



4^{to} Congreso Argentino de Ingeniería Aeronáutica



ANÁLISIS DEL ENSAYO DEL UAV *SOLODAMA*, “PRIMER VUELO CON ENERGÍA SOLAR DE LATINOAMÉRICA”

O. Elaskar^{a,b}, D. Fernández^b

^aFCEfyN, Universidad Nacional de Córdoba. Av. Velez Sardfield 1600 (5000) Córdoba, Argentina.

^bCentro de Investigaciones Aplicadas, FAA. Av. Fuerza Aérea 6500 (5010) Córdoba, Argentina.

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

Resumen

Las aeronaves propulsadas con energía solar requieren poseer características estructurales, aerodinámicas y energéticas muy eficientes para poder lograr el vuelo.

El trabajo, como objetivo busca analizar y sacar conclusiones de algunos de los resultados obtenidos del primer ensayo en vuelo, como son su comportamiento, controlabilidad y prestaciones del UAV “Solodama”.

Se describe inicialmente los resultados de las distintas etapas del desarrollo del proyecto, especialmente los relacionados a las actividades de diseño y construcción del prototipo del UAV “Solodama”. Así se abordan las etapas de análisis, estudios, e investigación de la propulsión eléctrica-solar aplicada a aeronaves, para luego continuar con los temas relacionados a las soluciones adoptadas de ingeniería de diseño y construcción del prototipo. Estos resultados parciales mencionados resumidamente ya han sido publicados en varios congresos desde el año 2010.

Posteriormente se describen las tareas que permitieron alcanzar la puesta a punto del vehículo propulsado por energía solar para su primer vuelo. Esta última actividad provee los resultados cuyo estudio, descripción y conclusiones, son objeto a tratar en el presente trabajo.

El vuelo se logró realizar positivamente en el aeródromo La Mezquita ubicado en la Ciudad de Córdoba, corroborando la posibilidad de volar con máquinas más pesadas que el aire, propulsadas con energía solar. Con esta experiencia concluida exitosamente, el presente trabajo describe cualitativamente las etapas del vuelo y las conclusiones obtenidas durante el ensayo.

Cabe destacar que este vuelo se realizó el 22 de Marzo de 2014, y representó un hito tecnológico en el país y en la región, ya que fue y lo es hasta la fecha, el primer desarrollo local de una aeronave, que logra volar por energía solar en Latinoamérica.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo del UAV solar “Solodama”, representó un desafío, ya que contando solo con los recursos humanos, financieros y materiales disponibles por el grupo de trabajo, se debía alcanzar un prototipo de máxima eficiencia aerodinámica y propulsiva, lográndose el primer vuelo con energía solar en Latinoamérica, por una aeronave diseñada y construida localmente [18].

Para la integración se utilizaron las instalaciones del Laboratorio de Aeronáutica de la UNC, además de la participación de docentes-investigadores y alumnos que se introdujeron en el tema. Respecto al financiamiento, no tenía fondos específicos para tal fin, pero se contó con subsidios de la UNC (Secyt) [1], y del Ministerio de Defensa (Piddef) [2], destinados a proyectos de investigaciones complementarias, que aportaban al desarrollo del Solodama.

Para el desarrollo del sistema propulsivo, el proyecto Piddef aportó recursos para aplicarlos luego al “Solodama”. Permitted evaluar el comportamiento del grupo propulsor a distintas velocidades de avance, ya que se realizaron los ensayos en el túnel de viento a distintos regimenes de funcionamiento y determinar los componentes más adecuados a utilizar de motor y hélice.

Además permitió adquirir conocimientos y experiencia en la aplicación y gestión de la energía solar, habiéndose logrado desarrollar una metodología para selección y ensayos de celdas fotovoltaicas, armado de paneles solares y desarrollo de la electrónica de gestión de la energía (MPPT).

Por otra parte el proyecto de la Secyt, permitió realizar el análisis del concepto de arquitectura alar más conveniente para incorporar celdas solares en el ala, diseñada para adaptarse a las capacidades constructivas propias del grupo de trabajo y con los equipos e instalaciones disponibles, dando por resultado una estructura alar capaz de albergar paneles en su interior.

Finalmente se procedió al diseño, construcción e integración del Solodama, a fin de probarlo en vuelo.

2. DESARROLLO

2.1. Objetivo

Se busca como objetivo principal, realizar el primer vuelo de una aeronave desarrollada en el país propulsada por energía solar, como así también analizar algunas cualidades de vuelo del prototipo del UAV Solodama, para conocer y establecer mejor sus prestaciones.

Como objetivos secundarios se busca determinar la posibilidad de identificar variables relevantes que afectan a la eficiencia del prototipo, a fin de poder trabajar a futuro sobre ellas y mejorar las condiciones de vuelo del UAV.

2.2. Antecedentes

A nivel mundial existen innumerables antecedentes de desarrollos de aeronaves solares tripuladas como no tripuladas. Los registros indican más de un centenar de ellos. Además el vuelo de un UAV solar lleva varias décadas en EEUU como el Sunrise I [3], primer vuelo sustentado por energía solar del mundo. Entre los ejemplares actualmente destacados se pueden mencionar el Zephir [4], y el Solar Impulse [5], como los mas importantes no tripulados y tripulados.

A nivel nacional prácticamente no se registran antecedentes de aeronaves solares. La excepción de mayor relevancia es el proyecto del UAV Solar, que se planteó como desarrollo tecnológico en el Instituto Universitario Aeronáutico también a través de un proyecto Piddef [6]. Tampoco se han obtenido otras evidencias de que alguna aeronave haya volado exclusivamente con energía solar en nuestro país.

Estos antecedentes también fueron relevados en la región. Y solo se encontraron algunos casos de aeromodelos, en Brasil y México. Por ejemplo, algunos aficionados al aeromodelismo, les incorporaban celdas solares a las alas de los modelos, solo para aportar algo más de energía al que proveen sus baterías, sin que se indique, ni garantice el vuelo pleno por esta energía.

2.3. Metodología

El desarrollo fue específicamente realizado por el grupo de trabajo, desde la concepción de la arquitectura y los sistemas del UAV, hasta la planificación y ejecución del primer vuelo. Por lo cual hubo de diseñarse por completo

Analisis del ensayo del UAV Solodama, “Primer Vuelo con Energia Solar de Latinoamérica”

la aeronave, su arquitectura conceptual, su magnitud, su estructura, su aerodinámica, sus sistemas de control y su proceso constructivo para alojar paneles solares [7]. Es destacable que toda la aeronave se realizó con elementos de aplicación comerciales y disponibles en el mercado.

La cronología del desarrollo y las metas parciales alcanzadas que permitieron alcanzar el Solodama, pueden correlacionarse también en con algunos de los trabajos que fueron publicados en congresos [8-12], donde se presentaron resultados parciales del desarrollo:

1. Balanza para Medir el Empuje y Torque en Motores en Túnel de Viento.
2. Diseño, Construcción y Evaluación de Ala Fotovoltaica de Aeronaves No Tripuladas.
3. Diseño sistema de Seguimiento del Punto de Máxima Potencia (MPPT) en UAV.
4. Diseño de prototipo de aeronave no tripulada solar.
5. Diseño e Integración de Aeronave No Tripulada con Energía Solar..

Se remarca además, que una aeronave solar requiere también energía para otros subsistemas como la instrumentación, control y radio-enlace, que hace aún mas critico la optimización del uso energético en este tipo de aeronaves.

Para lograr las condiciones requeridas en la etapa de realizar los ensayos en vuelo, previamente fue necesario iniciar estudios, análisis y desarrollos tendientes a obtener el prototipo del UAV solar, y por supuesto adquirir conocimiento y experiencia en el pilotaje por control remoto de aeromodelos. Para esto último se desarrolló un ala “dummy” equivalente sin paneles solares a solo titulo de evaluar las características de vuelo y ganar experiencia en el pilotaje y control de la aeronave, previo a ensayar la propulsión solar [13].

Por último se procedió a elegir las condiciones ambientales en el campo de vuelo y poner a punto la aeronave con sus sistemas de comando y control para poder realizar este ensayo que culminaría con el primer vuelo solar, y que se describe a más abajo.

3. ENSAYO EN VUELO

3.1. Descripción de la aeronave

El UAV “Solodama” es una aeronave de arquitectura convencional, de ala alta, empenaje convencional y tren triciclo. La propulsión es eléctrica.

Los principales materiales utilizados son, en el fuselaje Polyfoam (polietileno extrudido XPS) y balsa, poli estireno expandido y Mylar en el ala. Además se hace uso en menor escala de madera Kiri, varillas de acero, y refuerzos en fibras de carbono. La construcción es tradicional de largueros y costillas para el ala y semimoncasco para el fuselaje. Se aprecia el prototipo en la Figura 1.



Figura 1: Estructura de UAV

Analisis del ensayo del UAV Solodama, “Primer Vuelo con Energia Solar de Latinoamérica”

En relación al tren de aterrizaje, el mismo es convencional, y a pesar que incorpora peso se instaló, ya que es un prototipo que se utilizará varias veces en despegues y aterrizajes. El tren principal es de varilla de acero de 3mm con ruedas de foam de 4”. El tren de nariz es orientable y cuenta con una rueda de foam de 2”.

Los cinco servos utilizados son de 12gr. convencionales.

Si bien en el diseño esta contemplado su integración, al prototipo ensayado no se le incluyo ningún dispositivo de piloto automático [15], ni transmisores de telemetría, ni sistema de transmisión de video. Los registros para análisis fueron tomados por cámara de video y por evaluación directa del piloto operador desde tierra.

El equipo de radio-control utilizado es de 8 canales a 2.4Ghz digital.

Las características aerodinámicas se obtuvieron de cálculos analíticos [12], y de las obtenidas para la aeronave completa, sin el tren de aterrizaje con el soft XFLR5 [16]. Las características de los sistemas y equipos se detallan en trabajos previos [10], [11]. Los detalles de los cálculos pueden obtenerse de los trabajos antes mencionados.

3.2. Descripción del sistema propulsivo

El equipamiento motriz consiste en un motor “brushless” de 350W y 1450 RpmV, que mueve una hélice SF 15x10. El variador de velocidad es de 40Amp y cuenta con un BEC de 3Amp para alimentar la electrónica de control.

En relación a la eficiencia total de su sistema propulsivo, si bien este aspecto fue tratado en trabajos anteriores se menciona nuevamente aquí, y se estima que el rendimiento a obtener se compone de la siguiente relación en función de consideraciones variables [7].

$$\eta_{\text{total}} = \eta_{\text{celda}} \cdot \eta_{\text{panel}} \cdot \eta_{\text{MPPT}} \cdot \eta_{\text{bat}} \cdot \eta_{\text{variador}} \cdot \eta_{\text{motor}} \cdot \eta_{\text{helice}} \cdot \eta_{\text{hora}} = 0,035 - 0,055 \quad (1)$$

$$\eta_{\text{total}} = 0,17 \times 0,98 \times 0,85 \times 0,95 \times 0,90 \times 0,80 \times 0,70 \times 0,70 = 0,047 \quad (\text{condición probable})$$

Los valores de rendimientos individuales han sido considerados de la siguiente manera.

- Celdas: según el proveedor de las mismas el rendimiento es del 17%. [14].
- Panel: con motivo de que no se observó homogeneidad en la medición en banco de cada una de las celdas se adoptó que el rendimiento del panel no podrá ser mayor al de la celda de menor eficiencia medida [9].
- MPPT: si bien otros dispositivos similares declaran hasta un 98% de eficiencia [7], el “MPPT-Cargador” desarrollado en el proyecto y medido en banco no resultó de alta eficiencia [10].
- Baterías: De manuales de las mismas se establece como un régimen promedio que las mismas pueden descargar un 90% de la carga aportada. Las baterías de alta eficiencia alcanzan 95% [7].
- Variador: No se dispone de medición del variador utilizado. Según otros estudios éste alcanza un 85% [7]. Sin embargo por ser de bajo precio y no ser de marca reconocida se adopta un 5% menos.
- Motor: la misma consideración hecha para el variador, debe considerarse para el motor utilizado. Los de marca reconocida indican 85% de eficiencia.
- Hélice: Las hélices perfectamente adaptadas alcanzan como máximo 75%. La utilizada pudo medirse 70% con el banco de ensayo. [7,8].
- Hora: se considera un ángulo de incidencia promedio de 45° durante el funcionamiento. En especial por haberse hecho en el mes de marzo a latitud de la ciudad de Córdoba.

La energía es provista por treinta celdas de 6x6 pulgadas de 3.5W nominal cada una [14]. La gestión de energía se realiza por un MPPT (Maximum Power Point Tracker) de desarrollo y construcción propia que carga batería de LiPo “Turnigy Nanotech” de 7.4V y 1600mAh o dirige la energía al motor, cuando se le requiere.

Esto indica que de los 1000W/m2 en teoría considerados como condición normalizada [7,17], solo se obtendría unos 47W a la salida del motor para el ensayo.

De mediciones de laboratorio el ala solar generaba a la salida del MPPT de unos 59 Watts [11], en un día soleado al mediodía (Febrero 2014), registrándose mas de 130.000 lux, medido horizontalmente con un instrumento Tondaj LX.1010B, de adquisición comercial. La Figura 2 muestra la condición de la medición.

Analisis del ensayo del UAV Solodama, “Primer Vuelo con Energia Solar de Latinoamérica”



Figura 2: Ensayo de Ala solar

De los análisis de carga de la batería Turnigy de 7,4V y 1600mAh, se considera: 1) un nivel inicial de carga del 90% ya que la batería a plena carga alcanza los 8,4V (4,2V/celda), 2) que el proceso de descarga representa un 90% de la capacidad de la batería debido a su rendimiento [7], y 3) que la carga remanente es del 10%, para evitar dañar las baterías, se dispondría de una carga del 70% de la teórica, o sea de 1120mAh. La Figura 3 indica curvas de descargas típicas de baterías de LiPo.

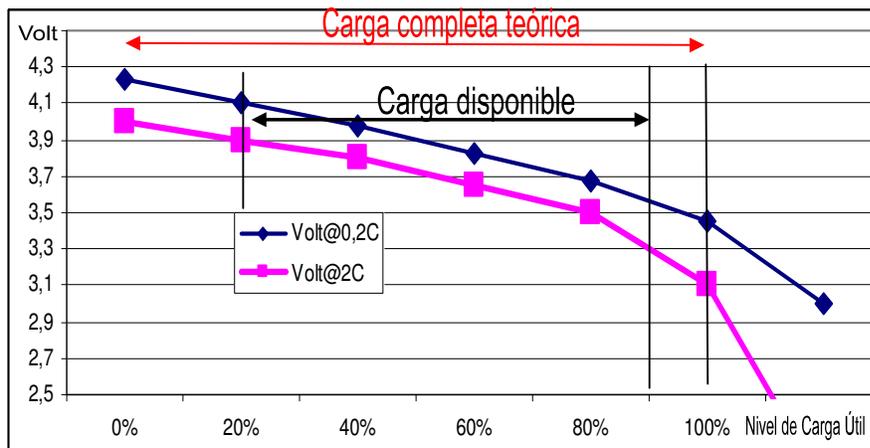


Figura 3: Curvas de descarga de LiPo con baja y alta carga [19],

Considerando un consumo de 59W incluyendo el receptor y los servos de control, la corriente necesaria para alimentar dicha potencia sería de $I = 8,0$ Amp. Y si se dispone de 1,12 Amp./hora de carga, el tiempo de vuelo factible por solo la batería sería de un tiempo de 0,14 horas o poco más de 8 minutos 24 segundos. En esa condición la batería debería no medir menos de 6 volt con carga (3V/celda) a fin de asegurar no haberla dañado.

3.3 Ensayo en vuelo

3.3.1. Despegue

El vuelo se realizó en el Aeródromo de la Mezquita, predio perteneciente al Ejército Argentino. Los permisos de vuelo al controlador aéreo no se requirieron, ya que a la hora y fecha en que se realizó el ensayo, también se realiza actividad de aeromodelismo. Además por la planificación del vuelo no se sobrepasarían los límites

Analisis del ensayo del UAV Solodama, “Primer Vuelo con Energia Solar de Latinoamérica”

previstos en la reglamentación aerodeportiva vigente y se respetarían las prácticas de vuelo seguro para este tipo de aeronaves.

La aeronave antes del despegue, midió su batería 8.1V (cargada). El ala se encontraba montada con elásticos y tornillos de nylon sobre el fuselaje y se controló todos los sistemas funcionaran previo al despegue. Se realizó prueba de alcance de la señal de radio.

Se eligió la calle pavimentada de acceso al predio que se dirige aproximadamente Norte Sur para el carreteo de despegue. Lo motivos de dicha elección fueron, que la resistencia al carreteo sería inferior que en pista de pasto y segundo el viento era de dirección NE, por lo que se diseccionó el despegue hacia el Norte.

En un primer intento durante el carreteo el despegue fue abortado, debido a que el UAV orientó su nariz anticipadamente hacia la dirección del viento, y se consideró que aún no había alcanzado la velocidad suficiente de despegue y de viraje a baja altura. Por lo cual el UAV finalizó su carrera de despegue sobre los pastos laterales.

En el segundo intento se previó el efecto del viento (de unos 5 nudos, aprox. 9 km/h) del NE por lo que se corrigió la trayectoria de carreteo para compensar dicho efecto y una vez que se observó que había alcanzado la velocidad suficiente, se le aplicó comando de elevador y de dirección como para asegurar un despegue controlado. Hubo además que compensar el vuelo nivelado con aplicación de alerones.

Una vez que ganó un par de metros de altura se eliminó la compensación con timón y el Solodama dirigió su nariz en dirección al viento y nivelado por alerones prosiguió su ascenso en forma normal.

3.3.2. Ascenso y Crucero

Inmediatamente despegó, se ganó altura para ubicarlo en una condición de vuelo estable. Se estima visualmente un ascenso a unos 15° de pendiente de durante la trepada.

Ya con el avión a suficiente altura (40 metros aprox.) y visualmente cerca (menos de 200 metros desde el operador) se realizó un viraje de retorno y se procedió a mantenerlo en vuelo recto y nivelado. Se corroboró que era necesario hacer algunos ajustes del trimado para evitar tener que aplicar constantemente algunos de los comandos.

Este procedimiento se repitió un par de veces en distintas direcciones de vuelo para compensar efectos que el viento acentuara u ocultara.

En vuelo crucero se corroboró buena estabilidad longitudinal. Si bien no es una aeronave de gran reacción a los mandos, no se apreciaron efectos de oscilaciones marcadas, mas allá de lo normal para este tipo de avión. Se observó una aceptable estabilidad direccional, que si bien el ángulo de diedro es mínimo, el efecto estabilizante del “ala alta” podía apreciarse.

3.3.3. Virajes

Durante los virajes, se aplicaba alerones, sin prácticamente aplicar deriva. Debido a que la superficie de alerones es sumamente reducida para un avión de esta magnitud, su aplicación se mostraba lenta. Ello conducía a virajes de gran radio de giro y sin perder apreciablemente altura. Cuando se requirió maniobras mas exigidas hubo que aplicar además timón de dirección y elevador para mantener altura, que se penaliza por perder energía cinética. Se puede concluir que los virajes deben hacerse de manera suave ya que no responde ágilmente al control direccional sin tener que aplicar el resto de las superficies móviles de control que requieren de potencia motriz para mantener las condiciones de vuelo.

Sin embargo la reacción a los comando si bien no era ágil, se demostró suficientemente precisa y sin alteraciones a los movimientos de los mandos.

3.3.4. Tiempo de Vuelo

Este ensayo de vuelo no tenía previsto alcanzar ningún período de tiempo específico, sino que su objeto era realizar el primer vuelo de prueba y analizar su comportamiento.

Por ello una vez que se despegó se realizaron maniobras sin exigencias de cargar la estructura y mantenerlo en vuelo por control remoto y en línea directa de visión. De esta manera el avión no se alejó más de unos 500m y no superó los 300m de altura.

Los principales motivos de concluir el vuelo e iniciar la maniobra para aterrizaje, fueron que: primero ya se había probado la capacidad del vuelo solar con esta aeronave, segundo que se mostró dócil y estable, y finalmente que por estar operado a control remoto se hacía dificultoso para el piloto mantener la visión fija sobre el avión durante mas de 20 minutos. Por ello se decidió iniciar las maniobras para aterrizaje.

Analisis del ensayo del UAV Solodama, “Primer Vuelo con Energia Solar de Latinoamérica”

3.3.5. Aterrizaje

El aterrizaje se inició con maniobras de viraje para perder altura hasta unos 30 metros en que se realizó el último para alinear el avión para que ingrese desde la cabecera sur de la pista de pasto utilizada por los aeromodelistas y de esta forma hacer contacto en pista en contra del viento.

Una vez alineado y a 100 metros aproximadamente de la cabecera de pista se pudo controlar perfectamente la trayectoria de descenso, incluso haciendo correcciones de altura para que se pudiera hacer contacto en el punto que se deseaba posar sobre la pista.

En función de ser una aeronave de baja carga alar, perfil de gran coeficiente de sustentación (Cl), y enfrentar al viento, la velocidad de aterrizaje fue sumamente baja, lo que facilitó el pilotaje seguro y estabilizado de la misma.

El tiempo de vuelo total fue de 23 minutos 40 segundos, que representa un hito en esta materia en el país y la región. La Figura 5 muestra al Solodama despegando.



Figura 5: Solodama en el despegue

4. RESULTADOS OBTENIDOS

En función de los objetivos planteados se puede determinar los siguientes resultados.

a) En relación a las características de vuelo y controlabilidad de la aeronave no se observaron que estuvieran alejadas de los resultados teóricos obtenidos durante fase del cálculo de la misma. De ellos se había determinado una velocidad de 8,2m/s de velocidad de máxima autonomía y de 10m/s de máximo alcance. La velocidad Máxima alcanza los 16m/s con comando de elevador compensado y de 5m/s de pérdida (estimados con registros fílmicos).

b) La tensión de la batería al inicio del vuelo era de 8,1V, y al final fue de 7,8 V, siendo este un resultado satisfactorio. Si se observa la Figura 4, el nivel de batería se encuentra a un 50% de la capacidad (3,9V/celda). Ya que se estima por la curva de descarga de la batería a 60W promedio, que la misma se encontraba con una carga equivalente de haber volado durante 4-6 minutos, por lo que el tiempo remanente de vuelo (los 18 minutos restantes) se propulsó básicamente con energía solar, lo que evito que se descargara aún mas la batería.

c) Se estima que el vuelo podría haberse prolongado mientras las condiciones de radiación solar no hubieran disminuido apreciablemente. Se estima que dos horas más de vuelo con buena radiación solar era factible. (hasta las 16:00 horas).

d) El MPPT-cargador mantuvo un nivel de tensión en batería de los 7,8 Voltios mencionado arriba, por lo que se considera haber trabajado adecuadamente.

e) La velocidad de aterrizaje fue con viento en contra fue mínima, se estima en unos 3-5 m/s que se condice con el viento del momento.

Analisis del ensayo del UAV Solodama, “Primer Vuelo con Energía Solar de Latinoamérica”

5. CONCLUSIONES.

I. Con elementos comerciales disponibles en el mercado, de bajo costo, y no diseñados para uso aeronáutico, se alcanza a realizar un vuelo con energía solar exclusivamente.

II. Las eficiencias reales en el ensayo no se midieron cuantitativamente, pero se estima que se corresponde al menos con los valores teóricos previstos en los cálculos, ya que la aeronave efectivamente voló y se mantuvo con nivel de carga de batería. De los 47W a obtener según la estimación, la energía propiciada por el sistema (máximo de 59W medida del ensayo en tierra) fue suficiente para mantener la aeronave en vuelo y durante el tiempo que lo hizo exclusivamente con la energía solar.

III. Se logró por primera vez en el país y Latinoamérica, el vuelo de una aeronave de desarrollo propio con energía solar [18].

IV. La eficiencia podría aumentarse de manera importante si se utilizaran elementos de mayores prestaciones [17], como las celdas, variadores, MPPT y hélices más adecuadas entre otros. Además este prototipo se encuentra en un rango de números de Reynolds bajos, por lo que aumentar el tamaño de la aeronave favorecería el comportamiento aerodinámico de la misma.

6. REFERENCIAS.

[1] Res.2093. Proyecto “A”, “Estudio, desarrollo e integración en ala de UAV de celdas solares monocristalinas”, Secyt, UNC, 2011-2013.

[2] PIDDEF 043-11, “Análisis y evaluación experimental de sistemas Brushless –LiPo - Solar, aplicables a UAVs en régimen bajo subsónico”, Ministerio de Defensa, 2011-2014.

[3] R. Boucher, “Project Sunrise, Flight of the Worlds First Solar Powered Aircraft”, Los Angeles USA. 1974.

[4] A. Rapinett, “Zephyr: A High Altitude Long Endurance Unmanned Air Vehicle”. Department of Physics, University of Surrey, April 2009

[5] Solar Impulse. “Around the World in a Solar Airplane: Solar Impulse”. En Internet: http://info.solarimpulse.com/pdf/hb-sia/hb-sia_es.pdf . Visitado Nov.2015.

[6] PIDDEF 014-10, “UAV Solar”. Instituto Universitario Aeronáutico. En Internet: http://www.iaa.edu.ar/fi/organizacion/mecanica/proyectos.php#uav_solar. Visit. Nov.2014.

[7] A. Noth, “Design of Solar Powered Aircraft for Continous Flight”, Autonomous Systems Lab, ETH Zurich, Switzerland, September 2008.

[8] O. Elaskar, D. Fernandez, C. Bustamante, “Desarrollo de una Balanza para Medir el Empuje y Torque en Motores Brushless en Túnel de Viento”. Presentado en III CAIM. CABA, Nov. 2012.

[9] O. Elaskar, D. Fernández, “Diseño de prototipo de aeronave no tripulada solar”. Presentado en XV RPIC. Córdoba, Sept. 2013.

[10] O. Elaskar, D. Fernández, “Diseño y aplicación de un sistema MPPT en paneles solares aplicado al ala de una aeronave no tripulada UAV”, En 42 JAIIO, Córdoba, Sept.2013.

[11] O. Elaskar, R. Cavallero, D. Fernandez, “Diseño, construcción y evaluación de ala fotovoltaica para aeronaves no tripuladas”. Presentado en XI CIBIM. La Plata, Nov.2013.

[12] O. Elaskar, D. Fernández, M Pilati. “Diseño e Integración de Aeronave No Tripulada con Energía Solar”, Presentado en IV CAIM. Resistencia, Nov.2014.

[13] O. Elaskar, “Informe de ensayo en vuelo de UAV Dummy Solodama”, Centro de Inv. Aplicadas, FAA, Córdoba, Argentina, Agosto 2014.

Analisis del ensayo del UAV Solodama, “Primer Vuelo con Energia Solar de Latinoamérica”

- [14] Everbrightsolar. “6x6 Monocrystalline Sollar Cells”. En Internet <http://www.everbrightsolar.net>. Visitado Mar. 2013.
- [15] APM-.5, “Autopiloto de código abierto”, en Internet, <https://code.google.com/p/ardupilot>, visitado Oct.2012
- [16] XFLR 5, “Soft de cálculo aerodinámico”, en Internet www.xflr5.com, bajado Nov.2011.
- [17] T. Markvart & L Castaner, “Solar Cells: Materials, Manuf. and Operation”, Elsevier, UK 2005
- [18] Solodama (2014, Mar. 23). “Primer Vuelo Solar Argentino”, [Online]. Available: www.youtube.com/watch?v=51iBms4DIlg.
- [19] CMicrotek (2015, May.10). “Low-power Design Blog”, [Online]. Available: [“http://cmicrotek.com/wordpress_159256135/?p=111”](http://cmicrotek.com/wordpress_159256135/?p=111)