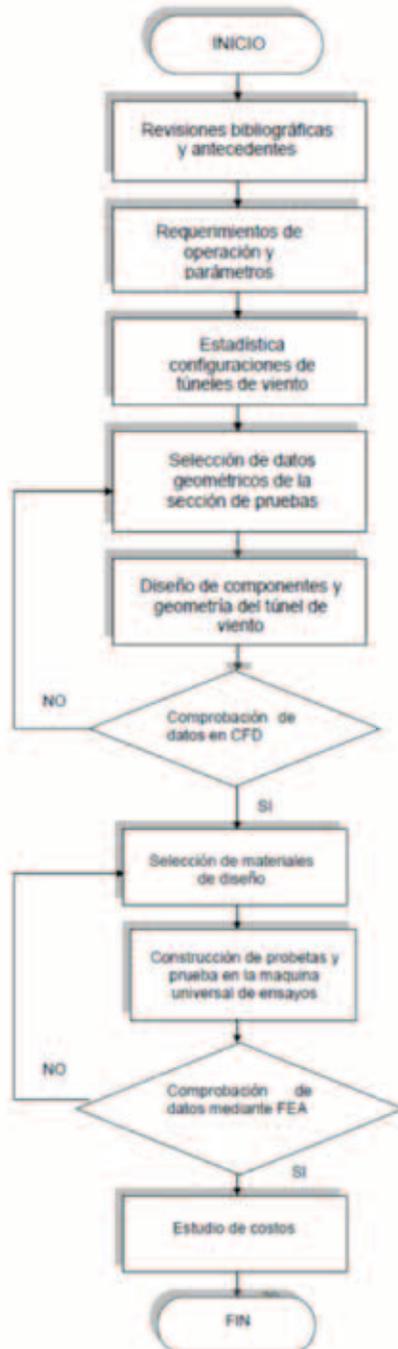


## Desarrollo del proyecto

Figura 2. Diagrama de flujo

### Línea base de la sección de prueba

Lo primero que se realizó, fue una estadística, la cual fue desarrollada con el fin, de hacer una relación de áreas, entre la sección de prueba y el diámetro de las hélices. Al



obtener una estadística de la relación de áreas se puede determinar un estimado para el porcentaje del área total que el disco de la hélice ocupara dentro de la sección de

prueba del túnel de viento. Esto se puede observar en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Valores de referencia en túneles de viento.

TÚNEL DE VIENTO	VELOCIDAD EN LA SECCIÓN DE PRUEBA	DIMENSIONES DE LA SECCIÓN DE PRUEBA	DIÁMETRO DE LAS HÉLICES	SECCIÓN DE CONTRACCIÓN	REYNOLDS
University of Illinois at Urbana-Champaign (2011)	24,38 m/s (1000-1900 rpm)	0,93m x 1,21m y 2,30m de largo	0,23-0,26 m	7,5	5000-100000
Wichita state university (2004)	54 m/s (1000-8000 rpm)	(0,91 x 1,22) m	Máximo: 0,9 m	7	10000-300000
24 ft wind tunnel test on a propeller (1954)	105 m/s	1,32 m	0,38 m	7,5	
Wind tunnel of propeller strength studies the FUA experience at (1999)	Mach 0,8 (8000 rpm)		0,514 m		

Tabla 2. Relación de áreas.

Túnel de viento	Área de la sección de prueba	Área del disco	Relación de área y porcentaje
University of Illinois at Urbana-Champaign (2011)	1,04 m <sup>2</sup>	0,06 m <sup>2</sup>	5,9%
Wichita state university (2004)	1,11 m <sup>2</sup>	0,29 m <sup>2</sup>	20,3%
24 ft wind tunnel test on a propeller (1954)	53,58 m <sup>2</sup>	8,82 m <sup>2</sup>	16,4%

### Corrección de valores por altura

Tomando en cuenta las correcciones de valores para presión, temperatura, densidad, viscosidad dinámica y cinemática mediante ISA (International Estándar Atmosphere) y se obtienen los siguientes valores para Bogotá:

Tabla 3. Datos atmosféricos para Bogotá (SI)

Datos iniciales (SI)		
Factor	Valor	Unidad
P	73835,527	Pa
P	0,947	Kg/m <sup>3</sup>
u	1,707E-05	Kg/m/s
N	1,799E-05	m <sup>2</sup> /s

Diseño de los componentes y arreglos geométricos del túnel de viento.

El diseño del túnel empieza en la sección ms importante y en la cual se concentra el análisis de este proyecto; la sección de prueba; para empezar el diseño de esta sección se tiene como parámetros de entrada los siguientes datos:

Tabla 4. Parámetros de entrada

Datos sección de prueba (SI)		
Factor	Valor	Unidad
Velocidad	55	m/s
Diámetro de palas	0,762	M
Radio de palas	0,381	M
Area del disco	0,456	m <sup>2</sup>

Con estos datos se puede obtener una relación del área que forma el disco de la hélice en relación con el área transversal de la sección de pruebas del túnel de viento; tomando como referencia los valores de la tabla 2.

A partir de esta sección del túnel de viento, se desprende el diseño de los demás componentes del túnel como son la sección frontal o contracción y la posterior o difusor, donde se realizan los cálculos pertinentes para encontrar su geometría y valores de presión y velocidad basándose en la ecuación de Bernoulli como se muestra en la tabla 5.

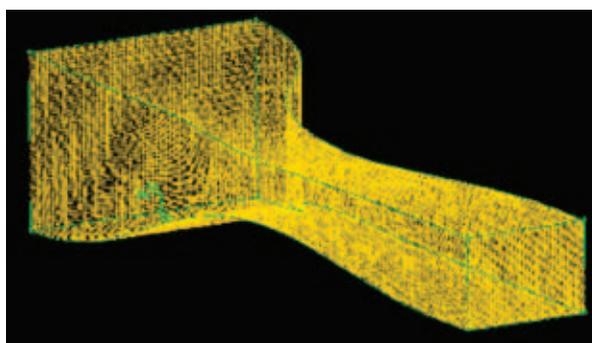
Tabla 5. Valores área, presión y velocidad para a las secciones del túnel de viento

Sección	Nombre	Area	Velocidad	Presión
1	Settling chamber	21,07 (m <sup>2</sup> )	7.333 (m/s)	73835,52
2	Sección de contratación	21,07 (m <sup>2</sup> )	7.333 (m/s)	73835,52
3	Sección de prueba	2,80 (m <sup>2</sup> )	55 (m/s)	71379,97
4	Sección del difusor	5,61 (m <sup>2</sup> )	27,5 (m/s)	71652,52

### Simulación en CFD

Para la simulación en CFD (Computational Fluid Dynamics) se realizó un volumen de control y enmallado en un preprocesador (GAMBIT) para ubicar las características de la malla como son la calidad de la malla, las condiciones de frontera entre otras. Para realizar el volumen de control se tuvo en cuenta puntos en la geometría para obtener sus coordenadas y realizar el dibujo correspondiente.

Figura 3. Enmallado del volumen de control.



Al tener este volumen de control en el preprocesador se procede a realizar la simulación el procesador (Fluent) en el cual se le dan los siguientes valores de referencia para empezar la simulación:

- Presión a nivel de Bogotá: 73835,527 Pa
- Presión de entrada: Presión de Bogotá.
- Velocidad de entrada: 7,333 m/s
- $\Delta P$ : 69,8 Pa
- Presión a la salida de la sección difusor: 71652,52 Pa.
- Área de entrada: 21,07 m<sup>2</sup>.
- Área de salida: 5,61 m<sup>2</sup>.

Para evitar errores en la simulación y que esta sea más precisa y a su vez no se tenga un gasto computacional elevado e innecesario se realiza un monitoreo de un punto ubicado en la sección de prueba donde se analiza la velocidad a lo largo de las iteraciones como se muestra a continuación (Ver tabla 6).

Tabla 6. Datos de velocidad a lo largo de las iteraciones

Iteración	Velocidad	Unidad
0	0	m/s
50	58,6	m/s
200	57,05	m/s
400	56,9	m/s
600	56,8	m/s
900	56,8	m/s



Con la certeza de que la solución ha convergido se procede a obtener las gráficas con sus valores para realizar la comparación de datos.

Figura 4. Contornos de presión estática.

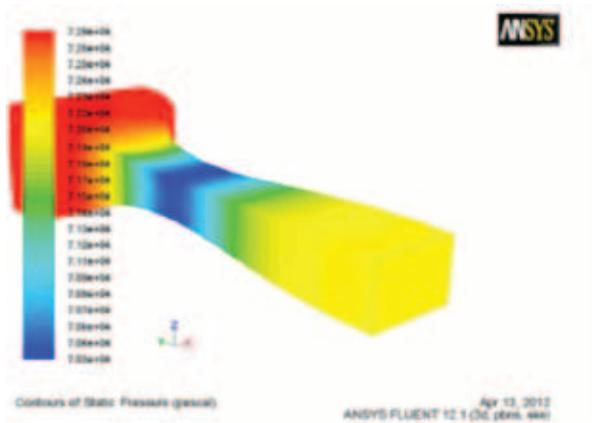


Figura 5. Vectores de velocidad.

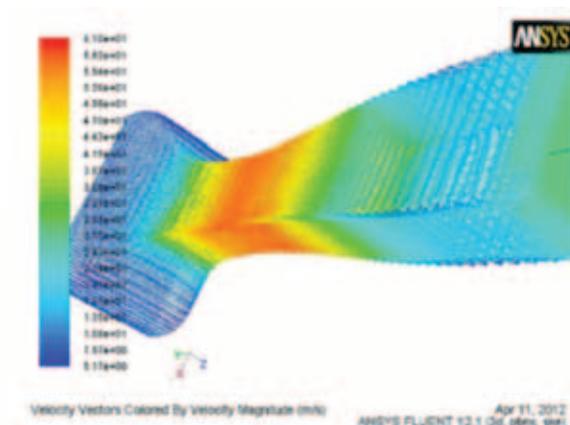


Figura 6. Contornos de presión dinámica

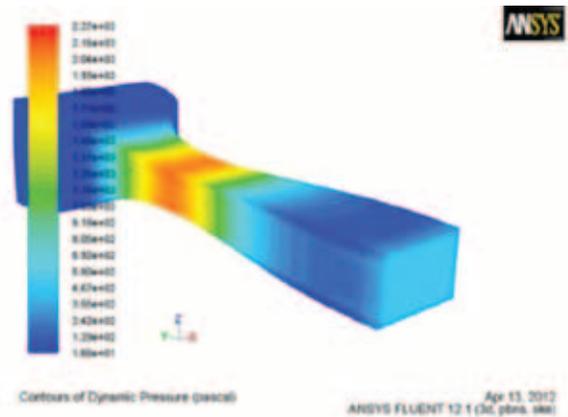


Tabla 7. Comparación de datos..

Variable	Sección	Valor teórico	Valor en fluent	% de error
Velocidad (m/s)	Prueba	55	56,82	3,30
	Contracción	7,33	7,4	0,95
	Difusor	25,5	24,7	3,14
Presión (Pa)	Prueba	70864,353	70650	0,30
	Contracción	73835,527	72800	1,42
	Difusor	71196,7	71900	0,98

### Comparación de datos manuales con los computacionales

Para el análisis de resultados se tomó como referencia los valores calculados y los valores obtenidos en Fluent, a partir de la simulación mencionada anteriormente. Para el cálculo del porcentaje de error se tomó un valor que no fuera mayor al 5%, de lo contrario la diferencia en el margen de error sería muy grande.

Pese al gran número de iteraciones el porcentaje de error en la sección de prueba fue de 3,30, con esto se comprueba que es un valor crítico dentro de la simulación.

### Análisis estructural y selección del material

A partir de las ecuaciones de elementos con presión interna, se logró analizar la sección de prueba, para poder determinar el factor de seguridad en función del espesor, el cual está dado por los calibres encontrados a nivel comercial. Donde se tendrán dos esfuerzos, el

tangencial (1) y el longitudinal (2). Se realizará el desarrollo, a continuación.

$$(1) F_p = P_i * A_i$$

$$(2) A_\mu = 2Lt$$

Teniendo en cuenta que la sección de prueba debe ser diseñada en acrílico para poder observar el comportamiento al interior de la misma se realizan los cálculos determinando el factor de seguridad correspondiente a cada esfuerzo.

Tabla 8. Datos de esfuerzo en la sección de prueba

Esfuerzo longitudinal		
Presión interna	70864,353	Pa
Base	2,053	m
Altura	1,36	m
Espesor	0,003	m
Esfuerzo longitudinal	12006828,09	Pa
Esfuerzo acrílico	48000000	Pa
Factor de seguridad	3,997	
Margen de seguridad	2,997	
Esfuerzo tangencial		
Presión interna	73835,52	Pa
Altura	1,36	m
Espesor	0,0025	m
Esfuerzo tangencial	20009425,92	Pa
Factor de seguridad	2,398	
Margen de seguridad	1,398	

Para la sección de contracción y difusor se diseñó en fibra de vidrio para soporte impactos en caso de un desprendimiento de la pala o ingesta de elementos ajenos al estudio, además se va a reforzar con un núcleo de Coremat que proporciona propiedades de resistencia a la flexión debido al gran tamaño del túnel.

Se realizaron pruebas acorde a las normas ASTM para materiales compuestos en cuanto a flexión para comprobar las propiedades mecánicas del material. Se utilizaron dos probetas.

Figura 7. Probeta en la máquina universal de ensayos.



La probeta fue ubicada en la máquina con los dos instrumentos que se observan en la figura 7, para empezar la prueba se tomó un dato de la distancia donde estaban ubicados los puntos de apoyo, la tasa de velocidad de la prueba y los datos geométricos de la probeta, obteniendo los resultados de las figura 8 y 9 en una gráfica de esfuerzo vs deformación.

Figura 8. Resultados primera probeta.

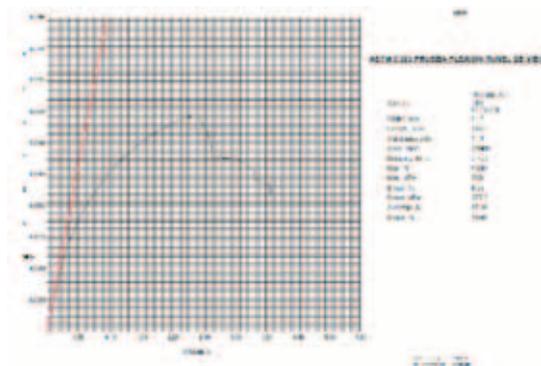
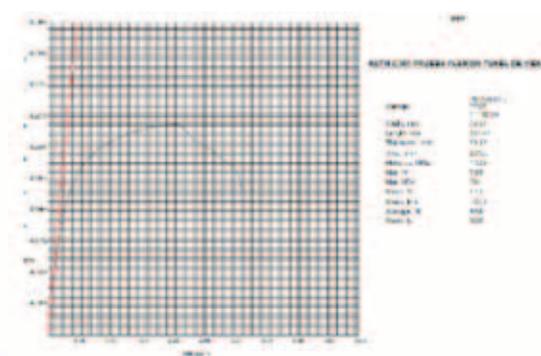


Figura 9. Resultados segunda probeta.



### Simulación FEA

Para comparar el resultado de los esfuerzos de las probetas con el análisis computacional se realiza un estudio por elementos finitos.

Figura 10. Deformación de la sección difusor.

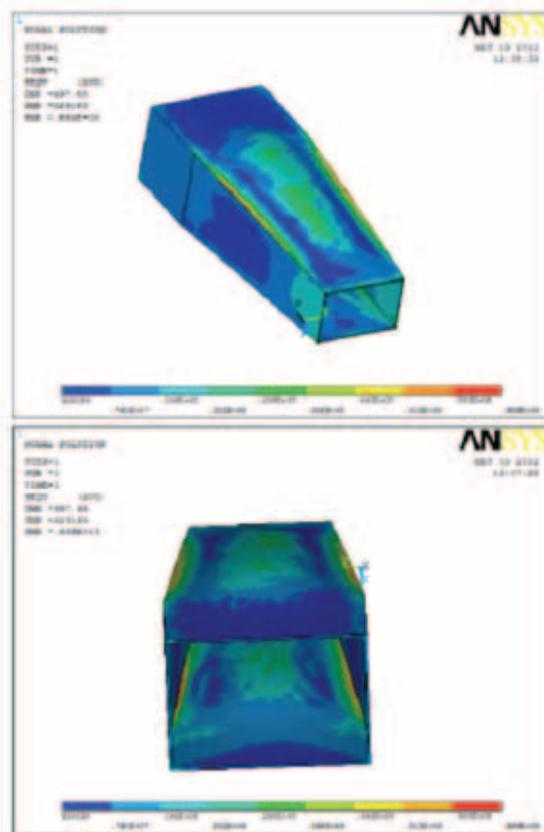
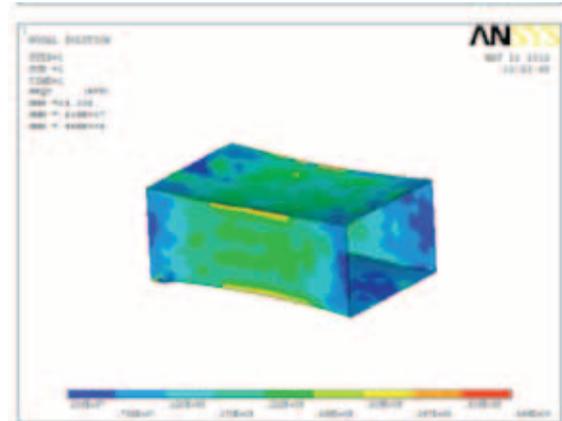
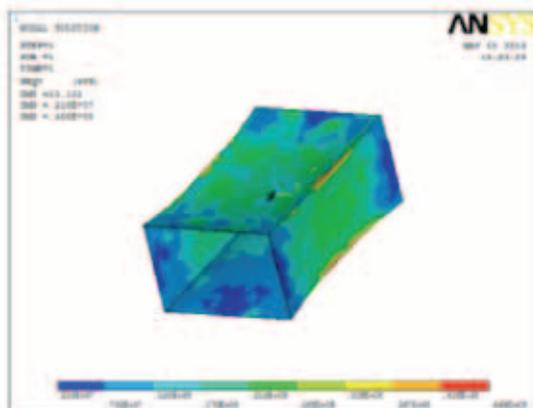


Figura 11. Deformación sección de prueba.



La sección de difusor sufre el mayor esfuerzo en las esquinas como se muestra en la figura 10. La sección tiene un esfuerzo máximo  $.63e8$  Pa ubicado en las esquinas. La deformación en la sección de prueba y sus esfuerzos equivalentes se observan en la figura 11. El esfuerzo máximo se observa en las esquinas con un valor de con un valor de  $.46e8$  Pa.

### CONCLUSIONES

- En la simulación se logró comprobar que la longitud del difusor no es factor que afecte el desprendimiento de la capa límite, debido a que este fenómeno se genera muy cerca de la sección de prueba y es constante.
- Se logró demostrar en las pruebas de flexión, que el esfuerzo cortante es el más crítico, siendo el núcleo el material que soporta este esfuerzo y es por donde sucede la falla.
- El material compuesto de fibra de vidrio y Coremat proveen la resistencia y capacidad para soportar las presiones ejercidas, además de su costo bajo en comparación con otras fibras y núcleos.
- La sección de prueba tiene sus puntos de falla en las esquina; debido a la fabricación del acrílico como una lámina. El túnel al ser diseñado para hélices que van a estar en rotación, se debe tener en cuenta factor de seguridad alto para prevenir un posible desprendimiento de alguna pala y daño.

## RECONOCIMIENTOS

Se expresa un sincero agradecimiento a:

PhD. Salvador Vargas.

Msc. Ing. Santiago Ramírez

Msc. Ing. Rubén Salazar

Capitán Erwin Alfonso Sierra. Msc

Teniente Gina Paola Garzón

Msc. Ing. Jaime Escobar.

## REFERENCIAS

[1], <http://www.aerodynamics4students.com>

[2], ASTM C393, Pruebas de flexión materiales compuestos.

[3], Pankaj Mechant, M. Thesis. PROPELLER Performance measurement for low Reynolds number unmanned aerial vehicle applications.wichita.2005: Wichita state university

[4], BARLOW, J., RAE, W., & POPE, A. low speed wind tunnel testing.



imagen tomada de: <http://praktikum2011etsii.blogs.upv.es/2011/06/28/page/2/>



# DISEÑO Y ELABORACIÓN DE LA TAPA PROVEEDOR PARA EL FUSIL GALIL ACE

*Design and elaboration of a supplier top for galil ace rifle*

**DS. JOSÉ GRANADOS MORA**

Email: yankinjose@hotmail.com

**DS. ALEJANDRO BEDOYA MORENO**

Email: alejobedoya84@hotmail.com

**DS. OSCAR BENAVIDES SUÁREZ**

Email: benasebas@hotmail.com

*Fecha de recepción: 16 de noviembre de 2012*

*Fecha de aprobación: 24 de mayo de 2013*

## ABSTRACT

The Colombian Air Force has been described as the institution of the Armed Forces that has given the hardest hits to insurgent groups and has been the least stunted by these factors.

Due to the fact that the Air Force has been a little threatened, the use of weapons haven't been much useful and keeps stored in the arsenals of the respective air bases.

The aim of this project is to minimize the wasting of GALIL ACE RIFLE, because it is an optimum assault weapon which has as achievement execute patrols, besides it is of constant use, however it is characterized as easy handing in reaction times, it will be reliable to take the antifouling setting and introduce the supplier, without concern or not disposal for any kind of dirt and works in the best way.

### **Key words:**

Deterioration, Galil Ace, dirt.

## RESUMEN

La Fuerza Aérea Colombiana se ha caracterizado por ser la Institución en las FF.MM. que mas golpes contundentes ha dado a los grupos insurgentes y la que menos ha sido atrofiada por estos.

Debido a que poco es lo que la Fuerza Aérea se ha encontrado amenazada, el uso de su armamento no ha sido de mayor utilidad y permanece guardado en los armerillos de las respectivas bases aéreas.

Se busca con este proyecto minimizar el deterioro del fusil *GALIL ACE* ya que es una optima arma de asalto que tiene como fin realizar patrullas y es de un uso constante, no obstante se caracteriza por ser de fácil manejo en momentos de reacción, será confiable sacar el dispositivo de anti suciedad e introducir el proveedor, sin temor a que el fusil esté indispuesto por alguna clase de mugre y funcione de la mejor manera.

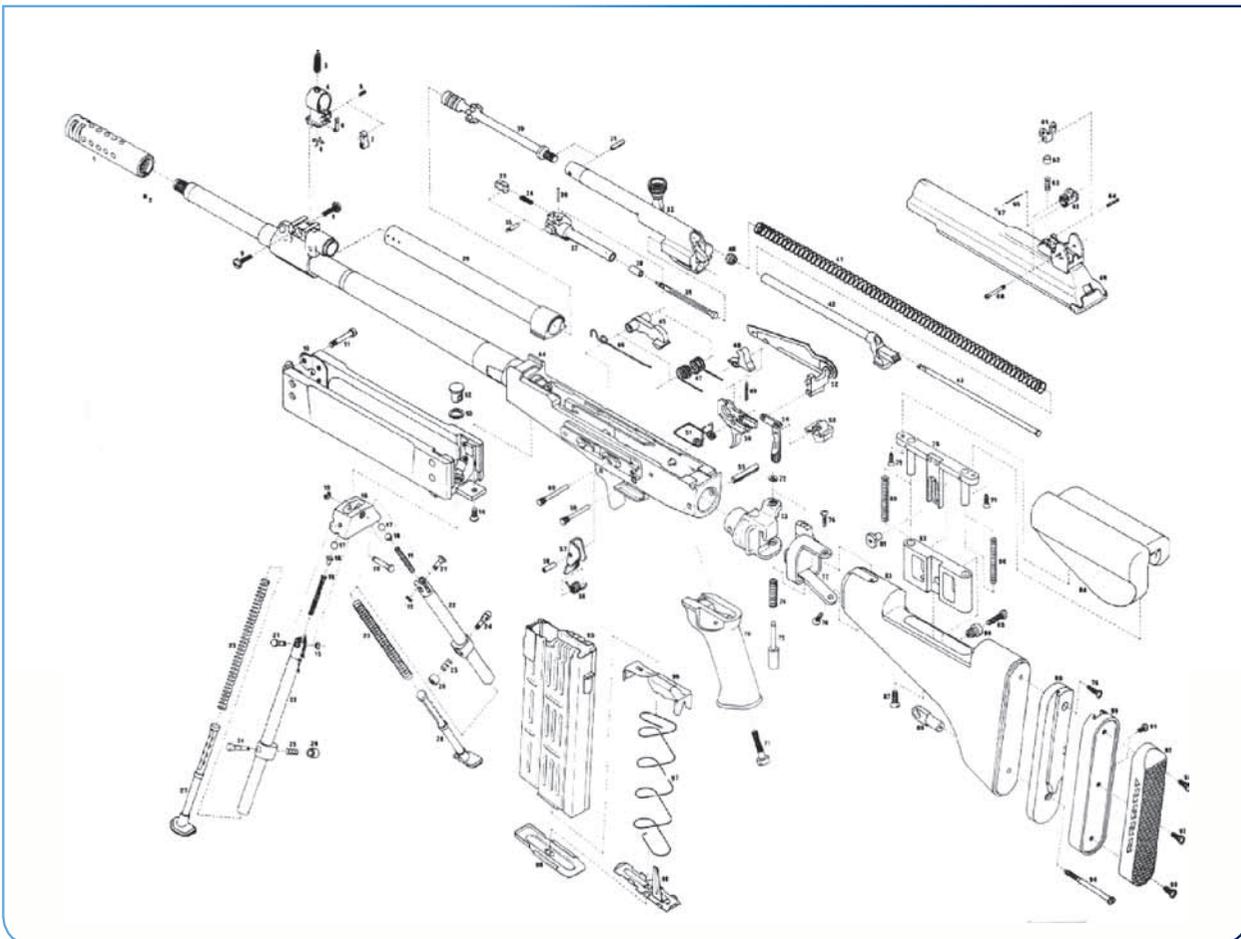
### Palabras clave

Deterioro, Galil Ace, suciedad.

## INTRODUCCIÓN

En las bases aéreas de la Fuerza Aérea Colombiana existen armerillos, con el propósito de guardar y proteger el armamento terrestre con que cuenta para el entrenamiento o reacción ante posibles ataques internos por parte del enemigo.

Se ha visto que al permanecer el armamento mucho tiempo en esas condiciones, corre el riesgo de obtener suciedad, mugre y en algunos casos de humedad. Como parte de control periódicamente se realizan aseo al armamento. En la Escuela de Suboficiales esta tarea se lleva a cabo cuando hay revistas trimestrales del material de guerra. Sin embargo, no es suficiente, debido a que se



corre el riesgo que durante este lapso el fusil *Galil Ace* 556 mm se llene de polvo y obstruya el buen funcionamiento de la recámara, al trabar el cartucho, e impide la acción de retroceso al momento de utilizar el fusil.

En un futuro se buscará que todos los fusiles con los que cuenta la Fuerza Aérea Colombiana tenga un dispositivo de estos para garantizar su desempeño en caso de reacción en las bases y no hallan novedades a la hora de accionar las armas.

Por medio de este dispositivo entraremos directamente en relación con el fusil *Galil Ace*, al cual le será implementado otra pieza, incrustada en la cavidad donde se ubica el proveedor y que no permita el acceso fácilmente de la suciedad, claro está, sin estar en uso o incrustado el respectivo proveedor.

## CONCLUSIONES

La elaboración de la pieza evidenció que su uso en el fusil *Galil Ace* sí cumplió con sus objetivos de mantenimiento y perduración del material, ejecutando de tal manera, pasos a crear moldes para la elaboración de muchas más piezas que cumplan con el objetivo trazado.

Desde un punto de vista tecnológico se cumplió con los estándares exigidos de investigación y verificación, dando una mayor voluntad de trabajo y dedicación al proyecto como tal.

Se descartó cualquier duda en cuanto al desgaste de la pieza en el procedimiento de incrustación y extracción, debido a la buena elección utilizada al escoger el material apropiado para tal elaboración del dispositivo.

Finalmente al ser acabada la pieza se probó y se verificó su calidad y función de la mejor manera, todo ello se debió a un excelente interés por el tema y por elevar el nivel de creatividad que pueden obtener los futuros graduandos y suboficiales de la FAC, también demostrar

la calidad de investigación y preparación de los alumnos de la escuela de suboficiales CT. Andrés M. Díaz.

## RECONOCIMIENTOS

A nuestras familias de todo corazón damos gracias por el inmenso apoyo que nos ha brindado desde un comienzo de nuestras vidas y que aun en esos momentos de aproximación a la profesionalidad estuvieron presentes forjándonos de un valor muy importante como es la responsabilidad para argumentar y desarrollar con exactitud las investigaciones requeridas

## REFERENCIAS

- [1], *Albarades, M. (09 de Marzo de 2011). Profesor en Linea. Recuperado el 11 de julio de 2012, de <http://www.profesorenlinea.cl>*
- [2], *Alzate, F. (23 de agosto de 2007). monografias. Recuperado el 12 de julio de 2012, de <http://www.monografias.com>*
- [3], *Ancolini, A. (14 de Mayo de 2009). papelnet. Recuperado el 10 de julio de 2012, de <http://www.papelnet.cl>*
- [4], *Ferro, J. (10 de noviembre de 2004). coseycr. Recuperado el 12 de julio de 2012, de <http://www.coseycr.com>*
- [5], *Gallego, P. (28 de abril de 2010). mexico armado. Recuperado el 12 de julio de 2012, de <http://www.mexicoarmado.com>*
- [6], *Rivera, C. (08 de septiembre de 2007). educar. Recuperado el 11 de julio de 2012, de <http://www.educar.org>*
- [7], *Zapata, V. (01 de junio de 2003). lenntech. Recuperado el 11 de julio de 2012, de <http://www.lenntech.es>*
- [8], *Nacional, M. d. (2011). Guia de propiedad intelectual y transferencia de tecnologia . Bogota Dc.: Imprenta Nacional de Colombia.*



# PUNTOS MATEMÁTICOS DE LA MÚSICA

## *Mathematical Points of Music*

**TJ. CARLOS ARTURO FORERO FARFÁN**

Músico, Profesor Militar, Especialista en Operaciones Sicológicas, Historiador y Escritor.

E-mail: [cafofa5@yahoo.es](mailto:cafofa5@yahoo.es)

Fecha de Recepción 24 de mayo de 2013

Fecha de Aprobación: 24 de mayo de 2013

“La música es la aritmética de los sonidos, como la óptica es la geometría de la luz”.

Claude Debussy

### **ABSTRACT**

Music as well as mathematics has a very closer relationship, because mathematics studies the properties and relationships between abstract entities, as Albert Einstein defined “when mathematics laws refer to reality, they are no exact; when they are exact, they do not refer to reality”, equally in connection with music, it cannot refer tangentially or take and explain it, but we know that it exists thanks to our intellect through our senses.

### **Key Words:**

Musical notes, eight, musical cord, tuning, interval, tone, semitone, geometry progression, frequency, Hertz, MIDI system, conventional system, equation, piano, infrasounds and ultrasounds.

### **RESUMEN**

La música al igual que la matemática tiene una relación muy estrecha, ya que la matemática estudia las propiedades y relaciones entre entes abstractos, tal como definió Albert Einstein “cuando las leyes de la matemática se refieren a la realidad, no son exactas; cuando son exactas, no se refieren a la realidad”, igualmente con relación a la música, no se puede de forma tangencial coger o explicarla pero sabemos que existe gracias a nuestro intelecto a través de los sentidos.

### **Palabras claves**

Notas musicales, octava, acorde, afinación, intervalo, tono, semitono, progresión geométrica, frecuencia, Hertz, sistema MIDI, sistema convencional, ecuación, piano, infrasonidos y ultrasonidos.

En música existen una serie de sonidos a diferentes alturas o frecuencias, denominados “notas musicales”, estos vitales elementos, previamente a una interpretación deben ser llevados a punto o afinados, ya que si ello no se llevare a cabo podemos caer en no llegar a determinar qué tipo de nota es la que se está emitiendo, a pesar de estar ejecutando una posición determinada en el instrumento; pues bien, ahora iniciaremos un viaje por las matemáticas aplicadas a la música, partiendo de la premisa “Lo que no se pueda demostrar matemáticamente en el universo, simplemente no existe”.

Dentro de los sistemas de afinación más conocidos tenemos el denominado “Pitagórico” (antiguo), el “Justo” (intermedio) y el “Igualmente Temperado” el cual se basa en desarrollar una progresión geométrica para instaurar las frecuencias de las notas, de modo que la frecuencia imprescindible de una nota siempre se obtiene como la frecuencia de la nota anterior multiplicada por un factor constante, de acuerdo a lo anteriormente expuesto se permite que la relación geométrica de frecuencias para los intervalos se mantenga constante pese a cualquier transporte, trasposición o modulación que se haga ; pero también existen otros sistemas que combinan ventajas y desventajas con respecto a los anteriores, como lo son los sistemas de medio tono en cuarto de coma o en otras fracciones de coma o los que vinculan sistemas irregulares llamados “Bien Temperados”.

**A1.** En la música occidental moderna se emplea el **esquema de doce notas por octava, donde la frecuencia se duplica cada doce notas** y la designación básica se mantiene en la octava siguiente.

En la siguiente tabla se evidencia lo anteriormente expuesto:

Tabla 1.

No. De Nota	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Nombre de la Nota	DO	DO#	RE	RE#	MI	FA	FA#	SOL	SOL#	LA	LA#	SI
		REb		Mib			SOLb		LAB		Sib	
Notación Americana	C	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	A	A#	B
		Db		Eb			Gb		Ab		Bb	

Teniendo en cuenta que el sostenido (#) aumenta ½ tono y el bemol (b) disminuye ½ tono, podemos asegurar que SI# = DO, DOb = SI, MI# = FA, y FAB = MI.

De acuerdo a la tabla, se designa al número de nota relativo dentro de una octava como “N”, y al número de octava como “O” (numerando desde el cero); unido al párrafo **A1** se puede definir un **número de nota absoluto “n”**.

$$\text{Ecuación 1: } n = N + 12 \cdot O$$

**A2.** El número absoluto de nota “n”, oscila entre 0 y 127 además se utiliza para la simetría de números a notas en el sistema MIDI (Musical Instrument Digital Interface). En este esquema, a la nota LA (440) que es la nota de la octava número 5 para el sistema MIDI, le pertenece el número n=69 de acuerdo a la aplicación de la ecuación 1, entonces  $9 + (12.5) = 69$ .

Acorde a lo observado en el párrafo **A1** y recordando la expresión del Término Enésimo de una Serie Geométrica, se puede establecer:

$$\text{Ecuación 2: } f_n = f_o \cdot q^n$$

De acuerdo a lo enunciado en el párrafo **A1**, puede deducirse el valor que corresponde al Factor o razón geométrica “q”, debido a esto la frecuencia debe duplicarse al aumentar “n” en 12.

$$f_{n+12} = 2 \cdot f_n$$

Entonces y aplicando entonces la ecuación 2 a ambos miembros de esta y despejando ...

$$f_o \cdot q^{(n+12)} = 2 \cdot f_o \cdot q^n \rightarrow f_o \cdot q^n \cdot q^{12} = f_o \cdot q^n \cdot 2 \rightarrow q^{12} = 2$$

Y se obtiene:

$$\text{Ecuación 3: } q = 2^{1/12}$$

Que es lo mismo que  $q = \sqrt[12]{2} = 1,059463\dots$

Este es el factor que aplicado a la frecuencia de una nota, origina la frecuencia de la siguiente, separada en lo que se conoce como intervalo de un semitono. Un semitono representa entonces una variación de frecuencia muy ligeramente inferior a un 6% (5,9463...%).

En última instancia, resta determinar el valor de “fo” que sería el valor de la frecuencia correspondiente a la nota n=0. Esto se logra por convención de la nota “LA” de la octava 5 en el sistema MIDI (n=69 en MIDI) y se le asigna un valor de frecuencia de 440 ciclos por segundo.

Utilizando las ecuaciones 2 y 3 y despejando...

Ecuación 4

$$440 \text{ ciclos/segundo} = f_0 \cdot 2^{69/12} \rightarrow f_0 = 440 \cdot 2^{-69/12} \cdot \text{ciclos/segundo}$$

Esto arroja un valor para  $f_0 = 8,1758 \text{ ciclos/segundo}$  (lo que equivale a un infrasonido).

Ahora, reemplazando los valores correspondientes a las ecuaciones 3 y 4 en la ecuación 2, se puede escribir aproximadamente la ecuación de la frecuencia en ciclos/segundo (o Hertz) en función del número absoluto de nota “n” del sistema MIDI como:

Ecuación 5:

$$f_n = 8,1758 \cdot 1,059463^n \cdot \text{ciclos/segundo}$$

Aplicada para cálculos rápidos sin precisión o se puede reemplazar las expresiones de las ecuaciones 3 y 4 en la ecuación 2, operando un poco para obtener la correspondiente expresión formal:

Ecuación 6:

$$f_n = 440 \cdot 2^{(n-69)/12} \cdot \text{ciclos/segundo}$$

Expresión exacta de la frecuencia para la nota “n” en el sistema MIDI.

Siendo prácticos utilizaremos el número de nota relativo “N” (número de la tabla 1 dentro de una

octava determinada) unido con el número de octava “O” correspondiente.

Ahora se puede reemplazar “n” de la ecuación 6 por la expresión de la ecuación 1, operando algunas simplificaciones, para obtener la ecuación matricial de la frecuencia en función de “N” y de “O”.

Ecuación 7:

$$f_{N,O} = 440 \cdot 2^{(O - \frac{69-N}{12})} \cdot \text{ciclos/segundo}$$

Válida para el número de octava “O” del sistema MIDI.

Con ello puede obtenerse una tabla de valores de frecuencia en ciclos por segundo como la siguiente, con el número de nota relativo “N” como en la tabla 1 como cabeza de filas y número de octava “O” del sistema MIDI como cabeza de columnas.



Tabla 2 Frecuencia de las notas en ciclos/segundo o (Hertz) para el sistema MIDI.

Nota	"N"	Número de Octava "O" (Sistema MIDI)										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
DO (C)	0	8,1758	16,352	32,703	65,406	130,81	261,63	523,25	1.046,5	2.	4.186,0	8.372,0
DO# (C#)	1	8,6620	17,324	34,648	69,296	138,59	277,18	554,37	1.108,7	2.217,5	4.434,9	8.869,8
RE (D)	2	9,1770	18,354	36,708	73,416	146,83	293,66	587,33	1.174,7	2.349,3	4.698,6	9.397,3
RE# (D#)	3	9,7227	19,445	38,891	77,782	155,56	311,13	622,25	1.244,5	2.489,0	4.978,0	9.956,1
MI (E)	4	10,301	20,602	41,203	82,407	164,81	329,63	659,26	1.318,5	2.637,0	5.274,0	10.548
FA (F)	5	10,913	21,827	43,654	87,307	174,61	349,23	698,46	1.396,9	2.793,8	5.587,7	11.175
FA# (F#)	6	11,562	23,125	46,249	92,499	185,00	369,99	739,99	1.480,0	2.960,0	5.919,9	11.840
SOL (G)	7	12,250	24,500	48,999	97,999	196,00	392,00	783,99	1.568,0	3.136,0	6.271,9	12.544
SOL# (G#)	8	12,978	25,957	51,913	103,826	207,65	415,30	830,61	1.661,2	3.322,4	6.644,9	13.290
LA (A)	9	13,750	27,500	55,000	11	22	44	88	1	3.520,0	7.040,0	14.080
LA# (A#)	10	14,568	29,135	58,270	116,541	233,08	466,16	932,33	1.864,7	3.729,3	7.458,6	14.917
SI (B)	11	15,434	30,868	61,735	123,471	246,94	493,88	987,77	1.975,5	3.951,1	7.902,1	15.804

Según la tabla 1, todas las notas musicales podrán expresarse como un par ordenado de números (N,O), concordante con lo anterior podemos decir que el DO central del piano (C5 para el sistema MIDI) puede notarse como (0,5) visualizándose en la tabla 2 tiene una frecuencia de 261,63 ciclos por segundo.

Las notas del piano convencional (de 88 teclas) establecidas en la tabla 2, van desde A1 (9,1) con 27,5 ciclos/segundo, hasta C9 (0,9) con 4186 ciclos/segundo, con esto podemos deducir que el piano consta de 7 octavas completas más 3 notas al comienzo y una nota adicional al final. Entonces, **la octava numerada en el sistema MIDI como 5, es la cuarta octava completa del piano, lo que hace que se denomine octava 4.**

**Aclaración 1.** Existen discrepancias con respecto al sistema MIDI, ya que convencionalmente se denomina A4 al LA 440 y C4 al DO central del piano; esta situación es muy común.

Ahora para diferenciar lo anterior, se denominará "O" al número de octava del sistema MIDI y Oc al número de octava del sistema convencional, siendo la relación:

Ecuación 8:

$$O = Oc + 1$$

Reemplazando entonces está en la ecuación 7 (y sustituyendo el 1 por 12/12 para operar simplificando y evitar complicar la expresión), se obtiene:

Ecuación 9:

$$f_{N,Oc} = 440 \cdot 2^{(Oc - \frac{57-N}{12})} \cdot \text{ciclos/segundo}$$

Válida para número de octava Oc (convencional).

Utilizando esta convención, la tabla 2 se transforma de la siguiente forma:

*Tabla 3 Frecuencia de las notas en ciclos/segundo o (Hertz) para el sistema convencional.*

NOTA	"N"	Número de Octava "									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
DO (C)	0	16,352	32,703	65,406	130,81	261,63	523,25	1.046,5	2.093,0	4.186,0	8.372,0
DO# (C#)	1	17,324	34,648	69,296	138,59	277,18	554,37	1.108,7	2.217,5	4.434,9	8.869,8
RE (D)	2	18,354	36,708	73,416	146,83	293,66	587,33	1.174,7	2.349,3	4.698,6	9.397,3
RE# (D#)	3	19,445	38,891	77,782	155,56	311,13	622,25	1.244,5	2.489,0	4.978,0	9.956,1
MI (E)	4	20,602	41,203	82,407	164,81	329,63	659,26	1.318,5	2.637,0	5.274,0	10.548
FA (F)	5	21,827	43,654	87,307	174,61	349,23	698,46	1.396,9	2.793,8	5.587,7	11.175
FA# (F#)	6	23,125	46,249	92,499	185,00	369,99	739,99	1.480,0	2.960,0	5.919,9	11.840
SOL (G)	7	24,500	48,999	97,999	196,00	392,00	783,99	1.568,0	3.136,0	6.271,9	12.544
SOL# (G#)	8	25,957	51,913	103,826	207,65	415,30	830,61	1.661,2	3.322,4	6.644,9	13.290
LA (A)	9	27,500	55,000	110,000	220,00	440,00	880,00	1.760,0	3.520,0	7.040,0	14.080
LA# (A#)	10	29,135	58,270	116,541	233,08	466,16	932,33	1.864,7	3.729,3	7.458,6	14.917
SI (B)	11	30,868	61,735	123,471	246,94	493,88	987,77	1.975,5	3.951,1	7.902,1	15.804

Esta tabla y la ecuación 9 son compatibles con la denominación convencional de C4 para el DO central y A4 para el LA 440, también acorde al sombreado para frecuencias correspondientes a las notas del piano convencional de 88 teclas, y con sombreado más oscuro para el DO central y el LA 440.

La nota LA 440 aparece como asignación de nota absoluta igual a 57 (12 menos que 69 que es el número absoluto que se utiliza en el sistema MIDI) Esto se evidencia comparando las ecuaciones 7 y 9.

Hay que tener en cuenta que la discrepancia enunciada en la Aclaración 1, existe en la convención a utilizar para el número de octava y no para el número relativo de nota "N".

**Aclaración 2.** Se debe tener en cuenta que los sonidos por debajo de 20 ciclos/segundo no son audibles por el ser humano (se denominan infrasonidos) y lo que se escucha de estas notas, son sus armónicas de frecuencias superiores. Solamente algunos órganos de tubos

muy grandes vinculan estas notas, y son levemente percibidas por el ser humano como una vibración corporal únicamente; se ha comprobado que algunos animales como los elefantes, utilizan eficazmente estos sonidos para comunicarse a grandes distancias. Adicionalmente los militares las utilizan en el sistema ELF (Extremely Low Frequency) para comunicaciones marítimas con submarinos.

Igualmente los sonidos de frecuencias superiores a los 20.000 ciclos/segundo tampoco son detectables por el oído humano y se denominan ultrasonidos y son utilizados por los delfines y los murciélagos.

La voz humana tiene un rango de frecuencias que oscila entre los 80 ciclos/segundo (E2 o MI de la octava 2 convencional), a los 1000 ciclos/segundo (C6 o DO de la octava 6 convencional); un solo ser humano no logra este registro, se debe repartir según corresponda las distintas voces de un coro.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1], *Entendiendo la Música- Musicología Racional Moderna*  
© Alberto Luis Fornasari.
- [2], [Bindel] Bindel, Ernst. "Die Zahlgrundlagen der Musik in Wandel der Zeiten", Verlag Freies Geistesleben 1985.
- [3], [Salvat] "La Música Contemporánea", Colección de Grandes Temas 1974
- [4], [Brown] Grover Brown Robert & Hwang Patrick Y.C. "Introduction to Random signals and applied Kalman filtering" John Wiley and Sons New York 1985.
- [5], [Calvo-Manzano] Calvo- Manzano Antonio "Acústica físico-musical", Real Musical Madrid 1991
- [6], [Canavos] Canavos G. C. "Probabilidad y estadística, aplicaciones y métodos", Mc Graw-Hill, 1991.
- [7], [Copland] Copland, Aaron "Cómo escuchar la música", Fondo de Cultura Económica 1972
- [8], [Dodge] Dodge C. and Jerse T.A. "Computer music: Synthesis, composition, and performance", Schirmer Books, Prentice-Hall
- [9], [Enciclopedia Británica] Enciclopedia Británica (Internet)
- [10], [Fubini] Fubini Enrico "La estética musical desde la Antigüedad hasta el sigloXX", Alianza Música 1976.
- [11], [Estrada] Estrada Julio y Jorge Gil. "Música y Teoría de Grupos Finitos" UNAM 1984.
- [12], [González] César González Ochoa." La música del universo". UNAM México. 1994

# Modelo presentación artículos para la revista TECNOESUFA

## CT. ERWIN ALFONSO SIERRA SALAZAR

Magíster en Ingeniería Industrial y Electrónica  
Pontificia Universidad Javeriana  
Escuela de Suboficiales  
"CT. Andrés M. Díaz"  
Escuadrón Investigación  
Madrid, Colombia

investigacion.academico@gmail.com

*Fecha de Recepción.*

*Fecha de Aprobación.*

## RESUMEN

(Debe ir en Inglés y español) El formato actual proporciona algunas pautas para preparar los artículos que se publican en la revista TECNOESUFA: sobre resultados de investigación, y/o Experiencias en Desarrollo e Innovación Tecnológica. Este resumen no debe exceder de 200 palabras y debe indicar los objetivos principales de la investigación, describir la metodología empleada, resumir los resultados e indicar las conclusiones principales.

Incluya por favor las palabras claves apropiadas en su resumen orden alfabético, separado por comas.

## Palabras claves

Congreso, plantilla.

## I. INTRODUCCIÓN

Este documento de ejemplo está intencionado para servir como referente en la realización del artículo e informe científico de los avances o resultados de una investigación.

El artículo debe tener como mínimo 1.500 palabras en longitud y un máximo de 8 páginas en formato de doble columna. Para los contenidos no tratados en estas instrucciones, por favor referirse a los procedimientos de aplicaciones pasadas o a su editor de publicaciones.

Todos los artículos deben ser enviados electrónicamente en formato .Doc. Realice su informe usando el tamaño de página carta.

Justifique sus columnas izquierdas y derechas. Utilice uno o dos espacios entre las secciones, el texto, las tablas o figuras, para ajustar la longitud de la columna.

En la última página de su artículo, trate de ajustar la longitud de las dos columnas para que sean del mismo tamaño. Utilice la separación por sílabas con guión automático y corrección de ortografía.

### A. Título de la sub-sección aquí: Tablas y Figuras

Los **gráficos** deben ir en archivo eps, 600 dpi (1 bit/muestra) para artes en línea (gráficos, tablas, dibujos o tablas) y a 300 dpi para las fotos e imágenes en escalas de grises.

Coloque las figuras y las tablas en la parte superior o inferior de las columnas. Evite colocarlas en el medio de

columnas. Las figuras y las tablas grandes pueden atravesar ambas columnas.

Las leyendas de las figuras deben ir debajo de las estas; los nombres y leyendas de las tablas deben ir sobre las mismas. Evite colocar figuras y tablas antes de nombrarlas en el texto. Use la abreviatura "Fig." incluso al principio de la frase.

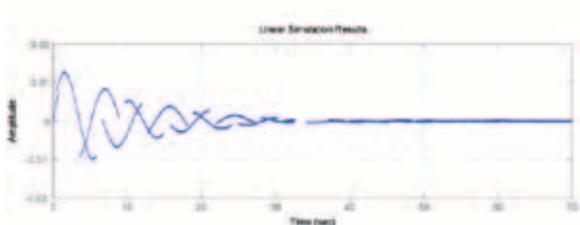


Fig. 1. Resultados de Simulación

1) **Citas:** enumere las citas consecutivamente en paréntesis cuadrados [1]. La puntuación de la frase va seguida a los paréntesis cuadrados [2]. Refiérase simplemente al número de referencia, ej [3]. No utilice: "Ref. [3]" o "referencia [3]".

ÍTEM	TAMAÑO	ESTILO
Título	24	Negrilla
Autor	11	Regular
Información de los autores	10	Regular
Resumen	9	Negrilla
Palabras claves	9	Negrilla
Cuerpo del texto	10	Regular
Primera letra del encabezado de las secciones	12	Regular
Otras letras del encabezado de las secciones	8	Regular
Encabezado de sub-secciones	10	Itálico
Primera letra, título de las tablas	10	Regular
Leyenda de las tablas	8	Regular

Tabla 1. Tamaño y estilos de las fuentes

Con excepción en el inicio de una frase: "La referencia [3] muestra..."

2) **Ecuaciones:** enumere las ecuaciones consecutivamente con el número de la ecuación en paréntesis alineado a la derecha, ejemplo (1). Para hacer sus ecuaciones más compactas, puede utilizar el símbolo de división ( $/$ ), la función exponencial o exponentes apropiados.

Utilice guión grande en lugar del signo menos.

Use los paréntesis para evitar ambigüedades en los denominadores. Maneje la puntuación para las ecuaciones con comas, y puntos cuando sean parte de una frase, como en

$$A=B (1)$$

Asegúrese que los símbolos en su ecuación hayan sido definidos antes que la ecuación aparezca o inmediatamente después de ella. Refiérase a "(1)," no "Eq. (1)" o "ecuación (1)," excepto al inicio de una frase: "La ecuación (1) es ..."

## RECONOCIMIENTOS

Los Autores agradecen acá.

## REFERENCIAS

- [1] [http://fifthpostulate.net/roll\\_pitch\\_and\\_yaw.htm](http://fifthpostulate.net/roll_pitch_and_yaw.htm)
- [2], <http://www.aero.org/publications/helvajian/helvajian-3.html>

## INFORMACIÓN DE AUTORES

- Nombre Completo
- Afiliación
- Dirección Completa
- Números telefónicos o Fax
- Correo electrónico

## CONTENIDO EDICIÓN ANTERIOR

# TECNO ESUFA

volumen 18 • diciembre 2012

### EDITORIAL

Coronel CARLOS MARIO ZAPATA ORTIZ

*Director de la Escuela de Suboficiales FAC*

### INSTITUCIONALES

¿AUTOEVALUARNOS... OTRA VEZ?

*PD4. Flor Esperanza Hernández de Santos*

INVESTIGANDO UN MODELO PEDAGÓGICO DESDE Y PARA  
LO CASTRENSE

*PD4. Olga Esperanza Terreros Carrillo*

### CIENCIA Y TECNOLOGÍA AERONÁUTICA

LAS REVOLUCIONES CIENTÍFICAS,  
EL IMPACTO SOCIAL Y LA EDUCACIÓN

*Alexander González Castaño*

*Ricardo Bernal Jiménez*

DETERMINACIÓN DE LA PRESIÓN CRÍTICA EN LA CÁMARA  
DE COMBUSTIÓN EN UN MOTOR COHETE

*Hernán Cerón*

*Saulo A. Gómez*

IMPORTANCIA DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE COHETES  
SONDA EN LATINOAMÉRICA, BRASIL Y ARGENTINA

*Jenny Carolina Robledo Asencio*

ANÁLISIS ESTRUCTURAL (CUERPO COHETE), TIPO DE  
REMACHADO Y CALCULO DE ESPESOR DE LA CÁMARA DE  
COMBUSTIÓN

*Andreas Gravenhorst*

*Andrés D Reina Castro*

CONTADOR DE MUNICIÓN SUELTA

*DS. Carlos Andrés Ramos Acosta*

*DS. Anderson Fabián Abril Rozo*

*DS. Juan Guillermo Guzmán Acosta*

LA NOBLE LABOR DEL DIRECTOR MUSICAL

*TJ. Carlos Arturo Forero Farfán*

### TRABAJOS DE GRADO

TRABAJOS DE GRADO CURSO 84



# ESCUELA MILITAR DE SUBOFICIALES FUERZA AÉREA COLOMBIANA "CT. ANDRÉS MARÍA DÍAZ"



## INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR - IES ACREDITADA EN ALTA CALIDAD

Según Resolución 3328 del 25 de abril de 2011

### PROGRAMAS TECNOLÓGICOS



**INTELIGENCIA AÉREA**



**ELECTRÓNICA  
AERONÁUTICA**



**ABASTECIMIENTOS  
AERONÁUTICOS**



**SEGURIDAD  
AEROPORTUARIA**



**DEFENSA AÉREA**



**COMUNICACIONES  
AERONÁUTICAS**



**MANTENIMIENTO  
AERONÁUTICO**

PRIMERA FUERZA MILITAR CERTIFICADA EN TODOS SUS PROCESOS



[www.esufa.edu.co](http://www.esufa.edu.co)

Cra 5 N° 2-92 Sur, Madrid Cundinamarca.

Teléfonos: (1) 820 9080 | 820 9667 | 820 2071 | 820 9278