

## SISTEMA DE ADQUISICIÓN, REGISTRO Y ANÁLISIS DE VARIABLES INERCIALES EN PLANEADORES ESTRATOSFÉRICOS

LAROSA, Facundo – CASTELUCCI VIDAL, Iván – VAZQUEZ SARAULLO, Federico A. –  
GHIGNONE, Ramiro - COMAS, Edgardo  
flarosa@frh.utn.edu.ar – icvidal@frh.utn.edu.ar – fvazquez427@alumnos.frh.utn.edu.ar –  
rghignone@frh.utn.edu.ar - ecomas@citedef.gob.ar  
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Haedo  
Departamento de Ingeniería Electrónica  
París 532 – TE 011-4443-7466 (Int 145).  
Haedo, Buenos Aires, Argentina

### RESUMEN

El presente trabajo trata sobre el desarrollo de un experimento universitario llevado a cabo en la segunda misión del Proyecto Perlan. Éste proyecto comprende un programa de planeadores diseñados para volar principalmente en la zona de la estratósfera y realizar exploración aeronáutica y estudios atmosféricos. En el marco de la segunda misión de este proyecto, se realizó una experiencia que comprendió el diseño, desarrollo, montaje, ensayos y resultados de un sistema de adquisición, registro y análisis de variables inerciales (aceleración, velocidad angular y campo magnético en los tres ejes) y altitud de la aeronave durante todas las fases de vuelo, en el formato estándar *CubeSat*.

### 1.- INTRODUCCIÓN

La Misión II del Proyecto Perlan [1] consiste en la construcción de un planeador tripulado que pudiera volar a alturas entre 15 y 30 km sobre el nivel del mar, y en la posterior realización de numerosos vuelos con esta aeronave en la zona de El Calafate, Santa Cruz, Argentina, con el objetivo de superar las metas alcanzadas en la Misión I. Esto implica la posibilidad de hacer estudios científicos sin precedentes sobre procesos de formación de nubes, región atmosférica de tropopausa tropical, dos fenómenos que se producen en diferentes partes de la atmósfera terrestre llamados ondas estratosféricas de montaña y vórtice polar antártico, y como todos estos se relacionan con la reducción de la capa de ozono del planeta y el cambio climático.

Esta segunda misión permitió la inclusión de trabajos de diferentes instituciones educativas argentinas, los cuales debían respetar el estándar de diseño *CubeSat* [2]. Bajo estas condiciones y

con la intención de participar en esta experiencia, se decidió utilizar un registrador de vuelo [3] desarrollado por nuestro grupo de trabajo para que formara parte de la misión. Este registrador es capaz de adquirir y almacenar los datos de distintas variables físicas de una aeronave durante cada despegue, vuelo y aterrizaje de la misma; luego de cada aterrizaje, los datos obtenidos se pueden descargar para poder hacer un estudio completo de la trayectoria y las principales características del vuelo.

El objetivo de este experimento fue el de probar por primera vez al registrador en un aeronave en condiciones de vuelo extremas y obtener así datos valiosos, no solo para validar el funcionamiento del registrador en esas situaciones y ayudar su posterior optimización, sino que también proporcionar una forma alterna de estudio de la dinámica de vuelo de planeador para el Proyecto Perlan.

## 2.- METODOLOGÍA

El aeroplano Perlan II utilizado en esta segunda misión se fabricó con el objetivo de ser una versión tecnológicamente optimizada al usado en la misión anterior (Perlan I), para poder así superar los 15.460 m de altura sobre el nivel del mar que se habían alcanzado en aquella. Con este propósito, el fuselaje de esta aeronave se fabricó utilizando materiales compuestos para hacerla ligera pero altamente resistente a nivel estructural. Además, se aumentó la superficie de las alas y la envergadura del planeador para mejorar su aerodinámica. También, se le instaló un sistema de presurización de cabina y un sistema cerrado de oxígeno para que los pilotos no tuvieran que usar trajes espaciales durante el vuelo, lo cual había dificultado previamente el control total del aeroplano Perlan I por parte de los pilotos. Se incorporaron además un paracaídas de frenado para permitir un descenso vertical rápido en caso de alguna emergencia a grandes altitudes, y un paracaídas balístico de recuperación para lograr que el Perlan II descienda y aterrice en tierra en forma segura [1].

La técnica de vuelo de este planeador es la misma que la usada en la primera misión. Básicamente, se aprovechan dos fenómenos meteorológicos: las ondas estratosféricas de montaña y el vórtice polar antártico. La combinación de ambos significa la posibilidad de aprovechar corrientes naturales y ascendentes de aire para alcanzar altitudes estratosféricas con una aeronave sin motores de propulsión.

El Perlan II incorporó la posibilidad de transportar, en su bahía de carga, proyectos educativos en formato de *CubeSats* de especificaciones *1U* y *2U*. El formato *1U* corresponde a un cubo tridimensional de 10 cm de arista y un peso menor a 1,33 kg, mientras que el formato *2U* es como tener dos cubos *1U* unidos en una de sus caras, esto es tiene dimensiones de 10 cm x 10 cm x 20 cm y un peso menor a 2,66 Kg. Entonces, para poder realizar el experimento universitario de enviar al registrador de vuelo a bordo del Perlan II, se llevó este dispositivo al estándar de diseño *1U CubeSat*. Se eligió este tamaño ya que se adaptaba adecuadamente a la

placa de circuito impreso y componentes adicionales requeridos.

Para llevar al registrador a ese formato, se diseñó y construyó primero la estructura del cubo en aluminio. Para esto se tuvo en cuenta el hecho de disponer varios puntos de apoyo dentro del cubo para poder situar todos los componentes del sistema, como también el de confeccionar el diseño para una interfaz con la que controlar al sistema y el de realizar un logotipo identificador con un proceso de arenado. Como el sistema debía tener una fuente autónoma de energía, se instaló una batería de ion-litio y una placa independiente y cargadora de baterías de ión-litio [4] para suministrar energía a la batería. Para energizar esta placa se utilizó una fuente conmutada estándar de 220 VCA a 5 VCC. Respecto a la descarga de los datos almacenados en el registrador para su posterior análisis en un ordenador, se decidió disponer de dos métodos para realizar la descarga. Por un lado, se podría retirar manualmente la tarjeta micro SD de la placa del registrador para poder conectarla por medio de un adaptador de tarjetas micro SD a un ordenador. Por otro lado, se desarrolló una interfaz informática en Python para poder descargar los datos en forma serial a un ordenador directamente conectando la misma con un cable al *CubeSat*. De esta manera, para poder lograr esta descarga serial y la carga de la batería del cubo, se desarrolló un cable especial con una placa conversora de protocolo UART-USB, el cual puede conectarse al cubo por medio de un conector DB9. Este conector, en conjunto con unas luces LED indicadores y un interruptor, forman parte de la interfaz del cubo, de manera de poder controlar y verificar su funcionamiento.

## 3.- DESARROLLO

### 3.1.-Análisis general del sistema

El diagrama en bloques del sistema de adquisición, registro y análisis de variables inerciales de vuelo se muestra en la Figura 1.

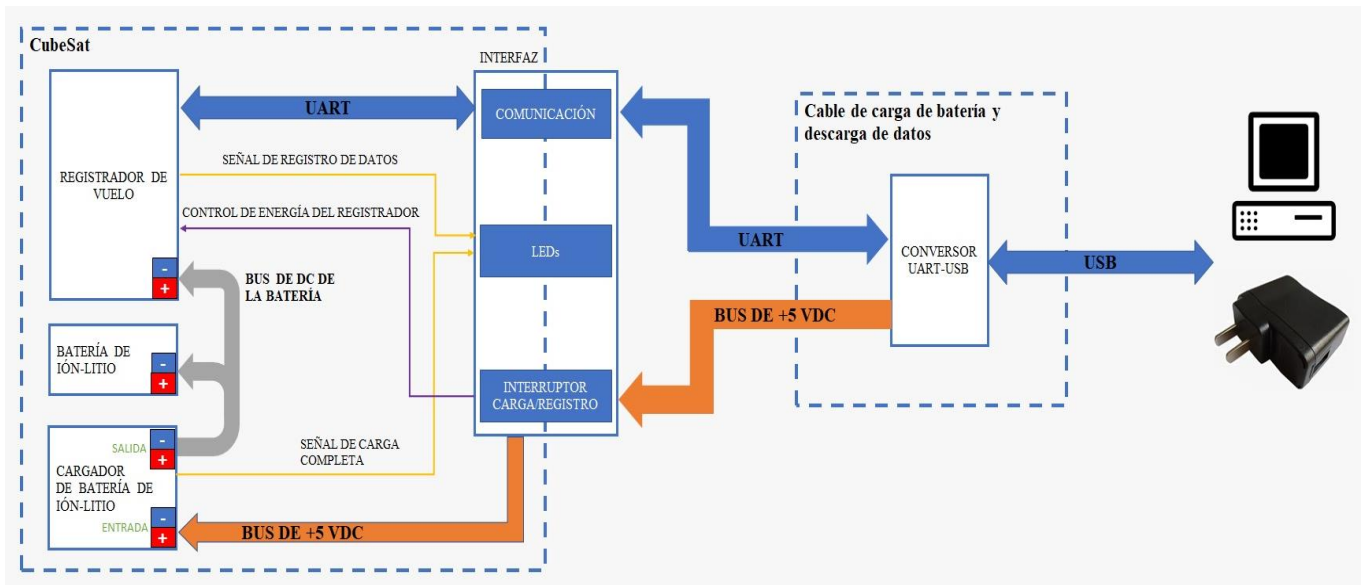


Figura 1. Arquitectura general del sistema.

Como puede observarse, el sistema está compuesto por dos elementos principales: el *CubeSat* y el cable de carga de batería y descarga de datos, al cual se refiere simplemente como “cable de batería y datos” en este trabajo. El *CubeSat* se encarga de hacer las tareas de medición y almacenamiento de los datos del vuelo; el cable se utiliza para proporcionar energía al cubo por medio de un bus de +5 VCC y así recargar su batería, o para descargar los datos almacenados en la memoria interna del cubo por medio de un bus UART de comunicación. A su vez, el cable se conecta a un ordenador o fuente externa de energía por medio de un cable micro USB a USB-A. El cable de batería y datos recibe la energía eléctrica para proporcionar +5 VCC al cubo cuando se lo conecta a una computadora o una fuente externa de energía.

En cuanto a sus componentes, el *CubeSat* está estructurado a su vez en cuatro módulos, los cuales se van a explicar y relacionar brevemente a continuación. Luego, se abordará a cada uno con más detalle:

- **Registrador de vuelo:** Es el módulo principal del cubo. Este permite medir y almacenar datos de la dinámica y las condiciones del vuelo de la aeronave. Este registrador se comunica por protocolo

UART con el submódulo “Comunicación”, dentro del módulo “Interfaz”, para enviar los datos almacenados hacia un ordenador una vez que los mismos quieran descargarse. Además, el registrador envía la “señal de registro de datos” hacia el submódulo “LEDs” para que, desde la Interfaz, se pueda verificar que el registrador se encuentra encendido y operando.

- **Batería de ión-litio:** Es la fuente principal de energía del cubo y permite que este opere en forma autónoma e inalámbrica. Tiene por objetivo alimentar al registrador de vuelo por medio del bus de corriente continua de la batería.
- **Cargador de batería de ión-litio:** Es un circuito independiente que permite cargar automáticamente y supervisar la carga de la batería del cubo a través del bus de CC de la batería. Además, envía la “señal de carga completa” al submódulo LEDs para chequear, desde la interfaz, si la batería está completamente cargada o si sigue en proceso de carga.
- **Interfaz:** Este es el módulo que permite conectar al *CubeSat* con el exterior, y está estructurado en tres submódulos:

- **Comunicación:** Se compone por un conector DB-9 hembra, y permite la transferencia de datos, mediante el protocolo UART, entre el registrador de vuelo (ubicado en el cubo) y el conversor UART-USB (ubicado en el cable de batería y datos).
- **LEDs:** Se compone por dos LEDs de 3 mm de diámetro, uno de color rojo y otro amarillo. Este submódulo permite conocer diferentes estados del *CubeSat* por medio del encendido o apagado de los LEDs.
- **Interruptor carga/registro:** Este es un interruptor DPDT (*Double-Pole, Double Throw*) de tipo palanca y sin punto medio. El interruptor permite controlar el funcionamiento del cubo, conmutando entre dos modos de operación mutuamente excluyentes: el de “carga de la batería” y el de “registro de datos”. Es por esto que, desde el interruptor, se puede controlar la activación del bus de +5 VCC para alimentar al cargador de la batería, como también controlar el encendido del registrador de vuelo. Esto último se puede observar en la Figura 1 a través del “control de energía del registrador”.

En cuanto al cable de carga de batería y descarga de datos, el mismo se compone por un módulo **conversor UART-USB**. Este permite traducir las comunicaciones del protocolo UART al USB, o viceversa, para que así el *CubeSat* pueda comunicarse con un ordenador y descargar los datos que tiene almacenados. Por otro lado, el conversor también energiza al bus de +5 VCC para así poder cargar la batería interna del cubo. Esto último es posible conectando el conversor a un ordenador o una fuente de alimentación

genérica por medio de un cable micro USB a USB-A.

### 3.2.-Análisis detallado de los componentes del sistema

#### 3.2.1-Registrador de vuelo

Este registrador se diseñó en forma modular, por lo que cada variable o conjunto específico de variables físicas corresponde a un módulo con los sensores asociados, los cuales proveen sus datos a través de una interfaz digital. Estos módulos son:

- **Unidad de Medición Inercial (InvenSense MPU-9255)** [5]: es capaz de medir la aceleración lineal, la velocidad angular y la intensidad de campo magnético en tres ejes. Esto lo hace mediante un acelerómetro, un giróscopo y un magnetómetro, respectivamente.
- **Altímetro NXP MPL3115A2** [6]: es capaz de medir la presión barométrica y la temperatura por medio de un sensor de presión y uno de temperatura, respectivamente. Con estos datos, se puede obtener la altitud de la aeronave.
- **Módulo GPS M10478-A2 de Antenova** [7]: es un receptor GPS capaz de obtener la posición satelital de la aeronave en valores de latitud, longitud y altitud. Este sensor posee una antena integrada.

Las tareas de adquisición, registro y almacenamiento de los datos recaen en un único microcontrolador: un **LPC 4337 de la firma NXP** [8]. Este posee dos núcleos asimétricos, dando así la posibilidad de distribuir las tareas más exigentes en tiempo al núcleo más potente, y dejando las funciones de propósito general al otro. El diseño del código implementado en este microcontrolador fue del tipo implementación de capas de software [9]. Esto se hizo para que los datos provenientes de los sensores pudieran ser

registrados, procesados y almacenados sin sufrir pérdidas y/o corrupciones de los mismos.

En esta placa, el almacenamiento de los datos registrados se hace en una tarjeta micro SD de 8 GB, la cual está conectada al microcontrolador mediante un zócalo. Esta tarjeta está configurada en el modo MMC [10] para permitir que la velocidad de transferencia sea máxima. Los datos se almacenan en archivos binarios, generando uno cada vez que se enciende el registrador. Como estos archivos crecen a tasas aproximadas de 17 MB por hora, se pueden guardar 470,59 horas de datos aproximadamente según la tarjeta micro SD empleada. El uso de esta tarjeta como método de almacenamiento de la información fue recomendado y avalado por el estándar de diseño del *CubeSat* del Proyecto Perlan [2]. Para descargar la información almacenada en la tarjeta, el registrador de vuelo admite dos métodos: extraer manualmente la tarjeta micro SD de la placa y leerla desde un ordenador, o descargar la información desde el registrador a través de una interfaz serie, la cual es una UART de tres pines configurada a una tasa de 115.200 baudios.

El registrador fue diseñado con componentes que se alimentan solamente de un nivel de tensión: 3,3 VCC. Por lo tanto, para ser energizado por una batería de ion-litio de 3,7 V aproximadamente, se utilizó un regulador LDO (regulador de baja caída, por sus siglas en inglés, *Low Drop Out*), teniendo así el registrador un consumo promedio de 200 mA. Para el armado del *CubeSat*, se soldaron dos borneras a la placa, cada una de dos terminales. Una de estas se utilizó para conectarle la tensión de alimentación del registrador, mientras la otra se usó para conectarle un interruptor que se encargaba de encender o apagar el registrador.

Finalmente, se destaca que el registrador posee dos salidas de tipo contacto seco por medio de relés de estado sólido para interactuar con componentes externos al mismo. Por lo tanto, para el armado del *CubeSat*, se soldaron otras dos borneras a la placa, cada una de dos terminales. En consecuencia, cada bornera quedó conectada a una de las salidas. Una de estas se configuró para

poder conectarle a su respectiva bornera un LED (rojo y de 3 mm) que destelle cuando el registrador esté encendido y operando. Este LED fue luego situado en la Interfaz del cubo. La otra salida del registrador no se utilizó en la experiencia.

La placa del registrador usado en el experimento se puede ver en la Figura 2.

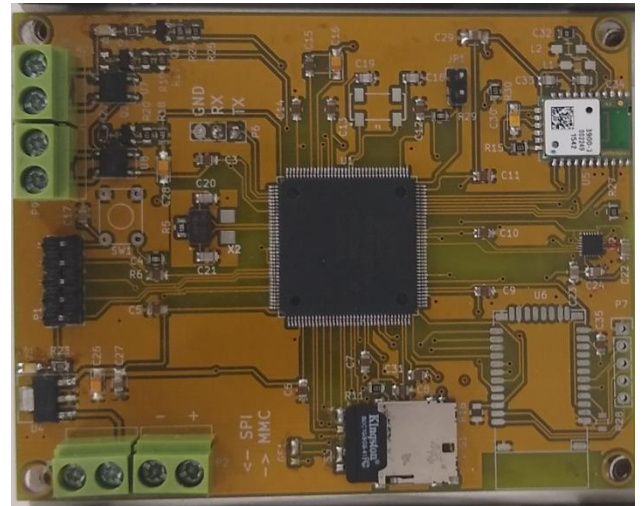


Figura 2. Vista superior del registrador de vuelo.

### 3.2.2-Batería de ion-litio

Esta batería tiene una capacidad de 3.000 mAh u 11,55 Wh, una tensión nominal de 3,85 VCC y es de marca Samsung. Según el consumo promedio de 200 mA del registrador de vuelo, esta batería es capaz de energizarlo por 15 horas en promedio. Esto significó que el *CubeSat* podría estar encendido por tiempos prolongados para almacenar datos de todas las fases de vuelo del aeroplano.

Según el estándar de diseño *CubeSat* proporcionado por el Proyecto Perlan [2], la batería que el equipo debía usar era una de tipo LiPo, de 6.000 mAh y con un conector JST. Sin embargo, se utilizó una batería Samsung ya que era adecuada para los fines del proyecto y por razones de disponibilidad, decisión que fue avalada por el Proyecto Perlan.

### 3.2.3-Cargador de batería de ion-litio

Es una placa genérica basada en el IC TP4056 [11], lo cual hace que sea un cargador de tipo lineal y de corriente constante y tensión constante. Esta placa tiene una intensidad de corriente de carga regulable por medio del valor de una resistencia. Para tener una carga rápida de la batería del *CubeSat*, se dejó la resistencia por defecto para permitir tener la corriente de carga máxima, la cual es de 1.000 mA.

Este cargador se alimenta del bus de +5VCC y posee dos LEDs integrados, uno rojo y otro verde, para supervisar el estado de la carga de la batería. El rojo se prende cuando la batería se está cargando y el verde se prende cuando la batería está completamente cargada. En cualquier otra situación, ambos están apagados.

Cabe destacar que se decidió utilizar este cargador para la batería de ion-litio según las normas y recomendaciones que del estándar de diseño del *CubeSat* para el Proyecto Perlan [2].

### 3.2.4-Interfaz

La interfaz está compuesta por un conector DB-9 hembra, un interruptor DPDT y dos LEDs de 3 mm, uno rojo y uno amarillo. Esto se puede ver en la Figura 3.



**Figura 3.** Fotografía de la interfaz del CubeSat.

Según el estado de los LEDs, la posición del interruptor DPDT y la conexión del cable de batería y datos, el sistema se puede encontrar en 3 estados. Estos se detallan en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Estados del sistema.

LED amarillo	LED rojo	Posición del interruptor	Cable de batería y datos	Estado del sistema
Apagado	Apagado	Izquierda (Carga)	Conectado	La batería está en proceso de carga.
Encendido	Apagado	Izquierda (Carga)	Conectado	La batería está completamente cargada
Apagado	Detallando	Derecha (Registro)	Desconectado	El <i>CubeSat</i> está registrando datos de vuelo

### 3.2.5-Cable de batería y datos

Este cable se compone principalmente de un convertor UART-USB, el cual es una placa basada en el controlador CP2102 [12]. Este convertor se conectó al cable y se situó en una caja negra pequeña para aislarlo del ambiente y darle practicidad al manejo del cable.

El cable de batería y datos posee en un extremo un conector DB-9 macho para poder conectarse con el *CubeSat*. En el otro extremo, posee un conector micro USB hembra para poder conectarse a un ordenador o a una fuente externa de energía. La estructura del cable se puede apreciar en la Figura 4.



**Figura 4.** Cable de batería y datos (izquierda) y fuente conmutada con cable micro USB a USB-A usada (derecha). Se aprecia en el extremo izquierdo del cable de batería y datos una caja negra (convertor UART-USB).

### 3.3.-Construcción, ensamble y armado del sistema

El Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa (CITEDEF), en función de su colaboración con nuestro grupo de trabajo, diseñó y fabricó el cubo. Por lo tanto, y siguiendo la dimensiones especificadas en las normas de diseño del *CubeSat* del Proyecto Perlan [2], se construyó el cubo utilizando aluminio en su totalidad. Se utilizó este material debido a su disponibilidad, liviandad y dureza. Las caras del cubo se fijaron con múltiples tornillos y se dejaron puntos de apoyo dentro del cubo para poder poner todos los componentes del sistema. Además, se diseñó el frente del cubo para que pueda alojar la interfaz de control.

Luego de esto, se procedió a situar todos los componentes dentro del cubo y realizar su interconexión. También se armó el cable de batería y datos. Se puede apreciar en la Figura 5 el *CubeSat* ensamblado parcialmente, donde se pueden apreciar los componentes.



Figura 5. Vista en perspectiva del *CubeSat* ensamblado parcialmente.

Finalmente, se armó completamente el cubo y se verificó que su peso no superara los límites especificados en el estándar de diseño del *CubeSat* del Proyecto Perlan [2]. Una vez cumplido ésto, se dispuso del cubo completo, el cual se puede visualizar en la Figura 6.



Figura 6. Vista en perspectiva del *CubeSat* ensamblado totalmente.

### 3.4.-Software E-VAN

Este programa, desarrollado en Python, se realizó como alternativa para poder descargar los datos del *CubeSat* por medio de una interfaz serial.

Para usar este software, se debe cargar previamente la batería del *CubeSat* en su totalidad. Luego, teniendo el cable de batería y datos conectado al cubo y a un ordenador, se debe poner al *CubeSat* en modo “registro”. Entonces, utilizando la interfaz por línea de comandos para ejecutar el programa, se obtiene inicialmente un mensaje, el cual se aprecia en la Figura 7.

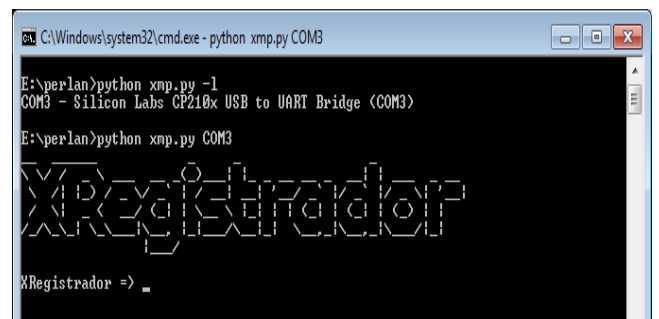


Figura 7. Saludo inicial del programa E-VAN.

Este programa admite varios comandos, los cuales se listan a continuación:

- **ls:** Lista todos los archivos en el directorio actual de la memoria del registrador de vuelo.

- **rm:** Elimina el archivo especificado como argumento de la memoria del registrador de vuelo.
- **get:** Descarga un archivo desde la memoria del registrador de vuelo al almacenamiento del ordenador en el directorio actual.
- **exit:** Configura al registrador de vuelo en modo de bajo consumo y sale del programa. El registrador de vuelo permanece en ese modo hasta que se lo apague y se lo vuelva a encender.
- **start:** Reinicia al registrador de vuelo para que pueda configurarse en modo “registro”.
- **status:** Muestra el valor retornado (un número entero) del último comando enviado.
- **help:** Lista todos los comandos disponibles.

Una vez descargados los datos, los mismos pueden ser procesados por medio de los programas MATLAB u OCTAVE.

### 3.5.-Pruebas del sistema y escritura del manual

Luego de haber construido el sistema y desarrollado el software E-VAN, se procedió a probar el funcionamiento completo del sistema. Después se escribió el manual de usuario del sistema [13], cumpliendo así con el estándar de diseño del *CubeSat* del Proyecto Perlan [2]. Este manual comprendió todos los detalles técnicos y operativos del sistema para que el equipo del Perlan II pudiera usarlo apropiadamente.

### 3.6.-Uso del sistema en la segunda misión del Proyecto Perlan y resultados obtenidos.

Durante la Misión II del Proyecto Perlan se realizaron varios vuelos con el aeroplano Perlan II, el cual se puede observar en la Figura 8.



**Figura 8.** Aeroplano Perlan II utilizado en la Misión II del Proyecto Perlan. Cortesía del Proyecto Perlan.

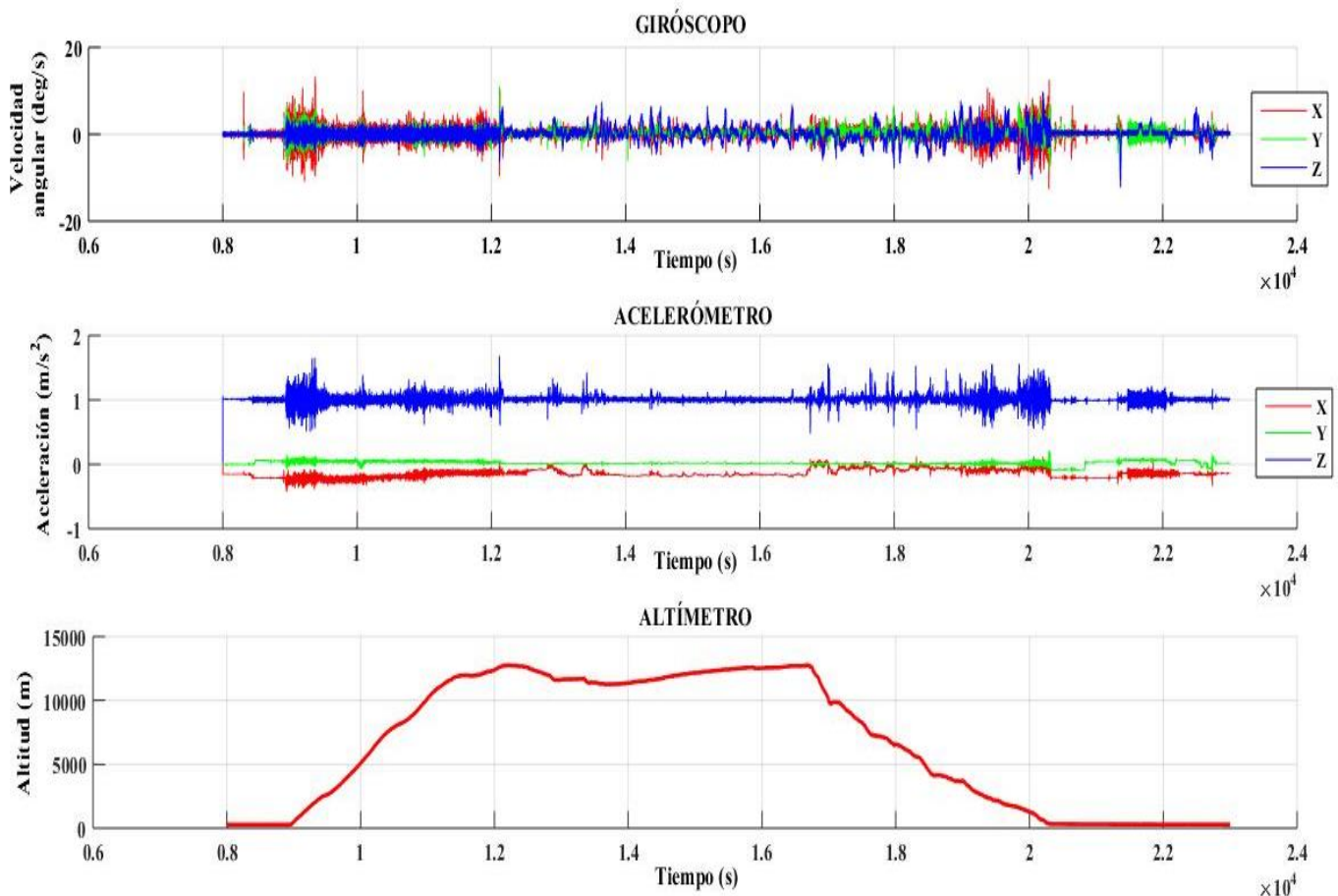
Estos vuelos llevaron a conseguir logros importantes. Por un lado, se consiguió 3 veces un nuevo récord mundial de altitud con un aeroplano, siendo el mayor de 76.124 pies (23,203 Km), superando incluso el récord obtenido por la aeronave motopropulsada U-2 Dragon Lady. El momento en que llegó a esta altitud se puede apreciar en la Figura 9.



**Figura 9.** Aeroplano Perlan II alcanzando su mayor récord mundial de altitud. Cortesía del Proyecto Perlan.

Por otro lado, la aeronave logró explorar partes de la atmósfera que habían sido inexploradas y obtuvo datos vitales sobre el clima, la atmósfera, los vuelos eficientes a grandes altitudes, cómo evitar turbulencias y detectar fuentes naturales de sustentación e incluso sobre la viabilidad de la exploración del planeta Marte por medio de un vehículo con alas.





**Figura 10.** Gráficos de resultados: Velocidad angular (arriba), aceleración lineal (medio) y altitud (abajo) del Perlan II en función del tiempo.

Luego de estos vuelos, se obtuvieron y procesaron los datos registrados por el *CubeSat*. En la Figura 10 se pueden visualizar tres gráficos, realizados en MATLAB, de los datos de velocidad angular, aceleración y altitud del aeroplano durante uno de sus vuelos y en función del tiempo.

No se pudieron obtener datos correctos del receptor GPS y del magnetómetro, lo cual se presume que se debió al material y la forma del *CubeSat* y de la bahía de carga del Perlan II.

## CONCLUSIONES

El sistema registrador de vuelo funcionó correctamente en los vuelos de la Misión II del Proyecto Perlan, con las salvedades que se indican más adelante. Esto permitió al sistema funcionar como una fuente de datos no solo para

los autores del trabajo sino que también para el equipo de la misión antes mencionada.

Además, el hecho de haber podido usar el sistema en el aeroplano verificó una vez más como el registrador de vuelo no solo se desempeña correctamente a bordo de vectores aéreos (para lo que fue inicialmente diseñado), sino que también lo puede hacer en otro tipo de vehículos, como aeronaves experimentales que desempeñan trayectorias atípicas en condiciones de vuelo extremas.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a Ed Warnock, Morgan Sandercock, Sandra Bazgan de Sandercock y a Linda Warnock del equipo del *Perlan Project* por haberles permitido participar en la *Airbus Perlan Mission II*.

Se quiere agradecer a Gerardo García y a Daniel Pastafiglia, profesionales del Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa (CITEDEF), por su asistencia y apoyo en las tareas realizadas.

Finalmente, los autores agradecen el apoyo de la Universidad Tecnológica Nacional que, a través del Proyecto de Investigación y Desarrollo (PID) N°4829, ha financiado parte de este trabajo.

## REFERENCIAS

- [1] **Perlan Project: Airbus Perlan mission II**, <http://www.perlanproject.org/>
- [2] **Airbus Perlan Mission II, 2018 CubeSat design specifications**, V.1.0., Revision: February 2018.
- [3] Larosa, F., Mignone, M., Castelucci Vidal, I., Fernández, M. (2017). **Dispositivo de adquisición y registro de datos para cohetes experimentales**. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Haedo, Haedo, Argentina.
- [4] Technical manual, **TP4056 1A Li-ion battery charger**, e-Gizmo Mechatronix Central, Rev. 1r0, 2016
- [5] **IMU MPU-9255 Product Specification**, InvenSense Inc, Revision: 1.0, Release Date: 09/14/2014.
- [6] Data sheet: Technical data, **MPL3115A2 I2C precision pressure sensor with altimetry**, NXP Semiconductors, Rev. 5.1 — 13 September 2016.
- [7] Product Specification, **GPS RADIONOVA® RF Antenna Module, Part No. M10478-A2-1**, Release Date 21 October 2015.
- [8] Product Data Sheet. **LPC435x/3x/2x/1x**, NXP Semiconductors, Rev. 5.3 — 15 March 2016.
- [9] Addison Wesley, **Patrones de Diseño**, E. Gamma et al, 251-259.
- [10] **SDCard Datasheet**, V1.2, Cypress Semiconductor Corporation, Revised October 8, 2012.
- [11] Product Data Sheet, **TP4056, 1A Standalone Linear Li-Ion Battery Charger with Thermal Regulation in SOP-8**, NanJing Top Power ASIC Corp.
- [12] Product Data Sheet, **CP2102/9, Single-chip USB-to-UART bridge**, Silicon Laboratories, Rev. 1.8 - January 2017.
- [13] *CubeSat* user manual, **Flight Data Recorder “FDR”, AIRBUS PERLAN MISSION II**, Grupo de Aplicaciones en Sistemas Embebidos, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Haedo, Haedo, Argentina, Revision 1.0, 5th March 2019.