

III Encuentro de Jóvenes Investigadores  
San Juan, Argentina

**"Desarrollo de una Plataforma  
de Adquisición de Datos  
orientada a la Sismología"**

Línea Temática: Desarrollo de Tecnologías

Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES)

## I. INTRODUCCIÓN.

El Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES) es el organismo encargado de monitorear la actividad sísmica en la República Argentina. Esta tarea sirve para un mejor diseño de estructuras, prospección y análisis de suelo, y elaboración de sistemas de alerta. En particular la *sismicidad local* es un área de estudio e interés que está en curso en esta Institución.

Los sismos locales son aquellos eventos que ocurren dentro de un radio de hasta 100 km desde donde se ubica el instrumento sensor (sismómetro). A pesar de que algunos de estos sismos no son percibidos en la vida cotidiana de las personas, su estudio es de gran importancia puesto que la mayoría de los sismos de mayor intensidad siempre están precedidos de sismos de menor intensidad e imperceptibles para las personas.

El INPRES cuenta con una Red Nacional de Estaciones Sismológicas (RNES) distribuida en todo el país. Básicamente cada una de las Estaciones Sismológicas, cuentan con un sismómetro que registra los eventos y con un Sistema de Adquisición de Datos (Data Acquisition System, DAS). Cada Estación Sismológica transmite los datos registrados hacia el INPRES, colectados mediante un Software (de código abierto) denominado EARTHWORM [2].

El establecimiento de la comunicación entre EARTHWORM y los distintos DAS con los que cuenta el INPRES debe realizarse a través de un Software propietario (provisto por cada empresa fabricante de los DAS) que hace las veces de intermediario (Figura 1).

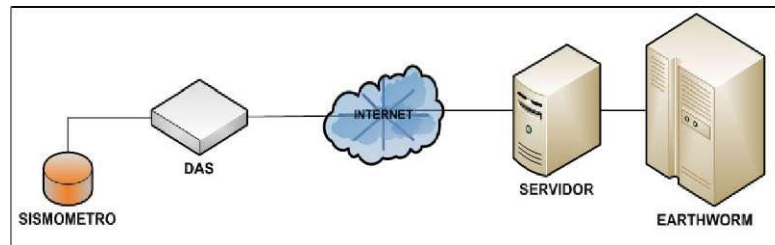


Figura 1. Esquema de conexión entre los DAS y EARTHWORM.

En base a lo antes mencionado, se propone realizar una Plataforma de Adquisición de Datos que permita enviar directamente los datos capturados en tiempo real a través de Internet a EARTHWORM. Obteniendo así: flexibilidad, conexionado e independencia de terceros.

## II. REQUERIMIENTOS.

1. Desarrollar una Plataforma que permita la comunicación directa con EARTHWORM.
2. Los datos registrados deberán transmitirse a través de Internet.
3. Los sismómetros adquiridos por el INPRES son los denominados de período corto, de la firma Teledyne Geotech, modelo S-13[8]. Este tipo de sensor es el adecuado para el presente trabajo.
4. La Plataforma debe ser capaz de registrar de forma óptima sismos locales que se encuentren dentro del rango de magnitud 2 a 4 en la escala Richter [1].
5. Las estaciones sismológicas se ubican, por lo general en zonas alejadas de las grandes ciudades, lo que dificulta la operación de la Plataforma en forma local por parte de un operario en cualquier instante. Por lo cual resulta imprescindible la operación de la misma en forma remota.

### **III. PROPUESTA DE DESARROLLO.**

En base a los requerimientos planteados en la sección anterior, se propone realizar una Plataforma (Sistema) de Adquisición de Datos que permita enviar directamente los datos capturados en tiempo real a través de Internet a EARTHWORM.

El dispositivo tendrá instalado un Web Server embebido, que posibilitará al usuario realizar la configuración y operación del mismo.

La realización del Sistema propuesto implica el desarrollo de dos partes claramente diferenciables, una concerniente al Hardware y otra al Software, las cuales se detallarán a continuación.

### **IV. DESARROLLO DEL SISTEMA.**

#### **A. Desarrollo del Hardware.**

##### **A1. Plataforma de Desarrollo.**

Los requerimientos 1 y 2, citados en la sección II, son los que llevan a optar por la plataforma de desarrollo a utilizar.

EARTHWORM cuenta con un módulo denominado SLINK2EW, que permite comunicarse en forma directa con él, a través del uso del protocolo SEEDLINK [3]. Este protocolo es empleado de forma masiva por las más importantes instituciones sismológicas del mundo para el intercambio de datos sísmicos. De lo antes mencionado, se desprende el escoger una plataforma que cuente con conectividad Ethernet y que posibilite la implementación del protocolo SEEDLINK.

Entre las distintas alternativas existentes, se opta por escoger la SBC Raspberry Pi [4], la cual cuenta con conectividad Ethernet, y lo más importante es que las librerías necesarias para implementar el protocolo SEEDLINK fueron utilizadas con éxito en este dispositivo a través del software SEISCOMP [6]. El protocolo de comunicación escogido debe ser implementado bajo Sistema Operativo Linux. La Raspberry Pi ejecuta Raspbian [5], distribución de GNU/Linux basada en Debian.

##### **A2. Acondicionamiento de la señal de entrada.**

La señal que registra el sismómetro S-13 puede alcanzar la frecuencia de 100 Hz [8], mientras que las señales sísmicas de interés para este trabajo tienen un valor máximo de 10 Hz [22]. Por ello es necesario acondicionar las señales obtenidas por el sismómetro. Esto se logra amplificando y filtrando la señal. Luego la Raspberry Pi debe procesar y transmitir los registros hacia EARTHWORM, por lo cual se deben digitalizar los datos obtenidos por el sensor.

##### **> Amplificación.**

La señal de salida del sismómetro S-13 es diferencial, cuyo valor máximo es de 40 Vpp, y sensible al ruido proveniente de la red eléctrica (50 Hz de frecuencia). El máximo valor de tensión que entrega el sismómetro ante un sismo de magnitud 4 en la escala de Richter es de 2 Vpp [22].

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, fue tomada la decisión de implementar un amplificador de instrumentación [18]. Estos dispositivos presentan una ganancia diferencial precisa y estable, cuyo valor puede controlarse mediante una resistencia externa. Tienen una Relación de Rechazo de Modo Común (Common Mode Rejection Ratio, CMRR) elevada, lo que posibilita tener una buena relación señal a ruido en todo el rango de frecuencia de interés. Además su alta impedancia de entrada, permite aislar del sismómetro el resto del circuito.

En la Tabla 1 se observan los amplificadores de instrumentación evaluados.

Referencia	CMRR @G = 100 [dB]	Ruido total referido a la entrada @G = 100 [uV]	No linealidad en la ganancia @G = 100 [ppm]	Error en la ganancia @G = 100 [%]	Precio [US\$]
AD622ANZ	US	0.3	10	0.2	6.21
INA128PA	110	0.2	5	0.5	8.32
LT1789	100	1	18	0.27	6.41

Tabla 1 - Amplificadores de Instrumentación evaluados en base a sus parámetros.

Para elegir el dispositivo más conveniente fue definida una figura de mérito, asignándose un peso a cada uno de los parámetros (Tabla 2).

Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	Parámetro	Peso
P1 - CMRR	40	P3 - No linealidad en la ganancia	10	P5 - Precio	10
P2 - Ruido total referido a la entrada	25	P4 - Error en la ganancia	15		

Tabla 2 - Pesos asignados a cada uno de los parámetros de interés.

Una vez definido los parámetros y pesos correspondientes, la siguiente fórmula fue aplicada:

$$FM = 40 * \left( \frac{P1_x}{P1_{MAX}} \right) + 25 * \left( \frac{P2_{MIN}}{P2_x} \right) + 10 * \left( \frac{P3_{MIN}}{P3_x} + \frac{P5_{MIN}}{P5_x} \right) + 15 * \left( \frac{P4_{MIN}}{P4_x} \right)$$

Ecuación 1. Fórmula de Figura de Mérito.

Tras aplicar la ecuación 1 y obtener el valor más alto, fue elegido el circuito integrado AD622ANZ de Analog Devices [9].

El valor de ganancia del amplificador (Figura 2) fue establecido de acuerdo al valor de la resistencia RG y será escogida de acuerdo al máximo valor de tensión que tenga la entrada de la etapa de digitalización, la cual será desarrollada más adelante.

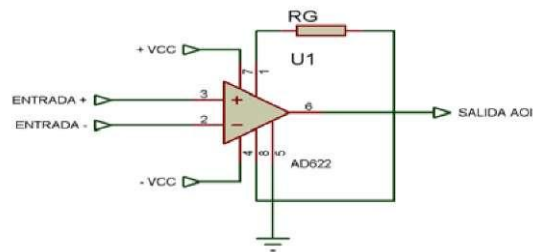


Figura 2. Etapa de amplificación.

### > Filtrado.

La magnitud de la señal sísmica a registrar por el sismómetro debe estar entre los valores 2 y 4 de magnitud en la escala Richter (ítem 4 de la sección II). Debido a esto, el ancho de banda de interés se encuentra en el rango de 0 a 10 Hz [22].

Además, como fue mencionado anteriormente, la señal entregada por el sismómetro debe ser digitalizada para ser procesada por la Raspberry Pi. Según el Teorema de Nyquist [19], para poder replicar con exactitud la forma de una onda es necesario que la frecuencia de muestreo (Sampling Frequency, FS) sea igual o superior al doble de la máxima frecuencia a muestrear. Si esto no se cumple aparece

un fenómeno denominado Aliasing [19], que hace que la banda de frecuencia de la señal muestreada se repita (tenga un alias) a múltiplos de la frecuencia de muestreo. Si no es escogida la frecuencia de muestreo correcta, el alias puede quedar solapado con la banda de la señal base produciendo solapamiento o overlapping.

Por este motivo, debe ser implementado un filtro analógico Anti-Aliasing antes de proceder a digitalizar la señal. Para eliminar las frecuencias por encima de un cierto umbral, debe ser un filtro pasa bajos, que permita limitar el ancho de banda de la señal y evitar la aparición del efecto de solapamiento. Además, su respuesta debe ser máximamente plana, tanto en la banda de paso como en la banda de atenuación. La topología que presenta estas características es la de Butterworth, en configuración Sallen Key [20].

Para el diseño del filtro Anti-Aliasing fue utilizado el toolbook de MATLAB denominado Analog Filter Design [21], herramienta que permite el diseño, análisis y simulación de filtros activos a partir de la introducción de algunos parámetros, como la frecuencia de corte, ganancia, tipo, configuración del filtro y orden.

La frecuencia de corte para el diseño del filtro, a fines prácticos, fue elegida en 20 Hz (el doble del valor de interés), para que en el rango de 0 a 10 Hz el desplazamiento de fase introducido por el filtro analógico Anti-Aliasing [20] sea lo menor posible. En una etapa posterior, luego de tener en forma digital la señal sísmica, se procederá a aplicar un filtro digital por Software, como será explicado más adelante.

La frecuencia de muestreo utilizada en sismología está en el rango comprendido entre 1 y 200 Hz [10]. Para el desarrollo del sistema propuesto se utilizará un valor de 100 Hz, el cual es el escogido por el INPRES para todas sus estaciones [17].

El valor máximo de atenuación de la señal en la banda de atenuación es obtenido calculando la Relación Señal a Ruido (Signal Noise Relation, SNR), que es el cociente entre la potencia de la señal y la potencia del ruido de fondo (generado por el proceso de cuantificación). Como el ruido de fondo está vinculado directamente al ruido de cuantificación (ruido blanco) [24], la SNR depende del número de bits utilizados para cuantificar [23] en el proceso de digitalizar una señal.

$$SNR = 6.02 * N + 1.76 \text{ dB} \quad \text{Ecuación 2. Fórmula para el cálculo de la SNR.}$$

En la etapa de digitalización será utilizado un Conversor Analógico a Digital (Analog to Digital Converter, ADC) [23]. La cantidad de bits del ADC a utilizar está directamente asociada a la magnitud del sismo que se quiere registrar. Un sismo de magnitud 2 registrado a 100 km de distancia del sismómetro presenta el número de cuentas de 200 (límite inferior si la señal necesita ser registrada con un valor razonable de SNR), y si el ADC utilizado es de 16 bits [10]. Este dispositivo presenta en su salida 32768 cuentas (teniendo en cuenta que su entrada acepta valores positivos y negativos), con un rango dinámico [23] igual a:

$$\text{Ecuación 3. Rango Dinámico del ADC.}$$

Suponiendo que la magnitud se incrementa con el logaritmo de la amplitud, la magnitud máxima a registrar con un ADC de 16 bits es de:

$$Magnitud_{MAX} = 2.0 + \log_{10}164 = 4.2 \text{ Ecuación 4.}$$

Valor máximo de magnitud con 16 bits.

Con lo cual, un ADC de 16 bits, cumple con los requisitos solicitados. Teniendo definido el número de bits en el proceso de digitalización de la señal, el valor de SNR a partir de la ecuación 2 es de 98 dB.

Debido a que la banda de paso esta comprendida entre 0 a y 20 Hz, los valores de frecuencia que ocasionan Aliasing se obtienen a partir de la ecuación 5 [19] y se encuentran entre los 80 y 100 Hz:

$$\text{Alias Frec.} = \lfloor (FS \text{ más cercana a la frec.de entrada} - \text{frec.de entrada}) \rfloor$$

Ecuación 5. Fórmula para el cálculo de Aliasing.

La ganancia del filtro Anti-Aliasing en la banda de paso es de 0 dB, ya que la ganancia del sistema fue establecida en la etapa de amplificación.

El filtro obtenido a través del toolbox de MATLAB fue de orden 8, conformado con 4 etapas tipo Butterworth, en configuración Sallen Key (Figura 3).

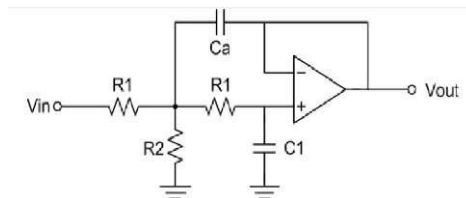


Figura 3. Etapa del filtro Anti-Aliasing, configuración Sallen-Key.

La respuesta en frecuencia y fase del filtro diseñado es la siguiente:

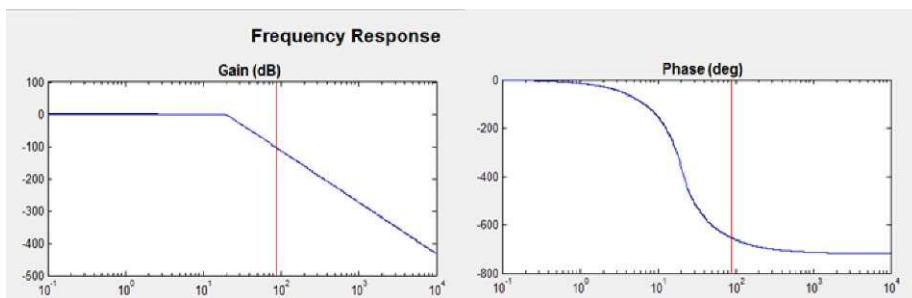


Figura 4. Respuesta en frecuencia y fase del filtro Anti-Aliasing.

El amplificador operacional escogido fue el LM324 de Texas Instruments [25]. El mismo fue escogido entre las diversas opciones evaluadas (Tabla 3), tras el uso de una figura de mérito (ecuación 6) para su elección.

Referencia	CMRR [dB]	PSRR [dB]	Ganancia [MHz]	Ruido referido a la entrada [nV/√Hz]	Corriente de Aliment. [mA]	Precio [U\$S]
TL084	86	86	3	18	1.4	0.45
LM324	80	110	1.3	40	1.2	0.28
LF347	100	100	3	18	8	1.00

Tabla 3 - Amplificadores Operacionales evaluados para el diseño del filtro Anti-Aliasing.

Un valor de peso fue asignado a cada uno de los parámetros más relevantes a tener en cuenta en la elección del amplificador (Tabla 4). Cada circuito integrado que fue sometido a evaluación consta de 4 amplificadores operacionales.

Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	Parámetro	Peso
P1 - Precio	25	P3 - Ganancia	15	P5 - CMRR	10
P2 - Corriente de Aliment.	25	P4 - Ruido referido a la entr.	15	P6 - PSRR	10

Tabla 5 - Pesos asignados a cada uno de los parámetros de interés.

$$FM = 25 * \left( \frac{P1_{MIN}}{P1_x} + \frac{P2_{MIN}}{P2_x} \right) + 10 * \left( \frac{P3_x}{P3_{MAX}} + \frac{P4_{MIN}}{P4_x} \right) + 15 * \left( \frac{P5_x}{P5_{MAX}} + \frac{P6_x}{P6_{MAX}} \right)$$

Ecuación 6. Fórmula de Figura de Mérito.

### > Digitalización de la señal.

La salida del filtro es una tensión cuyo valor es de 10 Vpp, por lo cual debe escogerse un ADC de 16 bits, cuya entrada acepte valores de tensión negativos o acondicionar la señal a la entrada del mismo. La señal digitalizada será enviada a la SBC Raspberry Pi, la cual cuenta con un bus de Interfaz de Periféricos Serie (Serial Peripheral Interface, SPI) [7] para la conexión de dispositivos externos. Es por ello que a la hora de escoger por un ADC, este es un parámetro a tener en cuenta.

De la misma forma en que se procedió en etapas anteriores, para escoger el ADC más adecuado, se utilizó una figura de mérito (ecuación 7), asignando a los parámetros más relevantes (Tabla 5), un peso (Tabla 6).

$$FM = 25 * \left( \frac{P1_{MIN}}{P1_x} + \frac{P2_x}{P2_{MAX}} \right) + 20 * \left( \frac{P3_{MIN}}{P3_x} \right) + 10 * \left( \frac{P4_{MIN}}{P4_x} + \frac{P5_x}{P5_{MAX}} + \frac{P6_x}{P6_{MAX}} \right)$$

Ecuación 7. Fórmula de Figura de Mérito.

Dispositivo	Número efectivo de bits [bits]	SNR [dB]	SINAD [dB]	Integral Linearity Error (INL) [LSB]	Disipación de Potencia [mW]	Precio [US\$]
ADS8507	15	88	88	3	30	22.24
AD974	15	83	83	3	35	56.29
ADS7813	15	89	89	3	120	39.19

Tabla 7 - ADC evaluados para el desarrollo del trabajo.

Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	Parámetro	Peso
P1 - Precio	25	P3 - INL	20	P5 - SNR	10
P2 - Número Efectivo de Bits	25	P4 - Disipación de Potencia	10	P6 - SINAD	10

Tabla 6 - Pesos asignados a cada uno de los parámetros de interés.

Tras utilizar la ecuación 7, el ADC seleccionado fue el ADS8507 de Texas Instruments [11]. Este dispositivo acepta 10 Vpp de tensión analógica en sus entradas, y tal como se mencionó en la etapa de Amplificación, este parámetro

permite establecer el valor de la resistencia RG en 12,680kQ (teniendo en cuenta la información provista por el fabricante [9]). Al ser de 2 Vpp la máxima tensión a registrar por el sismómetro para un sismo de magnitud 4 en la escala de Richter, para aprovechar todo el rango del ADC, fue establecido un valor de ganancia de 5 en la etapa de Amplificación.

## **B. Desarrollo del Software.**

### **B1. Transmisión de datos.**

Una vez realizado el acondicionamiento de la señal sísmica registrada por el sismómetro, es necesario llevar a cabo la transmisión de la misma hacia EARTHWORM. La misma debe llevarse a cabo a través de una arquitectura Cliente- Servidor. EARTHWORM cuenta un módulo que actúa como Cliente SEEDLINK, denominado SLINK2EW.

En la SBC Raspberry Pi se optó por instalar la aplicación RINGSERVER [16], que hace las veces de Servidor SEEDLINK, y permite evitar la pérdida de datos ante una interrupción en la comunicación con EARTHWORM. Cuando esto sucede, la transmisión de datos inicia en el punto en el que se encontraba al momento de ocurrir el corte. Los datos que RINGSERVER envía a cada Cliente que los solicita, son registros Mini-SEED [14] de 512 bytes.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, fue desarrollada una aplicación que crea registros Mini-SEED, a partir de los datos entregados por el ADC, con el fin de ser interpretados por RINGSERVER. Debido a que fue necesario utilizar librerías externas para establecer una comunicación con el ADC, crear y enviar registros Mini-SEED hacia RINGSERVER, y todas ellas están escritas en Lenguaje ANSI C, este lenguaje de programación fue utilizado para realizar la aplicación.

Cada una de las tareas que realiza la aplicación se detallan a continuación:

#### **> Lectura de datos del ADC.**

La lectura de los datos desde el ADC por parte de la SBC Raspberry Pi se realiza a través de un bus SPI, haciendo uso de la librería Wiring Pi [26] cada 10 ms (correspondiente a una frecuencia de muestreo de 100 Hz).

La frecuencia con que se procede a la lectura del bus SPI para obtener los datos provenientes del ADC, es obtenida a partir de la señal SIGALRM [27] del que dispone el Lenguaje ANSI C para su uso en Sistemas Operativos Unix/Linux.

#### **> Filtrado Digital.**

Cada dato obtenido del ADC será filtrado digitalmente (como fue mencionado en la sección IV) por Software. La utilización de un filtro digital tiene como ventajas: inmunidad a ruido fuerte, mucha exactitud y fácil modificación de las características del filtro [19].

El filtro digital escogido es del tipo Respuesta Finita Impulsiva (Finite Impulse Response, FIR) [30], debido a que son siempre estables y capaces de tener una fase lineal (retraso constante de grupo), lo que conlleva a una ausencia total de distorsión. Los filtros FIR, que como su nombre indica, si la entrada es una señal impulso la salida tendrá un número finito de términos no nulos.

La salida del filtro  $y[n]$  puede expresarse como una convolución de la entrada  $x[n]$  con la respuesta al impulso del filtro  $h[n]$ :

$$y[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k] h[n-k]$$



Donde  $h_k$  representa los coeficientes del filtro. La respuesta del filtro FIR es por tanto, una suma ponderada de valores pasados y presentes de la entrada.

El diseño del filtro digital fue realizado haciendo uso del toolbox de MATLAB denominado Filter Design and Analysis Tool (FDATool) [31], herramienta que permite el diseño y análisis de filtros FIR e IIR.

El filtro FIR escogido es del tipo pasa bajos, cuyo valor de frecuencia en la banda de paso es de 0 a 10 Hz, y de 10 a 20 Hz en la banda de transición. En la banda de paso fue escogido un valor de atenuación de 1dB y en la banda de rechazo 98 dB, valor obtenido del cálculo de la SNR (ecuación 5) en la sección anterior. La técnica de diseño seleccionada para la realización del filtro FIR fue equiripple. La misma permite obtener un filtro óptimo, en el sentido que la magnitud del ripple es mínima en todas las bandas [30]. El número de coeficientes obtenidos fue de 30.

La respuesta de magnitud y fase del filtro diseñado se observa a continuación:

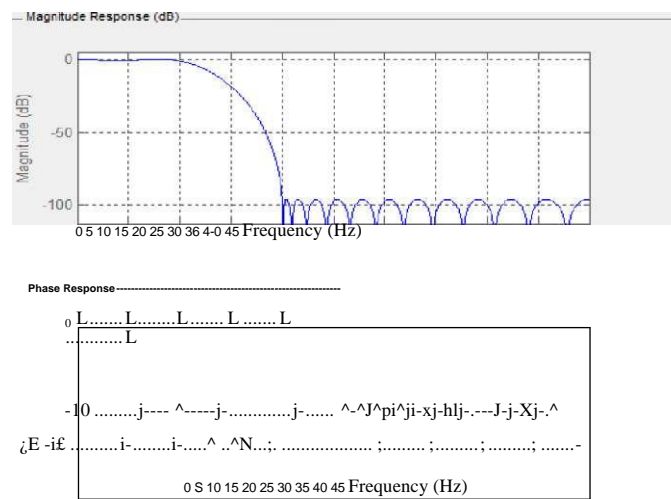


Figura 5. Respuesta de Magnitud y Fase del filtro FIR.

### > Creación de registros Mini-SEED de 512 bytes.

La creación de los registros Mini-SEED se realiza a través del uso de la librería LIBMSEED [15]. Un registro Mini-SEED está compuesto por los siguientes campos:

1. Una cabecera de 48 bytes de longitud, cuyos campos más relevantes son: número de secuencia (identificador para cada registro), detalle de la Estación Sismológica (Nombre, Código de Red, Identificador de Canal y Ubicación), número de muestras que hay en el registro y tasa de muestreo.
2. Dos campos denominados "blockettes", tipo 1000 y 1001, de 8 bytes de longitud cada uno. La información más importante se ubica en el primer "blockette" y hace referencia al formato de codificación utilizada en el campo de datos. La Tabla 7 muestra los diferentes formatos que se pueden escoger.
3. Un campo de datos con los valores registrados por el sismómetro, de 448 bytes de longitud. La cantidad de datos que se almacenan en cada registro depende del formato de codificación y de la frecuencia de muestreo escogida.

Código	Formato de Codificación	Código	Formato de Codificación
0	Texto ASCII	4	Punto Flotante según IEEE
1	Entero de 16 bits	5	Punto Flotante de Doble Precisión según IEEE
2	Entero de 24 bits	10	Compresión STEIM1
3	Entero de 32 bits	11	Compresión STEIM2

Tabla 7 - Formatos de codificación que pueden utilizarse en un registro Mini-SEED.

Para el desarrollo del presente trabajo fue elegido un valor de 300 datos [29], para almacenar en cada registro Mini-SEED, y codificados según el formato de compresión STEIM2 [28].

### > Envío de datos a RINGSERVER.

Cada registro Mini-SEED creado deberá ser enviado a RINGSERVER para que éste, a su vez, los transmita a EARTHWORM. Esto será posible gracias a la implementación de la librería LIBDALI [13], la cual permite transferir registros Mini-SEED por medio del protocolo DATALINK [12] hacia RINGSERVER.

### B2. Configuración y Operación del DAS.

Uno de los requerimientos solicitados al momento de desarrollar este trabajo fue la posibilidad de configurar (parámetros esenciales) y operar el DAS en forma remota. Para cumplir con ello, será implementado un sitio Web dinámico desarrollado en Lenguaje PHP (Hypertext Preprocessor) [32]. PHP fue escogido debido a que brinda la posibilidad de generar contenido dinámico y permite ejecutar aplicaciones y comandos del sistema del lado del Servidor (SBC Raspberry Pi). Para ejecutar PHP fue necesario implementar en la SBC Raspberry Pi un Servidor Web que lo soporte. Por defecto, con la distribución GNU/Linux Raspbian viene incorporado Apache [33], Servidor Web que soporta el Lenguaje PHP.

El sitio Web implementado, permitirá a través de una intuitiva interfaz gráfica, modificar diversos parámetros de la Plataforma desarrollada, tales como: Nombre de la Estación, Canal, Número de puerto para establecer una comunicación con RINGSERVER y EARTHWORM e Identificación del Servidor RINGSERVER (ID).

A través de un browser, mediante una dirección IP asignada por defecto, será posible ingresar al sitio Web del DAS, para observar y modificar los parámetros antes mencionados (Figura 6).

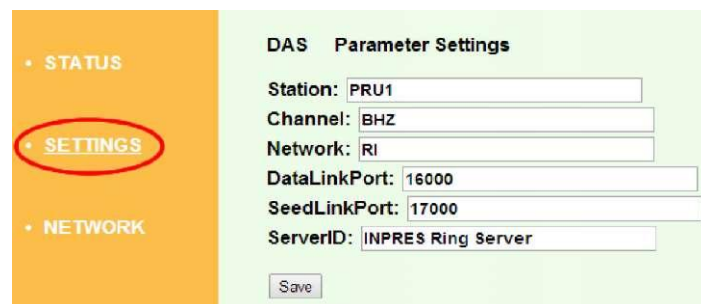


Figura 6. Modificación de parámetros del DAS.

A través de este sitio Web, el operario también podrá iniciar, detener, reiniciar y apagar el Sistema de Adquisición de Datos en forma remota. Además, será posible modificar los parámetros concernientes a la configuración de red de la SBC Raspberry PI, como son: Dirección IP, Máscara de Red y Puerta de Enlace (Gateway).

## **V. CONCLUSIONES.**

El presente trabajo permitió al INPRES, contar con una Plataforma (Sistema) de Adquisición de Datos Sísmicos, capaz de establecer una comunicación en forma directa con el Software de colección de datos EARTHWORM, sin necesidad de utilizar un Servidor que opere como intermediario, ni el desarrollo de un módulo adicional para EARTHWORM.

Por sus características propias los organismos sismológicos (como INPRES) están bajo modificación, ampliación y actualización constante de sus redes y estaciones. Al depender de Software propietario para obtener los datos, se presentan dificultades ante una modificación que se pretenda efectuar al Software EARTHWORM. Aumentando la complejidad, mantenimiento y operación de la RNES. El desarrollo del presente trabajo consigue flexibilidad, conexionado e independencia de terceros.

El uso del protocolo de comunicación SEEDLINK es otra de las ventajas que tiene el dispositivo realizado, el cual permite retransmitir los datos no enviados debido a una interrupción en la comunicación, característica que al momento de escribir este trabajo, los distintos fabricantes de Sistemas de Adquisición de Datos Sísmicos están comenzando a introducir como novedad, debido a lo difundido que es entre los diversos servicios sismológicos del mundo para el intercambio de datos.

Al cumplir con las expectativas previstas, el presente trabajo es objeto de patentamiento a través de un grupo interdisciplinario.

## **VI. AGRADECIMIENTOS.**

El autor de este trabajo agradece al Instituto Nacional de Prevención Sísmica por el financiamiento otorgado para su realización, a M.Sc Chad Trabant (Data Management Center - Incorporated Research Institutions For Seismology) y al Dr. Ing. Humberto Secchi (Instituto Nacional de Automática - Universidad Nacional de San Juan) por la colaboración desinteresada en su elaboración.

## Referencias

- [1] Bolt, B. "Earthquakes and geological discovery". Scientific American Library. W.H. Freeman & Co, 221 p. New York, USA. 1993.
- [2] EarthWorm Central. Instrumental Software Technologies, Inc. <http://www.earthwormcentral.org/> [Consulta: Enero de 2014]
- [3] Andres Heinloo. "Networked Seismographs: GEOFON Real-Time Data Distribution (SEEDLINK)". Orfeus Newsletter, Volumen 2 N° 3, Diciembre 2000.  
<http://www.orfeus-eu.org/organization/OrganizationalNewsletter/vol2no3/geofon.html> [Consulta: Febrero de 2014]
- [4] Raspberry Pi Foundation. University of Cambridge's Computer Laboratory, 2014. <http://www.raspberrypi.org/> [Consulta: Marzo de 2014]
- [5] Raspbian Operating System. Developers: Mike Thompson and Peter Green. <http://www.raspbian.org/> [Consulta: Marzo de 2014]
- [6] SeisComp. Seismological Software. GEOFON Program. <http://www.seiscomp3.org/> [Consulta: Marzo de 2014]
- [7] "Serial Peripheral Interface (SPI) & Inter-IC (IC2) (SPI\_I2C) Application Note" - Renesas, 2003.  
[http://documentation.renesas.com/doc/products/region/rtas/mpumcu/apn/spi\\_i2c.pdf](http://documentation.renesas.com/doc/products/region/rtas/mpumcu/apn/spi_i2c.pdf) [Consulta: Abril de 2014]
- [8] "Operation and Maintenance Manual Portable Short-Period Seismometer, Model S-13". Teledyne Geotech, 1983.
- [9] Analog Devices AD622ANZ Data Sheet. [http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/ZAD622.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ZAD622.pdf) [Consulta: Marzo de 2014]
- [10] Jens Havskov and Gerardo Alguacil. "Instrumentation In Earthquake Seismology". 1st ed. Springer. Netherlands. 2004.
- [11] Texas Instruments ADS8507 Data Sheet. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads8507.pdf> [Consulta: Marzo de 2014]
- [12] Protocolo de Comunicaciones DATALINK - Chad Trabant, IRIS Data Management Center, 2013.  
[https://seiscode.iris.washington.edu/svn/orb2ringserver/tags/release-1.0/libdali/doc/DataLink\\_protocol](https://seiscode.iris.washington.edu/svn/orb2ringserver/tags/release-1.0/libdali/doc/DataLink_protocol) [Consulta: Febrero de 2014]
- [13] LIBDALI, DataLink Client Library. Chad Trabant, IRIS Data Management Center, 2013.  
<http://www.iris.edu/pub/programs/ringserver/libdali-1.6.tar.gz> [Consulta: Febrero de 2014]
- [14] Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS) "SEED Reference Manual". 3rd ed. 2006. Appendix G - Data Only SEED Volumes (Mini-SEED).
- [15] LIBMSEED, The Mini-SEED library. Chad Trabant, IRIS Data Management Center, 2013.  
<https://seiscode.iris.washington.edu/projects/libmseeds> [Consulta: Febrero de 2014]
- [16] RINGSERVER, A generic ring buffer and a SeedLink Server - Chad Trabant, IRIS Data Management Center, 2013.  
<https://seiscode.iris.washington.edu/projects/ringserver/> [Consulta: Febrero de 2014]
- [17] Parámetro establecido por el Departamento Laboratorio Sismológico del INPRES.
- [18] Milton Kaufman y Arthur H. Seidman. "Manual para Ingenieros y Técnicos en Electrónica". 2da ed. McGraw-Hill. 1992.
- [19] Ashok Ambardar. "Procesamiento de Señales Analógicas y Digitales". 2da ed. Thomson Learning. 2002.
- [20] Bonnie C. Baker. "Anti-Aliasing, Analog Filters for Data Acquisition Systems". Application Note 699. Microchip Technology Inc. 1999.
- [21] Analog Filter Design (AFD) Toolbox - James Squire. MATLAB Central, 2012.  
<http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/9458-analog-filter-design-toolbox> [Consulta: Julio 2014]
- [22] Valores registrados por el Departamento Laboratorio Sismológico, en base a al registro de sismos locales con epicentro a una distancia de 100 km de la ubicación del sismómetro.
- [23] Steven W. Smith. "The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing". 2nd ed. Analog Devices. California Technical Publishing. San Diego, California, USA. 1999.
- [24] Enrique Bueno Gimeno. "Diseño de un Convertidor Analógico-Digital de Aproximaciones Sucesivas de bajo consumo y área reducida". Proyecto de Fin de Carrera. Austriamicrosystems AG. Universidad Politécnica de Valencia. 2010.
- [25] Texas Instruments LM324 Data Sheet. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm124-n.pdf> [Consulta: Agosto 2014]
- [26] Wiring Pi. GPIO Interface library for the Raspberry Pi. <http://wiringpi.com/> [Consulta: Marzo de 2014]
- [27] W. Richard Stevens, Stephen A. Rago. "Advanced Programming in the UNIX Environment". 2nd ed. Addison Wesley Professional. 2005.
- [28] Shu-Fang Newman. "Seismographic Data Compression". Institute of Technology, University of Washington, Tacoma. 2006.
- [29] Valor establecido de acuerdo al formato de compresión utilizado y a la frecuencia de muestreo escogida, según recomendación de Chad Trabant (Autor de la librería LIBMSEED).
- [30] Emmanuel C. Ifeachor and Barrie W. Jervis. "Digital Signal Processing: A Practical Approach". 1<sup>st</sup> ed. Addison-Wesley Publishing Company. USA. 1993.
- [31] Filter Design and Analysis Tool (FDATool). MATLAB Documentation, 2014.  
<http://www.mathworks.com/help/signal/ug/overview.html#br179zi-4> [Consulta: Agosto de 2014].
- [32] PHP Official Web Site. <http://php.net/> [Consulta: Mayo de 2014]
- [33] Apache. HTTP Server Project. <http://httpd.apache.org/> [Consulta: Mayo de 2014]