

Diseño e Implementación de un CanSat para Adquisición de Parámetros Ambientales

Alvaro R. Loa Segura, Jose L. Torrez Caviña, Josoe E. Ichuta Tuco

Facultad de Ingeniería, Instituto de Electrónica Aplicada

Universidad Mayor de San Andrés

La Paz - Bolivia

alva_loa@hotmail.com

123ieaandolu@gmail.com

ichuta.josoe@gmail.com

Abstract— Los avances tecnológicos han permitieron que los centros de estudio promuevan el desarrollo de misiones satelitales educativas, debido a que son procesos complejos, multidisciplinarios y colaborativos. Dentro de este contexto, los proyectos CanSat, que consisten en la elaboración de sondas de tamaño reducido con dimensiones similares a las de una lata de refresco de 230 ml, cobran gran relevancia, ya que permiten a los estudiantes adquirir conocimientos y habilidades en el diseño, construcción y lanzamiento de satélites educativos.

Palabra Claves: Centros de estudios. CanSat. Multidisciplinarios.

I. INTRODUCCIÓN

Para el artículo se desarrolló de un prototipo de un satélite educativo denominado UMSAT, el cual pertenece a la categoría de "CanSat". Cada subsistema del UMSAT fue diseñado con placas PCB empleando componentes de electrónica SMD, integrando un solo sistema para cumplir la misión del proyecto. El satélite cuenta con: cámara fotográfica, memoria interna para almacenar su telemetría, GPS para reportar su posición real y sensores para monitorear el ambiente que lo rodea. Se compone de: Subsistema de Computador a bordo, subsistema de comunicaciones, telemetría, potencia eléctrica y subsistema de estructura.

El UMSAT fue sometido a prueba en la localidad de Amachuma (cerca de la estación terrena del Satélite Boliviano TKSAT-1), mediante un globo meteorológico el cual se elevó alcanzando la atmósfera terrestre y explotando a una altitud de 42 km. Durante su ascenso se recibieron datos de telemetría en tiempo real e imágenes a través de telecomandos en la estación terrena conformada por una antena Yagi, transceptor LoRa, computador e interfaz gráfica de usuario. Se puso a prueba el software de vuelo que controla el comportamiento del UMSAT y el software implementado en la estación terrena, cumpliendo su función para la cual fue programada.

Este proyecto tiene como objetivo fomentar la cultura científica en estudiantes y desarrollar habilidades en el uso de programas informáticos, lo que permite implementar software propio de desarrollo científico y tecnológico. La utilización de satélites educativos como CanSat (UMSAT), permite a estudiantes elaborar modelos, definir reglas, inventar, crear, evaluar y resolver problemas con herramientas informáticas, generando así un interés en esta área de investigación. El proyecto UMSAT representa una alternativa para la formación

en ciencias y tecnología en las áreas de ingeniería e informática.

Un CanSat es una simulación de un satélite real, integrado dentro de un volumen cilíndrico en forma de una lata de refresco [1], esta se compone de los siguientes subsistemas representados en la Fig. 1.

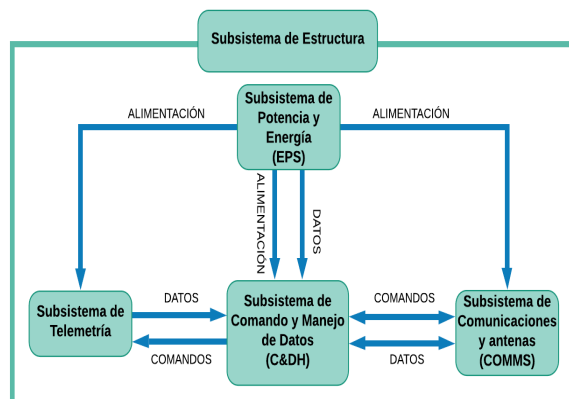


Fig. 1. Diagrama de bloques UMSAT.

II. DESCRIPCIÓN DE SUBSISTEMAS DEL CanSat

De acuerdo a la anterior figura el UMSAT diseñado está conformado por cinco subsistemas [2]:

- Subsistema de Telemetría
- Subsistema de Comunicación y antena COMMS
- Subsistema de Potencia Eléctrica (EPS)
- Subsistema de Computador a bordo
- Subsistema de Estructura

A. Subsistema de Telemetría

Los sensores integrados en el UMSAT cumplen la función de medir y registrar parámetros ambientales y específicos del satélite, como temperatura ambiente, presión barométrica, corriente eléctrica, voltaje, aceleración, velocidad angular y campo magnético en sus tres ejes cartesianos (x,y,z). Además, se incluye cámara fotográfica y una baliza lumínica de color roja con LED de alta luminiscencia para facilitar su localización a grandes distancias, finalmente un módulo GPS para rastrear su posición, todos estos dispositivos son los encargados de generar la telemetría con la cual responde el UMSAT con dirección a la estación terrena.

Las características técnicas de los componentes seleccionados, soportan cambios extremos de parámetros ambientales. Estos se muestran en la Fig 2. Cuyo diseño final del PCB es un requerimiento para un CanSat, la Fig 3.



BMP 280: El sensor de presión barométrica BMP280 permite medir la altura respecto al nivel del mar, su funcionamiento está basado en la relación entre presión del aire y la altitud. El BMP280 es la evolución del BMP180, posee alta precisión y un bajo consumo de energía. El BMP280 ofrece un rango de medición de 300 a 1100 hPa (Hecto Pascal).

TMP117: Tarjeta sensor de temperatura basada en el chip TMP117, con conector tipo Qwiic e interfaz I2C. Rango de temperatura máximo: -55 a 150C.

INA219: El sensor INA219 es un chip de Texas Instruments capaz de monitorizar el consumo de energía de un dispositivo. Lo hace midiendo la caída de tensión de una resistencia en derivación o resistencia shunt.

MPU 9250: Módulo basado en el sensor IMU MPU9250 contiene todo lo necesario para realizar rastreo de movimiento de 9 ejes (9 DoF). Combina un giroscopio de 3 ejes, un acelerómetro de 3 ejes y un magnetómetro de 3 ejes en un mismo chip. Integra un DMP (Procesador digital de movimiento) capaz de realizar complejos algoritmos de captura de movimiento de 9 ejes. Se comunica con microcontroladores a través de una interfaz I2C y posee una librería muy difundida para su uso inmediato. Este sensor puede entregar 9 grados de libertad e incorpora un regulador de voltaje a 3.3V en placa además de resistencias pull-up para su uso directo por I2C. Para una captura precisa de movimiento rápido y lento, posee un rango de escala programable de 250/500/1000/2000 grados/seg para el giroscopio, 2g/4g/8g/16g para el acelerómetro y $\pm 4800\mu T$ para el magnetómetro.

Cámara C1098: El c1098 JPEG de compresión de memoria, funciona como una cámara de vídeo o un comprimido de JPEG y puede ser conectado a un host inalámbrico o PDA. Los usuarios pueden enviar una instantánea comando de la host a fin de capturar una imagen Full resolución single-frame aún.

GPS NEO-8M: La serie NEO-M8 utiliza la recepción simultánea de hasta tres sistemas Global Navigation Satellite

System (GPS/Galileo junto con BeiDou o GLONASS), reconoce varias constelaciones simultáneamente y proporciona una precisión de posicionamiento sobresaliente en escenarios en los que participan cañones urbanos o señales débiles. Para una mejora de posicionamiento aún mejor y más rápida, la serie NEO-M8 admite el aumento de QZSS, GAGAN e IMES junto con WAAS, EGNOS, MSAS.

Fig. 2. Componentes del Subsistema de Telemetría

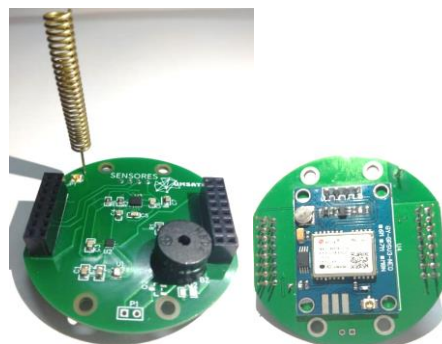


Fig 3. PCB del subsistema de Telemetría

B. Subsistema de Comunicación y antena COMMS

Este subsistema se encarga de realizar el enlace entre el UMSAT y la estación terrena mediante un canal de conexión.

Permite la transmisión de telemetría y la recepción de tele comandos, lo que resulta esencial para la operación exitosa del UMSAT.

Esto se adquiere a través de una antena y un transceptor de tecnología LoRa (Long Range) [3] para el empaquetado y su posterior transmisión/recepción hacia la estación terrena. El PCB final se muestra en la Fig. 4

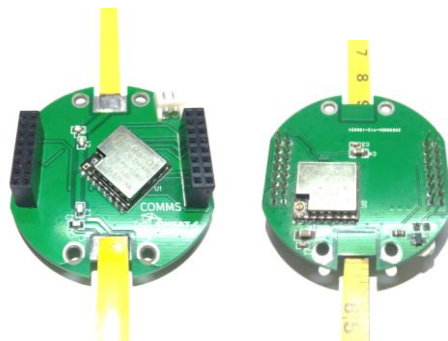


Fig 4. PCB del subsistema de Comunicación y antena

C. Subsistema de Potencia Eléctrica (EPS)

Se encarga de administrar y regular la energía eléctrica a los demás subsistemas de forma continua con 3V y 5V. lo conforma una batería, paneles solares y placa de circuito PCB en la cual se integra toda la electrónica requerida. La Fig. 5 muestra el diagrama de la EPS, la Fig. 6 el PCB final de la EPS.

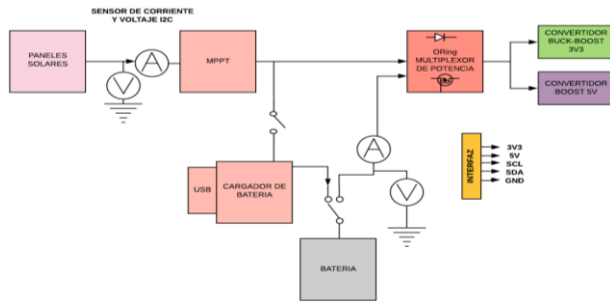


Fig 5. Diagrama de la EPS.



Fig 6. Diseño del PCB final de la EPS.

D. Subsistema de Computador a bordo

Tiene la función de recolectar los datos adquiridos por los sensores del subsistema de telemetría, los procesa y envía al Subsistema de Comunicaciones y Antenas para su posterior transmisión a la estación terrena. Además, se encarga de ejecutar tele comandos recibidos desde la estación terrena.

La Fig. 7 muestra los distintos componentes que son controlados por el microcontrolador ARM (STM32f103RCT6) [4]. En particular, se incluye una memoria microSD Card para el almacenamiento interno de la telemetría, un módulo GPS para la geolocalización precisa del UMSAT, una cámara fotográfica para la captura y transmisión de imágenes a tierra, de igual manera controla los sensores, la capacidad de carga de batería. Estos componentes tienen la finalidad de obtener información detallada acerca de las condiciones ambientales y del rendimiento del UMSAT.

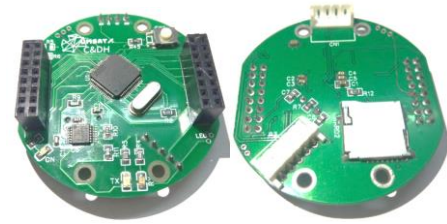
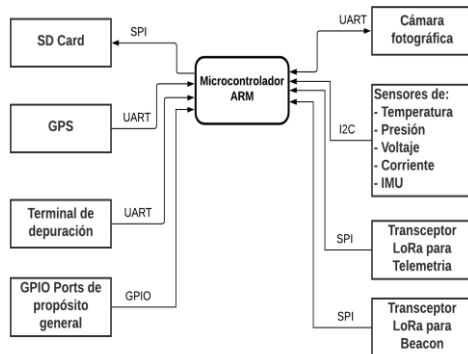


Fig. 7. PCB y Componentes controlados por el Computador a Bordo

El firmware para el microcontrolador se desarrolla empleando el lenguaje C, por su amplia disponibilidad de herramientas y por la facilidad de acceso a las características de bajo nivel.

La Fig. 8 muestra la secuencia del software de vuelo consiste en una serie de acciones a realizar en un tiempo determinado. Para el UMSAT, se diseñó la siguiente secuencia de eventos tomando en cuenta los requerimientos que se deben cumplir en una típica competencia CanSat. Lo cual indica “Todos los componentes del UMSAT deberán caber dentro de una lata de refrescos convencional (de 115 mm de alto y 66 mm de diámetro)” [15]. Esta secuencia, se activan de acuerdo a la situación en la cual se encuentra el UMSAT, como ser el estado de ahorro de energía, estado de transmisión de telemetría y recepción de tele comandos, estados de transmisión de imágenes a la estación terrena y el estado de emergencia en esta se activa una alarma de alerta de falla.

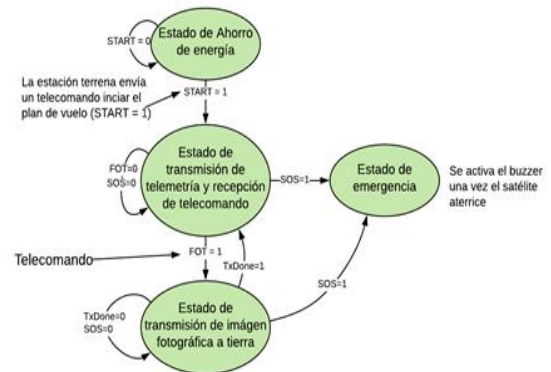


Fig. 8. Diagrama de estado del software de vuelo.

E. Subsistema de Estructura

Este subsistema se encarga de proporcionar soporte y seguridad a los componentes del UMSAT durante el proceso de lanzamiento y descenso con paracaídas, ofreciendo protección contra perturbaciones, impactos, cambios bruscos de temperatura, entre otros factores. La estructura depende de la aplicación y complejidad de su misión. En el caso específico de un CanSat, la estructura debe tener la forma de una lata de refresco de 350 ml, con una altura de 115 mm y un diámetro de 66 mm. Para su fabricación, se utiliza una impresora 3D con material plástico fuerte, flexible y

duradero ABS (acrilonitrilo, butadieno, estireno), aprovechando sus propiedades. La Fig. 9 muestra el diseño de la estructura.

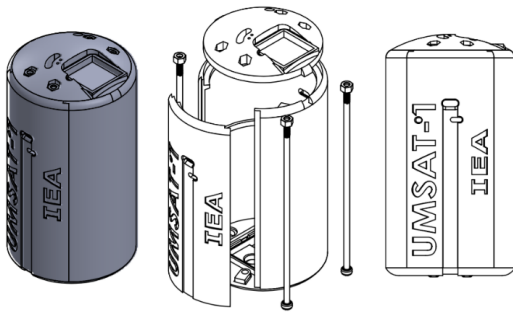


Fig. 9. Diseño de la Estructura del CanSat.

III. SISTEMAS DE CONTROL EN TIERRA (GCS)

El Sistema de Control en Tierra (GCS) o segmento terrestre, es la instalación en tierra que proporciona todos los medios necesarios para acceder al segmento espacial. Las estaciones terrenas pueden tener distintos roles y configuraciones según al tipo de la misión [5].

La estación terrena del UMSAT se compone por:

A. Antena transmisora-receptora

Se trata de una antena Yagi-Uda de 8 elementos, diseñada específicamente para trabajar en la banda de frecuencias de 433 MHz. La Fig. 10 muestra el diseño exclusivo para recibir datos del UMSAT.

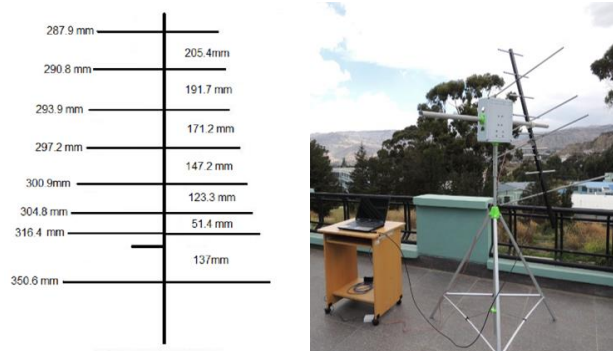


Fig. 10. Dimensiones de la antena Yagi-Uda diseñada.

B. Circuito Receptor

El circuito de la estación terrena del UMSAT se compone del microcontrolador STM32F103C8T6 y el mismo transceptor LoRa que se emplea en el UMSAT. Este circuito receptor es responsable de recibir la señal RF enviada por el UMSAT, extraer la información útil y enviarla al ordenador para su visualización en la interfaz Gráfica.

El hardware de la estación terrena fue implementado utilizando el software de diseño de circuitos PCB EasyEda [6]. La Fig. 11 muestra el diseño final del PCB.

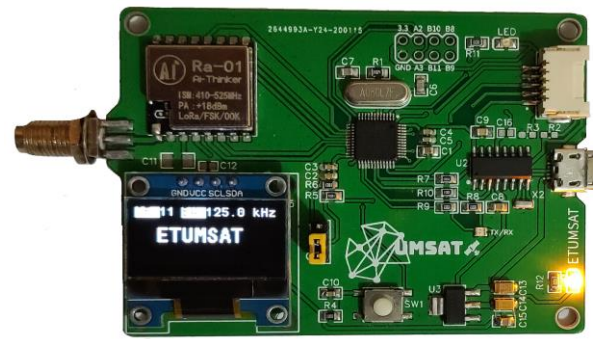


Fig. 11. PCB del Hardware de la estación terrena.

C. Interfaz de Usuario

La interfaz de usuario es el programa informático (software) de la estación terrena, esta permite realizar operaciones terrestres del UMSAT. La aplicación de escritorio fue desarrollada en *Windows Form App* (.NET framework) y C#. Windows Forms es un marco de interfaces de usuario (del inglés *UI framework*) que proporciona una forma productiva e intuitiva de crear aplicaciones de escritorio basadas en el diseñador visual que ofrece *Visual Studio* [7].

D. Arquitectura de Software

Esta arquitectura la conforman tres etapas el Modelo, el controlador y la Vista [8]:

a) Modelo. - Representa datos que fueron abstraídos con la técnica Mapeo Objeto Relacional (del inglés, ORM *Object Relational Mapping*) con la librería *Entity Framework* para almacenar los registros en una base de datos *SQL*.

b) Controlador. - Es el intermediario entre el Modelo y la Vista que gestiona el flujo de información y la transformación de los datos de acuerdo a la necesidad de la estación terrena del satélite. Además, es el encargado de interpretar de forma adecuada las tramas de datos recibidas y enviadas del UMSAT.

c) Vista. - La interfaz gráfica de usuario recibe la información del controlador y la despliega en diferentes *widgets*.

La Fig. 12 muestra el diagrama de flujo de la interfaz de usuario, esta detalla los pasos necesarios para visualizar los datos enviados por el UMSAT. Primero recibe un paquete o trama de datos del UMSAT que contiene información de los sensores.

Una vez recibido el paquete, este es decodificado para extraer la información relevante. Luego la información es clasificada y se procede a visualizar datos en diferentes ventanas, lo que permite analizar e interpretar la información recibida.

Las gráficas representan la variación temporal de las diferentes variables registradas por los sensores, lo que permite una interpretación clara de los datos y una identificación de patrones y tendencias.

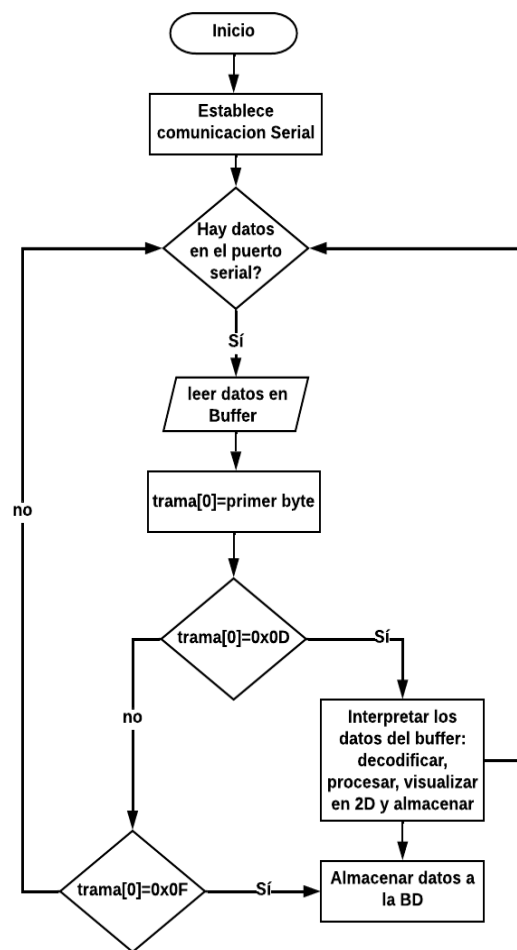


Fig. 12. Diagrama de flujo de la lógica de funcionamiento de la Interfaz de Usuario.

La aplicación de la Interfaz gráfica (Fig. 13) se compone de cuatro secciones principales:

1. **Menú de opciones:** el cual incluye varios submenús:
 - a. **Archivo:** Permite exportar los datos a un archivo .txt, .csv o .xlsx para análisis posterior.
 - b. **Configuración:** Permite configurar algunos parámetros previos y durante el experimento de lanzamiento del UMSAT.
 - c. **Puerto COM:** establece la comunicación serial entre el microcontrolador STM32F103 de la estación terrena y la aplicación con un Baud rate de 9600 [Baudios], Data Bit = 8, Stop Bit = 1 y Parity = 0.
 - d. **Comando:** Ofrece la posibilidad de enviar comandos para actualizar parámetros de configuración del UMSAT y solicitar la transmisión de una fotografía.
 - e. **Sensores:** Permite seleccionar un sensor del UMSAT para visualizar su comportamiento en una gráfica bidimensional en la sección 3. También se encuentra el botón para desplegar la fotografía enviada por el UMSAT, utilizando una función de la clase *Image (Bitmap)* proporcionada por *Microsoft*.

2. **Datos de telemetría:** Muestra valores numéricos de sensores del UMSAT, altura a la que se encuentra y coordenadas de longitud y latitud del GPS.
3. **Gráficas en dos dimensiones:** Muestra el comportamiento del sensor seleccionado en la sección 1.e en el eje Y, y la variación del tiempo desde el inicio de la misión en el eje X.
4. **Mapa de geolocalización:** Utiliza la biblioteca *Gmap.NET* para mostrar un mapa de *Google* que permite localizar la posición actual del UMSAT en tiempo real y graficar su desplazamiento en el mapa, si desea el usuario.

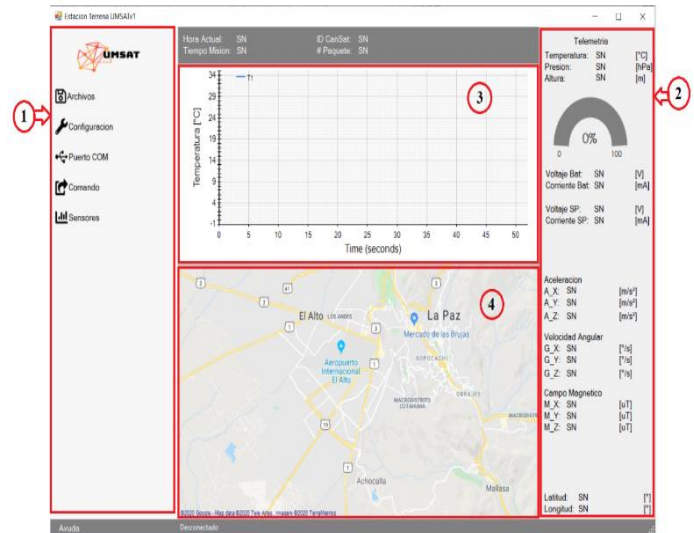


Fig. 13. Secciones de la Interfaz de Usuario.

IV. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para lograr el objetivo principal del proyecto, el siguiente paso fue elevar el UMSAT a lo alto de la atmósfera para medir parámetros ambientales en condiciones reales.

Esto se logró a través de un globo meteorológico inflado con 3 metros cúbicos de gas helio que suspendió el UMSAT a una altura de 42 Km de la Tierra, estallando al alcanzar dicha altitud, la caída libre fue amortiguada por el paracaídas. La Fig. 14 muestra el UMSAT recuperado luego del lanzamiento.



Fig. 14. UMSAT.

Una vez que el globo fue liberado inicia su ascenso, por lo tanto, la misión del UMSAT inicia, luego de transcurrido 1 minuto de ascenso del globo, se envía un comando desde la estación terrena y el UMSAT envía telemetría en respuesta a la solicitud enviada.

Las gráficas siguientes muestran la información generada por los sensores del UMSAT durante su misión en la atmósfera. Los datos transmitidos incluyen parámetros de temperatura ambiente y voltaje de la batería con el fin de comprobar la duración de la fuente de alimentación para los subsistemas del UMSAT. La Fig. 15 muestra la variación de la temperatura del UMSAT a medida que fue ascendiendo y alejándose cada vez más de la estación terrena.

Este descenso de temperatura se debe a varios factores, como la disminución de la presión atmosférica y la falta de calor generado por la radiación solar directa.

Por lo tanto, la medición de la temperatura es un factor importante a considerar en misiones como estas, ya que tiene un impacto significativo en los resultados obtenidos.

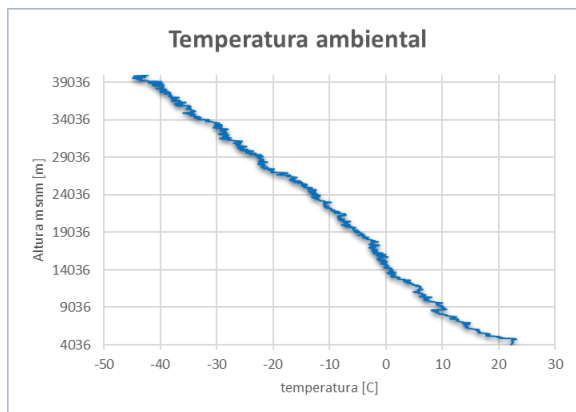


Fig. 15. Variación de la temperatura durante el ascenso del UMSAT.

La Fig.16 representa la variación de la energía de la batería del UMSAT a medida que fue ascendiendo en la atmósfera de acuerdo al consumo de corriente que realizaron los subsistemas en su funcionamiento.

Por tanto, el monitoreo de la energía de la batería es crítico en misiones como estas, puesto que la energía es un factor importante para el funcionamiento del UMSAT y el éxito de la misión.

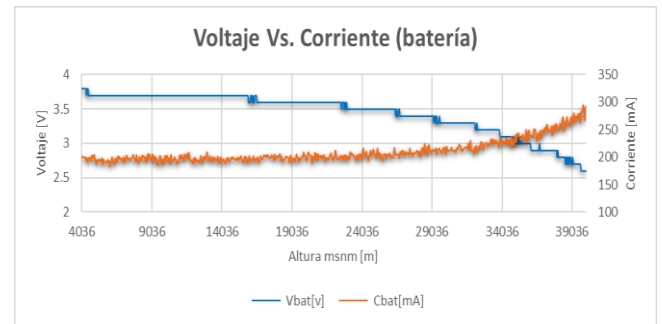


Fig. 16. Variación del voltaje y corriente de la batería.

Para llevar a cabo el experimento, se empleó la batería de litio Li-ion LCO-403650 del fabricante Yacimientos de Litio Boliviano YLB [9]. De acuerdo con la hoja de datos del fabricante, esta batería puede operar en un rango de temperatura que va desde los -20°C hasta los 45°C . Sin embargo, durante el experimento, se sometió la batería a temperaturas que se encontraban fuera de ese rango de operación.

Las Fig. 17 y 18 muestran las variaciones de la aceleración lineal y la velocidad angular respectivamente, en diferentes momentos del ascenso del UMSAT. En la Fig. 17 se observa que la aceleración lineal en el eje Z se mantiene constante durante el ascenso, lo que indica que no hubo ningún fenómeno de vaivén en el UMSAT a pesar de las condiciones climáticas del momento. Sin embargo, se puede apreciar una perturbación en el momento de la liberación. En la Fig. 18 se muestra la variación de la velocidad angular en el eje Z, la cual indica pequeños movimientos de giro durante el ascenso del UMSAT. Estos movimientos pueden deberse a la turbulencia presente en la atmósfera a medida que se eleva. En general, estos datos son importantes para evaluar la estabilidad y el comportamiento del UMSAT y pueden ser utilizados para mejorar su diseño en futuros proyectos.

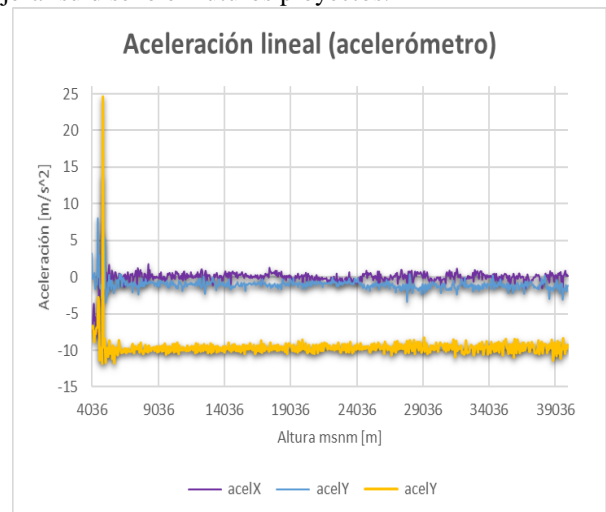


Fig. 17. Variación de la aceleración lineal.

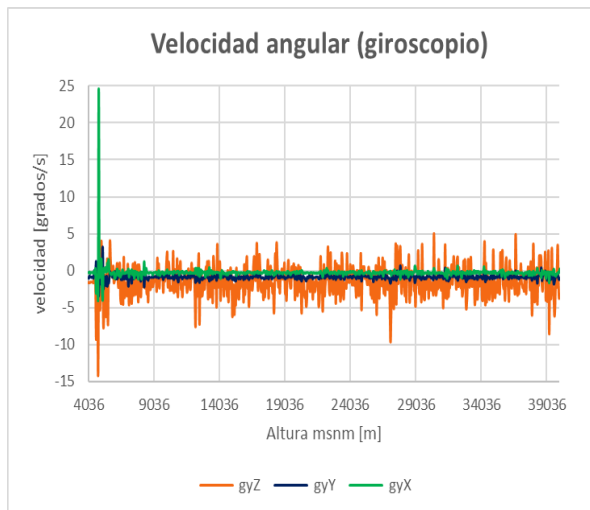


Fig. 18. Variación de la velocidad angular.

Uno de los componentes del subsistema de telemetría, es la cámara fotográfica C1098 la cual posee una resolución de 640x480 píxeles. Esta cámara es capaz de capturar imágenes en formato JPEG comprimido cuando se recibe la solicitud desde la interfaz de usuario de la estación terrena. Esta cámara tiene su propio protocolo de transferencia de datos para comunicarse con el microcontrolador. Cada imagen comprimida tiene un tamaño promedio de 12 KB, y la imagen completa es transmitida a tierra en paquetes de 250 bytes.

La Fig. 22 muestra una imagen tomada por la cámara del UMSAT a una altitud de 28 Km.

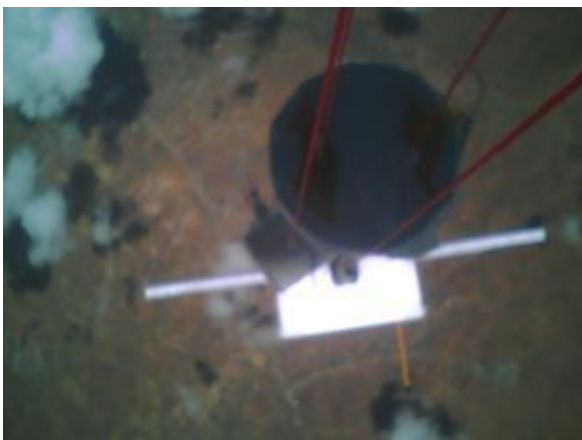


Fig. 22. Fotografía tomada a una altura de 28 Km.

La Fig. 23 muestra el momento de la recuperación del CanSat luego de finalizar su descenso. En la imagen, se observa a un integrante del equipo acercándose al CanSat para recuperarlo

y observar en qué condiciones se encuentra luego de la caída. La recuperación del UMSAT es un paso crítico del proyecto, ya que los datos obtenidos durante su ascenso son de gran importancia para su análisis.

Pero es importante destacar que, aunque el aterrizaje fue exitoso, todos los datos recopilados durante el ascenso se almacenaron en la estación terrena para un análisis posterior.

La imagen muestra el estado del UMSAT luego caer desde una considerable altura de 42 Km y se observa que su estructura ha soportado el impacto de la caída gracias a su diseño adecuadamente formulado y la ayuda del paracaídas.



Fig. 23. Recuperación del UMSAT.

V. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El diseño e implementación del UMSAT y el desarrollo compacto de los subsistemas de igual manera la estación terrena abre grandes posibilidades de ampliar la implementación para otro tipo de aplicaciones, dado que los componentes seleccionados entre estos el transceptor LORA, es empleado en IoT, por las características técnicas que posee (largo alcance y bajo consumo de energía), esta fue comprobada al superar los 28 Km de transmisión de datos en tiempo real.

Se diseñó y se implementó una estación terrena con su interfaz gráfica el hardware y software para transmisión de comandos y recepción de telemetría provenientes del UMSAT.

Se realizaron las pruebas de manera exitosa en la recepción de datos de presión y temperatura provenientes de sensores que llevó el UMSAT. Demostrando la factibilidad y operatividad técnica del sistema diseñado, estos datos son reflejados en el comportamiento de las curvas y su variación.

Se logró verificar y validar que los componentes seleccionados para implementar el UMSAT, continuaron operando adecuadamente pese a que se superó sus rangos de operación según sus hojas de datos y el software informático programado, respondió a la exigencia de la misión.

Se destaca que la batería de litio Li-ion LCO-403650 de YLB demostró ser un suministro de energía confiable para el UMSAT, proporcionando energía durante su misión. En conclusión, este proyecto resultó en un avance significativo en la capacidad de recopilación de datos atmosféricos, y en la prueba exitosa de varios componentes críticos del UMSAT.

Se recomienda hacer pruebas de vibración del UMSAT para simular el comportamiento del UMSAT en ascenso.

Es recomendable utilizar 2 baterías de litio Li-ion en serie, para que el UMSAT continúe enviando datos de telemetría inclusive en el descenso del UMSAT.

Se propone diseñar una interfaz de usuario para celulares, para que nuestra estación terrena sea más portable y podamos desplazarnos mientras se ejecuta la misión, y así recuperarlo en menor tiempo.

REFERENCIAS

- [1] O. Jaramillo, R. Camacho, J. Tejada, Diseño de un CanSat para medición de variables ambientales, Universidad Nacional Abierta y a Distancia Colombia, consultado 2022, disponible en: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/129/1292407007/html/index.html>
- [2] O. Ramirez, C. Artemio, Perfil de la Misión y selección de subsistemas del prototipo CanSat para montarse en dron multitor, consultado 2022, disponible en: https://www.ecorfan.org/taiwan/research_journals/Ingenieria_Tecnologica/vol2num7/Revista_de_Ingenieria_C3%ADa_Tecnol%C3%B3gica_V2_N7_3.pdf
- [3] Internet de las Cosas de largo alcance (LORA), Consultado 2022, disponible en: <https://www.teldat.com/es/blog/internet-de-las-cosas-de-largo-alcance-lora/>
- [4] Hoja técnica disponible en: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/499697/STMICROELECTRONICS/STM32F103RET6.html>
- [5] R. Medel, A. Fernández, L. Baes, M. Requena, Desarrollo de una Estación Terrena Educativa para CanSat, consultado 2022, disponible en: https://www.researchgate.net/publication/356001907_Desarrollo_de_una_Estacion_Terrena_educativa_para_CanSats
- [6] Una experiencia EDA mas facil, disponible en: <https://easyeda.com/>
- [7] Conosca la familia de Visual Studio, disponible en: <https://visualstudio.microsoft.com/es/>
- [8] Y. Gonzales, Y. Fernandez, Patrón Modelo-Vista-Controlador, 2012, consultado 2022, disponible en: <https://revistatelematica.cujae.edu.cu/index.php/tele/article/view/15>
- [9] Yacimientos de Litio Boliviano, disponible en: <https://www.ylb.gob.bo/>
- [10] J. R. Wertz, and W. J. Larson, 1999, "Space Mission Analysis and Design (Third Edition)," Microcosm, Inc.
- [11] Jilla, C. D. and Miller, D. W. 1997. Satellite design: past, present and future.. International Journal of Small Satellite Engineering, 1: 611–613.
- [12] Smithies, C., Meerman, M. and Sweeting, M. 2002. "Microsatellites for affordable space science: capability and design concepts." In Proceedings of the 2nd World Space Congress of IAC and IAF, 34th COSPAR Scientific Assembly Houston, Texas, USA, 10–19 October 2002
- [13] Lew, A. L., Le, B. Q., Schwartz, P. D., Fraeman, M. E., Conde, R. F. and Mosher, L. E. 2001. Microsatellites: an enabling technology for government and commercial aerospace applications.. *JHU/APL Technical Digest*, 22: 124–134.
- [14] Barnhart, D. J., Vladimirova, T., Baker, M. and Sweeting, M. N. 2006. "A low-cost femtosatellite to enable distributed space missions." In *Proceedings of the 57th IAC/IAF/IAA (International Astronautical Congress)*, Paris: International Astronautical Federation. Valencia, Spain, 2–6 October 2006, IAC-06-B5.6.06
- [15] European Space Education Resource Office, Competicion Nacional Cansat 2021, https://esero.es/wp-content/uploads/2020/10/Bases_CompeticionNacionalCanSat2021.pdf

VI. ANEXOS

Apéndice A: Vista completa del CanSat UMSAT

