

# Sistema para el Monitoreo y Cuantificación de Flujos de Lodo Basado en una Red Inalámbrica de Sensores

Marcillo P.\*; Bernal I.\*\*; Macías C.\*\*\*

\* Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ingeniería, Quito, Ecuador  
e-mail: pablomarcillolara@gmail.com

\*\* Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Quito, Ecuador  
e-mail: ivan.bernal@epn.edu.ec

\*\*\* Escuela Politécnica Nacional, Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador  
e-mail: cmacias@igepn.edu.ec

---

**Resumen:** Este artículo presenta el diseño e implementación de una red inalámbrica de sensores (RIS) que permitirá el monitoreo y cuantificación de flujos de lodo producidos por erupciones volcánicas. Esta red se integra en un sistema de Monitoreo y Cuantificación de Flujos. El sistema ha sido concebido como un conjunto de dispositivos como módulos inalámbricos basados en IEEE 802.15.4, sensores de alta precisión, cámaras de video de alta resolución e iluminadores infrarrojos; infraestructura de comunicaciones; y, módulos de software que permitan visualizar los datos recolectados por los sensores. Se presentan también los resultados obtenidos al emplear la RIS implementada en pruebas en un ambiente de laboratorio.

**Palabras clave:** Flujos de lodo, escombros, inalámbrico, instrumentación, monitoreo, WSN, RIS, sensores.

**Abstract:** This paper presents the design and implementation of a wireless sensor network (WSN) that allows for the monitoring and quantification of mudflows produced by volcanic eruptions. This network is integrated into a Monitoring and Quantification of flows System. This system is designed as a set of devices such as wireless modules based on IEEE 802.15.4, high-precision sensors, high resolution video cameras and infrared illuminators; communications infrastructure; and software modules that allow visualizing the data collected by the sensors. The results obtained by using the implemented WSN in tests in a laboratory environment are also presented.

**Keywords:** Mudflows, debris, wireless, instrumentation, monitoring, WSN, sensors.

---

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el mercado orientado a las WSN (Wireless Sensor Networks) o RIS (Redes Inalámbricas de Sensores) es tan diverso y amplio que es posible encontrar un gran número de plataformas inalámbricas, sistemas operativos, lenguajes de programación, simuladores, ambientes de desarrollo e inclusive soluciones completas listas para ser usadas.

El uso que se le ha dado a esta tecnología es tan variado, que es posible encontrar aplicaciones orientadas a la agricultura, a la domótica, al monitoreo ambiental, de estructuras civiles, de tráfico vehicular y al control industrial; incluso aplicaciones orientadas a la exploración espacial, como la propuesta en [2].

De acuerdo a lo señalado en [6], las WSN tienen el potencial de beneficiar de forma sustantiva los estudios de actividad volcánica. Los vulcanólogos frecuentemente utilizan arreglos de sensores interconectados con cable. Las WSN tienen bajos requerimientos de energía, integrando una modesta cantidad

de memoria, CPU y comunicaciones inalámbricas pueden desempeñar un importante rol en el monitoreo volcánico. Además este tipo de redes son más fáciles de desplegar y pueden integrar un mayor número de sensores y una mayor área de cobertura.

El monitoreo, detección y cuantificación de flujos de lodo y escombros es una tarea que puede también beneficiarse de las WSN. Esta tarea bien puede ser parte de un Sistema de Alerta Temprana (SAT), el cual está basado en el conocimiento y comprensión del riesgo, el monitoreo del fenómeno, la difusión de alertas a los involucrados y en la preparación que tengan éstos para actuar [8].

Un SAT debe proveer información veraz e instantánea, de manera que la toma de una u otra decisión sea ágil y a tiempo para así evitar pérdidas humanas y en lo posible pérdidas materiales.

En el contexto Ecuatoriano, el Instituto Geofísico (IG) de la Escuela Politécnica Nacional es el encargado de proveer información técnica y especializada del estado de un fenómeno. La Fig. 1 presenta el procedimiento del SAT usado por el IG para la ocurrencia de flujos de lodo y escombros en el volcán Tungurahua, junto con los tiempos de respuesta que se esperan.

---

Artículo recibido el 15 de diciembre de 2014. Este trabajo fue realizado con el apoyo del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. Información de contacto: Pablo Marcillo, e-mail: pablomarcillolara@gmail.com.



Figura 1. Proceso de un SAT [4]

En este artículo se presenta el diseño e implementación de los nodos de una WSN con sensores especializados orientados al monitoreo y cuantificación de flujos de lodo, así como de la WSN propiamente dicha. Así mismo se presenta el módulo de software desarrollado para integrarse en el sistema SAMI (Sistema de Adquisición y Monitoreo Integrado) del IG, lo que permite visualizar las lecturas de los sensores. Los resultados que se presentan son los correspondientes a las pruebas realizadas en un ambiente controlado. En una siguiente etapa, el IG realizaría el despliegue de la WSN en una ubicación y escenario que requiera de este tipo de monitoreo y se integraría la red de sensores a la infraestructura de comunicaciones del IG para que los datos que se obtengan puedan transmitirse a una estación que pueda procesarlos.

El artículo está organizado de la siguiente manera: en la sección 2 se presenta el sistema completo que brindaría la capacidad de monitorear y cuantificar flujos de lodo, integrando la WSN a la red de microonda del IG. En la sección 3 se presentan la plataforma inalámbrica a emplearse así como los dispositivos, sensores y el software que permitirán implementar la red. La sección 4 se centra en la implementación de los módulos base, de sensores, de visualización y sísmico. Las primitivas de comunicación de los módulos son definidas en la sección 5, mientras que el software para la visualización de los datos capturados por los sensores es descrito en la sección 6. En la sección 7 se presentan los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio. Finalmente, en la sección 8 se presentan las conclusiones del trabajo y se delimitan actividades futuras.

## 2. SISTEMA DE MONITOREO Y CUANTIFICACIÓN DE FLUJOS

El sistema propuesto en este trabajo se lo ha denominado SMYCF (Sistema de Monitoreo Y Cuantificación de Flujos) e incluye el conjunto de dispositivos, la infraestructura de comunicaciones y las herramientas de software que permiten cumplir con el objetivo de monitorear y cuantificar flujos de lodo y escombros.

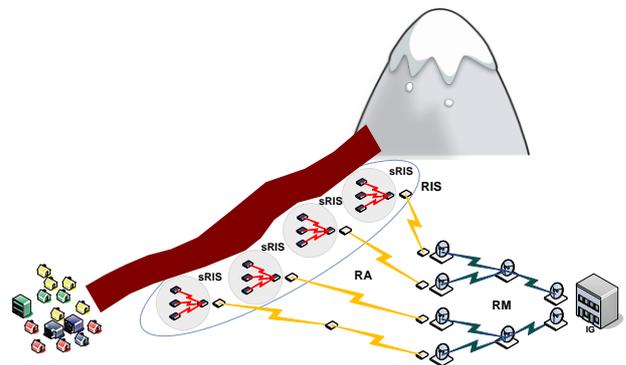


Figura 2. Redes involucradas en el SMYCF

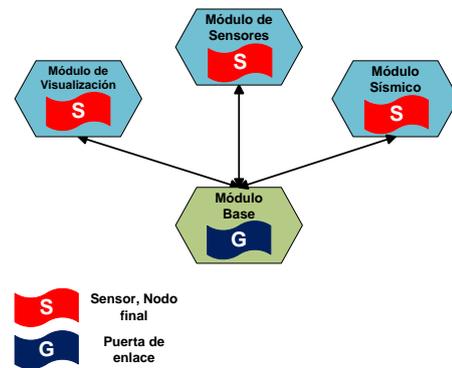


Figura 3. Topología tipo estrella adoptada por la sRIS

SMYCF hace uso de una red de acceso (RA) y de la red actual de microondas (RM) del IG para transportar la información generada por la WSN hacia el Centro de Datos del IG. La Fig. 2 presenta un diagrama de las distintas redes involucradas en el SMYCF.

La sRIS (Fig. 2) fue ideada como una pequeña (*small*) red estructurada por un módulo base y varios módulos finales. El módulo base se encarga de tareas tales como: sincronización de tiempo, recepción, procesamiento y envío de información generada por la sRIS hacia la RA. Los módulos finales se encargan de tareas mínimas como hacer lecturas periódicas de los sensores. La topología que mejor se adapta a esta concepción es la estrella (Fig. 3), en la cual un módulo base actúa como coordinador del resto de módulos, y a su vez como puerta de enlace entre la sRIS y la RA.

## 3. MATERIALES

### 3.1 Plataforma inalámbrica

La sRIS está basada en la plataforma inalámbrica imote2, desarrollada y distribuida inicialmente por Crossbow Technology Inc. que luego pasó a ser parte de la línea de productos adquirida por Memsic Inc., en el 2010. La plataforma fue seleccionada por las características de su hardware que superan en gran medida las de otras plataformas como motesky, mica2, micaz, waspmote y otras, así como por su disponibilidad para trabajar con distintos

sistemas operativos como: TinyOS, .NET Micro Framework, Linux y SOS.

Memsic provee tarjetas de expansión para la plataforma imote2 y es posible la integración de tarjetas desarrolladas por terceros con funcionalidades muy específicas.

La tarjeta de procesamiento IPR2400, integra un procesador escalable Intel PXA271; la escalabilidad se refiere a que el procesador puede operar a diferentes frecuencias.

La tarjeta de sensores ITS400, integra varios sensores tales como un acelerómetro triaxial de 12 bits, un sensor de alta precisión de temperatura de 14 bits, uno de humedad de 12 bits, uno de luz de dos canales de 16 bits para medir luz visible e infrarroja y un conversor analógico digital de 4 canales de 12 bits.

La IIB2400 es una tarjeta de alimentación, que permite energizar todas las tarjetas apiladas. Su diseño permite conectar 3 baterías AAA NiMH (Níquel Metal Hidruro). Posee un interruptor manual en un extremo para interrumpir el paso de corriente y un circuito de protección contra sobrecargas.

La IIB2400 es una tarjeta de interfaces, la cual provee 2 puertos USB a Serial y una interface JTAG para depuración de código y la reprogramación de la memoria de la IPR2400. La IEF100 fue diseñada por el Departamento de Instrumentación del IG, lleva embebido un circuito integrado MAX3232 que permite transformar niveles de voltaje de señales TTL en señales RS232 y viceversa.

### 3.2 Sensores y dispositivos

- Radar Reflex VG7 del fabricante HYCONTROL.
- El geófono modelo L-10AR del fabricante Sercel, con una frecuencia de respuesta de 10 a 300 Hz. Dispositivo que transforma la velocidad del movimiento del suelo en una señal eléctrica.
- Cámara de video de alta resolución NetCam SC del fabricante StarDot. Esta cámara tiene embebida a) una versión de uCLinux con lo que se puede ejecutar scripts, y b) un servidor web que permite la configuración del dispositivo.
- Iluminador infrarrojo
- GPS 18x LVC del fabricante GARMIN. Este modelo maneja niveles de voltaje TTL e incluye la especificación NMEA (National Marine Electronics Association) 0183 para comunicación entre dispositivos marítimos.
- Sensor de Temperatura
- Sensor de Humedad

### 3.3 SAMI

El Sistema de Adquisición y Monitoreo Integrado (SAMI) es software de código abierto y libre distribución [7] y actualmente es usado por el IG como herramienta de adquisición de estaciones inclinométricas y pluviométricas. SAMI está basado en Java y estructurado modularmente, está conformado por: a) el módulo de adquisición, encargado de

procesar la información recibida por los puertos de comunicación; b) el módulo de visualización, encargado de presentar la información en pantallas; y, c) el módulo de gestión, encargado de gestionar redes, estaciones, usuarios, dispositivos y puertos de comunicación.

## 4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LOS MÓDULOS INALÁMBRICOS

### 4.1 Módulo Base

El Módulo Base está integrado por la tarjeta de procesamiento IPR2400 y la de interfaces IEF100, la cual cumple los requerimientos del Módulo Base, como la disponibilidad de dos de los tres puertos UART del IPR2400. La IEF100 incluye un par de conectores tipo hembra para adherirse a los conectores macho de la tarjeta IPR2400. Para este prototipo se usó 2 de los 3 canales disponibles en el MAX3232, uno para convertir señales RS232 de un receptor GPS en señales TTL, mientras que el otro es usado para convertir señales TTL en señales RS232.

Enimote2 se establecen prefijos para los diferentes UARTs: ST (Standard), FF (Full Function) y BT (Bluetooth). En el Módulo Base, en la IPR2400, se usa la línea de transmisión del STUART como puerto de comunicaciones; mientras que las líneas de recepción y transmisión del puerto FFUART se usan como puertos de sincronización y depuración, respectivamente. La Fig. 4 presenta los puertos de alta velocidad que provee la tarjeta IPR2400 y sus funciones dentro del Módulo Base.

Para la sincronización de tiempo del Módulo Base, se usó un el GPS 18x LVC. El Módulo Base ha sido programado de manera que el proceso de sincronización de tiempo sea automático y hace uso de las sentencias GPGGA y GPRMC. Con GPGGA se obtienen los parámetros: tiempo, longitud, latitud, y el número de satélites; y con GPRMC el parámetro fecha. Cada cierto tiempo, el Módulo Base se engancha al GPS solo para sincronizarse.

Para el mantenimiento y verificación del estado de la red, el Módulo Base implementa un puerto de depuración. Por otro lado, el puerto de comunicación es usado para transmitir información de la red inalámbrica hacia un radio modem.

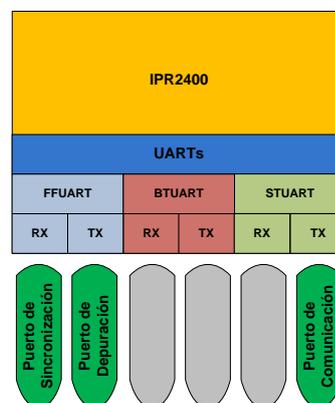


Figura 4. UART de la tarjeta IPR2400 y sus usos en el Módulo Base

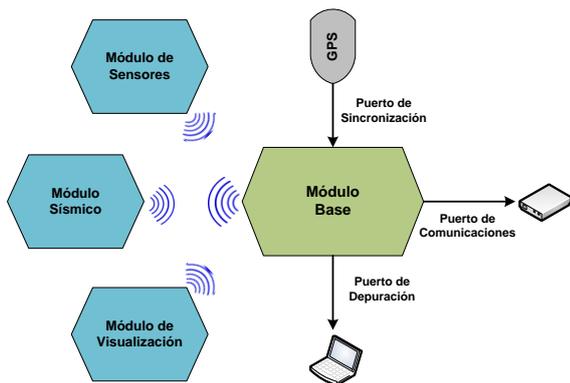


Figura 5. Funcionalidades del Módulo Base



Figura 6. Módulo Base

La Fig. 5 presenta un diagrama que ejemplifica el comportamiento del Módulo Base y sus funcionalidades y la Fig. 6 presenta la versión final del Módulo Base implementado.

#### 4.2 Módulo de Sensores

El Módulo de Sensores emplea las tarjetas de procesamiento IPR2400 y la de sensores ITS400, y un radar Reflex VG7. El radar se emplea para medir la distancia (altura) entre su antena y la superficie del flujo de lodo y escombros. Con este módulo se mide: temperatura, humedad y altura, sin embargo, es posible incluir también, si fuera el caso, parámetros como aceleración e intensidad lumínica. En vista de que el radar opera a 24 V, fue necesario el diseño y construcción de un pequeño circuito electrónico que incluye un convertor de corriente continua que transforma 12 a 24V. La Fig. 7 presenta la implementación final del Módulo de Sensores.

#### 4.3 Módulo Sísmico

El Módulo Sísmico emplea la tarjeta IPR2400 y uno de los puertos del convertor analógico digital (ADC) de la tarjeta ITS400. Con un ADC de 12 bits se pueden manejar 4096 niveles o "cuentas". En este módulo se emplea el geófono L-10AR.



Figura 7. Módulo de Sensores



Figura 8. Módulo Sísmico

Se implementaron 3 filtros digitales tipo FIR (Finite Impulse Response), para establecer las 3 bandas de frecuencia de la señal analógica proveniente del geófono: un filtro para la banda de 10-300Hz, uno para la banda de 10-100Hz y uno para la banda de 100-300 Hz[1][5]. La frecuencia de muestreo mínima, considerando el Teorema de Nyquist del muestreo y que la frecuencia máxima a muestrear es 300 Hz, se estableció en 600 Hz. El *timer*, que permite establecer la tasa de muestreo, provee una resolución en milisegundos, por lo que la tasa de muestreo se estableció en 1 KHz. La Fig. 8 presenta el Módulo Sísmico implementado.

#### 4.4 Módulo de Visualización

Este módulo hace uso de la IPR2400 y de la IEF101, una variante de la IEF100, sus tareas son: esperar mensajes de alerta enviados por el Módulo Base e interactuar con una cámara de video de alta resolución y un iluminador infrarrojo a través de uno de los puertos de entrada/salida de uno de los conectores que posee la IEF101.

Los módulos finales de la sRIS envían alertas al Módulo Base, el cual las gestiona y, dependiendo del caso, son retransmitidas hacia el Módulo de Visualización. El Módulo de Visualización, dependiendo del estado de la alerta, envía

una señal eléctrica hacia la cámara, que comanda la ejecución de un script que verifica el estado del puerto y activa o desactiva un relé para que un pequeño circuito electrónico encienda o apague el iluminador infrarrojo. El estado del puerto determina que la cámara mantenga o no la frecuencia por defecto con la que se transmite las imágenes capturadas. La Fig.9 presenta el Módulo de Visualización implementado.

5. PRIMITIVAS DE COMUNICACIONES DEFINIDAS

Para enviar información desde los módulos finales hacia el Módulo Base y desde el Módulo Base hacia la RA, se definieron estructuras de datos: las manejadas dentro de la sRIS se denominan *mensajes* y las manejadas fuera de la sRIS se denominan *paquetes*. Para discriminarlos mensajes de los paquetes se usaron los sufijos *Msg* y *Pck*. La Fig.10 incluye los mensajes y paquetes manejados por el Módulo Base.



Figura 9. Módulo de Visualización

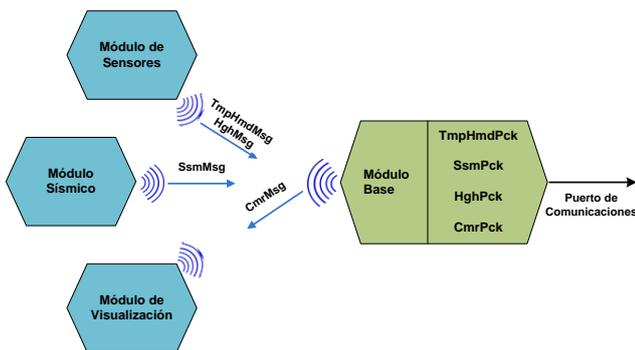


Figura 10. Mensajes y paquetes manejados por el Módulo Base

```
typedef nx_struct message_t {
    nx_uint8_t header[sizeof(message_header_t)];
    nx_uint8_t data[TOSH_DATA_LENGTH];
    nx_uint8_t footer[sizeof(message_footer_t)];
    nx_uint8_t metadata[sizeof(message_metadata_t)];
} message_t;
```

Figura 11. Estructura del message\_t definida por TinyOS 2.x[9]

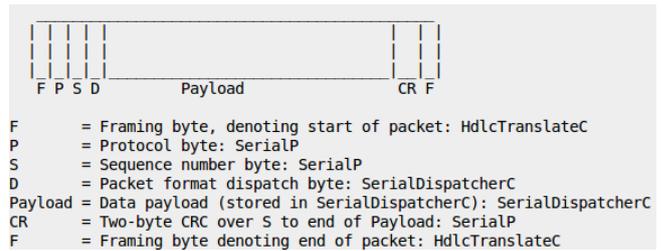


Figura 12. Formato para comunicación serial provista por TinyOS 2.x, usada para el envío de paquetes[9]

TinyOS provee una estructura de información para mensajes de radio denominada *message\_t* (Fig.11). Las estructuras de datos definidas como *mensajes* se encapsulan dentro del campo *data* de *message\_t*.

TinyOS establece también un formato para comunicación serial (Fig.12). Las estructuras de datos definidas como *paquetes* se encapsulan en el campo *payload*.

6. MÓDULO DE SOFTWARE PARA LA SRIS

Este módulo hace uso de la implementación para Java de TinyOS la que provee un conjunto de clases que permiten discriminar y validar paquetes de datos enviados a través del puerto serial.

Primeramente se hizo el mapeo de las estructuras de datos (paquetes y mensajes) a clases Java. TinyOS cuenta con *mig*, un generador de mensajes para el lenguaje de programación NesC, que permite realizar este mapeo con solo especificar las estructuras en un archivo de cabecera (.h).

La clase *MoteIF*, provista en el paquete *net.tinyos.message*, del API de TinyOS, se encarga de registrar oyentes (*listeners*) para cada uno de los objetos. Tales oyentes son invocados cuando lleguen mensajes, lo que a su vez provoca que se invoque el método *message Received* para procesar los mensajes recibidos y poder visualizarlos.

La visualización de la información generada por la sRIS y recibida se hace por medio de una interfaz (Fig. 13) que integra gráficas que indican los valores de altura, temperatura y humedad, y una tabla para presentar información adicional como hora, fecha y número de satélites del receptor GPS.

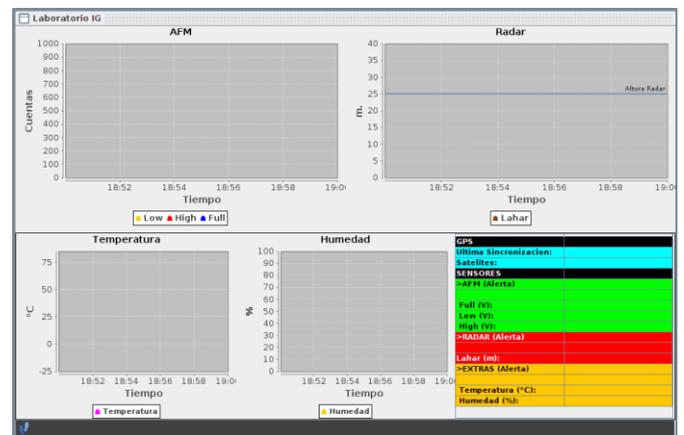


Figura 13. Interfaz gráfica en Linux del módulo desarrollado para SAMI

Se establecieron rangos y unidades para el eje vertical para cada una de las gráficas, así para la gráfica relacionada a los componentes full, low y high del geófono (AMF, AcousticFlow Monitor), el rango va de 0 a 1000 cuentas; la del radar de 0 a 40 m; la de temperatura de -25 a 75 °C; y, finalmente, la humedad de 0 a 100%. Con respecto al eje horizontal, las gráficas presentan intervalos de tiempo de 10 min.

En el módulo de software se deben realizar ciertas conversiones para obtener el valor real de algunos parámetros. Algunas de estas conversiones ya se encuentran definidas; por ejemplo, para el sensor de temperatura y humedad se usaron las conversiones provistas en [3].

Por lo tanto, para el parámetro temperatura se usó:

$$temperatura(^{\circ}C) = cuentas * 0.01 - 39.6 \quad (1)$$

Para el parámetro humedad:

$$humedad(\%) = -0.0000028 * cuentas^2 + 0.04 * cuentas - 4 \quad (2)$$

Y finalmente, para el parámetro altura, la conversión fue determinada a partir de los datos obtenidos de las pruebas de laboratorio, de la siguiente manera:

$$altura(m) = \frac{4298.3 - cuentas}{171.64} \quad (3)$$

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El funcionamiento del sistema requirió de pruebas realizadas a cada uno de los módulos que integran la sRIS y de pruebas en conjunto. Se establecieron valores por defecto o valores experimentales para los programas que fueron cargados en cada uno de los módulos que, en su momento, deberán ser analizados y modificados por los científicos y técnicos a cargo. De la misma manera se establecieron parámetros para la cámara de video que integra el Módulo de Visualización. Estos parámetros fueron configurados en los scripts bash creados para cambiar la frecuencia de transmisión de imágenes. Se podría citar, por ejemplo, los valores umbrales establecidos para los parámetros de temperatura, humedad y altura; de estos valores umbrales dependerá la generación de alertas en el sistema.

Las pruebas con el Módulo de Sensores, específicamente con el sensor de altura, requirieron el uso de un obstáculo móvil de la misma manera que se lo había hecho anteriormente para efectuar las mediciones usadas en la etapa de diseño. La superficie del obstáculo móvil intentó simular la superficie de un flujo de lodo y escombros. Tales pruebas consistieron en tomar medidas de voltaje y número de cuentas al módulo, mientras el obstáculo móvil era deslizado por el suelo. Las medidas fueron tomadas sucesivamente a intervalos de 1 metro, hasta cubrir una distancia de 13 metros. Con respecto a los sensores de temperatura y humedad, las pruebas no conllevan mayor desafío y simplemente se verificó su respuesta ante cambios de temperatura. La Fig. 14 presenta la manera en que el sensor de altura fue probado, mientras que la Fig. 15 presenta el comportamiento de los sensores de

altura, temperatura y humedad ante los diferentes cambios realizados durante la ejecución de las pruebas.



Figura 14. Técnica usada para realizar mediciones con el sensor de altura

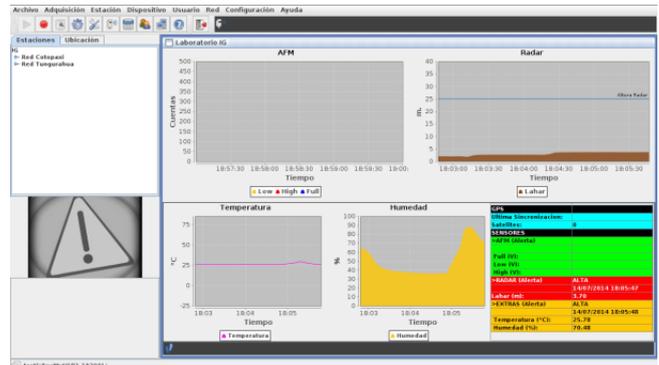


Figura 15. Comportamiento del sensor de altura durante la ejecución de las pruebas

Las pruebas al Módulo Sísmico consistieron en reemplazar el geófono por un generador de funciones, y así generar señales sinusoidales de diferente frecuencia y amplitud. Las pruebas conllevan la generación de señales sinusoidales de 60, 80, 100, 120, 170 y 220 Hz con variaciones de amplitud de 300 y 600 mV. De acuerdo a lo establecido en el fase de diseño, la componente *Low* presenta cambios significativos ante señales de 60, 80 y 100 Hz; mientras que la componente *High* presenta cambios significativos ante señales de 120, 170 y 220 Hz. Este comportamiento demuestra el correcto funcionamiento de los filtros digitales, que en el caso del filtro pasa bajo (*Low*) deja pasar señales que se hallan en el rango de 10 a 100 Hz y descarta señales en el rango de 100 a 300 Hz; a diferencia del pasa alto (*High*), el cual descarta señales que se hallan en el rango de 10 a 100 Hz y deja pasar señales en el rango de 100 a 300 Hz. Por otro lado, el comportamiento de la componente *Full* refleja cambios ante todas las señales generadas, lo cual demuestra el correcto funcionamiento del filtro pasa banda completa (*Full*), al dejar pasar señales que se hallan en los rangos de 10 a 100 Hz (*Low*) y de 100 a 300 Hz (*High*). La Fig. 16 presenta el comportamiento de cada una de las componentes del AFM

ante señales de alta y baja frecuencia y distinto nivel de amplitud.

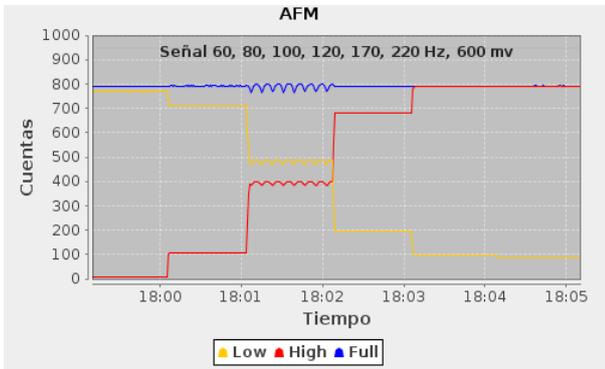


Figura16. Comportamiento de las componentes del AFM ante señales de baja y alta frecuencia y distinto nivel de amplitud

Las pruebas al Módulo de Visualización consistieron en generar alertas por medio del Módulo de Sensores. Los mensajes de alerta fueron retransmitidos hacia el Módulo de Visualización y se generaron los pulsos esperados que por un lado encendieron y apagaron el iluminador infrarrojo y por otro permitieron el cambio de la frecuencia de transmisión de imágenes. Teniendo en cuenta la dificultad de comprobar el encendido y apagado del iluminador infrarrojo durante el día debido al hecho de que el iluminador en cuestión no posee un indicador o led de encendido y apagado, se usó un multímetro para comprobar efectivamente la subida y caída de voltaje durante la ejecución de las pruebas. En lo que respecta a las imágenes transmitidas durante el estado de alerta, se usó el servidor FTP del IG para almacenarlas. La Fig. 17 presenta una imagen del Módulo de Visualización y del Módulo de Sensores durante la fase de pruebas.

Por último, se realizó una prueba de funcionamiento en conjunto en la que intervinieron cada uno de los módulos que integran la sRIS. La prueba fue enfocada especialmente al funcionamiento del Módulo Base y su interacción con los demás módulos.



Figura 17. Módulo de Visualización durante la fase de pruebas

```
[INFO] 22:38:07 Sending SSM Packet!!!
[INFO] 22:38:10 Sending HGH Packet!!!
[INFO] 22:38:17 Sending SSM Packet!!!
[INFO] 22:38:18 Sending TMPHMD Packet!!!
[INFO] 22:38:19 Reading GPS!!!
[INFO] 22:38:21 Shutting GPS Down!!!
[INFO] 22:38:28 Sending SSM Packet!!!
[INFO] 22:38:31 Sending HGH Packet!!!
[INFO] 22:38:38 Sending SSM Packet!!!
[INFO] 22:38:39 Sending TMPHMD Packet!!!
[INFO] 22:38:48 Sending SSM Packet!!!
[INFO] 22:38:51 Sending HGH Packet!!!
[INFO] 22:38:58 Sending SSM Packet!!!
[INFO] 22:38:59 Sending TMPHMD Packet!!!
[INFO] 22:39:08 Sending SSM Packet!!!
[INFO] 22:39:11 Sending HGH Packet!!!
[INFO] 22:39:18 Sending SSM Packet!!!
[INFO] 22:39:19 Sending TMPHMD Packet!!!
[INFO] 22:39:28 Sending SSM Packet!!!
[INFO] 22:39:31 Sending HGH Packet!!!
[INFO] 22:39:38 Sending SSM Packet!!!
[INFO] 22:39:39 Sending TMPHMD Packet!!!
CTRL-A Z for help | 4800 8N1 | NOR | Minicom 2.6.1 | VT102 |
```

Figura 18. Muestra de la información generada por el puerto de depuración

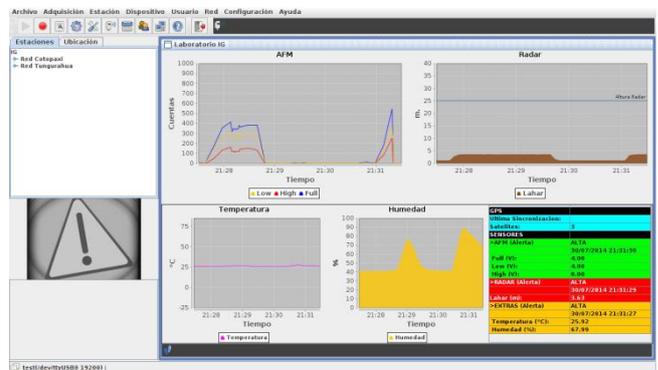


Figura19.Comportamiento de todos los sensores que integran la sRIS

En una primera instancia, se comprobó el correcto funcionamiento del puerto de depuración tal como se presenta en la Fig. 18; el puerto de depuración arrojó

información relacionada al arribo de mensajes de los distintos módulos e información de los procesos de enganche y desenganche del GPS y de lectura del mismo.

Una segunda instancia comprobó el correcto funcionamiento del puerto de comunicaciones del Módulo Base, que puede ser apreciado en la Fig. 19; además, para comprobar otras funcionalidades del Módulo Base, se simuló un escenario en que todos los sensores que integran la sRIS generaron alertas en el mismo periodo de tiempo. Esto determinó también el correcto funcionamiento del Módulo Base gestionando las alertas del resto de módulos.

## 8. CONCLUSIONES

Existen limitaciones en la sRIS en cuanto a seguridad. Tales limitaciones se deben al hecho de que el diseño de las RIS está basado en el estándar de comunicaciones IEEE 802.15.4 y no en especificaciones como por ejemplo ZigBee, que ofrece servicios como ruteo, encriptación, asociación y autenticación, y otros servicios disponibles en su Capa de Aplicaciones.

La información generada por el SMYCF constituirá un parámetro de calibración del modelo matemático que deberá ser implementado por la institución interesada y que permitirá la cuantificación de flujos de lodo; mientras que la topografía del terreno, la geometría de las quebradas, los hidrogramas de entrada y los parámetros reológicos constituirán los parámetros de entrada que alimentarán tal modelo.

Un mayor número de coeficientes para un filtro digital implica mayor carga de procesamiento para el microprocesador, pero por otro lado mejora la calidad del mismo. El escenario ideal sería trabajar con filtros digitales de calidad aceptable que no provoquen carga de procesamiento excesiva.

La principal dirección del trabajo futuro es el desplegar los módulos desarrollados y recolecta datos para que puedan ser procesados por los expertos, además de expandir el número de sensores y distribuirlos en un área de cobertura significativa.

## RECONOCIMIENTO

A las principales autoridades del Instituto Geofísico por su apertura e interés en el presente trabajo de investigación. Al personal del Departamento de Instrumentación del IG por su colaboración en el desarrollo del mismo.

## REFERENCIAS

- [1] C. Macías. (2012, Agosto) Diseño de un sistema digital de monitoreo de lahares.
- [2] C. Rossi and et al., "Wireless Sensor Networks for Planetary Exploration: Experimental Assessment of Communication and Deployment," *Advances in Space Research*, 2013.
- [3] Crossbow. (2007, Septiembre) Imote2 Buidier Kit Manual.

- [4] D. Andrade et al. (2006) Lahar early warning systems based on acoustic flow monitors in Ecuador.
- [5] D. Andrade, P. Ramón, and et al. (2005) Sistemas de Detección de Lahares y Alertas Tempranas: Aplicaciones y Resultados en los volcanes del Ecuador.
- [6] G. Werner-Allen, J. Johnson, M. Ruiz, J. Lees y M. Welsh, Monitoring volcanic eruptions with a wireless sensor network. EWSN 2005.
- [7] P. Marcillo. (2006, Abril) Sistema Informático para Adquisición, Almacenamiento y Análisis de datos de deformaciones volcánicas. [Online]. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/1048>
- [8] SciDevNet. [Online]. <http://www.scidev.net/america-latina/comunicacion/especial/alerta-temprana-contra-desastres-hechos-y-cifras.html>
- [9] TinyOS. (2013, Enero) [Online]. <http://www.tinyos.net/tinyos-2.1.0/doc/>