

winMASW[®] 2019

Manual de usuario



2



Copyright © 2019-2020 All Rights Reserved



Tabla de Contenido

Un breve prologo

Capítulo 1 – Ondas Superficiales: propagación, dispersión y atenuación.

Capítulo 2 – Adquisición de datos (metodología activa y pasiva)

Capítulo 3 - Entendiendo el fenómeno de las ondas superficiales.

Capítulo 4 - Relación de Cociente Espectral H/V

Capítulo 5 – Inversión e Inversión Conjunta: Conceptos y práctica.

Capítulo 6 - Inversion del Espectro de Velocidades Completo, y otros enfogues no convencionales

Capítulo 7 – Algunas notas finales.

Referencias

Apéndice- Caso de estudio

Una breve introducción Caso de estudio #1 – Un simple análisis de ZVF para fines geotécnicos. Caso de estudio #2 – Una simple pero interesante conjunto de datos. Caso de estudio #3 - Dispersión inversa por el libro. Caso de estudio #4 - Cuando el Análisis en Conjunto de las ondas Love & Rayleigh es necesario. Caso de estudio #5 - Análisis en Conjunto de la dispersion de las ondas Rayleigh y ondas de refracción Ρ. Caso de estudio #6 - Un exhaustivo estudio en los Alpes Suizos. Caso de estudio #7 – Análisis en conjunto de las ondas Rayleigh y Love via Análisis FVS. Caso de estudio #8 - Un típico trabajo de ingeniería civil. Caso de estudio #9 - Una área de deslizamiento. Caso de estudio #10 – De regreso a los Alpes Suizos. Caso de estudio #11 - Modos y componentes (un lugar muy complicado). Caso de estudio #12 - Analizando Fase y Grupo de Velocidades y HVSR. Caso de estudio #13 – Algunos puntos de atención en el procesamiento HVSR. Caso de estudio #14 – Ondas Superficiales en la Luna.

Puedes comprar el libro en the Elsevier store (store.elsevier.com)

[in English]

El reciente lanzamiento de *winMASW*[®], solo trabaja en computadoras con sistemas operativos de 64 bit, incluido windows10 el cual se recomienda.

¿Qué es una version beta?

El continuo desarrollo nos entrega un programa o aplicacion que contiene más de las principales ventajas, pero sin estar aún completo. Algunas veces estas versiones son lanzadas sólo a un selecto grupo de personas, o al público en general. Los probadores de programa usualmente están a la espectativa de reportar algún error que puedan encontrar en su uso o algún cambio que ellos esperan encontrar en el lanzamiento oficial. Este es la segunda estapa de cambio en el desarrollo después de la versión alfa, y esta justo antes de la versión final.

de wikipedia

NOTAS DE TALLERES DE TRABAJO Y ENTRANAMIENTO

Eliosoft tiene la disponibilidad de realizar talleres de trabajo y reuniones para una explicación a detalle de los aspectos prácticos y teóricos relacionados a técnicas MASW (Rayleigh + Love), MFA, ESAC, ReMi y HVSR.

winMASW[®] Academy es un software altamente sofisticado que es absolutamente imposible de explotarlo completamente sin asistir a nuestros talleres de capacitación.

Mejora tu equipamiento Eliosoft ofrece:

- Geófonos verticales y horizontales de 4.5 Hz (para adquisiciones MASW y ESAC): recuerde que, para un MASW activo, las ondas Rayleigh (la componente radial) y Love, pueden ser grabadas usando sólo geófonos horizontales.
- Geófonos verticales de alta sensibilidad (para adquisiciones ESAC y MAAM -MAAM es un tipo de mini-ESAC implementado en nuestro software HoliSurface[®], ver el artículo "Unconventional Optimized Surface Wave Acquisition and Analysis: Comparative Tests in a Perilagoon Area" Dal Moro et al., 2015)
- Geófonos tri-axiales (el cual son ecualizados mediante software) para adquisicones HVSR y adquisiciones en conjunto optimizadas de *HoliSurface*[®], ESAC, ReMi, MAAM y data de vibraciones.



Geófono Tri-axial HOLI3C (geófonos pasivos conectados a tu sismógrafo)



Geófonos verticales y horizontales con trípode metálico para trabajos sobre asfalto

Tus conexiones: Cuando ordenes tus geófonos, por favor recuerda indicar si tu cable sísmico acepta conexiones *Split Spring* o *Mueller*.



Split Spring



Müller (or Mueller)

Algunas novedades en el reciente lanzamiento de winMASW[®]

- ✓ Herramienta Back-scattering (*winMASW[®] Academy*)
- ✓ <u>HVSR panel</u>:
- Puedes leer o cargar data seg2 (sin tener que transformar la data en format SAF) (Esta herramienta es extremadamente util para aquellos que graban microtremores con un Geofono 3C conectado al sismógrafo). Puedes despues definir la correcta secuencia de los canales y unidades.
- 2) Nuevas herramientas para remoción automática de los eventos de trasientes (en dominio tiempo) y curvas HVSR aisladas (en dominio frecuencia).
- 3) Puedes insertar/escribir tus comentarios de la data analizada (la data puede ser insertada en el reporte final).
- Procesamiento de Función de Coherencia para todas las posibles parejas (NS-EW, UD-NS, UD-EW): Especialmente útil para resaltar mejor los picos / componentes industriales).
- 5) En caso estes usando uno de nuestros geófonos HOLI3C, puedes ecualizar las trazas y obtener amplitudes reales para muy bajas frecuencias.
- ✓ Herramienta de Respuesta de sitio (*Espectro de respuesta*).
- ✓ Posibilidad de manipular data MASW con diferentes espaciados (winMASW[®] Academy).
- ✓ Herramienta para procesar data puramente sintetica (Sismograma sintético), también puedes añadir cierta cantidad de ruido (para hacer la data más realista).

✓ Herramienta mejorada para conversión seg2/SAF (de seg a SAF): ahora ya puedes especificar la unidad (mm/s o counts) y aplicar un factor multiplicador (data en format seg es multiplicado por este factor y luego salvado como archivo SAF).

✓ Implementación del análisis de Superficie *RPM (Rayleigh-wave Particle Motion)* frecuencia - offset (ver "Analysis of Rayleigh-Wave Particle Motion from Active Seismics" - Dal Moro et al., 2017) and *RVSR (Radial-to-Vertical Spectral Ratio)* para todos los offset.

✓ Implementación de curvas de dispersion aparente y efectiva (e.g. Tokimatsu et al., 1992) para ambos Rayleigh (componentes radiales y vertical) y ondas Love waves. **Uso luego para metodos pasivos (ESAC o Remi)**

✓ Modelamiento HVSR considerando ambas ondas Rayleigh y Love, también considerando la atenuación y el factor α (Arai & Tokimatsu, 2004) (ver <u>Surface Wave</u> <u>Analysis for Near Surface Applications</u> - Dal Moro, Elsevier)





Análisis Conjunto de data Sísmica



Software para análisis de ondas superficiales (MASW, ReMi, ESAC, MFA y RPM), modelamiento e inversión de dispersion de ondas Rayleigh y Love, análisis de atenuación de las ondas Rayleigh para estimar factores de calidad Qs, determinación de la frecuencia de resonancia a partir del análisis de microtremors (HVSR, método Nakamura) y modelamiento del cociente espectral H/V para mejorar el perfil Vs hacia capas más profundas.
Sismograma sintético e inversion de Espectro de Velocidad Completo (FVS) (no necesita de picking o interpretacion de las curvas de dispersión). Análisis (inversión conjunta con dispersión de data) de Superficie RPM frecuencia - offset (Movimiento de Partícula de ondas Rayleigh "Rayleigh-wave Particle Motion").
Análisis Back-scattering. Análisis de data MASW con espaciamiento no constante.



Para recibir nuestros videos tutoriales y casos de estudio, por favor subscribirse en nuestra lista de correos (winmasw@winmasw.com)

www.winmasw.com

Principales características de las versiones

	Lite	HVSR	Standard	3C	Pro	Academy
Análisis de retro-dispersión NEW						Х
Análisis MASW de espaciamiento no ecualizado NEW						Х
Análisis MASW considerando ondas Rayleigh y Love (inversión en conjunto)	Rayleigh Waves only		Rayleigh Waves only	х	х	х
Computación de Vs30 y VsE (Vs equivalente)	Х	Х	Х	Х	Х	Х
Filtro paso alto - bajo	Х		Х	Х	Х	Х
Análisis de atenuación de ondas Rayleigh					х	Х
Análisis ReMi (Sísmica pasiva)			Х		Х	Х
Análisis de Grupo de Velocidad (<i>Multiple Filter Analysis</i>) para determinación de grupo-velocidad (para ambos Rayleigh y Love).						Х
Superficie RPM frecuencia-offset (computación e inversión en conjunta con dispersión de data) + RVSR						х
Computación y modelamiento de HVSR (método Nakamura) para estimar la frecuencia predominante, etc.		х		Х	Х	Х
Análisis espectral: computación de amplitude y espectro de fase y espectrogramas (frecuencia contenida sobre tiempo)			х		Х	х
Modelamiento 1D de tiempos de viaje de ondas refractadas (también considerando capas de baja frecuencia)				only for P waves	Х	Х
Modelamiento 1D de reflexiones. (tambien considerando canas de baia velocidad)	Х			Х		Х
Herramienta que combina dos golpes y simula una data con el doble número de canales (ver Apéndice B)			Х		Х	Х
Herramienta de módulos elásticos			Х		х	Х
Inversión conjunta de curva de dispersión y HVSR						Х
Sismogramas sintéticos para ambas ondas Rayleigh y Love						Х
Análisis Full Velocity Spectra (FVS) vía computación de sismogramas sintéticos (recomendado para espectro de velocidades complejos de adquisiciones activas – ver manual)						х
Computación de la curva de dispersión aparente (o efectiva) (recomendamos para data pasiva ESAC y ReMi)						х
Herramienta para stacking vertical						Х
Herramienta para creación de secciones 2D						Х
Herramienta para poner en evidencia modos específicos (incluso "ocultos")						Х
Análisis ESAC y FK (arreglos bi-dimensional)					linear <i>array</i> s	X (2D)
Herramienta TCEMCD (<i>Three-Component Extraction from Multi-Channel Data</i>) para adquiciones pasiva eficientes en conjunto ESAC/MAAM + HVSR: conecta tus geófonos verticales y nuestro HOLI3C (geófono tri-axial) para tu cable sísmico y con una herramienta que puedes extraer la data para analizar la dispersión (ESAC/MAAM) y HVSR (ver aéndice TCEMCD).					х	х
Herramienta para combiner varias trazas adquiridas por un geófono tri-axial a diferentes offset y obteniendo dara útil para análisis MASW considerando ambos Rayleigh (radia y vertical) + ondas Love. Tool for combining several traces acquired by a single 3- component geophone @ different offsets and obtaining datasets useful for MASW analysis considering both Rayleigh (radial and vertical component) + Love waves				х	Х	x
Respuesta de sitio (espectro de respuesta)						x
Sintético puro (ver sección relacionada en el manual)				L		Х

ADVERTENCIA

Compra y usa geófonos horizontales y analízalo en conjunto con las ondas Ravleigh (componente radial) v Love! Por favor, adquiere la data siguiendo estrictamente nuestras guías y descargar y leer la siguiente colección de casos de estudios: download.winMASW.com/documents/brochure winMASW EAGE.pdf

Si no estas completamente seguro sobre el mejor tipo de equipamiento a comprar (tipo y número de geófonos y tipo de geofono tri-axial para mediciones HVSR) para analizar ondas superficiales, por favor escríbenos al (winmasw@winmasw.com) y nosotros vamos a entregar nuestras recomendaciones.

REGISTRO

No olvidar registrar tu compra: por favor, enviarnos el nombre del Revendedor, la fecha de tu compra y la version (Lite, Standard, winHVSR, 3C, Professional or Academy). De esta manera puedes recibir nuestras noticias con recomendaciones, casos de estudio.

Para registrar, envíanos un correo al: winmasw@winmasw.com

VIDEO TUTORIALES

Actualizaciones del presente manual puede descargarse de nuestra web. Adicionalmente, es posible descargar una serie de video tutoriales propiamiente direccionado al uso de las herramientas de winMASW[®]. Los tutoriales estan enfocados en tipos de análisis específicos: Análisis estandar MASW (Rayleigh waves), Análisis en conjunto de dispersion de ondas Rayleigh & Love, Análisis en conjunto de fase y grupo de velocidades, Análisis ReMi y ESAC; Análisis HVSR, etc.

Mucha de las ayudas se muestran con tan solo ubicar el cursor en el botón: una noticia en fondo Amarillo se muestra con información básica. Alguna de las figuras en el manual pueden referirse a otras versions del software. Todas las actualizaciones toman los mismos temas, adicionando nuevas funciones.

Νοτιςια

Recordar que el software es solo una herramienta. La presición de los resultados siempre dependen necesariamente de las habilidades v experiencia del Usuario. Nosotros recomendamos asistir a unos de nuestros talleres de trabajo.

Index

Vs equivalente (VsE) [significa Vs hasta la profundidad de la roca] 16 1. Requerimientos del Sistema 18 2. Instalación 20 3. Licencia de usuario, USB dongle y asistencia 24 4. Procedimiento: bases y recomendaciones 26 Data MASW con espaciamiento no equidistante (winMASW® Academy) 46 ESAC 56 4.2 Inversión de la curva de dispersión picada. 84 S. Algunas recomendaciones 89 6. Inversión y curva de dispersion picadas. 93 7. Ondas Love 97 8. Inversión conjunta de ondas Rayleigh y Love 101 9. Análisis de atenuación 105 10. Analizando y modelando HVSR 114 Componentes Industriales 113 11. Modelamiento HVSR: nota rápida 148 12. Inversión de Ispectro de Full Velocidad (FVS) 160 15. Resaltando y separando modos específicos 169 16. Análisis RPM 172 17. Respuesta de sitio 144 8. Análisis de Retro-dispersión. 196 20. Demo y data de entrenamiento 201 9. Sintético puro 196 20. Demo y data de	Introducción	13
1. Requerimientos del Sistema 18 2. Instalación 20 3. Licencia de usuario, USB dongle y asistencia 24 4. Procedimiento: bases y recomendaciones 26 Data MASW con espaciamiento no equidistante (winMASW [®] Academy) 46 ESAC 56 4.2 Inversión de la curva de dispersión picada 84 5. Algunas recomendaciones 89 6. Inversión y curva de dispersion picadas 93 7. Ondas Love 97 8. Inversión conjunta de ondas Rayleigh y Love 101 9. Análisis de atenuación 105 10. Analizando y modelando HVSR 117 Componentes Industriales 133 11. Modelamiento HVSR 142 12. Inversión conjunta de data de dispersión y HVSR 150 13. Sismogramas Sintéticos y análisis FVS 154 14. Inversión del Espectro de Full Velocidad (FVS) 154 15. Resaftando y separando modos específicos 169 16. Análisis RPM 172 17. Respuesta de sitio 182 18. Análisis de Retro-dispersión 192 19. Sintético puro 196 20. Demo y data de entrenamiento <td>Vs equivalente (VsE) [significa Vs hasta la profundidad de la roca]</td> <td> 16</td>	Vs equivalente (VsE) [significa Vs hasta la profundidad de la roca]	16
2. Instalación 20 3. Licencia de usuario, USB dongle y asistencia 24 4. Procedimiento: bases y recomendaciones 26 Data MASW con espaciamiento no equidistante (winMASW® Academy) 46 ESAC 56 4.2 Inversión de la curva de dispersión picada. 84 5. Algunas recomendaciones. 89 6. Inversión y curva de dispersion picadas. 93 7. Ondas Love 97 8. Inversión conjunta de ondas Rayleigh y Love 97 9. Análisis de atenuación 101 9. Análisis de atenuación 105 10. Analizando y modelando HVSR 117 Componentes Industriales 133 133 11. Inversión conjunta de data de dispersión y HVSR 150 12. Inversión conjunta de data de dispersión y HVSR 150 13. Sismogramas Sintéticos y análisis FVS 154 14. Inversión de Espectro de Full Velocidad (FVS) 160 15. Resatlando y separando modos específicos 169 16. Análisis RPM 172	1. Requerimientos del Sistema	18
3. Licencia de usuario, USB dongle y asistencia 24 4. Procedimiento: bases y recomendaciones 26 Data MASW con espaciamiento no equidistante (<i>winMASW®</i> Academy) 46 ESAC 56 4.2 Inversión de la curva de dispersión picada. 84 5. Algunas recomendaciones 89 6. Inversión y curva de dispersión picadas. 89 7. Ondas Love 97 8. Inversión conjunta de ondas Rayleigh y Love 97 8. Inversión unación 105 10. Analizando y modelando HVSR 117 Componentes Industriales 133 11. Modelamiento HVSR. 142 Modelando HVSR: nota rápida 148 12. Inversión conjunta de data de dispersión y HVSR 150 13. Sismogramas Sintéticos y análisis FVS 154 14. Inversión del Espectro de Full Velocidad (FVS) 160 15. Resaltando y separando modos específicos 169 16. Análisis RPM 172 17. Respuesta de sitio 184 18. Análisis de Retro-dispersión. 192 19. Sittético puro. 196 19. Demo y data de entrenamiento. 201 References	2. Instalación	20
4. Procedimiento: bases y recomendaciones 26 Data MASW con espaciamiento no equidistante (winMASW® Academy)	3. Licencia de usuario, USB dongle y asistencia	24
Data MASW con espaciamiento no equidistante (winMASW [®] Academy)	4. Procedimiento: bases y recomendaciones	26
ESAC. 56 4.2 Inversión de la curva de dispersión picada. 84 5. Algunas recomendaciones 89 6. Inversión y curva de dispersion picadas. 93 7. Ondas Love 97 8. Inversión conjunta de ondas Rayleigh y Love 101 9. Análisis de atenuación 105 10. Analizando y modelando HVSR 117 Componentes Industriales 133 11. Modelamiento HVSR. 142 Modelando HVSR: nota rápida 148 12. Inversión conjunta de data de dispersión y HVSR 150 13. Sismogramas Sintéticos y análisis FVS 154 14. Inversión del Espectro de Full Velocidad (FVS) 160 15. Resaltando y separando modos específicos 169 16. Análisis RPM 172 17. Respuesta de sitio 184 18. Análisis de Retro-dispersión. 192 19. Sintético puro. 196 20. Demo y data de entrenamiento 201 Apéndice A: adquisición de data 213 Apéndice B: combinación de 2 set de datos 219 Apéndice C: Procesamiento del módulo elástico. 224 Apéndice F: Casos de estudio, procesamiento	Data MASW con espaciamiento no equidistante (winMASW® Academy)	46
4.2 Inversión de la curva de dispersión picada. 84 5. Algunas recomendaciones. 89 6. Inversion y curva de dispersion picadas. 93 7. Ondas Love 97 8. Inversión conjunta de ondas Rayleigh y Love 101 9. Análisis de atenuación 105 10. Analizando y modelando HVSR 117 Componentes Industriales 133 11. Modelamiento HVSR 142 Modelando HVSR: nota rápida 148 12. Inversión conjunta de data de dispersión y HVSR 150 13. Sismogramas Sintéticos y análisis FVS 154 14. Inversión del Espectro de Full Velocidad (FVS) 160 15. Resaltando y separando modos específicos 169 16. Análisis RPM 172 17. Respuesta de sitio 184 18. Análisis de Retro-dispersión 192 19. Sintético puro 196 20. Demo y data de entrenamiento 201 References 206 Apéndice D: Herramienta para comparar dos set de datos activos 225 Apéndice D: Herramienta para comparar dos set de datos activos 225 Apéndice C: Procesamiento del módulo elástico. 224 <t< td=""><td>ESAC</td><td> 56</td></t<>	ESAC	56
5. Algunas recomendaciones 89 6. Inversion y curva de dispersion picadas 93 7. Ondas Love 97 8. Inversión conjunta de ondas Rayleigh y Love 101 9. Análisis de atenuación 105 10. Analizando y modelando HVSR 117 Componentes Industriales 113 11. Modelamiento HVSR 142 Modelando HVSR: nota rápida 148 12. Inversión conjunta de data de dispersión y HVSR 150 13. Sismogramas Sintéticos y análisis FVS 154 14. Inversión del Espectro de Full Velocidad (FVS) 160 15. Resaltando y separando modos específicos 169 16. Análisis RPM 172 17. Respuesta de sitio 184 18. Análisis de Retro-dispersión 192 19. Sintético puro 196 20. Demo y data de entrenamiento 201 References 206 Apéndices 212 Apéndice D: Herramienta para comparar dos set de datos activos 224 Apéndice D: Herramienta para comparar dos set de datos activos 225 Apéndice D: Herramienta para comparar dos set de datos activos 225 Apéndice D	4.2 Inversión de la curva de dispersión picada	84
6. Inversion y curva de dispersion picadas. 93 7. Ondas Love 97 8. Inversión conjunta de ondas Rayleigh y Love 101 9. Análisis de atenuación 105 10. Analizando y modelando HVSR 117 Componentes Industriales 133 11. Modelamiento HVSR 142 Modelando HVSR: 143 12. Inversión conjunta de data de dispersión y HVSR 150 13. Sismogramas Sintéticos y análisis FVS 154 14. Inversión del Espectro de Full Velocidad (FVS) 160 15. Resaltando y separando modos especificos 169 16. Análisis RPM 172 17. Respuesta de sitio 184 18. Análisis de Retro-dispersión 192 19. Sintético puro 196 20. Demo y data de entrenamiento 201 References 206 Apéndice B: combinación de 2 set de datos 219 Apéndice C: Proceasamiento del módulo elástico. 224 Apéndice B: Creando secciones 2D 227 Apéndice G: La ecuación de Stesky 234 Apéndice G: La ecuación de data 239 Apéndice G: La cocación de data 239	5. Algunas recomendaciones	89
7. Ondas Love 97 8. Inversión conjunta de ondas Rayleigh y Love 101 9. Análisis de atenuación 105 10. Analizando y modelando HVSR 117 Componentes Industriales 133 11. Modelamiento HVSR 142 Modelando HVSR: nota rápida 148 12. Inversión conjunta de data de dispersión y HVSR 150 13. Sismogramas Sintéticos y análisis FVS 154 14. Inversión del Espectro de Full Velocidad (FVS) 160 15. Resaltando y separando modos especificos 169 16. Análisis RPM 172 17. Respuesta de sitio 184 18. Análisis de Retro-dispersión 192 19. Sintético puro 196 20. Demo y data de entrenamiento 201 References 206 Apéndice S: combinación de 2 set de datos 212 Apéndice C: Proceasamiento del módulo elástico. 224 Apéndice B: combinación de 2 set de datos 219 Apéndice C: Procedimienta para comparar dos set de datos activos 225 Apéndice G: La ecuación de Stesky 234 Apéndice G: La ecuación de data 239 Apéndice G: La	6. Inversion y curva de dispersion picadas	93
8. Inversión conjunta de ondas Rayleigh y Love 101 9. Análisis de atenuación 105 10. Analizando y modelando HVSR 117 Componentes Industriales 133 11. Modelamiento HVSR 142 Modelando HVSR: nota rápida 148 12. Inversión conjunta de data de dispersión y HVSR 150 13. Sismogramas Sintéticos y análisis FVS 154 14. Inversión del Espectro de Full Velocidad (FVS) 160 15. Resaltando y separando modos específicos 169 16. Análisis RPM 172 17. Respuesta de sitio 184 18. Análisis de Retro-dispersión. 192 19. Sintético puro 196 20. Demo y data de entrenamiento 201 References 206 Apéndice B: combinación de 2 set de datos 213 Apéndice B: combinación de 2 set de datos 214 Apéndice C: Procesamiento del módulo elástico. 224 Apéndice B: combinación de 2 set de datos 225 Apéndice G: La ecuación de Stesky 234 Apéndice G: La ecuación de Stesky 234 Apéndice G: La ecuación de data 239 Apéndice M: herr	7. Ondas Love	97
9. Análisis de atenuación 105 10. Analizando y modelando HVSR 117 Componentes Industriales 133 11. Modelamiento HVSR 142 Modelando HVSR: nota rápida 148 12. Inversión conjunta de data de dispersión y HVSR 150 13. Sismogramas Sintéticos y análisis FVS 154 14. Inversión del Espectro de Full Velocidad (FVS) 160 15. Resaltando y separando modos específicos 169 16. Análisis RPM 172 17. Respuesta de sitio 184 18. Análisis de Retro-dispersión 192 19. Sintético puro 196 20. Demo y data de entrenamiento 201 References 206 Apéndice A: adquisición de data 213 Apéndice B: combinación de 2 set de datos 219 Apéndice C: Procesamiento del módulo elástico. 224 Apéndice E: Creando secciones 2D 227 Apéndice F: Casos de estudio, procesamiento, etc. 232 Apéndice G: La ecuación de Stesky 234 Apéndice H: herramienta de conversion de seg a SAF 235 Apéndice H: herramienta TCEMCD 241 Apéndice N: herra	8. Inversión conjunta de ondas Rayleigh y Love	. 101
10. Analizando y modelando HVSR 117 Componentes Industriales 133 11. Modelamiento HVSR 142 Modelando HVSR: nota rápida 148 12. Inversión conjunta de data de dispersión y HVSR 150 13. Sismogramas Sintéticos y análisis FVS 154 14. Inversión del Espectro de Full Velocidad (FVS) 160 15. Resaltando y separando modos específicos 169 16. Análisis RPM 172 17. Respuesta de sitio 184 18. Análisis de Retro-dispersión 192 19. Sintético puro 196 20. Demo y data de entrenamiento 201 References 206 Apéndice A: adquisición de data 213 Apéndice B: combinación de 2 set de datos 214 Apéndice C: Procesamiento del módulo elástico. 224 Apéndice E: Creando secciones 2D 227 Appéndice F: Casos de estudio, procesamiento, etc. 232 Apéndice G: La ecuación de Stesky 234 Apéndice B: herramienta de conversion de seg a SAF 235 Apéndice C: Procedimientos en breve 237 Apéndice C: Necratenación de data 239 Apé	9. Análisis de atenuación	. 105
Componentes Industriales13311. Modelamiento HVSR142Modelando HVSR: nota rápida14812. Inversión conjunta de data de dispersión y HVSR15013. Sismogramas Sintéticos y análisis FVS15414. Inversión del Espectro de Full Velocidad (FVS)16015. Resaltando y separando modos especificos16916. Análisis RPM17217. Respuesta de sitio18418. Análisis de Retro-dispersión19219. Sintético puro19620. Demo y data de entrenamiento201References206Apéndice A: adquisición de data213Apéndice B: combinación de 2 set de datos219Apéndice D: Herramienta de conversion des set de datos activos225Apéndice F: Creando secciones 2D227Apéndice F: Casos de estudio, procesamiento, etc.232Apéndice I: Procedimientos en breve237Apéndice I: Procedimientos en breve <t< td=""><td>10. Analizando y modelando HVSR</td><td> 117</td></t<>	10. Analizando y modelando HVSR	117
11. Modelamiento HVSR. 142 Modelando HVSR: nota rápida 148 12. Inversión conjunta de data de dispersión y HVSR. 150 13. Sismogramas Sintéticos y análisis FVS 154 14. Inversión del Espectro de Full Velocidad (FVS) 160 15. Resaltando y separando modos especificos 169 16. Análisis RPM 172 17. Respuesta de sitio 184 18. Análisis de Retro-dispersión 192 19. Sintético puro 196 20. Demo y data de entrenamiento 201 References 206 Apéndice A: adquisición de data 213 Apéndice C: Procesamiento del módulo elástico. 224 Apéndice D: Herramienta para comparar dos set de datos activos 225 Apéndice G: La ecuación de Stesky 234 Apéndice G: La ecuación de Stesky 235 Apéndice G: La ecuación de data 239 Apéndice G: La ecuación de data 239 Apéndice G: La ecuación de Stesky 234 Apéndice G: La ecuación de data 239 Apéndice G: La ecuación de data 239 Apéndice G: La ecuación de data 237 Apéndice G: La	Componentes Industriales	. 133
Modelando HVSR: nota rápida 148 12. Inversión conjunta de data de dispersión y HVSR 150 13. Sismogramas Sintéticos y análisis FVS 154 14. Inversión del Espectro de Full Velocidad (FVS) 160 15. Resaltando y separando modos específicos 169 16. Análisis RPM 172 17. Respuesta de sitio 184 18. Análisis de Retro-dispersión 192 19. Sintético puro 196 20. Demo y data de entrenamiento 201 References 206 Apéndice A: adquisición de data 212 Apéndice B: combinación de 2 set de datos 212 Apéndice C: Procesamiento del módulo elástico. 224 Apéndice D: Herramienta para comparar dos set de datos activos 225 Apéndice F: Casos de estudio, procesamiento, etc. 232 Apéndice G: La ecuación de Stesky 234 Apéndice I: Procedimientos en breve 237 Apéndice I: Procedimientos en breve	11. Modelamiento HVSR	. 142
12. Inversión conjunta de data de dispersión y HVSR. 150 13. Sismogramas Sintéticos y análisis FVS 154 14. Inversión del Espectro de Full Velocidad (FVS) 160 15. Resaltando y separando modos especificos 169 16. Análisis RPM 172 17. Respuesta de sitio 184 18. Análisis de Retro-dispersión 192 19. Sintético puro 196 20. Demo y data de entrenamiento 201 References 206 Apéndice A: adquisición de data 213 Apéndice B: combinación de 2 set de datos 214 Apéndice C: Procesamiento del módulo elástico. 225 Apéndice E: Creando secciones 2D 227 Apéndice F: Casos de estudio, procesamiento, etc. 232 Apéndice G: La ecuación de Stesky 234 Apéndice I: Procedimientos en breve. 237 Apéndice L: Concatenación de data 239 Apéndice N: herramienta "Combina 3C data" 243 Apéndice N: herramienta "Combine 3C data" 243 Apéndice C: Procedimientos en breve. 237 Apéndice C: Concatenación de data en mm/s con nuestro equipo 245 Apéndice C: obteniendo la data	Modelando HVSR: nota rápida	. 148
13. Sismogramas Sintéticos y análisis FVS 154 14. Inversión del Espectro de Full Velocidad (FVS) 160 15. Resaltando y separando modos especificos 169 16. Análisis RPM 172 17. Respuesta de sitio 184 18. Análisis de Retro-dispersión 192 19. Sintético puro 196 20. Demo y data de entrenamiento 201 References 206 Apéndice A: adquisición de data 213 Apéndice B: combinación de 2 set de datos 219 Apéndice C: Procesamiento del módulo elástico. 224 Apéndice E: Creando secciones 2D 227 Apéndice E: Creando secciones 2D 227 Apéndice G: La ecuación de Stesky 234 Apéndice G: La ecuación de Stesky 234 Apéndice I: Procedimientos en breve 237 Apéndice I: Procedimientos en breve 237 Apéndice M: Herramienta TCEMCD 241 Apéndice N: herramienta "combine 3C data" 243	12. Inversión conjunta de data de dispersión y HVSR	150
14. Inversión del Espectro de Full Velocidad (FVS) 160 15. Resaltando y separando modos especificos 169 16. Análisis RPM 172 17. Respuesta de sitio 184 18. Análisis de Retro-dispersión 192 19. Sintético puro 196 20. Demo y data de entrenamiento 201 References 206 Apéndices 212 Apéndice A: adquisición de data 213 Apéndice B: combinación de 2 set de datos 219 Apéndice C: Procesamiento del módulo elástico. 224 Apéndice D: Herramienta para comparar dos set de datos activos 225 Apéndice F: Casos de estudio, procesamiento, etc. 232 Apéndice G: La ecuación de Stesky 234 Apéndice I: Procedimientos en breve 237 Apéndice L: Concatenación de data 239 Apéndice M: Herramienta "CEMCD 241 Apéndice N: herramienta "Combine 3C data" 243	13. Sismogramas Sintéticos y análisis FVS	. 154
15. Resaltando y separando modos especificos 169 16. Análisis RPM 172 17. Respuesta de sitio 184 18. Análisis de Retro-dispersión 192 19. Sintético puro 196 20. Demo y data de entrenamiento 201 References 206 Apéndice A: adquisición de data 213 Apéndice B: combinación de 2 set de datos 214 Apéndice D: Herramienta para comparar dos set de datos activos 225 Apéndice E: Creando secciones 2D 227 Apéndice G: La ecuación de Stesky 234 Apéndice G: La ecuación de Stesky 234 Apéndice L: Concatenación de data 239 Apéndice L: Concatenación de data 239 Apéndice M: herramienta de conversion de seg a SAF 235 Apéndice L: Concatenación de data 239 Apéndice M: herramienta "CCMCD 241 Apéndice N: herramienta "Combine 3C data" 243	14. Inversión del Espectro de Full Velocidad (FVS)	. 160
16. Análisis RPM 172 17. Respuesta de sitio 184 18. Análisis de Retro-dispersión 192 19. Sintético puro 196 20. Demo y data de entrenamiento 201 References 206 Apéndices 212 Apéndice A: adquisición de data 213 Apéndice B: combinación de 2 set de datos 219 Apéndice C: Procesamiento del módulo elástico. 224 Apéndice D: Herramienta para comparar dos set de datos activos 225 Apéndice F: Casos de estudio, procesamiento, etc. 232 Apéndice G: La ecuación de Stesky 234 Apéndice I: Procedimientos en breve 237 Apéndice I: Procedimientos en breve 237 Apéndice I: Procedimientos en breve 237 Apéndice N: herramienta TCEMCD 241 Apéndice N: herramienta TCEMCD 241 Apéndice O: obteniendo la data en mm/s con nuestro equipo 245 Apéndice P: edición de data (flipping & zeroing) 249 Apéndice Q: vertical stack (versión Academy) 250 Apéndice R: Ploteando múltiples curvas HVSR 252	15. Resaltando y separando modos específicos	. 169
17. Respuesta de sitio 184 18. Análisis de Retro-dispersión 192 19. Sintético puro 196 20. Demo y data de entrenamiento 201 References 206 Apéndices 212 Apéndice A: adquisición de data 213 Apéndice B: combinación de 2 set de datos 219 Apéndice C: Procesamiento del módulo elástico. 224 Apéndice D: Herramienta para comparar dos set de datos activos 225 Apéndice F: Casos de estudio, procesamiento, etc. 232 Apéndice G: La ecuación de Stesky 234 Apéndice I: Procedimientos en breve 237 Apéndice I: Procedimientos en breve 237 Apéndice I: Concatenación de data 239 Apéndice N: herramienta TCEMCD 241 Apéndice N: herramienta "combine 3C data" 243 Apéndice O: obteniendo la data en mm/s con nuestro equipo 245 Apéndice P: edición de data (flipping & zeroing) 249 Apéndice Q: vertical stack (versión Academy) 250 Apéndice R: Ploteando múltiples curvas HVSR 252	16. Análisis RPM	172
18. Analisis de Retro-dispersion	17. Respuesta de sitio	. 184
19. Sintetico puro 196 20. Demo y data de entrenamiento 201 References 206 Apéndices 212 Apéndice A: adquisición de data 213 Apéndice B: combinación de 2 set de datos 219 Apéndice C: Procesamiento del módulo elástico. 224 Apéndice D: Herramienta para comparar dos set de datos activos 225 Apéndice F: Creando secciones 2D 227 Apéndice G: La ecuación de Stesky 234 Apéndice G: La ecuación de Stesky 235 Apéndice I: Procedimientos en breve 237 Apéndice I: Procedimientos en breve 237 Apéndice M: Herramienta TCEMCD 241 Apéndice N: herramienta "combine 3C data" 243 Apéndice O: obteniendo la data en mm/s con nuestro equipo 245 Apéndice P: edición de data (flipping & zeroing) 249 Apéndice Q: vertical stack (versión Academy) 250 Apéndice R: Ploteando múltiples curvas HVSR 252	18. Analisis de Retro-dispersion	. 192
20. Demo y data de entrenamiento201References206Apéndices212Apéndice A: adquisición de data213Apéndice B: combinación de 2 set de datos219Apéndice C: Procesamiento del módulo elástico.224Apéndice D: Herramienta para comparar dos set de datos activos225Apéndice F: Creando secciones 2D227Apéndice G: La ecuación de Stesky234Apéndice H: herramienta de conversion de seg a SAF235Apéndice I: Procedimientos en breve237Apéndice M: Herramienta TCEMCD241Apéndice N: herramienta "combine 3C data"243Apéndice O: obteniendo la data en mm/s con nuestro equipo245Apéndice P: edición de data (flipping & zeroing)249Apéndice Q: vertical stack (versión Academy)250Apéndice R: Ploteando múltiples curvas HVSR252	19. Sintetico puro	196
Apéndices206Apéndices212Apéndice A: adquisición de data213Apéndice B: combinación de 2 set de datos219Apéndice C: Procesamiento del módulo elástico.224Apéndice D: Herramienta para comparar dos set de datos activos225Apéndice E: Creando secciones 2D.227Apéndice G: La ecuación de Stesky234Apéndice H: herramienta de conversion de seg a SAF235Apéndice I: Procedimientos en breve237Apéndice M: Herramienta TCEMCD241Apéndice N: herramienta "combine 3C data"243Apéndice O: obteniendo la data en mm/s con nuestro equipo245Apéndice P: edición de data (flipping & zeroing)249Apéndice Q: vertical stack (versión Academy)250Apéndice R: Ploteando múltiples curvas HVSR252	20. Demo y data de entrenamiento	201
Apéndices212Apéndice A: adquisición de data213Apéndice B: combinación de 2 set de datos219Apéndice C: Procesamiento del módulo elástico.224Apéndice D: Herramienta para comparar dos set de datos activos225Apéndice E: Creando secciones 2D.227Apéndice G: La ecuación de Stesky234Apéndice H: herramienta de conversion de seg a SAF235Apéndice I: Procedimientos en breve237Apéndice L: Concatenación de data239Apéndice M: Herramienta TCEMCD241Apéndice O: obteniendo la data en mm/s con nuestro equipo245Apéndice P: edición de data (flipping & zeroing)249Apéndice Q: vertical stack (versión Academy)250Apéndice R: Ploteando múltiples curvas HVSR252	Anéndiana	200
Apéndice A. adquisition de data213Apéndice B: combinación de 2 set de datos219Apéndice C: Procesamiento del módulo elástico.224Apéndice D: Herramienta para comparar dos set de datos activos225Apéndice E: Creando secciones 2D.227Appéndice F: Casos de estudio, procesamiento, etc.232Apéndice G: La ecuación de Stesky234Apéndice H: herramienta de conversion de seg a SAF235Apéndice I: Procedimientos en breve237Apéndice L: Concatenación de data239Apéndice N: herramienta TCEMCD241Apéndice O: obteniendo la data en mm/s con nuestro equipo245Apéndice P: edición de data (flipping & zeroing)249Apéndice Q: vertical stack (versión Academy)250Apéndice R: Ploteando múltiples curvas HVSR252	Apéndices	212
Apéndice B. combinación de 2 set de datos219Apéndice C: Procesamiento del módulo elástico.224Apéndice D: Herramienta para comparar dos set de datos activos225Apéndice E: Creando secciones 2D.227Appéndice F: Casos de estudio, procesamiento, etc.232Apéndice G: La ecuación de Stesky234Apéndice H: herramienta de conversion de seg a SAF235Apéndice I: Procedimientos en breve237Apéndice L: Concatenación de data239Apéndice N: Herramienta TCEMCD241Apéndice N: herramienta "combine 3C data"243Apéndice O: obteniendo la data en mm/s con nuestro equipo245Apéndice P: edición de data (flipping & zeroing)249Apéndice Q: vertical stack (versión Academy)250Apéndice R: Ploteando múltiples curvas HVSR252	Apéndice A. auquisición de data	210
Apéndice C. Procesamiento del modulo elastico.224Apéndice D: Herramienta para comparar dos set de datos activos225Apéndice E: Creando secciones 2D.227Appéndice F: Casos de estudio, procesamiento, etc.232Apéndice G: La ecuación de Stesky234Apéndice H: herramienta de conversion de seg a SAF235Apéndice I: Procedimientos en breve.237Apéndice L: Concatenación de data239Apéndice M: Herramienta TCEMCD241Apéndice N: herramienta "combine 3C data"243Apéndice O: obteniendo la data en mm/s con nuestro equipo245Apéndice P: edición de data (flipping & zeroing)249Apéndice Q: vertical stack (versión Academy)250Apéndice R: Ploteando múltiples curvas HVSR252	Apéndice B. combinación de 2 sei de datos	
Apéndice D. Herramienta para comparar dos set de datos activos225Apéndice E: Creando secciones 2D	Apéndice C. Flucesamiento del modulo elastico.	224
Appéndice L. Creando secciones 2D.Appéndice F: Casos de estudio, procesamiento, etc.232Apéndice G: La ecuación de Stesky234Apéndice H: herramienta de conversion de seg a SAF235Apéndice I: Procedimientos en breve237Apéndice L: Concatenación de data239Apéndice M: Herramienta TCEMCD241Apéndice N: herramienta "combine 3C data"243Apéndice O: obteniendo la data en mm/s con nuestro equipo245Apéndice P: edición de data (flipping & zeroing)249Apéndice Q: vertical stack (versión Academy)250Apéndice R: Ploteando múltiples curvas HVSR	Apéndice E: Croando soccionos 2D	. 220
Apéndice 1: Casos de estudio, procesamiento, etc	Appéndice E. Creando Secciones 2D	221
Apéndice O: La écuación de otesky	Appendice 1: Casos de estudio, procesamiento, etc	. 232
Apéndice II: Procedimienta de conversion de seg a 6/4Apéndice I: Procedimientos en breve	Apéndice H: herramienta de conversion de seg a SAF	235
Apéndice I: Procedimientes en breveApéndice L: Concatenación de data239Apéndice M: Herramienta TCEMCDApéndice N: herramienta "combine 3C data"243Apéndice O: obteniendo la data en mm/s con nuestro equipo245Apéndice P: edición de data (flipping & zeroing)249Apéndice Q: vertical stack (versión Academy)250Apéndice R: Ploteando múltiples curvas HVSR	Apéndice I: Procedimientos en breve	237
Apéndice L: Concatonation do data241Apéndice M: Herramienta TCEMCD243Apéndice N: herramienta "combine 3C data"243Apéndice O: obteniendo la data en mm/s con nuestro equipo245Apéndice P: edición de data (flipping & zeroing)249Apéndice Q: vertical stack (versión Academy)250Apéndice R: Ploteando múltiples curvas HVSR252	Apéndice I : Concatenación de data	239
Apéndice N: herramienta "combine 3C data"243Apéndice O: obteniendo la data en mm/s con nuestro equipo245Apéndice P: edición de data (flipping & zeroing)249Apéndice Q: vertical stack (versión Academy)250Apéndice R: Ploteando múltiples curvas HVSR252	Apéndice M ⁻ Herramienta TCFMCD	241
Apéndice O: obteniendo la data en mm/s con nuestro equipo245Apéndice P: edición de data (flipping & zeroing)249Apéndice Q: vertical stack (versión Academy)250Apéndice R: Ploteando múltiples curvas HVSR252	Apéndice N: herramienta "combine 3C data"	243
Apéndice P: edición de data (flipping & zeroing)	Apéndice O: obteniendo la data en mm/s con nuestro equipo	245
Apéndice Q: vertical stack (versión Academy)	Apéndice P: edición de data (flipping & zeroing)	249
Apéndice R: Ploteando múltiples curvas HVSR	Apéndice Q: vertical stack (versión Academy)	250
	Apéndice R: Ploteando múltiples curvas HVSR	252
Errores y soporte	Errores y soporte	256
Contactos	Contactos	258

El punto clave de *winMASW*[®] es representar por cualquier modo la posibilidad de realizar un Analisis en Conjunto de varios componentes/datas adquiridas acuerdo a las guías y brevemente reportadas en este manual, en el libro Elsevier y en todos los papers mencionados en las referencias.



Introducción

El software *winMASW*[®] permite analizar la data sísmica en función de conseguir el perfil de velocidades Vs (ondas de velocidad de corte) usando los siguientes métodos:

- Análisis multi componente MASW (ondas Rayleigh & Love, también en conjunto)
- Análisis MFA (grupo de velocidades).
- Análisis ReMi y ESAC (nosotros recomendamos totalmente el método ESAC)
- HVSR (Cociente spectral H/V "*Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio*") (recomendamos trabajarlo conjuntamente con data de dispersión)
- Modelamiento de tiempo de viaje de Rafracción 1D (ondas P y SH).
- Generación de sismogramas sintéticos mediante suma modal, consecuentemente: Inversión del Espectro de Velocidad Total (*Full Velocity Spectra*, FVS) sin necesidad de picking e interpretación de los modos (poner atención que es necesario tener buenos conocimientos de aspectos teóricos y habilidades computacionales)
- Además: análisis de atenuación de las ondas Rayleigh (Para estimación de los factores de calidad Qs) y mucho más.

El software *winMASW*[®] fue implementado para mantener en mente todos los problemas relacionados a la ambiguedad de la data y las multiples soluciones a obtener.

En orden de ilustrar cual es el problema, en la siguiente figura nosotros reportamos seis modelos de velocidad Vs y sobreponemos con el espectro de velocidad de fase obtenido desde una data de campo real.

Como pueden ver, inclusive si los seis modelos de Vs son algo diferentes, las curvas de dispersion son algo similares y compatibles con el espectro de velocidad obtenido de la data de campo (en la imagen de fondo).

Esto significa que el análisis de una sola componente y de las curvas de dispersión modal, no pueden resolver la ambiguedad intrínsica del análisis de datos de campo.



Nuestro software está diseñado en orden de resolver este problema. El software está desarrollado para un análisis en conjunto de varios componentes, en consecuencia, es factible obtener los modelos finales (perfil Vs) libres de fuertes ambiguedades.

Un simple esquema conceptual puede clarificar este punto.

En la siguiente figura, está claro que el único modelo el cual es consistente con todas las demas metodos/datos considerados es el modelo F.



En el caso de que solo consideremos el metodo / datos A, las posibles soluciones podrian ser: Modelos A, B, C, D, E, F y G.

En el caso de que solo consideremos el metodo / datos B, las posibles soluciones podrian ser: Modelos G, E, F, L, I, M y H.

Solo a través de un análisis en conjunto de varios métodos, podrías obtener el modelo correcto (en este caso el F), el cual es consistente en todos los métodos /datos.

Un ejemplo simple y concreto es el análisis en conjunto de las ondas Rayleigh, Love y HVSR.

En esta sección de referencias, podemos mencionar una serie de artículos acerca de todos los métodos que pueden ser analizados gracias a las metodologías implementadas en *winMASW*[®] y *HoliSurface*[®] (multi-componente MASW, MFA, FVS, ESAC, ReMi, RPM, HVSR, etc.).



16

En *winMASW*[®], la inversion automática está desarrollada vía Algoritmos Genéticos (*Genetic Algorithms*), pero nos gustaría resaltar que el modelamiento directo es preferible.

Algoritmos Genéticos representa una optimización del procedimiento correspondiente a la clasificación de los algoritmos heurísticos *(o también métodos de búsqueda global o computacional leve).*

Comparado con los métodos de inversion lineal tradicional basado en métodos de gradiente (*Jacobian matrix*), esta técnica de inversión garantiza resultados muy fiables en términos de precisión y complejidad.

En realidad, los métodos lineales dan soluciones que dependen fuertemente del modelo inicial, que el usuario provee. Consecuente con la naturaleza del problema (Inversión de las curvas de dispersión) la gran cantidad de modelos que puedan ser modelos iniciales pueden ser muy diferentes al real (o modelo global)

En otras palabras, los modelos iniciales requiere de un modelo inicial para estar lo mas cerca possible a la solucion real, en caso no seas así, existe el riesgo de estar en un error, y generar soluciones erroneas.

Sin embargo los algoritmos genéticos ofrecen una amplia búsqueda de posibles soluciones.

Más información sobre algoritmos genéticos está disponible en los siguientes enlaces: <u>http://en.wikipedia.org/wiki/Genetic_algorithm</u> <u>http://www.talkorigins.org/faqs/genalg/genalg.html</u>

Vs equivalente (VsE) [significa Vs hasta la profundidad de la roca]

La VS equivalente (VsE o VsH) está definida de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

Donde la profundidad H es la profundidad donde Vs es igual o mayor a 800 m/s (velocidad sísmica de roca).

En caso la roca con velocidad simica mayor a 800 esta mas profundo que 30m (de la profundidad de fundición) VsE = Vs30.

Los componentes sísmicos

En términos simples, los componentes pueden ser ilustrados como las direcciones por las cuales nosotros grabamos el movimiento de partículas.

Podemos considerar la imagen mostrada debajo:

• Las ondas love se mueven a través de la componente T (transversal), así como las ondas refractadas SH;

• Las ondas Rayleigh se mueven a través de la componente vertical (Z) y radial (R) [asi como las ondas refractadas P]

Por **análisis multi-componente** queremos decir el análisis en conjunto de la data adquirida a traves de dos o mas direcciones (esto permite considerar muchos posibles modelos – revisar los siguientes artículos: *"Improved Holistic Analysis of Rayleigh Waves for Single- and Multi-Offset Data: Joint Inversion of Rayleigh-Wave Particle Motion and Vertical- and Radial-Component Velocity Spectra"* and *"Effective Active and Passive Seismics for the Characterization of Urban and Remote Areas: Four Channels for Seven Objective Functions"*).

winMASW[®] *3C*, *Professional* y *Academy* tienen el objetivo realizar un análisis en conjunto de diferentes métodos (o objetos), en consecuencia obtener una solución bien fiable (i.e. un detallado perfil Vs).



Nosotros siempre recomendamos una adquisición y análisis multi – componente que reduce fuertemente la ambiguedad en el análisis de datos (revisar los casos de estudio en el libro Elsevier, así como también las más recientes publicaciones).

Para estudios simples, nosotros recomendamos usar solo 12 geófonos horizontales (por consecuencia puedes analizar ambas componentes RVF y THF), mientras que para trabajos mas complejos e importantes, puedes analizar ZVF+RVF+RPM (leer sección relacionada).

Por favor tener en cuenta que si usa solo la componente ZVF (geófonos verticales) muchos casos de ambiguedad pueden seriamente afectar la solución.



1. Requerimientos del Sistema

El software *winMASW*[®] sólo trabaja en Sistemas Operativos de 64 bit.

<u>Es importante que su Sistema Operativo se actualice con frecuencia</u> ("windows update") con el fin de permitir que *winMASW*[®] pueda usar eficientemente las funciones actualizadas.

Nosotros recomendamos *windows*10 (pero *win8* tambien puede ser usado sin problemas).

Si usted usan MAC, existen varias posibilidades de correr windows: <u>https://www.howtogeek.com/187359/5-ways-to-run-windows-software-on-a-mac/</u>

Mientras para *winMASW*[®] *Lite*, *Standard*, *3C* y *Professional*, no necesitan requerimientos especiales, sin embargo para la versión *Academy* (y *HoliSurface*[®]) y algunas de sus más avanzadas funciones (e.g. Inversión *Full Velocity Spectrum* (FVS) etc.), en consecuencia de explotar toda la potencialidad del software, nosotros recomendamos trabajar con una computadora con buen CPU.

Podemos mencionar como ejemplo la reciente *Intel i9 -9900K* (8 physical *cores* - 16 *threads*) CPU como también la serie *Xeon*. Por favor, notar que con una buena tarjeta madre, puede también usa 02 CPU Xeon y luego duplicar el poder de tu equipo.

RAM: 16 GB (para *winMASW*[®] *Academy* y *HoliSurface*[®])

Resolución del monitor: 1920x1080 (o mayor)



2. Instalación

La instalación del software es muy sencillo: solo darle click <u>como Administrador</u> en el archivo de instalación exe (para detalles por favor leer el archivo README.PDF en el DVD *winMASW*[®]) y seguir los simples procesos e instucciones.

PONGA ATENCIÓN

(para todos los Sistemas Operativos, y en especial para Windows Vista)

De acuerdo a algunos sistemas operativos (Windows Vista en particular) el manejo de privilegios y escritura en algunos archivos es restringido.

Se notificó que (especialmente con Vista) instalar el software fuera de las carpetas del sistema (*C:\Program Files, C:\Programmi* e *C:\Windows*), esto significa instalar dentro de una carpeta dedicada(como *C:\winMASW* o *C:\geofisica\winMASW*)

Si encuentras algún problema en el lanzamiento del *winMASW*[®] (Esto suele pasar con windows vista) primero revisa a detalle los privilegios (hacienda click derecho con el ratón sobre el icono de *winMASW*[®]).

Es necesario que el usuario de *winMASW*[®] haya dado privilegios a la carpeta "winMASW/output" (si abres el software como administrador esto no debe suceder).

Si usas Windows Vista is recommendable instalar el software en una carpeta externa como "*C:\winMASW*".

ADVERTENCIA

Instalar el software como Administrador de la computadora y correr la instalación exe usando el botón derecho del ratón ("abrir como Administrator")



La aplicación winMASW[®] esta relacionada a *Matlab libraries*, simultaneamente hay que instalarla con el software (escoge English como lenguaje):

Choose !	Setup Language 🛛 🗙	Į
2	Select the language for this installation from the choices below.	
	Inglese (Stati Uniti)	
	OK Cancel	

Si Matlab libraries está instalado en tu computadora, en las siguientes ventanas escoje la opcion "modificar"



Durante la instalación de las librerias, un mensaje puede aparecer como la siguiente ventana:

🛃 MATLA	B Component Runtime	e 7.5 Installer Information	×
8	.NET Framework is not ir select Cancel and install Otherwise, select OK to	nstalled. If you require it, .NET Framework first. continue.	
	OK	Cancel	

Hacer click "Ok"!



necesario desarrollar algunas operaciones para que pueda ser permitido.

Posibles problemas con sistemas de Antivirus

Algunos sistemas de antivirus pueden lanzar la proteccion de software basado en el desarrollo de *winMASW*[®]. En caso sea possible que tu antivirus alerte de un trojano en la aplicacion binaria de *winMASW*.exe, en ese caso configurar al anti-virus que ignore la carpeta donde está instalado *winMASW*[®]. Sistemas de *anti-virus inteligentes,* no muestran ningún problema, como *AVAST, AVIRA* y *Panda*.

Una vez todo este correctamente instalado, el ícono *winMASW*[®] aparecerá en tu escritorio (es usual darle doble click al icono para correr el programa)



También, un grupo de carpetas *winMASW*[®] será creado en la lista de programas de Windows (ver figura):





3. Licencia de usuario, USB dongle y asistencia



El software winMASW[®] trabaja con una llave (USB dongle).

Para conocer más sobre costos, por favor preguntar al distribuidor de su país o ver la pagina web dedicada *winMASW*[®] en la web ELIOSOFT (<u>www.winMASW.com</u>)

En caso el USB dongle se dañe, uno nuevo puede adquirirse <u>después de recibir el dongle</u> <u>dañado</u> y después del pago del dongle + envíos.

ELIOSOFT (así como cualquier distribuidor) no se hace responsable de cualquier uso inapropiado debido al mal uso, uso con desconocimiento o el mal conocimiento de los métodos MASW/MFA/ESAC/ReMi.

Es posible recibir consejos, recomendaciones de la interpretacion del software (la compra de una licencia te otorga la posibilidad de conseguir dos interpretaciones diferentes) posteriormente para usuarios esta permitido recibir por parte de *ELIOSOFT* algunos consejos y soporte.

Soporte técnico es otorgado por correo (<u>winMASW@winMASW.com</u>) o por teléfono (visitar la página <u>www.winMASW.com</u> para actualizar información)

Las actualizaciones del software son gratis en el primer año luego de la compra (versiones nuevas del software). Una vez expira el tiempo, las actualizaciones tienen un costo adicional.

La rutina del cálculo de cociente spectral H/V desde las ondas de cuerpo (habilitado en las versiones *3C*, *Professional* y *Academy*, como también en *HoliSurface*) es otorgado a *ELIOSOFT* bajo la licencia del Prof. Herak (University of Zagreb, Croatia) – para mayor detalle técnico, revisar la bibliografia.

Licencia Educacional

Universidades e instituciones científicas pueden preguntar sobre la Licencia Academy bajo ciertas condiciones. Para mas información contactar: winMASW@winMASW.com



4. Procedimiento: bases y recomendaciones

Cuando *winMASW*[®] es lanzado, una segunda ventana DOS y la ventana principal se muestran, dicha ventana contiene información acerca del análisis y procedimientos operacionales.

winMASW® - Surface Waves & Beyond		_		×
i 🖉 🖾 i 🧇 🔷 🗟 🛄 🎯 🎧 🦓				''
parallel computing Parallel Computing Off (please activate) 40 set your working folder open working folder	emy and	- Internet sites - where am I? ((utilities	~ GPS]	
I:\ELIOSOFT\Dati\data_in_progress\Baciacavallo\MASW				
single-component analysis (Rayleigh/Love) (+ HV) Velocity Spectrum, Modeling & Picking ? Dispersion Curve or Vel. Spectrum Inver. ? Joint Analysis of Phase & Group Velocities ? Rayleigh-Wave Attenuation Analysis ?	Passive ReMi ? HVSF compute HVSR convert SEG to SAF	seismics Et tools show multiple HV:	SAC ? SR	
joint analysis of Surface Waves (+ HV) Velocity Spectra, Modeling & Picking Joint Inversion of Surface Waves	joint inversion of dis Joint Inversion of I Joint Inversion of Rayle	persion & HVSR/F Rayleigh/Love + HV sigh Waves (Disp+F	RM RPM)	
Academy - release 7.1 Please remember to register your purchase: winmasw@winmasw.com (re	check current release ead carefully the license)			

Lo primero que tienes que hacer es la activación del *Parallel Computing* (observar la esquina superior izquierda). Esto permite explotar los multi-core del CPU para poder reducer los tiempos requeridos en las operaciones (Esto es muy importante especialmente si trabajas con sismogramas sintéticos y procedimientos relacionados a la inversión del espectro de full velocidades).

En el siguiente pantallazo se puede ver la ventana principal *winMASW*[®] después de la activación de computación paralela (Compararlo con el anterior pantallazo). En este caso nosotros activamos 40 núcleos pero si tu tienes una computadora estandar i7, tu puedes activar 4 nucleos (i.e. 8 hilos) (Para saber el número de nucleos hábiles en tu computadora, por favor dar una mirada a este manual).

winMASW⊗ - Surface Waves & Beyond	-		×
i 🖉 🖂 i 🥴 🗶 🗟 🔛 i 🚱 i 🎧 i 🕼			ĸ
parallel computing Parallel Computing On (40 workers) 40 set your working folder open working folder	- Internet sites - where am I? [C utilities	> ;PS]	
I:\ELIOSOFT\Dati\data_in_progress\Baciacavallo\MASW			1
Single-component analysis (Rayleigh/Love) (+ HV) passive s Velocity Spectrum, Modeling & Picking ? Dispersion Curve or Vel. Spectrum Inver. ? Joint Analysis of Phase & Group Velocities ? Rayleigh-Wave Attenuation Analysis ?	seismics Es R tools	AC ?	
joint analysis of Surface Waves (+ HV) Velocity Spectra, Modeling & Picking Joint Inversion of Surface Waves Joint Inversion of Rayle	spersion & HVSR/P Rayleigh/Love + HV eigh Waves (Disp+R	RM PM)	
Academy - release 7.1 check current release Please remember to register your purchase: winmasw@winmasw.com (read carefully the license)			

Cuando determinamos el perfil de velocidades Vs (posteriormente el Vs30), el primer paso es la "determinación del espectro de velocidades". Luego es el turno del modelamiento directo (procedimiento sugerido) o el de la inversion (automática) de la curva de dispersión interpretada (pickeada, por el cursor).

Para hacer esto, primero ir a la sección "determinación del espectro de velocidades" (ver el párrafo 4.1), desde la ventana principal de *winMASW*[®] (mostrada abajo).

En la version *Professional* es posible analizar la atenuación de la señal (de las ondas Rayleigh) a fin de obtener los factores de calidad Q. A fín de obtener esto, primero que todo, es necesario la reconstrucción del perfil de velocidades Vs (ver el párrafo 4.1 y 4.2). Una vez esté hecho, tu puedes detenerte en analizar la atenuación, en la relevante sección ("attenuation analysis").

Ahora puedes calcular la curva de atenuación (i.e. la curva que, para cada frecuencia, describe la caida de amplitud de la señal de acuerdo a la distancia del offset) de la señal relevante de la onda Rayleigh, en caso hayas obtenido tu data a través de geófonos estandar con golpes verticales).

Después de todo, necesitas cargar el modelo Vs obtenido (.mod extención). Ahora es posible modelar o invertir la curva de atenuación observada, obteniendo los factores de calidad Q.

El software tiene la siguiente estructura de carpeta:

		Varias desumantes (manual si	omplea eta)						
		vanos documentos (manual, ejempios, etc).							
	Documents	Documents En la <u>sub-carpeta "videos"</u> puedes encontr							
		v puedes descargarlos desde nuestra web (www.winmasw.com).							
	Application	La anlicación esta acá. Por fa	vor no toque o manipule nada						
	Application								
		(podna acarrear varios problem	ias).						
		.	Algo de data "demos" está						
		data_disp	almacenada aquí.						
		data HV	Algo de data HVSR está						
			almacenada aguí.						
		dispersion curves	Aguí hay curvas de dispersion						
			picada.						
			Carpeta para análisis de						
winMASW®		output att	atenuación						
	10	, –	Carpata para al análisia da						
		output disp	dispersión						
	(carneta nara		dispersion.						
	"Entradac/Salidac")	output_HV	Carpeta para data de HVSR						
	Entrauas/Sanuas)		procesada.						
		remi_masw_spectra	Análisis del espectro ReMi						
		snapshots	Carpeta para guardar pantallazos						
		-	Aquí puedes guardar toda la data						
		2Dprofiles	útil para perfiles 2D (ver						
		<i>Lupionies</i>	"Creando secciones 2D"						
			Appendix)						

Por favor ver que si almacenas tu data de campo en una carpeta cualquiera (cualquier carpeta, e.g. "Desktop/Berlin"), la carpeta de salida va a ser automaticamente creada en tu "folder de trabajo" (esto puedes editarlos desde la ventana principal o cualquier ventana *winMASW*[®]).



Desde cualquier ventana es posible lanzar (si está instalado) Google Earth Pro:

Sugerimos descargar nuestros videos tutoriales en la carpeta *winMASW/Documents/videos* (También podemos accesder desde el icono ^(M)).

Los manuales se pueden acceder desde cualquier ventana (iconos 🔊 🔊 – para la versión en inglés e Italiano).

Vea los videos tutoriales desde <u>www.winMASW.com</u> (youtube channel).

4.1 Análisis de un único componente: Espectro de Velocidad, picking, modelamiento (dispersión, Refracción 1D y HVSR)

Análisis MASW, ESAC, ReMi, ESAC & MFA (fase y grupo de velocidades)

Análisis MASW

Primero cargamos el *common-shot gather*. Ejecutar esto dando click en el icono de la esquina superior izquierda, seguido de abrir la carpeta deseable (revisar los formatos compatibles). Debido al frecuente y comun error de los puntos de tiro, es necesario que el usuario siempre verifique la data ingresada (offset mínimo, distancia entre trazas, y muestreo) sea la correcta y necesaria.

De acuerdo al modo de ejecución (orden de las trazas) es posible que la data pueda ser "invertida". En este caso solo necesitas darle click en "rotar trazas" (ver botón "Rotate traces") dandole consecuentemente un orden correcto de las trazas.

Una vez la data fue cargada, el siguiente paso es calcular el espectro de velocidades, a través de un botón con el mismo nombre. El usuario tiene que ingresar el mínimo y máxima velocidad y frecuencia (en otras palabras los límites del espectro de velocidades) (ver figura 1a) El resultado es muy similar al que puedes ver en la figura 1b.

En caso no este muy feliz con la ventana del espectro (interval de frecuencia - velocidad) y prefieres obtener una mejor visión del area donde la señal de interés está concentrada (la curva de dispersión está relacionada a la propagacion de ondas superficiales), puedes recalcular el espectro de velocidad con nuevos parametros, haciendo click denuevo en "phase velocity" (for MASW analyses) o "group velocity" (for MFA analyses).

Desde que la data fue ingresada, tambien debemos considerer cómo se muestra el espectro en los resultados (see figure 7a). sugerimos usar limites que permita darnos una clara visualizacion sin necesidad de hacer zoom.



Herramienta para remover trazas desde la data cargada (versión Academy)



Data cargada:

En este ejemplo el punto de tiro es "interno" al arreglo de geófonos (offset mínimo -2.5)

Dando click en el icono ^{>>} podrás ver la siguiente ventana:



En el cuadro "traces to keep" el usuario puede insertar las trazas que desea mantener adoptando la siguiente sintaxis:

Primera traza que mantener : espaciamiento : última traza que mantener

En el siguiente ejemplo mantenemos las trazas desde el 6 hasta el 24 (todos ellos, desde que el espaciamiento es 1) (por favor notar que si introduciera "6:2:14" vamos a mantener las siguientes trazas: 6 8 10 12 y 14)



Primero damos click en "show" para observer si los parametros que ingresamos son los correctos y una vez estemos satisfechos con el (nuevo) set de datos, le damos click en "accept". Luego de todo esto regresamos a nuestro panel principal:



Ahora, el usuario puede continuar con el análisis (no es necesario guardar la "nueva" data en una nueva carpeta, pero puedes hacerlo dando click en el boton "save" en el grupo "data selection".





Figura 1. Cálculo del espectro de velocidad. Los límites necesarios de la ventana serán ingresados: frecuencias y velocidades (min y max).

33



Importante: ¡sólo modela, no haga la inversión!

Las técnicas basadas en el análisis de la propagación de las ondas superficiales son más y más comunes, pero algunos aspectos impuestos relacionados a su generación y propagación se debe proceder con cautela, esto significa determiner el espectro de velocidades y picar la curva de dispersion que nosotros queremos invertir.

Este tema es considerado en los siguientes artículos:

- Dal Moro G. and Ferigo F., 2011, *Joint Inversion of Rayleigh and Love Wave Dispersion Curves for Near-Surface Studies: Criteria and Improvements*, *J. Appl. Geophysics*, *75*, 573-589
- Dal Moro G., 2011, Some Aspects about Surface Wave and HVSR Analyses: a Short Overview and a Case Study, BGTA (Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata), invited paper, 52, 241-259

Por favor visitar regularmente la página <u>www.winMASW.com</u> (sección de publicaciones).

Desde un punto práctico de vista, por favor considerar lo siguiente:

- 1. Es absolutamente falso que la máxima energía relacionada a la ondas superficiales es necesariamente asociado a la propagación del modo fundamental: muchos modos pueden co-existir en algunos set de datos.
- 2. Es absolutamente falso que modos superiores solo aparecen en altas frecuencias. Ellos pueden existir a bajas frecuencias tan bien como pueden aparecer "saltos modales".

Como consecuencia, es aconsejable reemplazar el procedimiento picar-inversión con el de "modelamiento directo" (revisar la sección relacionada): buscar la coherencia más lógica entre la distribución de energia y el espectro de velocidad (de lejos el objetivo de nuestra data) y la curva de dispersion teorica desde un modelo que el usuario prueba y modifica, iniciando prioritariamente con una estratigrafía que conoce y una data (a traves de de procedimientos de modelamientos directos).



Formato de data Sísmica

winMASW[®] puede leer correctamente los siguientes formatos:

1. Formato segy (.segy or.sgy). Este es un formato estandar sugerido por la *Society of Exploration Geophysicists* (SEG).

2. seg2 (.dat ó .sg2). Este es conocido como el formato "common gathering". Muchos de los sismómetros usan este tipo de formato (típicamente integrado en 32 bits o punto flotante 32 bits). A partir de la version 3.0 el software puede reconocer automaticamente el formato pero, evitando posibles errores del sismometro, el usuario tiene permitido editar el formato.

3. Formato SU (seismic Unix). Formato tradicional (sin embargo no es frecuentemente usado)

4. Formato ORG (.org): tradicionalmente usado por sismografos OYO (32 bits integrados en formato tradicional)

5. Formato ASCII (.txt ó .asc). Algunos equipos y software usan el formato ASCII (puede ser leido con todos los editores de texto) donde las columnas son para diferentes trazas (en otras palabras es una matriz m x n, m representa el numero de data y n el numero de trazas).

Por favor tener en cuenta:

Primera línea: dt (rata de muestreo en segundos),

Segunda línea: offsets (en metros) – <u>No tienen que estar igualmente</u> espaciados

Ejemplo (*dt* 1 millisegundo, offset mínimo 6m):

	0.00	•												
6	10	14	18	22	26	30	34	48	52					
2.8	39	-40.0	7	125.3	33	27.35	5	76.92		-29.89	26.04	-55.37	117.62	-66.34
92.	11	-86.0)7	-16.0	67	135.3	5	62.92	2	93.11	119.04	38.63	-124.38	57.66
90.	11	93.9	93	130.	33	161.3	5	94.9	2	170.11	111.04	127.63	-24.38	35.66
2.	.11	-151	.07	99	.33	8.3	5	178.9	2	-8.89	72.04	-93.37	22.62	-21.34
-36	6.89	56	.93	-77	.67	121.	35	33.9	92	171.11	14.04	63.63	-33.38	50.66
1	0.11	15	5.93	12	6.33	43	35	159	.92	43.11	127.04	4 -0.37	95.62	-37.34
5	1.11	-11	8.07	' 🤅	9.33	43.	35	157.	92	44.11	-29.96	-116.37	7 13.62	1.66
91	.11	57.	.93	100).33	228	35	78.	92	214.11	146.04	4 139.6	3 28.62	66.66
5	3.11	-91	1.07	43	3.33	-30.	65	139.	92	-28.89	41.04	-56.37	75.62	-59.34
	4.11	10).93	-94	4.67	124	.35	-54.	80	190.11	-3.96	-22.37	-95.38	74.66
4	2.11	-1	1.07	11	1.33	-24.	65	1.9	2	37.11	117.04	-71.37	92.62	-40.34

...

0 001

6. Formato *Matlab* (.mat). muy parecido al anterior, pero escrito con el protocol Matlab. Es mostrado como una simple matris y el usuario tiene que ingresar puntos relevantes como el intervalo de muestreo, el offset minimo y la distancia entre geófonos.

7. Formato SAC (big endian): un formato común para data sismológica (usado para set de datos de 1 canal).
Formato de data numérica



Cuando la data es cargada, es muy importante tener el formato correcto (escoge del menu como "*Floating-point 32 bits*", "*Integer 16 bits*" etc.).

Si el formato no es el correcto, la visualización puede ser diferente como la ves en la figura 1, donde la traza sismica se muestra correctamente, de acuerdo al modo



llamado "wiggle". Aquí se muestra dos ejemplos donde se evidencia una lectura errónea del formato.

winMASW[®] indetifica automáticamente la data en formato .seq2.

A propósito, siempre hay la posibilidad de editar de acuerdo a diferentes formatos, tomando en cuenta que el sismógrafo pueda incurrir en error.

El dominio τ - velocidad

Cuando calculamos el espectro de velocidad, la data puede representarse también en el dominio τ -velocidad (sólo activar la opción "*Tau-v*" en la barra de herramientas). El parámetro τ es el tiempo interceptado en el eje del tiempo y la operación es hecha por la transformada lineal Radon.

Para usuarios muy expertos, la representación de la data en este dominio puede ser útil para mas consideraciones, incluso para propositos de enseñanza.



www.winmasw.com - geophysical software & services



Problemas relacionados por un corto tiempo de adquisición: en la figura, el set de datos está limitado en 0.2 segundos, mientras en la data de abajo fue aplicado el "zero padded" (ceros fueron agregados a las trazas) en función de determinar un mejor espectro.

En breve: Si no es suficiente coger toda la tendencia de las ondas superficiales. Insertamos factores numericos para alargar lo suficiente el set de datos.

Sección "select data"

Esta sección permite seleccionar un grupo específico de set de datos para analizar. Sólo se necesita hacer el Star Up (botón): Un polígono se muestra. Es posible ampliar el area de selección usando los ángulos amplificadores. Dar click en el boton "Select" para cortar la porción fuera del polígono.

El número que aparece a lado derecho del boton, es el número de muestras usadas en el corte de la data externa del area externa del poligono estudiado.

En otras palabras: los valores dentro del poligono siguen siendo lo mismo, la data externa al poligono se combierte en cero. El número de muestras de la rampa es el número de muestras en la área transitoria. Si es muy limitado, diferentes problemas relacionados a la nitidez de la señal puede suceder. El valor por defecto (20) se adapta a la mayor de las situaciones.



Set de datos Full: notar que la energía se relaciona a los modos superiores (sobre el modo fundamental)



La seleccion de la señal correcta nos muestra la seccion relevante para modo superior / modos.

NOTA: para proceder con el análisis del nuevo set de datos no es necesario guardar (botón "save").

Trabajando para un reconstrucción de la sección 2D

Desde el lanzamiento de la versión 7.3 (*winMASW*[®] *Academy*), bajo la necesidad de simplificar los procedimientos necesarios para analisar varios golpes de tiro (e.g. para la reconstrucción de la sección 2D acuerdo a la tecnica roll along), en el panel single-component agreganmos el siguiente punto de tiro dando click al botón **"next shot"**.

El procedimiento para analizar varios golpes (grabado de acuerdo al procedimiento de adquisición roll-along):

1) <u>Preparación de la carpeta y la data</u>. Guardar la data en una sola carpeta, para adoptar una clara nomenglatura que indica el número de golpe al final de la información, separado previamente por un signo "-" (minos):

Ejemplo de nombres de principales archivos (revisar la nomenglatura del libro *Elsevier*, Párrafo 2.2):

ZVF_dx2_mo5_dataset-1.sg2 THF_dx3_mo6-1.sg2 RVF_dx2_mo5_shot-1.sg2

Observar el ejemplo en la figura aquí abajo (en la derecha), donde se muestra una carpeta con los primeros 28 golpes/set de datos de la componente RVF.

/#1: data uploading & processing	D	ati > LORENZ > 17MEL ADAM2D RPM	17MEIL-1-53mArray-dv2.0	-mo5.0 > 7VEB	2VF
dataset: 17MEIL-1-ZVF50m-dx2.0-mo5-30.sg2			initiale in something dueld	110510 7 2111	
sampling: 0.5ms [2000Hz] - 4000 samples next shot	^	Name	Date modified	Туре	Size
geophone spacing: 2 m		17MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-1.sq2	13/07/2017 12:54	SG2 File	383 KB
normalized traces		17MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-2.sg2	13/07/2017 12:55	SG2 File	383 KB
° ₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽ ₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽		17MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-3.sg2	13/07/2017 12:56	SG2 File	383 KB
0.2		17MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-4.sg2	13/07/2017 12:56	SG2 File	383 KB
		17MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-5.sg2	13/07/2017 12:56	SG2 File	383 KB
		17MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-6.sg2	13/07/2017 12:56	SG2 File	383 KB
0.6		17MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-7.sg2	13/07/2017 12:56	SG2 File	383 KB
0.8		17MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-8.sg2	13/07/2017 12:56	SG2 File	383 KB
		17MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-9.sg2	13/07/2017 12:57	SG2 File	383 KB
		17MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-10.sg	2 13/07/2017 12:57	SG2 File	383 KB
1.2		17MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-11.sg	2 13/07/2017 12:57	SG2 File	383 KB
14		17MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-12.sg	2 13/07/2017 12:57	SG2 File	383 KB
		17MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-13.sg	2 13/07/2017 12:54	SG2 File	380 KB
		17MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-14.sg	2 13/07/2017 12:54	SG2 File	380 KB
1.8		17MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-15.sg	2 13/07/2017 12:54	SG2 File	380 KB
		17MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-16.sg	2 13/07/2017 12:54	SG2 File	380 KB
5 10 15 20 25 30 35 40 45 50		17MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-17.sg	2 13/07/2017 12:54	SG2 File	380 KB
offset (m)		17MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-18.sg	2 13/07/2017 12:54	SG2 File	380 KB
		17MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-19.sg	2 13/07/2017 12:54	SG2 File	380 KB
		17MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-20.sg	2 13/07/2017 12:54	SG2 File	380 KB
		17MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-21.sg	2 13/07/2017 12:54	SG2 File	380 KB
resampling data selection filtering & spectra refr. & refl.		17MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-22.sg	2 13/07/2017 12:54	SG2 File	380 KB
0.5 v activate filter cancel refr./refl. 0.2		17MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-23.sg	2 13/07/2017 12:54	SG2 File	380 KB
resample select 60 spectrum		17MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-24.sg	2 13/07/2017 12:54	SG2 File	380 KB
spectrogram flip polarity refresh		17MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-25.sg	2 13/07/2017 12:54	SG2 File	380 KB
a other table & eating		17MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-26.sg	2 13/07/2017 12:54	SG2 File	380 KB
1,5005 time to visualize (e) done cut reconstitue the all transme elsever 20 data that available reconstitue		17MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-27.sg	2 13/07/2017 12:54	SG2 File	380 KB
the terratable (a) and an 200 participation of an area allowed and a cost allowed 200 participations		17MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-28.sg	2 13/07/2017 12:54	SG2 File	380 KB
		17MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-29.sg	2 13/07/2017 12:54	SG2 File	380 KB
		17MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-30.sg	2 13/07/2017 12:54	SG2 File	380 KB
		17MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-31.sg	2 13/07/2017 12:54	SG2 File	380 KB
		17MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-32.sg	2 13/07/2017 12:54	SG2 File	380 KB
		17MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-33.sg	2 13/07/2017 12:54	SG2 File	380 KB
		1/MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-34.sg	2 13/07/2017 12:54	SG2 File	380 KB
		1/MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-35.sg	2 13/07/2017 12:54	SG2 File	380 KB
		1/MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-36.sg	2 13/07/2017 12:54	SG2 File	380 KB
		1/MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-37.sg	2 13/07/2017 12:57	SG2 File	383 KB
	*	1///MEIL-1-RVF50m-dx2.0-mo5-38.sa	2 13/07/2017 12:57	SG2 File	383 KB

ON MEA ESAC & DoMis input curve ? dataset: 17MEIL-1-ZVF50m-dx2.0-mo5-30.sg2 sampling: 0.5ms [2000Hz] - 4000 samples minimum offset: 5 m next shot normalized traces 0.2 180 show 1-k auto picking 0.4 1600 ion curves 0.6 1400 (s/m to select the last point of the considered mode time (s) 1200 elocity save picking ? 1000 1.2 800 cancel picking 1.4 600 1.6 400 inversion 1.8 joint D+HV inv. 10 15 20 25 35 40 45 30 50 15 frequency (Hz) offset (m) יאטאיאטיאטאא s (FVS Vs 80 130 150 220 250 300 400 800 1200 1600 2400 upload mod. Cls 10 16 19 24 28 31 38 50 100 150 200 300 ? about Poisson 0.3 ZVF ~ show M & R shows DC refr. & ref. refr. /refl. upload save show model filter cancel activate kust overlap select 60 Rayleigh v 5 phase vel 🗸 🗸 compute synthetics 7 10 40 100 200 flip polarity refresh cancel save 0 Reference depth Refraction tive (p HV (body waves) HV (surface waves 1.9995 time to visualize (s) done cut zeros/flips flip all traces show 3D data test amplitude zero padding 40 max depth

2) <u>Cargar el primer set de datos, limpiar el ruido y procesar el espectro de velocidad de fase</u>:

En este caso cargamos el archivo "17MEIL-1-ZVF50m-dx2.0-mo5-**30**.sg2" (así que empezamos del golpe/dataset#30).

Como vemos en el pantallazo el espectro se ve claramente, si es que la data raw tiene ruido, la calidad del espectro de velocidad de fase puede ser pobre.

En consecuencia, es necesario limpiar la traza sismica.

En el siguiente pantallazo, puedes ver una data limpiada a la izquierda (nosotros modificamos el muestreo a 1ms [la data fue adquirida a 0.5 ms], reducer el tiempo de grabado a 0.6 s y mantener solo las ondas Rayleigh - "seleccion de data"). El espectro de velocidad de fase (en la derecha) es ahora mucho mas claro.

winMASW®



3) <u>Modelar y guardar el resultado (report DC ó report SS)</u> (para aprender como modelar la dispersión de acuerdo la curva de dispersion modal en el enfoque FVS, observar el resto en este manual): tu modelo se guardará en un sub-folder luego del punto de tiro que hayas considerado. Si, por ejemplo el golpe#30, tu modelo fuera salvado en una subcarpeta nombrada "reportDC30" en caso tu consideras la curva de dispersión modal y "reportSS30" en caso tu trabajes de acuerdo al enfoque FVS.

Ahora estamos listos para analizar el siguiente tiro.

4) Gargando el siguiente tiro

Una vez le des click al botón **"next shot"** (esquina superior derecha de las trazas sísmicas), automaticamente se va a cargar el siguiente archivo/tiro (en este ejemplo *17MEIL-1-ZVF50m-dx2.0-mo5-31.sg2*) y podrá (también atutomaticamente) generarse el espectro de velocidades.

Podrá ahora limpiar el set de datos, modelar y salvar (como el anterior tiro).

Al final, tendrás a serie de subcarpetas donde cada modelo fue salvado como model30.mod (shot#30), model31.mod (shot#31) y asi sucesivamente.

Ahora, para obtener la sección 2D, es necesario crea una carpeta de proyecto (ver <u>Appendix</u> <u>E: Creating 2D sections</u>).

Espectro de velocidad promedio

Una vez que procesas y guardas una serie de espectro de velocidades (por ejemplo desde las series de golpes en reversa y directo) tu puedes cargar todos los espectros salvados con el botón "upload" (en el grupo "handling the spectra") y crear un espectro promedio (puedes selccionar/cargar multiples espectros solo presionando ctrl y seleccionando los espectros que desees).

Desde un punto de vista científico, la utilidad de esta operación es un poco cuestionable pero algunos piensan que puede ser útil...



En la versión *Academy*, mientras el software calcula el espectro promedio, una serie de ploteos se mostrarán automaticamente y se salvarán (en la carpeta de trabajo)::

1) las trazas de cada set de datos (IndividualTraces.png);

2) su espectro de velocidades (IndividualSpectra.png)

3) el panatallazo de espectro promedio (AverageSpectrum.png) (observar las siguientes imagenes).





Explorando el espectro

El botón "*explore spectrum*" permite visualizar el espectro de velocidad en 3D (a la izquierda) también obtendrás (a la derecha) <u>aproximadamente</u> valores V_S basados en el "*Steady State Approximation*". Los beneficios de la aproximación esta relacionado al sitio en específico: en caso tengas una fuerte variacion de VS (especialmente para profundidades someras) los valores dados por la aproximación no son fiables. En otras palabras la aproximación es fiable solo cuando la grandiente de Vs no varía abruptamente.



Data MASW con espaciamiento no equidistante (winMASW[®] Academy)

winMASW[®] *Academy* puede manejar data MASW con espaciamiento no equisdistante. Cuando cargas la data de campo, el software no conoce los offset actuales y entonces es necesario modificar los offset con la geometría correcta (en este caso, en consencuencia, el espaciamiento entre geófonos – dx – no es constante). Aquí la secuencia de operaciones a realizar:

- Carga tu data como de costumbre. Necesitas ingresar valores: mo [offse mínimot] y dx [espaciamiento entre geofonos]. Por favor, ingresar el valor real de mo y no te preocupes del dx;
- 2) Click en el boton "modify offsets" e ingresar los valores de offset actualizados;



3) Procesar (como usualmente se hace) la velocidad de face (boton "phase velocities").

4) Guardar el espectro de velocidad (boton "save" en el grupo "handling the spectra").
El espectro salvado, no solo contiene el espectro de velocidad, sino también las trazas sísmicas (con los valores de offset correctos).

Si en el futuro, quisieras re-analizar la data, tu puedes cargar el espectro salvado (con los valores de offset correctos) y no necesariamente va a modificar de nuevo los offset.



Por favor, notar que: para el análisis de una data MASW espaciada no equidistante, es recommendable el enfoque FVS y no el enfoque basado en la curva de dispersion modal. [observar el ejemplo reportado arriba].

Análisis ReMi

Del panel principal, dando click en el botón "ReMi spectra", puedes acceder a una sección dedicada al análisis de este espectro obtenido del análisis de ondas sísmicas pasivas. (formato *seg2* y *segy*)

🤣 🥏			
velocity spectrum			
www.winmasw.com	frequency (Hz) 2 30 min max		
	velocity (m/s) 90 1200		
- Dataset	window length (in seconds) for spectra calculation		
geophone distance (m)	minimum value (s): 1 maximum value (s):		
show data	Resample to 6ms		

Dando click en "input file(s)" puedes seleccionar los archivos de adquisición *ReMi* (sísmica pasiva) (revisar el apéndice relacionado)

Puedes cargar en simultaneo varios archivos (usualmente de 65 segundos) para poder hacerlo mantener precionado la Tecla Ctrl mientras seleccionas los archivos. <u>Es necesario que todos</u> los archivos tengan los mismo parámetros de adquisición: distancia entre geófonos, muestreo, longitud en tiempo.

En orden de no sobrepasar la memoria del computador, sugerimos no cargar mas de 5 set de datos al mismo tiempo (por ejemplo para archivos de 65 segundos, cual valor depende en cualquier modo de la caracteristicas de la computadora)

Una vez ingresado la distancia entre geofonos, longitud de ventanas, usadas en la adquisicón de datos (el mismo "sampling rate/interval" puede ser modificado pero los valores obtenidos deben ser procesados de nuevo cada vez se cambie los datos) necesitas darle click en "spectra calculation".

Al final de las operaciones en las ventanas como la que se muestra abajo.

El software divide en varias ventanas (o set de datos) de igual longitud como lo indique el usuario (los valores suelen estar en el rango de 2 segundos)

De acuerdo al radio entre el set de datos y el tamaño de la ventana, diferentes ventanas pueden mostrarse como las que se muestran arriba.

El usuario puede seleccionar el espectro más definido dándole en el pequeño botón situado al lado derecho inferior de cada espectro. El espectro elegido en la ventana puede mostrarse otra vez en lado isquierdo superior de la pantalla (se logra dando click en "next window" ó "save selected spectrum").

Cuando la ventana final es leída, tu puedes guardar el espectro seleccionado dando click en el mismo botón.

Una vez el espectro mas definido (ó el de mayor utilidad para nuestro análisis) es salvado, nosotros debemos entrar al módulo "Velocity spectra, Modelling, Picking" dando click en "Analyze saved spectrum".

Aquí, en la sección "#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW & ReMi analyses)", nosotros cargamos el espectro guardado dando click en "upload ReMi spectrum".



Los últimos 3 ploteos se refieren al espectro promedio: los dos primeros relacionados a las dos posibles direciones (quiere decir: una de la izquierda, la otra de la derecha), la ultima es el espectro promedio.

Si, en vez de escoger un espectro promedio, prefiere usar un espectro de un evento, eventualmente cuando el usuario da click en "*next window or save selected spectrum*" (para guardar el espectro) el evento (i.e. el tiempo de la ventana de la data sismica) podría tambien apararecer.



En el evento seleccionado de la izquierda (por favor notar el paso de las ondas superficiales) y, a la derecha, el espectro seleccionado.

En caso usted escoja visualizar el espectro promedio solamente (solo selecciona "show average spectra only" en el recuadro) y va a obtener solo 3 espectros promedios:



En esta etapa del análisis, procedemos como en el MASW, pero con una diferencia, como brevemente podemos ver en el siguiente esquema:



Criterio de modelando/picando para ambos tipos de data (sísmica activa y pasiva)

Un posible procedimiento

Si tu necesitas "mejorar" el perfil de velocidades Vs, puedes pone en conjunto el MASW y ReMi, de la siguiente manera:

- 1. Determinar la curva de dispersion del MASW y guardar la curva picada (file.cdp)
- 2. Analizar la data ReMi (guardar el espectro más claro)
- 3. Cargar la curva picada del MASW (boton "input curve" en la parte superior derecha de la seccion "visualize curves")
- 4. Proceder con el picado del espectro de velocidad del ReMi como se hizo con el MASW (lo principal es encontrar mas puntos a bajas frecuencias)

En la carpeta "data/Lamporecchio" podrás encontrar varios ejercicios útiles:

- Carpeta para el análisis de Ondas Rayleigh MASW (Lamporecchio_MASW_vertical.sgy geófonos verticales)

- Carpeta para el análisis de las ondas Love MASW

(Lamporecchio_MASW_horizontal.sgy)

- Carpeta para el análisis ReMi (Lamporecchio-ReMi.sgy)

Siguiendo los 02 pantallazos.

El primero es relevante para el analisis MASW (con una curva picada – debido a que el tipo de espectro fue picado por delante de los 6Hz, a más bajas frecuencias, la tendencia revela una intervencion del primer modo superior);

El Segundo pantallazo (debajo) es relvante para el análisis ReMi: ir sobre el tendido de la curva de dispersión MASW. Tu puedes notar que, comparado con el espectro ReMi, este esta tendido sobre el "limite inferior" de la señal (y no sobre el picado como pasa con el MASW). En este espectro otros puntos cercanos a 4Hz son ahora agregados a la velocidad de fase de 320 m/s aproximadamente.



Data MASW: trazas, espectro de velocidad y curva picada

Por favor considerar que de los métodos pasivos descritos, nosotros recomendamos el método ESAC (mejor que el ReMi): gracias a su arreglo bidimensional en la adquisción, ESAC es capaz de manejar la direcionalidad de las señal y su matemática tiene por lo general un mejor rendimiento comparado con otras lineas ReMi.



Espectro de Velocidad de data *ReMi:* observar como la curva picada de la data MASW se ubica en la parte inferior de la frontera del espectro *ReMi*.

Observar tambien el Apendice A para recomendaciones acera del cirterio de adquisición de datos.

Nota:

Nosotros no recomendamos MASW + Remi como una herramienta decisiva para obetener un "perfecto" perfil de velocidades Vs.

El mejor procedimiento para obtener un robusto perfil de velocidades de perfil Vs es representado por un análisis en conjunto del MASW (Rayleigh & Love) + HVSR.

Porfavor considedar una serie de aspectos técnicos (lo principal esta relacionada probablemente con la direccionalidad de la señal y todos sus consecuentes problemas) nosotros recomendamos usar la metodología ESAC y no la ReMi.

Lo Nuevo en el Módulo Remi (winMASW® Standard, Pro y Academy)

En la reciente actualización desarrolla mejoras generales.

Puedes obtener un esquema de tu arreglo de geófonos (número de canales y espaciamiento de geófonos).



Ahora un proceso normalizado (frecuencia por frecuencia) permite una mejor visualizacion de la dispersión también a muy altas frecuencias (donde la energía microtremor es muy limitada).

En el siguiente esquema, de los tres promedios del espectro de velocidad inmediatamente obtenida, puedes procesar solo el espectro promedio. El espectro Directo y Reverso son procesados mientras consideramos la señal que viene "desde la isquierda" o "desde la derecha". El tercero es el promedio:



El mejor espectro depende del lugar (características de campo en la adquisición de los microtremores, en este caso, por ejemplo, el mejor espectro probablemente es el primero de la izquierda).

En la siguiente figura reportamos el espectro de velocidad (y sus trazas) en caso usted decide seleccionar un solo evento/ventana (por favor estar conciente que este no es el metodo ReMi en sentido estricto).



Porque los problemas de los arreglos lineales necesariamente creado mientras consideramos data pasiva (revisar también el recuadro en la siguiente página y el libro Elsevier), nosotros recomendamos fuertemente el uso de ESAC sobre el metodo ReMi. El arreglo bidimensional y los diferentes procesamientos matemáticos relacionados, necesariamente asegura resultados más claros (especialmente en muy bajas frecuencias) [revisar el siguiente cuadro].

Nuevo en la siguiente actualización del winMASW[®] *Standard*, *Pro* & *Academy*: la nueva herramienta "merge"

Algunas mejoras fueron hechas en el módulo ReMi y en la herramienta usada para trabajar en conjunto la velocidad de fase del espectro obtenido del MASW y de la data pasiva [botón "merge" en el panel "single-component analysis"].

Ahora es posible unir los dos espectro de velocidades obtenidos del análisis MASW y ESAC (y no solo considerando ReMi y MASW data).

Por supuesto para onbtener el espectro de velocidad ESAC, necesitas tener el winMASW[®] Academy, el cual también otorga importantes ventajas: puedes trabajar con la curva de dispersión efectiva, el cual es la curva resultante de la combinación de todos los modos (esto significa que no necesitas tener ninguna interpretación de la curva en terminos de curva de dispersion modal).



Ejemplo #1 (ESAC+MASW):

Puedes observer que usando el espectro ESAC, puedes obtener un espectro

continuo?

En este caso, encima de 8 Hz pertenece a la data MASW mientras que por debajo de 8Hz pertenece a la data ESAC.

En el winMASW[®] Standard se puede hacer esto solo uniendo el espectro ReMi (ver el siguiente ejemplo) + MASW.

Por favor notar que el espectro ESAC + MASW es "continuo" (mientras si tu estas probando un caso ReMi + MASW... ver el siguiente ejemplo).

Ejempplo #2 (ReMi+MASW):

Debajo la clásica unión del espectro de velocidad de fase MASW (la componente ZVF) [debajo, hacia la izquierda] y el espectro de velocidad de fase ReMi [arriba, en la izquierda]:



Debajo de 6Hz es posible observar un "salto" debido a la forma diferente de trabajo de los arreglos lineales pasivos (Acerca del ReMi – tienes que seguir el area ambigua entre la señal y la no-señal) o activo (MASW).

Al considerar la data ESAC y MASW esto no es un problema (los dos espectros son "continuos" – ver el ejemplo previo).

ESAC

Este método es particulamente adecuado para el análisis de datos pasivo adquiridos mientras se adopta una geometría bidimensional (2D). Esto significa que los geófonos son plantados NO en una línea recta, pero si siguiendo una geometria 2D (círculos, forma en L, cruces o distribuciones aleatorias)



Algunas observaciones

- La posibilidad de analizar la data adquirida en geometría 2D permite supercar los problemas direccionales el cual afecta a la metodologia ReMi.
- No hay una Geometría "ideal". La forma en la que puedas desiminar tus geofonos depende de las condiciones locales. La geometría más facil es claramente la que requiera el minimo esfuerzo (forma en L o cruces); usualmente la forma circular es la más difícil (por favor considerar que la posición / coordenadas [x,y] de los geófonos debe ser estrictamente apuntado). El origen del Sistema cartesiano es absolutamente irrelevante, en concecuencia tu punto [0,0] puede estar puesto en cualquier lugar.
- Desde que estas metodologías asumen la condición de onda plana, esto es importante que la principal fuente esta suficientemente distante para dicha codición. (consecuentemente no usar este método para analizar data adquirida considerando fuentes activas cercanas).

Panel Principal para el modulo ESAC

En la parte superior izquierda es posible insertar las coordenadas [x,y] (el cual puede se actualmente tipeada/guardada en un simple archivo ASCII – ver la siguiente página para formatos). En la siguiente linea ("channels to remove") es posible indicar la trazas que queremos excluir del análisis (debido a un alto ruido).



Posicionamiento de los canales (poner atención)

Coordenadas de los canales / geofonos debe estar claramente reportado.

Usuarios inexpertos (no familiarizado con sus propios sismógrafos) pueden revertir la posición (i.e. ellos pueden pensar que el canal #1 es el canal #24 o viceversa). Una manera simple para verificar los canales actuales es desarrollar una adquisicion activa (el arribo de las ondas superficiales nos pueden confirmar la posición). Usuarios registrados de winMASW[®] reciben varios documentos para verificar si todo esta bien para analizar algunos outputs/plots proveidos para winMASW[®] y capacidad de medición de la consistencia del análisis.

En la esquina superior derecha, el usuario puede insertar los parámetros a adoptar en el análisis ESAC/FK.

En la área debajo del panel principal:

- En la izquierda, la opción de re-muestreo (el cual es absolutamente recomendado),
- Estos son algunos botones para administrar/visualizar la data en el mapa de canales.
- En la derecha se reporta los botones para obtener la curva de dispersión y espectro de pseudo velocidad.

Opciones "verbose" y "f-k analysis" cerca al boton "compute" (para lanzar el procesamiento):

- Por defecto sólo el analisis ESAC son desarrollados, pero la opción "f-k analysis" puede activarse para el analisis FK.
- Para activacion de la opción "verbose" tenemos que tener una serie de outputs "intermedios" usados para reviser la calidad de la data, etc (revisar las siguientes páginas).

ESAC Adquisición de la Data

- Longitud de grabado: ¿Cuan largo debería ser el set de datos para un desarrollo seguro en este tipo de análisis? No existe un número mágico para esto, debido a que depende del sitio (las condiciones estratigráficas y el nivel de "ruido" sísmico que pensamos usar). Como una regla general, 5 minutos puede ser suficiente pero definitivamente una adquisicion de 10 minutos puede ser mucho mejor.

- **Número de Canales**: Un número rasonable de canals es 16-24. Es escencial una Buena distribucion de covertura a diferentes distancias/espaciamiento (espaciamientos cortos puede "observar" niveles mas someros mientras que espaciamientos largos puede penetrar mayores profundidades – Los geófonos no necesariamente tienen que estar equidistantes).

La siguiente figura es un ejemplo de reporte de una posible (y facil de realizar) geometría (Forma en L).



Desde winMASW[®] 5.0 Academy, algunos procedimientos como ESAC y FK se encuentran aprovechados en la computación paralela, así que poder usar computadoras multi core hará un significativo reducción de procesamiento computacional. Podríamos decir que la reducción de tiempo de procesamiento es proporcional al número de núcleos de la computadora (si tienes una computadora de 4 núcleos, tu tiempo de procesamiento computacional será 4 veces menor que el de una computadora de un sólo núcleo).

Desde que estas técnicas son usadas particularmente para recuperar las propiedades de dispersión a bajas frecuencias, es importante entender que debemos tener un buen equipo (buenos sismógrafos y geófonos de baja frecuencia – 4.5 Hz mínimo).

En el siguiente ejemplo de set de datos adquiridos adoptan un arreglo en forma de L, caracterizado en una distancia mínima (radio máximo (distancia entre geofonos) solo de 58.25m):



Por favor observar que la "señal" entre 15 y 25 Hz (velocidad de fase entre 100 y 200 m/s) el cual es afectado por el fenómeno de "aliasing" y consecuentemente no tiene relevancia para nuestros objetivos.

Nosotros también podemos notar que, como varios autores citan (e.g. Rosa-Cintas et al., 2011), a bajas frecuencias el método FK tiende a identificar altas velocidades con respecto al ESAC.

La siguiente figura reporta los diafragmas kx, ky para varias frecuencias (método FK).



Los siguientes ploteos reportan resultados obtenidos tras reducer a 15 el numero de canales de la data presentada anteriormente (originalmente compuesta por 23 trazas).



Por favor, notar que las trazas adoptadas reflejan un incremento en el fenomeno de aliasing (comparar el ploteo con el anterior el cual uso 23 trazas).

Para cualquier adquisicion pasiva (donde la amplitude de la señal es baja), quienes tienen un sismografo "antiguo" (con rango dinámico limitado), es importante dar una Alta-Ganancia suficiente (claramente evitando el clipping de la señal).

<u>Muestreo intervalo/rata</u>: 2ms (500Hz) es absolutamente suficiente (asumimos que tu sismografo tiene un buen filtrado anti-alias).

Si adquieres con un alto muestro, en orden de evitar altos e innecesarios tiempos de procesamiento computacional es recomendable realizar un re-muestro (por defecto *winMASW*[®] realiza esto – ver la opción en la esquina inferior izquierda).

Disponibilidad de dos herramientas para "limpieza/selección" de la data (botón "clean data") y luego guardarla (botón "save data").

Por favor tenga cuidado al analizar el método ESAC, el proceso de limpieza es a veces opuesto al adoptado para el desarrollo del analisis HVSR.

Mientras en el análisis HVSR, nosotros generalmente se prefiere remover eventos único/trasiente de amplitud alta, aquí en el análisis ESAC, nosotros generalmente preferimos hacer lo opuesto: nos quedamos con eventos de alta amplitud y removemos lo que dicen background.

Ejemplos y casos de studio pueden ser desiminados a traves de nuestras noticias.

Entendiendo la calidad de data

Para evaluar nuestra correlacion espacial (método ESAC) es posible (con cierto grado) entender la calidad general de nuestra data.

El siguiente ploteo reporta una data de alta calidad (puntos azules representan la correlacion observada, la data en rojo es la funcion Bessel con mejor acoplamiento "best-fit").



Los siguientes ploteos reportan la misma cantidad para un set de datos de baja calidad (misma data presentada en cuadro anterior), el cual depende de varios factores: caracterización del sitio en terminos de litología y ruido ambiental/señal, longitud del arreglo (y posiciones de los geófonos, calidad (y configuracion) del equipo a usar (sismógrafo, geófonos, cables, etc).



Ingreso de Data y Parámetros

Es posible cargar varios set de datos juntos (como es común en Windows, para hacer esto es suficiente usar el botón Ctrl). De hecho, algunos sismógrafos pueden grabar a lo mucho 1 minuto: Para grabar varios set de datos (cada uno por ejemplo de 1 minuto de largo) es posible adquirir una suficiente cantidad de data para desarrollar todo el análisis basado en adquisición pasiva (ReMi, ESAC, FK) (la mayoría con 15 minutos de grabado es suficiente). Algunos puntos:

- La opción de re-muestreo: para reducer el tiempo de procesamiento computacional, es es absolutamente recomendado (esta opción esta activada por defecto pero puede ser desactivada).
- Carga computacional para el metodo FK es mayor que en el ESAC y depende fuertemente en los parámetros adoptados. Nosotros recomedamos considerar frecuencias no tan altas cerca a 30 Hz. Altas frecuencias de hecho dan mejores imagenes en adquisiciones activas – MASW – y su análisis. Las frecuencias mas bajas usables depende de las dimensiones y longitud del arreglo, las caracteristicas del sitio y la frecuencia natural de los geofonos usados.
- Las posiciones de los canales/geófonos pueden ser reportados manualmente en la ventana pertinente o pueden ser escritas en un simple archivo ASCII, de acuerdo a la sintaxis indicada en el siguiente cuadro (el archivo debe tener un encabezado y la extensión .pos)

File ASCII (.pos extension)

Xcoordinates	Ycoordinates
-48	0
-44	0
-40	0
-36	0
-32	0
-28	0
-24	0
-20	0
-16	0
-12	0
-8	0
-4	0
0	3
0	6
0	9
0	12
0	15
0	18
0	21
0	24
0	27
0	30
0	33

 Salidad de datos "Outputs": Por defecto es procesada (y guardada) solo la curva de dispersión ESAC y sus respectivos "pseudo espectro de velocidades" (esto es justo el misfit entre la correlacion observada y los valores obtenidos por la funcion Bessel computada para diferentes velocidades de fase).

Si activas la opcion "f-k option", la respectiva curva de dispersión (archivo .cdp) va a ser computada y guardada.

La opción "verbose" puede proveer adicionalmente resultados "intermedios" como el ploteo instantaneo kx-ky, etc.

Outputs (salida de data)

Archivo Log, imágenes y archivos automáticamente guardado (en la carpeta de trabajo "working folder").

Cuando el análisis es consumado, puedes encontrar el "working folder" los siguientes archivos (automaticamente guardados):

logESACFK.txt (archivo log resumiendo las operaciones desarrolladas)

ESACdc.cdp (<u>la curva de dispersión guardada como curva efectiva</u> - Tokimatsu et al., 1992): desde – comparación de la curva de dispersion modal – el procesamiento computacional de la curva efectiva requiere una pesada carga computacional, la inversión automatica requiere un estado del arte de la PC (recomendacion de CPU hexacore).

ESACpsvelspe.mat (Espectro de velocidad determinado a traves del analisis ESAC)

snapESACFK.png (la imagen del panel principal con los resultados del espectro y la curva de dispersion)

Si activas la opcion "f-k analysis" vas a obtener:

FKdc.cdp (determinación de la curva de dispersion a traves del análisis FK)

Mas o menos, si activas la opcion "verbose" puedes tambien obtener los siguientes archivos:

CrSpVsFr.png (+ .fig): Cross-espectro versus frecuencia

ESACdata.png (+ .fig)

2Dpassivedata.png (+ .fig): data, posicion de canales, radio

fk8frequencies.png (+ .fig): 8 [k_x,k_y] ploteos (para 8 frecuencia – método FK)

Recordar que los archivos .cdp son archivos simples ASCII los cuales pueden ser cargados en *winMASW*[®] (botón "input curve" – ver la siguiente página).

Espectro ReMi y curvas de dispersión ESAC

En el panel ReMi (donde sólo se puede analizar arreglos lineales) es posible activar la opcion ESAC. Haciendo eso podemos obtener una superposición de los espectros ReMi y la curva de dispersión ESAC.

El set de datos "Purgessimo" (provee como ejemplo un set de datos incluido en el software)

Analizando sólo un par de archivos (longitud total de 2 minutos) podemos obtener una clara evidencia de un salto modal alrededor de 9Hz (el cual es absolutamente poco comun cuando analizamos data pasiva, pero es también absolutamente necesario para nuestro análisis)



Analizando el set de datos entero (mas de 16 minutos) podemos obtener la siguiente data:



En ambos casos la frecuencia mas baja el cual podemos decir que es seguro considerar para la curva de dispersion ESAC es alrededor de 3Hz (debajo de este valor la velocidad decrese, pierde sentido). Esto es muy parecido al análisis de los arreglos no lineales (bidimensional) con alto radio, así como la frecuencia más baja puede decreser permitiendo la reconstrucción de velocidades Vs de niveles mas profundos.

Poner Atención: estas evidencias no pueden ser generalizadas. Lo principal de estas notas es ayudar al usuario a ser familiar con su data, análisis y phenomena.

Rayleigh y/o Love?

Esta metodología es facilmente usada para determinar las propiedades de dispersión de las ondas Rayleigh, considerando el movimiento vertical (el cual no esta influenciada por las ondas Love).

En orden de analizar las ondas love (en el plano horizontal), las cosas se ponen más complejas (see e.g. Tokimatsu, 1995; Di Giulio et al., 2006; Kohler et al., 2007). Nosotros podemos sugerir a todos los nuevos usuarios que desarrollen las ondas Rayleigh (todos los usuarios registrados de *winMASW*[®] pueden recibir detalles sobre el mejor procedimiento para analizar las ondas Love de acuerdo al enfoque ESAC).

Integrando MASW y curva de dispersion ESAC y algunas recomendaciones

ESAC es especialmente útil en rango de baja frecuencia (métodos activos como el MASW o MFA pueden tener mejor desarrollo en las altas frecuencias).

De todos modos un punto crucial para una apropiada imagen de la curva de dispersion a baja frecuencia es la longitude total del arreglo. ReMi y ESAC (o cualquier otro método pasivo basado en arreglos) no pueden ser usados apropiadamente si consideras arreglos cortos. Como consecuencia, si tu arreglo es menor que 70m (pero posiblemente mas largo), las tecnicas pasivas no son necesarias y es mejor ir por un analisis integrado de MASW+HVSR.

Por favor recorder que ESAC es superior al ReMi, fundamentalmente porque – gracias a su adquisicion bidimensional – mejor manejo de la direcionalidad de la señal: ¡no olvidar de realizar arreglos bidimensionales! Realizar análisis ESAC con arreglos lineales no tiene ningún sentido.

La siguiente imagen muestra un espectro de velocidad MASW, superponiendo, la curva de dispersion ESAC: Esta claro que el análisis ESAC permite "ver" frecuencias mas bajas que las vistas por la adquisicion MASW. Por otro lado la data MASW nos da mejores visualizaciones en altas frecuencias. Entonces ambos mutuamente integrados.



Ya es innecesario mencionar que los resultados de tu análisis dependen primero que todo, de tu experiencia/habilidad de lo teórico y la manera práctica de ver las cosas.

Por favor considerar que una serie de aspectos tecnicos (la principal es probablemente relacionada a la direccionalidad de la señal y todos los consecuentes problemas)

MFA ("Multiple Filter Analysis") – Versión Academy

Este método permite definer curvas de dispersión para un grupo de velocidades (no para fase de velocidades), sin embargo los procedimientos son en general absolutamente similar a los otros adoptados para el análisis de velocidad de fase (MASW o ReMi).

Primero (como usualmente) cargamos el *common-shot gather* (incono arriba a la izquierda). Teóricamente para desarrollar el análisis MFA, una traza podria ser suficiente, no entanto el espectro resultante puede ser mas robusto cuando lo obtenemos como un promedio de varias trazas (nosotros recomendamos 3 a 6 trazas al menos).

En el manual no es posible resumir todas las características y los pros & contras de la metodología, por tal motivo nos limitamos a presenter 2 puntos solamente:

- La relación entre V_{SupPH} (Velocidad de fase de las ondas de superficie) y V_{SupGR} (grupo de velocidades de las ondas de superficie) y V_S (velocidad de corte en profundidad) son diferentes (en otras palabras la relación entre frecuencia–V_S y frecuencia-V_{SupPH} es diferente de la otra entre frecuencia–V_S y V_{SupGR}).
- 2. Con respecto a V_{SupPH}, V_{SupGR} parece (algunas veces) mas sensitivo que las variaciones V_S en profundidad (see e.g. Luo et al. 2010).

Por estas razones nosotros recomendamos hacer un análisis en conjunto MASW+MFA (+ si es posible HVSR) (botón "*Joint Analysis of Phase & Group Velocities*").

Parametros Alpha0 & Alpha1

El filtrado Gaussian usado durante *MFA depende de 2 parámetros: Alpha0 y Alpha1*. No hay valores universales para cualquier set de datos; como este valor depende de las propiedades de dispersión específica de la data considerada. Sin embargo, gracias a algunas mejoras presentes en la version 4.7 podemos sugerir 2 valores corregidos: 120 y 0.01, respectivamente. Tambien es recomedanle re-muestrear a 1mseg (ver el panel debajo).

velocity spectrum, define innus		
velocity (m/s)		
20 600 minimum maximum	Spectral analysis: number of samples	16384 💌
	Traces to consider	4:4:24
frequency (Hz)	First trace : Increment : Last Trace	1.1.24
1 60	Alpha0 (see manual)	120
minimum maximum	Aprilao (oco mandal)	120
	Alpha1 (see manual)	0.01



Mientras que la segunda presenta la ultima traza considerada (a la izquierda) y el espectro de velocidad obtenido (a la derecha).



Por favor notar que el análisis MFA no puede ser aplicado para adquisiciones ReMi o parecidas porque en ese caso el tiempo y posición (distancia) de las fuente no es conocida. En sismología es posible aplicar la tecnica MFA solo para definir el epicentre, su tiempo y posición es determinado con respecto a los receptores.

El modelamiento en conjunto es luego desarrollado en la forma usual (ver el ejemplo debajo): para un set de datos cargado, es computado el espectro de velocidad representando la velocidad de fase (Técnica MASW) y el grupo de velocidades (Técnica MFA). Por supuesto es tambien posible cargar una curva H/V y desarrollar un triple analisis: velocidad de fase + grupo de velocidades + HVSR.



Análisis Espectral (en particular para data sísmica activa)

Una herramienta para el tradicional análisis espectral también está disponible (cálculo de la amplitud y espectro de fase): Botón "Spectrum" en el grupo "filtering & spectra".

Hay que tomar consideraciones de acuerdo a la componente seleccionada (sólo ondas superficiales, ondas refractadas, ondas de aire, etc).

Por ejemplo, mientras analizamos solo las ondas superficiales, puedes notar la "erosión" de las altas frecuencias (la desaparición/atenuación de las altas frecuencias por largos offsets), debido a la extensión geométrica y viscosidad (atenuación).

El suelo (especialmente esta constituido de materiales inconsolidados) actua de hecho como un filtro, atenuando especialmente las altas frecuencias (ver el capitulo dedicado a la atenuación de las ondas Rayleigh).

Siguiendo aquí las figuras relevantes del espectro del primero y última traza del set de datos *test-attenuation2.sgy*:

- 1. Debido al fenómeno de la atenuacion, la amplitud de ambas trazas es algo diferente (el pico relacionado a la primera traza esta por encima de 600, mientras que esto decrese alrededor de 100 para la ultima traza).
- 2. Comparado a bajas frecuencias, resulta que las altas estan mas atenuadas.





Aquí abajo, se muestra la amplitud y el espectro de fase de la onda de aire: notar la alta frecuencia caracteriza la señal (pico alrededor de 145 hz).



Considerando el potencial de esta herramienta cuando seleccionamos una porción de la data: Si en esa porción hay frecuencias incopatibles con la componente de tu objetivo para aislar/investigar, puede ser útil para redefinir la selección del polígono.



71

Picking la curva de dispersión

Para picar la curva de dispersión (i.e para seleccionar los puntos que de acuerdo al usuario, si pertenecen a un modo particular de propagacion de la onda superficial) es necesario:

- 1. Elegir el modo del menú despegable.
- 2. Click (botón izquierdo del ratón) en los puntos a través de una certera coherencia que el usuario identifica y entiende como un modo particular (ver ejemplo en figura 02).
- 3. Guardar el picking.

Si hay más datos en nuestro modo, sólo pasa al siguiente en el menu despegable (una vez hayas terminado y guardado el picking del modo). Diferentes modos pueden ser marcados en diferentes colores.

La nueva data, relevante en el segundo modo, puede ser guardado en el archivo formalmente indicado. La inversión final considera toda la data.

El archivo de picking se presenta en tres columnas cómo archivo ASCII (.cdp – curva de dispersión en Italia): la primera muestra las frecuencias, la segunda las velocidades y la tercera el modo (como se escogio según el usuario). Nosotros sugerimos guardar la curva de dispersion en directorio por defecto "dispersion curves".



Figura2. Picking la curva de dispersión.


Identificando y picando la curva de dispersión es por supuesto una operación crucial y relevante para el resultado final.

El usuario debe tener la necesaria seguridad para realizar la operación.

Un mal entendimiento (sobre perfil de curvas o asignacion de modos) nos dará resultados incosistentes.

En orden de tener una visión más clara, los siguientes artículos son sugeridos:

Velocity Spectra and Seismic Signal Identification for Surface Wave Analysis (Dal Moro et al., 2006) and Possible Effects of Misidentified Mode Number on Rayleigh Wave Inversion (Zhang & Chan, 2003).



Hacer un "picking" muy denso a una curva de dispersió no nos dará mejores resultados pero si mayores tiempos de procesamiento computacional.

Nosotros sugerimos de manera general concentrar no mas de 15 pares de puntos (par frecuencia-velocidad).

Estructura del archivo *picking* (.cdp)

FREQUENCY (Hz)	VELOCITY (m/sec)	MODE
15.9956	1135.77	0
19.1886	815.43	0
17.9342	929.45	0
20.557	761.134	0
22.0395	733.986	0
25.1184	685.12	0
26.4868	668.832	0
28.3114	641.684	0
31.8465	592.818	0

Visualización de difetentes curvas (picking o output)

Dar click en botón situado en el tope y hacia la derecha de la ventana, podemos visualizar y comparar los diferentes curvas de dispersión picadas (.cdp) y/o curvas de dispersión finales "output" (.cdo). Estos pueden mostrarse superpuestas al espectro de velocidad en uso.



El botón"movie" (winMASW[®] Academy tiene una completa implementación)



Tu data en movimiento (divertido, pero también para propósitos educacionales).

Entre varias facilidades para la visualización de la data, este video de una sola componente (automaticamente se guarda en el archivo de trabajo).

Dos videos son mostrados y automaticamente guardados en la carpeta de trabajo:

1) La animación de la data normalizada (guardada como "winMASW_Seismic_Movie_normalized amplitudes.mp4")



2) la animación de <u>Amplitud actual de la data</u> (guardada como "winMASW_Seismic_Movie_actual amplitudes.mp4").



Modelando la curva de Dispersión

Debajo del espectro de velocidad hay una sección "modelamiento directo" o "direct modelling", que nos permite calcular la curva de dispersión de un modelo de siete capas, el cual sus parametros pueden ser editados por el mismo usuario dando click en el menú de "parameters". La curva calculada se muestra en la pantalla y es guardada en un archivo ASCII (frecuencia – V_R) en el archivo *modelladiretta.txt* en la carpeta *winMASW/output*.

Lo prinicipal es obtener la evaluación de un posible modo con respecto a un espectro observado. En el caso de situaciones de geología compleja (i.e difícil interpretación de data sísmica) esto es un método muy útil y generalmente la interpretación es suficiente (así como la inversión no es necesariamente larga). Es claramente posible editar diferentes valores del ratio de Poisson (en relacion de modificar el ratio V_P/V_S): Puedes notar que los valores V_P (una vez el valor V_S sea editado, la modificación del valor de Poisson significará la modificacion del valor V_P) no son tan relevantes si comparamos con respecto al rol de importancia del espesor y la velocidad de corte de onda (V_S).



Figure 3. Modelamiento directo: cálculo de la curva de dispersión (puesto en el espectro de velocidad observado) del modelo generado por el usuario.

Acerca de la última capa (la más profunda): en la figura del ejemplo debajo, solo 5 capas fueron ingresadas (la ultima capa es una capa semi-infinita y por tal motivo no tiene un valor de espesor – dejar el valor en cero).



Versiones 3C, Professional y Academy

Análisis en conjunto de las ondas Rayleigh y Love

Desde la versión 4.1, ambos set de datos relevantes del análisis Rayleigh y Love pueden analizarse conjuntamente. Por esta razón la pantalla de *winMASW*[®] muestra un "grupo" dedicado a analizar conjuntamente las ondas Rayleigh y Love ("Joint Analysis of Rayleigh & Love").

Dando click en "Velocity Spectra, Modelling & Picking", la ventana contenida se carga, picando y modelando ambos set de datos (uno relevante para Rayleigh y otro relevante de Love).



Dando click en su lugar, en "Rayleigh & Love joint inversion" puedes obtener acceso a la sección apuntada a la inversión conjunta de curvas de dispersión Rayleigh y Love.



Desde la cercana analogía entre los dos, este capítulo sólo va a mostrar los procedimientos involucrados en el análisis estandar de una sola componente, enfocandose en algunas funciones.

Versiones 3C, Professional y Academy

Modelamiento en conjunto Rayleigh y Love: anisotropía V_{SH}-V_{SV}

La ventana donde modelamos parámetros puede ingresar también como se muestra una columna para anisotropía V_s.

Este parámetro determina (en valores de porcentaje) cuan grande es el V_{SH} (que rige la dispersión de las ondas Love) respecto al V_{SV} (determinado por la dispersión de las ondas Rayleigh).

	Vsv (m/s)	Vs anisotropy (%)	Poisson ?	thickness (m)
ayer#1	100	14	Poisson 👻	1.2
ayer#2	112	2	Poisson 👻	2
ayer#3	151	12	Poisson 👻	4.2
ayer#4	123	0	Poisson 👻	6
ayer#5	260	0	Poisson 👻	0
iyer#6	0	0	Poisson 👻	0
alf-space	0	0	Poisson 👻	
		numi (min:	per of modes to vis 1, max: 20)	ualize 3
			cancel	calculate

Cociente espectral H/V para ondas de cuerpo

En las versiones *3C*, *Professional* y *Academy* es posible computar el cociente spectral y modelar de acuerdo a las ondas de cuerpo (Herañ, 2008) y superficie (Lunedei & Albarello, 2009).

Dando click en el tercer pequeño icono desde la izquierda de la barra de herramientas para cargar la data relevante al cociente H/V observado (la tradicional carpeta amarilla llamada HV).

El software lee formatos ASCII y asume que la primera columna reporta la frecuencia y la segunda el cociente spectral H/V (posibles encabezados pueden ser ingnorados y no afectan a la lectura/analisis).

En otras palabras el format es:

line#1 line#2	(example o (example o	of site name) of frequency sampling)
 line#n		
F(Hz)	H/V	
0.1	1.00	
0.15	1.05	
0.20	1.11	
0.25	1.09	
30	1.05	



A la izquierda el perfil V_S del modelo considerado con periodo natural del sitio como la ecuación de resonancia; a la derecha el cociente H/V de acuerdo a Herak (2008): si la inversión de velocidad no es relevante, el valor determinado por la ecuación y el determinado por el cociente spectral H/V son típicamente muy cercanos.

Si se carga una data HV observada, y un modelo para un modelamiento y la curva de dispersion es calculada (teniendo seleccionado la opción "eigen period") ambos, la curva HVSR teórica (en azul de acuerdo a las ondas de cuerpo y en magneta de acuerdo a las ondas superficiales) y la curva observada (en verde) son mostrados.



Ejemplo de lo observado y lo modelado (de acuerdo a las ondas de cuerpo y superficie) HVSR.

Algunas notas sobre el cociente spectral H/V

Respecto a la naturaleza del cociente H/V (i.e. esos eventos determinaron el valor como es observado en la naturaleza) el debate academico es poco vivaz (no solo por asuntos técnicos – científicos pero también por interés libre).

Siguiendo algunos de los más aceptados conceptos generales:

- El valor del cociente H/V como se observa depende de una compleja relación entre las ondas superficiales (ambas Rayleigh y Love) y parcialmente de las ondas de cuerpo. La relativa importancia de los diferentes componentes dependen de las características del sitio (ver por un momento Bonnefoy-Claudet et al., 2008).
- A pesar de cualquier modelo escogido, no ignore la regla del factor de calidad Q (en nuestro caso, asumimos que el valor Q_S debe ser similar a V_S dividido entre 10, y Q_P=2Q_S).
- Cuando adoptamos diferentes tipos de modelamientos (i.e. basado sólo en ondas Rayleigh, o en Rayleigh y Love, o ondas de cuerpo o todos ellos en conjunto sumados), el radio espectral cambia pero el pico principal (determinado por la frecuencia fundamental) aparece a la misma frecuencia, generalmente hablando.
- A partir de un solo valor H/V es imposible de obtener alguna información en la Vs (esto porque en este caso necesitas considerar los valores MASW/ReMi y comparar).
- No es posible comparar directamente el valor del pico H/V y el valor del factor de amplificación litológica: Para obtener este último, sugerimos referir reglas regionales relevantes o guías.

Para resumir, en poseción de un valor H/V experimental y la necesidad de encontrar un modelo considerando la dispersión de las ondas superficiales y la curva H/V observada, sugerimos enfocarnos en perseguir el correcto pico sin intentar buscar la perfección en el balance con la amplitud (valor H/V).

Notar (figura en el tope) que el valor H/V permite identificar un posible contraste fuerte de V_S a una profundidad (recordar que aunque el contraste de V_s sea bueno, necesitas valores MASW/ReMi que den detalles claros de la V_s) y eso es lo mas importante para reproducir las frecuencias correctas cuando el pico se observa. En el caso de arriba por ejemplo una fuerte discontinuidad alrededor de 60cm de profundidad es claro (esto representa un valle alpino cuvierto de una larga cantidad de sedimentos fluvio glacial).

Modelando Refracción (Pro y Academy) y Reflexión (Academy)

Esta sección permite al usuario modelar los tiempos de arribo de los eventos de refracción por una manera muy similar en procedimiento al usado en la sección "modelling of dispersion curves".

Antes de empezar, considerar que:

- La herramienta de cálculo adoptado permite la inserción de canales con inversión de velocidad, algo que el método tradicional de refraccion (utilizado como unico método) no evalua (esto refiere al conocido problema del canal de baja velocidad). En nuestro caso, tomar toda la información de las curvas de dispersion y refraccion, podemos calcular inversions de velocidad inclusive de acuerdo a las V_P (recordar que no puedes obtener una informacion solida acerca de esto a partir de la dispersión de las ondas superficiales).
- Considerar que en orden de obtener el efecto de la refraccion de una notable amplitude del salto de la impedancia acústica (i.e. el resultado de multiplicar la densidad con V_P) debe ser significante.
- Un V_P decresiente de acuerdo a la profundidad no podras obtener resultrados del evento de refracción.
- El archivo guardado y modelo cargable tienen el mismo formato de un modelo usado en curvas de dispersion.
- Si el modelo de dispersion fue previamente ejecutado (y luego algunas V_S puede ser predecido) V_S como tambien V_{SV} y V_{SH} pueden considerarse como lo mismo cuando se logra el modelo de refraccion (boton "save"). En el caso opuesto en el formato .mod, valores V_S acordes a una asumsión de valores de Poisson alrededor de 0.35 pueden ser reportados.

Como ejemplo, vemos debajo como un "joint modelling". El mismo modelo es considerado desde la curva de dispersion y el primer arribo.





El valor AGC

Cuando la opción "Refraction" esta activo, AGC (Automatic Gain Control) es aplicado a las trazas (este valor – ver valor en el cuadro al lado del boton "refr/refl" – puede ser claramente modificado).

El valor representa la ventana (en segundos) el cual la energía se mantiene "constante" por modificacion de la amplitude de la traza (en orden de poner en evidencia señales de baja amplitude usualmente asociados con el evento de refracción).

Aquí obtenemos 02 pantallazos de dos diferentes valores (aparentemente en el segundo caso nos permite una clara identificacion de los eventos de refraccion).



4.2 Inversión de la curva de dispersión picada

El Segundo (y ultimo) paso es obtener el perfil de velocidad V_S realizando la inversion de la curva de dispersion picada. Recordar, a proposito, que sugerimos el procedimiento de modelamiento directo (see Dal Moro, 2008).

La inversion es hecha principalmente bajo una optimizacion de proceso (algoritmos genericos) que requiere el computador bajo un gran esfuerzo de calculo. Los resultados es aunque mas fiable y puede darte una estimacion con resultados mas fiables tambien (desviacion estandar).

En la figura 4 la ventana principal de mostrar "inversion", disponible directamente desde el menu principal o de la seccion "determination of the velocity spectrum".

El primer paso es seleccionar la curva de dispersion (guardada) que intentamos invertir, dando click <u>input fie</u> (ver figura 4). Por supuesto, si quieres obtener esta seccion desde la seccion "determination of the velocity spectrum", despues de picar la curva de dispersion, el programa puede directamente cargar la curva sin cargar el archivon de donde fue salvado). Una vez la data fuer cargada, la curva de dispersion se muestra en la parte superior derecha de la ventana.

La curva de dispersion que quieres invertir no debe estar en el folder "output" que escogiste.

El Segundo paso tiene cómo objetivo optimizar el procedimiento de inversion.

De hecho, asumsiones en la definicion automatica del "search space" (valores de V_S y espesores dentro el cual la mejor solucion que pueda verse) pueden ser diferente si la roca es legible o no profundo bajo el suelo. Si la gradient de velocidad no cambia dramaticamente (como esto cambia en planos aluviales donde el subestrato rocoso se encuentra somero o cuando las capas se ubican sobre la roca) a esto asumir $\lambda/2$ (o como recientes estudios demuestran, $\lambda/2.5$ – ver el cuadro relevante) es valido, mientras en este caso hay una significativa variacion en la gradiente (cuando la roca esta a escasa profundidad, podemos decir entre 5 y 30m), esto no es totalmente valido y necesitamos una estrategia diferente para identificar el "search space".

Si el gradiente de velocidad es constante podemos asumir aproximadamente $\lambda/2.5$, como se mencionó, sugerimos que a una profundidad $\lambda/2.5$, un V_s alrededor de $1.1 V_{\text{p}}^{\lambda}$ (cuando V_{p}^{λ} es

la velocidad de la onda Rayleigh con longitude de onda λ , $\lambda = v / f$). (actualmente, un factor de balance de "correccion" de acuerdo a la profundidad considerada).

La curva azul (figura 5) representa ese valor aproximado mientras las otras rojas son leidas como los valores maximo y minimo. Estos valores dependen del numero de capas que el usuario consider para definer el "search space" (en verde , ver figura 6).

Es obvio que, en base del conocimiento del sitio, el usuario puede modificar los valores asignado en orden de obtener un estudio mejor y mas rapido.

De hecho, el ancho del espacio de los parametros, el alto numero de individuales y generaciones para setear en el menu generic, mientras si nosotros podemos limitar el espacio de investigacion, esto puede mantenerse bajo (reduciendo los tiempos de calculo).

Luego el usuario necesita escoger el numero de capas a usar mediante el menu deslizable.

Una vez dado los parametros de ventana (figura 5) se muestran, donde el usuario tiene que poner el "search space". Para cada capa necesita ingresar espesor y V_S minimo y maximo. Como en la figura 5, el software puedo proponer algunos valores.

Hacer asumsiones en la difinicion automatica del "search space" (valores de V_s y espesores cual solucion es buscada) son diferentes de acuerdo a una gradiente velocidad constant o no.

Una vez los limites del "search space" es ingresado (search space o parametros de espacio) los paramatros del menu generico puede ingresarse (tabla 1). En orden de no dar al usuario irrelevantes detalles, algunos parametros geneticos estandar tienen que se ingresados (crossover y cocientes de mutacion).

nMASW 4.1 Pro - Dispersion curve i	inversion	
Dispersion curve	Analysis	Dispersion curve & search space
input file	Rayleigh 👻	
– Depth of the bedrock ————		www.eliosoft.it
🔘 shallow 🔘 deeper	2	
- Number of layers & constrains - - option#1	#2	
2 v of layers from r	reference model	
force search space	2	
Inversion (genetic) menu 30 individuals/models (min 6 30 generations (min 10 - ma Vp & density optimization Outputting output folder ? RUN	5 - max 7000) 2 xx 400) 2 h	C. C. B
winMAS	ver. 4.1 Pro	,

Figura 4. Ventana inicial de la seccion "inversion".



Figura 5. Definición de "search space". El usuario puede modificar esto de acuerdo a sus prioridades y conocimiento de la geologia del sitio. (ver tabla A2 para valores tipicos V_S de materiales aleatorios)

Cociente de Poisson

Como sabemos, la dispersion de las ondas de superficie depende principalmente de V_S y del espesor de capas. Desde la densidad y V_P juegan un rol secundario en esto (tartar de jugar con diferentes valores de Poisson en el modelamiento directo), esos valores solo pueden ser aproximados.

Nosotros generalmente necesitamos recorder que una roca solida puede tener un valor de Poisson entre 0.15 y 0.30 (0.25 es un valor estandar), mientras para materiales suaves (como silt y arcillas) valores cercanos a 0.35 y 0.40.

Arenas tienen valores variables (de 0.30 a 0.50): el problema es "un material incosistente, el valor de Poisson es alto" (como se dijo valores por encima de 0.5 es valido para fluidos). Asfalto puede estar en un rango de valores alrededor de 0.20.

Hablando de manera general, si ni hay informacion detallada a la mano, es aconsejable escoger valores de 0.25 para roc asana y 0.35 en el caso contrario (0.45 en el caso de arenas someras).

De cualquier modo: cuando con la energia de distribucion permite diferentes modos de valores de Poisson (i.e. V_P) juega un mejor rol! (reviser el capitulo Sismogramas <u>Sinteticos).</u>

Ahora es tiempo de lanzar la inversión (Click en "run").

Parametro	Descripción	Valor recomendado
Numero de capas	Número de capas usadas para reconstruir el perfil de velocidades.	4-6 Normalmente 4-5 capas, pero 5-6 si suponemos la presencia de una capa con inversion de velocidad.
Espacio de busqueda "Search space"	Limits for the thickness and V_s of each layer.	Nosotros recomendamos altamente editar el "search space" empezando con un modelo inicial previamente evsaluado y guardado durante la siguiente session de modelamiento (ver tambien nuestros video tutorials).
Numero de individuales/modelos	Numero de modelos que constituyen el numero de persona envueltas en una mejor solucion. Un alto numero de capas, se debe considerar un mayo numero de modelos.	80
Numero de generaciones	Numero de generaciones mediante cual de los nuevos modelo son explorados, que nos permitan obtener mejor y mejor con el tiempo.	80

Parámetros de Inversión

Tabla 1. Parametros de inversion.

Maxima anisotropia V_S permitida (en caso de inversion en conjunto Rayleigh + Love)

En caso de una inversion en conjunto Rayleigh + Love puedes permitir al libre algoritmo considerando V_{SH} (Love) diferente de V_{SV} (Rayleigh) (el numero de que considetamos es el posible diferencial en porcentaje de dos parametros).

Esto nos permite remarcar algunas anisotropias (ver por ejemplo Safani et al., 2005) o, mas facil, (para pocos expertos) considerar una suerte de tolerancia en la optimizacion/inversion del proceso.

Posibles anisotropias solo tienen valores acorde a los usuarios con experiencia.

Expandir el espacio de busqueda "search space"

Para activar esta opcion, el software permite buscar soluciones (modelos) fuera del espacio de busqueda (V_s y espesores minimos y maximos) definidos por el usuario. Usuarios no expertos (o en caso no tengas se seguridad de el espacio de busqueda) deben activar esto.

V_P y optimizacion de densidad

Ajustando esta opcion, el software, luego de buscar el mejor V_S y espesor puede modificar el valor de Poisson (comparado con lo indicado por el usuario) en orden de mejorar el ajusto. Permitir esto.

Espacio Bi-Objetivo (en caso de procedmientos de inversion conjunta)

Si esta opcion esta activada, Una "completa" inversion conjunta es procesada.

Esto significa que durante la optimizacion del proceso cada misfit del modelo es calculado (ambos para Rayleigh y Love). En caso opuesto la optimizacion seria por separado.

Esta opcion con tiempo de calculo lento, pero permite a los usuarios expertos reviser la distribucion de modelos en llamado Espacio Bi-Objetivo (referir litaratura importante en como proceder) (Dal Moro & Pipan, 2007, Dal Moro, 2008; Dal Moro, 2009).

Una ves lanzada la inversion, una barra de estado aparece mostrando el tiempo transcurrido y el tiempo remanente:

🛃 30% Avanzamento Inversione	_ 🗆 🗙
Per interrompere cliccare la "×"	
	30%
Tempo trascorso: 0:00:12	_
Tempo stimato rimanente: 0:00:28	



Recordar que si escoges seguir el picar-inversion, los resultado no dependen de la data pero si en tu interpretacion personal de la data.

El software puede invertir tu picado y no la data.

Si tu picado de la curva de dispersion es erroneo / inadecuado / sin sentido, necesariamente vas a obtener un perfil de V_s sin sentido.

Por esto nosotros recomendamos un modelo en conjunto de tres "objetos":

Las ondas Rayleigh y Love (posiblemente de acuerdo al enfoque FVS) + HVSR (ver nuestros videos tutoriales).

Por tal motive es muy importante asistir a uno de nuestros workshops (puedes organizar uno en tu area / pais)



5. Algunas recomendaciones

La curva de dispersion de las ondas superficiales es una herramienta ponderosa para diseñar el perfil de velocidad de las ondas transversales (V_s).

Sin embargo, antes de usar este software o otros, necesitas ser conciente que con el campo y con el uso y evaluacion del picking muestra ambas inversion y dispersion.

Es muy recommendable leer mas acerca y ser parte de grupos de trabajo tambien.

ELIOSOFT esta disponible para organizar cualquier evento. Visita <u>ww.winMASW.com</u> o escribe a <u>winMASW@winMASW.com</u>.

Una recomendacion mas: antes de interpretas el espectro de velocidad, necesitas reviser por complete la data que estas analizando (trazas), de acuerdo al acronimo Americano GIGO (basura entre, basura sale): si ingresas data basura, obtendras resultados basura.

El analisis de las ondas superficiales no es un truco, ello te da una solucion inclusive si la calidad de datos es baja (o si el usuario no logra entenderlo).

Otras señales, particularmente las ondas guiadas resultants de la presencia de las capas cual la onda pasa, puede resultar en señales de dispersion que el usuario erroneamente lee como ondas superficiales.

Primero, los diferentes modos pueden inteferir entre ello y dar resultados engañosos o erroneous.

Parámetros de Inversión

El procedimiento de inversion usado en *winMASW*[®] esta basado en el llamado algoritmos geneticos.

Este tipo de enfoque permite al usuario obtener resultados mas confiables comparados con el tradicional metodo de inversion basado en Matrices Jacobianas y necesita tiempos de calculo mas largos.

Algunos tiempos son evidentemente proporcional al numero de individuales (i.e modelos) y de generaciones que el usuario escoge el "menu genetico" (ver table 1 y figura 4).

Los tiempos de calculo dependen proporcionalmente al numero de capas usadas y de la calidad de data (pareja de frecuencia – velocidad) en el archivo de picking (cuando el usuario guarda la curva de dispersion identificada). Incrementando la cantidad de los puntos de dispersion a un nuemero alrededor de 10 no vamos a obtener un resultados Bueno y efectivo pero si largos tiempos de calculo computacional.

Respecto al numero de capas: esto debe estar dado segun las bases del conocimiento geologico. En condiciones normales 7 capas son suficientes, mientras mas estratos a veces es necesario.

Recomendacion #1: numero de modelos y generaciones

El numero de individuales/modelos y generaciones para adoptar tiene que ser proporcional al esfuerzo a conseguir para una Buena solucion.

Parametros luego tienen el balance del numero de capas consideradas (mas capas = mas libertad para el Sistema y mayor esfuerzo computacional) y la amplitude de los parametros de espacio "parameters space".

El "search space" o espacion de busqueda puede ser editado por el usuario de acuerdo a la prioridades geologicas e informacion estratigrafica, y en el conocimiento de la V_S de los tipos de litologia mas comun (ver tabla 2 en el apendice relevante).

Si se conoce la estratigrafia del sitio (y tambien los espesores de las capas), luego se puede editar los parametros dando un rango de V_{S} .

Esta es la forma de reducir la incertidubre del Sistema y el numero de individuales y generaciones a considerar tambien.

En un caso tipico (7 capas con un "search space" similar al cual el software propone) el par 60-60 puede ser una eleccion razonable.

Recomendacion #2: search space

El "search space" puede ser editado en base al conociemiento geologico. Si esto es limitado, se necesita un amplio "search space", junto con un alto numero de individuales y generaciones.

Si inicias la opcion "force search space" el programa va empezar a buscar el mejor modelo de los limites dados por el usuario. (aconsejado en caso no sea un usuario experto).

Recomendacion #3: Tener conocimiento con el metodo y sus limites

Cargar un set de datos y calcular el espectro de velocidad. Probar reproducir la data observada introduciendo modelos en la seccion "direct modelling". Modificar los parametros uno por uno y observar como la curva cambia.

Que pasa si incrementas la profundidad de la ultima capa? Que pasa cuando ingresas una velocidad de inversion en profundidad? Que es el cociente entre V_s de una capa, su profundidad y velocidad de fase de la onda obaservada den superficie?

Este tipo de pruebas y ejercicios (ver modelamiento directo) son muy utiles para obtener confiabilidad con los metodos.

Recomendación #4: numero de capas a usar

Sugerimos usar de 7 – 8 capas. Puedes usar mas bajo situaciones especificas de estratigrafia compleja, cuando hay presente canals con baja velocidad (inversion de velocidad).

No es aconsejable usar menos de 4, incluso si tienes enfrente una situcion muy simple, como por ejemplo cuando una capa de relleno/alluvial esta sobre roca, porque:

- 1. La roca (sin embargo saludable) tiene un superficie alterada con baja calidad geo-mecanica que la parte dentro mas profunda.
- 2. En cualquier situación Tambien una modesta estratificacion de relleno de la superficie puede ser importante cuando se analiza la dispersion de las ondas superficiales.

Para terminar, nosotros no podemos olvidar enfocarnos en el hecho de esas situaciones (materiales limitados, escasos sobre otros con mayor V_S) de ondas guiadas de gran amplitude pueden tomar lugar, que pueden confundirse con ondas superficiales, desde sus capacidades dispersivas.

Ser suspicaz sobre cualquier inesperada alta propagacion de velocidad (un valor cerca al doble que se espera) que necesita ser relacionada con las ondas guiadas cual propagacion depende de V_P pero no de V_S (ver Robertsson et al., 1995; Roth & Holliger, 1999).

Puedes usar un modelo probado y guardado (.mod) (cuales curvas estan en concordancia con el espectro de velocidad observado) como un modelo inicial para obtener una inversion de la curva de dispersion.

Si usa este metodo (oprion#2 para la inversion) ese modelo puede convertirse en el punto inicial de para la optimización de soluciones en un interval V_s y espesor (modificable por el Usuario) con el valor alrededor de uno.

Este metodo resulta muy util cuando en frente de una estratigrafia con fuerte impedancia Acustica, para cual la aproximacion tradicional $\lambda/2$ pueden ser un modelo inicial erroneo (el cual la automatica sugerencia "search space" esta basada).



6. Inversion y curva de dispersion picadas.

Resultados son suministrados tanto graficamente y como archivo de texto (.txt y .html, ver table 2) y automaticamente guardado en la carpeta "output" (o cualquier otra carpeta que haya escogido el Usuario).

Todo el tiempo que el usuario ejecuta el programa todos los archivos en la carpeta "output" son borrados. Por lo tanto si quieres mantener tus resultados en la carpeta "output", tienes que guardar los archivos de la inversion en cualquier otra carpeta (nombrada como desees).

Puedes notar dos modelos: el major "best" (en terminus de menor misfit, i.e la discrepancia entre lo observado y la curva calculada) y un modelo promedio "medium" calculado por medio de MPPD (*Marginal Posterior Probability Density*, ver ref. "Rayleigh Wave Dispersion Curve Inversion via Genetic Algorithms and Posterior Probability Density Evaluation" – Dal Moro et al., 2006).

Considerar que este es tu resultado final (sin embargo los dos modelos no difieren significatibamente). El pantallazo final (figura 7) muestra diferente informacion. En la parte superior izquierda de la data observada, la curva del mejor modelo "best model" y del promedio, usualmente las dos curvas estan una encima del otro por lo tanto no es claro. Debajo puedes ver la grafica "misfit-generations", esto otorga la evidencia de la mejora del modelo de acuerdo a las avanzadas generaciones. A la derecha, el perfil de velocidades V_S de acuerdo a la velocidad.

Calidad en el proceso de inversión

Hay dos importantes hechos que determinan la calidad del proceso de inversion:

- 1. Picar un util y significativo curva de dispersion (sit u picado es equivoco, la inversion va a ser necesesariamente inutil!)
- 2. Configurando correctamente la inversion (numero de capas, rango de variabilidad de V_s y espesores, numero de modelos y generaciones).

Máxima penetración de profundidad

Este valor es el resultado de la relación entre velocidad y frecuencia representada en la curva de dispersion. Siempre capas mas profundas son influenciadas por frecuencias bajas (longitude de onda grande), entonces las bajas frecuencias determinan la mas alta profundidad de penetracion. Este valor es determinado por la aproximación $\lambda/2.5$ (o $\lambda/2$), pero este es solo un indicativo. Ejemplo:

Si para tu curva de dispersion, el valor de la velocidad de fase (V_R) correspondiente a las bajas frecuencia es 500 m/s y la frecuencia es de 6Hz, la mazima longitude de onda va a ser 83 m y consecuentemente la maxima profundidad de penetracion puede estar entre 35 y 40m.

(S) 400

-10

velocity spectrum & dispersion curve

frequency (Hz)

misfit evolution

picking best mode

mean mode

depth (m)





b)

Figura 7. Pantallazo final (automaticamente guardado en la carpeta "output"). Si obtienes en la seccion "inversion of the dispersion curves" despues de analizar el set de datos en la seccion "determination of the velocity spectrum" puedes obtener un ploteo similar a la imagen superior (un caso), en este caso puedes asociar la curva a un espectro apropiado. Si en su lugar entras a la seccion "Inversion of the dispersion curves" directamente del panel principal winMASW®, cargando una curva picada correctamente, eso no puede ser possible, y vas a obtener un ploteo similar a la imagen inferior (caso b) (no hay espectro de velocidad en el fondo de la curva de dispersion).

La representación reportada en la imagen superior es preferible.



Figura 8. Ejemplo de resultado final: mejor modelo y modelo promedio (en ver el espacio de busqueda "*search space*" *adoptado*).

En la figura 9 puedes ver dos ejemplos de inversion obtenidos de modelos sinteticos de 6 capas. A la izquiersa, el resultado de la inversion cuando usas 6 capas, a la derecha el resultado cuando usas 10.



Figura 9. Ejemplo de resultados para modelo sintetico. Para la inversion en la izquierda de 6 capas, para el otro usando 10 (en color gris el espacio de busqueda "search space").



7. Ondas Love

Las ondas love son generadas por una fuente de ondas de corte (El tradicional golpe de comba transversal a una linea de geofonos) y, a partir del golpe transversal, es necesario usar geofonos horizontales (para ondas SH), transversal a la capa que necesitamos grabar.

Si hay otro tipo de ondas superficiales que generan respuesta a la misma regla de las ondas Ryleigh. La unica gran diferencia es que las ondas aparecen solo en el caso de una gradiente positive de velocidad (i.e. solo si la capa n y la capa n+1 (mas profunda) incrementan velocidad).

Ademas, las ondas Love solo responden a V_S, espesor y densidad del medio: V_P, de escasa importancia para las ondas Rayleigh es ahora completamente inutil.

Es obvio que conseguir y elaborar un set de datos de ambos (ver Apendice A) es altamente recommendable (ver Dal Moro & Ferigo, 2011).

No olvidar, a proposito, nos es probable que la naturaleza siga reglas simples y estandarizadas. Es possible que encuentres lugares con ondas Love grandiosas y muy malas ondas Rayleigh.

Notar que cuando examinamos las ondas Love, el unico modulo elastico dado por *winMASW*[®] es el modulo de corte (por otro lado depende de V_P (ver Apendice C) que no tiene importancia en la dispersion de la onda Love).

Porque analizar las onda Love

Hay dos razones. Como menciona Safani et al. (2005), los modos superiores usualmente estan menos presentes y el espectro de velocidad usualmente esta mejor definida en comparacion con los dados por las ondas Rayleigh, ya que el area relevante de onda del primero es menos sometida por la dispersion.

Ondas Love solo dependen, Tambien, de V_S (ya no en V_P como las ondas Rayleigh).

Notar que la dispersion de ondas Love (para refraccion) depende de la componente horizontal de V_S (V_{SH}) mientras que las ondas Rayleigh V_S dependen de su componente vertical (V_{SV}).

En consecuencia, si puedes hacer un buen analisis en conjunto de ambas ondas, estaras habilitado de encontrar caso de anisotropia debido a la estratificacion litologica y/o roturas tectonicas (ver otra vez Safani et al. 2005 y Gaherty, 2004).

Finalmente notar, como las ondas Love solo pueden usarse con data de sismica active (MASW), y no pasiva (ReMi), en este ultimo caso no puedes dar o generar components transversales de microtemblores asociados a las ondas Love de la componente radial de por ejemplo las ondas Rayleigh.

Por favor leer cuidadosamente Dal Moro and Ferigo (2011), Dal Moro et al. (2015), el libro Elsevier y todos los caso de studio disponibles en nuestra web (www.winMASW.com).

<u>Modelo</u>

Espesores (m): 2.5, 3.5, 5 V_S (m/s): 100, 230, 380, 520 V_P (m/s): 2V_S densidad: 2 gr/cm³ todas las capas



Modelo

espesores (m): 2.5, 3.5, 5 Vs (m/s): 100, 230, 180, 420 (notar la dispersion en profundidad de Vs) VP (m/s): $2V_s$ densidad: 2 gr/cm³ para todas las capas





Produciendo ondas love de una manera simple pero efectiva. A menudo es util incliner un poco el geofono trigger para "escuchar" major la vibracion que el trigger graba.

El modelo (archivo model.mod) en caso de analisis de ondas Love

En caso de analizar la dispersion de las ondas Love, no habrá informacion disponible de ondas compresionales (V_P) (su dispersion solo depende de V_S , espesor y densidad).

En el caso del modelo final (archivo model.mod) muestra una arbitriaridad absoluta V_P asumiendo $V_P=2V_S$ (correspondiendo el coeficiente de Poisson alrededor de 0.33, un valor promedio tipico de sedimentos sueltos resistentes).

"search space" en caso de analizar ondas Love

En caso desees avanzar con la inversion de las ondas Love (recuerda que el modelamiento directo es la mejor opcion para analisis de todas las ondas superficiales!) incremento del 30% del limite superior de la profundidad de capas V_s, como el software automaticamente sugiere en la seccion de inversion (cuando el numero de capas a usar son escogidas).



8. Inversión conjunta de ondas Rayleigh y Love

Si en el lugar, ambos set de datos fueron registrados (usando geofonos verticals con la fuente de energia vertical para obtener la data de las ondas Rayleigh y geofonos horizontales con una fuente de energia de ondas de corte para obtener data de ondas Love). Esto es posible invertirlo conjuntamente (al mismo tiempo) en orden de obtener un modelo mas solido resaltando posibles errores en la interpretacion a traves de la evaluacion de la relacion entre ambos components misfits.

El modulo puede ser cargado desde la Ventana principal: Rayleigh & Love Joint Inversion.

Cargar la curva de dispersion (ambos Rayleigh y Love) una vez picada, como previamente hecha como una sola curva de dispersion y procesada como usual.

Conjuntamente con los resultados con los que ya estamos seguros, entre los mas relevante temenos Tambien (si activamos la opcion "bi-objective space") un grfico de valores de los 2 misfit considerados (ambos Rayleigh y Love).

Si el picado fuese hecho correctamente como la inversion, el resultado en la figura debe ser una coverture un poco lineal al punto [0, 0].

Si en cambio una de las curvas (si no ambas) fuese mal interpretado (picado) o si el numero de capas y el "search space" no es el adecuado, el resultado puede ser un poco irregular (a mas irregular, mas errores puedes obtener).

Naturalmente, esto es Tambien claro cuando no puedes identificar un modelo que te de curvas de dispersion que encaje con ambos components Rayleigh y Love.

La anisotropia de las ondas Vs es calculado como sigue (valores porcentuales):

$$\eta = \frac{\left(V_{SH} - V_{SV}\right)}{V_{SH}} \cdot 100$$

Notar que el porcentaje de anisotropia puede Tambien ser considerado como una tolerancia de valores erroneous y el picado de la curva de dispersion. Esto significa que un picado inpreciso puede mantenerse bajo control mediante la inroduccion de una diferencia entre V_{SV} (relevante en la dispersion de ondas Rayleigh) y el V_{SH} (relevante en la dispersion de ondas Love).

Nosotros no necesitamos menciona que la evaluacion de la anisotropia requiere de usuarios expertos.





Tambien indicando un valor cuantitativo (SI) expresando la simetria de los modelos frontales de Pareto con respect al universe de los modelos (1 significa una perfecta simetria, 0 completamente asimetrico).

Claramente una simple evaluacion visual es mas que sificiente y el Usuario no deberia depender micho del SI. Por cierto, la siemtria no es el unico parametron a considerer en la evaluacion general de la congruencia del Desarrollo del proceso de inversion. Para mas informacion acerca de la simetria de Pareto:

- Dal Moro G. and Ferigo F., 2011, *Joint Inversion of Rayleigh and Love Wave Dispersion Curves for Near-Surface Studies: Criteria and Improvements*, J. Appl. Geophysics, 75, 573-589
- Dal Moro G., 2011. Some Aspect about Surface Wave and HVSR Analyses: a Short Overview and a Case Study, BGTA (Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata), invited paper, 52, 241-259
- Dal Moro G., 2010. Insights on Surface Wave Dispersion and HVSR: Joint Analysis via Pareto Optimality, J. Appl. Geophysics, 72, 29-140
- Dal Moro G., 2008, V_S and V_P Vertical Profiling via Joint Inversion of Rayleigh Waves and Refraction Travel Times by means of Bi-Objective Evolutionary Algorithm, *J. Appl. Geophysics*, 66, 15-24

Dal Moro G. and Pipan M., 2007, Joint Inversion of Surface Wave Dispersion Curves and Reflection Travel Times via Multi-Objective Evolutionary Algorithms, J. Appl. Geophysics, 61, 56-81



9. Análisis de atenuación

Dejando los detalles teoricos y enfatizando cual es la mejor manera de mejorar tu conocimiento, esto es participando en uno de nuestros workshops, es de todas maneras muy util recorder que las ondas sismicas decresen en amplitude mientras se propagan, por dos razones:

- 1. Porque la energía distribuida en una area muy amplia (esta reduccion de energia, se traslada a la amplitud).
- 2. Porque hay una compleja absorsion/conversion de energia, dependiendo del suelo que atraviesan.

El primer aspect es llamado "componente geometrico", mientras que el Segundo se refiere al factor de calidad Q describiendo la calidad viscosa de un promedio (altos valores de Q representan un buen promedio elastico que no ha absorvido mucha energia sismica).

El metodo tradicional para analizar la atenuacion sismica desarrolla en 3 fases:

- a. Determinacion del metodo elastico de suelo (Vs, VP, densidad y espesores).
- b. Determinacion de la curva de atenuacion (coeficiente de atenuacion depende de la frecuencia).
- c. Inversion o modelamiento de la curva de atenuacion o modelamiento de la curva de atenuacion observada, un vez corregida (ver punto a) la parte elastica (i.e. el modelo de suelo V_S, V_P, densidad y espesores)

Desde un punto de vista practico, primero proceder con el analisis de la curva de dispersion de las ondas Rayleigh (esto es el procedimiento a usar para determiner el modelo vertical V_s para estimar Vs30).

El resultado puede ser el modelo (file.mod) de cuando tu inicias el modelado/inversion de la curva de atenuacion.

Recuerda que el analisis de ondas Rayleigh nos da un buen estima del V_S , espesores, y densidad pero el valor V_P puede ser estimado solo con una aproximacion (sobre las bases del valor de Poisson escogido por el Usuario y modificado por un algoritmo de optimizacion).

En el caso dellado de informacion acerca de valores V_P disponibles (por ejemplo para estudios de refraccion o data de hueco de pozo), es posible modificar valores en el archive .mod (esto es un archivo comun ASCII).

Puedes acceder a la seccion sobre el analisis de la atenuacion ambos desde la pantalla principal de *winMASW*[®] y desde la seccion "determining the spectrum".

Aquí, luego de cargar la data, necesitas analizar (y en caso mostrar el espectro de velocidad para observar el modo presente), podrás analisar (botón "calculate curve") la curva de atenuacion en el intervalo de frecuencia propuesto.

Luego cargar un modelo de suelo determinado previamente que represente la parte elastic (archive .mod). Ahora podriamos modelas o invertir la curva de atenuacion observada (expression de la parte viscosa).

Incluso en el caso de atenuacion, las mismas consideraciones son validas como las tomadas para la curva de dispersion, nosotros siempre sugerimos modelar conjuntamente (Rayleigh + Love + HVSR) en vez de invertir la curva picada.

Una vez indentificas un modelo el cual la curva de atenuacion es suficientemente cerca a la observada al final del analisis y puede obtener el modelo de factor de calidad Q (ver el siguiente Cómo y donde guardar el resultado).

Algunos puntos generales:

- Durante el procedimiento de modelamiento o inversion, las unicast variables son los valores Q, no el espesor de las capas. Esto ultimo de hecho son editados por el modelo .mod que cargamos (despues de determinar esto a traves del analisis de la curva de dispersion). Esto genera el modelamiento de la curva de dispersion mas facil que el analisis de la curva de inversion (para cual nosotros jugamos con ambos V_S y el espesor).
- Esto es muy importante de resaltar que la curva de atenuacion, con la prioridad de ser lo suficiente detallista, se debe referir hacia el modo fundamental de las ondas Rayleigh.
- Si tu data muestra diferentes modos (a la misma frecuencia) deberias evitar el analisis de la atenuacion (ver el capitulo dedicato a la seccion "verbose").
- Como leer la curva de atenuacion: La regla es tradicionalmente la misma valida para la curva de dispersion: Altas frecuencias refieren a la parte somera, mientras las bajas refieren a la parte profunda.

Correcciones Geometricas

Cuando esta opvion es seleccionada, algunas correcciones geometricas toman lugar antes del analisis de la atenuacion.

Para esto analizando la data obtenida en el sitio, esta seleccion tiene que estar seleccionado (esto tiene que evitarse solo en caso de la elaboracion de los datos especificos aun resultando de un estudio academico detallado).

Rata Espectral (SR) y pareo

El software propone dos curvas de atenuacion: uno es obtenida a traves del metodo "Spectral Ratio" (SR) o rata spectral (el valor promedio es mostrado considerando diferentes parejas de trazas), el otro a traves del método "Matching" o pareo (amplitude vs la ventana offset con 6 ploteos generados por la opcion "verbose" – ver Tonn, 1991) (el valor obtenido a proposito es similar).

En el caso vayas con la inversion de la curva deatenuacion, toma como referencia los resultados del metodo de pareo "Matching".



Adecuada data para el analisis de atenuación

Un unico modo es visible (y muy claro), el modo fundamental



Para se considerado solo por encima de 28 Hz (luego de ese valor el modo superior se observa).
Botón "Test amplitude"

El boton "test amplitude" abre una ventana con el reporte sismico de data y el grafico del logaritmo de amplitude comparada con el offset para ambos las dos frecuencias indicadas en el campo "Min & max frecuencies" en el panel "Step#2": calcular curva de atenuacion".

Dependiendo si correction geometrica "geometric correction" esta activada o inactive, dos ventanas diferentes peuden mostrarse.

"Geometric corrections" on

Empezando desde la esquina superior izquierda y siguiendo el sentido del reloj puedes leer: Trazas sismicas en su amplitud original grabada, trazas sismicas corregidas, gracias a la correccion geometrica (por lo tanto en las bases de offset dadas cuando cargamos la data), grafico de amplitud logaritmica comparada con el offset (en este caso el grafico refiere a la data corregida en su componente geometrica).



Ejemplo de data adquirida manteniendo la misma ganancia para todos los canales (caidas de amplitud de acuerdo con el offset), por lo tanto teoricamente adecuado para analizar la atenuacion. Notar sin embargo alguna amplitude "cambia" (salta) (comparar por ejemplo amplitude de las trazas a un offset de 26 a 30) que puede ser devido a varios problemas (i.e. para un mal acoplamiento de geofono – suelo, o el uso de diferentes calidades de geofonos).



Ejemplo de data adquirida usando diferentes ganancias para cada canal (traza), por lo tanto inadecuado para analizar la atenuacion de la data sismica (nota como la amplitude no cae acorde con el offset, porque el canal mas distante tiene altas ganancias que los mas cercanos).

En el caso que la correccion geometrica este desactivada ("no geometric corrections") una ventana con tres graficos aparecerá: La amplitude – offset refiere a la data no corregida por el componente geometrico.



Ejemplo de data obtenida con diferente ganacia para cada canal (traza) y por lo tanto no es adecuado para analizar la atenuacion de la data sismica (notar como la amplitude no decae con respecto al offset).

Para aclarar el significado de los gráficos ver el cápitulo acerca de la adquisición de data para analizar la atenuación en Apéndice A.

El botón "verbose"

Cuando calculamos la curva de atenuación (botón "calculate curve") si das click en "verbose" puedes obtener tres ventanas:

La primera ventana muestra la data con resaltado en la primera y última traza para el análisis de atenuación.

La razón para esa opción es (cualquier traza necesita ser definida en la ventana principal o ambos "traza referencia" y "Maxima traza considerada en campo) que para varias adquisiciones el efecto debido a la proximidad de la Fuente (presencia de ondas directas) pueden ser verificadas, no es necesario poner una relación con la propagación de las ondas superciales el cual lleva a una mala calidad en el análisis.

Esto puede pasar si la distancia entre el primer geófono y la fuente es muy pequeña y una serie de eventos, asociado al acercamiento en campo. Nosotros sugerimos no usar offset menores a 10m.

Por lo tanto, cuando la amplitud de las primeras trazas son mucho mayores que la tendencia general, debido a la presencia de ondas directas, no considerar dichas trazas para el analisis.

Por lo tanto lo siguiente se muestra: Set de datos total, data seleccionada, espectro de amplitud de las trazas y espectro de velocidad en el rango deseado.



Siguiendo la figura, reporta 6 ploteos para 6 diferentes frecuencias (del mínimo y máximo). Estas gráficas muestran como el logaritmo de la amplitud cambia de acuerdo al offset para un determinado valor de frecuencia.

Esta tendencia ayuda a entender en cual rango nosotros podemos tener una buena calidad de datos y que frecuencias son por ejemplo evitadas (porque, por ejemplo, a dichas frecuencias el resultado es más modos o modos diferentes o no hay señal también).

Obiamente, lo importante que debemos demostrar es la caida de la amplitude de acuerdo al offset. Una tendencia diferente significa que la data no es adecuada para el análisis de atenuación.

Los siguientes graficos se refieren a la data test-attenuation-50Hz.sgy y muestra coherencia pero el usuario debe considerar que a frecuencias más baja que 18 Hz, el modo dominante es el primario (no el fundamental). Esto significa que el rango de frecuencia a considerar para un buen análisis de atenuación es sólo 18-50 Hz (no hay señal para frecuencia mas altas que 50 Hz)



Claramente en caso de data como la reportada abajo, no es posible analizar la atenuacion.



www.winmasw.com - geophysical software & services

Para resumir:

Una vez cargada la data (arriba a la derecha), visualizar el espectro de velocidad (botón de la izquierda y calcular la curva de dispersión (cuadro en el medio) cargar el modelo del suelo que fue previamente calculado a traves del análisis de la curva de dispersión (obtenido del archivo .mod). Para hacer esto, dar click en "Input Vs model" y buscar para el proposito el archivo .mod en la carpeta output del análisis de la curva de dispersión.

En esta etapa el perfil Vs puede mostrarse en una ventana dedicada.

a) Modelando

Si escogemos el modelamiento directo (siempre sugerido) damos click en "Q model".

Tan pronto como identifiquemos el modelo deseado (porque en concordancia con la curva observada) click en "summary plot" para visualizar un pantallazo resumen del modelo (ver siguiente esquema). Ese pantallazo es automáticamente guardado en formato .png en la carpeta "...\winMASW\outputattn\" pero puede ser guardado donde quiera y en otro formato (File \rightarrow Save As...).





Ejemplo de figura resultante cuando damos click en "summary plot" despues de la identificación (modelamiento) del modelo Q que tiene la mejor aproximacion a nuestra curva de atenuación.

El número de curvas de dispersión (modos) para visualizar sobre el espectro de velocidad (botón de la izquierda) es editado por los parámetros "Modes to vizualize" en el panel "Inverting Q".

b) Inversión

Ambos parámetros "Number of models" y "Number of generations" tiene el mismo significado en la inversión de la curva de dispersión, por lo que no es necesario resumir.

Desde modelando modos, la sugerencia es respectivamente 100 y 300 ("en segundos" tiempo de calculo)

Antes de lanzar la inversión, necesitas escoger un espacio de búsqueda "search space" (corregir esto después de un modelamiento directo, teniendo en cuenta los tradicionales valores de Q para diferentes materiales desde un minimo de 3 para suelos altamente disipados sobre 100 para rocacsana).

En orden de estar seguro de que una inversión nos dara resultados satisfactorios, puedes comparar el valor misfit final con la curva de atenuacion del medio: un valor cerca al 10% es típico para resultados buenos.

Ejemplo: Si el valor final misfit es 0.004 mientras el valor medio de la curva de atenuacion es cerca al 0.006, luego el valor misfit final del medio es alrededor del 7%, esto significa que el modelo es aceptable.



Q"

$Q_S=Q_P \circ Q_P=2Q_S?$

Durante el procedimiento de modelamiento o inversión, estas invitado a escoger cualquiera para adoptar un modelo para el cual es válido $Q_s=Q_P$ ó $Q_P=2Q_s$

 Q_S es el factor de calidad de las ondas transversales (S), Q_P es para las ondas compresionales (P).

Varios autores no estan de acuerdo con la relacion entre Q_S y Q_P

El problema parece puramente académico y una sóla e irrevocable respuesta es imposible.

Sólo considerar que (aparte de caso muy raros) en la atenuación de las ondas Rayleigh, el factor dominante es Q_S (mientras Q_P tiene un rol menor): puedes entender si juegas un poco con el modelamiento directo probando ambas opciones alternativamente.

Esto tambien significa que cuál realmente puede ser otorgada en detalle desde el análisis de las ondas sueprficiales es Q_S donde Q_P puede ser estimado (en general, el valor esta en el rango enre Q_S y $2Q_S$).

Tipico valor para el factor de calidad Q

En suelos de baja calidad (de muy pobre competencia) valores de Q entre 3 y 20; suelos intermedios con mejor cohesion pueden encontrarse por encima de 60.

Materiales de roca pueden estar entre 100 y 200.

Considerar que el error en determinar el valor Q es proporcional al mismo valor: Altos valores de Q son determinados con menor precision que valores bajos, en consecuencia dar valores de Q>100 el error puede ser similar al valor Q (ver White, 1992).

De paso, un factor de salto usualmente es citada para cuantificar la componente viscosa en lugar del factor de calidad Q.

Ellos estan conectado a traves de siguiente formula:

$$D = \frac{1}{2Q}$$



10. Analizando y modelando HVSR

Los parámetros están claramente indicados (por favor revisar e.g. to SESAME, 2005).

El formato de la data es la adoptada por el Proyecto SESAME (SAF = SESAME ASCII formato de data).

Formato SAF

El formato SAF (formato de data SESAME ASCII) es un archivo común ASCII el cual puede ser abierto y editado con cualquier editor de texto.

winMASW[®] adopta 3 columnas que representan:

Primera columna: componente vertical Primera columna: componente NS Primera columna: componente EW

Además:

Hay 2 parámentros relevantes en el encabezado:

- 1) La frecuencia de muestreo ("SAMP_FREQ =")
- 2) La fecha ("START_TIME = ")

En caso de errores mientras leemos el archivo SAF (obtenido de su geófono triaxial) puedes tartar de corregir las líneas del encabezado y las columnas (el orden de las columnas) y crear un archivo SAF el cual sea consistente con el formato reportado arriba. Es claramente y absolutamente necesario tener (el correcto) la frecuencia de muestreo reportado en el encabezado (el sintaxis asumido es "SAMP FREQ=").

En caso el tiempo de incio ("START_TIME = ") no está (correctamente) seteada, un simple mensaje "warning" se visualizará (pero puedes mantener el proceder con el análisis, como este parametro no es de vital importancia)

Nota

El software asume que la data fue corregida para compensacion de amplitud posible relacionado a la salida del geófono y el uso del archivo SAF es libre para intrumentos cual pueda alterar la frecuencia de respuesta.

Por favor contactar un fabricante de geofono triaxial acerca de este punto.



Definir las unidades de medida de tu data (si estas usando nuestros equipos, usando la adquisición apropiada, usar la opción resalatada en el pantallazo ("*1000-> mm/s" [esto significa que la data es multiplicada por 1000]) y puedes obtener tu data en mm/s).

average Vs



www.winmasw.com - geophysical software & services

Botón "Mostrar locación" (desde la version 5.2)

Si tu geófono triaxial esta equipado con GPS y data geográfica es apropiadamente reportada en el archivo SAF, puedes obtener la localización en el mapa o Google Earth con un simple click.

La data geográfica son reportados de acuerdo al format SAF como sigue: EVT_X (longitud), EVT_Y (latitud) y EVT_Z (altitud)

Ejemplo de data geográfica en el archivo SAF:

 $EVT_X = 10.2$ $EVT_Y = 50.1$ $EVT_Z = 0$

En caso la data presente, el botón "show location" activa y puedes ver la locacion de tu data en Google Earth (el cual debe estar claramente instalado en tu PC):



Remoción automática de eventos trasientes con una amplitud mayor al límite corregido por el usuario (Límite de amplitud)

Entre los parámetros a setear durante el análisis HVSR, también hay un límite de amplitud usado para automáticamente remover todas las ventanas (i.e. data) donde la señal es mayor que un límite puesto por el usuario.

Muy importante: la raíz cuadrada de la amplitud de la data es computarizada y luego multiplicada por el límite de amplitud: si la ventana contiente un evento con una amplitud mayor, cual la ventana es removida.

Claramente, un bajo límite de amplitud, un número mayor de ventanas serán removidas.



El botón "test removal" ayuda a verificar el mejor límite de amplitud que necesitas remover automáticamente los eventos el cual deseamos remover.

Aquí un ejemplo de data antes y después de la remoción automática (si una ventana contiene un evento con una amplitud mayor al límite propuesto (ver la linea azul), esto es removido de la data.



La opción "Limite HVSR" controla la remoción de los valores atípicos HVSR: La menor tolerancia, el mayor número de valores atípicos de la curva HVSR serán removidos.

En el siguiente pantallazo puede reportar (de izquierda a derecha):

- 1) Todas las curvas HVSR.
- 2) Las curvas HVSR mantenidas.
- 3) Las curvas HVSR removidas (valores atípicos)

La curva principal HVSR puede ser la re-computarizada luego de remover los valores atípicos.





Protegiendo el geófono triaxial del viento

Escribir / insertar tus comentarios en el análisis de data

Esto es ahora también posible, escribir tus comentarios en la data y análisis (ver cuadro gris "your comments" al lado derecho del espectro de amplitud).

Tus comentarios pueden aparecer en el reporte final obtenido una vez se da click en el botón "compute" (teniendo activado la opción "full output").





Una serie de herramientas útiles para la exploración de la data estan habilitadas en la barra de herramientas (zoom in & out, Data cursor, etc). Puedes usar el botón "snapshot" (mostrado como una camara fotográfica) para guardar todo el panel.

En este punto usted puede también decidir si analizar o no la directividad (ver cuadro relacionado) o guardar la curva H/V obtenida (ver el cuadro "Saving the H/V curve" para las dos posibles opciones).

En caso el usuario quiera re-procesar el analisis usando diferentes parametros (e.g. *smoothing* etc) es recomendable re-cargar la data.

Tambien muestra la continuidad del HVSR durante la adquisición, que nos da el HVSR para cada ventana considerada.





Reporte HVSR y criterio SESAME

Una vez se haga el procesamiento, un archivo .html es producido – resumiendo los principales puntos (el archivo es automáticamente guardado en el directorio de trabajo). El criterio SESAME (con respecto a la fiabilidad de la curva H/V y los posibles picos) es también evaluado. Por defecto esto es procesado considerando el rango de frecuencia de 0.5 - 15 Hz, pero este interval puede ser modificado usando el boton f_c en la barra de herramientas.

Por favor también leer los siguientes documentos:

http://nato.gfz.hr/SfP%20%20980857%20manual%20part%20a%20v1.pdf

http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/Papers/HV_User_Guidelines.pdf

En el siguiente resultado considerando la data en el rango de frecuencia 0.5 – 15 Hz.

Frecuencia predominante (Hz): 3.2 (±0.3) Valor HV pico: 5.5 (±0.5)

- #1. [f0 > 10/Lw]: 3.2 > 0.25 (OK)
- #2. [nc > 200]: 6314 > 200 (OK)

#3. [f0>0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (OK)

- #1. [exists f- in the range [f0/4, f0] | AH/V(f-) < A0/2]: yes, at frequency 2.0Hz (OK)
- #2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AH/V(f+) < A0/2]: yes, at frequency 4.2Hz (OK)
- #3. [A0 > 2]: 5.4 > 2 (OK)
- #4. [fpeak[Ah/v(f) \pm sigmaA(f)] = f0 \pm 5%]: (OK)
- #5. [sigmaf < epsilon(f0)]: 0.313 > 0.157 (NO)
- #6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 0.642 < 1.581 (OK)

Por favor, tener cuidado de posibles picos industriales / inducidos o picos falsos debido a inestabilidades numéricas sin sentido.

Recordar que el criterio SESAME debe ser considerado bajo una perspectiva flexible y que si modificas los parametros de procesamiento, estos van a cambiar.

Algunas recomendaciones:

- Criterio SESAME no es un capítulo de la Biblia.
- Si mdoificas los parámetros de procesamiento (longitud de análisis de ventana, remoción de evento traciente, tapering, etc.) el resultado puede cambiar también con respecto a los criterios SESAME.
- El criterio#5 (permite el criterio para obtener un pico H/V) es usual que sea el criterio mas estricto.
- Por favor tener cuidado de posibles picos industriales (AA.VV. Reporte del Proyecto SESAME 2005) el cual no puede ser identificado automáticamente y sólo un ojo humano puede apropiadamente reconocer.



Guardando la curva HV

Al final puedes decidir guardar la curva H/V resultante (el formato adoptado es el sugerido por el Proyecto SESAME) de acuerdo de 2 posibles opciones:

- 1. "opcion#1 guardar HVSR como esta"
- 2. "opcion#2 picar curva H/V"

En el primer caso el usuario puede guardar la curva H/V en el rango de frecuencia indicada. En el segundo caso es posible picar la curva HVSR en el orden de remover posibles picos industriales que no esta relacionada a la litología (usuarios registrados reciben un correo con ejemplos etc).

Movimiento de Párticula "Particle motion"

Para activación de la opción "show particle motion (de la data original)" puedes obtener un ploteo de movimiento de suelo a traves de 3 secciones: vertical-NS, vertical-EW y horizontal (NS-EW) (cláramente relacionada a la data original raw data).



Play (y guardar) tus microtremor



Dando click en el botón P en la barra de herramientas, es posible escuchar la data de microtremor (claramente convertido en archivos de audio).

Porque el tiempo necesario para reproducir la data, porque el oído humano es sensitivo para un rango específico de frecuencias, la data es reproducida a la frecuencia 10 veces mas alta que lo real (esto significa que 10 minutos, la data puede reproducirse en la misma frecuencia cerca a 10 minutos mas alto que el real) eso significa que 10 minutos de data puede reproducer en 1 minuto. ¿Sólo una curiosidad? Bueno ... no solo...

El sonido también es guardado automáticamente en la carpeta de trabajo como archivo mp4 y puede luego ser reproducido por cualquier reproductor de audio.

En orden de disfrutar completamente el sonido de la madre tierra, recomendamos un buen sistema de audio, o mejor, unos audífonos.

Fundamentalmente, el análisis HVSR puede desarrollarse en dos etapas. En la primera (dando click en botón "compute" sin activar ninguna opción), la curva HVSR es procesada de acuerdo a los parametros escogidos (el cual puede ser modificada en orden de obtener los que deseamos)

En esta primera etapa, dos líneas verticales son mostradas: ellos indican los límites de frecuencia usados para evaluar el pico H/V de acuerdo al criterio SESAME:



El usuario puede modificar los límites fc (botón fc en la barra de herramientas, en orden de "centrar" el pico que quieres evaluar con respecto al critero SESAME, En el ejemplo reportado arriba nosotros modificamos los limites fc y, para activar la opción full output, obteniendo el ploteo reportado aquí abajo.

Ahora el límite fc adoptado son reportados más discretamente y junto con el valor mínimo H/V que 1 no es marcado:



Este enfoque global esta diseñado para permitir al usuario el procesamiento bajo los criterios SESAME en cada pico (imaginar que de otra manera puede pasar, cuando más de un pico este presente).

Ver también el archivo winMASW-HVSR-SESAME.rar en la carpeta "documents" en el directorio de instalación del winMASW[®].

También es altamente recomendable estar presente en uno de nuestros workshops.

Componentes Industriales

En varios resultados, también hay un gráfico con un espectro de amplitud no suavizado (muestra usando escalas lineales para frecuencias en escalas log y lineal para amplitudes) y la función de coherencia para todas las parejas de sensores (EW-NS, EW-UD y NS-UD).

Estos ploteos pueden mejorar el realce de los posibles componentes industriales

En el siguiente ploteo, podemos facilmente identificar una serie de picos industriales a 6.6, 13.2, 19.8 y 26.4 Hz (por favor notar que en este caso tenemos la frecuencia predominante y una serie de altos harmonicos).

Por favor ver tambien que la amplitud de los picos y la relación de valores grandes de la función de coherencia.





Análisis HVSR sin ecualizacion de data [grabado con un geófono HOLI3C de 2Hz] [La opción HOLI3C no esta activado]



Análisis con ecualización de datos: Ahora las bajas frecuencias se muestran con amplitudes reales.

Componentes Industriales

Con la prioridad de resaltar posibles componentes/señales industriales, también se muestra el espectro de amplitud obtenido mientras se suavisa la curva por solo 3% usando la escala de frecuencia.

La función de coherencia para las tres combinaciones de sensores (EW-NS, EW-UD y NS-UD) son también mostrados.



Por favor notar la amplitud del espectro de amplitud y los valores de la función de coherencia a las 4 frecuencias (6.6, 13.2, 19.8 y 26.4 Hz).



Dos ejemplos de la función de coherencia 3D (los colores representa la frecuencia):

A la derecha una componente industrial no significante está presente mientras que a la izquierda hay una clara señal industrial a 26.5 Hz (tendencia amarilla / señal).

Data adicional relacionada al caso reportado en la izqueirda esta reportado en las siguientes dos figuras:

1) Presentando el Ploteo: la funcion de coherencia como una función de frecuencia (NS-EW, EW-UD, NS-UD) y el espectro de amplitud con diferentes escalas (lineal y logarítmica) después de la amplificación de un suavizado suave (3%).

2) Función de coherencia y espectograma como una función del tiempo.

2)





Administrando data con claras componentes industriales

Hay dos posibles caminos para manejar un claro y fuerte componente industrial contaminando la data.

Ambos enfoques son necesariamente como "brutal" pero sin embargo puede ser a veces hábilmente adoptada para obtener curvas HVSR libres de la contaminación de un pico industrial importante.

1) Por un suavizado consistente del espectro (50% y mas).

2) Efectuar el picado manual de la curva HVSR o, si la situación es compleja de los espectros de amplitud de la componente UD, NS y EW.

El primer enfoque es simple y claro y no requiere mucha explicación.

Permítenos ver algunos puntos de las otras dos posibilidades (mas detalles son dados durante nuestro workshop – como es usual los resultados siempre depende de las habilidades del usuario).

a) Primera opción: picado de la curva HVSR

En este caso picamos la curva HVSR procesada y tratamos de suavizar las señales que están asociadas a componentes industriales.



1) Del menú deslizable selecionamos la opción "HVSR".

2) Click en el botón "pick data".

 Iniciar el picado de la curva HVSR mientras suavizamos las señales relacionadas al ruido industrial (usar el boton derecho del ratón para picar el último punto y cerrar la operación).

4) Guardamos la curva HVSR picada dando click en el botón "save picked HV".

b) Segunda opción: picado del espectro de amplitud de las tres componentes (UD, EW and NS) y re-procesar el HVSR

2	Γ	picking HV or amplitude spectra				
		HVSR	\sim	pi	ick data	
É		HVSR		mputo		
		UD amplitude spectrum			mpute	
		NS amplitude sp	ectrun	n		
		EW amplitude sp	pectrur	n		

1) Procesar HVSR mientras se corrige un nivel se suavizado limitado (2 – 3%) [no activar la opcion "Full output"].

2) Del menu deslizable seleccionar la componente que interesa picar (necesitas picar los 3 componentes).

3) Una vez seleccionado la primera componente para picar (e.g. el UD), click en el botón "pick data".

4) Iniciar el picado del espectro de amplitude de la componente selecionada (para terminar de picar la curva, click con el botón derecho del ratón).

Repetir los puntos #2, 3 y 4 para las tres componentes (UD, NS y EW).

picking HV or amp	litude spectra -
EW amplitude 🗸	pick data
save picked HV	compute

5) Una vez hayas picado la última componente, luego tienes que re-procesar la curva HVSR (de las curvas picadas) mediante el botón "compute". Una figura que resumira el resultado general se mostrará y el re-procesamiento se guardara automaticamente en la carpeta de trabajo como archivo teniendo el mismo nombre que la data original y el sufijo "_reconstructed.hv".

Un ejemplo

1) Procesando el HVSR mientras se corrige suavizando al 3% (Critetio SESAME puede estar ordenado arriba pero ahora no nos interesa). Aparentemente hay una señal industrial a 1.5 Hz. (muy común en el area NE de Italia). No activar la opción "full output".



Automáticamente también obtienes los siguientes ploteos:



Ploteos superiores: Funciones de coherencia respecto al tiempo; Ploteos inferiores: Espectro de amplitud sobre el tiempo (espectogramas). Claro pico insdutrial a 1.5 Hz.



Funcion de coherencia 3D: aparente señal a 1.5 Hz.

2) Picando la componente vertical UD.



3) Picando la componente NS





5) Procesando el HVSR de los espectros de amplitud picados (obtendras la figura siguiente y el archivo relacionado .hv [guardado en la carpeta de trabajo]).



Para razones estadísticas, la curva promedio HVSR es usualmente diferente a la procesada HVSR del espectro de amplitud. Esto significa que, a bajas frecuencias, las dos curvas tienen una significativa diferencia. En cualquier caso, si todas las operaciones fueron correctamente desarrolladas, la diferencia será la desviación estandar de la data. Por favor, también recordar que esta operación es desarrollada mientras aplicamos un suavizado de solo 3% del espectro de amplitude (la comparación final debe estar con el HVSR obtenido mientras el suavizado de la curva al 10 o 15%).

Criterio SESAME de la curva reconstruida

Claramente, este tipo de procesamiento aplicado en el espectro de amplitud promedio final. Desde los tres primeros criterios SESAME (para una curva HV de confianza) y los criterios 4, 5 y 6 para un pico HV claro, hay valores estadísticos que considerar en todas las curvas HVSR (en cada segmento / ventana), como una cuestion de hecho esto no es posible de procesar con todos los criterios SESAME en la curva reconstruida (desde aquí solo tenemos la curva promedio final).

Podemos definir los primeros tres criterios para un "pico fiable".

Los primeros dos criterios requieren que en el rango de frecuencia $f_0/4 - 4^*f_0$ (siendo f_0 la frecuencia del pico considerado), las curvas van hacia abajo al menos la mitad del valor de la curva a la frecuencia f_0 .

La tercera es simple: el valor pico de H/V a la f₀ debe ser al menos 2.

Dejamos considerar el siguiente ejemplo. La señal a 5Hz tiene un aparente origen industrial (asi que vamos a ignorarlo).

Podemos ver que (también considerando la desviación estandar) en la curva HVSR reconstruida (la curva verde en el panel debajo a la derecha) todos los primeros tres criterios para un pico HV fiable son claros [f₀ igual a 7Hz y la frecuencia considerada entre 1.75 y 28Hz].





11. Modelamiento HVSR

El software *winMASW*[®] permite modelar el HVSR de acuerdo a ondas de cuerpo (Herak, 2008) y ondas superficiales (e.g. Lunedei & Albarello, 2009).

Acerca de esta última posibilidad, *winMASW*[®] **3C**, *winMASW*[®] **Pro** y winHVSR trabaja como una interface gráfica para la ejecución por Albarello & Lunedei (2009).

Si estas trabajando con *winMASW*[®] Academy, no necesitas un archivo exe desde que el modelamiento HVSR es desarrollado gracias a una herramienta muy complete, también capás de manejar las candidades específicas por el usuario de las ondas Love (ver α factor box).

Si activas el modelamiento HVSR y seteas el número de modos superiores a cero, puedes modelar el HVSR de acuerdo a las ondas de cuerpo y ondas superficiales (en caso del número de modos es seteado a cero tienes que obtener el HVSR solo de acuerdo a las ondas de cuerpo).

En orden de aprovechar este método, leer (al menos) los siguientes papers:

- Dal Moro G., 2011. Some Aspect about Surface Wave and HVSR Analyses: a Short Overview and a Case Study, BGTA, 52, 241-259 (visit <u>www.winMASW.com</u> for a draft of it)
- Albarello D. and Lunedei E., 2010. Alternative interpretations of horizontal to vertical spectral ratios of ambient vibrations: new insights from theoretical modelling. Bulletin of Earthquake Engineering 8, 519–534.
- Dal Moro G., 2010. Insights on Surface Wave Dispersion and HVSR: Joint Analysis via Pareto Optimality, J. Appl. Geophysics, 72, 29-140
- Lunedei E. and Albarello D., 2009, On the seismic noise wavefield in a weakly dissipative layered Earth, *Geophys. J. Int.*, 177, 1001-1014

Estudiando los paper mencionados es posible entender bajo cual condiciones de enfoque debe ser considerado válido. En una cascara de nuez: usualmente propiedades de ondas de cuerpo explican el HVSR solo para frecuencia predominante mientras frecuencias mas altas son mejores explicando en término de eliptisidad SW (el problema es que algunas veces entender que para obtener el número de modos adoptado – tambien siempre considerar la atenuación).

Acerca de versiones winHVSR, winMASW[®] 3C y Profesional

En caso decides usar el código Lunedei & Alberello (2009) (microtremor.exe) es necesario citar a los autores (de lo contrario rompería la ley de derechos de autor): Albarello D. & Lunedei E. (Lunedei E., Albarello D., 2009, del ruido sísmico una capa pobremente disipada, *Geophys. J. Int.*, 177, 1001-1014)

En *winMASW*[®] mientras modelamos HVSR el factor de calidad esta seteado de acuerdo a la regla basica del dedo: $Q_S=V_S/5$ (and $Q_P=2Q_S$).

Problemas en el procesamiento HVSR usando ondas superficiales elipticidad (microtremor.exe) [solo para las versions 3C y Pro – en la versión Academy el procesamiento HVSR es independiente y más detallado (ver el factor *α en las siguientes paginas)*]

Procesando HVSR considerando la elipticidad de las ondas superficiales es una tarea dura. Bajo algunas circunstancias es posible que microtremor.exe por así decirlo puestos. Si, luego de algunos segundos la ventana HVSR no reacciona (ver imagen debajo).



Es necesario interrumpir el proceso "microtremor.exe" en el Activity Manager de las ventanas operativas del Sistema (botones *Ctrl+Alt+Supr*)



Seleccionar el botón microtremor.exe y determinado proceso

Para ir a la cabeza, es ahora necesario modificar el modelo (como lo último visto fue responsable de algunos eventos problemáticos del procesamiento HVSR).
Frecuencia predominante del sitio

El tema es de hecho extremadamente complejo y esto no pretente ser un libro de texto. Aquí nosotros solo llamamos la ecuación fundamental (esto no debe ser usado de una forma simplista):

$$T_o = \frac{4\mathrm{H}}{\mathrm{V_s}}$$

Donde:

 $V_{\rm S} = V_{\rm S}$ promedio hacia la roca.

H = Espesores de los sedimentos sobre la roca.

Por ejemplo, si la roca está a 37 metros de profundiadad, el Vs que debemos considerar es Vs37.

El pico de la curva HVSR observada nos da la frecuencia de resonancia del sitio (el valor del pico no esta considerado como un factor de amplificacion).

El factor α en winMASW[®] Academy

En *winMASW*[®] Academy (en el panel único y doble componente "**Velocity Spectrum**, **Modeling & Picking**"), el factor α (i.e. la cantidad de ondas loves a ser usadas en el modelamiento HVSR). Puede ser modificado por el botón "R" en la esquina superior derecha de la barra de herramientas:

🛃 some parameters 😑	×
reference frequency	15.96 Hz
alfa parameter (Arai & Tokimatsu, 2004)	0.3
precision factor	0.34
	done

Aquí es posible setear la frecuencia referente y la precisión de la solución matemática buscada para calcular la curva de dispersion, el sintético y el HVSR (detalles son provistos durante nuestros workshop)

Ondas Love y el conciente espectral Horizontal / Vertical: Factor α



El HVSR determinado desde la data de campo es el resultado de la combinación tanto de las ondas Rayleigh y Love, basicamente de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\sqrt{rac{lpha \mathsf{H}_{\mathsf{L}}(f) + \mathsf{H}_{\mathsf{R}}(f)}{\mathsf{V}_{\mathsf{R}}(f)}}$$

Tener contribuciones H_R y V_R de las ondas Rayleigh (en términos de espectro de poder – ver Arai and Tokimatsu, 2004) en el eje horizontal (H) y vertical (V), y H_L el componente relacionado a las ondas Love (el parámetro α puede ser considerado como una cantidad de ondas love en el campo microtremor de fondo).

Mientras algunos autores olvidan incluir el efecto de las ondas Love en el trato de cociente espectral H/V como simple representante de la elipticidad de las ondas Rayleigh, otras propiedades incuyen en su efecto.

En el último caso, de todos modos, surge un problema sobre el valor adecuado del parámetro α, el cual está relacionado al régimen general específico que caracterisa la región y las condiciones de meteorología/clima. Por cierto, se puede especular que diferentes espectros de H/V observados en diferentes dias/estaciones (ver parrafo 4.3.1 del libro mencionado arriba) puede ser resultado diferentes.

Un modelamiento elemental puede esclarecer el punto. Figure A reporta un modelo V_S (panel superior) y dos curvas HVSR (panel inferior) obtenido mientras cosnideramos un pequeño ($\alpha = 0.2$) y alto ($\alpha = 0.9$) valor de ondas Love.

Como pueden ver, el HVSR obtenido es significativamente diferente (desde que las ondas Love son movidas en el plano horizontal, el efecto es en general creciente en la curva HVSR).

Dos consecuencias son dadas:

1. La cantidad de ondas Love (sinteticamente expresado por el factor α) debe ser considerada como una variable en el proceso de inversión destinado a determinar el perfil V_S (la experiencia enseña que este valor esta en un rango tipico de 0.3 a 0.5).

2. La curva HVSR sola es insuficiente para proveer un preciso y definido perfil V_S incluso cuando hay información geológica/estratigráfica disponible. El único enfoque viable esta representada por la inversión conjunta con datos geofísicos adicionales (típicamente curvas de dispersión de ondas Rayleigh y Love.)



Figura A Efectos de las ondas Love en el HVSR: (a) perfil V_S considerado; (b) curva HVSR obtenida mientras consideramos una cantidad diferente de ondas Love (factor α) en el campo microtremor.

Más detalles en <u>Surface Wave Analysis for Near Surface Applications</u> (Dal Moro G., 2014 - Elsevier, 252pp).

Modelando HVSR: nota rápida

Ambos en el siguiente modelamiento e inversión (cojunta) automática, es recomendado incluir una roca más profunda que "estabiliza" la matemática envuelta en el modelamiento HVSR.

Esto significa que debemos reproducir las condiciones reales lo más cerca posible (siempre hay un medio espacio profundo y muy rígido).

Incluso si tu sitio es representado con solo 10 m de sedimentos limoso y luego varias decenas (o centenas) de metros de gravas, en orden de simular el pico relacionado al contacto es necesario incluir una muy profunda (rigida y roca) capa (incluso si tu data no lo muestra claramente).

El siguiente modelo

10 m de limo (V_s: 140 m/s) Gravas y espacio medio (V_s: 550 m/s para varias decenas o cientos de metros)



Debe estar actualmente modelado de esta forma

10 m de limo (Vs: 140 m/s) 1000 m con Vs: 550 m/s (gravas) roca espacio medio (Vs: 1200 m/s)

Agregando la capa de roca profunda (realmente invisible para nuestra data) (Valor Vs alto) podemos llegar al siguiente modelo.

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	140	10	10
2	550	1000	1010
3	1200	0	0



Como pueden ver, ahora el pico producido por el contacto limo-grava es pequeño (estaba cerca de 6 y ahora es 4.4) y la forma de la curva HVSR es algo diferente.

Como el esfecto esta relacionado meramente a las matematicas del modelamiento del HVSR y, por supuesto, no es necesario mencionar la profundidad de una capa de roca profunda en el reporte final.

Mientras modelamos el HVSR, no olvidar la regla del factor alfa (α) [valores altos significa altas cantidades de ondas Love o componente H]



12. Inversión conjunta de data de dispersión y HVSR

Por favor leer el capítulo desarrollado para el modelamiento HVSR ("modelling HVSR") para detalles acerca del HVSR. Debido a algunos problemas, en orden de un desarrollo apropiado de esta inversión conjunta es altamente recomendable leer los siguientes papers:

- Dal Moro G., 2011. Some Aspect about Surface Wave and HVSR Analyses: a Short Overview and a Case Study, BGTA, 52, 241-259 (visit <u>www.winMASW.com</u>)
- Albarello D. and Lunedei E., 2010. Alternative interpretations of horizontal to vertical spectral ratios of ambient vibrations: new insights from theoretical modelling. Bulletin of Earthquake Engineering 8, 519–534.
- Dal Moro G., 2010. Insights on Surface Wave Dispersion and HVSR: Joint Analysis via Pareto Optimality, J. Appl. Geophysics, 72, 29-140

Esta pantalla (ver la figura debajo) es completamente similar al relacionado al Analisis en conjunto de dispersión Rayleigh y Love, esto no necesita una descripción especial.



Algunos puntos deben estar en mente muy cuidadosamente (especialmente acerca del HVSR).

1. Si estas usando ondas de cuerpo, debes considerar el periodo fundamental (resonancia), así eliminar de la curva HVSR toda la data referida a las altas frecuencias – arriba – reporta un ejemplo donde debemos remover frecuencias altas por encima de 4 Hz.

2. Si estas usando ondas superficiales (Elipticidad) debes considerar 2 puntos importantes:

a. Tiempos de procesamiento computacional largos.

b. Problemas computacionales posibles el cual puedes pausar el procedimiento de inversión (ver cuadro "Problems in HVSR computation using Surface Wave ellipticity (*microtremor.exe*)").

Para obtener profundidades mayores puedes leer los siguientes paper:

Alternative interpretations of horizontal to vertical spectral ratios of ambient vibrations: new insights from theoretical modelling (Albarello D. and Lunedei E., 2010). Bulletin of Earthquake Engineering 8, 519–534.

Insights on Surface Wave Dispersion and HVSR: Joint Analysis via Pareto Optimality (Dal Moro G., 2010), J. Appl. Geophysics, 72, 29-140

Por estas y otras razones que podemos nombrar durante el workshop, siempre es preferible adoptar el *forward modelling* approach desde el panel "Velocity Spectrum, Modelling & Picking" por encima de la inversión automática.

En las siguientes figuras un ejemplo de analisis conjunto de curva HVSR junto con la curva de dispersión efectiva del análisis ESAC

Ver también:

http://www.winMASW.com/download/prodotti/Report-ESAC-HVSR-winMASW.pdf



HVSR curve



Dispersion data from ESAC

Inversión conjunta ESAC+HVSR





www.winmasw.com

Rayleigh wave dispersion file: ESACdcORIGINAL.cdp H/V curve: 16STEI-2-HVSR.hv Vs30 (minimum-distance model): 183 m/s Vs30 (mean model): 185 m/s

153



13. Sismogramas Sintéticos y análisis FVS

En la versión Academy, *winMASW*[®] también genera sismogramas sintéticos computados vía sumatoria modal.

Claramente para usar apropiadamente estas herramientas es necesario estar familiarizado con algunos aspectos relacionados a la sísmica (también incluyendo procesamiento de señales) (esto es porque las herramientas disponibles solo están para la versión Academy).

Modelamiento: puntos importantes

- Frecuencias minimas y maximas consideradas mientras generamos modelos sinteticos son los mismo que los espectro de velocidad actualmente considerado (boton "velocidad de fase" en el grupo "*MASW: compute velocity spectrum*")
- El número de modos adoptado es el mismo que el número indicado en el subgrupo "general setting" (ver "modelling" group – por defecto 3 modos son considerados).
- Fuente: mientras analizamos las ondas Rayleigh, nosotros consideramos una fuerza vertical (VF) (el usuario puede escoger si considera la componente vertical ZVF o la radial (RVF), ver teminología Hermann's). Mientras analizamos las ondas Love, estamos trabajando con una fuente de corte (perpendicular al arreglo – THF, *Transversal Horizontal Force).*

El procesado sintético del set de datos es automáticamente guardada en la carpeta de trabajo como archivo SEGY (el nombre también reporta de hecho si el archivo refiere a ondas Rayleigh o Love - *synthRayleigh.sgy* y/o *synthLove.sgy*).

Mientras consideramos un caso visco-elastico (en consecuencia el cuadro de revisión "elastic" esta inactivo) para el modelamiento asumimos $Q_S=V_S/5$ (y $Q_P=2Q_S$) como simple regla del dedo. Para más informacion ver el siguiente capitulo de inversión de espectro de velocidad.





Por otro lado esto asume que $Q_S=Q_P=10000$ (ver los siguientes ploteos):



Poisson y la distribución de Energía

 V_P no es muy importante en determinar la curva de dispersión pero tiene un profundo efecto en la distribución de energia a través de diferentes modos. Esto significa que modificando los valores de Poisson (i.e. V_P) puedes modificar la distribucion de energía a través de difetentes modos. Debajo un ejemplo: a la izquierda un set de datos real; en el centro y derecha dos modelos sintéticos con el mismo: V_S – espesores pero diferente valores V_P . Notar la diferente de distribucion de energía (varias veces valores de Poisson altos determinan modos de energía superiores).



Nuevo en winMASW[®] 6.x

Ahora, si mientras procesamos sismogramas sintéticos, la opción "just overlap" es seleccionada, por el cual tu obtienes un ploteo donde las líneas de contorno del espectro de velocidad del sismograma sintético es superpuesta con el espectro de velocidad de la data de campo (ver los colores de fondo). Debajo un ejemplo del panel "joint phase and group velocity analysis": Por favor notar como las lineas de contorno azul del modelo sintético reproduce muy bien la data de campo actual (espectro de velocidad coloreado en el fondo – esto claramente significa que nuestro modelo tentativo es bueno).



De hecho, este enfoque es similar (y por varias razones mejor) que el enfoque de la "curva de dispersión efectiva" (e.g. Tokimatsu et al., 1992).

ZVF, RVF, ZEX, REX ó THF?

En la terminología adoptada por el Prof. Herrmann, VF para "fuerza vertical", HF para "fuerza horizontal", mientras EX para "explosivo". Estas palabras claramente se refieren a el tipo de Fuente. Acerca de los receptores, estos pueden ser vertical ("Z") horizontal radial ("R") o horizontal transversal ("T"). Como concecuencia los sismogramas sintéticos pueden estar relacionados a diferentes adquisiciones:

ZVF: Fuerza vertical (e.g. comba vertical) y geófonos verticales (para ondas Rayleigh)

RVF: Fuerza vertical (e.g. comba vertical) y geófonos radiales (para ondas Rayleigh)

ZEX: Fuente explosiva y geófonos vertical (para ondas Rayleigh)

REX: Fuente explosiva y geófonos horizontal (radial) (para ondas Rayleigh)

THF: Fuerza horizontal (Fuente de onda de corte) y geófonos horizontales (transversal) (para ondas Love)

Ver tambien nuestras "guias" para una Buena adquisicion de datos ubicado en la carpeta "documents" (con la carpeta de instalación *winMASW*[®]).

Debajo los mismos modelos reportados en el cuadro "Poisson and the Energy Distribution" (valores diferentes de Poisson) pero, en este caso, para la componente radial. Por favour notar que diferente energia contiene para diferentes modos. Como este set de datos fue adquirido usando geofonos verticales y la correcta comparacion se debe hacer con set de datos sinteticos reportado en el cuadro anterior relacionado a la componente ZVF – ver el acuerdo entre la data de campo (a la izquierda del cuadro "Poisson and Energy distribution") y el modelo central caracterizado por valores altos de Poisson.





14. Inversión del Espectro de Full Velocidad (FVS)

Este metodo esta destinado a invertir el espectro de velocidad y no (como el enfoque estandar) la curva de dispersion (la picada) (see e.g. O'Neill et al., 2003; Dal Moro et al., 2015).

Esto significa que el usuario no debe hacer ningun picado. Para invertir el espectro de velocidad es necesario ingresar (boton "input file") un espectro de velocidad previamente guardado.



Luego de esto, similar al enfoque estandar (la inversion de una curva de dispersion) el usuario debe generar un espacio de busqueda con significado geologico.

After that, similarly to the standard approach (the inversion of picked dispersion curves) user must set a geologically meaningful search space.

Algunos puntos relevantes (ver también el capítulo "synthetic seismograms"):

- 1. El metodo es basado en la generacion de un sismograma sintetico via Modal Summation (ver "Synthetic seismograms" Chapter).
- 2. Los tiempos de procesamiento computacional son necesariamente pesados. Po resto se recomienda tener una PC de alt agama (e.g. con 8 nucleos o workstation). Es tambien altamente recommendable empezar (opcion #2) de un modelo previamente identificado (y guardado) via forward modelling.
- 3. Reducir "*individuals/models*" y "*generations*" (grupo "numero de capas y restricciones") a 40 y 40 respectivamente.
- 4. Es escencial considerar (i.e. guardado y cargado) un espectro de velocidad el cual contiene sólo información/señal relacionada a ondas superficiales. Como consecuencia:
- Antes de calcular (y guarder) el espectro de velocidad, limpiar cuidadosamente la data (e.g. para remover los eventos de refraccion) y, para remover data no util y remuestrear las trazas, probar adquirir data con 512 muestras.
- Corregir limites de velocidad y frecuencia con las cuales esta relacionada la ondas superficiales (por lo que hay que evitar frecuencias y velocidades demsiado altas y bajas).

Una correcta determinacion del espectro de velocidad es claramente vital para inversion significativa.



5. Incluso si esto no es necesario picar ninguna curva de dispersion, esto es de todos modos necesario para entender perfectamente los procedimientos y todos los puntos relevantes (e.g. ser cuidadoso cuando modos altos dominan fuertemente el set de datos).

6. El modulo de Poisson es esencial en determinar la distribucion de energia a traves de diferentes modos (ver el cuadro "*Poisson and the Energy Distribution*"). Nosotros por lo tanto recomendamos corregir esos valores (mientras seteamos el espacio de busqueda) de acuerdo a una consideracion realistica (considerar la presencia de agua etc.) (claramente tambien permitiendo la "optimizacion del Vp y densidad").

7. Como estamos tratando con atenuacion, se puede corregir el factor K ($Q_S=V_S/K$) (ver tambien el siguiente cuadro). Si no eres un experto, por favour evitar este enfoque (o pregunta por nuestra ayuda).

Ejemplo de (pequeña!) "discordancia" entre el espectro de velocidad obtenido de data sintetica procesada considerando tambien la atenuacion y la curva de dispersion modal computarizada en el caso simple elastico.



Por favor notar como – especialmente en el rango de frecuencia de 12 – 22 Hz, la curva de dispersion computarizada considerado el caso elastico es algo "mas lento" que el espectro computarizado considerando trazas sismicas sinteticas calculadas considerando la atenuacion.

Tambien notar que la señal entre 8 y 10 Hz esta relacionada al modo primario superior.

winMASW®



La inversión es finalmente lanzada dando click en el boton "RUN" (como es usual el usuario puede setear la carpeta output).

Resultados

Al final del procedimiento de inversion, los ploteos siguientes se muestran (ello refiere el mejor modelo):



Mejor Modelo (identificado) (velocidadades y factor de calidad Q)





Resumen de ploteos: Panel izquierdo superior el espectro de velocidad observado

Panel izquierdo inferior la evolucion misfit

A la derecha los modelos calculados sobre el espacio de busqueda



Un numero de caso de estudios resueltos via FVS estan disponibles en nuestra web y en el libro "Surface Wave Analysis for Near Surface Applications" (Elsevier), proveido con el software *winMASW*[®].



Si no estas tan familiarizado con estos tópicos, puedes asistir a un workshop (email: winMASW@winMASW.com)

Análisis Espectro Full Velocidad "Full Velocity Spectrum" (FVS): dos ejemplos

Los colores de fondo reportan el espectro de velocidad de la data de campo mientras en lineas de contorno negras (superpuestas) es el espectro de velocidad de la data sintetica (del modelo identificado).





Por favor notar el emparejado muy bueno entre la data experimental y sintética.



capa Vs baja mas profunda) "exita" modos superiores de ondas Love. En términos generales: si la onda love muestra un gran evidencia de modos altos, esto significa que

deberia haber una capa Vs baja (ondas Rayleigh es por lejos mas complejas y pueden tener modos superiores dominantes incluso si no decrese en Vs es actualmente presente - ver artículo en la lista referencial)



15. Resaltando y separando modos especificos

Del panel principal (("Velocity spectrum/a, modelling & picking") el usuario puede acceder a una útil herramienta para separación de modos (botón "mode separation").

Luego de tener cargada el set de datos, dando click al botón "mode separation", el siguiente panel se muestra:



Al lado izquierdo se reporta la data original (en dominio f-v y x-t). Moviendo los puntos del polígono en el espectro de velocidad (dominio f-v) esto es posible dibujando un polígono que puede ser adoptado como filtro: <u>dando click al botón "select" sólo la data dentro del polígono se mantendrá, mientras la data externa a este será removida (el filtro actualmente trabaja en el dominio f-k).</u>

Un ejemplo puede clarificar el punto. En siguiente lado izquierdo se reporta la data original mientras en el lado derecho la data luego de la remoción de la porción de data externa a la escogida por el polígono (el usuario puede mover los vertices del polígono y luego click el botón "select"). Primero decidimos poner en evidencia la data en el "área" donde el modo fundamental supuestamente está (La amplitud muy alta de los modos superiores para frecuencias mayores a 13Hz impide verlo).



Si en lugar de poner en evidencia el modo fundamental, decidimos remover el modo fundamental y poner en evidencia los modos superiores:



El "ramp" representa el valor del desnivel del filtro (i.e. cuan rápido pasamos de 0 a 1 en el filtro) valores muy bajos puede crear oscilaciones en la data filtrada (en el dominio x-t), mientras valores muy altos puede darnos el riesgo de no remover la data que queremos remover. También es posible (no necesario):

- Para guardar (o cargar) un filtro (botones "save filter" & "upload filter")
- Para guardar un espectro filtrado (botón "save spectrum")
- Para guardar un set de datos filtrado (botón "save dataset") como archivo segy

Si nos gusta el filtro adoptado y queremos volver al panel principal considerando el set de datos filtrado, sera suficiente dando click al boton "Accept". Por otro lado, dando click en el botón "cancel" podemos cerrar el panel y retomar el set de datos original (sin filtro).

Por favor usar esta herramienta sólo si conoces perfectamente lo que estas haciendo. Los incovenientes debido al uso incorrecto del mismo puede aparecer. Ver también Luo et al. (2009).



16. Análisis RPM



Analisis RPM

La curva de frecuencia RPM (*Rayleigh-wave Particle Motion*) fue introducido en el paper "*Analysis of Rayleigh-Wave Particle Motion from Active Seismics*" paper (BSSA, Dal Moro et al., 2017).

La superficie RPM Frecuencia – offset es como se dice la extension de la curva de frecuencia RPM en caso estemos trabajando con data multi offset.

La superficie RPM frecuencia – offset es otro "objeto" que podemos analizar en orden de inferir información adicional acerca a las condiciones de superficie y de peligro sismico (ver también el rol de un movimiento fuerte rotatorio en la respuesta de estructuras cerca a una falla de terremoto. Trifunac, M. D. (2009), *Soil Dynam. Earthquake Eng.*, 29 382-393).

En el panel "joint analysis of Surface Waves", debes cargar el set de datos de las componentes Z (vertical) y R (radial) de las ondas Rayleigh (archivos ZVF + RVF o ZEX + REX).

Adquisición de datos para el analisis de la Superficie RPM (frecuencia – offset)

El análisis RPM necesariamente requiere la adquisición de ambos, componentes vertical y radial de las ondas Rayleigh.

Esto se puede lograr adoptando una adquisición como la que se muestra en la figura (dos cables sismicos: uno con "n" geófonos verticales y un segundo cable con "n" geófonos horizontales, poner radialmente con respecto a la Fuente).

Rayleigh Waves

Simultaneous Joint Acquisition of the Vertical (Z) and Radial (R) Components



De esta forma puedes adquirir simultaneamente ambas componentes.

Pero puedes también decidir adquirir la data en dos estapas (esto es por ejemplo necesario en caso tengas solo 12 canales): primero usas los geófonos verticales para adquirir la componente Z, y luego necesitaras cambiar los geófonos y adquirir la componente radial (R). En otras palabras la adquisición de los dos componentes no tiene que ser simultaneo.

Una vez tengas cargado y limpia la data, con el botón "*RPM offset-freq*" puedes procesar la Superficie RPM Frecuencia-offset de la data cargada.

Por favor, tener en cuenta que los novatos en esta técnica defininitivamente requieren algo de entrenamiento (que se da durante nuestros workshops).

Aquí un ejemplo [la data es claramente acerca de la componente Z (vertical) y R (radial):



Asumimos que la polaridad de la data es la correcta (ver capitulo "*Polarity of the geophones*")

Dando click en el "RPM offset-freq" (en la parte inferior central del panel), vas a obtener las curvas de frecuencia RPM para cada offset y la Superficie RPM offset-freq



Como una "superficie" puede ser analizada junta con la dispersion de los dos componentes considerados (Z y R).

En el enfoque de "modelado directo" (i.e. modificando manualmente los parámetros del modelo (en la derecha del panel)), puedes procesar el espectro sintético de las

componentes Z y R, y teniendo ya procesado la la Superficie RPM de la data (como una operacion automatica activada la opción "RPM" en el grupo "sintetico (FVS)" [abajo/derecha del panel], El RPM sintético como tal.

Esta forma puedes verificar "visualmente" la consistencia promerio de tu modelo tentativo.

Si buscas un modelo el cual es "bueno pero no grandioso", puedes guardar este ("save model") y usar este como un modelo inicial para optimizar en el panel "*Joint inversion of Rayleigh waves (disp* + *RPM)*" (ver el siguiente capítulo).

Luego de jugar un poco con el modelo, si tienes al final una consistencia promedio como la que se muestra en las siguientes dos figuras, esto significa que tu modelo es suficientemente bueno (i.e. tu modelo genera data sintética el cual es muy cercano a la observada).





De hecho, puedes ver claramente la congruencia general de la data sintética y la de campo (de paso, en este caso, puedes ver claramente que para frecuencias más altas de 5Hz, este sitio determina una fuerte propagación de movimiento de las ondas Rayleigh).

De otro lado, es igualmente claro que una mala consistencia obtenida en el siguiente caso (ver las siguientes dos figuras) es evidente que el modelo de Superficie no es el correcto (la diferencia entre la data sintética y de campo es definitavemente alta).



Importante: la polaridad de los geófonos

En orden de obtener un proceso de data apropiado (obtener el correcto Superficie RPM) es crucial conocer la polaridad de nuestros geofonos verticales y horizontals y que esten apropiadamente orientados (acerca de la polaridad nosotros adoptamos la misma convencion usada por el Prof. Herrmann).

Es de hecho calaro que si rotas tus geofonos horizontals 180°, vas obtener una Superficie RPM diferente (reverso) (en consecuencia, en orden de tener la data correcta, necesitas conocer las teoria detras de las caracteristicas de tu equipo).

Por favor notar que nosotros podemos proveer de geofonos probado (de igual forma nuestro Sistema de adquisicion Holi [ver nuestra web <u>http://www.holisurface.com/]</u>).

Inversión Conjunta (automatica): ZVF+RVF (Enfoque FVS) + Superficie RPM

El panel "*Joint inversion of Rayleigh waves (disp* + *RPM)*" permite cargar los dos espectros de velocidad (Z y R) (nosotros no trabajamos con curvas de dispersion) y la superficie RPM para su inversion automatica.

Por favor notar que este tipo de inversión (involucrando el enfoque FVS, i.e. la creacion de data/trazas sinteticas) es necesario una muy buena CPU (el software depende del procesamiento paralelo).

Los mínimos requerimientos es 6 núcleos (físicos) (i.q. 12 hilos), pero nosotros recomendamos computadoras más serias (e.g. una workstation con 12 nucleos fisicos).

El costo es claramente alto si lo comparamos con computadoras ordinarias, pero vamos a ahorrar en tiempo/dinero.



Cuando luego cargamos 3 "objetos" que queremos invertir (automaticamente):

Luego podemos corregir el "search space" inicial desde un modelo que previamente has trabajado con la seccion "modelamiento directo" (ver el anterior capitulo) y, una vez ajustas los parametros de inversion (basicamente el numero de individuales/modelos y el numero de generaciones) y la profundidad al cual queremos plotear los modelos finales (por defecto corregido es 2/3 de la longitud del arreglo), puedes eventualmente lanzar el proceso de inversion (Boton RUN).



El resultado final puede resumirce en el siguiente pantallazo (y su relacionado archive de reporte html).

Ploteo reportac la data ingresada:





Rayleigh-wave Particle Motion (RPM) frequency-offset surface 0.5 correlation 0 -0.5 40 30 60 20 40 10 20 frequency (Hz)

offset (m)



Los tres modelos finales "mas importantes" (minimo global, minima distancia, modelo promedio):



(actualmente los mas importantes son el modelo de minima distancia y el promedio) (obtenido como modelo promedio de todos los modelos Pareto-front).

Breve analisis estadistico (enfocado en el parametro Vs30) del modelo Pareto-front:



Es inútil resaltar que este tipo de análisis puede ser desarrollado de manera eficiente solo despues de un entrenamiento suficientemente serio de los aspectos teóricos y prácticos.

Perfil Vs de los "mejores modelos": Si los perfiles Vs son similares, significa que la data fue buena y el proceso de inversión fue apropiado.



Por favor visitar regularmente nuestra web y medios sociales (<u>facebook</u> y <u>youtube</u>) para mantenerlos actualizado de nuestros estudios, tutoriales, etc.
Análisis RVSR

Del *winMASW*[®] Academy 7.3, en conjunto con las curvas RPM, puedes tambien obtener las curvas RVSR (*Radial-to-Vertical Spectral Ratio*) para todos los offsets (ver por ejemplo el paper "*Shear-wave velocity profiling according to three alternative approaches: a comparative case study*")

En el siguiente lanzamiento esto sera posible para analizar la superficie RVSR Frecuencia-offset (en el lanzamiento 7.3 podremos vizualizar la superficie de la data de campo).

Recomendaciones:

1) Para analizar el RVSR necesitas usar geófonos verticales y horizontales con la misma curva de respuesta.

2) Idealmente, la adquisición de las componentes Z (vertical) y R (radial) se logra simultánemente (ver esquema reportada abajo), en caso necesitas adquirir dos componentes separadamente (e.g. primero Z y luego la componente R), por favor usar un buen número de stacking (no menor a 8) y tartar de usar la misma fuerza para todos los golpes.

Rayleigh Waves

Simultaneous Joint Acquisition of the Vertical (Z) and Radial (R) Components











Ejemplo #1

Ejemplo #2







www.winmasw.com - geophysical software & services



17. Respuesta de sitio

Cómo funciona (en resumen)

En orden de procesar la respuesta de sitio y el espectro de respuesta, debemos considerar dos puntos fundamentales:

1) El perfil Vs debe ser extremadamente preciso (ver la practica "joint analysis")

2) Corregir los "temblores de referencia" al basamento rocoso siendo muy conciente de todos los problemas relacionados (e.g. Fasan et al., 2016)

Una vez el perfil Vs y los sismos relacionados (al sitio del basamento rocoso) esten disponibles (y precisos), luego podemos procesar el sismo en la superficie y el especto de respuesta relacionado.

Acerca del Segundo punto, por favor ser cuidadoso de los problemas relacionados a las discuciones alrededor al PSHA (*Probabilistic Seismic Hazard Assessment*) y el NDSHA (*NeoDeterministic Seismic Hazard Assessment*).

El panel de "Respuesta de Sitio" trabaja mas o menos como el software Strata o Deepsoil, pero al estar integrado en el software, todo es mucho mas facil.

El espectro de Respuesta es computada de acuerdo al enfoque SDOF (Single Degree Of Freedom)

En las siguientes paginas decribimos el procedimiento basico a seguir.

Parámetros de seteo

Una vez definido el perfil Vs correcto (el cual debe ser consistente con toda la data disponible) puedes tener acceso al panel dando click en el botón **Site Response:**



El siguiente panel se mostrará:



Por defecto el modelo cargado es que esta activo al momento de darle click al boton "Site Response", pero puede ser modificado cargando un modelo diferente (previamente guardado) dando click en el botón "**input subsurface model**". Parámetros a cargar:

Profundidad referencial (m)

Profundidad de fundacion de la construccion (los resultados son computadas mientras consideramos una profundidad libre de superficie).

Ingresar sismos "input quake(s)"

Especificamente la unidad de mediciones (en el lanzamiento 2018 puedes usar solo aceleracion en m/s²).

Corregir el numero de <u>header lines</u> en la data (acelerogramas) que vamos a cargar. (asumimos que los archivos tienen dos columnas: la primera representa el tiempo en segundos, la segunda a la aceleracion).

Tambien debemos corregir el suavisado "*smoothing"* a aplicar mientras procesamos el espectro.



Botón Aceleración pico "peak acceleration"

En el enfoque PSHA, el sismo ingresado es puesto en escala a un valor corregido de la aceleración del suelo (indicado por la regulacion regional). Usuarios italianos pueden referir al sitio INGV (<u>http://esse1-gis.mi.ingv.it</u>).

ag (g) [aceleración pico en unidades de gravedad de la Tierra]

En el enfoque PSHA, los sismos deben estar normalizados/escalados al valor pico de aceleracion definido por las normas nacionales (ver por ejemplo el sitio INGV). Como el valor pico depende del tipo de estructura que estas considerando y del period de retorno.

Si especificas un valor "ag" mayor a cero, los temblores ingresados (el cual debe estar en m/s²) deben ser escalados segun el pico de aceleracion que debe ser igual al valor ag (cual esta en g – unidad de gravedad terrestre).

En caso no quieras que tus sismos no esten escalados (por ejemplo en el enfoque NDSHA), solo dejar (0) en el valor ag.

Amortiguamiento de estructura - building damping (%)

Amortiguamiento de la estructura (Espectro de Respuesta es computada mientras considreamos un valor)

Usualmente el valor corregido es 5% pero el ingeniero estructural puede preguntar para diferentes valores cual mejor expresa las caracteristicas de la estructura bajo estudio (see e.g. Naito and Ishibashi, 1996).

Ejemplo

Por favor notar que varios espectros/data es reportada ambos como una funcion de frecuencia y periodo.

Es usual, la figura es automáticamente guardada en la carpeta de trabajo.



Sismos cargados (con sus amplitudes originales):



El modelo Vs (indicar el modo referencia que escogimos para el modelamiento de respuesta de sitio), HVSR simulado (para ondas superficiales y de cuerpo) y la curva anmplificada [funcion de transferencia de ondas SH], espectro de amplitud a una profundidad referencial (como funcion de la frecuencia)



Sismos normalizados (para un valor ag especifico), FFT o sismos ingresados (normalizado) como funcion de ambos frecuencia y periodo, espectro de amplitud a una profundidad referencial:





Espectro de respuesta a una profundidad referencia (en este caso 1m de la superficie) como funcion de frecuencia (escala lineal y logaritmica).



Espectro de respuesta a una profundidad referencia (en este caso 1m de la superficie) como funcion del periodo (escala lineal y logaritmica).



El espectro de respuesta es automáticamente guardado en la carpeta de trabajo con nombres que indican el contenido:

"All_Response_Spectra_Frequency.txt" "All_Response_Spectra_Period.txt" "Mean_Response_Spectrum_Frequency.txt" "Mean_Response_Spectrum_Period.txt"



18. Análisis de Retro-dispersión

Herramienta disponible en version Academy

En ambos panels de analisis de uno y dos componentes, una herramienta para el analisis de la retro-dispersion esta disponible (Boton *Back-scattering*). Como una operacion es desarrollada via filtrado fk y analisis spectral (detalles son ilustrados durante nuestro workshop).

A traves del procesamiento retro-dispersion, es posible analisar las señales sismicas en orde de identificar/resaltar posible energia de retro-dispersion relacionada a la presencia de in-homogeniedades de la superficie (e.g. cavidades o intrusiones).

En caso esas in-homogeonidades sean suficientemente grande (y no muy profundo) es posible que algo de energia sea "reflejada" (retro-dispersion). El analisis aqui descrito es basada en verificar si cualquier energia de retro-dispersion esta actualmente presente.

Cuan profundo y grande debe ser la cavidad/intrusion para ser identificada por energia de retro-dispersion?.

Como un problema de hecho, esto es casi imposible de dar una respuesta universal precisa, fuertemente hablando, nosotros penamos que tener la oportunidad de ver la energia de retro-dispersion solo en cavidades a una maxima profundidad de 3-4 m y con dimensiones no menores a dos metros.

Esta situacion donde es imposible dar una respeusta general y simplificada es, como usualmente, muy peligrosa.

Es importante reslatar que, diferente al analisis de dispersion para la determinacion del perfil Vs, para este tipo de analisis es importante trabajar con data con un gran numero de trazas (y bajo espaciamiento entre geofonos): 24 es lo minimo pero 48 es claramente mejor – por favour, recorder que en orden de tener una data de 48 trazas puedes usar 24 canales y seguir los procedimientos utiles para doblar el numero de trazas [ver apendice de la comibancion de 2 set de datos]

Una vez cargada la data y desarrollada algunos procedimientos basicos y generales de limpieza de data, mediante el boton de Retro-dispersion es posible desarrollar un analisis basado a resaltar posibles energias de retro-dispersion.

En el siguiente ejemplo (de una data sintetica donde una cavidad esta presente a 2 mts de profundidad) mientras consideramos la componente ZVF (si tienes data multicomponente el analisis de retro-dispersion puede ser desarrollado para ambos componentes en el panel "*Joint Analysis of Surface Waves – Velocity Spectra, modelling etc.*")



Los ploteos superiores refieren a la data original cargada. De izquierda a derecha:

- a) Trazas sismicas cargadas (visualizacion clasica wiggle);
- b) Trazas sismicas cargadas visualizada de acuerdo a una escala de color.
- c) Analisis spectral traza por traza.

Los ploteos inferiores se refieren a la misma data pero luego de un filtrado fk que tiende a resaltar las posibles energias de retro-dispersion (con una pendiente opuesta a la tendencia).

Puyede ver (cuadro rojo) la posivion de no-homogeniedad (en este caso por una cavidad) que produce una "reflexion" (para ser mas preciso un fenomeno de retrodispersion).

En caso de análisis multicomponente, el mismo ploteo se reporta para ambos componentes.





19. Sintético puro

El boton "SYNTHETICS" (en el panel principal), nos da acceso al panel para usar la generacion de data puramente sintetico (via suma modal).

Como algo que puede ser util en dos casos:

1) Metas educacionales: permite al estudiante o universitarios jugar con diferentes modelos y realizar como los modos existen (dependiendo de los parametros de modelamiento) y para componentes diferentes (vertical, radial y trans¿versal).

2) Simular condicones especificas y peculiares para tartar de planear los mejores parametros de adquisicion para un futuro expedicion de acuerdo a diferentes escenarios.

Conjuntamente con el espectro de velocidad, esta herramientas tambien computa las curvas/superficies RPM y RVSR.

winMASW® - synthetic seismograms:	an educational tool - 🗆 🗙
	۲
offsets (m): 6:1:66	modal summation
record time (s): 1.5	number of modes: 12
Vs (m/s) Poisson thickness (m)	the k factor (see manual): 6
60 0.35 0.6 120 0.498 1	the L factor (see manual): 2
150 0.498 2 160 0.498 3	show dispersion curves:
550 0.3 5	(elastic case)
340 0.3 10 400 0.3 30	~
1100 0.12	3
phase-velocity spectrum	
min. freq. 2 max freq. 60	upload model
min. vel. 50 max vel. 850	save model compute synthetics
!	

En la siguiente lista de parametros que tienes que definir:

Geometria: la expresion "6:1:66" significa que podemos simular una adquisicion con un minimo offset de 6m, geofonos espaciados 1m y el ultimo geofono a 66m. La expression 5:2:55 significa un arreglo con el primer canal a 5m de la Fuente (offset minimo), espaciamiento entre geofonos a 2m y el ultimo geofono a 55m. Esto significa la siguiente secuencia de canales: 5 7 9 11 13 15 17 19 21 23 25 27 29 31 33 35 37 39 41 43 45 47 49 51 53 55.

<u>**Tiempo de grabado**</u>: longitude de la data (en segundos). En el siguiente ejemplo igual a 1.5 s.

<u>Numero de modos:</u> numero de modos a usar para la generacion de las trazas sinteticas (generado via suma modal).

Factor k: Parametro usado para corregir Qs de los valores Vs: Qs=Vs/k

Factor L: Parametro usado para corregir el valor Qp de los valores Qs: Qp=Qs*L



Modelo Vs con la profundidad en ambas escalas lineal y logaritmica (la segunda opcion es util algunas veces para resaltar mejor los detalles someros).

Activando la opcion **"show dispersion curves"**, la curva de dispersion modal (para el caso elastico) se muestra tambien (sobre el espectro de velocidad).

Por favor notar que en concordancia con la teoria, la "diferencia" entre las señales del espectro de velocidad y las curvas de dispersion elastica incrementan proporcionalmente al increment de la atenuacion (bajando al factor de calidad): Valores Q bajos, mayor la "desviacion" (ver el siguiente ejemplo).



Ejemplo de trazas sinteticas y su respective espectro de fase de velocidad para las 3 componentes consideradas: ZVF y RVF (ondas Rayleigh) y THF (ondas Love)



Superficie RPM Frecuencia-offset y Superficie RVSR (para todos los offset)

Adjuntando ruido a los sintéticos

Mediante el valor SNR (*Signal-to-Noise Ratio*), esto es posible para adjuntar algo de ruido blanco Gaussiano a la data sintetica (para hacer de ello mas real). En el siguiente pantallazo puede ver la diferencia entre un caso "ideal" (sin ruido) y un caso donde alfo de ruido es agregado (SNR igual a 6).

El valor SNR representa el cociente señal/ruido por muestra en dB.





20. Demo y data de entrenamiento

Demo

La aplicacion *winMASW*[®] (en particular la version Academy) es una herramienta altamente sofisticada, y en orde de ser totalmente y apropiendamente usada, requiere de algun entrenamiento que nosotros estamos dispuestos a proveer a nuestros clients.

Si usted trata de usar *winMASW*[®] mientras mantiene en mente asumsiones simplistas y erroneas (por ejemplo la manera de como los modos aparecen y desaparencen en el espectro de velocidad – desafortunamente la data real puede ser extremadamente no intuitive), corre el riesgo de obtener puntos reales que *winMASW*[®] (con todas sus herramientas) intent abordar a traves de una analisis en conjunto de varios "objetos".

Una serie de video tutoriales, paper y casos de estudio estan disponibles de nuestra web pero la mejor manera de aprender eficientemente y conjuntamente adquirir y analisar las ondas superficiales es visitandonos.

Por todas estas razones. No proporcionamos versions Demo: si aun no eres completamente conciente del minimo enfoque que nosotros sugerimos (analisis en conjunto de RVF+THF+HVSR), la curva de aprendizaje podria requerir un cierto esfuerzo que la mayoria de las personas no aplican mientras juegan con una version demo.

En el otro lado, nosotros podemos analizar una data suya (por favor, seguir estrictamente las recomendaciones dadas en nuestras guias y la nomenclatura ilustrada en el libro Elsevier – capitulo 2.2).

"Quality is never an accident; it is always the result of intelligent effort" John Ruskin

Data proporcionada

Alguna data es suministrada en la carpeta "data" junto con el software.

El primer set de datos (demo.sgy) suministrado es un espectro de velocidad (y luego una curva de dispersion) tipico de una secuencia de sedimentos no consolidados, sobre la roca: los primeros 13m consiste de sedimentos finos (limo y arenas), luego 5m de conglomerado y a una profundidad de 18m el basamento rocoso.

Esta situacion parece algo compleja, en caso de un alto contraste de velocidades (aqui representado por la roca) la aproximacion $\lambda/2.5$ (ver seccion de maxima profundidad de penetracion) no es suficiente y el usuario tiene que definer un espacio de busqueda.

winMASW[®] permite a proposito usar la opcion "surface bedrock" (ver el Segundo paso del procedimiento de inversion donde el usuario puede forzar al programa modificar adecuadamente los procedimientos en la definicion del espacio de busqueda automatico).

La data representa un evento extremo critico: falta de frecuencia altas porque un suelo muy disipado y sedimentos (muy bajo) sobre la roca a la profundidad justo en el limite de capacidad de penetracion de la señal (de acuerdo a estas armas geologicas).

Nuevamente recordamos que altas velocidades y bajas frecuencias aseguran una penetracion profunda, si se dan determinadas condiciones (la expresión que une velocidad y longitude de onda).

Adicionalmente un lado equivocado de la data depende del hecho que la tercera capa del subsuelo (debajo de las dos primeras superficiales) muestran una clara inversion de velocidad (Vs cerca a 90 m/s) que desequilibra la aproximacion $\lambda/2.5$.

Una posible solucion puede ser usar los modos superiores (si se interpreta correctamente). El usuario puede proceder por consiguiente.



Figura 11. Analisis de la data demo.sgy suministrado por winMASW®.

Afortunadamente, no todos los casos son dificiles. Data proveida <u>somma-st1st2.sgy</u> (distancia entre geofonos y offset minimo a 1.5m – los archivos segy solo administra valores completos y el usuario tiene que ingresar la data correcta cuando cargamos). Esta data es el resultado de las dos datas *stendimento1.dat* y *stendimento2.dat* y de hecho es la solucion mas facil (ambos archivos *stendimento1.dat* y *stendimento2.dat* tienen el formato "*integer16 bits*").

Notar la amplia amplitude de la banda de frecuencia (de 8 a 60hz)

Deberia una inversion de velocidad tomar lugar, la data *somma-st1st2.sgy* tiene que ser modelada/invertida usando al menos 5 capas.

La data <u>test-attenuation-50Hz.sqy</u> es suministrada en orden de ganar confianza con el analisis de la atenuacion. El offset de adquision minimo es 10 m (el valor automatico es 5): notar como las correcciones de la geometria y la curva de atenuacion cambia cuando ingresas el valor correcto o dejas el valor erroneo.

El perfil Vs correcto (el cual obtienes del analisis de la curva de dispersion y la que necesitas cargar antes de proceder con la inversion/modelamiento de la curva de atenuacion) es guardado como el archivo <u>test-attenuation-5strata-ok.mod</u> (carpeta "output").

Como podemos ver en el capitulo acerca del analisis de atenuacion, para esta data la frecuencia maxima usable es 50Hz (no hay señal relacionada a la ondas Rayleigh por encima de este valor – la razon es la presencia de 2 modos, de hecho tu no debes considerar frecuencia por debajo de 18Hz).

La solucion de este sitio es robusto (empezando de la capas mas superficial hacia abajo, considerando $Q_S=Q_P$): 10, 10, 7, 15, 50.

Adicionalmente un util set de datos para analizar la atenuacion es <u>test-attenuation2.sgy</u> (offset minimo de 20m), el cual la solucion es el siguiente modelo (ver tambien el archive *test-attenuation2.mod*):

Layers	V _S (V _P ≈2V _S)	Q _S =Q _P
4	110	12
5	180	13
6	320	19
7	500	40
half-space	700	50

Notar como en ambos casos, la curva de atenuacion fundamentalmente depende de los 10 m superiores.

Para capas mas profundas, los valores Q son altos y la incertidumbre es muy alta (ver capitulos "typical value of the quality factors Q")

Data para analisis ReMi e inversion conjunta de ondas Rayleigh y Love

En el archivo *data/Lamporecchio* va a encontrar 3 set de datos que fueron adquiridos durante un workshop en Tuscany.

Notar que la data relevante de las ondas Love fueron adquiridas con geofonos de 10Hz y por lo tanto tiene resultados pobres a baja frecuencia (y generalemente un poco mas sucio).

El usuario puede proceder con el analisis de la data para practicar, considerando que el modelo de solucion es muy similar al siguiente:

thickness	Vsv	V _{SH}	VP
(m)	(m/s)	(m/s)	(m/s)
2.2	110	100	247
3.0	130	112	343
8.7	170	210	355
-	580	580	1100



En la carpeta "remi_spectra" puedes encontras el espectro de velocidad, resultado del analisis ReMi.

Para ejercitar, cargar la data relevante de la adquisicion MASW de ondas Rayleigh y proceder a picar (ver tambien el archive *Lamporecchio-MASW-Rayleigh.cdp*).

Cargar el espectro de velocidad que obtuviste del analisis ReMi Lamporecchio-ReMispectrum1.mat, Lamporecchio-ReMi-spectrum2.mat, Lamporecchio-ReMi-spectrum3.mat) y poner sobre ella la curva anterior guardada (Lamporecchio-MASW-Rayleigh.cdp).

Puedes ver como ahora, de acuerdo a la teoria, la curva toca debajo de la parte resaltada del espectro resultante del analisis ReMi (y notar como deberias agregar data de baja frecuencia, debajo de 4Hz – 350 m/s)



Por favor considerar que porque una serie de aspectos técnicos (la principal es relacionado a la direccionalidad de la señal y todas sus consecuencia) Nosotros recomendamos usar la metodologia ESAC y no la ReMi

References

- AA.VV. (2005), Procedure Manual (Measurements Protocol & Crew Manual) Part A v.1, NATO SfP project 980857- Assessment of Seismic Site Amplification and Seismic Building Vulnerability in the Former Yugoslav Republic of Macedonia, Croatia and Slovenia, <u>http://nato.gfz.hr/SfP%20%20980857%20manual%20part%20a%20v1.pdf</u> (last access Oct. 2012)
- AA.VV. (2005), SESAME Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations Measurements, Processing and Interpretation. Open file, 62 pp.
- Albarello D. & Lunedei E., 2010. Alternative interpretations of horizontal to vertical spectral ratios of ambient vibrations: new insights from theoretical modeling. Bulletin of Earthquake Engineering 8, 519–534.
- Arai, H., Tokimatsu, K., 2004. S-wave velocity profiling by inversion of microtremor H/V spectrum. Bull. Seism. Soc. Am 94, 53–63.
- Bonnefoy-Claudet S., Köhler A., Cornou C., Wathelet M., Bard P.-Y., 2008, *Effects of Love Waves on Microtremor H/V Ratio*, Bulletin of the Seismological Society of America, 98, 288–300
- Choudhury, P.B. and Sitharam, T.G., 2009. Ground characterization using shear wave velocity for assessment of rippability. Journal of Mines, Metals & Fuels, 57 (10). pp. 317-320. ISSN 0022-2755
- Dal Moro G., 2019. Surface wave analysis: improving the accuracy of the shear-wave velocity profile through the efficient joint acquisition and Full Velocity Spectrum (FVS) analysis of Rayleigh and Love waves. Exploration Geophysics, in press (http://www.publish.csiro.au/EG/justaccepted/EG17116)
- Dal Moro G., Al-Arifi N., Moustafa S.R., 2019. On the efficient acquisition and holistic analysis of Rayleigh waves: technical aspects and two comparative case studies. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, in press
- Dal Moro G., 2019. Effective Active and Passive Seismics for the Characterization of Urban and Remote Areas: Four Channels for Seven Objective Functions. Pure and Applied Geophysics: Available also online: <u>https://doi.org/10.1007/s00024-018-2043-2</u>
- Dal Moro G., Al-Arifi N., Moustafa S.R., 2018. Improved Holistic Analysis of Rayleigh Waves for Single- and Multi-Offset Data: Joint Inversion of Rayleigh-wave Particle Motion and Vertical- and Radial-Component Velocity Spectra. Pure and Applied Geophysics, 175, 67-88. On-line version available from this link
- Dal Moro G. and Puzzilli L.M., 2017. Single- and multi-component inversion of Rayleigh waves acquired by a single 3-component geophone: an illustrative case study. *Acta Geodyn. Geomater.*, vol. 14, No. 4(188), 2017. On-line version available <u>here</u>
- Dal Moro G., Weber T., Keller L., 2018. <u>Gaussian-filtered Horizontal Motion (GHM) plots of</u> <u>non-synchronous ambient microtremors for the identification of flexural and torsional modes</u> <u>of a building. Soil Dynamics and Earthquake Engineering</u>, 112, 243–255



- Dal Moro G., Keller L., Moustafa S.R., Al-Arifi N., 2016. Shear-wave velocity profiling according to three alternative approaches: a comparative case study. Journal of Applied Geophysics, 134, 112–124
- Dal Moro G., 2016. Four Geophones for seven possible objective functions: active and passive seismics for tricky areas. Invited presentation and Extended Abstract for the Urban Geophysics workshop of the 22nd EAGE Near Surface Geoscience conference (4-8 September 2016 - Barcelona, Spain)
- Dal Moro G., Al-Arifi, N., Moustafa S.R., 2016. <u>Assessing ground compaction via time lapse</u> <u>surface-wave analysis</u>. Acta Geodyn. Geomater, 13, No 3 (183), 249-256
- Dal Moro G., Keller L., Poggi V., 2015. A Comprehensive Seismic Characterization via Multi-Component Analysis of Active and Passive Data. First Break, 33, 45-53
- Dal Moro G., Moura R.M., Moustafa S., 2015, *Multi-component Joint Analysis of Surface Waves. J. Appl. Geophysics*, 119, 128-138
- Dal Moro G., Keller L., 2015. Optimizing the exploration of vast areas via multi-component surface-wave analysis. Extended Abstract EAGE June 1-4, 2015 (Madrid Spain)
- Dal Moro G., 2015, Joint Inversion of Rayleigh-Wave Dispersion and HVSR of Lunar Seismic Data from the Apollo 14 and 16 sites, ICARUS, 254, 338-349
- Dal Moro G., Ponta R., Mauro R., 2015. Unconventional Optimized Surface Wave Acquisition and Analysis: a Geotechnical Application in a Perilagoon Area. J. Appl. Geophysics, 114, 158-167
- Dal Moro G., Coviello V., Del Carlo G., 2014, <u>Shear-Wave Velocity Reconstruction via</u> <u>Unconventional Joint Analysis of Seismic Data: Two Case Studies in the light of Some</u> <u>Theoretical Aspects</u>, Extended Abstract for the IAEG (International Association for Engineering Geology and the Environment) XII CONGRESS - Turin, September 15-19, 2014. In "Engineering Geology for Society and Territory - Volume 5" - Springer International Publishing, 1177-1182

Surface Wave Analysis for Near Surface Applications Dal Moro G., 2014, *Elsevier*, 252pp ISBN 978-0-12-800770-9



- Dal Moro G. and Keller L., 2013, Unambiguous determination of the V_S profile via joint analysis of multi-component active and passive seismic data, EAGE Near Surface 2013, Proceedings 19th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, EAGE Near Surface 2013, Bochum, Germany, 9-11 September 2013 [having received a very high score from the reviewers (during its presentation), the work was invited to be published as full paper in *Geophysical Prospecting*]
- Dal Moro G., 2013, *Joint Analysis of Lunar Surface Waves: the Apollo 16 dataset*, Proceedings 19th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, EAGE Near Surface 2013, Bochum, Germany, 9-11 September 2013 [having received a very high score from the reviewers (during its presentation), the work was invited to be published as full paper in *Geophysical Prospecting*]
- Dal Moro G., 2012, Onde di superficie in Geofisica applicata Acquisizione e analisi di dati secondo tecniche MASW e HVSR, Dario Flaccovio Editore, 192 pp
- Dal Moro G. and Ferigo F., 2011, Joint Inversion of Rayleigh and Love Wave Dispersion Curves for Near-Surface Studies: Criteria and Improvements, J. Appl. Geophysics, 75, 573-589
- Dal Moro G., 2011, Some Aspects about Surface Wave and HVSR Analyses: a Short Overview and a Case Study, BGTA (Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata), *invited paper*, 52, 241-259
- Dal Moro G., 2010, Insights on Surface Wave Dispersion and HVSR: Joint Analysis via Pareto Optimality, J. Appl. Geophysics, 72, 29-140
- Dal Moro G., 2008, Tre divagazioni: il mito dell'inversione, MASW in Friuli, esempi di applicazione congiunta MASW-rifrazione. Presentazione ad invito per la Giornata di studio "Monitoraggio Dinamico per la Valutazione della Sicurezza Sismica dei Ponti", Centro Internazionale di Scienze Meccaniche (CISM), Udine, 18 aprile 2007 (in Italian)
- Dal Moro G., 2008, V_S and V_P Vertical Profiling via Joint Inversion of Rayleigh Waves and Refraction Travel Times by means of Bi-Objective Evolutionary Algorithm, J. Appl. Geophysics, 66, 15-24
- Dal Moro G. & Pipan M., 2007, Joint Inversion of Surface Wave Dispersion Curves and Reflection Travel Times via Multi-Objective Evolutionary Algorithms, J. Appl. Geophysics, 61, 56-81

- Dal Moro G. & Gabrielli P., Presentazioni *Power Point* sull'analisi delle onde superficiali e il software *winMASW*[®] presentate al GEOFLUID2006, Piacenza, 4-7 Ottobre 2006 (CD di *winMASW*[®] cartella *documenti*)
- Dal Moro G., Pipan M., Forte E., Gabrielli P., Sugan M., Forlin E. & Finetti I., 2005, Shear-Wave Profiling via SH Reflection Analysis and Rayleigh Wave Inversion, Riassunto Esteso per il convegno SEG (Society of Exploration Geophysicists) 2005, 75th Annual Meeting, Huston, Texas, November 2005
- Dal Moro G., Pipan M. & Gabrielli P., 2007, Rayleigh Wave Dispersion Curve Inversion via Genetic Algorithms and Posterior Probability Density Evaluation, J. Appl. Geophysics, 61, 39-55
- Dal Moro G., Forte E., Pipan M. & Sugan M., 2006, Velocity Spectra and Seismic Signal Identification for Surface Wave Analysis, Near-Surface Geophysics, 4, 243-251
- Dal Moro G., Pipan M., Forte E. & Finetti I., 2003, <u>Determination of Rayleigh wave dispersion</u> <u>curves for near surface applications in unconsolidated sediments</u>, SEG (Society of Exploration Geophysicists) Proceedings, 73st Annual Int. Mtg. (Dallas, Texas, October 2003)
- Di Giulio G., Cornou C., Ohrnberger M., Wathelet M., Rovelli A., 2006, Deriving Wavefield Characteristics and Shear-Velocity Profiles from Two-Dimensional Small-Aperture Arrays Analysis of Ambient Vibrations in a Small-Size Alluvial Basin, Colfiorito, Italy, Bulletin of the Seismological Society of America, 96, pp. 1915–1933
- Fah D., Kind F., Giardini D.; 2001, A theoretical investigation of average H/V ratios. Geophys. J. Int., 145, 535-549.
- Fasan, M., Magrin, A., Amadio, C., Romanelli, F., Vaccari F., and G.F. Panza (2016). A seismological and engineering perspective on the 2016 Central Italy earthquakes, *Int. J. of Earthquake and Impact Engineering* **1** 395–420.
- Gaherty, J.B., 2004, A surface wave analysis of seismic anisotropy beneath eastern North America, Geophys. J. Int., 158, 1053-1066
- Gerstoft P. & Mecklenbrauker C.F., 1998, Ocean acoustic inversion with estimation of a posteriori probability distributions, J. Acoust. Soc. Am., 104, 808-819
- Goldberg D. E., 1989, *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 412 pp.
- Herak M., 2008, ModelHVSR A *Matlab* tool to model horizontal-to-vertical spectral ratio of ambient noise, Computers & Geosciences, 34, 1514–1526
- Herrmann R.B. 2003, Computer Programs in Seismology. Open files (http://www.eas.slu.edu/People/RBHerrmann/CPS330.html)
- Lunedei E., Albarello D., 2009, On the seismic noise wavefield in a weakly dissipative layered Earth, *Geophys. J. Int.*, 177, 1001-1014
- Luo Y, Xia J., Miller R.D., Xu Y, Liu J., Liu, Q., 2009, *Rayleigh-wave mode separation by highresolution linear Radon transform.* Geophysical Journal International, 179, 254-264.

- Luo Y., Xia J., Xu Y. & Zeng C., 2011, Analysis of group-velocity dispersion of high-frequency Rayleigh waves for near-surface applications. Journal of Applied Geophysics, 74, 157-165.
- Moura R.M., Noronha F., Almeida F. & Dal Moro G., 2012, V_S measurements through dispersive wave methods in the urban environment of Porto (North Portugal), 15th World Conference on Earthquake Engineering, 24-28 September 2012, Lisbon (Portugal)
- Naito Y. and Ishibashi T. *Identification of Structural Systems from Microtremors and Accuracy Factors* (1996). Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco, Mexico, Paper No. 770
- Ohori M., Nobata A., Wakamatsu K., 2002, A Comparison of ESAC and FK Methods of Estimating Phase Velocity Using Arbitrarily Shaped Microtremor Arrays, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 92, No. 6, pp. 2323–2332, August 2002
- O'Neill A., Dentith M., List R., 2003, Full-waveform P-SV reflectivity inversion of surface waves for shallow engineering applications, Exploration Geophysics, 34, 158–173
- Park C. B., Miller R. D., & Xia J., 1999, *Multichannel analysis of surface waves, Geophysics*, 64, 3; 800–808
- Park C.B., 2002, *Multichannel analysis of surface waves* (MASW). MASW Workshop Notes, open file (http://www.terrajp.co.jp/MASW_Workshop_Tokyo.pdf)
- Park D. & Hashash Y.M.A., 2004, Soil Damping Formulation in non-linear Time Domain Site Response Analysis. Journal of Earthquake Engineering, 8, 249-274
- Rix G.J., Lai C.G., Spang A.W. Jr., 2000, *In Situ Measurement of Damping Ratio Using Surface Waves*, Journal of Geothecnical and Geoenvironemanteal Engineering, 126, 472-480
- Robertsson, J.O.A., Pugin, A., Holliger, K., Green, A.G., 1995. Effects of near-surface waveguides on shallow seismic data. 65th SEG, Meeting, Houston, USA, Expanded Abstracts, 1329–1332.
- Rosa-Cintas S., Galiana-Merino J.J., Molina-Palacios S., Rosa-Herranz J., García-Fernández M., Jiménez M.J., 2011, Soil characterization in urban areas of the Bajo Segura Basin (Southeast Spain) using H/V, F–K and ESAC methods, Journal of Applied Geophysics, 75, 2011, 543–557
- Roth, M., Holliger, K., 1999. *Inversion of source-generated noise in high-resolution seismic data*. The Leading Edge 18, 1402–1406.
- Ryden, N., Park, C.B., Ulriksen, P., and Miller R.D. (2003). Lamb wave analysis for nondestructive testing of concrete plate structures. Proceedings of the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems (SAGEEP 2003), San Antonio, TX, April 6-10, INF03.
- Safani J., O'Neill A., Matsuoka T., Sanada Y., 2005, Applications of Love Wave Dispersion for Improved Shear-wave Velocity Imaging, Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 10, 135–150
- Schnabel, P.B., Lysmer, J. and Seed, H.B., 1972. SHAKE A computer program for earthquake analysis of horizontally layered sites. Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Report No. EERC 72-12.

- Stesky, R.M.,1978. Experimental compressional wave velocity measurements in compacting powders under high vacuum - Applications to lunar crustal sounding, Proc. Lunar Sci. Conf. 9th, 3637-3649.
- Tokimatsu, K., Tamura, S., Kojima, H., 1992. Effects of Multiple Modes on Rayleigh Wave Dispersion Characteristics. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 118, 10, 1529-1543.
- Tokimatsu K., 1995, *Geotechnical Site Characterization Using Surface Waves*, Proc., First Int. Conf. on Earthquake Geotechnical Eng., pp. 1333-1368.
- Tonn R., 1991, The Determination of the Seismic Quality Factor Q from VSP Data: a Comparison of Different Computational Methods, Geophysical Prospecting, 39, 1-27
- Xia J., Miller R.D., Park C.B., Tian G., 2002, *Determining Q of near-surface materials from Rayleigh waves*. J. Appl. Geophysics, 51, 121-129
- Xia. J., Miller R.D., & Park C.B., 1999, *Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh waves*, Geophysics, 64, 691-700
- Kohler A., Ohrnberger M., Scherbaum F., Wathelet M., Cornou C., 2007, Assessing the reliability of the modified three-component spatial autocorrelation technique, Geophys. J. Int. (2007) 168, 779–796
- White R.E., 1992, *The accuracy of estimating Q from seismic data*, Geophysics, 57, 1508-1511.
- Zhang S.X. & Chan L.S., 2003, Possibile Effects of Misidentified Mode Number on Rayleigh Wave Inversion, J. Appl. Geophysics, 53, 17-29



Apéndices

Apéndice A: adquisición de data

Por favor ver también las guías para adquisiciones MASW, ReMi, ESAC y HVSR ubicados en la carpeta de instalación *winMASW*[®] (subcarpeta "documents")

La adquisión de la data que propone el análisis MASW no es diferente de la que propone estudios de refracción.

Sólo tienes que ordenar geófonos (geófonos estandar de componente vertical si necesitamos analizar las ondas Rayleigh o geófonos de componente horizontal si necesitamos analizar las ondas Love) alineados con la Fuente (ver Figura A1) usando como fuente de energía una comba vertical que genera ondas Rayleigh o transversal para ondas Love.



Figura A1. Arreglo sísmico. En caso uses fuente de impacto vertical (la tradicional caida de comba) y geófonos verticales, vas adquirir data útil para la componente vertical de la onda Rayleigh. Usando geófonos horizontals puedes grabar ambos: ondas Love y Rayleigh (ver el libroo nuestra Guía en la carpeta de documents).

Recordar que geófonos horizontales pueden ser usados para grabar tanto ondas Love y Rayleigh (componente radial), esta optimiza el proceso de adquisicón (ver por ejemplo el libro Elsevier y todos los artículos y casos de studio disponibles en nuestra web).

Por favour, usar ello en vez de usar geófonos verticales (ellos solo pueden grabar la componente vertical de las ondas Rayleigh – usualmente muy problemática en términos de complejidad de espectro de velocidad).



Figura A2. Ejemplo de dos Common shot gather: el ensachamiento de la señal inicial, debido a la dispersióm de las ondas superficiales es claro. (en este caso ondas Rayleigh) En la adquisición es importante de tener claro que las ondas superficiales tienden a no ser cortados por tiempo de adquisición reducidos. En el caso mostrado, un tiempo de adquisición por debajo de 0.40 segundos podría causar pérdida de señal útil para analizar.

En el caso como se reporta en la figura A2, un tiempo de adquisición de medio segundo puede ser suficiente. A propósito, problemas vienen desde el corte de la data (ver cuadro "efecto de data cortada") debe evitarse, evitando como obtener más data de la útil.

En el actual caso 1 segundo es más que suficiente: excesivo incremento de tiempo puede darnos un incremento de la relevancia de la data sin mejora relevante de la calidad de datos.

Material	Vs (m/s)
Suelo incopetente	60 – 180
Suelo competente	180 – 350
Suelos muy competente y gravas	350 - 600
Roca fracturada	600 -1000
Roca sana	> 1000

Tabla A2. Valores aproximado de Vs de diferentes materiales.

Adquición Sísmica Pasiva (ESAC y ReMi)

En una adquisición ReMi, nuestro interés es registrar la dispersion de ondas de superficie generada por microtremores (i.e. eventos de de cualquier naturaleza, incluso de origen humano, procedentes de fuentes desconocidas pero tipicamente lejos y afortunadamente contienen bajas frecuencia que las generadas por la adquisición de la sísmica active).

Con respecto a estas bajas frecuencias, algunos puntos deben ser resaltados:

En orden de registrar con calidad suficiente, la señal de coherencia a baja frecuencia, dos aspectos deben ser considerados:

1. Necesidad de arreglos mas largos (que permite una major definición de la coherencia relacionada a la señal de dispersion a baja frecuencia).

2. Uso de geófonos particularmente sensibles de baja frecuencia (asegurarse de tener geófonos de buena calidad de 4.5 Hz o menor).

Una última consideración de la longitud útil de data para el análisis ReMi.

A last consideration on the dataset length useful to the ReMi analysis.

El objetivo del análisis ReMi es el registro de eventos el cual no sabemos el origen y el momento cuando ellos suceden. Por lo tanto podemos cambiar en el sismógrafo y, a través de 24 geófonos, registramos que pasa en la esperanza de obtener una buena señal.

Esto significa que los registros necesitan ser mas largos. Muchos sismógrafos están limitados en esto. Aconsejamos de realizar de manera diferente registros uno por uno (en orden de no sopesar mucho el software) en orden de registrar 5 minutos (la longitud de cada data no deberá ser menos de 30 segundos).

Si por ejemplo nuestro sismógrafo permite tomar data para un minuto, Podemos hacer 5 registros de 1 minuto cada uno. Gracias a *winMASW*[®] podemos estar libre de cargar y analizar data y escoger el espectro de velocidad definido.

Espaciamiento entre geófono	Arreglo debe ser lo más largo posible	
(m)		
	Geófono de componente vertical (basicamente, a	
	parte de aplicaciones académicas, en sísmica	
Tipo de geófonos	pasiba solo puedes analizar la dispersion de las	
	ondas Rayleigh)	
	Frecuencia natural: 4.5 Hz (o menos)	
	10-20 minutes	
Tiempo de registro (s)	(puedes adquirir archivos diferentes cada minuto de	
	largo, para un total de 10 a 20 minutos)	
Número de canales /trazas de	Para aplicaciones más communes (arreglos hasta	
geófonos	de 80m), 12/16 son suficientes usualmente.	
<i>dt</i> (muestro vertical)	0.004 s (4 ms, 4 milisegundos) y hasta 8 ms	
	No AGC (Automatic Gain Control)	
Recomendaciones	No filtrado	

Tabla A3. Resumen de parámetros sugeridos en la adquisición de sísmica pasiva (ReMi o ESAC).

Nota de adquisiciones ReMi

La razón el porqué las medidas de ReMi son siempre requeridas en lugar (ó juntas) del MASW es que el ReMi puede coger frecuencias bajas, hacienda que el investigador llegue a profundidades mayores.

Esto no está mal, pero algunos problemas dentro del mismo análisis de la diseprsión de las ondas superficiales puede ser un poco surealista (prácticamente hablando).

Para abreviar, recordamos que para tener buenos resultados a bajas frecuencia, necesitas arreglos largos y geófonos muy sensibles (bajas frecuencias).

Acerca de medidas de arreglos pasivos, recomendamos ESAC (que está basado en adquisición con geometría bi-dimensional donde la directividad es un problema resuelto y la robustes promedio de las matemáticas detrás puede proveer mejores resultados).

Si no estás completamente Seguro acerca del major equipo a comprar para analizar ondas superficiales (tipo y número de geófonos y tipo de velócimetros tri-axial para medidas HVSR), por favour escribirnos y le daremos recomendaciones.

winMASW@winMASW.com
Recomendaciones especiales acerca de la adquisición propuesta para analizar la atenuación (MASW data)

Si deseas analizar la atenuación de la señal sísmica en orden de estimar los factores Q de calidad cuando adquieres la data en campo, debes ser cauto.

Un principio básico (actualmente valido para todas las adquisiciones) es que la data de campo tiene que ser lo mas fidedigno. En otras palabras, deben representar condiciones experimentales.

La introducción de filtros, ganancias, etc altera la origininalidad de la data, durante el análisis de la data en gabinete, muchas operaciones pueden ser introducidad (filtro, ganancias, correcciones, etc). en orden de resaltar algunas carácterísticas en lugar de otras.

Cuando analizamos la atenuación de las ondas sísmica, hay algunos puntos a considerer:

- 1. La ganancia debe ser la misma para todos los canales.
- 2. Ninguna traza debe tener señales de saturación.
- 3. Estar seguro de tener buenos geófono clavados correctamente.

La razón para esa prudencia (para ser seguida en cualquier adquisición) se basa en el hecho que el análisis de la atenuación sísmica es propuesta en cuantificar el decrecimiento de la amplitude de la señal sísmica de acuerdo a la distancia (y para diferentes frecuencias de la señal).

Debe estar claro que alteraciones pueden dañat el análisis de la atenuación de la señal. Desde que la atenuación varía de acuerdo a la frecuencia (como para la dispersion, bajas frecuencias son sensitivas a suelos mas profundos).

Finalmente, desde una pareja de geófonos de mala calidad puede darnos una data de mala calidad con amplitudes alteradas, estar Seguro que los geófonos estén permanentemente bien clavados al suelo.

¿Qué es la saturación de la señal? Siguiendo la figura podemos aclarar el problema. Como puedes ver en algunas porciones de las trazas están cortadas porque la señal está sobre el rango dinámico del instrument, como una ganancia excesiva puede ser definida durante la adquisición.



Como problema debe ser evitada todo el tiempo que trabajes con análisis en el área de frecuencias (para análisis de ambas curvas de dispersión y atenuación).

Es obvio que el valor de la ganancia no debe ser excesivo (evitar saturación) y el mismo para todas las trazas (si necesitamos evaluar la amplitude con el decresimiento del offset).

En winMASW® puedes verificar la amplitude real de las trazas dando click en "test

amplitude" en la sección dedicada a la atenuación.

Una vez cargada la data puedes analizar, click en "test amplitude": lo siguiente reportado abre una Ventana mostrando la dat original y la correcta en gemotría.



Como puedes ver en la corrección geométrica (function del offset) aumenta ligeramente la amplitud.

De hecho siguiento con los objetivos de analisis para la medida del valor del decrecimiento de la amplitud relacionada a la unica componente viscosa y no al factor geometrico relacionado a la distribución de energía sobre un frente mas ancho. Cual componente es llamado "geométrica"

En el botón de la ventana puedes ver el decrecimiento de la amplitude para ambos límites de frecuencia como se especifica en la ventana principal ("frecuencias min y max").

En la realidad, cual es ploteado de acuerdo al offset es el logaritmo de la amplitude. Esta forma, la relacion entre la amplitude y el offset (en su forma exponencial) se hacen lineal.

La dispersión de la data, como se observa, para baja frecuencias puede ser debido a diferentes razones: problemas relacionados a los efectos de campo cercano (mayor para bajas frecuencias) o components relacionadas a ondas de cuerpos, ruido de data, aparición de diferentes modos de las ondas superficiales, etc.

Apéndice B: combinación de 2 set de datos

Desde el panerl principal puedes acceder a la utilidad de combiner dos set de datos adquiridos separadamente (con dos diferentes geometrías). En el caso tradicional son dos set de datos cada uno hecho con 12 canales (muchos usuarios no disponen de 24 canales) el objetivo es obtener una data de 24 canales para ver un espectro de velocidad a mayor detalle. Para hacer esto, asegurarse de ejecutar ambas adquisiciones correctamente.

Hay al menos 3 maneras de adquirir usualmente la data para esta operación (ver la siguiente figura).



La más rápida es el primer modo (a). con *winMASW*[®] puedes trabajar con cualquiera de estos 3 casos. En el siguiente ejemplo de adquicion desarrollada mientras consideramos el tercer tipo (Mode "sequence" (type#2))

De cualquier modo recorder: lo realmente importante no es el número de canales (típicamente 12 son absolutamente suficiente – ver e.g. Dal Moro et al., 2003) pero la longitude total del arreglo (see also the Elsevier book - paragraph 2.2.1).

dataset#1: distancia entre geófonos 1.5m, min offset: 1.5m dataset#2: distancia entre geófonos 1.5m, min offset: 19.5m

Es obvio que la distancia entre geófonos tiene que ser la misma y el offset mínimo de la seguna data tiene que ser igual al ultimo offset de la dataset#1 mas el valor igual a la distancia entre geófonos.



El punto importante es usar un set de datos de 24 canales reportados en la Ventana relevante al espectro de velocidad obtenido cuando consideramos el espectro por separado y, finalmente, ventanas referidas a 24 canales en total hecha de dos set de datos de 12 canales.

Espectro de velocidad obtenido considerando solo el dataset#1 (offset cercano)





Espectro de velocidad obtenido considerando solo el dataset#2 (offset lejano)

Con offset distanciado las bajas frecuencia son evidentes pero el valor de velocidad mas apropiado puede resultar poco claro (desde la escasa numero de trazas) y depende de la elección del usuario; cual velocidad tiene que ser picada a 10Hz.



Obtención del espectro de velocidad considerando una data completa (suma de dos set de datos)

En este caso el espectro de velocidad es major definido (comparar la amplitud de la barra de coherencia en rojo con las anteriores). Para amplitudes realacionadas a las bajas frecuencias no temenos la misma fuerza de las altas, pero estamos ahora permitiendo identificar major la velocidad referente a 10Hz (aproximadamente 600 m/s).

Combinando 2 set de datos SAC

Set de datos SAC son hechos de solo una traza (con el formato usualmente adoptado en sismologia pasiva). Es possible combiner dos (o mas) set de datos SAC (usando el modo de secuencia) y eventualmente obteniendo un se de datos que se pueda usar en MASW y MFA.

Apéndice C: Procesamiento del módulo elástico.

Del panel principal, una utilidad de calculary una serie de modulos elásticos (de los valores de Vs, Vp y densidad).

Velocidades tienen que ser expresadas en m/s, y la densidad en gr/m³ mientras el módulo calculado (módulo de Young, corte, compression y de Lamé λ) tienen que ser expresados en MPa (mega pascal) (Módulo de Poisson y el radio Vp/Vs son adimensionales)

Recordar que el Vp estimado desde el análisis MASW no debe ser considerado (y largamente depende del valor de Poisson que puede setear antes de lanzar la inversión).

El único módulo que podemos considerer como buena estimación de los valores reales es el módulo de corte (este no depende del Vp). Esta utilidad es muy útil porque considera el Vs obtenido por el MASW y el Vp obtenido por el estudio de refracción el cual podemos obtener un estimación aproximada del módulo.

winMASW: calcolo moduli e	lastici		
Input		ī	
VS (m/sec):	600		
VP (m/sec):	1000		
Densità (gr/cm3):	2.1		
		Calcola	Reset
— Moduli elastici ————			
Poisson:	0.21875		
Modulo di Young (MPa):	1843		
Modulo di taglio (MPa):	756		
Modulo di compressione (MPa):	1092		
Modulo di Lamé (MPa):	588		
Rapporto VP/VS:	1.66667		Esci
		-	

Fórmulas para expresar el módulo de acuerdo al Vs, Vp y densidad:

Módulo de Poisson (adimensional)	$(V_P^2 - 2V_S^2)/[2(V_P^2 - V_S^2)]$
Módulo de Young (en Pa)	$\rho V_{s}^{2}(4-3k^{2})/(1-k^{2})$
Módulo de Corte (en Pa)	$ ho V_s^2$
Módulo de Lamé λ (en Pa)	$\rho V_s^2 \left(k^2 - 2\right)$
Módulo de Comprensión (en Pa)	$\rho V_s^2 \left(k^2 - 4/3 \right)$

Donde:

 $k = V_P/V_S$ (adimensional) ρ = densidad (kg/m³)

 V_{S} y V_{P} = Velocidad de ondas de corte y compresionales en m/s.

Desde luego, para cambia el valor de Pascal a valores de Megapascal, solo divider el valor entre 10⁶ (Mega = 1 millon)

Apéndice D: Herramienta para comparar dos set de datos activos

En el panel de utilidad, hay una sub-sección "*managing active data*". Una de estas herramientas es "*compare 2 datasets*":

承 winMASW® - Surface Waves & Beyond
www.winmasw.com
managing active data vertical stack
compare 2 datasets multiple-dataset filtering
combine 3C data
combine 2 datasets ?

Dando click en ella, puedes cargar 2 set de datos (sísmica active) grabada mientras se considera los mismos parámetros de adquisición (frecuencia de muesrtreo, tiempo de grabado y arreglo geométrico).

Estas dos set de datos pueden ser dos golpes diferentes de la misma adquición, o golpe directo y reversa del mismo arreglo (unido mientras movemos la fuente al lado opuesto del arreglo), o pueden ser dos set de datos adquiridos en el mismo lugar en dos diferentes días (por ejemplo antes y despues de proceso de compactación de suelos) etc.



¿que es lo que puedes obtener es algo asií (dos tipos de resultados)?:

Comparación de trazas sísmicas adquiridas (a la izquierda amplitudes reales, a la derecha amplitudes normalizados – traza por traza).



Espectro de velocidad de 2 set de datos (indicado en la parte superior de los ploteos).

En el caso de 2 set de datos fueron adquiridos en el mismo lugar, antes (pre) y después (post) de un proceso de compactación (ver <u>Assessing ground compaction via time lapse surface-</u> wave analysis - Dal Moro et al., 2016).

El siguiente ejemplo: en este caso 2 set de datos que provienen de una adquisición directa y reversa (la fuente es movida en dos lados del arreglo) y en este caso ellos son practicamente identicos.



Apéndice E: Creando secciones 2D

In the *Academy* version (and in *HoliSurface*), among the several utilities there's a tool ("2D velocity contouring") that can help you in creating 2D sections by considering a certain amount of V_s vertical profiles.

承 winMASW® - Surface Waves & Beyond	- 🗆 X
www.winmasw.com	utilities
managing active data vertical stack compare 2 datasets multiple-dataset filtering combine 3C data	managing passive data TCEMCD concatenate data concatenate HVSR
combine 2 datasets ? pre-processing SEG to SAF conversion	post-processing & miscellanea – elastic moduli Vs30 at foundation
2D and 3D data 2D GPS positioning 2D velocity contouring 3D project/visualization	Stesky's equation calculator [in HS] area percentage image2segy

Todo es manejado por bajo un archive de Proyecto guardado como un archivo simple ASCII (.txt).

Aquí un ejemplo de archivo de Proyecto (el que puedes también descargar de nuestra pagina web).

Swiss - profile#1 2
404.8000 404.2000 404.4000 405.2000 405.4000 405.8000 405.9000 406.3000
406.7000 407.2000 406.9000 407.6000 409.2000 409.7000 410.4000 411.5000
412.4000 414.5000 417.7000 424.1000
0 50 93 145 194 242 293 348 397 445 492 538 597 647 693 740 785 821 888 933
model1.mod
model2.mod
model3.mod
model4.mod
model5.mod
model6.mod
model7.mod
model8.mod
model9.mod
model10.mod
model11.mod
model12.mod
model13.mod
model14.mod
model15rep.mod
model16.mod
model17.mod
model18.mod
model19.mod
model20.mod

- ✓ En la primera linea debes escribir el nombre del Proyecto.
- ✓ La segunda linea no es considerado (pero no lo borres solo dejalo ahi).
- ✓ En la tercera linea se reporta los valores de topografía para cada punto considerado (en caso no tenga valores, por favour solo escribir cero (0)).
- ✓ En la cuarta línea se reporta la posición de cada punto considerado para el cual tengas tu perfil Vs (i.e. modelo – ver luego). Luego de eso, debes reporter los nombres de los archivos .mod (punto por punto).

<u>Ser cuidadoso</u>: todos los modos (archivos .mod) debe tener el mismo numero de capas.

En nuestro ejemplo (ver arriba) estamos trabajando con secciones 2D por considerer 20 puntos (i.e. 20 perfil V_S representados en 20 archivos .mod): el primer punto (model1.mod) refiere al punto 0 (ver el primer valor en la cuarta línea), el Segundo punto refiere a la posición 50 y asi en adelante).

Todos los archivos .mod (reportan perfiles Vs para cada punto) deben estar en la misma carpeta como archivo de proyecto.

El proyecto usado aquí es un ejemplo (las figuras aquí reportadas) pueden descargarse del siguiente link: <u>http://download.winMASW.com/data/2Dsection.rar</u>

Para jugar con esto, descargar, deszipiarlo y luego cargar el archivo de la carpeta NAGRA16_2Dprofile.txt project.



Una vez cargaste tu proyecto, en el cuadro de profundidad se muestra la profundidad del punto más profundo de los modelos .mod

El usuario define ahora la máxima profundidad a adopter en la visualizacion de la sección 2D (esto nunca será la profundidad de punto más profundo) y la máxima velocidad de la escala. Un porcentaje de suavizado lateral puede/debe tambíen ser definido/modificado.

Por favor probar modificar estos parámetros (mientras usamos nuestra data/ejemplo) en consecuencia para ser familiar con esto (los mejores parámetros a usar claramente depende del sitio, carácteristicas de la data y los actuales objetivos) tu interés debe estar en resaltar algunos puntos sobre otros.

Puedes también escoger si resaltar o no los puntos del perfil (solo activar/desactivar el checkbox de "show profiles" (ver imagen debajo).



Sección 2D [el checkbox "show profiles" no está activo]



Sección [el checkbox "show profiles" está activo]

Archivo Excel de salida

En la carpeta de trabajo, también es quardado un archive xls (excel) que contiene una matriz de Vs obtenidos.

El nombre del archivo (e.g. VsMATRIX_dx9m_dz0.6m.xls) reporta el delta x (dx - a traves de la dirección de línea y el delta z (a través del eje vertical) de la matriz reconstruida. En el archive ejemplo, los puntos son separados por 0.6 metros verticalmente y por 9 metros horizontalmente (dirección dentro de línea).



Ver también: Trabajando para reconstruir la sección 2D

Si activas la opción "*show also topography*" y en tu archive de proyecto la topografía esta reportada (ver la tercera linea del archive de proyecto), puedes obtener una suerte de esta imagen:



Durante el procesamiento, una ventana se mostrará (por favor esperar hasta que el trabajo termine y la ventana se cierre automáticamente):



Todas las figuras son automáticamente guardados en la carpeta de trabajo, pero puedes guardar ello en cualquier lugar (y con cualquier nombre) usando los iconos de la barra de herramienta ("File -> Save as").

Activando la opción "log scale (3D plot)", ñas velocidades son ploteadas de acuerdo a la escala logaritma, el cual puede ser usualmente mejor resaltado las variaciones laterales. En el jemplo debajo, la escala logaritmica permite ponee en evidencia el área de turba (muy baja velocidad) en el medio de la sección 2D. Los círculos verdes refieren a la opción de nuestra data (el checkbox "show profiles" está activo).



Appéndice F: Casos de estudio, procesamiento, etc

Algunos casos de estudio están incluidos en la sub-carpeta "documents" (dentro del directorio de instalación *winMASW*[®]) y sugerimos descargar los casos de estudio y artículos disponibles de nuestra web (<u>www.winMASW.com</u>), en el área de publicaciones.

Más casos de estduis son enviados a nuestros usuarios a través de nuestro newsletter.





Apéndice G: La ecuación de Stesky

Materiales usualmente muy mezclado como las gravas pueden tener valores Vs muy difetentes (aproximadamente en el rango de 300 a 500 m/s), dependiendo de la cantidad relativa de bloques y matriz fina (usualmente compuesta de arena o arcilla – ver Figura 1.16 of the "Surface Wave Analysis for Near Surface Applications" Elsevier book).

Respecto a esto puede ser interante reporter la ecuación descrita en la velocidad efectiva resultante cuando 2 diferentes materiales están mezclados (Stesky, 1978):

$$\frac{1}{v_{\rm m}} = \emptyset \frac{1}{v_{\rm A}} + (1 - \emptyset) \frac{1}{v_{\rm B}}$$

Donde V_m es la velocidad del material mezclado, V_A y V_B son velocidades de materiales A y B, \emptyset la fracción de volume del material A en el medio mezclado.

Apéndice H: herramienta de conversion de seg a SAF

La herramienta usada convierte la data de seg a formato SAF presentado también en antiguos lanzamientos, pero en los más recientes (7.3 a más recientes) está significativamente mejorado.

Es usual para 2 razones:

1) En el caso de data pasiva adquirida por sensor tri-axial, es es usado para obtener archivos SAF para usarlo en análisis HVSR.

2) En el caso de data activa, esto puede usarse para obtener la data usada para análisis *HoliSurface*®



Ahora puedes definir:

1) <u>unidad de medida</u>: en caso la data obtenida de tu equipo tiene un significado físico, puedes definit esto (velocidad o aceleración). En caso no lo sepas, solo pon "count".

2) El offset (esto es relevante para la data HoliSurface – data activa adquirida mientras consideramos un geófono tri-axial).

3) Notar que sobre la data/adquisición. Esto es extremadamente útil por ejemplo en caso conviertas la data para análisis HVSR dese indicas información auxiliar como el acoplamiento y condiciones ambientales y cualquier otro que puede ser importante considerer mientras procesas la data.

Cuando cargas el archivo obtenido en SAF en el *winMASW*[®] o *Holisurface*[®] (por ejemplo en el módulo HVSR), esta nota puede ser mostrado automáticamente.

Esto también es possible para definer un factor multiplicador. La data puede ser multiplicada por un factor y guardada en el archive SAF.

Más Adelante: si estás usando el sistema de adquisición Holi que recomiendes (un Sistema de adquisición de 24 bit con series de largas series de atractivas características) las coordenadas GPS pueden guardarse automáticamente en el archive SAF (el software *winMASW*[®] y *Holisurface*[®] pueden luego leers y automáticamente mostrarse en la posición Google Earth).

HS	承 winMASW® - HoliSurface® - cor	nverting seg/segy data to SAF	-	×
**	working folder	dataset: SSR30min.seg2		
HoliSurface 6.0	input file	total time: 1799.992 s		
	✓ resample to about 62Hz [16 ms]	sampling: 8 ms		
	1 UD (vertical) channel	number of channels: 24		
3 EW (horizontal) channel	number of samples: 225000			
	Counts v 1 multiplicative factor	offset (m):		
	show selected traces	notes: good coupling, sunny, no wind	sav	e & exit
		notes to add to th	e SAF file	

Apéndice I: Procedimientos en breve

De aquí en adelante puedes encontrar la secuencia de procedimientos que siguen los diferentes tipos de análisis disponibles. Refieren a cada sección relevante a detalles en produndidad necesaria.

Independientemente del tipo de análisis que intentas desarrollar, la primera acción a hacer es seleccionar la carpeta de trabajo de la ventana principal *winMASW*[®] (Botón "working folder"). Este es una carpeta (previamente creada por el ususario) donde todos los campos del set de datos fueron guardado/copiados y donde los resultados del análisis desarrollado puede ser almacenado.

Análisis MASW (ondas Rayleigh y Love)

- 1. De la ventana principal abierta en la sección "Velocity spectrum, Modelling & Picking"
- 2. Cargar la fecha de sitio (primer botón superior izquierdo) revisando los parámetros de adquisición son correctos.
- 3. Determinar el espectro de velocidad dando click en "espectro calculado" (en la sección #2 a la derecha de la Ventana) (recordar escoger los límites del espectro en las bases de características de referencia).

Ahora hay 2 posibilidades (a usarse en conjunto en orden de guiar al usuario a definer la solucion final razonable en base del conocimiento geológico previo):

a) Proceder con el modelamiento directo de las curvas de dispersión.

b) Ejecutar el picking a la curva de dispersión (esto es siempre nuestra interpretación), cuardar la curva y proceder con la inversion.

Recomendamos fuertemente el primer enfoque (modelamiento directo) como este permite (fuerzas) un control complete sobre el proceso: el usuario puede interpreter la data en la base de conocimiento estratigráfico.

En orden de seguir este modo, click en "parameters" en la sección "modelling" y inserter la data relevantes a los espesores y Vs de las capas.

El objetivo es obtener la curva de dispersión que puede perfectamente superponerse (coherentemente) sobre la distribución de energía mostrada por el espectro de velocidad calculada.

Si por ejemplo deseas hacer este proceso (buscar la mejor solución) automáticamente, proceder con el picking de la curva de dispersión y pasar a la sección "inversion". Aquí puedes escoger el número de capas a usar en la inversión o, en el caso un modelo robusto fue previamente detectado (en el modelamiento directo) y guardado, puedes cargar este (option#2, "*from reference model*").

Una vez corregido otros parámetros definen los detalles del proceso de inversión (ver sección en el manual) lanzados (botón "RUN") en el proceso.

Cual podemos sugerir un enfoque mixto donde la inverisón automática ayuda dentro del modelamiento directo hecho por el usuario en la base otorgado por el conocimiento estratigráfico.

Debido al no unico problema, si sólo confiamos en la inversión automática puedes obtener soluciones riegosas que pueden ser numéricamente finos (misfit limitado) pero no perfectamente correlacionados con la sísmica local y situación estratigráfica.

Análisis ReMi (sólo ondas Rayleigh)

- 1. De la ventana principal abrir la sección "ReMi spectra"
- 2. Una vez cargada la data (al menos 1 minuto de grabado) y corregida los pocos parámetros que calculan el espectro de velocidad lanzando el procedimiento con un click en "spectra calculation" (tartar con diferentes longitudes del análisis de ventana, con un mínimo de 4 segundos para la longitud total de la data).
- 3. Guardar el mejor espectro definido (resaltar esto a través el pequeño botón).
- 4. Entrar a la sección "Velocity spectrum, Modelling & Picking" dando click en "analyze saved spectrum"
- 4. En esta sección solo cargar el espectro guardado dando click en "*upload ReMi spectrum*"

El resto de la operación (modelamiento directo y/o inversión) es absolutamente similar al anteriormente reportado en el análisis MASW.

Recordar que los modos de interpretación/picking para datos ReMi es diferentes del MASW (ver sección 4.1)

Análisis de Atenuación

En orden de analizar la atenuación de las ondas Rayleigh, primero necesitas determiner el perfil Vs vertical (e.g. por medio del análisis de disperción MASW) en un formato ASCII .mod (donde el espesor Vs, Vp y densidades (y preliminarmente los valores Qs y Qp) son reportados).

- 1. Abrir la sección "Attenuation analysis": esta puede lanzarce desde diferentes panels: la principal "single-component analysis" ó "Joint Analysis of Rayleigh & Love".
- 2. Cargar el archivo sísmico (data sísmica active) dando click en el botón superior izquierdo.
- 3. En el caso de refracciones fuertes o limpieza de otros ruidos (activar y seleccionar).
- 4. Visualizar el espectro de velocidad (botón "calculate/update") para definir el intervalo de frecuencia dentro el cual tenga sentido determinar la curva de atenuación.
- 5. Calcular la curva de atenuación dando click en "calculary curva" en la sección "step#2: calculo de curva de atenuación".
- 6.Cargar el modelo (archivo .mod con un perfil Vs formalmente deternimado: botón "input Vs model" en sección "step#3: attenuation curve modelling/inversion"
- 7. Proceder con modelamiento (sección "Modelling Q") o inversión (sección "Inverting Q")

Las mismas consideraciones como para la curva de dispersión son validas aquí también, con respect al modelamiento/inversión.

Apéndice L: Concatenación de data

Entre las utilidades, también está presente el "concatenate data". A través de este, puedes concatenar dos o más set de datos. Por ejemplo, si tienes 10 datos pasivos, cada uno con 60 segundos, puedes concatenar (unificar) ellos para obtener un solo set de datos (10 minutos de largo).

Ejemplo:

Probemos en concatenar dos set de datos (stendimento1.dat and stendimento2.dat).

Paso #1:

Cargar el set de datos (usar botones "SHIFT" o "CTRL", para seleccionar multiples archivos).

\Lambda winMASW - concatenating seis	mic datasets	_		\times
www.win	masv	v.=0	m	
		en de la factoria de		
input tapering: 2 %	show & save	dataset	(ASCII)	
	show & save	e dataset	(.mat)	
Select multiple datasets by press Four conditions must be met: the number of channels/geophor the sampling interval and the file all the datasets. Obtained datase (see manual for further details). We HIGHLY recommend to use t Please remember that for ESAC necessary to have a single file (using the CTRL button).	sing "ctrl" or "shift nes, the geophone format must be th et can be saved a he Matlab format. or ReMi analyses you can upload m		sets	

Paso #2:

Corregir el valor de tapering (por defecto igual a 2%)

Paso #3:

Click en botón "save obtained dataset" escogiendo el formato que necesites: Formato ASCII (en la primera línea puede reporter el muestreo dt (en segundos) y la información de geometría. **Matlab** (.mat) formato



Al final de la operación la siguiente ventana aparece (reportando la data concatenada):

Por supuesto, cuatro condiciones tiene que cumplirse:

- 1. El muestreo (dt) debe ser el mismo para todos los set de datos.
- 2. El arreglo geométrico debe ser el mismo para todos los set de datos.
- 3. El mismo número de trazas para todos lo set de datos.

IMPORTANTE

Como una cuestión de hecho, esta operacion no estrictamente necesaria para manejar la data en *winMASW*[®]. En ambos modulos ReMi y ESAC es de hecho possible cargar n archivos simplemente seleccionamos todos los archivos como "multiple selection", i.e. por mantener el botón CTRL o SHIFT (como rutina hecha en todas las aplicaciones windows).

Apéndice M: Herramienta TCEMCD

Usando nuestro geófono HOLI3C y *winMASW*[®] Academy (herramienta TCEMCD) puedes eficientemente adquirir tu data pasiva para procesar ESAC y HVSR (recomendamos muestreo de 6ms, 167 Hz).

En la siguiente figura se reporta una seteo de una típica adquición: 21 geófonos verticals y nuestro **HOLI3C 3-componente (2Hz)** son (simultaneamente) concectados en un cable de 24 canales.

Usando la herramienta **TCEMCD** (en la version Academy) puede luego extraer la data para el análisis ESAC y HVSR (para su análisis en conjunto): puedes obtener un archivo SAE (para HVSR) y un archivo mat para el análisis ESAC.



En el siguiente pantallazo mostramos 960 segundos (cerca de 15 minutos) de data. En este caso los canales 13, 14 y 15 refieren a la data grabada de un HOLI3C: Canal #13 refiere a un geófono vertical, canal #14 refiere al geófono NS y el canal #15 refiere al geófono EW. Dando click en "convert & re-arrange" puedes obtener 2 archivos separados: el SAF para HVSR y el .mat para cargarlo en panel ESAC.



www.winmasw.com - geophysical software & services

La data/archive obtenido: a la izquierda la data de archive SAF (para análisis HVSR); a la derecha 22 trazas relacionadas a las components vertical de los geófonos para el análisis ESAC.





La misma herramienta (TCEMCD) es también presente en el software *HoliSurface*[®] y puede ser usado para una adquisición conjunta y análisis de la data de acuerdo a MAAM (*Miniature Array Analysis* of *Microtremors*) + HVSR (*Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio*).

Apéndice N: herramienta "combine 3C data"

Esta herramienta es basicamente un facilitador para el método MOSR descrito en Ryden et al (2003).

<u>Muy corto</u>: Alguno geófonos tri-axiales disponibles en el mercado están diseñados para adquirir data active a diferentes offset.

Típicamente tienes tu primera adquisición la distancia mas larga de offset (e.g. 60 m desde la fuente), luego obtientes más cerca y más cerca de la fuente (entonces necesitas grabar tu siguiente data active a 55, 50, 45, 35 (y asi) metros desde la fuente).

Al final puedes unir toda esta data/archivos en un solo multi-offset set de datos y "simular" una adquisción MASW.

Cómo trabaja esto

La forma simple de entender como esto trabaja es tratando por tu cuenta usar un ejemplo pequeño (una prueba provista por win-masw DVD – ver la carpeta "Demo_Datasets_dissemination/ProgettoMuscat")

ProgettoMuscat.pgw

Puedes abrir cual proyecto con editor de texto (e.g. notepad) y puedes ver la siguiente estructura/información (el significado es bastante claro):

Project: Summaga-MASW source: VF sampling rate (s): 0.001 offsets: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 Summaga-MASW-Gemini_VF#1.SAF Summaga-MASW-Gemini_VF#2.SAF Summaga-MASW-Gemini_VF#3.SAF Summaga-MASW-Gemini_VF#4.SAF Summaga-MASW-Gemini_VF#6.SAF Summaga-MASW-Gemini_VF#6.SAF Summaga-MASW-Gemini_VF#8.SAF Summaga-MASW-Gemini_VF#8.SAF Summaga-MASW-Gemini_VF#8.SAF Summaga-MASW-Gemini_VF#10.SAF



Una vez cargado el proyecto *ProgettoMuscat.pgw*, los panels siguientes pueden mostrar:

🔊 winMASW 3C - tool for combining single	winMASW-3C: combining 3C data (normalized traces)	- D ×
	Ele fot Ven jost Josh Belton Vindow Help Nacionalis ISIS Antonio Zulin III e T	•
www.winmasw.com	Votical composer (ProgramMacca: NVF sgr) 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	
spload 3C-I/ASNI project (and produce multi-channel datasets)		
Number of shots: 10 Sampling interval (ms): 1	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	
Offsets (m): 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50	1.8 - 1.8 -	

Al mismo tiempo en la carpeta de trabajo seis archivos son creados automáticamente: 3 segy y 3 matlab (mat) – Formato multi-offset.

Más preciso, si la fuente es vertical (VF), puedes obtener 3 set de datos (en el doble formato segy y mat)

RVF (Componente radial de ondas Rayleigh)

ZVF (Componente vertical de ondas Rayleigh)

TVF (La componente transversal, el cual, en caso adoptas una Fuente HF, de hecho es la componente THF, i.e. ondas Love).

Apéndice O: obteniendo la data en mm/s con nuestro equipo

Esto es importante de entender cuando es necesario trabajar con la data expresada en unidades fisicas (como mm/s).

HVSR: no necesario (pero útil)

Análisis de Dispersión (MASW, ESAC, ReMi, MFA/FTAN, HS, MAAM): no necesario Análisis de vibracion para determinar la frecuencia de resonancia y modos de vibración de la construcción: extremadamente útil (recomendedo)

Análisis de vibración de la construccióne (UNI/DIN): absolutamente necesario.

Debemos seguir los procedimiento correcto en dos momentos.

1) Durante la adquición de datos (en campo)

2) Mientras cargamos la data en nuestro software de aplicación.

1. Adquisición

Si estas usando el sistema de adquisición provisto, es necesario setear una serie de parámetros en dos paneles: en el panel relacionado al sistema promedio (panel de configuración) y en el panel cargando las características de los geófonos usados durante una adquisición específica.

En el panel de configuración (click en "System" desde el panel principal), corregir unidades de m y la sensibilidad en V/cm/s como en el panel debajo.



Luego de eso, la sensibilidad de los geófonos usados es seteado en el panel referente a la sensibilidad de los geófonos (panel "geos config"):

After that, the sensitivity of the used geophones is set in the panel regarding the sensitivity of the geophones (panel "geos config"):

Conf	Dev	Phy	X [m]	Y [m]	Z [m]	S [V/(cm/s)]
Src	-	-	0.00	0.00	0.00	-
Trg	1	-	0.00	0.00	0.00	-
1	1	1	0.00	0.00	0.00	2.00000
2	1	2	0.00	0.00	0.00	2.00000
3	1	3	0.00	0.00	0.00	2.00000

En el siguiente proveemos la sensibilidad de los geófonos:

- 2 Hz 3C geófono (el rojo): 2 V/cm/s
- 4.5 Hz 3C geófono (el azul): 0.89 V/cm/s

Componente uni-axiales (ver etiqueta del cable):

- modelo C1: 0.82 V/cm/s
- modelo C: 0.92 V/cm/s
- modelo B1: 0.29 V/cm/s

2. Cargando la data en HoliSurface® o winMASW®

Si durante la adquisición de datos, propiamente seguir los procedimientos, cuando cargas las data seg2 (por ejemplo del panel HVSR) una ventana de dialogo aparece y pregunta la unidad de medida.



Definir la secuencia de canales de tu data: UD (vertical), NS (radial), EW (transversal)



Define la unidad de medida

Si estas usando nuetro sistema de adquisición y sigues estrictamente los procedimientos indicados, elegir la opción "*1000 -> mm/s" y poder obtener la data en mm/s.

Desde un punto de vista práctico, la data grabada es multiplicada por 1000 y, de esta manera, obtener valores de velocidad en mm/s.

Apéndice P: edición de data (flipping & zeroing)

Con la herramienta ("zeros/flips") es possible dar valores de cero o invertir la polaridad de la trazas.

"zeroing" trazas

En el siguiente pantallazo puedes ver que el canal/geófono #11 no esta trabajando y entonces decidimos darle cero a toda la traza como en la figura.



También puedes nota en color rojo la sección "resampling": si la data tuvo un muestreo con alta frecuencia mayor a 1ms (cual es completamente inútil – solo considerer el teorema de Nyquist-Shannon), el software alerta y recomienda re-muestrear la data [click en "accept" y luego obtienes una data re-muestreada (por defecto se re-muestrea a 0.5, asi que en caso tu data original fuse re-muestreada a 0.5 ms, puedes obtener una nueva data @ 1ms].



"Flipping" (invirtiendo la polaridad de las trazas)

Como puedes ver en la traza #16 (en la data original), es claramente que el geófono/canal tiene la polaridad invertida comparado con el resto de trazas. A la derecha, la data correcta se muestra (traza #16 es invertida). Puede tambien pone ren cero la traza #4 (geófonos fuera de orden).

Apéndice Q: vertical stack (versión Academy)

Esta herramienta está disponible a través de "utilities" ("manejando la data activa" en grupo), para ambos en la barra de herramientas de los paneles de "**Velocity Spectrum/a, Modeling & Picking**" (Botón VS)

Una vez das click en el botón "vertical Stack", vas a estar abilitado para seleccionar todos los archive que quieres hacer stacking (ver el pantallazo debajo).

winMASW® - Surface Waves & Beyond Image: Surface Waves & Beyo	managing active data www.wlnmesw.com managing active data vertical stack compare 2 datasets multiple-dataset filtering combine 3C data combine 2 datasets ? pre-processing SEG to SAF conversion 2D and 3D data 2D GPS positioning	utilities managing passive data TCEMCD concatenate data concatenate data concatenate HVSR (SAF) post-processing & miscellanea elastic moduli Vs30 & VsE @ foun Stesky's equation calculator [in HS]		
single-cc ← → < ↑ → This PC → Veloci Organise ▼ New folder	data (l:) → ELIOSOFT → Dati → Summaga → MASW →		Ö Search MA	sw ,
Joint An Joint An Paylow Composition Joint An Joint	 Name 2017-06-15_09-422VFdx3mo5_shot10.5.seg2 2017-06-15_09-402VFdx3mo4_seg2 2017-06-15_09-402VFdx3mo4_shot3.seg2 2017-06-15_09-402VFdx3mo4_shot3.seg2 2017-06-15_09-402VFdx3mo4_shot3.seg2 2017-06-15_09-402VFdx3mo4_shot3.seg2 2017-06-15_09-402VFdx3mo4_shot5.seg2 2017-06-15_09-402VFdx3mo4_shot5.seg2 2017-06-15_09-402VFdx3mo4_shot8.seg2 2017-06-15_09-402VFdx3mo4_shot8.seg2 2017-06-15_09-402VFdx3mo4_shot8.seg2 2017-06-15_09-402VFdx3mo4_shot8.seg2 2017-06-15_09-402VFdx3mo4_shot8.seg2 2017-06-15_09-402VFdx3mo4_shot8.seg2 2017-06-15_09-402VFdx3mo4_shot10.seg2 2017-06-15_09-402VFdx3mo4_shot18.seg2 2017-06-15_09-402VFdx3mo5_stot1.5.seg2 	Date modified 15/06/2017 09:43 15/06/2017 09:41	Type SEG2 File SEG2 File	No previe available.

Una ves cargado la data (también dado la geometría – i.e. el offset mínimo y la distancia entre geófonos), puedes luego obtener la siguiente figura (el ultimo ploteo reporta la data stakeada – como puedes ver la relación S/N es ahora mejor).

La data stakeada es guardada (segy y matlab) en la carpeta de trabajo con el nombre de archive que hemos dado en la ventana de diálogo que aparece.

En este ejemplo (ver la siguiente figura), la data active fue grabada con los canales invertidos.

Cuando cargas ellos en *winMASW*[®], puedes facilmente invertirlos luego con el botón "flip traces/data".



Stacking de 7 golpes cargados.

Apéndice R: Ploteando múltiples curvas HVSR

Dando click en el botón "show multiple HVSRs" puedes cargar una serie de HVSR previamente guardados (.hv formato) y obtener los siguientes ploteos (su uso y significado es claramente muy Amplio y esto depende de nuestra fantasía y necesidades).

En el caso se muestra, 38 curvas HVSR el cual fueron grabadas en el valle Alpino (a través de una sección perpendiculas al eje del valle).

Mientras cargamos las curvas, esto es posible (a través de dos simples ventanas de diálogo) para corregir la frecuencia minima y máxima para plotear y espeficiar posiciones de cada curva HVSR.





Curva promedio (mostrado y guardado en la carpeta de trabajo)
Ploteando la curva/data original:



0

-0.2

-0.4

30

20

position

10



Ploteando el logaritmo de la curva /data:

11

frequency (Hz)

5

2

1

Ploteando la curva/data normalizada:



Errores y soporte

Todo software inevitablemente tienen problemas, el cual es típicamente debido a diferentes usos para el cual fue planeado por los programadores.

En los siguientes posibles problemas que pueden facilmente solucionarse por el usuario:

- 1. Esto es muy importante para proceder con la actualizacion de de windows incluyendo todos los componentes (también aquellos nos considerados "escenciales"). A veces se observa que la imagen final resulta negra justo debido a alguna componente gráfica perdida el cual está incluida en windows update.
- Algunos antivirus (esto solo paso con AVAST AVIRA y PANDA) no tienen habilitado la manipulación de la protección de hardware (FEITAN) usado para protejer *winMASW*[®]. Debería habilitar para decir al antivirus que ignore sus "consideraciones" para la instalación del *winMASW*[®] o debería usar un antivirus diferente (e.g. AVG).

En caso de problemas por favor enviarnos un mail a <u>winMASW@winMASW.com</u> describiendo claramente el problema y indicando el User ID (UID) y el número de serie (SN) de su USB dongle.

Errore "Undefined function or variable 'matlabrc'"

Si luego de lanzar *winMASW*[®]; obtienes (en la Ventana negra DOS) este error, puedes resolverlo por tu cuenta con dos simples pasos:

1) Borrar la carpeta Matlab Runtime Compiler temporary cache que puedes encontrarlo aqui:

e.g.(C:\Users\[username]\AppData\Local\Temp\[username]\mcrCache[version])

2) Re-abrir (i.e. lanzar) el ejecutable MCRInstaller.exe que lo encuentras en el folder "prewinMASW" (en el *winMASW*[®] DVD).

Todo el tiempo estos problemas resurgen, simplemente repita estos pasos.

Errore "Starting parallel pool (parpool) using the 'local' profile ... Error using parpool (line 103) Not enough input arguments.

(en la Ventana negra DOS)

solución:

busque (busque) la subcarpeta "MathWorks" en la carpeta "usuarios" (o "C:/users") y elimínela. Atención, no es una carpeta "C:/users/MathWorks", es una carpeta dentro de una de las carpetas "C:/users", por lo que busca "MathWorks".

Haga lo mismo para la carpeta mcrCache (siempre en la carpeta en C:/users). En algunos casos / sistemas, dependiendo de la versión de su software, la carpeta también puede llamarse (por ejemplo) mcrCache9.2.

En algunos casos, esta carpeta se identifica más fácilmente con una búsqueda desde C:/ (y no desde la subcarpeta C:/users). Por ejemplo, encontrará la carpeta

"C:\Users\Mario\AppData\Local\Temp\Mario\mcrCache9.2", que debe eliminarse.

Una vez que se haya eliminado esta carpeta, puede reiniciar winMASW / HoliSurface.

Si no funciona, reinstale el archivo MCRinstaller.exe en la carpeta "prewinMASW" en el DVD de instalación de winMASW (es decir, simplemente ejecute el archivo ejecutable MCRinstaller.exe).



Contactos





Twitter: <u>https://twitter.com/#!/winMASW</u>



Skype: g_dal_moro



phone: by appointment only

REGISTRO

No se olvide de registrar su compra: por favor proveer el nombre de su revendedor/vendedor, la fecha de su compra y la version (Lite, Standard, 3C, Profesional o Academy).

Usted va a recibir las actualziaciones del software y consejos en técnicas MASW ESAC ReMi y HVSR.

Enviar mail a: winMASW@winMASW.com

Si usted olvida registrarse luego de dos semanas de la compra, no obtendrá asistencia ni actualizaciones gratis duurante el primer año.

Procesando data MASW y MFA (Rayleigh y Love), *ReMi, ESAC, MAAM y HVSR*

Nosotros Podemos analisar su data por usted (detalles acerca del apropiado procedimiento de campo para obtener una buena data de campo serán proveidos para cualquier cliente interesado).



e-mail: winMASW@winMASW.com

Apparent Dispersion Analysis of Multi-component Data - 2D

Adquisicón y procesamiento de data multi-componente para caracterización de áreas grandes (2D)

Gracias a la oportunidad el cual originalmente para sinergias con algunas compañías compañeras europeas y nuestros procedimientos basados en nuestro enfoque FVS multi-componente (*Full Velocity Spectrum* - Dal Moro et al., 2014), somos capaces ahora de adquirir y/o procesar data (multi-componente) enfocada en caracterizar grandes áreas (2D y 3D) desde el punto de vista geotécnico.



Espectro de velocidad analizado, obsrvado y procesado de acuerdo al procedimiento descrito por ejemplo en <u>Dal Moro et al. 2014</u> y <u>Dal Moro et al. 2018</u>.

Acquisition and Analysis of Multi-Component Surface Wave Data for the Geotechnical Exploration of Vast Areas





effective and holistic analysis of surface waves and vibration data

1 HVSR

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio

2 HS/MFA

HoliSurface (improved MFA) (multi-component active seismics by using a single 3C geophone)

3 MAAM

Miniature Array Analysis of Microtremors (micro-array passive seismics)

4 Vibrational Analyses

Vibrations UNI9160 & DIN4150 Building resonances (flexural and torsional modes)

5 SSR (Standard Spectral Ratio)

Empirical Determination of the Site Amplification

Tons of utilities to efficiently manage the data and present them (handling GPS data, trace selection editing & filtering, vertical stack & much more)



The background photo shows a model of the *Mars Rover Curiosity* (courtesy of *Mattel*), the vehicle used for the exploration of the Red Planet. The same way as the Rover efficiently explores very remote and extreme environments, the active and passive methodologies implemented in *HoliSurface* require very light and easy-to-carry equipment and limited space, but can nevertheless providing very robust subsurface models.



Dos versions de geófonos tri-axial que proponemos: uno con conector cannon (NK27) a la izquierda, del otro lado con conector split (a la derecha).





Geófonos para MASW y Refracción/Reflexión: Leyendas comerciales

Algunas veces ellos proponen dos set de geófonos verticales: un set de 4.5 Hz para el MASW y otro de 10 Hz o 14 Hz para adquisición de data de refracción/reflexion. Por supuesto, si usted conoce los fundamentos de la sísmica, usted debería entender por su cuenta que esto es totalmente sin sentido (una enorme pérdida de dinero) y que actualmente usted necesita geófonos de 4.5 hz.

Por qué?

Por al menos dos razones obvias:

1. Geófonos de 4.5 Hz "incluyen todo" sobre una frecuencia dada (decir mas o menos 2 Hz – debajo de esta frecuencia la amplitude normalmente baja mucho). Bajas frecuencias son necesariamente para el análisis de la propagación de la onda superficial (MASW/ReMi/ESAC etc)... pero ellos dicen que para refracción necesitas "enfocarte" solo en las altas frecuencias (dicen entre 10 y 200 Hz – arriba de esta frecuencia la información es completamente irrelevante para nosotros).

Bueno, si usted adquiere una data con sus geófonos de 4.5 Hz, ustede puede facilmente remover las bajas frecuencia con un simple filtro paso-alto. De esta manera usted puede usar la misma data para MASW (usando las bajas frecuenciasa) y, para remover las bajas frecuencias con simple click la herramienta de filtro de *winMASW*[®], para estudios refracción/reflexion.

2. ¿Pero realmente es necesario remover las bajas frecuencia para analizar los eventos refractados?

Actualmente si solo te enfocas en los principios básicos del estudio de refracción, puedes facilmente entender que este no es un evento necesario. Solo considerando la componente vertical (las ondas Rayleigh y laonda P de refracción): la ondas Rayleigh son mucho mas lentas que las ondas de refracción P (no hay oportunidad que usted no pique en un estudio de refracción lo que se llama primer arribo). Esto significa que las ondas Rayleigh arriban mucho mas tarde que los respectivos primer arrive relacionado a la onda P de refracción.

Por tal, si ustede analiza cuidadosamente uan data adquirida con geófonos de 4.5 Hz, puede ver el arribo de la onda P de refracción y luego (mas tarde) el arribo de las ondas Rayleigh. Asi que no hay lo que dicen "interferencia" o problemas en tener (en la misma data) ambos refraccion y ondas Rayleigh (algunas cosas son diferentes si usted desea analizar las reflexiones, pero en este caso un simple filtro paso alto puede ser suficiente).

Por tal, ahorrar su dinero comprando un set de geófonos horizontals de 4.5 Hz para adquirir ondas Love y la componente radial de las ondas Rayleigh (y por supuesto para ondas SH de estudios de refracción/reflexion)!

Y siempre preguntar por la polaridad de los geófonos (algunas técnicas requieren de conocer esto)!

De la actualización 7.2 de *winMASW*[®] Academy, usted puede encontrar una herramienta de carga de datos y filtrar todos o una sola traza.



Shear source: the plate is set vertically (in a small hole dug in the ground).

New book available in 2020:

Efficient Joint Acquisition and Analysis of Surface Waves and **Introduction to Vibration Analysis: Beyond the Clichés**







Copyright © 2019-2020 All Rights Reserved

Para noticias y actualizaciones, por favor visitar nuestra web

