

Prototipo de sistema magnetómetro para el módulo de carga de un CubeSat

Juan Antonio Murillo Vargas, José Andrés Guevara Rojas, Antonio Alfonso Rodríguez Rosales y Cesar Augusto Sebastián Núñez

Centro de Investigación Científica y Tecnológica de Guerrero A.C. (CICTEG)
Rio Atoyac L28 Col Vista Alegre, Acapulco, Guerrero, México
buffonz185@gmail.com;andy_jose_andres@hotmail.com;arrosales@prodigy.net.mx;
ces.sebastian@gmail.com

RESUMEN

Como parte de una colaboración interinstitucional de un proyecto aeroespacial, se construyó un magnetómetro utilizando el módulo MLX90393 con rango de $\pm 5\mu\text{T}$ a $\pm 50\mu\text{T}$, así como el del sistema de comunicaciones basado en RFM95 Lora en la frecuencia de 433 MHz. Se realizaron pruebas de laboratorio tratando de simular condiciones atmosféricas de hasta 30 km de altura y pruebas de campo para determinar el campo magnético según la posición del equipo con el GPS. A su vez también se han realizado pruebas de campo específicamente en la playa de Pie de la Cuesta (Acapulco); lo anterior tuvo como finalidad la prueba y monitoreo de sensores en tiempo real obteniendo datos importantes ya que se tuvo una respuesta favorable de los sensores en un entorno externo; para el monitoreo se desarrolló una interfaz gráfica utilizando el lenguaje de programación Python, la función de este software es de comunicar el microcontrolador con la computadora, mostrar datos en tiempo real, así como el almacenaje de estos en una base de datos para su análisis.

Los resultados obtenidos muestran que el sistema puede ser integrado al módulo de carga de a un CubeSat para la misión espacial considerada por el Centro de Desarrollo Aeroespacial del IPN (CDA) y el Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología de la UNAM (ICAT) entre otros.

1 INTRODUCCIÓN

El trabajo presentado es parte de una colaboración multidisciplinaria con diversas instituciones nacionales e internacionales de un proyecto espacial mexicano con el objetivo científico de correlacionar parámetros geomagnéticos y geológicos con los de la ionosfera; dentro de los requerimientos, se tiene el diseño y construcción de instrumentos de medición con sensores y sondas para medir variables geomagnéticas, geofísicas y de geolocalización. Para tal fin se tiene como objetivos que en el laboratorio de Desarrollo Tecnológico e Instrumentación del CICTEG se construyan diferentes prototipos, así como el del sistema de comunicaciones para la transmisión y recepción de datos Es de

vital importancia que los prototipos se sometan a pruebas de simulación bajo condiciones similares a las que se han realizado en las pruebas del proyecto Pegasus realizadas por el CDA y el ICAT en vuelos de parapente y en globo aerostático, en los que adicionalmente se considere la posición con GPS, la temperatura, humedad y presión barométrica.

2 ANTECEDENTES

Basado en diversos trabajos en cuyos análisis intervienen el plasma de la ionosfera y el campo magnético, así como la correlación con el campo magnético terrestre, Cordaro al proponer la posibilidad de instrumentar parámetros que sirvan de precursores sísmicos [1, 2, 3, 4]; lo anterior en virtud que es un tema de frontera en el área de Sismología de Geofísica y requiere del análisis de variables geomagnéticas asociadas al movimiento de placas tectónicas y fallas sísmicas, a fin de que los científicos puedan realizar propuestas de modelos matemáticos que permitan simular y en un futuro cercano tener una mayor certeza en la posible predicción de sismos de fuerte magnitud (terremotos). Una propuesta es la de obtener diferentes mediciones de variables a distancia, utilizando para ello la tecnología de nanosatélites denominados CubeSat que además de su bajo coste de fabricación debido al tamaño de estos (10 cm x 10 cm x 10 cm medida estándar) son de larga duración y tienen un promedio de vida bastante bueno, con esto se pretende lanzarlo a la ionosfera y orbitarlo a una distancia respecto a tierra aún por definir y de esta manera monitorearla y correlacionarla con parámetros geomagnéticos en busca de anomalías que pudieran servir de precursores sísmicos.

3 DESARROLLO EXPERIMENTAL

Evaluación y prueba de sensores:

Para el caso del prototipo de magnetómetro, se probaron los siguientes sensores: MPU9250, HMC5883L, Sensor de efecto Hall y por último el MLX90693. Siendo escogido este debido a su tamaño y sensibilidad capaz de medir el campo magnético terrestre con rango de $\pm 5\mu\text{T}$ a $\pm 50\mu\text{T}$ [5].

GPS: La función del GPS es la de ubicar el CubeSat, esto resulta de suma importancia ya que de manera directa este debe estar dentro de un rango de comunicación y con la ayuda de éste se podrá monitorear su ubicación exacta. Se evaluaron y probaron 2 tipos de GPS el GPSneo6mv2 y el modulo basado en sim900, siendo seleccionado el GPSneo6mv2 debido a su tamaño pequeño, la confiabilidad en la medición de datos y su bajo consumo de energía.

Dado que en las pruebas suborbitales es conveniente medir humedad y temperatura en el entorno de los instrumentos, también se evaluarón los siguientes sensores: DHT22, DHT11 y LM35, escogiendo el

DHT22 debido a su salida digital, su precisión, así como también su rango de temperatura y humedad con la posibilidad de medir rangos de temperatura equivalentes a los requeridos en el proyecto Pegasus [6]-

Para el sistema de comunicación en la transmisión y recepción de datos, se probaron los transceptores RFM95LORA, seleccionando por su alcance y confiabilidad el basado la tecnología Lora con la frecuencia de 433 MHz [7]

Para determinar la altura se evaluaron los siguientes sensores; el MS5550C, XGZP6847100KPGN, desechando MS5540C, debido que el sensor, XGZP6847100KPGN tiene un rango más amplio y una mejor precisión, mismos que se utilizará para observar el comportamiento del módulo de carga a diferentes alturas.

Para el diseño del módulo de carga del CubeSat, se necesita un microcontrolador que sea potente y de un pequeño tamaño, se evaluaron los microcontroladores Atmega, Microchip y Raspberry.

3.1 DISEÑO Y PRUEBAS DE PROTOTIPO PARA EL MÓDULO DE CARGA.

Después de un análisis detallado de funcionalidad vs costos, así como de las ventajas y desventajas, se optó por los microcontroladores de la familia Atmega sin descartar el posible uso a futuro de la familia Microchip pero por el momento no se consideraron.

Las múltiples ventajas de utilizar estos microcontroladores es la versatilidad para trabajar en distintos entornos de temperatura y humedad, su bajo coste de adquisición, su tamaño pequeño que resulta fácil de maniobrar y sus múltiples capacidades de velocidad y voltaje [8].

Resaltando su gran capacidad para, el envío y recepción de datos, para ello se tendrá que usar las señales inalámbricas (en concreto la señal de radiofrecuencia) para poder enviar datos desde la plataforma satelital a la estación terrena.

Estos datos recabados por los sensores con ayuda del microcontrolador y el módulo de comunicación serán enviados de forma directa ya sea cifrada o sin cifrar a la estación terrena donde la computadora principal será la encargada de recopilar la información de los datos y almacenarlos para ser material de investigación y estudio científicos.

Para el monitoreo se desarrolló una interfaz gráfica utilizando el lenguaje de programación Python, la función de este software es de comunicar el microcontrolador con la computadora, mostrar gráficos en tiempo real, así como el almacenamiento de éstos en una base de datos.

3.2 PRUEBAS CON SENSOR DE ELECTROMAGNETICO

Después de mucha investigación se seleccionó el sensor de campo electromagnético basado en el chip MLX90693 con una sensibilidad de $0.2\mu\text{T}$ con un rango de ± 5 a $50\mu\text{T}$ lo suficientemente pequeño para medir el campo magnético terrestre.

Este sensor utiliza el protocolo de comunicación I2c compatible con muchas familias de microcontroladores, incluido los de la familia Atmega

Para esta prueba se configuró y calibró el sensor y por medio de una interfaz realizada en Python se guardaron los datos en una base para su posterior análisis (véase figura 1)

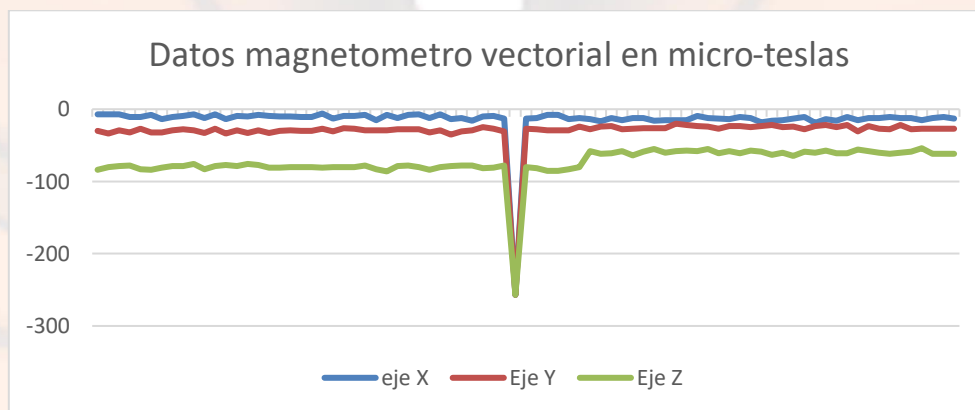


Figura. 1 Datos recabados del sensor electromagnético (los datos mostrados en negativo son debido a que se le acercaron imanes y depende de la polaridad de los mismos)

3.3 PRUEBAS CON SISTEMA TRANSEPTOR.

El sistema de comunicación por la transmisión y recepción de datos proporcionados por los diferentes sensores, en el que el RFM95 Lora en la frecuencia de 433 MHz nos permitió realizar pruebas de campo en Pie de la Cuesta en el municipio de Acapulco, logrando que funcionara a una distancia de 16 Km, con una buena recepción de datos con una baja tasa de error.

3.4 PRUEBAS EN LABORATORIO.

Para simular condiciones mas extremas basandonos en altitudes superiores a los 10km se construyo una cámara de vacío (vease figura 2) y poder simular las principales condiciones climatologicas de la atmosfera a diferentes alturas.



Fig 2 Cámara de vacío para simular pruebas hidrostáticas y de temperatura (diseño propio).

Para ello se tiene que realizar una serie de configuraciones con un sensor diferente en este caso se utilizo el sensor denominado XGZP6847100KPGPN con un rango que va desde los -100 Kpa a 100 Kpa

La conversion se realiza de la siguiente formula ya que se tienen que convertir los Kpa a Hpa (hectopascales)

$$Hpa = Kpa * 1000$$

Sin embargo tambien tendremos que convertir estos datos para calcular las atmosferas en cuyo caso la ecuacion es

$$Atm = Hpa * 0.00098692326671601$$

Para poder saber la relación altitud en cuestión a la presión atmosférica se toman los valores dados en la siguiente figura 3:

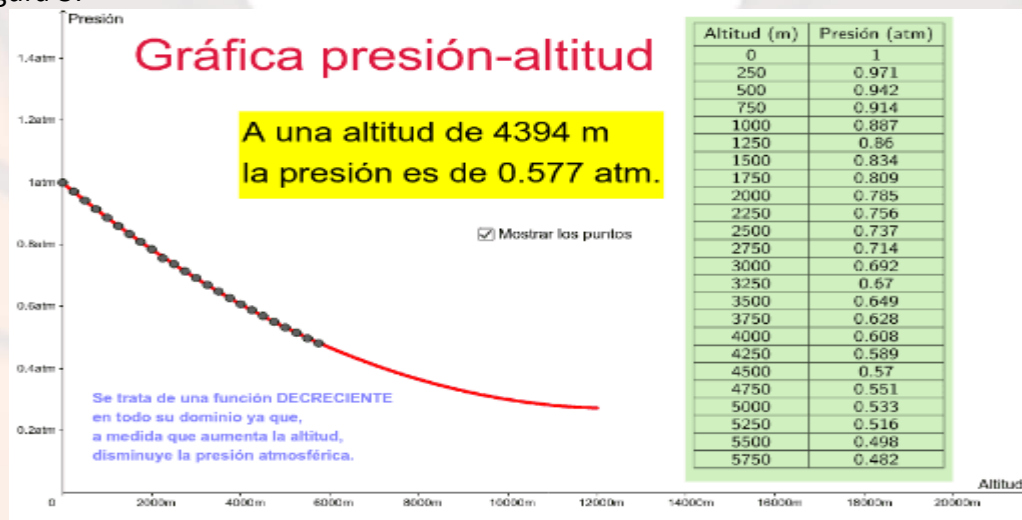


Figura 3. Relación altitud-presión

4 RESULTADOS

Al término de la prueba de vacío, estos fueron los datos arrojados por el artefacto con sus respectivos datos (Humedad, temperatura, magnetismo en sus respectivos ejes X, Y y Z; así como la presión en kilopascales)

Humedad	Temperatura	Eje X	Eje Y	Eje Z	Presion (KP)
46.700%	31.200	-21	-63	59	95.64
46.700%	31.200	-23	-61	60	95.64
46.700%	31.200	-23	-63	57	95.15
46.800%	31.200	-20	-62	52	96.13
46.800%	31.200	-24	-61	56	95.64
46.800%	31.200	-22	-59	60	95.64
46.800%	31.200	-25	-68	57	95.64
46.900%	31.200	-24	-58	59	95.64
46.900%	31.200	-23	-62	59	95.64
46.900%	31.200	-14	-62	55	95.64
47.000%	31.200	-14	-60	61	95.64
47.000%	31.200	7	-70	54	95.64
47.000%	31.200	12	-69	58	95.64
47.100%	31.200	12	-73	57	95.64
47.800%	31.100	-4	-62	61	95.64
47.800%	31.100	-3	-62	62	96.13
47.800%	31.000	-12	-66	60	95.64
48.000%	31.100	-5	-62	58	95.64
48.400%	30.900	-6	-60	50	96.61
48.400%	30.900	3	-154	59	99.55
48.500%	30.900	9	-154	60	99.06
48.500%	30.900	10	-154	57	98.08
49.500%	31.000	4	-155	58	96.13
49.500%	31.000	8	-155	62	97.10
50.000%	30.900	-1	-144	36	96.13
50.400%	30.900	1	-148	34	97.10
50.800%	30.900	1	-144	31	96.61
51.000%	30.900	-1	-149	30	96.13
51.000%	30.900	-7	-145	31	97.10
51.400%	31.000	-3	-144	34	97.10
51.600%	30.900	-1	-152	31	96.13
51.600%	30.900	0	-145	32	96.13
51.700%	30.900	-2	-145	31	96.61
52.000%	30.900	-1	-148	32	96.13
52.100%	30.900	2	-145	32	97.10
52.100%	30.900	1	-144	33	96.61
52.300%	30.900	0	-148	33	96.61
52.400%	30.900	-2	-148	34	96.61
52.400%	30.900	1	-147	32	96.61
52.500%	30.900	0	-154	34	96.13
52.500%	30.900	-2	-144	32	96.61

Figura 4. Datos recabados durante la prueba de vacío

Esta prueba de laboratorio a su vez nos arrojó que lo máximo que soporta el artefacto fue un vacío de 33 Kpa (Kilo pascales (véase figura 5) que corresponde en medida aproximadamente una altitud de 5000 metros como se muestra en la gráfica mostrada anteriormente.

Estos datos recabados fueron relevantes para futuras pruebas que además de someter a mucha más presión de la que se pudo llegar con este equipo se procederá a someter los sensores a futuras pruebas de temperatura y además queda pendiente la prueba de campo donde se someterá el prototipo a pruebas de altitud (hasta pasando los 10 km)

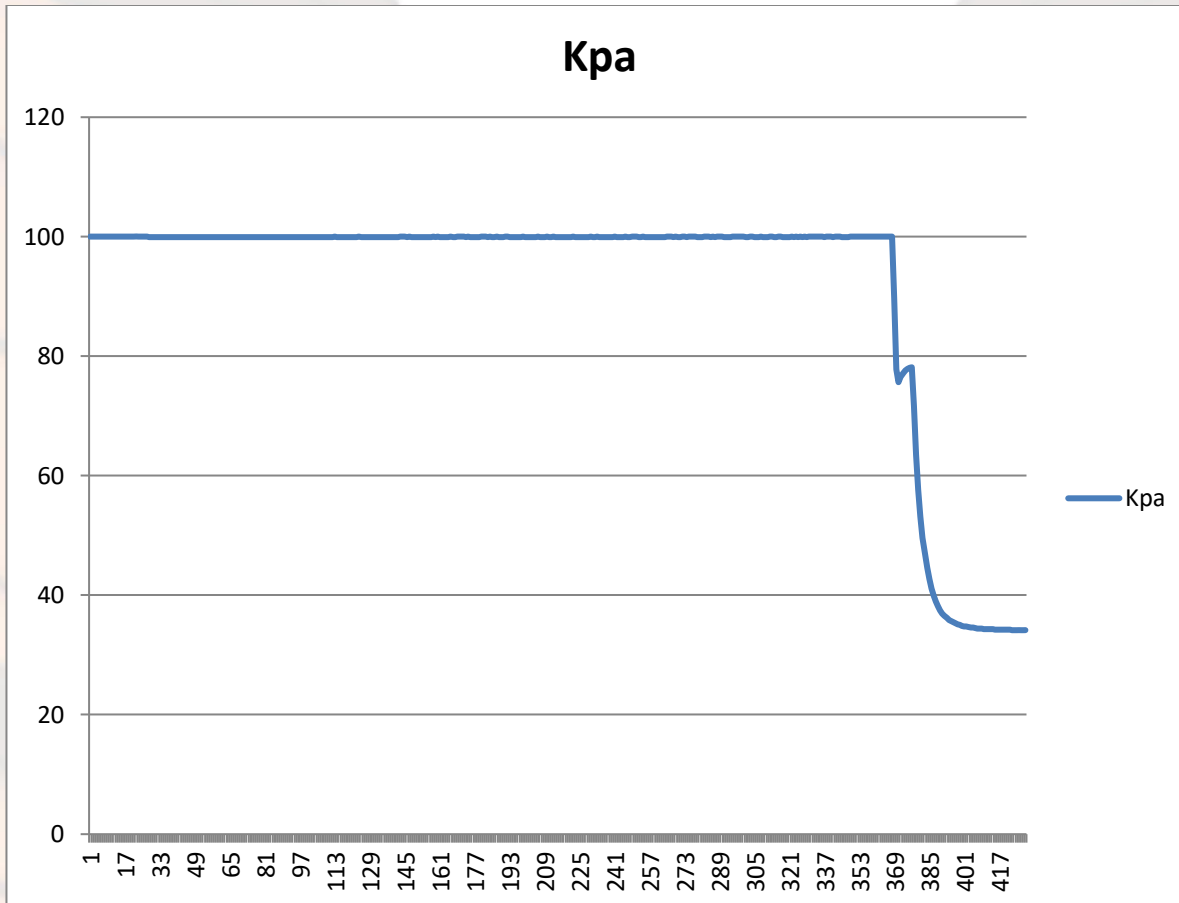


Figura 5. Datos finales recabados por el sensor de presión (muestra los primeros datos una lectura constante ya que es la presión atmosférica y los últimos datos corresponden al vacío hecho)

Los resultados obtenidos muestran que el sistema puede ser integrado al módulo de carga de a un CubeSat para ser lanzado en el futuro en la misión espacial considerada por el Centro de Desarrollo Aeroespacial del IPN y el Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología de la UNAM.

5 CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Se diseñó, construyó y probó con un simulador de condiciones atmosféricas (similares a las que se hacen con pruebas en parapente) y en campo (en la zona costera de Pies de la Cuesta en Acapulco) un primer prototipo de un módulo de carga para CubeSat, cuyos diferentes sensores seleccionados, permiten medir el campo magnético, geolocalización, temperatura, humedad y presión atmosférica así como la transmisión y recepción de datos que estos generan.

Se tiene considerado mejorar algunos aspectos de diseño en la tarjeta PCB para la reducción de tamaño, peso y confiabilidad en las conexiones de sus componentes, así como el de evaluar un nuevo módulo de comunicación adquirido para ampliar la cobertura hasta en 50 Km.

6 AGRADECIMIENTOS

Al CICTEG, por las facilidades de los laboratorios, instrumentos y adquisición de componentes electrónicos y computacionales para las evaluaciones y pruebas de los diferentes elementos que intervienen en los diseños propuestos. Al Dr. Antonio Alfonso Rodríguez Rosales director general del CICTEG por el asesoramiento e inversión de los recursos utilizados en el proyecto y por último y no menos importante al Profesor Cesar Augusto Sebastián Núñez por invitarnos a participar en el proyecto y su asesoramiento.

También sin restarles importancia al M. C. Rafael Prieto Meléndez del Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología-UNAM por su gran apoyo en la realización de las placas de prueba (PCB) y al Dr. Mario Alberto Mendoza Bárcenas del Centro de Desarrollo Aeroespacial- IPN quien es el coordinador general del proyecto aeroespacial.

REFERENCIAS

1. Valery Korepanov, "Possibility to detect earthquake precursors using cubesats", Acta Astronautica 128 (2016) 203–209.
2. Enrique G. Cordaro, Patricio Venegas and David Laroze, "Latitudinal variation rate of geomagnetic cutoff rigidity in the active Chilean convergent margin", Ann. Geophys., 36, 275–285, 2018.
3. Liming He, and Kosuke Heki, Three-Dimensional Tomography of Ionospheric Anomalies Immediately Before the 2015 Illapel Earthquake, Central Chile, Journal of Geophysical Research: Space Physics, RESEARCH ARTICLE, 10.1029/2017JA024871, 2018.

SOMI XXXIV

CONGRESO DE INSTRUMENTACIÓN

Año 6, No. 01, octubre 2019

ISSN 2395-8499

4. E.G. Cordaro, P. Venegas-Aravena, D. Laroze, "Variations of geomagnetic cutoff rigidity in the southern hemisphere close to 70°W (South-Atlantic Anomaly and Antarctic zones) in the period 1975–2010",
5. <https://www.melopero.com/es/shop/sensori/campo-magnetico/adafruit-wide-range-triple-axis-magnetometer-mlx90393/> Magnetómetro de eje ancho de amplio rango Adafruit - MLX90393, Consultado el 20 de Junio del 2019
6. <http://www.omniblog.com/sensor-temperatura-humedad-DHT11-DHT22.html>, Sensor de temperatura y humedad DHT11 - DHT22, consultado el 20 de Junio del 2019
7. <https://www.aprendiendoarduino.com/tag/rfm95/>, Arduino y LoraWan, consultada el 20 de julio del 2019
8. [<http://www.siliconvalleyhistorical.org> Historia de Atmel, en la web Siliconvalleyhistorical.org, consultada el 1 de Julio del 2019