



Boletín de la Sociedad Geológica del Perú

journal homepage: www.sgp.org.pe ISSN 0079-1091

MONITOREO DE VOLCANES USANDO AERONAVES TRIPULADAS REMOTAMENTE (RPA): PRUEBAS PRELIMINARES

J. Apaza¹, D. Scipión¹, C. Saito²Instituto Geofísico del Perú ¹, Pontificia Universidad Católica del Perú ²

RESUMEN

El Instituto Geofísico del Perú – IGP tiene entre sus objetivos mejorar el monitoreo de volcanes en el sur del Perú, es por ello que viene ejecutando un proyecto para el monitoreo de los mismos usando instrumentación a bordo de sistemas de aeronaves tripuladas remotamente (RPAS). Como parte del proyecto, se han construido dos RPAS los cuales permitirán la medición de la concentración de los gases SO₂, H₂S, CO₂, así como la temperatura y humedad de la pluma volcánica, además de capturar imágenes en las bandas del espectro infrarrojo medio y visible. Estos RPAS serán usados en el volcán más activo en la actualidad: el Sabancaya, el cual se encuentra en alerta naranja.

En este trabajo se muestran los primeros resultados de las pruebas realizadas en Lima con los dos RPAS, así como las modificaciones planteadas para realizar la campaña a más de 6000 m.s.n.m.

PALABRAS CLAVE: Estudio de volcanes; Dióxido de Carbono, Medición de temperatura y humedad, Dióxido de Azufre; Sulfuro de hidrogeno; Cámara térmica.

ABSTRACT

The Geophysical Institute of Peru - IGP in its effort to improve the monitoring of volcanoes in southern Peru, has been involved in a project to monitor volcanoes using on-board instrumentation inside two remotely piloted aircraft systems (RPAS). These two RPAS will measure SO₂, H₂S, and CO₂ concentration, as well as temperature, and humidity of the volcanic plume, besides capture images in the infrared and visible spectrum. These

RPAS will be used to monitor the most active volcano in Peru, the Sabancaya, which currently is on orange alert.

This paper shows the first results of the tests carried out by the two RPAS in Lima, as well as the proposed modifications for the campaign at more than 6000 m a.s.l.

KEYWORDS: Volcanoes studies; Carbon dioxide; Temperature and humidity measurements, Sulfuric dioxide, Hydrogen sulfide, Thermal camera.

INTRODUCCIÓN

A finales del 2014 se inicia el proyecto “Monitoreo de Volcanes usando vehículos aéreos no tripulados” desarrollado por el Instituto Geofísico del Perú (IGP) en su sede científica el Radio Observatorio de Jicamarca (ROJ) y la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Este proyecto es financiado por INNOVATE Perú, y tenía al volcán Ubinas como objeto de estudio, el cual era considerado el volcán más activo del Perú (1). En 2013 el volcán Ubinas entró en actividad explosiva, la cual se mantuvo hasta el 2016. Los recientes estudios sugieren que la disminución en la actividad explosiva es consecuencia de la finalización del periodo, aunque podría reanudarse (1).

El volcán Sabancaya al igual que el Ubinas se encuentran catalogados dentro de los volcanes con más riesgo volcánico relativo (2). El Sabancaya se encuentra ubicado a 19 km del pueblo de Maca y a 76 km al noroeste de la ciudad de Arequipa y su pico alcanza los 5976 m.s.n.m., aunque el Sabancaya no tiene un poblado en sus faldas como

el Ubinas, su rango de influencia se extiende al valle del Colca y podría afectar las partes altas del río Majes.

El 6 de Noviembre de 2016 el volcán Sabancaya inicia su proceso eruptivo, manteniéndose durante todo el 2017, alcanzando en 2018 más de 20 explosiones por día (1). Con esta coyuntura se decide cambiar el objeto de estudio, para las aeronaves pilotadas remotamente, al volcán Sabancaya ya que éste ofrece mayores oportunidades de obtener información relevante en su monitoreo.

Los detalles de selección del equipamiento, así como la selección de vehículos fue abordada anteriormente en el artículo presentado en INTERCON 2017 (3), por lo que las descripciones de los vehículos, las características de los sensores, y las cámaras no serán mencionadas.

AERONAVES PILOTADAS REMOTAMENTE

Se desarrollaron 2 vehículos para el proyecto, el primero un multirrotor cuadricoptero que por su capacidad para mantenerse en latitud, longitud y altitud su función sería la adquisición de imágenes térmicas y en el espectro visible. El segundo, un avión equipado con los sensores de temperatura, humedad, gases y cámaras adicionales.

Las pruebas de calibración y los vuelos iniciales fueron realizados en la PUCP, en el IGP/ROJ y la pista de aeromodelismo del club Universitario de Deportes, Campomar U.



Figura 1. Cuadricóptero ensamblado en pruebas, campo Rugby PUCP.

MULTIRROTOR.

Las calibraciones básicas de los sensores de navegación y vuelo, al igual que la calibración de los parámetros PID fueron realizados en la PUCP, y para evaluar el desempeño en vuelos de gran extensión y la resistencia a altas ráfagas de viento, se realizaron pruebas en el IGP/ROJ

La medición de velocidad y dirección del viento es obtenida a través de la estación meteorológica Davis Vantage Pro (4) del IGP/ROJ. Esta nos entrega un promedio de los vientos cada 10 min, por lo cual las ráfagas de hasta 16 m/s observadas en las mediciones instantáneas no se muestran en la Figura 2.

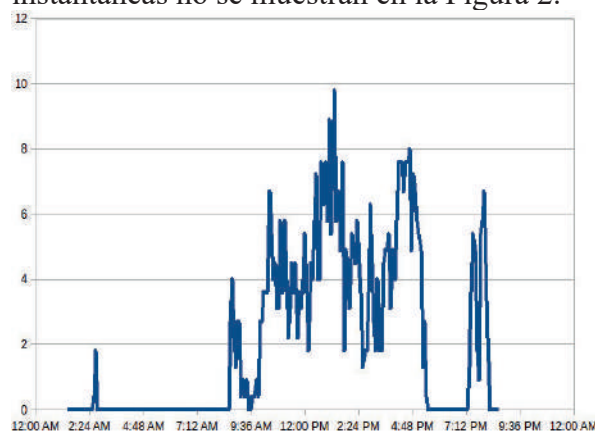


Figura 2. Medidas de velocidad promedio de vientos en el ROJ. La escala vertical esta en m/s.

Las pruebas en el IGP/ROJ mostraron que el equipo no puede soportar dichas condiciones, por lo cual se examinó distintas opciones para poder mejorar este aspecto. La mejor opción es mejorar la estabilidad del sistema mediante un incremento de rotores, ya que la estructura permite una fácil adaptación a 6 rotores.

Para decidir usar la configuración de hexacoptero, se tomó en cuenta los cálculos obtenidos por el eCalc (5) mostrados en la figura 3 y que el utilizar 8 rotores generaría un consumo elevado de energía con lo cual se reducía la autonomía de vuelo, esto iba en contra de los 15 min de vuelo necesarios para poder obtener imágenes con las cámaras.

Remarks:

Battery		Motor @ Optimum Efficiency		Battery		Motor @ Optimum Efficiency	
Load:	4.67 C	Current:	13.67 A	Load:	10.14 C	Current:	29.51 A
Voltage:	26.17 V	Voltage:	26.07 V	Voltage:	51.09 V	Voltage:	51.62 V
Rated Voltage:	25.20 V	Revolutions*:	3245 rpm	Rated Voltage:	50.40 V	Revolutions*:	6376 rpm
Energy:	403.2 Wh	electric Power:	356.5 W	Energy:	806.4 Wh	electric Power:	1523.4 W
Total Capacity:	16000 mAh	mech. Power:	303.1 W	Total Capacity:	16000 mAh	mech. Power:	1284.6 W
Used Capacity:	13600 mAh	Efficiency:	85.0 %	Used Capacity:	13600 mAh	Efficiency:	84.3 %
min. Flight Time:	10.9 min			min. Flight Time:	5.0 min		
Mixed Flight Time:	14.4 min			Mixed Flight Time:	15.7 min		
Hover Flight Time:	15.7 min			Hover Flight Time:	19.9 min		
Weight:	1980 g			Weight:	3960 g		
	69.8 oz				139.7 oz		

Figura 3. Comparativo de rendimiento entre el hexacóptero (izquierda), y el cuadricóptero (derecha).

AVIÓN



Figura 4. Caja de sensores, vista sin tapa en el chasis del avión.

Las pruebas del avión se realizaron en la pista de aeromodelismo del club Campomar U, ya que esta es idónea para realizar primeras pruebas. Debido a que el sensor de CO₂ cuenta con una respuesta

lenta (10 s), se ha tenido que diseñar una caja que sirva de contención mientras se estabiliza la lectura. La caja fue fabricada en una impresora 3D, con material plástico no contaminante PLA.

La disposición de la caja fue en la parte superior del cuerpo central, ligeramente adelante del centro de gravedad. Esta ubicación permite extraer la caja sin necesidad de desarmar el avión. Para reducir componentes en el avión, el microcontrolador que realiza la adquisición de los sensores en la caja también se encarga de controlar las funciones de activación y desactivación de la cámara térmica.

Se tomaron muestras con los sensores durante las pruebas, con las cuales se observó lecturas en el sensor de temperatura, humedad, y CO₂, los sensores de H₂S y SO₂ al no tener presencia de gases sólo se obtuvo lecturas en el umbral de ruido.

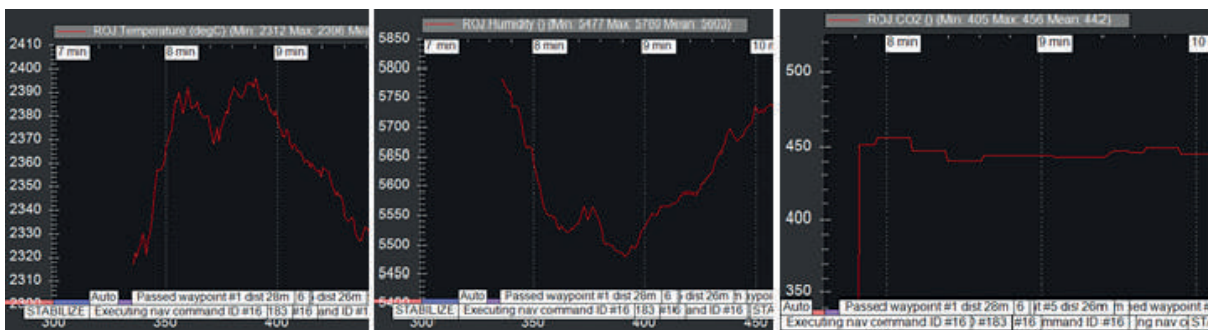


Figura 5. Datos de temperatura, humedad y CO₂ (izquierda a derecha) adquiridos en las pruebas.

Tanto las lecturas de temperatura como humedad se encuentran multiplicados por 100, esto se realizó con el fin de facilitar el guardado de datos decimales. Es decir, los valores mostrados en la Figura 5 en el intervalo de 2300 hasta 2410, corresponden a 23.0°C hasta 24.1°C respectivamente.

Los niveles de CO₂ están en los umbrales de valores normales para exteriores (6). Y como ya se había mencionado que la respuesta del sensor es lenta, el tiempo de muestreo se ha incrementado para estabilizar las medidas.



Figura 6. Avión en la pista de pruebas, equipado con los sensores.

CONCLUSIONES

La siguiente etapa del proyecto involucra las pruebas en el volcán Sabancaya, donde aparte de tener lecturas y datos almacenados, se quiere una retroalimentación a los vehículos para mejorarlos en siguientes campañas.

Se espera poder comparar las lecturas de gases que se obtengan con los datos de las estaciones de monitoreo continuo del volcán, además de poder recuperar imágenes térmicas que puedan arrojar nuevos datos sobre el comportamiento de los volcanes.

Las imágenes térmicas obtenidas desde el avión deberán tener una vista perpendicular al plano del volcán, las cuales, si son favorables, se podrán usar para realizar una reconstrucción 3D en el espectro térmico. Por otra parte para obtener una reconstrucción 3D del volcán de forma georeferenciada se usara una cámara Go-Pro usada en una campaña previa en el Ubinas.

REFERENCIAS

Orlando Macedo, Jose del Carpio, Nino Puma, Ricky Centeno, Jose Torres, John Cruz, armando Ali, Katherine Vargas, Jorge Concha. *Investigación y Monitoreo de volcanes activos en el sur del Perú.* Instituto Geofísico del Perú. Arequipa : s.n., 2017. pág. 60, Reporte tecnico especial.

Orlando Macedo, Edu Taipe, José Del Carpio, Javier Ticona, Domingo Ramos, Nino Puma, Víctor Aguilar, Roger Machacca, José Torres, Kevin Cueva, John Cruz, Ivonne Lazarte, Riky Centeno, Rafael Miranda, Yovana Álvarez, Pablo Masias, Javier Vilca, Fredy Apaza. *EVALUACIÓN DEL RIESGO VOLCÁNICO EN EL SUR DEL PERÚ, SITUACIÓN DE LA VIGILANCIA ACTUAL Y REQUERIMIENTOS DE MONITOREO EN EL FUTURO.* Observatorio Vulcanológico del Sur (OVS)-INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ, Observatorio Vulcanológico del Ingemmet (OVI) – INGEMMET, Observatorio Geofísico de la Univ. Nacional San Agustín (IG-UNSA). Arequipa : s.n., 2016.

Development of two UAVs for volcano studies in southern Peru. **J. Apaza, D. Scipion, D. Lume, C. Saito.** Cuzco : s.n., 23 de Octubre de 2017, 2017 IEEE XXIV International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON).

Davis Instruments TM. Davis Instruments. [En línea] Julio de 2016. www.davis.com.

Müller, All Markus. eCalc. [En línea] 2018. www.ecalc.ch.

Department of Health Services. Wisconsin Department of Health Services. [En línea] Julio de 2018. <https://www.dhs.wisconsin.gov/chemical/carbondioxide.htm>.