



AERONAVE NO TRIPULADA PARA RECONOCIMIENTO Y VIGILANCIA AÉREA

Diseño y construcción de un Vehículo Aéreo no Tripulado NAVIGATOR X-2

DESIGN AND CONSTRUCTION OF AN NON CREWED AIR VEHICLE NAVIGATOR X-2

PEDRO LUIS JIMÉNEZ SOLER

Ingeniero Aeronáutico
Docente-Investigador
Universidad de San Buenaventura

pjimenez@docentes.usbbog.edu.co

Fecha de Recepción: Enero 9/2011

Fecha de Aprobación: Junio 7/2011



ABSTRACT

This article summarizes the design and construction of a non-crewed airship developed to solve the problem of surveillance hydrocarbons transport lines and electrical interconnections. It is briefly mentioned the aerodynamics design, structure systems design and implementation, and the design of a construction. The airship design took into account operation conditions in Colombia and conclusions were obtained over the analysis of non-crewed airships performance. It is analyzed the usage of different materials composed according to the airplane structural area and setting techniques of these materials to its posterior production. Finally, running initial proves are shown to execute the first flight.

Clue words

Non crewed airships (UAV), sur-veillance, reconnaissance, aerodynamics, stability and control, structures, airship systems, construction method, autopilot, remote piloted vehicle, pusher tractor setting, navigator, tail boom, com-posed materials, winglet.

RESUMEN

Este artículo resume el diseño y construcción de una aeronave no tripulada desarrollada para solucionar el problema de vigilancia de líneas de transporte de hidrocarburos e interconexiones eléctricas. Se enuncia brevemente el diseño aerodinámico, estructural, la implementación y diseño de sistemas, y el diseño de la construcción. El diseño de la aeronave tuvo en cuenta las condiciones de operación en Colombia y se obtienen conclusiones sobre el análisis de rendimiento en aeronaves no tripuladas. Se analiza el uso de diferentes materiales compuestos según el área estructural en el avión y las técnicas de conformación de estos materiales para su posterior producción. Finalmente se muestran las pruebas iniciales de rodaje para realizar el primer vuelo.

Palabras claves

Aeronaves no Tripuladas, UAV, vigilancia, reconocimiento, aerodinámica, estabilidad y control, estructuras, sistemas de la aeronave, métodos de construcción, autopiloto, Remote Piloted Vehicle, configuración pusher tractor, Navigator, Tail Boom, materiales compuestos, winglet.

INTRODUCCIÓN

En nuestro país el robo de combustible de los oleoductos y los atentados contra las líneas de interconexión eléctrica inducen a grandes pérdidas monetarias. Se plantea una solución de vigilancia aérea centrada en el desarrollo de una aeronave no tripulada capaz de operar en nuestro territorio a bajo costo y con alta confiabilidad, que a la vez impulse el campo aeronáutico en Colombia. Esta aeronave es una plataforma de investigación que sirve como prueba de diseños aerodinámicos, sistemas, estructuras y métodos de construcción, y genera un aporte de experiencia a esta rama de la aviación. Navigator X-2 ha sido diseñado para poder ser

modificado cumpliendo misiones de fotografía y video aéreo en una plataforma que sea capaz de realizar vuelo autónomo.

Este trabajo identifica las necesidades y condiciones del campo de vigilancia de oleoductos e interconexiones eléctricas y así estableció de forma clara las características propias para el diseño de la aeronave, las cuales argumentaran la capacidad de cumplimiento y alta eficiencia operacional en el desarrollo de su misión.

Esta aeronave está dotada con instrumentos de vigilancia como cámaras fotográficas y de vídeo de última tecnología para la rápida detección de actividades ilícitas sobre redes eléctricas y transporte de hidrocarburos. Se da como solución una aeronave específicamente aplicable al campo de vigilancia, convirtiéndonos en líderes del diseño y fabricación de este tipo de tecnologías en el país, expandiendo el campo aeronáutico en Colombia.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia no existe una plataforma de reconocimiento aéreo que supla las necesidades como vigilancia de oleoductos e interconexiones eléctricas, eficiente, operacional, de bajo costo y que no ponga en riesgo la vida humana.

REGLAMENTACIÓN SOBRE EL DISEÑO DE AERONAVES NO TRIPULADAS

Como resultado de la búsqueda de normas aplicables al diseño de aeronaves no tripuladas, el grupo de trabajo determinó que la única reglamentación con miras a la certificación de aeronaves no tripuladas es la emitida por la autoridad de aviación civil Australiana.

Estas normas establecen los parámetros de diseño que se deben tener en cuenta para el desarrollo de este tipo de proyectos; esta reglamentación abarca los siguientes aspectos:

- Subparte A: Requerimientos Generales.

- Subparte B: Vuelo.
- Subparte C: Estructuras.
- Subparte D: Diseño y construcción.
- Subparte E: Motores.

JUSTIFICACIÓN

Colombia es un país que posee una alta riqueza petrolífera y de sus derivados, es por esto que existen numerosas líneas de transporte de hidrocarburos e interconexiones eléctricas a lo largo del territorio nacional que necesitan ser vigiladas constantemente.

Para nadie es un secreto que en Colombia existe un gran problema de orden público, que afecta directamente a estas líneas de transporte; atentados, robos y diferentes tipos de delitos son los más frecuentes.

En cuanto al sistema de interconexiones eléctricas en Colombia existe un único sistema interconectado con redes que enlazan las plantas de generación con los centros de carga de la región andina, litorales Atlántico y Pacífico y parte de los Llanos Orientales. En este campo se han generado grandes pérdidas por diferentes motivos de seguridad que hacen de este sector uno de los más vulnerables.

En la actualidad existen diferentes empresas de vigilancia que se encargan de estos tipos de trabajo, con aeronaves utilitarias para reconocimiento aéreo, que recorren diferentes áreas, abarcando así, casi la totalidad de la línea de transporte. Esta modalidad de vigilancia es costosa debido a que se requieren pilotos con gran experiencia, enormes consumos de combustible y grandes costos de mantenimiento.

Los sistemas de aviación no tripulada beneficiaran de una manera significativa la seguridad a través de estas líneas de transporte de hidrocarburos e interconexiones eléctricas, contribuyendo a la justicia Colombiana, evitando robos, atentados, o diferentes modalidades de vandalismo.

Toda la investigación y el desarrollo se realizó en la Universidad de San Buenaventura, aportando así un mayor conocimiento en campos como el de la aviación no tripulada que han sido explorados muy vagamente, además de fomentar el desarrollo e interés por parte de la comunidad estudiantil para el mejoramiento y el desarrollo de nuevas tecnologías en este ámbito.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir una aeronave no tripulada de reconocimiento y vigilancia aérea, cuya autonomía, características específicas y técnicas permitan una aplicabilidad en el sector privado, como: interconexiones eléctricas y oleoductos.

ALCANCES DEL PROYECTO

Se construyó una aeronave no tripulada con sistemas electrónicos que permiten controlar la aeronave en ciertas etapas del vuelo.

Esta aeronave se construyó utilizando materiales compuestos y un diseño de manufactura propio y se diseño pensando en los siguientes requerimientos:

Rango: 250 km , radio de acción 30 km.

Autonomía: 4 hrs.

Altitud de Vuelo: 12,000 ft.

Velocidad de Crucero: 80 km/h.

Velocidad Máxima: 180 km/h.

Velocidad de Stall: 43 km/h.

Distancia de pista de despegue (Sg): 60 mts.

Carga Paga: 22 lb = 10 kg.

METODOLOGÍA

Se estudió el campo de aplicación de aeronaves no tripuladas de vigilancia y reconocimiento en Colombia,

por medio de visitas técnicas durante las cuales se recopiló información mediante la experiencia del personal y las entidades que trabajan en el campo de vigilancia con empresas como: ECOPETROL, ISA, CODENSA, INDUMIL etc; en donde se determinó que los requerimientos de la aeronave deben ser los mencionados anteriormente.

Con los requerimientos establecidos, se comenzó con el proceso de diseño, el cual implicó la creación de cuatro grupos de trabajo, donde cada uno de estos, se encargó de manera detallada de las actividades correspondientes a cada área:

Aerodinámica, estabilidad y control

Para llegar al diseño de la aeronave, se realizaron numerosas revisiones bibliográficas. Posteriormente se adaptó toda esta información con el fin de tener una metodología propia para el diseño. Al igual se realizó un estudio comparativo de aeronaves similares y se recopiló la información obtenida en proyectos anteriores como NAVIGATOR X-1 (Aeronave no tripulada de fotografía y video aéreo).

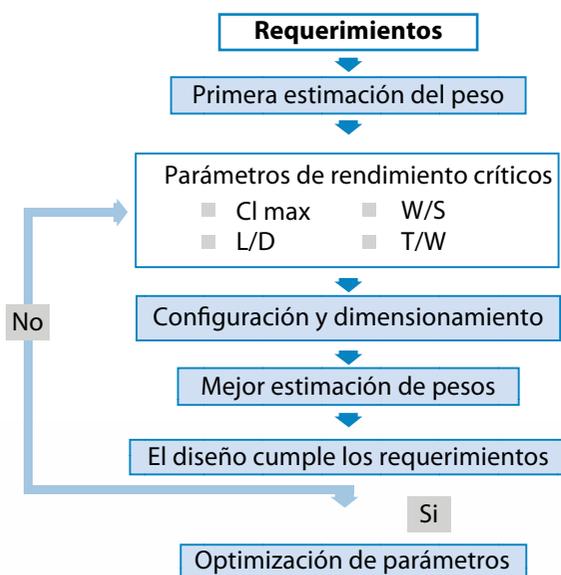


Figura 1. Proceso del diseño inicial

Las variables de entrada necesarias para el diseño, fueron obtenidas a través de experimentación (túnel de viento) y por medio de programas de CFD (FLUENT), que luego fueron procesadas por medio de hojas de cálculo de Excel, donde los datos obtenidos se organizaron a través de tablas y figuras, permitieron el análisis de los resultados.



Figura 2. Análisis de perfiles en el túnel de viento

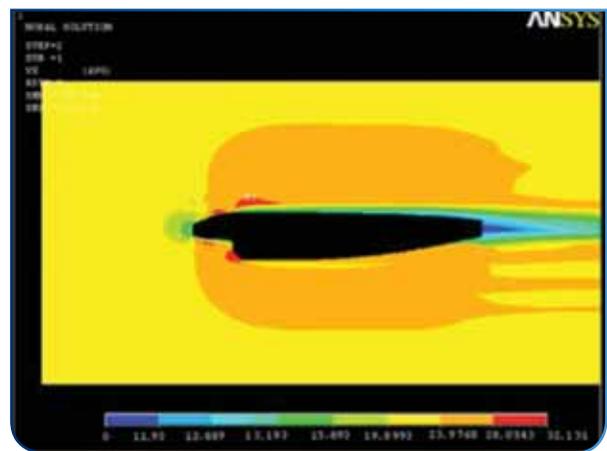


Figura 3. Perfil de velocidades sobre el fuselaje.

Estabilidad y Control realizó la búsqueda adecuada de información, con el fin de iniciar un proceso de diseño basado en el desempeño requerido por la misión de la aeronave. Se calcularon los diferentes componentes del avión tales como el ala, el empenaje, y el fuselaje, de

acuerdo a la experiencia obtenida con el Navigator X-1 y a la información recopilada. Se desarrollaron herramientas computacionales necesarias para permitir la iteración de los cálculos realizados con el fin de mejorar el diseño del avión. Se estudiaron las características inherentes de estabilidad de las superficies de estabilización, y el conjunto de elementos que conforma el avión interactuando entre sí. Y finalmente se verificaron que las superficies de control estuvieran correctamente dimensionadas para garantizar el control dinámico del avión de forma correcta y eficaz.



Figura 4. Configuración del empenaje

Estructuras

Para dar inicio al análisis estructural, se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica, cuya finalidad fue la de establecer el método más apropiado para el diseño estructural de la aeronave. Seguido de esto, se inició con los cálculos estructurales (cálculo de esfuerzos, deformaciones y deflexiones) ayudados de las diferentes teorías encontradas, que luego se procesaron con ayuda de herramientas como hojas de cálculo de Excel y mediante la utilización del software Ansys para agilizar algunos de estos; finalmente se presentó el análisis de los resultados al igual que la selección de los materiales más idóneos.



Figura 5. Ensayos de tracción en materiales compuestos

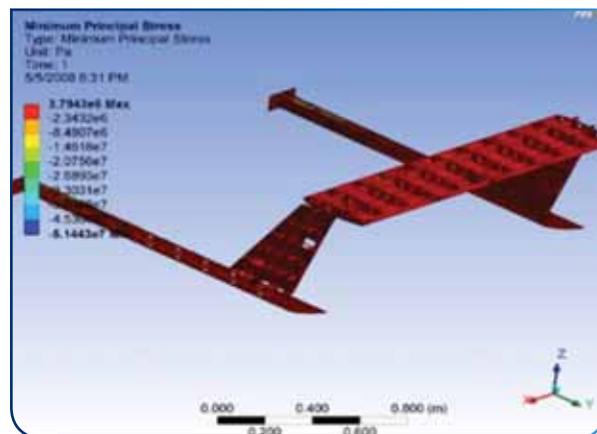


Figura 6. Análisis estructural del empenaje en ANSYS

Sistemas de la aeronave

Sistema propulsor y alimentación de combustible. De la relación peso potencia se obtuvo el empuje requerido, el cual debió ser analizado en términos de cantidad de trabajo. Luego se realizó una base de datos de motores utilizados en aeronaves similares al Navigator X-2; el Internet fue la herramienta principal para la recolección de información. Los datos de confiabilidad no se encontraron en los manuales, sin embargo fue posible averiguarlos por medio de otras personas que fueron localizadas en la red y que han tenido experiencia con el equipo. Esto se tuvo en cuenta únicamente para seleccionar el motor, las pruebas de rendimiento se validaron con los motores en un banco de pruebas.



Figura 7. Motor Evolution 58 gx2

Definida la cantidad de combustible y la configuración estructural de la aeronave se planteo las principales configuraciones de tanques de combustible existentes en aeronaves, y se opto por el que más se ajustara a la necesidad.

Tren de aterrizaje. En el caso del Navigator X-02 se decidió utilizar la configuración convencional de tren triciclo. Puesto que es el diseño más adecuado para la geometría de la aeronave, con dos motores (uno adelante Tractor y otro atrás Pusher). Esta configuración requiere que el conjunto principal este localizado detrás del CG y el conjunto de nariz se aloje adelante del CG. La carga debe ser dividida entre 80 – 95 % en el tren principal y entre 5 – 20% en el tren de nariz. Para iniciar el diseño de este sistema de

la aeronave, se buscó en las regulaciones existentes acerca de aeronaves no tripuladas, algún requisito aplicable. Se encontró que cada conjunto del tren de aterrizaje debe soportar una carga vertical igual al peso máximo de despegue, con un factor de seguridad de 1.33

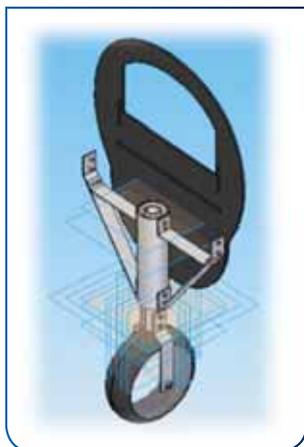


Figura 8. Configuración del tren de nariz

Se calculo estructuralmente los trenes de aterrizaje pensando en la resistencia y en el peso. El resultado de los cálculos, permitieron seleccionar el material y las dimensiones finales del sistema de tren de aterrizaje.

Sistema de energía eléctrica. Para conocer qué energía eléctrica se requiere en la aeronave, se realizó una lista de componentes, que requieren de esta energía para su funcionamiento. Inicialmente se pensó en utilizar un generador eléctrico como fuente, que aprovechara la energía cinética del eje del motor. Un análisis comparativo entre el uso de este elemento y unas baterías, concluyo con la adopción de estas últimas como fuente de poder.

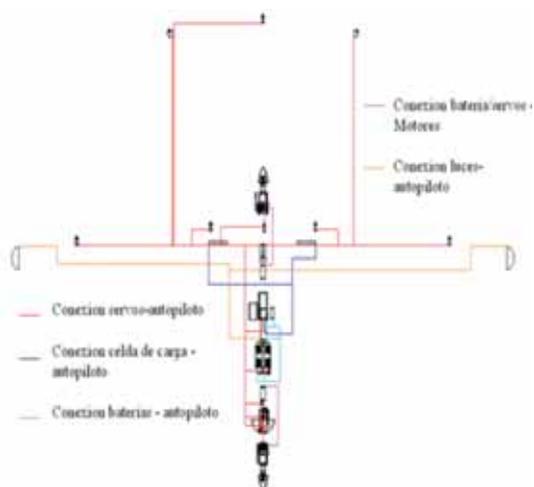


Figura 10. Sistema Electrico

Servomecanismos. Los servomecanismos dentro de la aeronave no son todos iguales, fueron clasificados dependiendo del torque requerido para funcionamiento. Esta clasificación fue:

Servos de alto torque – superficies de control, que soportan altas cargas y requieren de gran presión.

Servos de medio torque (servos estándar) – elementos que no soportan grandes cargas.

Servos de bajo torque – elementos que no soportan carga.

Una vez se estableció la cantidad y el tipo de servomotor, se analizó el método de unión del elemento móvil a la aeronave; en las superficies de control se utiliza bisagras, en los demás componentes, varía según el diseño de estos. Y se seleccionó del conjunto mecánico de unión servo – elemento más adecuado y seguro, que elimine todo riesgo de desconexión del conjunto móvil.

Sistema de navegación y recolección de datos. La búsqueda de sistemas de control que se ajustaran a las necesidades de la aeronave, dio como resultado la selección del sistema Autopilot, suministrado por Micropilot.

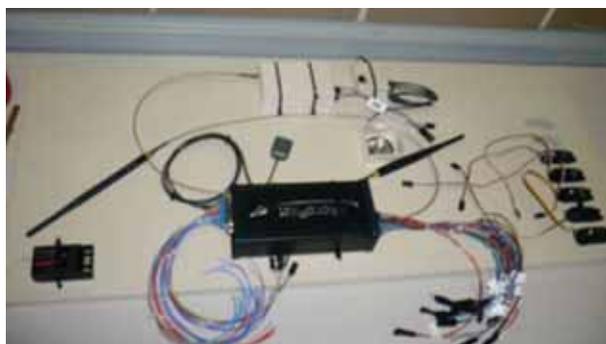


Figura 9. Banco de pruebas sistema de Autopilot MIRCROPILOT

Este sistema es altamente funcional para todo tipo de UAV, y está diseñado para operar autónomamente la aeronave en todas las etapas de vuelo. El sistema Autopilot 2028LRC ofrece velocidad y altitud programable, es decir la aeronave puede volar cambiando su velocidad y altitud según sea requerido, giros coordinados, navegación programable por GPS, etc. El control de la aeronave se realiza por medio del Software HORIZON.

Métodos de construcción

En el caso de la adquisición de datos relacionados con las propiedades de los materiales que se utilizarían en la construcción de la aeronave se recurrió a una maquina universal de ensayos que a través de una pantalla LCD

mostraba los datos de deformación y carga, que luego eran analizados en un programa que determinaba los valores que se necesitaban para el diseño de la estructura de la aeronave. Este proceso debió ser repetitivo hasta que se obtuvieran las propiedades de los materiales que fueran las óptimas para la construcción de esta.

Se utilizaron métodos de conformación de compuestos por moldeo en piezas tales como el fuselaje y las alas, además de la conformación de algunos laminados de donde se obtuvieron diferentes piezas para la manufactura de las alas y empenaje. Uno de los retos fue la utilización de un adhesivo lo suficientemente adherente a los compuestos para evitar la deslaminación de estos. Además se diseñaron y construyeron los componentes (moldes) y herramientas necesarias para esta conformación (bombas de vacío)

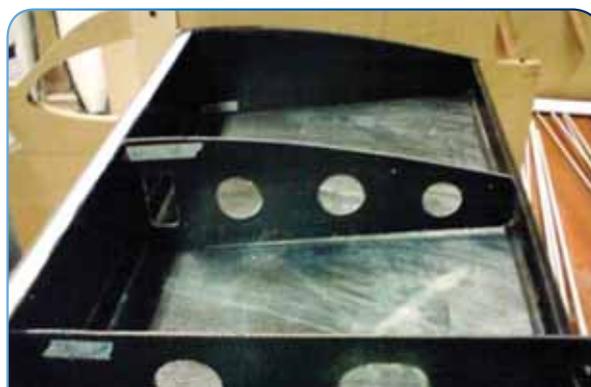


Figura 11. Construcción del WingBox de la Aeronave



Figura 12. Construcción del fuselaje de la aeronave



Figura 13. Aeronave ensamblada



Figura 13a. Aeronave Finalizada

CONCLUSIONES

Se diseñó y construyó una aeronave no tripulada con las características de diseño requeridas, llegando a un diseño innovador, nuevo y muy útil para el objetivo planteado, se utilizaron materiales compuestos con sus respectivos procesos de conformación, teniendo en cuenta una excelente relación costo-peso, se implementaron sistemas electrónicos de navegación y telemetría con los cuales se realizaron ensayos en diferentes plataformas llegando así a tener un vuelo semiautónomo que está en la capacidad de volar la aeronave a una coordenada específica, se realizaron análisis de caracterización estructural de los materiales compuestos utilizados, necesarios para llegar a un diseño estructural detallado, se utilizaron de manera correcta y detallada programas de moldeamiento en 3 dimensiones y se realizaron los respectivos análisis de cada elemento estructural por el método de elementos finitos computacionales, se encontró que las metodologías de diseño en aviación general, no son aplicables para aeronaves de menos de 50 kg wto. Fueron corroboradas las ecuaciones determinadas para el patrón de despegue de aeronaves

no tripuladas y se obtuvieron resultados satisfactorios con un margen de error muy pequeño, se implementaron procesos de manufactura de bajos costos con un gran potencial en futuras etapas de producción.

RECONOCIMIENTOS

Los Autores agradecen a Fray Fernando Garzon Ramirez O.F.M.: Por confiar, creer y darnos la oportunidad de desarrollar este proyecto de gran magnitud en el cual buscamos dejar en alto la comunidad de la Universidad de San Buenaventura.

A las siguientes personas por su apoyo y colaboración durante la ejecución de este proyecto:

Ingeniero Oscar Ricardo Grandas Martinez.

Ingeniero Aurelio Mendez

Ingeniero Ricardo Sandoval.

Ingeniero Aurelio Mendez

Ingeniero Alejandro Garcia

Ingeniero Jose Castiblanco

REFERENCIAS

- [1] GERE, James M. *material mechanics*. México: 5 Edition. International Thomson, 2002.
- [2] ABBOTT, Ira, H. *Theory of Wing Sections, Including a Summary of Airfoil Data*. New York, United States: Second edition. Dover Publications Inc. 1959.
- [3] ETKIN, Bernard, *Dynamics of flight stability and control*, United States of America: third Edition John Wiley & son's inc. 1995.
- [4] BRUHN, Elmer F. *Analysis and Design of Flight Vehicle Structures*. Indianapolis, United States: Jacobs Publishers. 1975.
- [5] ALLEN, David H. *Introduction to Aerospace Structural Analysis*. Canada: John Wiley & Sons, Inc, 1985.
- [6] RAYMER. Daniel P. *Aircraft design Conceptual approach*. 4 edition. AIAA American Institute of Aeronautics & Astronautics 2006.
- [7] CIVIL AVIATION SAFETY AUTHORITY AUSTRALIA. *Design Standards: Unmanned Aerial Vehicles - Airplanes*. Australia: Version 2.2, 2000.
- [8] ANDERSON, Jr., *Aircraft Performance and Design*, UMD, McGraw-Hill, 1999,