

## ANÁLISIS MULTICANAL DE ONDAS SUPERFICIALES (MASW)

### I. RESUMEN

El Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW), es un método no destructivo, se usa para evaluar la velocidad de onda de corte ( $V_s$ ), vinculado al mismo módulo de corte ( $G$ ). Este método analiza las propiedades de dispersión de los modos fundamentales de las ondas Rayleigh, las cuales se propagan a lo largo de la superficie desde el punto de impacto a los receptores (Park et al., 1999).

Los registros se realizan con 12 o más geófonos en distancias cortas y largas desde una fuente impulsiva o vibratoria, que proporcionan una redundancia estadística para medir las velocidades de fase. Los datos multicanal permiten la identificación y rechazo de los modos no fundamentales de ondas Rayleigh, permiten también un proceso más efectivo para la eliminación del ruido y un proceso de recolección de datos más rápido (Louie, J. 2001).

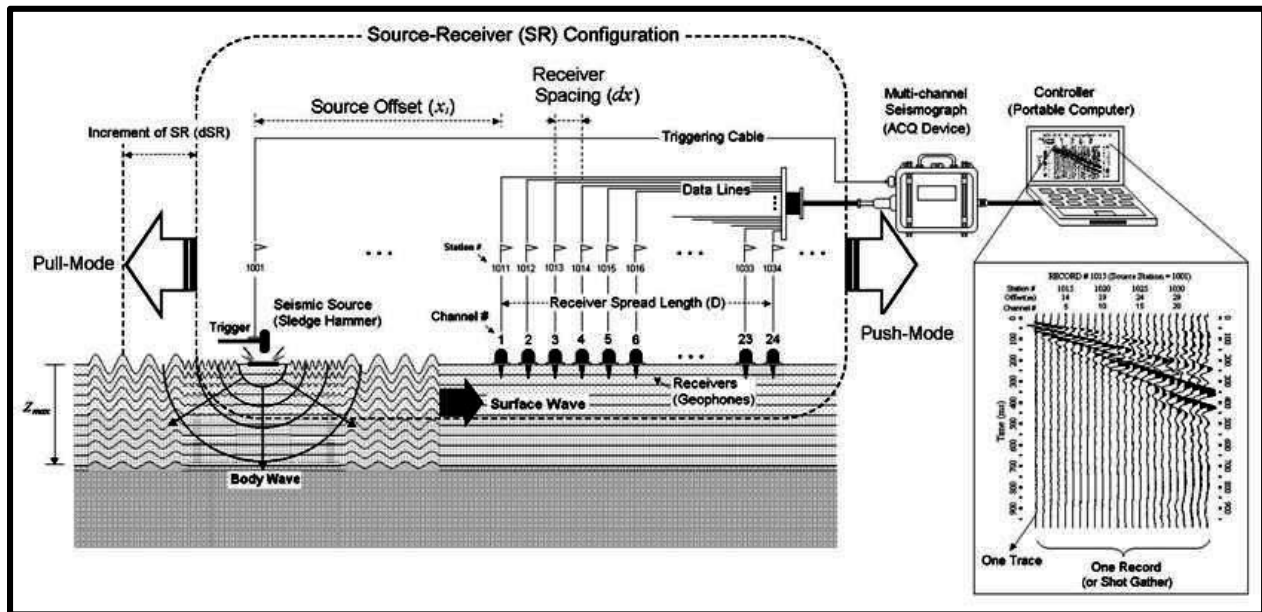


Fig. 01: Configuración de ensayo MASW

### II. MÉTODO MASW

El método de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) ha sido utilizado eficazmente para determinar la velocidad de la onda de corte ( $V_s$ ) de la zona de estudio.

La velocidad de la onda de corte ( $V_s$ ) ha sido largamente reconocida como un factor clave para la caracterización sísmica de una zona. Debido a que la velocidad de la onda S es propiedad dominante del modo fundamental de la velocidad de fase de las ondas Rayleigh, y la onda Rayleigh tiene menor atenuación, alta relación señal/ruido y una inmunidad más fuerte a la interferencia; las velocidades de la onda S pueden estimarse rápidamente de la inversión de los datos de la onda Rayleigh.

El método MASW utiliza un sistema de registro multicanal para estimar la velocidad de la onda S cerca de la superficie, utilizando los registros de ondas Rayleigh de alta frecuencia. Esta técnica consiste en:

1. La adquisición de ondas superficiales de alta frecuencia (*ground roll*, también denominadas ondas Rayleigh) utilizando un sistema de registro multicanal de banda ancha;
2. Creación de algoritmos organizados, eficaces y precisos en una sencilla secuencia de procesamiento de datos diseñada para extraer y analizar la curva de dispersión de la onda Rayleigh; y
- 3 El desarrollo de algoritmos de inversión estables y eficientes para obtener los perfiles de la velocidad de la onda S.

### III. EQUIPO UTILIZADO

El equipo utilizado para realizar los ensayos de medición de ondas superficiales en arreglos multicanal (MASW) incluye principalmente lo siguiente:

#### SISMÓGRAFO:



Un adquirente digital multicanal de 12 a 24 canales de entrada, existen diferentes marcas ABEM Terraloc Pro, BISON, Pasi, Gisco, Geometrics, etc. La marca más utilizada, Geometrics, tiene los siguientes modelos: Geode, ES-3000, StrataVisor NZ XP o SmartSeis SE, entre otros.

Fig. 02: Sismografo modelo GEODE

#### SENSORES/GEÓFONOS:



Fig. 03: Geófonos de 4.5 Hz

Se recomienda geófonos verticales con una frecuencia natural de 4.5 Hz, porque las ondas superficiales tienen una banda ancha global relativamente más baja en comparación con las refracciones y reflexiones que normalmente requieren frecuencias más altas, tales como 28 Hz.



Fig. 04: Geófono de 28 Hz

#### CABLE DE REFRACCIÓN:



Fig. 05: Cable de Refracción  
Sísmica

También conocido como cable conector de geófonos, la regla general es que la longitud extendida del cable conector de geófonos sea 1.5 a 2.5 veces la profundidad de investigación. Por ejemplo, si la profundidad de investigación es de 25m a 30 m, con un sismógrafo de 24 canales, la separación entre los geófonos deberá de ser de 1.5 m aproximadamente.

**FUENTE:**



Fig. 06: Comba y plato metálico

Para el ensayo MASW, un martillo de 10 a 20 libras es conveniente para la mayoría de los estudios. El martillo se utiliza junto con un plato metálico de impacto y un cable de especial interruptor o trigger, que permite obtener el tiempo cero.



Fig. 07: Cable de Trigger

**BATERIA DE 12 VOLTIOS**



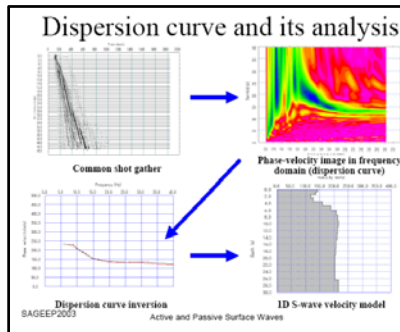
Fig. 08: Batería 12 voltios  
(Marca Bosh)

GEORYS Ingenieros S.A.C. cuenta con 3 Baterías para respaldar un buen trabajo en campo, son baterías de alta densidad de energía, excelente rendimiento y completamente selladas a prueba de fugas, con un voltaje de entrada de corriente continua de 12 Voltios, con la magnitud y frecuencia deseada



Fig. 09: Baterías 12 voltios

**SOFTWARE DE ANÁLISIS DE DATOS:**



Utilizamos el Software SeisImager/SW-1D, para la obtención de perfiles sísmicos unidimensionales de ensayos MASW.

Fig. 10: Software de procesamiento de ensayo MASW

**IV. ADQUISICION DE DATOS**

La configuración básica de campo y la rutina de adquisición para el MASW generalmente es la misma que se usa en los estudios convencionales de refracción sísmica.



Fig. 11: Tendido de una línea de MASW

En los trabajos de campo para el ensayo MASW, se define el eje del sondaje sísmico. Luego se procede a instalar los geófonos y los cables de conexión al equipo de adquisición de datos.



Fig. 12: Conexión del Geófono al cable de Refracción



Fig. 13: Instalación del Geode

El espaciamiento entre geófonos se define en función de la profundidad de exploración requerida y del área libre disponible en la zona de trabajo.

Se instala el equipo de adquisición (GEODE) en una superficie limpia y plana, luego colocamos los respectivos cables como son:

- ✓ Cable de Red, el cual también va conectado a un adaptador y al puerto de red de una laptop.
- ✓ Cable alimentador de energía, que va conectada a una batería de 12 V.
- ✓ Cable de Refracción, en el cual se instalarán los geófonos.

Luego del tendido de la línea sísmica, se procede a generar las señales sísmicas mediante la excitación del medio a través de golpes sobre un plato metálico, para obtener los registros de ondas.



Fig. 14: Golpe del Martillo sobre el plato metálico



Fig. 15: Cable de refracción sísmica con 15 m de espaciamiento

El equipo de refracción sísmica de GEORYS Ingenieros S.A.C. cuenta con un adquisidor de datos de 24 canales, con 24 geófonos, 2 cables de refracción, de 5 m y 15 m de espaciamiento máximo entre ellos, dando una longitud total de 120 m y 360 m respectivamente.

## V. APLICACIONES

- ✓ Se aplica el análisis multicanal de ondas superficiales para hallar las ondas de corte ( $V_s$ ) y poder clasificar la zona de estudio de acuerdo a los diferentes códigos sísmicos existentes (IBC 2012, Norma Peruana E.030 Diseño Sismorresistente, etc), para ello se va a tener que calcular el valor de  $V_{s30}$ , que es el valor promedio de ondas de corte de los primeros 30 metros.
- ✓ Medición de otros parámetros para la ingeniería y geotecnia, como el módulo de corte.
- ✓ Permiten detectar estratos de suelos más blandos entre estratos más rígidos, como puede observarse en la figura 16.
- ✓ Determinación de morfologías y espesores de las capas del subsuelo (suelos, roca).
- ✓ Estado de compactación y fracturación de los materiales.
- ✓ Estimación de módulos elásticos de deformación.
- ✓ Determinación de la compacidad de los estratos para definir la profundidad de cimentación.
- ✓ Microzonificación sísmica de ciudades.

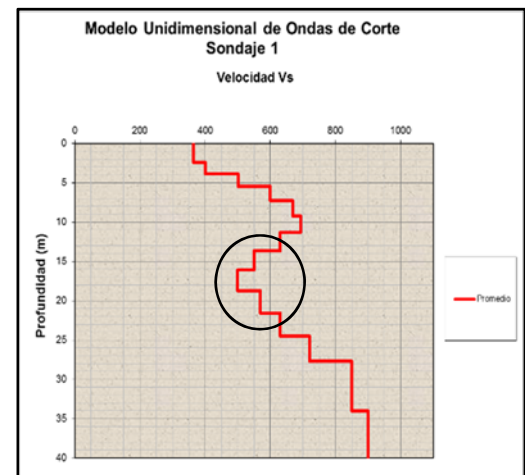


Fig. 16: Inversión de la velocidad



## **VI. VENTAJAS**

- ✓ Posee un bajo costo en comparación con otras técnicas como el Down Hole y Cross Hole.
- ✓ Permite detectar inversiones de velocidad de ondas de corte.
- ✓ Permite la optimización de los esquemas de diseño de las edificaciones.
- ✓ Permite la descripción estratigráfica sísmica y la profundidad de los estratos sísmicos por medio de la comparación de las ondas de corte.
- ✓ Permite hacer estudios para estabilidad de taludes, estudios de canteras, estudios para presas de agua, relaves, botaderos de minerales, diseño de puentes, etc
- ✓ Permiten cubrir grandes áreas en corto tiempo y a un precio razonable.
- ✓ Constituye una alternativa muy económica para la evaluación de los parámetros elásticos del suelo de fundación, conjuntamente con los estudios de refracción sísmica.

## **VII. DESVENTAJAS**

- ✓ Presenta limitaciones impuestas por la física de propagación de ondas, difracciones, contaminación con ruidos externos muy cercanos, producto de perforaciones, tránsito de maquinaria pesada, lo que redundará en una mala calidad de los datos de adquisición.
- ✓ Sólo permite diferenciar las capas del subsuelo que presenten mayor contraste de velocidad y mayor espesor. En el caso de suelos con capas intermedias de menor velocidad el método si las puede visualizar, siempre y cuando estas capas sean de regular espesor, no va a poder detectar lentes de material muy delgados
- ✓ En la práctica el ensayo MASW está limitado a profundidades de 25 m a 30 m, en algunos casos, esta profundidad de investigación puede aumentar, dependiendo de las características de suelo.
- ✓ Este ensayo está limitado por la disponibilidad de zonas descubiertas con suficiente extensión. La longitud del tendido en superficie está directamente relacionada con el alcance de la exploración en profundidad.
- ✓ Para el ensayo MASW, la zona donde se coloquen los geófonos no debe de tener una diferencia de cotas muy pronunciada, es decir, debe de ser una zona casi plana.
- ✓ Por ser métodos indirectos, se debe verificar su aproximación mediante perforaciones u otros ensayos directo.