



## XVIII Congreso Peruano de Geología

# Características de operación de la Red Telemétrica del Observatorio Vulcanológico del INGEMMET – OVI

Dino Raymundo Enriquez Fuentes<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Observatorio Vulcanológico del INGEMMET – OVI, Urb. Magisterial 2 B-16, Umacollo, Arequipa, Perú (denriquez@ingemmet.gob.pe)

## 1. Introducción

Uno de los pilares tecnológicos para hacer posible el monitoreo volcánico, es la telemetría, en tiempo real (U.S. Department of the Interior, 2014). La telemetría consiste en transmitir señales, desde las estaciones instaladas en los volcanes hacia un punto principal, haciendo uso de repetidoras en algunos casos.

El objetivo de este artículo, describir la operación y el diseño de la red, debido a que ello implica diferentes variables a tomar en cuenta en la proyección de las actividades y prioridades que se reflejan en la implementación y la operatividad del sistema en general. Para esto, se toman en cuenta el tipo de tráfico de datos, la geografía del lugar, accesibilidad, y criterios de proyectos desde la perspectiva del PMI (PMBOK, 2014) para integrar la implementación de la red telemétrica, que para este caso corresponden a los volcanes: Ubinas, Sabancaya y Misti.

La red telemétrica del OVI, es particular, debido a que no solamente se transmiten señales sísmicas, sino que también se transmiten, señales de concentración de gases en general y el SO<sub>2</sub> (dióxido de azufre) en especial, usando el DOAS (Differential Optical Absorption Spectrometer), también se transmiten señales de GPS, para detectar una posible deformación en el volcán, y finalmente también se transmite imágenes cada 30 segundos, para evaluar de forma visual la evolución diaria de la actividad volcánica.

En este contexto, se desarrollan tres etapas fundamentales: (1) *Elección* de los puntos de las estaciones, considerando diferentes tipo de tráfico de datos (Sísmica, GPS, Gases e imágenes). Esta elección se realiza de acuerdo a los requerimientos propuesto por los expertos de cada área (Sísmica, Geodesia, Geoquímica y

Visual). Una vez realizado el dimensionado de datos y se usa mapas de cobertura, para (2) *Planificar* los posibles enlaces entre estaciones (Terminal, Repetidoras y Principal) y la (3) *Implementación* física de las estaciones, que a su vez tiene fases de reconocimiento de campo; Pruebas; Construcción, instalación y puesta en operatividad.

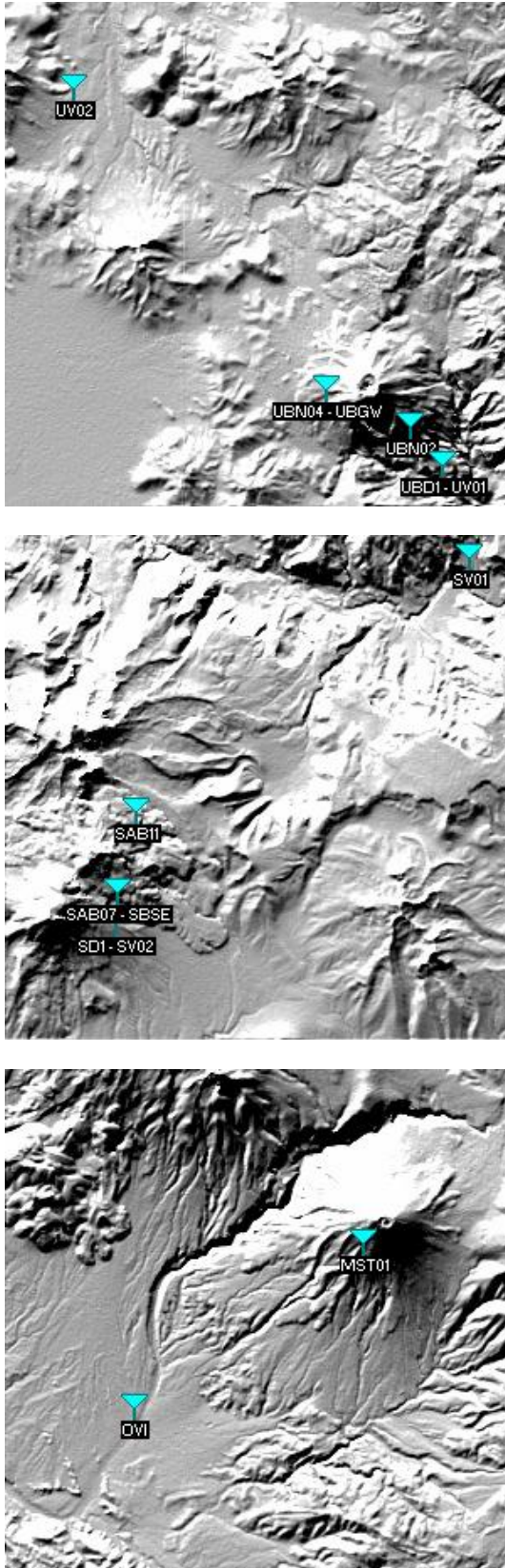
En general, la red está optimizada para buen tráfico de datos (de hasta 2Mbps). Algunas bondades, que presenta la red, es su aprovechamiento del lóbulo de radiación de la antena, que en algunos casos, ayuda a usar un radio y no dos; la red está diseñada para crecer con escalabilidad sostenible, es decir, con el tiempo se realizara enlaces con otros volcanes como el Ticsani, Tutupaca y Coropuna. Los problemas fundamentales en un inicio fue del ancho de banda, pero se superó, usando multimodulación dinámica, para algunos enlaces que se adaptan a diferentes volúmenes de tráfico de datos.

La red telemétrica, es el soporte fundamental del OVI, sobre todo durante la crisis del volcán Ubinas del 2014.

## 2. Desarrollo de la Red Telemétrica

Comenzamos con la elección de estaciones terminales, que en el contexto de telemetría, se entiende por estación terminal (ET), a un punto (coordenada geográfica) alrededor del volcán que corresponde a uno o más instrumentos de monitoreo (Sensor Sísmico, GPS, DOAS, Cámara de video, Cámara infrarroja, etc.) instalados en el mismo punto. Esta etapa es importante, debido a que es el punto de partida para integrar las actividades de adquisición, cronograma de actividades, costo, recursos, etc. Para elegir una ET, se realiza una reunión de trabajo con los expertos de monitoreo de cada área (Geología, Sísmica, Geodesia, Geoquímica y Visual), y se establecen los puntos (S.I. Donoso Alvarez, 2012) de acuerdo a

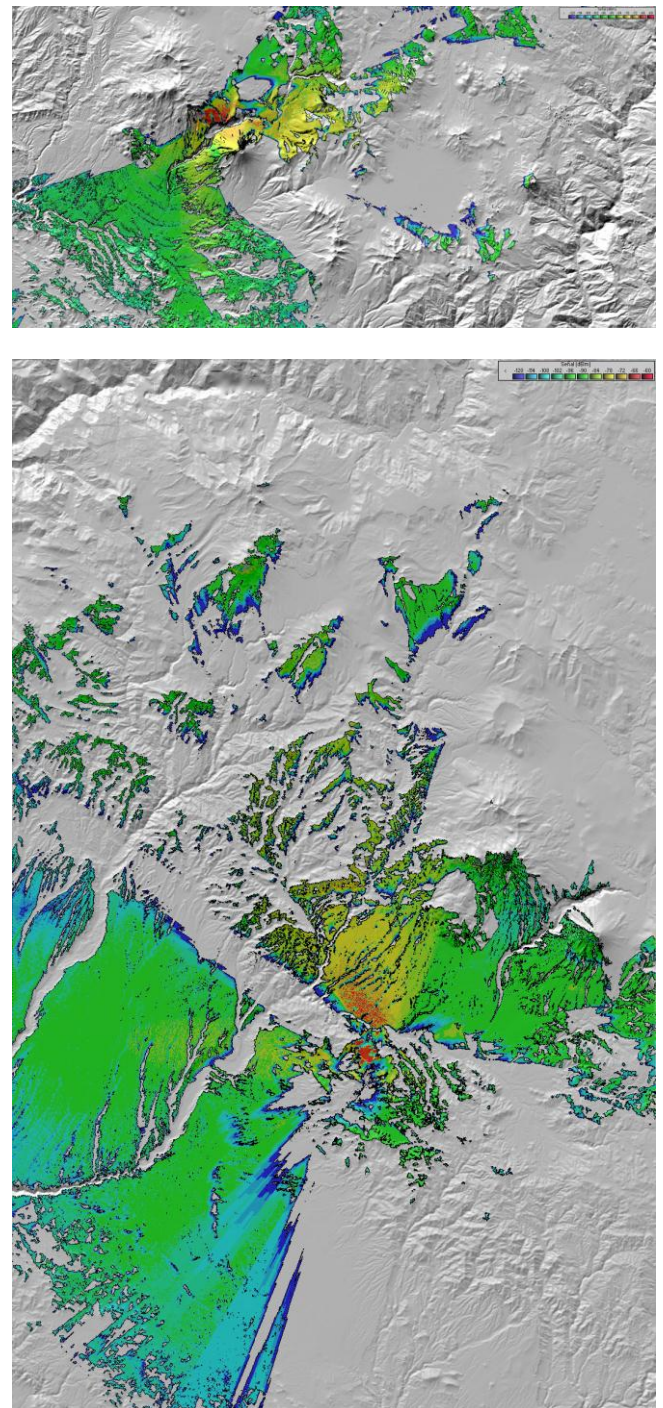
critérios y objetivos para cada proyecto, establecidos por la institución con el objetivo final de pronosticar una probable erupción volcánica (A. J. Mendeck, 2006). En los volcanes tenemos varias estaciones terminales, pero solo nos concentraremos en las estaciones con telemetría (**Figura 1**). Se instalaron 6 estaciones en el volcán Ubinas, 6 estaciones en el volcán Sabancaya y 1 estación en el volcán Misti.



**Figura 1.** Ubicación de las estaciones. Volcán Ubinas (Arriba). Volcán Sabancaya (Medio). Volcán Misti (Abajo).

Una vez elegidas las ET's, el siguiente paso es planificar los enlaces. La planificación comienza con la elaboración de los mapas de cobertura, que son las zonas con un umbral de recepción de  $-90\text{dBm}$  (zonas de color verde Figura 2), lo que sugiere que en estas zonas se pueden instalar estaciones terminales, donde la señal de radiofrecuencia tiene un nivel de campo eléctrico detectable para un receptor móvil alrededor de un transmisor fijo.

Para nuestro caso dos puntos son importantes: El repetidor de Chachani para el volcán Ubinas y el repetidor de Cerro Gloria para el volcán Sabancaya. Sobre todo el repetidor de Chachani, ya por este se van a transmitir otras señales provenientes de otros volcanes.



**Figura 2.** Mapa de cobertura para el repetidor de Chachani (Arriba), cerca del volcán Misti. Mapa de cobertura del repetidor de Cerro Gloria (Abajo), cerca de la ciudad e Arequipa.

Aprovechando el lóbulo de radiación del repetidor Chachani, podemos ver claramente que la transmisión entre el volcán Ubinas y Arequipa es factible usando solo un radio, y de esta manera optimizar los recursos, es cierto que el ancho de banda se dividirá en dos, pero como el ancho de banda del radio es de 4Mbps, no tendríamos problemas por el momento.

También se debe considerar un plan de frecuencias para establecer un rango de frecuencias para cada enlace, para que no se produzca interferencia, sobre todo en los repetidores y en la estación principal, debido a que hay varios equipos de radio en el mismo lugar. El rango de frecuencias de los enlaces es de 916MHz hasta los 928MHz. Para validar y formalizar las frecuencias, se realiza previa coordinación con el MTC y las instituciones que trabajan en este rango.

Para finalizar la planificación, se detallan cada enlace, y la idea principal de los enlaces (Figura 3), es que se utilicen la menor cantidad de repetidores, con el menor número de equipos de radio para su implementación. Con esto en mente, se implementó la red telemétrica USM, ubicando los repetidores en zonas donde se puedan captar la mayor cantidad de ET's, y en los enlaces de larga distancia, se consideró la primera zona de Fresnel, y una línea de vista óptima y umbral de recepción de -100dBm.

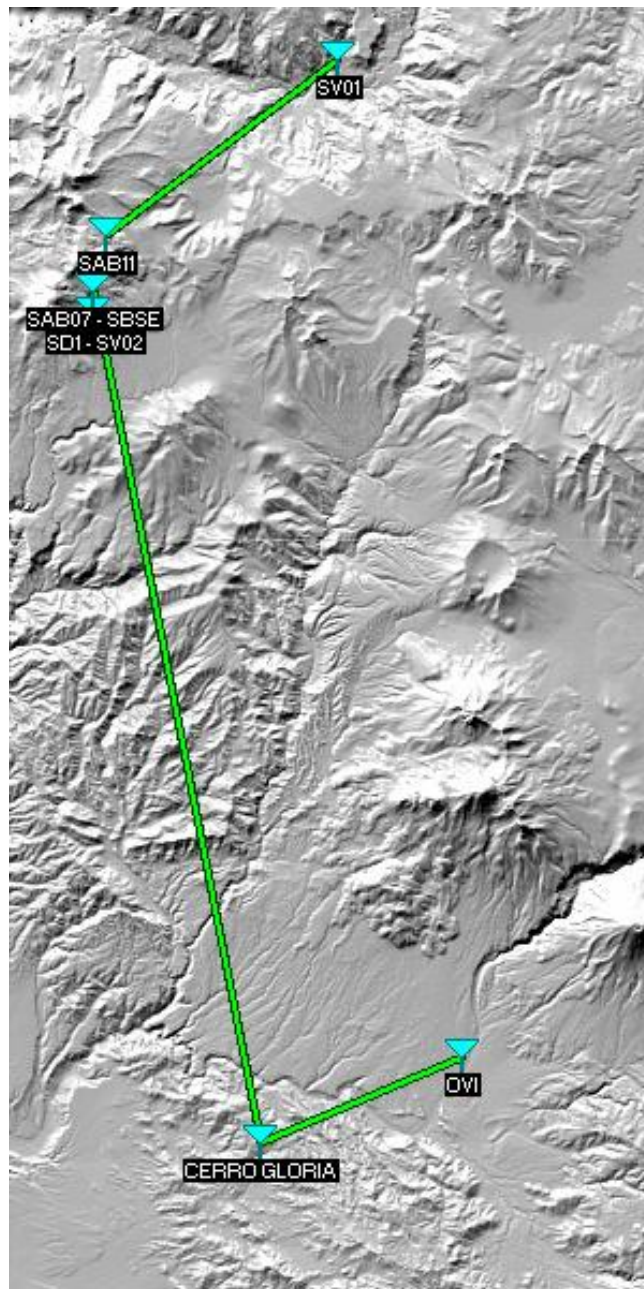
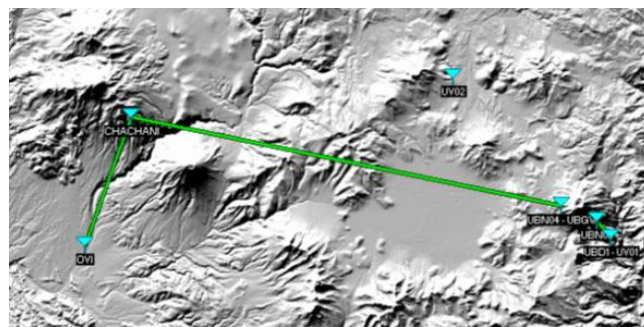
Para cada enlace en un inicio tuvimos el problema de ancho de banda limitado y fijo, y se solucionó utilizando multimodulación (BPSK, QPSK, 8PSK, 16QAM y 32QAM) dinámica, que permite a cada enlace adaptarse de acuerdo al nivel de recepción y elegir la mejor modulación.

Los enlaces para el volcán Ubinas son: el enlace OVI - Chachani, tiene una distancia 19.21Km, que es relativamente corta. Pero el enlace crítico Chachani - UBN04(UBGW) tiene una distancia 61.57Km, para este enlace se toma en consideración una buena instalación y multimodulación. El enlace UBN02 - UBD1(UV01) tiene una distancia 2.98Km. En los enlaces se usó interfaces ethernet y serial.

Los enlaces para el volcán Sabancaya: Enlace OVI - Cerro Gloria: distancia 18.79Km. El enlace más crítico del volcán Sabancaya es el enlace Cerro Gloria - SAB07(SBSE) con una distancia de 74.22Km, para esto se consideró antenas de mayor ganancia, multimodulación dinámica y bajo tamaño de paquetes para aumentar la sensibilidad del receptor y poder detectarlas para establecer un enlace confiable. El enlace SAB07(SBSE) - SD1(SV02) tiene una distancia 1.94Km. y finalmente el enlace SAB11 - SV01: distancia 24.96Km. En los enlaces se usó interfaces ethernet y serial.

En resumen para una sensibilidad de -100dBm, podemos establecer un throughput de 884Kbps usando modulación BPSK, lo que significa que podemos transmitir unas 18ET's (10 estaciones sísmicas, 3 cámaras de video enviando cada 30 segundos, 3 DOAS y 2 GPS por citar un ejemplo).

La distancia de los enlaces oscila entre 1.9Km y 75Km, y para cada enlace se considera un plan de frecuencias, distancia entre antenas, ganancia de antenas, accesibilidad, umbral de recepción, pérdida en el espacio libre, pérdida en cables y conectores, orientación de las antenas, tipo de antena entre otras necesarios para una buena confiabilidad del enlace.



**Figura 3.** Enlaces en el volcán Ubinas (Arriba). Toda la información de los enlaces se transmiten como punto principal al OVI.

Una vez planificada, se pasa a la etapa de ejecución o implementación de la red, que comienza con un reconocimiento de campo (J. Kasahara, 2010) de la posible estación, y se considera accesibilidad, infraestructura, coordenada y fotografías, y es fundamental debido a que se debe pensar en varias

posibilidades de implementación de estación multiparamétricas.

Con las coordenadas del punto se procede a realizar pruebas de transmisión, con equipos de radio y antenas, y se verifica la relación señal a ruido, que en el caso ideal debe tener un nivel superior a 20dB. Las pruebas se realizan usando datos generados por computador.

El siguiente paso es la construcción de las estaciones, que son casetas metálicas de soporte y seguridad para los equipos de monitoreo y una torre metálica relleno con concreto para el sistema de transmisión, así como la puesta a tierra, generalmente durante la construcción se realiza casi paralelamente la instalación y puesta en operatividad de la estación. La parte más dificultosa de la implementación es planificar la logística y la compra de los equipos en el tiempo adecuado, realizar las gestiones con anticipación, y sobre todo la comunicación entre los interesados involucrados en la implementación, para llevar a cabo correctamente la construcción e instalación de los equipos.



**Figura 4.** Implementación de la red telemétrica. Reconocimiento de campo en el volcán Sabancaya (Arriba izquierda). Caseta de seguridad para una estación sísmica en el volcán Sabancaya (arriba derecha). Pruebas antes de la instalación de una cámara de video (Abajo izquierda). Pruebas de transmisión en Chachani (Abajo medio). Vista de la construcción de la caseta del DOAS, y la instalación de la antena (Abajo derecha).

La red diseñada, fue de gran utilidad para manejar la crisis del volcán Ubinas en el 2014, porque los datos en tiempo real más una buena confiabilidad de los enlaces, garantizaban una buena interpretación para el pronóstico de una posible erupción.

En un futuro cercano se planea implementar el repetidor de Pucasaya en Ubinas, por tener buenas características tanto de repetidor como de integrar otras señales de otros volcanes (Ticsani y Tutupaca).

Y finalmente se tiene algunas perspectivas a mediano plazo de la red del OVI, que es ampliar la red en cooperación con el Servicio Geológico de Estados Unidos e implementar una red más compacta para los años 2017 y 2018 con un equipamiento de 60 equipos transmisión y asegurar el crecimiento de la red de manera sostenible y completa. Definitivamente que la experiencia adquirida nos será de mucha utilidad a corto y mediano plazo.

### 3. Conclusiones

Los criterios de diseño empleados han sido adecuados para la implementación red.

Los criterios de optimización en ancho de banda y adaptabilidad usando técnicas de multimodulación dinámica, han tenido un buen resultado.

La herramienta más flexible durante la fase de ha sido el uso de mapas de cobertura para la elección de puntos

Las etapas más críticas para el desarrollo e implementación de la red, ha sido la planificación y la coordinación de las actividades en campo.

En el contexto de gestión del proyecto de toda la red, a sido de gran utilidad considerar la perspectiva del PMI, debido a que se puede integrar diferentes áreas de conocimiento y se puede tener una perspectiva más amplia al respecto, que nos ayuda a implementar la red de la manera más adecuada y sistemática.

La implementación de toda la red implico un gran esfuerzo multidisciplinario de todas las áreas del OVI y también a nivel de gestión.

### Agradecimientos

Un agradecimiento especial a todo el equipo del OVI, por poner todo el empeño para hacer realidad la implementación de esta red que sigue creciendo.

### Referencias

- U.S. Department of the Interior. 2014. Volcano-Monitoring Instrumentation in the United States, Create Space Independent Platform.
- Project Management Institute – PMI. 2014. PMBOK Quinta Edición.
- Donoso Alvarez S. I.N1. 2012. Sistema de Monitoreo remoto en tiempo real: Para una estación meteorológica automática. Ed. Académica Española
- Kasara J., Koneev V. Zhdanov S. 2010. Active Geophysical Monitoring. Elsevier Science.
- Mendeck A. J., 2006. Seismic Monitoring in Mines. Ed. Springer. Título del trabajo.