

# An integrated bathymetric and seismic profiling system (Un sistema integrado de batimetría y perfilamiento sísmico)

Jonathan Oberreuter, Sebastián Pulgar, and Andrés Rivera

**Abstract**— We developed a system that integrates bathymetric and seismic measurements. The system consists of an active transducer, hydrophone streamer and an electronic unit. The source waves travel through water, they reach the water/sediment interface, one part is reflected back to the surface and the other penetrates the internal layers, this phenomenon continues until the acoustic energy dissipates completely. The system has been constantly improved since 2013: we changed feeding from alternate current to direct current, improved the software and made hardware safer to deploy. The integrated system proved to be suitable for surveying water column depth as well as sediment structure, no matter if it's marine or lacustrine. It has a depth range of 800m and is able to penetrate up to 200 m of sediments.

**Index Terms**—bathymetry, seismics, subbottom profiling system, sediments.

## I. INTRODUCCIÓN

LOS sistemas de perfilamiento sísmicos marinos se han utilizado principalmente en la industria petrolera, para el descubrimiento y explotación de reservas de gas y petróleo. No obstante, otra aplicación es la determinación de la existencia y cuantificación del sedimento existente bajo el suelo marino o lacustre en entornos cercanos a glaciares, determinando de esta manera el aporte de éstos durante su avance o retroceso al proceso de sedimentación. En Chile, Koppes et al [1] durante el 2010 utilizó un sistema sísmico en la laguna San Rafael (46°40'S, 73°56'O) detectando espesores de sedimento superiores a 200m.

El principio de funcionamiento de los sistemas batimétricos o de perfilamiento sísmico consiste en emitir una señal acústica a través del agua, la cual se propaga hasta encontrar un cambio de impedancia. En este punto la señal se reflejará de vuelta a la superficie, se absorberá o se transmitirá dependiendo de la frecuencia y de las propiedades acústicas del material. Este proceso se repetirá hasta que la señal se haya disipado completamente por divergencia geométrica o por absorción. Un cambio de impedancia puede producirse cada vez que existe un cambio de medio, como del agua al sedimento, de agua dulce a salada, de sedimento a roca, etc. El

tiempo de ida y regreso de la señal, junto con el conocimiento de la velocidad de propagación de onda, permiten estimar el espesor de la columna de agua y de las capas subyacentes.

En los sistemas batimétricos (ecosounders), generalmente se utiliza el ultrasonido (frecuencias sobre 20kHz) como fuente acústica, en el que hay mayor resolución vertical, pero nula penetración de sedimento. En cambio, los sistemas de perfilamiento sísmico operan a una frecuencia entre 1 y 250 Hz [cita], rango en el que la penetración de la capa de sedimento es efectiva, pero a una menor resolución vertical.

El objetivo de este trabajo es describir un sistema integrado de batimetría y perfilamiento sísmico. A continuación, en la Sección II, detallamos los componentes de este sistema, su funcionamiento y el manejo de los datos obtenidos. Además, se describen las mejoras que ha tenido el equipo, a partir de su primera versión del año 2013. En la Sección III mostramos resultados obtenidos con el sistema integral en el río Valdivia. Considerando los resultados expuestos en dicha sección, concluimos con una discusión sobre las ventajas y desventajas de nuestro sistema integrado en la Sección IV.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Descripción del sistema

Los principales componentes del sistema integrado de batimetría y perfilamiento sísmico se presentan en el esquema que muestra la Fig. 1.

El sistema de perfilamiento sísmico se compone de una fuente acústica omnidireccional, la cual emite un pulso de baja frecuencia (300-400Hz). La fuente acústica se compone, a su vez, de dos discos metálicos, los cuales son separados bruscamente al recibir un pulso eléctrico de 650 Volts, generando así la señal acústica característica. La cadena o arreglo de hidrófonos se compone de 14 elementos piezoeléctricos, los cuales constituyen un solo canal de entrada al sistema. Este arreglo transforma la señal acústica en una señal eléctrica, preamplificándola y llevándola a una etapa de amplificación en el receptor, para luego ser digitalizada a través de un dispositivo de audio Presonus AudioBox 22VSL. El pulso eléctrico inicial y la señal recibida por el hidrófono están sincronizadas por medio de una señal de disparo (*trigger*) digital emitida por un circuito, en el cual se define la duración entre pulsos (valores fijos: 0.5s, 1s ó 2s). Paralelamente a esta configuración en el hardware, en el software Bubbles (desarrollado por CECs) se define la duración de la ventana  $\Delta t$  que guardará la información proveniente de la señal acústica. Esta ventana, que se conoce

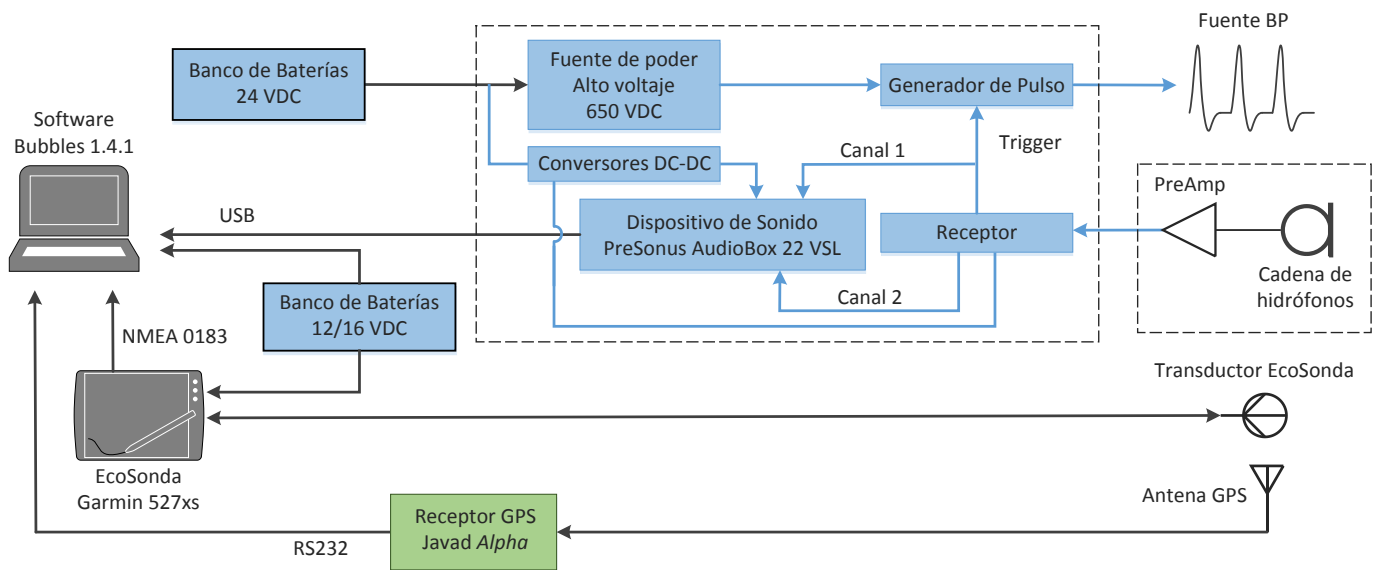


Fig. 1. Esquema sistema integrado de batimetría y perfilamiento sísmico.

también como traza, se abre con el pulso eléctrico, sincronizado a través del *trigger*, y se cierra al cabo de  $\Delta t$ . De esta forma, el dispositivo de audio Presonus AudioBox 22VSL captura en canales independientes la señal de *trigger* y la señal proveniente del arreglo de hidrófonos. Una vez digitalizada esta información se transmite por USB hacia el computador, donde el software Bubbles registra y almacena los datos.

La alimentación eléctrica del sistema sísmico consiste en un banco de baterías de 24Volts 26Ah. Esta energía permite tener una autonomía suficiente para operar entre 8 y 10 horas continuas en terreno a una tasa de 1 pulso cada 2s.

En paralelo al funcionamiento del sistema de perfilamiento sísmico, tenemos el batimétrico, compuesto por una ecosonda comercial Garmin GPSMAP 527XS y un transductor (que funciona de emisor y receptor) de doble frecuencia 50kHz/200kHz. La Ecosonda tiene su propio receptor GPS/GLONASS de 10 Hz y puede guardar en una memoria externa (tarjeta micro SD) la visualización en pantalla, para una posterior revisión. El transductor tiene una tasa de emisión variable en función de la profundidad detectada. A menor profundidad, mayor es la tasa de emisión de frentes de onda y viceversa. Los datos registrados por la ecosonda, tales como tiempo, profundidad, temperatura y velocidad son enviados en tiempo real por protocolo NMEA 0183 al software Bubbles. El sistema batimétrico se alimenta a partir de un banco de baterías de 12Volts 36Ah, lo cual entrega una autonomía de más de 8 horas continuas de funcionamiento.

El posicionamiento de la embarcación durante las mediciones se realiza con precisión métrica con un GPS geodésico Javad de 2Hz y doble frecuencia. La precisión puede ser mejorada a centimétrica una vez que es procesada con una estación GPS permanente de base. La señal GPS Javad es transmitida por protocolo RS232 en tiempo real hasta el computador. El usuario tiene la posibilidad de configurar el software Bubbles de tal manera que la medición esté sincronizada íntegramente por GPS geodésico o por el GPS interno del sistema batimétrico.

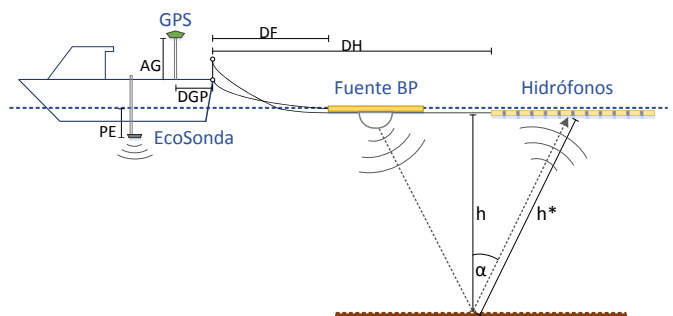


Fig. 2. Esquema de operación del sistema integrado.

### B. Operación en terreno

Un esquema general de la operación del sistema integrado se muestra en la Fig. 2. La cadena de hidrófonos y la fuente acústica mantienen contacto con el agua. La cadena de hidrófonos debe mantenerse alejada de la embarcación para disminuir al máximo el ruido del sistema de propulsión (motor y burbujas). También debe mantenerse alejada de la fuente

TABLA I  
DISPOSICIÓN ESPACIAL DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN

Símbolo	Descripción	Unidad
ACA	Distancia desde cubierta a línea de flotación de la embarcación	m
AG	Altura del GPS respecto a la cubierta de la embarcación	m
DGP	Distancia horizontal entre el GPS y el punto de arrastre de la Fuente BP y arreglo de hidrófonos	m
PE	Profundidad a la cual se encuentra sumergido el transductor de la ecosonda	m
DF	Distancia horizontal desde el punto de arrastre, en la embarcación, hasta la Fuente BP	m
DH	Distancia horizontal desde el punto de arrastre, en la embarcación, hasta el arreglo de hidrófonos	m
h	Profundidad de la sección medida	m
h*	Distancia entre la sección medida y el arreglo de hidrófonos	m
$\alpha$	Ángulo de reflexión de la onda sonora respecto a la vertical	grados

acústica para evitar la saturación en la señal de entrada debido al sonido directo. El transductor de la ecosonda se instala de tal manera que se mantenga completamente horizontal durante la medición (apuntando hacia abajo) y que se encuentre sumergido bajo la superficie del agua. La sujeción es variable dependiendo de la embarcación a usar, por lo general, se monta sobre el espejo o a un costado de la embarcación, para evitar el contacto con burbujas producidas por el sistema de propulsión. Los parámetros de la Fig. 2 se detallan en la Tabla I.

El sistema integral es semi-portable, ya que puede ser utilizado en embarcaciones menores, incluso en un zodiac. Se requiere de dos personas para poder operar el sistema integrado.

### C. Mejoras desde el año 2013

Las principales mejoras desde el año 2013 han sido:

#### 1) Transformación de alimentación de corriente alterna a

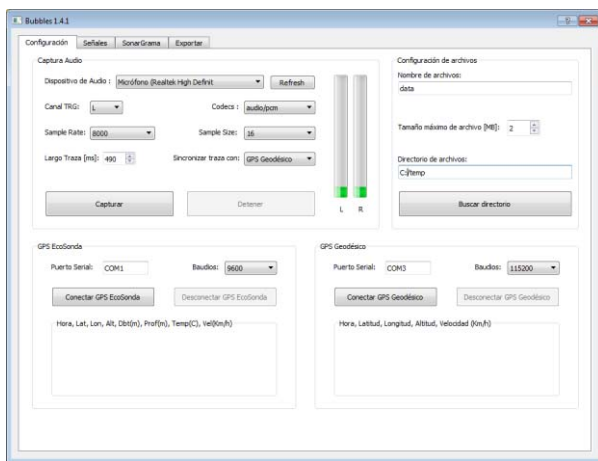


Fig. 3. Software Bubbles desarrollado en el Centro de Estudios Científicos.

#### corriente continua

Originalmente el sistema sísmico debía ser alimentado por corriente alterna 110V, esto exigía el uso de un generador eléctrico en terreno, produciendo excesivo ruido eléctrico (50Hz) en la señal del hidrófono. Al migrar a corriente continua este problema se solucionó.



Fig. 4. Computador de terreno, receptor sistema de perfilamiento, GPS Javad y unidad de alimentación de sistema integrado.

#### 2) Creación y mejoramiento del Software Bubbles

Se creó un Software de captura de datos para el sistema sísmico "Bubbles". Hasta la fecha, el programa permite integrar los datos sísmicos con los de la ecosonda y GPS geodésico. Muestra las señales de trigger, hidrófono y las trazas capturadas en tiempo real. Se ha mejorado la interfaz gráfica, e incorporado filtros pasa banda para visualizar de mejor manera los datos durante la medición (*in situ*). La versión actual de Bubbles es la 1.4.1.

#### 3) Sistema estructurado y seguro.

Se desarrolló un rack (Fig. 3) para contener baterías y unidad electrónica. Además, en el mismo rack se encuentran los cargadores de baterías adaptados al montaje, esto permite hacer una recarga fácil y segura al final de la jornada de trabajo en terreno (ya sea conectando a red domiciliaria o a generador eléctrico). Por otro lado, al tener todo en un solo rack, es más fácil y seguro de transportar.

## III. RESULTADOS

Medimos con el sistema integrado en el río Valdivia (Fig. 5)

### A. Perfil río Valdivia

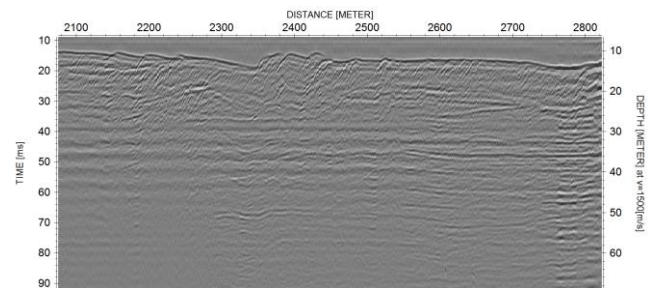


Fig. 5. Perfil sísmico medido en fiordo Jorge Montt

## IV. DISCUSIÓN

El sistema integrado de batimetría y perfilamiento sísmico es un sistema que permite medir el espesor de la columna de agua y el espesor de las capas de sedimento o estratigrafía. Es un sistema portable en comparación a otros sistemas más complejos, ya que se puede utilizar en embarcaciones menores, incluso puede ser montado en un zodiac.

## REFERENCIAS

- [1] M. Koppes, R. Sylwester, A. Rivera, "Variations in sediment yield over the advance and retreat of a calving glacier, Laguna San Rafael, North Patagonian Icefield," *Quaternary Research*, vol. 73, no. 1, pp. 84-95, 2010