



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

DISEÑO E INTEGRACIÓN DE AERONAVE NO TRIPULADA CON ENERGÍA SOLAR

Omar Elaskar ^{*1}, Diego Fernandez ² y Martín Pilati ³

^{*1} Fac. Ciencias Exáctas Fis.y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Av.Velez Sarfield 1600, Cba, Argentina, oelaskar@hotmail.com

² Centro de Investigaciones Aplicadas, Dir.Gral de Inv.y Desarrollo, Fuerza Aérea Argentina, Córdoba, dnfernandez187@gmail.com

³ Fac. Ciencias Exáctas Fis.y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Av.Velez Sarfield 1600, Cba, Argentina, martinpilati@yahoo.com.ar

RESUMEN

Con objeto de mantener en vuelo plataformas aéreas durante largos períodos, se están desarrollando Aeronaves No Tripuladas (UAV) solares. El presente trabajo describe el diseño general de un prototipo solar, la descripción de los subsistemas que lo integran y las características esperadas de comportamiento. El contenido de la presente publicación abarca el tema hasta la etapa del proyecto de disponer físicamente de un prototipo que permita realizar ensayos en vuelo con propulsión solar, resultados que se publicarán a futuro. Este desarrollo se enmarca en dos proyectos financiados por la Secyt-UNC y por el Min.de Defensa.

Se parte de la etapa de concepción y diseño preliminar, donde se delimitan las características generales de la aeronave con el objetivo particular de alcanzar un UAV de experimentación propulsado con energía solar. Con las dimensiones estimadas obtenidas, se determina el tipo de arquitectura aeronáutica a utilizar, el tipo de sistema propulsivo, como así también una definición aproximada del resto de los sistemas de abordaje requeridos y que son descriptos en el presente trabajo. Finalmente se concluye con el diseño en detalle y la construcción

Se propone como objetivo alcanzar un UAV para evaluación que incluya tecnologías diversas, en que se distinguen dos grandes disciplinas. La plataforma aérea que abarca su estructura, la aerodinámica, la propulsión y los procesos constructivos, como una especialidad netamente mecánica y aeronáutica siendo ésta área más descrita en el presente trabajo. Y los otros subsistemas como el de generación y almacenamiento de energía solar, sistema de control y navegación, y telemetría, son orientadas a adaptarse a la aeronave desarrollada, y que pertenecen al campo de la electrónica especialmente.

Como resultado de este trabajo de descripción de los subsistemas y su integración entre ellos, se alcanza la obtención de un prototipo de UAV solar, quedando el prototipo en condiciones de realizar la fase de ensayos en vuelos.

Palabras Claves: UAV, energía solar, autopiloto, propulsión eléctrica.

REFERENCIAS

- [1] A. Rapinett, "Zephyr: A High Altitude Long Endurance Unmanned Air Vehicle". Department of Physics, University of Surrey, April 2009
- [2] A. Noth, "Design of Solar Powered Aircraft for Continuous Flight", Autonomous Systems Lab, ETH Zurich, Switzerland, September 2008.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

1. INTRODUCCIÓN

En los tiempos recientes se han perfeccionado y difundido tecnologías robóticas, que han impulsado el desarrollo de Aeronaves No Tripuladas (UAVs), Además varias líneas de investigación y desarrollo de UAV tienden a utilizar propulsión con motores eléctricos e incluso alimentados por energía solar.

En ésta línea de desarrollo se enfoca el presente trabajo, que describe el diseño de un UAV de propulsión eléctrica y alimentado por energía solar.

Como antecedentes de desarrollos similares para otras tipologías de UAV se puede citar al Sky Sailor [1] desarrollado en Suiza y financiado por la Agencia Espacial Europea, que es un UAV destinado a ensayar tecnologías de energía solar entre otras, y que consiste en un ala de tres paneles solares, habiéndose desarrollado un MPPT de tres vías independientes, cada uno para controlar cada panel. Otros desarrollos más sofisticados podemos mencionar el Zephir [2], un UAV de alta performance con capacidad de elevarse y almacenar energía a partir de paneles solares, que le permiten permanecer volando durante toda la noche para luego repetir dicho ciclo de vuelo nuevamente.

El concepto de la arquitectura adoptada para la plataforma aérea aquí descrita, surge de analizar varias configuraciones posibles. Se incluyen incluso otras ideas de drones solares, entre ellos uno propuesto de desarrollarse en argentina, que plantea colocar un panel solar portante en el cono de cola, además de otros mencionados más arriba.

El presente desarrollo optó por una arquitectura convencional de aeronave, es decir monoplano principal con estabilizador atrás, a fin de evitar factores adicionales a las variables de estudio, descartando así estudios complejos de estimar analíticamente y que requerirían posibles ensayos estructurales, aerodinámicos y de cualidades en vuelo que exceden a este proyecto.

Este trabajo se financia en parte con fondos de un proyecto Piddef del Ministerio de Defensa [3], y otro de la Secyt UNC [4].

2. DESARROLLO

El diseño del UAV solar se configura en una plataforma de vuelo que integra al resto de los subsistemas como son el Panel Solar, el MPPT, el Grupo Motor, el Autopiloto, el Sistema de

telemetría, los servos de comando y el sistema de transmisión de video en tiempo real. La estación terrena es el único conjunto fuera de la plataforma de vuelo.

2.1. Plataforma de Vuelo

Este es el subconjunto de mayor importancia en el proyecto, ya que su buena adaptación y funcionamiento depende en gran medida de su diseño conceptual. Después de estudiar distintas posibilidades y alternativas para realizar este UAV, se adoptó la solución tradicional de ala alta, hélice frontal y empenajes atrás, debido a la facilidad de estimar sus cualidades de vuelo, y existiendo mayor experiencia constructiva para este tipo de configuración.

Inicialmente se requería definir la magnitud del UAV. Se impuso la restricción de que fuera posible construir en las instalaciones propias y con los recursos disponibles, por ello se consideró que un tamaño de 2 a 3 metros de envergadura sería ideal. Se determinó analíticamente la conveniencia de una planta alar rectangular, por preferir sencillez constructiva, ante eficiencia aerodinámica, ya que debía construirse con los medios propios. Adicionalmente permite acomodar mayor número de celdas solares para una misma superficie alar.

De analizar varias alternativas de disposición de las celdas solares, una alternativa fue instalar 36 celdas en dos filas a lo largo del ala y 5 celdas más en el empenaje como se muestra en Figura 1, pero por simplificación se concluyó en limitar el número a solo 30 celdas, para simplificar la construcción y alimentar con 15 V al sistema propulsivo y de carga de batería. De esta manera el ala se basó en un arreglo de 2 filas de 15 celdas cada una.

La construcción del ala se basa en costillas y largueros de balsa, poliestireno y refuerzos centrales de fibra de carbono. Al acomodar las celdas en el interior del ala se debió considerar un recubrimiento transparente de Mylar disponible localmente, a pesar de su índice elevado de reflexión comparado con los films utilizados para recubrir celdas. Se realizaron los cálculos estructurales de manera analítica. El elemento resistente es el larguero principal, que asegura un factor de carga de 2.5, menor al requerido por normas aeronáuticas, pero suficiente para el tipo de vuelo de este dron solar. El estudio y resultados del desarrollo del "ala solar" fueron presentados en el XI Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica 2013 [5].

Luego se realizó el análisis de peso y centraje del prototipo a fin de dimensionar el fuselaje, en el cual se acomodan el resto de los componentes, como el motor, batería, receptor, etc., alcanzando un peso de 2500gr, con CG atrasado al 38% CAM.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

Los estudios aerodinámicos fueron simulados con el software XFLR5 [6], con lo cual se concluyo en las características y dimensiones del vehículo, siendo su envergadura 2,65 m, perfil Clark Y en punteras y Clark Y modificado en la raiz, cuerda 385mm y superficie alar 1,02 m².

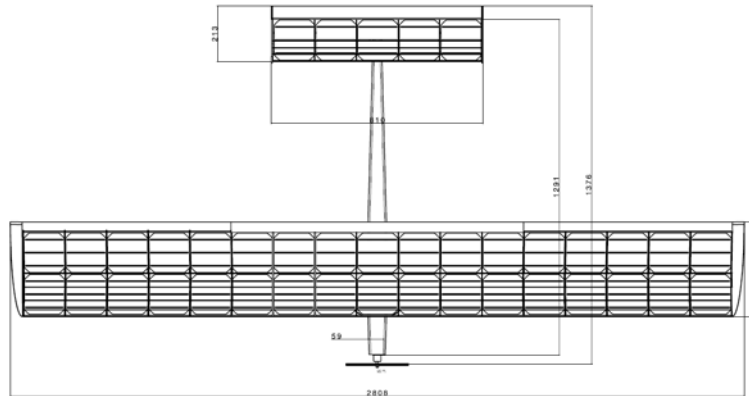


Figura 1 Propuesta de UAV con 36+5 celdas solares

Los empenajes se diseñaron de manera tradicional a una distancia de 2,6 cuerdas de ala, logrando un volumen de cola de 0,5. Se construyeron con larguero de balsa y recubrimiento de Polyfoam. El perfil utilizado fue NACA0009 modificado en el borde de salida plano.

El fuselaje también de diseño convencional, es capaz de integrar los empenajes, el ala, el motor, la carga útil y el tren de aterrizaje. La construcción es de tipo cajón con largueros de Kiri y Balsa, cuadernas de terciada y recubierto por Polyfoam reforzado con Balsa. El ala desmontable se fija al fuselaje por un pasador, dos tornillos plásticos y bandas de goma. La conexión eléctrica se hace por una ficha XT.

El tren de aterrizaje triciclo normalmente no se incorpora a estos UAV solares diseñados para larga duración de vuelo. Pero a pesar del perjuicio de prestaciones, aquí se lo adoptó para realizar gran números de ensayos cortos y aumentar la seguridad y facilidad de operación en pista.

La Figura 2 muestra gráficos del estudio durante el proceso de cálculo aerodinámico del mismo, y la arquitectura del UAV en construcción. Puede observarse la estabilidad para los márgenes de corrimiento del CG en las curvas C_m/α con pendiente negativas.

De los cálculos realizados se establecen sus performances, como la velocidad crucero de 10 m/s, la resistencia aerodinámica de 190gr a dicho régimen, relación de planeo máxima de 23,5, índice de estabilidad longitudinal dC_m/α de -0,11 para un CG de 38% a -1,7 para CG de 22% (Figura 2).



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

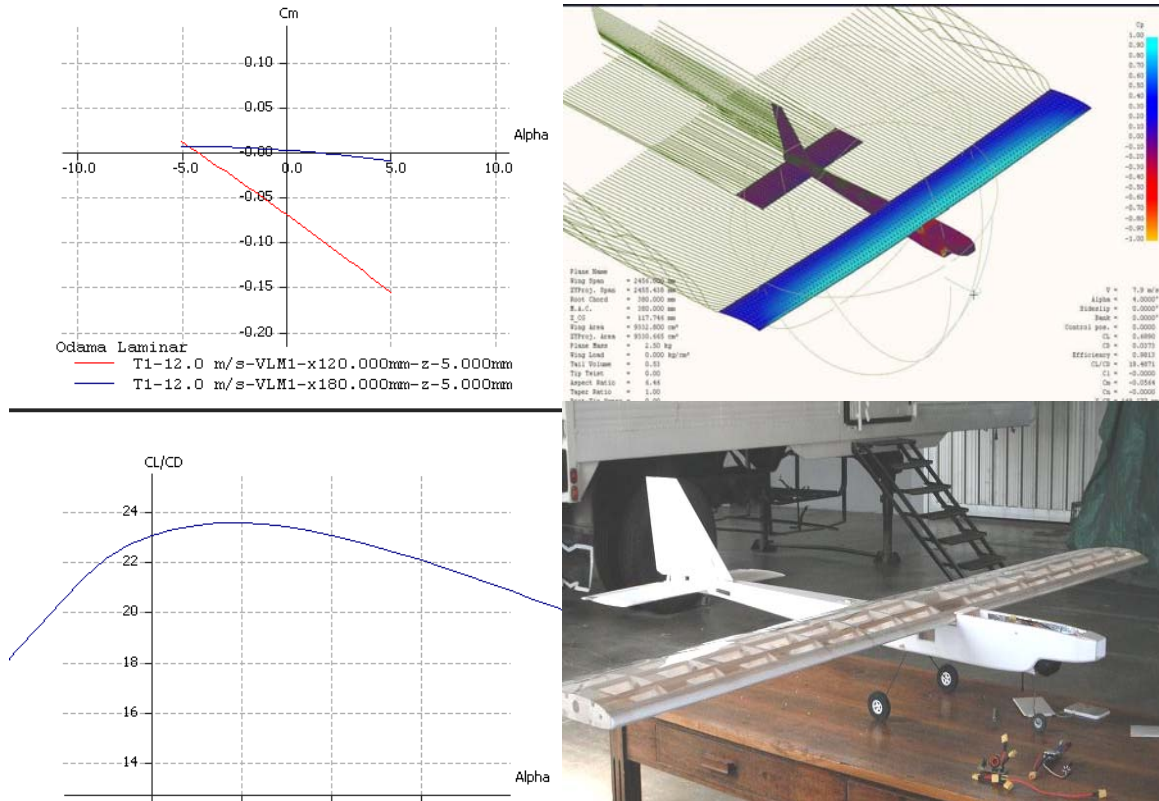


Figura 2 Estudio aerodinámico del UAV solar y UAV ensamblado

2.2. Planta propulsiva.

Con la estimación aerodinámica, se procedió a la selección de un motor brushless de 420 W, 1300 rpm/V y una tracción estática máxima de 1650gr.

Paralelamente se seleccionó para el motor un Variador Electrónico (ESC) de 40Amp. El mismo cuenta con Regulador de tensión de 5V para alimentar el resto del sistema eléctrico del UAV.

Las batería de alimentación utilizada es del tipo Litio Polímero (LiPo) de 7.2V y 2200mAh de nanotecnología, que permite corrientes de carga elevadas (4-6 Amp), según lo hará el panel solar previsto.

Finalmente se seleccionó una hélice SF de 15x10 ya que en régimen crucero no se superan las 3000 rpm, y en este rango la misma se comporta mejor que las otras evaluadas. La Figura 3 muestra el grupo propulsor con los componentes seleccionados y resultados de obtenidos en túnel de viento. Este estudio fue publicado en el III CAIM 2012 [7]. El mismo indicaba que para un empuje de 190gr se requieren 5,5 Amp a 7,4V, lo que implica unos 40 W de potencia.

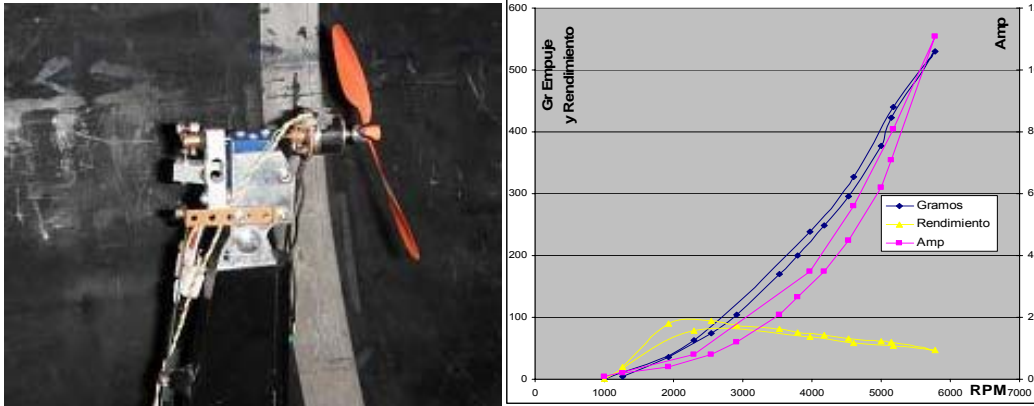


Figura 3 Ensayos en túnel de viento del grupo propulsor con hélice 11x4.7

2.3. Ala - Panel solar en ala.

Si bien hoy se consiguen paneles solares de uso aeroespacial con un rendimiento de hasta el 28%, se adquirieron celdas de 6x6 pulgadas monocristalinas de un 17% de eficiencia [8] según el fabricante. Debido a que su estaban categorizadas como grado B, su homogeneidad no estaba garantizada, pero eran las de menor precio que se obtuvieron para dicho tipo de celda.

Para la fabricación normal de un panel solar, las celdas se encapsulan entre un sustrato inferior (lámina plástica TPE) y se recubre en su cara sensible superior con un film de silicona flexible EVA de 0,5 mm. Esta placa es realizada en moldes con la forma del perfil alar. Cabe aclarar que estas tecnologías y procesos exceden los recursos disponibles, procesos tecnológicos propios y experiencia del grupo de trabajo

Por lo tanto la solución adoptada para generar un panel solar de 30 celdas como se mencionó anteriormente, fue de armar el panel de forma tradicional, con los elementos específicos de uso comercial, y conectar en serie las 30 celdas en un arreglo de 2x15, sobre tres segmentos de ala.

En la Figura 4, se aprecia la solución adoptada, en que no es necesario curvar las celdas, ni adicionar un film protector, ya que las mismas se encuentran protegidas dentro de la ala por el recubrimiento transparente.

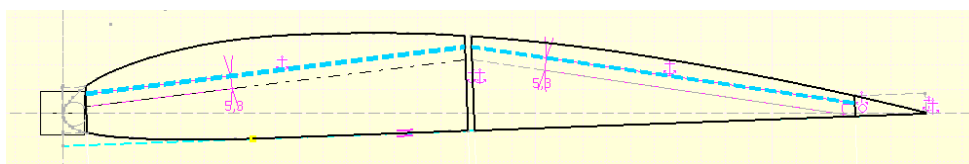


Figura 4: Disposición de dos filas de celdas dentro de la estructura alar.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

Previo al armado del panel y conexionado eléctrico de las celdas entre ellas, es necesario soldar todas las platinas conductoras sobre las mismas, para interconectarlas eléctricamente, siendo necesario desarrollar la técnica de soldado para tal fin.

Se hace notar que las celdas individuales son de silicio, con un espesor apenas superior a 0,2 mm (semejante a un vidrio de ese espesor), por lo que hasta su manipulación y utilización debe ser de sumo cuidado para evitar dañarlas. Para reforzarlas se propuso adherirle una estructura sándwich con núcleo de panal de abeja soportado por un tejido de vidrio de 50gr/m², pero se concluyó que no es buen disipador de calor. Por lo que se ideó una solución de reticulado de madera balsa pegado debajo de cada una de las celdas, de esa forma se logró incrementar la resistencia a la flexión, evitar roturas por manipulación, golpes o vibraciones aplicadas a las celdas, y mejorar la disipación por debajo de la celda, tal se aprecia en la Figura 5.

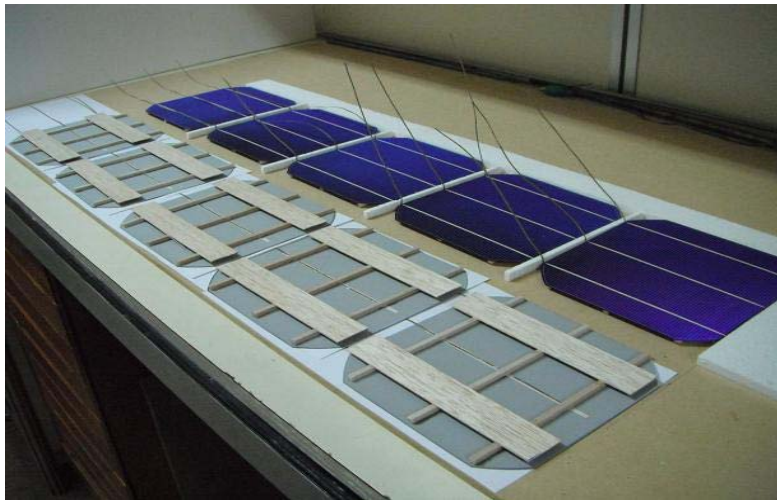


Figura 5 Construcción del panel solar con celdas reforzadas

Posteriormente se hace el soldado de interconexión en grupos de cinco celdas y una vez instaladas se finaliza con el soldado de interconexión de las 30 celdas en serie. Finalmente se aplica el recubrimiento de Mylar solamente pegado con cinta transparente por encima del ala, a fin de poder desmontarse en caso de mantenimiento y reparación de las celdas. Esta solución afecta para obtener un perfil alar de acuerdo al propuesto debido a que el Mylar tiende a no adherirse en algunos sectores del éxtrados. Por último se adiciona los alerones con sus respectivos servo actuadores. Los cableados fueron instalados en tubos de mylar a lo largo del ala. Adicionalmente se le realizaron conductos de ventilación a fin de evitar condensación y mejorar la disipación.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

2.4. MPPT.

Un subsistema de importancia en este desarrollo es el MPPT (seguidor del punto de máxima potencia), el cual permite convertir la energía solar provista por el panel, en una tensión y corriente que represente la máxima energía obtenible. En caso de no disponer de este sistema podría obtenerse una tensión a la cual no se entrega la máxima corriente posible de generar el panel y desaprovechar la energía de la luz solar.

Como ya se indicó en el diseño preliminar del ala, se utilizaron 30 celdas monocristalinas grado B [7] (de eficiencia menor a la normal) con una potencia que ronda los 3,5 W por celda y hace un total de 105 W como máximo teórico según declara el fabricante. La tensión promedio por celda es de 0,5V lo que produce una corriente aproximada de 7A.

A partir de lo anteriormente indicado y en función de los ensayos realizados se construyen las curvas características del panel solar de 30 celdas. En la Figura 7 se observa la curva de la corriente en función de la tensión (en negro) y de la potencia en función de la tensión (en rojo), de uno de los ensayos realizados.

Las condiciones del ensayo fueron realizadas durante febrero de 2013, con un ángulo de incidencia perpendicular al sol (posicionando al ala), temperatura media de 40°C sobre la celda y en horas del mediodía (ronda los 90.000 Lux aprox.). La variación de la luz según la hora se aprecia en la Figura 6. Los datos fueron relevados a través de una placa de adquisición donde se tomo lectura de la tensión y la corriente con los cuales fue realizada la gráfica. Para distintos valores de temperatura e irradiación solar se obtienen curvas distintas.

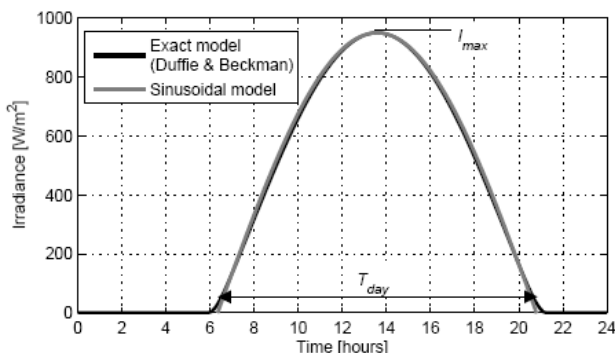


Figura 6: Aproximación de irradiación solar en verano. [1]

A la salida del panel se ubica el MPPT, que básicamente se trata de una fuente conmutada con una etapa de control, que se muestra en la Figura 7, y que regula la potencia de salida de la fuente en función de la máxima potencia que puede entregar el panel de 30 celdas.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

Se destaca que la generación del panel solar (aprox.50 W) es muy inferior a lo estimado por los datos del fabricante. Sus causas se atribuyen principalmente a la no homogeneidad de las celdas, luego al aumento de temperatura en el panel y a no disponer de una irradiación óptima de luz solar, y en menor medida a la reflexión del Mylar, y a la eficiencia del MPPT [9]. De esta manera con los elementos utilizados, se reduce prácticamente en un 50% la eficiencia teórica.

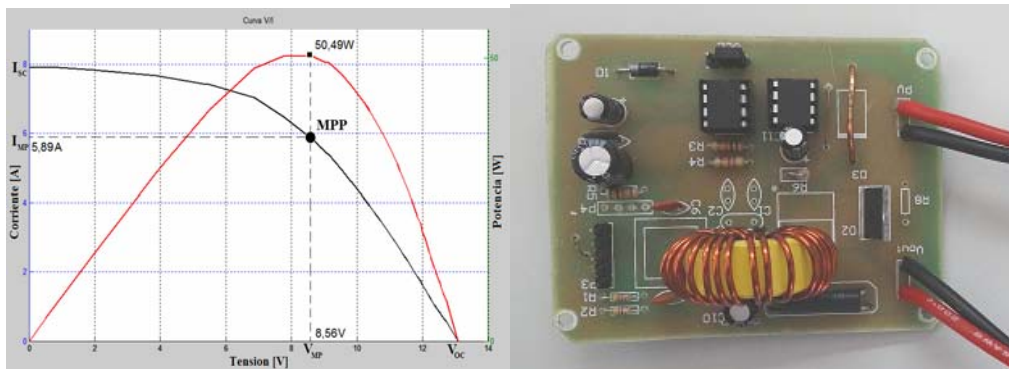


Figura 7: Curvas medidas del ala solar y Circuito del MPPT desarrollado.

2.5. Control, Telemetría, y Estación Terrena.

A fin de convertir la aeronave en un vehículo autónomo durante el vuelo, además de un radio control FS de 8 canales, se requiere un autopiloto para funciones de navegación, control y guiado.

Para ello se adoptó el Ardu Plane Mega 2.5 [10] con sensor de corriente y GPS uBlox. Cuenta con microprocesadores de la empresa Atmel (Atmega 2560-16AU y Atmega 32U), y acelerómetros, girómetros y magnetómetros en los tres ejes, tubo pitot para velocidad y barómetro para altura.

Al mismo se le adiciona un radio modem de “3D Robotics” de 20mW de potencia, para disponer del radioenlace y telemetría del mismo. La estación terrena de control recibe y envía información de y al UAV por medio del software Misión Planner especialmente adaptado al hardware utilizado, permitiendo seguir y controlar en tiempo real al UAV, la Figura 8 muestra el APM 2.5 y el entorno gráfico de la estación terrena de control.

Se ha previsto la instalación de un sistema de video, como carga útil para observación aérea. El mismo se constituye de un cámara de 700 TVL Sony en un gimbal de dos ejes. La transmisión hacia la estación terrena es analógica por medio de un equipo Lawmate de 1 W.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI



Figura 8 Autopiloto APM2.5 y vista del Software de la estación terrena

3. CONCLUSIONES

La relevancia de este desarrollo apunta a demostrar la factibilidad de disponer una plataforma aérea con energía solar, a partir de elementos comerciales y disponibles localmente. Se destaca que el mismo ya finalizó su fase constructiva. Como investigación se han alcanzado los objetivos, ya que se han incrementado los conocimientos sobre la propulsión solar aplicada a UAV.

El desarrollo se financió en parte, a través de dos fuentes de financiamiento de proyectos de I+D. Respecto el costo de los insumos utilizados para la construcción e integración del prototipo pueden desglosarse en los siguientes costos aproximados al momento de la adquisición (entre 2011 y 2013): 1) Estructura \$3000, que incluye maderas, pegamentos y foams, fibras de carbono y demás accesorios e insumos de la aeronave. 2) Celdas solares importadas \$3000, con sus respectivas cintas. 3) MPPT \$2000 incluye componentes y plaqueta. 4) Autopiloto \$4000 incluye pitot y GPS. 5) Transceptor de telemetría \$3000. 6) Estación terrena \$6000 Notebook y antenas. 7) Radio control \$5000, incluye servos y BECs. 8) Propulsión \$ 5000 incluye motor, hélice, variador y batería. 9) Sistema de video \$6000 incluye cámara Tx y Rx , antenas y monitor. A todo ello se debe incluir las horas hombre requeridas para construcción, intergración y puesta a punto, que se estima en no menos de 2000 horas hombre, aproximadamente \$20000. No se incluye el costo del diseño u otros que pudieran discriminarse en el desarrollo, no la actualización a la fecha. Por lo que el costo total superaría los \$57.000 para este prototipo. Cabe aclarar que si el objetivo es obtener mejores prestaciones del UAV, se requiere una plataforma de mayor magnitud, utilizar elementos de mejor desempeño y procesos óptimos, lo que hace aumentar en varias veces este valor.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

En relación a las performances esperadas con 2,5 kg de peso de despegue el UAV podría volar a 36km/h con 40 Watts, lo que en días de verano (Figura 6) esta energía la obtiene el panel durante más de 3 horas y además de los 2.200mAh de la batería de 11,1V.

Actualmente se están realizando las primeras evaluaciones en vuelo para poner a punto el prototipo y se continúa con la fase de análisis y desarrollo. Según búsqueda de antecedentes, se destaca que es la primera aeronave no tripulada en volar con energía solar en el país y en Latinoamérica, el 22 de marzo de 2014 [11].

REFERENCIAS

- [1] A. Noth, "Design of Solar Powered Aircraft for Continuous Flight", Autonomous Systems Lab, ETH Zurich, Switzerland, September 2008.
- [2] A. Rapinett, "Zephyr: A High Altitude Long Endurance Unmanned Air Vehicle". Department of Physics, University of Surrey, April 2009
- [3] PIDDEF 043-11, "Análisis y evaluación experimental de sistemas Brushless –LiPo - Solar, aplicables a UAVs en régimen bajo subsónico", Ministerio de Defensa, 2011-2014.
- [4] Res.2093. Proyecto "A", "Estudio, desarrollo e integración en ala de UAV de celdas solares monocristalinas", Secyt, UNC, 2011-2013.
- [5] O. Elaskar, R. Cavallero, D. Fernandez, "Diseño, construcción y evaluación de ala fotovoltaica para aeronaves no tripuladas". XI CIBIM 2013.
- [6] XFLR 5, en Internet www.xflr5.com, visitado Noviembre de 2011.
- [7] O. Elaskar, D. Fernandez, C. Bustamante, "Desarrollo de una Balanza para Medir el Empuje y Torque en Motores Brushless en Túnel de Viento" III CAIM 2012, CABA, Nov. 2012.
- [8] T. Markvart & L Castaner, "Solar Cells: Materials, Manuf. and Operation", Elsevier, UK 2005
- [9] O. Elaskar, D. Fernández, "Diseño y aplicación de un sistema MPPT en paneles solares aplicado al ala de una aeronave no tripulada UAV", 42 JAIIO, Sept.2013.
- [10] ArduPilot Mega, en Internet, <https://code.google.com/p/ardupilot-mega>, visitado Oct.2012.
- [11] Primer Vuelo Solar Argentino, en internet: www.youtube.com/watch?v=51iBms4DIlg, visitado Mar.2014.