

SOMI XXXIV

CONGRESO DE INSTRUMENTACIÓN

Año 6, No. 01, octubre 2019

ISSN 2395-8499

Plataforma de baja altitud para validación de tecnología aeroespacial “PEGASUS”

Mario Alberto Mendoza-Bárcenas

Centro de Desarrollo Aeroespacial, Instituto Politécnico Nacional
Belisario Domínguez 22, col. Centro, 06000, Ciudad de México, México
mmendozab@ipn.mx

Rafael Prieto-Meléndez

Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, Universidad Nacional Autónoma de México
Circuito exterior s/n, Ciudad Universitaria, 04510, Ciudad de México, México
rafael.prieto@icat.unam.mx

Juan Carlos Lara-López

Centro de Desarrollo Aeroespacial, Instituto Politécnico Nacional
Belisario Domínguez 22, col. Centro, 06000, Ciudad de México, México
juancarlos.lara.lopez@outlook.com

Juan Alberto Tamayo-Serrano

Centro de Desarrollo Aeroespacial, Instituto Politécnico Nacional
Belisario Domínguez 22, col. Centro, 06000, Ciudad de México, México
jualtase@hotmail.com

Antonio Rodríguez-Rosales

Centro de Investigación Científica y Tecnológica de Guerrero, A.C.
Río Atoyac 8 (L28), col. Vista Alegre, 39560, Acapulco de Juárez, Guerrero, México
aarosales@prodigy.net.mx

Jorge Luis Barahona-Ávalos

Universidad Tecnológica de la Mixteca
Carretera a Acatlima, km. 2.5, Huajuapán de León, Oaxaca, 69000, México
jbarahona@mixteco.utm.mx

Itzel Cristal Canseco-Jiménez

Fuente Productiva Renovable, FUPRESA, S.A. de C.V.
Camino Antiguo a Ixcotel, 114, Jalatlaco, 68080, Oaxaca de Juárez, Oaxaca
itzelccj@gmail.com

RESUMEN

Pegasus es un módulo tecnológico integrado por elementos de instrumentación electrónica, radiocomunicaciones, así como componentes de instalación y sujeción mecánica y protección térmica contenidos en una estructura semi piramidal hexagonal, en una arquitectura similar a un satélite pequeño de 1.5 unidades de cubesat. Para su validación experimental, dicho módulo es colocado a bordo de un parapente, mediante el cual se realizan vuelos de baja altitud, que permiten evaluar su desempeño operativo, particularmente en términos de robustez y de autonomía en altitudes cercanas a los 4,000 metros sobre el nivel del mar y en desplazamientos próximos a los 20 km.

La arquitectura de PEGASUS está integrada de subsistemas modularizados que conforman un rack interconectado con base en el estándar PC-104 de 32 bits, que contiene una computadora a bordo, basada en un microcontrolador comercial de 32 bits, una tarjeta de sensores que integra transceptores y dispositivos de medición de temperatura para el monitoreo interno y externo de la temperatura, un magnetómetro triaxial, un módulo de sensores de navegación inercial, el cual contiene un giróscopo, un magnetómetro y un acelerómetro para realizar mediciones inerciales durante el vuelo, un sistema de comunicaciones en la banda de 2.4 GHz, así como un banco recargable de suministro de energía eléctrica para la alimentación de los sistemas electrónicos a bordo.

Desde 2017 a la fecha se han realizado 4 vuelos exitosos de PEGASUS sobre territorio nacional; uno, sobre Valle de Bravo en el estado de México, otros dos sobre Malinalco, Estado de México y el último sobre la zona de los Valles Centrales en Oaxaca, validando experimentalmente los sistemas electrónicos de adquisición de datos y comunicaciones a bordo.

En los siguientes apartados se describirá de manera general la arquitectura, particularmente la correspondiente a la misión PEGASUS-4 y algunas de las pruebas realizadas en vuelo.

PALABRAS CLAVE: tecnología aeroespacial, prueba de concepto, instrumentación científica, parapente.

1 INTRODUCCIÓN

La práctica de vuelo en parapente es una de las formas de vuelo libre más comúnmente practicadas, con un estimado de 127,000 pilotos activos alrededor del mundo (2014). Suspendidos debajo de un ala aerodinámica, los parapentes ganan altitud por medio de las corrientes termales atmosféricas ascendentes convectivos y mediante el uso de la técnica de elevación originada por el viento reflejado sobre las superficies de las montañas [1], como se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Vuelo en parapente.

Considerando las altitudes que puede alcanzar un parapente durante su vuelo, de entre 3000 y 5000 metros, en función de la temporada del año y de las condiciones meteorológicas prevalecientes, así como un desplazamiento horizontal que puede variar entre los 20 y 100 km, el parapente además de una buena opción de entretenimiento y deporte, representa, para el área aeroespacial, una herramienta que resulta promisoría para la validación experimental de experimentos que involucran desde el desarrollo de instrumentación para la navegación inercial de vehículos aeroespaciales pequeños, así como para la validación operativa en vuelo autónomo de instrumentos y sistemas automatizados que requieren ser probados en condiciones aerodinámicas y climatológicas razonablemente intensas.

Adicionalmente a lo anterior, y, aún comparado con otras formas de validación en condiciones controladas en tierra, como el caso de los vuelos a la estratósfera utilizando sondas meteorológicas, el vuelo en parapente presenta grandes ventajas, particularmente en términos de su repetitividad, seguridad y relativo bajo costo.

PEGASUS es un programa de desarrollo tecnológico orientado al desarrollo de una herramienta tecnológica que coadyuva al desarrollo de pruebas de concepto para el diseño de futuras misiones espaciales, experimentos científicos y aprendizaje para el desarrollo de tecnología aeroespacial en México, impulsado por académicos del Centro de Desarrollo Aeroespacial del IPN y del Instituto de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico de la UNAM desde finales de 2017 y que ha contado con la inclusión de nuevos participantes y colaboradores académicos tanto en México como en España [2].

Actualmente, el módulo de experimentación científica y validación tecnológica PEGASUS, es un instrumento de investigación científica y desarrollo tecnológico aeroespacial mexicano, que tiene como principales objetivos, además de la verificación experimental de proyectos científicos en condiciones relativamente similares a las presentes en el espacio, servir como plataforma de desarrollo y herramienta didáctica para el impulso de la tecnología nacional en el área aeroespacial, así como la formación de recursos humanos en un área de gran proyección a nivel mundial.

PEGASUS es una plataforma tecnológica de dimensiones equivalentes a 1.5 unidades de Cubesat con una arquitectura similar a la de un satélite pequeño, integrada por tres elementos principales: estructura, plataforma y carga útil, según se muestran en la figura 2.

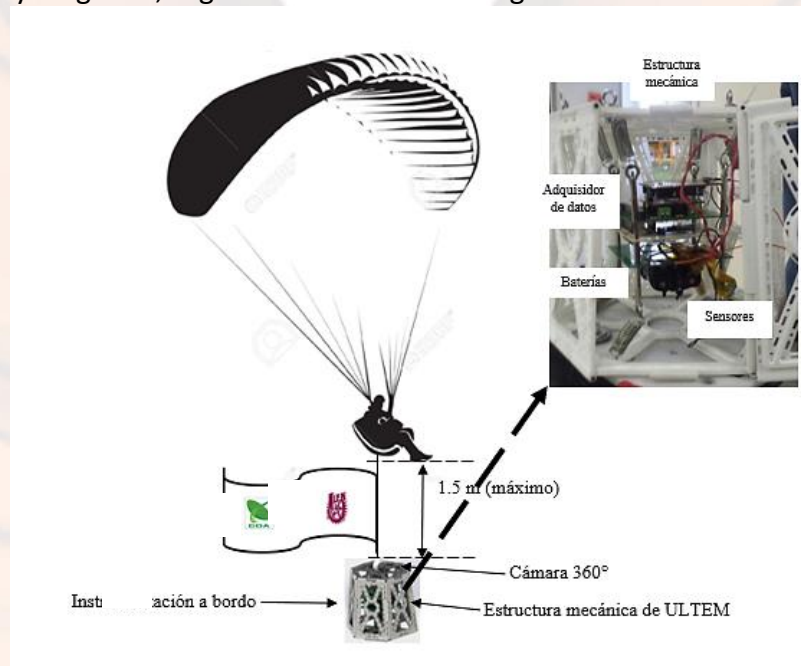


Figura 2. Montaje del módulo PEGASUS a bordo de un parapente.

Para la realización de las pruebas experimentales, PEGASUS viaja a bordo de un parapente, el cual permite realizar vuelos de larga duración, casi en cualquier punto geográfico, lo que brinda un tiempo suficiente de visualización para la evaluación del desempeño de los sistemas electrónicos y/o experimentos que se prueban, así como la ventaja de la recuperación del instrumento, para la realización de posibles ajustes técnicos de hardware y software.

En detalle, algunos de los componentes que contiene la plataforma PEGASUS son los que se muestran en la figura 3.

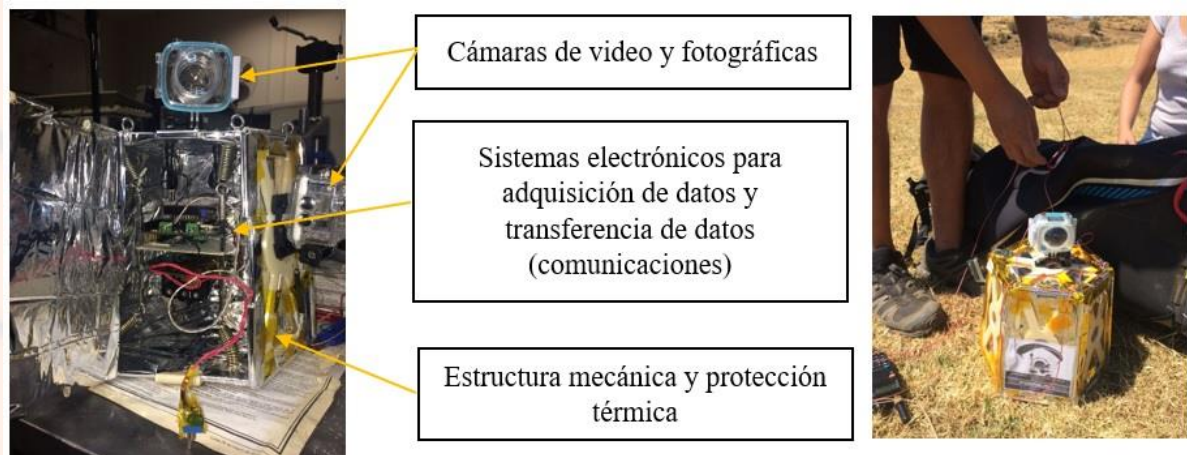


Figura 3. Descripción de los principales elementos de PEGASUS.

Las capacidades que tiene la plataforma PEGASUS permiten realizar algunos de experimentos, aunque no limitativos, que se describen en la figura 4.

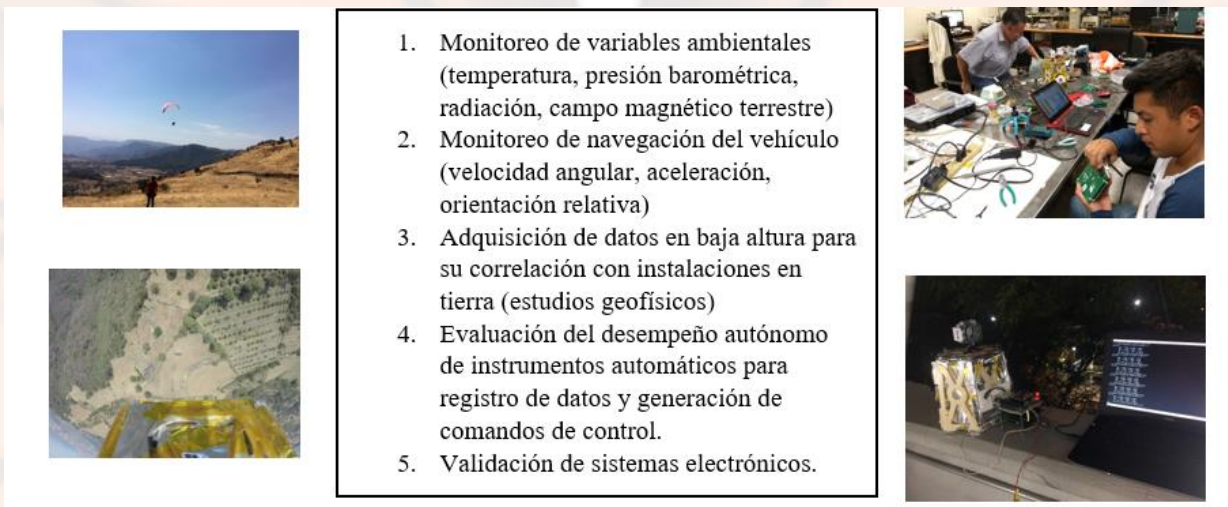


Figura 4. Potenciales aplicaciones de la plataforma PEGASUS.













Actualmente se han realizado tres misiones exitosas de la plataforma PEGASUS en diferentes puntos de México, como se resume en la tabla 1.

SOMI XXXIV

CONGRESO DE INSTRUMENTACIÓN

Año 6, No. 01, octubre 2019 ISSN 2395-8499

Tabla 1. Resumen de misiones PEGASUS.

<i>Programa PEGASUS</i>			
Misión	Fecha y lugar de lanzamiento	Ruta y datos de navegación	Imágenes
 <p>PEGASUS-1</p>	<p>16 de diciembre, 2017</p> <p>Valle de Bravo, Edo. de México</p>		
 <p>PEGASUS-2</p>	<p>17 de febrero, 2018</p> <p>Malinalco, Edo. de México</p>		
 <p>PEGASUS-3</p>	<p>25 de febrero, 2018</p> <p>Malinalco, Edo. de México</p>		
 <p>PEGASUS-4</p>	<p>16 de febrero de 2019</p> <p>Zona de valles centrales de Oaxaca, Oaxaca, México</p>		

2 OBJETIVOS DEL PROGRAMA PEGASUS

- Validación experimental de un Sistema de Adquisición de Datos integrado a partir de componentes comerciales, orientado al registro de variables ambientales, particularmente temperatura del aire, campo geomagnético, así como variables de navegación inercial, registro fotográfico y de video.
- Validación experimental de un esquema de comunicación en la banda de 2.4 GHz, para la transmisión de telemetría y datos entre el sistema a bordo y una estación terrena móvil.
- Pruebas experimentales para la evaluación de componentes del sistema de comunicaciones, particularmente polarización de las antenas, alcance, potencia y velocidad de transmisión.
- Pruebas operativas de validación de cargas útiles de instituciones que requieren probar sensores y otros sistemas de instrumentación electrónica bajo condiciones ambientales y dinámicas similares a las que se experimentan a bordo del módulo suspendido en un parapente.

3 ARQUITECTURA DE PEGASUS

La arquitectura del módulo PEGASUS-4, que se muestra en la Figura 5, está integrada por los siguientes bloques: un banco de baterías para el suministro de energía eléctrica a bordo, la computadora de vuelo SADM-1.2 [3] basada en el microcontrolador PIC32MX340F512H [4] de 32 bits, un módulo de comunicaciones de largo alcance basado en los radio módems operando en la banda de 2.4 GHz [5], así como un módulo o módulos de expansión para la incorporación de experimentos a bordo (carga útil).

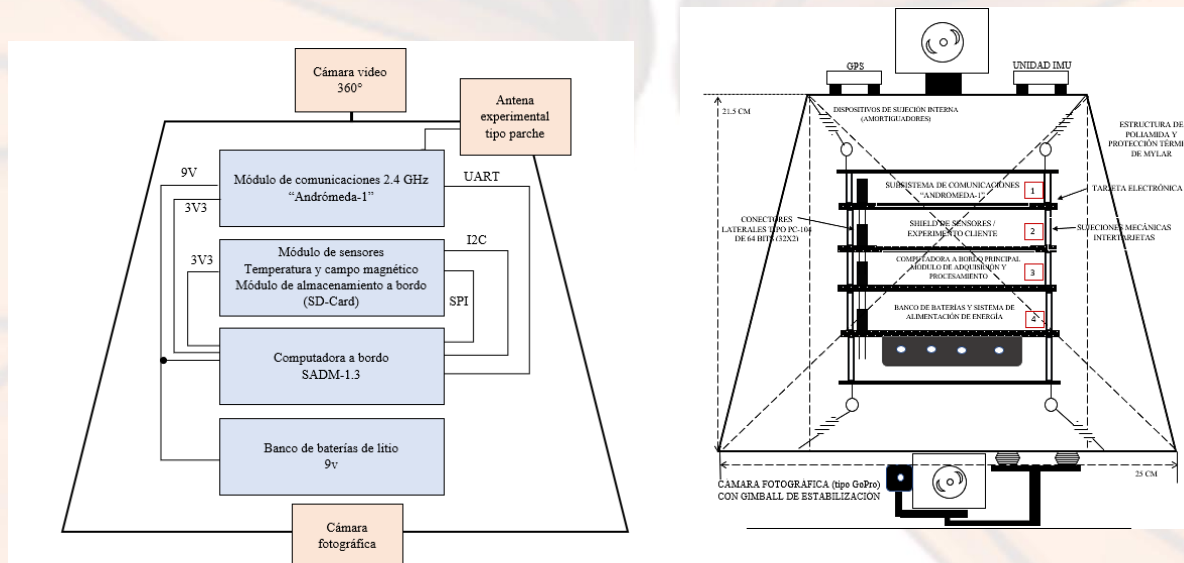


Figura 5. Arquitectura del módulo PEGASUS-4.

En la arquitectura de PEGASUS, mostrada en la Figura 6, destaca la incorporación del módulo de comunicaciones “ANDRÓMEDA-1”, que en sus primeras etapas de operación permitirá la transmisión de datos de telemetría del instrumento hacia una estación móvil en tierra, para la visualización de datos y su almacenamiento en una base de datos local.

Se estima que para la realización de la misión PEGASUS-5, se estará en capacidad de transmitir en tiempo real (y en sentido bidireccional), además de la telemetría a bordo, datos y telecomandos que permitan emular un esquema de comunicaciones similar al empleado en una misión espacial real, como se muestra en la figura 6. Dicho ejercicio, además, permitirá considerarlo como una prueba de concepto para la integración de un sistema de comunicaciones multimisión para vehículos aeroespaciales pequeños.

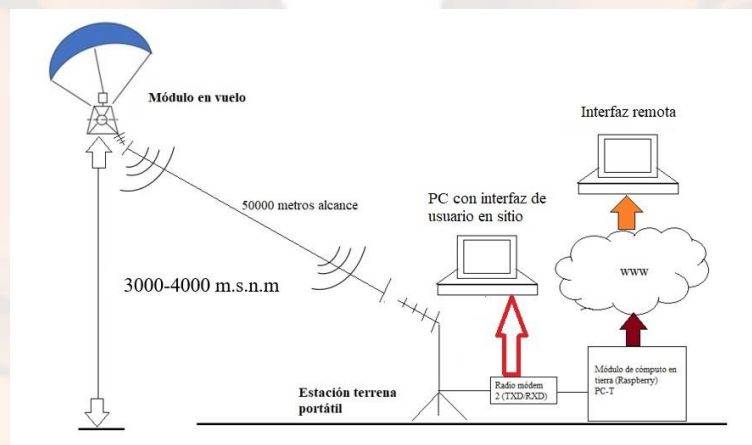


Figura 6. Aspectos generales del sistema de comunicaciones a bordo del módulo PEGASUS.

El subsistema de comunicaciones “ANDRÓMEDA-1” está integrado a partir de un par de radio módems de la PICO SERIE P2400 de MicroHard®, los cuales, entre poseen entre otras características las siguientes:

- Operación en banda de frecuencia de 2.4 GHz (2.400-2.4835 GHz)
- Salida de potencia máxima de 1 W (ajustable)
- Temperatura de operación en un intervalo de -40°C a 85°C
- Alcance de operación: 50 km
- Tasa de comunicación serie: 300 a 230.4 kbps
- Consumo de energía:
 - Modo standby: 20 mA
 - Recepción: 45 a 98 mA
 - Transmisión (picos): 2 A

El diseño de la tarjeta madre que contiene al P2400 fue desarrollado por estudiantes del IPN y supervisado por académicos del IPN y la UNAM, y que se muestra en la figura 7.



Figura 7. Tarjeta madre “ANDRÓMEDA-1” que integra al radiomódem P2400.

En general, la función básica que realiza la tarjeta madre del sistema “ANDRÓMEDA-1” está orientada, en primer lugar, a brindar soporte mecánico al radiomódem al interior de la estructura de PEGASUS, así como servir como interfaz con respecto a la computadora a bordo principal de la plataforma PEGASUS-4 (OBC-SADM).

El microcontrolador que integra ANDRÓMEDA-1, permite tanto la configuración del módem, así como su manejo remoto, por parte de la OBC principal por medio de comandos.

Adicionalmente, ANDRÓMEDA-1 integra un segmento terreno, compuesto por una antena tipo parabólica de alta ganancia, la cual está conectada a un segundo radio módem y a un Gateway, para la futura distribución de datos por medio de herramientas de conexión a la nube (internet).

4 INTEGRACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN DE PEGASUS (PEGASUS-4)

Previo al lanzamiento de PEGASUS-4 a bordo del parapente, se realizaron algunas tareas de preparación en el Laboratorio de Modelado y Simulación de Procesos en el ICAT-UNAM de la instrumentación que se volaría, entre ellas, el reforzamiento de la protección térmica de Mylar, para la protección de la instrumentación electrónica instalada al interior de la estructura, así como la revisión eléctrica de las tarjetas electrónicas que integrarían al instrumento. El montaje final del instrumento quedó como se muestra en las figuras 8 a y b.



a)

b)

Figura 8. Vista del módulo PEGASUS-4. a) Vista externa y b) Vista interna.

5 PRUEBAS DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES DE PEGASUS

Como parte de la etapa preparativa al desarrollo de la misión PEGASUS-4, y considerando que uno de los principales objetivos de esta misión es iniciar con pruebas experimentales de un módulo de comunicaciones para la transferencia en tiempo real de datos y telemetría a bordo hacia una estación en tierra, se realizaron algunos experimentos tanto en laboratorio como en sitio. En sitio desde dos puntos distantes en la ciudad de México.

En ambos casos, el esquema de pruebas estaría basado en probar el alcance de los equipos, así como evaluar cualitativamente la tasa de errores que se presentaba durante la transmisión de datos (una cadena de caracteres) de un punto a otro. El esquema estaba integrado, según se describe en la figura 9.

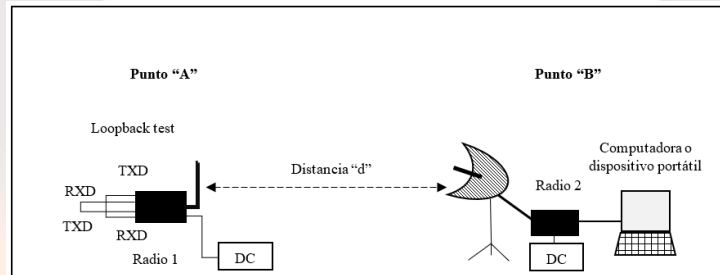


Figura 9. Arreglo experimental para pruebas remotas y en laboratorio.

El tipo de prueba utilizó una conexión “loop”, en el cual uno de los radios (1) tenía una conexión con sus terminales de recepción (RXD) y transmisión (TXD) dispuestas de tal manera que, la información que le llegara del radio (2) era retransmitida, permitiendo verificar en el punto “B” la transmisión y recepción de la cadena de caracteres, así como visualizar el posible retraso en su recepción, validando cualitativamente el esquema de comunicación entre el punto “A” y el punto “B”.

En la práctica, se realizó un primer experimento, realizando un enlace entre uno de los edificios del conjunto principal de la Facultad de Ingeniería en Ciudad Universitaria y el ICAT-UNAM. De acuerdo con los datos proporcionados por Google earth® la distancia alcanzada fue de aproximadamente 1 km en línea de vista.

Un segundo experimento consistió en ampliar la distancia entre los equipos de radio, tratando de realizar un radioenlace entre un punto ubicado dentro de una propiedad particular en la zona de San Pedro Mártir, Tlalpan (sur de la ciudad de México) y el ICAT-UNAM en CU. Lo anterior, debido a que el sitio seleccionado, cuenta con características geográficas que permiten tener una línea de vista adecuada para su enlace con el punto en la UNAM, como se indica en la figura 10.

En términos generales las pruebas realizadas mostraron un desempeño bueno en cuanto a la recepción de los datos (cadenas de caracteres) a partir del punto en el que se generaron. Con la consideración de que, dentro de un cono de apertura de unos +/- 10° aproximadamente, del punto de transmisión con respecto al punto de repetición, no existió pérdida importante de datos. No obstante, fuera de este cono, sí se presentaba una alta tasa de pérdidas y, en algunos casos se presentó la pérdida total de enlace entre los equipos.

Las pruebas anteriores, aunque no contaron con la rigurosidad para el registro cuantitativo de pérdida de datos, permitieron comprobar experimental y cualitativamente el alcance y desempeño de los equipos durante una transmisión de datos, un esquema similar al que sería probado después en vuelo a bordo del parapente.

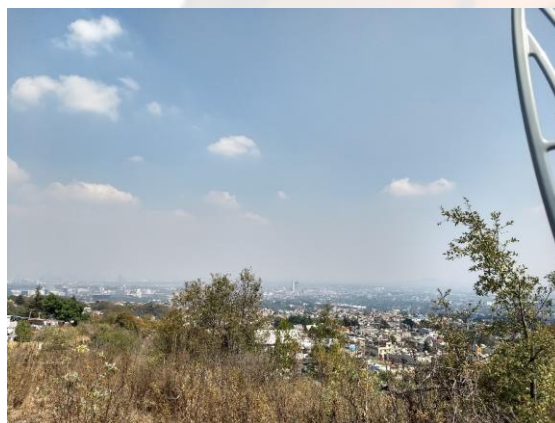
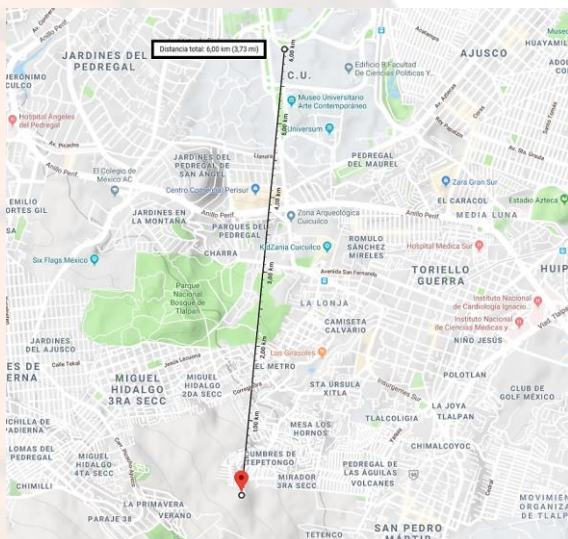


Figura 10. Puntos de prueba para experimentos de radioenlace con los equipos de PEGASUS-4.

6 VUELO EXPERIMENTAL DE PEGASUS-4 EN VALLES CENTRALES DE OAXACA

La misión tuvo su punto de lanzamiento en el municipio de Santa Inés del Monte, en la zona de los valles centrales de Oaxaca, específicamente en el poblado conocido como “la Lobera”, ubicado a 2325 metros de altitud, y en donde se encuentra una plataforma de despegue para parapentes. En dicha zona, se ubicó también la antena de la estación terrena a partir de la cual, con el uso de un dispositivo móvil (Tablet) se pudo monitorear la adquisición de los datos del PEGASUS en vuelo, como se describe en las figuras 11 y 12.

SOMI XXXIV

CONGRESO DE INSTRUMENTACIÓN

Año 6, No. 01, octubre 2019

ISSN 2395-8499



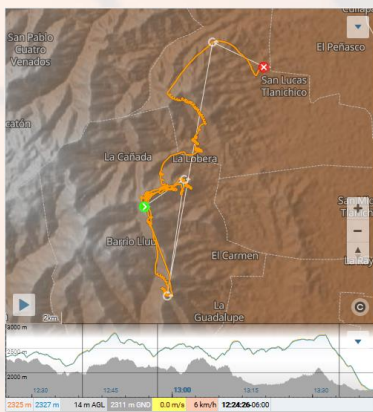
Figura 11. Módulo PEGASUS-4 en preparación para el vuelo.



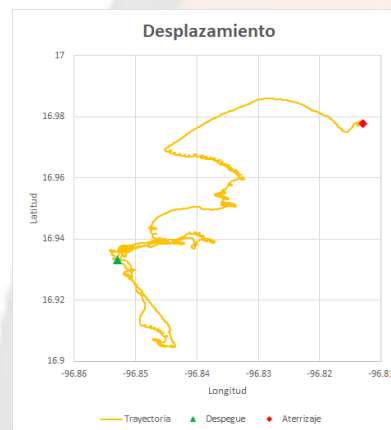
Figura 12. Módulo PEGASUS-4 a bordo del parapente.

7 RESULTADOS

Luego del vuelo del PEGASUS-4 realizado en parapente sobre la zona de valles centrales de Oaxaca a bordo del parapente, se analizaron los datos registrados a bordo. Con los datos de los instrumentos a bordo y de los sensores montados en el módulo PEGASUS-4, fue posible realizar la reconstrucción del desplazamiento y otras variables ambientales, a partir de los sensores instalados en el módulo en vuelo, conforme se describe en las figuras 13 a) y b).



a)



b)

Figura 13. Desplazamiento del PEGASUS-4 a bordo del parapente.

a) Gráfica obtenida con los instrumentos del piloto b) Gráfica obtenida con el GPS a bordo.

Adicionalmente, se obtuvieron datos de altitud, temperatura al interior y exterior de la estructura, así como datos de un magnetómetro comercial, con los cuales fue posible obtener las gráficas que se muestran en las figuras 14, 15 y 16.

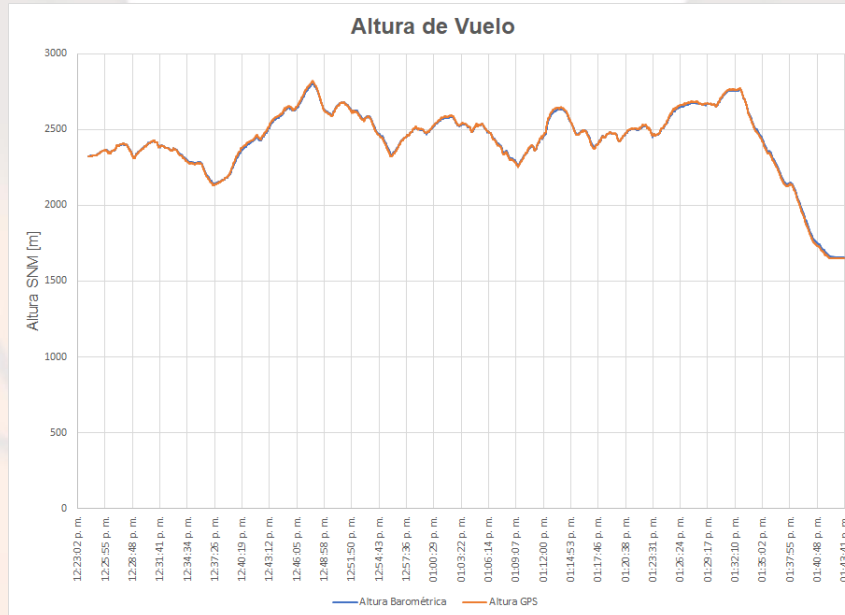


Figura 14. Altitud registrada por el módulo PEGASUS-4.

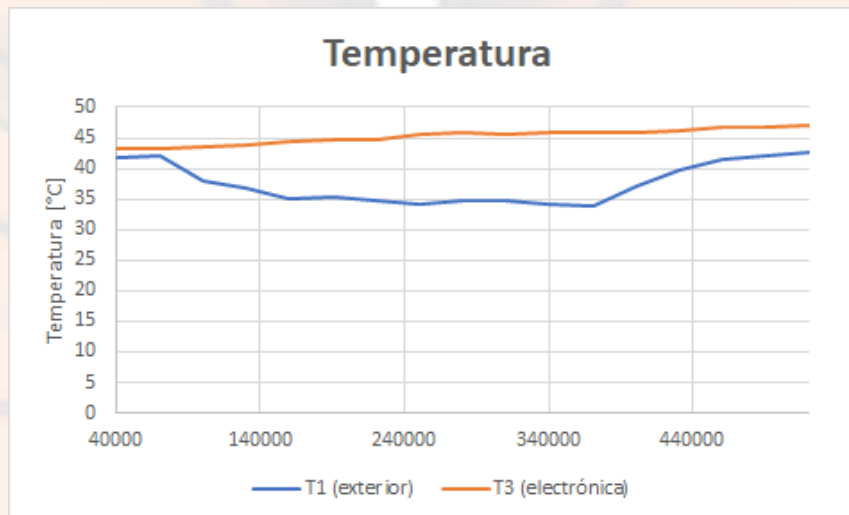


Figura 15. Temperatura del aire interior y exterior registrada por el módulo PEGASUS-4.

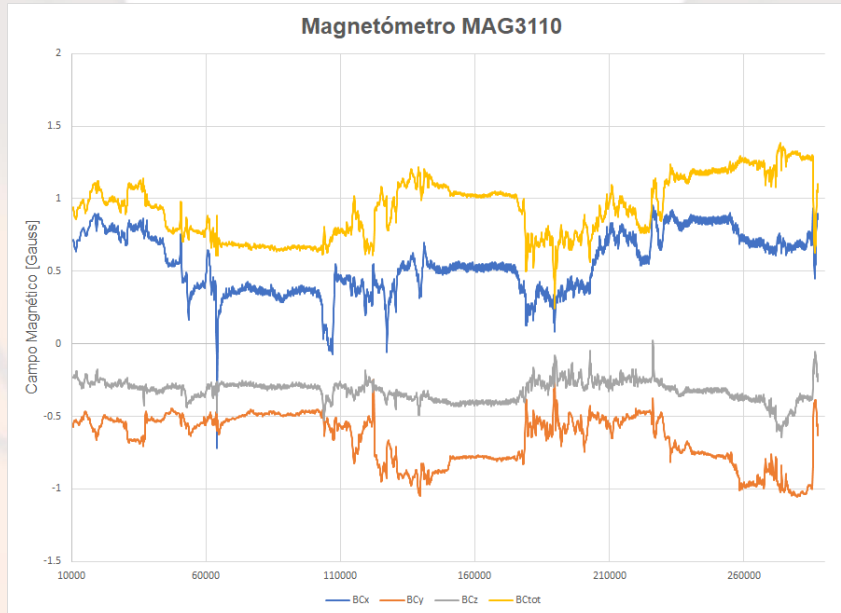


Figura 16. Temperatura del aire interior y exterior registrada por el módulo PEGASUS-4.

Como es posible observar de las gráficas anteriores, los datos almacenados en la memoria a bordo del módulo PEGASUS-4, permitieron reconstruir prácticamente durante todo el tiempo de vuelo, cada una de las variables ambientales requeridas, permitiendo con ello validar exitosamente desde el montaje mecánico de las tarjetas electrónicas. Este aspecto es importante, ya que, con base en los sensores a bordo, se alcanzaron picos de 2.5 durante el recorrido, como se observa en la figura 17, lo cual, nos permite observar que el montaje mecánico fue el adecuado garantizando la conexión eléctrica entre tarjetas y la supervivencia de los elementos electrónicos a bordo.

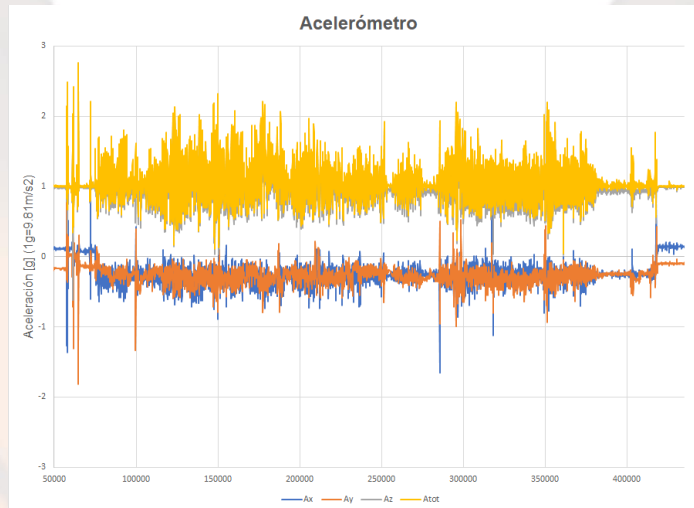


Figura 17. Datos de aceleración registrada por el módulo PEGASUS-4 durante el vuelo.

8 CONCLUSIONES

PEGASUS representa una iniciativa que permite realizar ensayos y pruebas operativas a sistemas de instrumentación electrónica en una amplia gama de aplicaciones que requieran evaluar su desempeño en términos de autonomía y funcionamiento bajo condiciones ambientales dinámicas, abarcando desde estudios científicos hasta pruebas de validación de nuevas tecnologías.

En las primeras pruebas, PEGASUS ha demostrado ser una plataforma que permite, además de la exploración y prueba de nuevas tecnologías en cuanto a sensores, dispositivos lógicos e implementos mecánicos, servir como una herramienta para la participación de otros grupos académicos e instituciones que puedan aprovechar la plataforma para la realización de experimentos sencillos y de bajo costo, que coadyuven además a la formación de capital humano en México, en un área de gran proyección a nivel mundial.

9 AGRADECIMIENTOS

Se agradecen y reconocen las subvenciones otorgadas por la empresa FUPRESA, S.A. de C.V. para el desarrollo de las misiones PEGASUS-4 y PEGASUS-6 en el estado de Oaxaca, lo cual, permitirá detonar la conformación de un esquema de colaboración institucional y gubernamental de gran alcance a nivel regional y nacional.

SOMI XXXIV

CONGRESO DE INSTRUMENTACIÓN

Año 6, No. 01, octubre 2019

ISSN 2395-8499

10 BIBLIOGRAFÍA

- [1] http://www.freeflightbrighton.co.uk/Pages/Theory_Flight.html . Último acceso: 22 de agosto de 2019.
- [2] Mendoza Bárcenas, M.A.. et.al. "Simulación dinámica precisa y optimización de trayectoria de globos estratosféricos". SOMI XXXII Congreso de Instrumentación. Acapulco, Guerrero, México. 25 al 27 de octubre de 2017. Año 4, No.1. Octubre, 2017. ISSN 2395-8499.
- [3] Mendoza Bárcenas, M.A.. et.al. "Módulo experimental de carga útil SADM-1 para fines de exploración atmosférica". SOMI XXXII Congreso de Instrumentación. Acapulco, Guerrero, México. 25 al 27 de octubre de 2017. Año 4, No.1. Octubre, 2017. ISSN 2395-8499.
- [4] https://www.microchip.com/DevelopmentTools/ProductDetails/TDGL017#utm_source=MicroSolutions&utm_medium=Link&utm_term=FY17Q2&utm_content=ThirdParty&utm_campaign=Article. Último acceso: 21 de agosto de 2019.
- [5] <http://www.microhardcorp.com/P2400.php>. Último acceso: 25 de agosto de 2019.