

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**REPROCESAMIENTO DE LA LÍNEA SÍSMICA *BOL-06* DEL
PROYECTO BOLIVAR EVALUANDO EL PAQUETE DE
CÓDIGO ABIERTO *SEISMIC UN*X***

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Garcia M., Brayner R.
Para optar al Título
De Ingeniero Geofísico

Caracas, 2018.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

REPROCESAMIENTO DE LA LÍNEA SÍSMICA *BOL-06* DEL PROYECTO BOLIVAR EVALUANDO EL PAQUETE DE CÓDIGO ABIERTO *SEISMIC UN*X*

TUTOR ACADÉMICO: Ing. Vincenzo De Lisa

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Garcia M., Brayner R.
Para optar al Título
De Ingeniero Geofísico

Caracas, 2018.

Caracas 19 de noviembre de 2018.

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes miembros del jurado designado por el Consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el **Br. Garcia Moncada Brayner Reynaldo**, titulado:

“REPROCESAMIENTO DE LA LÍNEA SÍSMICA *BOL-06* DEL PROYECTO BOLIVAR EVALUANDO EL PAQUETE DE CÓDIGO ABIERTO *SEISMIC UN*X*”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al título de Ingeniero Geofísico y, sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas del autor, lo declaran **APROBADO**.



Prof. Mariano Arnaiz
Jurado



Prof. Jose Cavada
Jurado



Prof. Vincenzo De Lisa
Tutor Académico

AGRADECIMIENTOS

A mi padre, que en este último año de carrera estuvo conmigo en todo momento para apoyarme en cualquier situación que lo ameritaba, que a pesar de todo siempre ha sido un excelente padre que se preocupa por sus hijos, a mis hermanos que estuvieron detrás de mí con su aliento para lograr esta meta tan importante para mí, los amo de todo corazón.

A mis profesores de la UCV, tales como el prof. Janckarlos Reyes que siempre estuvo apoyándome desde el inicio en la escuela, el prof. Ricardo Alezones que desde mi perspectiva ha sido el mejor profesor que he tenido, con clases magistrales del área de geología, siempre estuvo dispuesto en asistirme en cualquier duda, la profe. Inirida Rodríguez, que en los últimos años de carrera fue como una madre para mi grupo de amigos de la escuela, donde nos apoyó en los problemas que tuvimos para alcanzar esta meta, y para finalizar a mi tutor el prof. Vincenzo De Lisa que, sin su ayuda y apoyo en todo momento, este trabajo no hubiese sido posible, donde codo a codo se esforzó junto conmigo para realizar esta ardua tarea y lograr este sueño para mí.

Siempre he tenido en cuenta lo importante que es la amistad en mi vida, tanto así que los considero mi familia, por ello quiero agradecer a mis amigos de Colinas Team que estuvieron desde el inicio en este viaje. En estos años de carrera he conocido a muchos amigos que se han ganado mi plena confianza y se han vuelto unos más de mi familia, amigos que han estado en los buenos y malos momentos dentro y fuera de uni, tales como Grillo, Onayker, Eugenia, Dylan, Dubraska, Shirley, Carlos Araque, Akira, Jefferson, Manuel, Carlos Flores, y de última, pero no menos importante Kendy “Miki”, espero que la vida nos siga uniendo para compartir gratos momentos.

Para finalizar, le quiero dedicar este trabajo que realice, con mucha paciencia y dedicación a dos personas importante en mi vida, a mi padrino Miguel Infante que siempre lo recuerdo con el mayor amor y respeto, siempre quiso verme realizar este sueño, que Dios te tenga en su gloria. De último, a la persona más importante en mi vida, sin ella nada hubiese sido posible, ya que me dio el valor y la fuerza para lograr este sueño, ella siempre estuvo para mí, desde el día uno, se esforzó con su mayor aliento para que cada día yo siguiera adelante, es imposible agradecerte en este trabajo todo lo que has hecho por mí, te amo con toda mi alma, Alba Moncada, mi bella madre.

García M., Brayner R.

REPROCESAMIENTO DE LA LÍNEA SÍSMICA *BOL-06* DEL PROYECTO BOLÍVAR EVALUANDO EL PAQUETE DE CÓDIGO ABIERTO *SEISMIC UN*X*

Tutor académico: Prof. Vincenzo De Lisa

Tesis. Caracas, U.C.V Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Año 2018

Palabras claves: Sísmica de reflexión marina, Apilamiento, Migración Stolt, *Seismic*

*Un*x, Shell-script*

RESUMEN

El propósito de la presente investigación, es reprocesar la línea *BOL-06* del proyecto BOLIVAR, utilizando los programas no comerciales pertenecientes a *Seismic Un*x*, probando así su potencial en el procesamiento de líneas sísmicas marina 2D con gran cantidad de trazas y establecer los pasos de procesamiento adecuados y comparar los resultados con la sección obtenida en el proyecto BOLIVAR. En el desarrollo del proyecto se especificaron tanto las variables como los *Shell-script* de procesamiento como una guía en cada secuencia para la reproducibilidad, tales como la aplicación de edición de trazas, filtrado de la señal sísmica con filtro pasa-banda, corrección por divergencia esférica, deconvolución predictiva, análisis de velocidad por gráficos de semblanza, apilado de los datos y migración Stolt. Se procesó un total de 1334880 trazas comprobándose que con el conjunto de rutinas de *Seismic Un*x* es posible procesar una línea sísmica marina 2D de gran volumen utilizando computadores de escritorio de mediana capacidad. Los resultados de este trabajo son comparables en calidad a los que se obtuvieron con un software comercial. Esta experiencia comprueba confiabilidad y capacidad de *Seismic Un*x* en el procesamiento sísmico 2D con poca inversión económica. Finalmente, siendo sus códigos abiertos, se abren las posibilidades para futuros proyectos de investigación, mejoramiento y desarrollo en las áreas de modelado, sísmica 3D, ondas de corte e inversión sísmica.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCION	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo general.....	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
1.3 Ubicación del área de estudio	2
1.4 Antecedentes	4
CAPÍTULO II	6
MARCO GEOLÓGICO.....	6
2.1 Región del Caribe.....	6
2.1.1 Evolución de la Placa Caribe	6
2.1.2 Límites de la Placa Caribe	9
2.1.3 Composición de la Placa Caribe	10
CAPÍTULO III.....	14
MARCO TEORICO.....	14
3.1 Método sísmico de reflexión marina.....	14
3.2 Modelo convolucional de la Tierra	15
3.2.1 Procesamiento sísmico	16
3.2.2 Secuencia básica de procesamiento de datos sísmicos	17
3.2.3 Preprocesamiento	17

	Página
3.2.4 Transformada de Fourier	18
3.2.5 Filtros	18
3.2.6 Recuperación de amplitud.....	20
3.2.7 Deconvolución	20
3.2.8 Auto-correlación	21
3.2.9 Ordenamiento por CMP	23
3.2.10 Análisis de velocidad	23
3.2.11 Corrección de NMO.....	24
3.2.12 Apilamiento.....	25
3.2.13 Procesos post-apilamiento.....	25
3.2.14 Migración	26
3.3 Procesamiento traza sencilla VS multi-traza.....	27
3.4 Seismic Un*x	27
3.4.1 Shell-script	28
CAPÍTULO IV	29
METODOLOGIA	29
4.1 Ordenadores usados en procesamiento	30
4.2 Descarga de los datos	30
4.3 Visualización y revisión de los datos de la línea.....	31
4.3.1 Conversión a formato <i>SU</i>	31
4.3.2 Obtención del encabezado.....	32
4.3.3 Revisión de la continuidad en la numeración de los registros	34

	Página
4.3.4 Inspección de trazas	35
4.3.5 Enmudecimiento de trazas problemáticas	37
4.4 Filtrado	38
4.4.1 Analisis espectral	38
4.4.2 Filtro pasa-banda	39
4.5 Recuperación de amplitud.....	40
4.6 Deconvolución	42
4.7 CMP	45
4.8 Análisis de velocidad	47
4.9 NMO y apilamiento.....	49
4.10 Migración	50
4.11 Procesos post-migración	51
CAPÍTULO V	53
RESULTADOS.....	53
5.1 Filtrado	53
5.2 Corrección por divergencia esférica.....	57
5.3 Deconvolución	61
5.4 Análisis de velocidad	65
5.5 Apilado	68
5.6 Migración	74
CAPÍTULO VI.....	79
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	79

	Página
6.1 Conclusiones	79
6.2 Recomendaciones.....	79
BIBLIOGRAFÍA	81
APENDICES A.....	86
APENDICES B.....	89

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Ubicación de la línea sísmica <i>BOL-06</i>	3
Figura 2 Sección migrada de la línea <i>BOL-06</i> del proyecto BOLIVAR R/V.....	5
Figura 3 Esquema de los modelos de evolución del Caribe para el Albiense, 100 Ma. a) Modelo Pacífico. b) Modelo origen “in situ”.....	6
Figura 4 Mapa del Caribe donde muestra las principales provincias.....	10
Figura 5 Esquema de adquisición en sísmica de reflexión marina.	15
Figura 6 Modelo convolucional	16
Figura 7 Volumen de datos sísmicos representado en las coordenadas de procesamiento.	17
Figura 8 Filtro pasa-bajo	19
Figura 9 Filtro pasa-alto	19
Figura 10 Filtro pasa-banda	19
Figura 11 Ejemplo de sección apilada sin deconvolución (a) y con deconvolución (b).	21
Figura 12 Trazas de auto-correlación antes y después de la deconvolución.....	22
Figura 13 Obtención de longitudes de predicción y operador para aplicar deconvolución predictiva	22
Figura 14 (a) esquema de un conjunto de <i>CMP</i> (b) esquema de <i>CMP</i> y <i>CDP</i>	23
Figura 15 (A) trayectorias fuentes-receptor de un <i>CDP</i> en una capa plana y las trazas sísmicas correspondientes antes de la corrección <i>NMO</i> . (B) después de la corrección <i>NMO</i>	25
Figura 16 Ventana de Terminal de Linux.	29
Figura 17 archivo tipo ASCII obtenido a partir del sugethw.	34

	Página
Figura 18 Disparo 6000 representado en el programa <i>suxwigb</i> afectado por <i>swell noise</i>	36
Figura 19 Traza problemática con exceso de ruido.	37
Figura 20 Traza enmudecida con el programa <i>sukill</i>	38
Figura 21 Espectro de frecuencia y disparo obtenido del <i>fxdisp.sh</i>	39
Figura 22 Filtro pasa-banda no-ideal con bandas de transición.....	40
Figura 23 disparo 6100 filtrada y sin ganancia.	41
Figura 24 disparo 6100 filtrada con ganancia ($t^{pow}=2$).	41
Figura 25 Gráficos del disparo 6500 y auto-correlograma sin aplicación de la deconvolución	43
Figura 26 Gráficos del disparo 6500 y auto-correlograma luego de la aplicación de la deconvolución impulsiva.	44
Figura 27 auto-correlograma luego de la aplicación de la deconvolución predictiva.	44
Figura 28 Disparo <i>CMP 1200</i>	45
Figura 29 Espectro de velocidad y del registro <i>CMP 4400</i>	48
Figura 30 Espectro de velocidad con la curva de velocidad y disparo <i>CMP 4400</i> con corrección <i>NMO</i>	49
Figura 31 Disparo 6500 antes del filtrado.	54
Figura 32 Espectro de frecuencia del disparo 6500.	55
Figura 33 Disparo 6500 luego del filtrado pasa-banda.	56
Figura 34 Espectro de frecuencia del disparo 6500 luego de la aplicación del filtro pasa- banda.	57
Figura 35 Gráficos de decibelios y amplitud de <i>tracf 300</i> en los disparo 6100 y 6500 sin aplicación de ganancia.....	58

	Página
Figura 36 Gráficos de decibelios y amplitud de <i>tracf</i> 300 en los disparos 6100 y 6500 luego de la aplicación de ganancia ($A'=A*t^2$).....	59
Figura 37 Disparo 6500 luego de aplicación de ganancia ($A'=A*t^2$).	60
Figura 38 Auto-correlograma del disparo 6100.	62
Figura 39 Auto-correlograma luego de la deconvolución impulsiva.....	63
Figura 40 Auto-correlograma luego de la deconvolución predictiva.....	64
Figura 41 Cobertura de línea sísmica.....	65
Figura 42 Espectro de velocidad con la curva de velocidad y disparo <i>CMP</i> 8800 con corrección <i>NMO</i>	66
Figura 43 Espectro de velocidad con la curva de velocidad y disparo <i>CMP</i> 14640 con corrección <i>NMO</i>	67
Figura 44 Sección apilada obtenida con <i>Seismic Un*x</i>	69
Figura 45 Sección apilada con <i>FOCUS</i>	70
Figura 46 Sección apilada “A” con <i>SU</i>	71
Figura 47 Sección apilada “A” con <i>FOCUS</i>	72
Figura 48 Sección apilada “B” con <i>SU</i>	72
Figura 49 Sección apilada “B” con <i>FOCUS</i>	73
Figura 50 Sección final migrada con <i>SU</i>	75
Figura 51 Sección final migrada con <i>FOCUS</i>	76
Figura 52 Sección migrada “C” con <i>SU</i>	77
Figura 53 Sección migrada “C” con <i>FOCUS</i>	77
Figura 54 Sección migrada “D” con <i>SU</i>	78

	Página
Figura 55 Sección migrada “D” con <i>FOCUS</i>	78
Figura 56 Disparo 6500 luego de aplicación de ganancia ($A' = A * t^{1.8}$), gráficos de amplitud y decibelios del $tracf = 300$	87
Figura 57 Disparo 6500 luego de aplicación de ganancia ($A' = A * t^{2.2}$), gráficos de amplitud y decibelios del $tracf = 300$	88

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1 Resumen de la teoría de Origen Pacífico.	7
Tabla 2 Resumen de la teoría de Origen Intra-América.	8
Tabla 3 Comparación de procesos de traza sencilla VS multi-traza.	27
Tabla 4 Características de ordenador portátil.....	30
Tabla 5 Características de ordenador de escritorio.	30
Tabla 6 Datos de la geometría de la línea sísmica <i>BOL-06</i>	31
Tabla 7 Datos obtenidos del encabezado de la línea sísmica.....	32
Tabla 8 valores del gráfico de decibelio para <i>tracf</i> 300 de los disparos 6100 y 6500, sin aplicación de ganancia.	58
Tabla 9 valores del gráfico de decibelio para <i>tracf</i> 300 del disparo 6500, con aplicación de ganancia correspondientes a potencias de tiempos iguales a 1.8, 2.0 y 2.2.	59
Tabla 10 Comandos esenciales	86

ÍNDICE DE SHELL-SCRIPTS

	Página
Shell-script 1 <i>fldr_100_en_100.sh</i>	89
Shell-script 2 <i>subdiv100.sh</i>	90
Shell-script 3 <i>iview.sh</i>	91
Shell-script 4 <i>killer2.sh</i>	93
Shell-script 5 <i>fxdisp.sh</i>	94
Shell-script 6 <i>igain.sh</i>	96
Shell-script 7 <i>idecon.sh</i>	101
Shell-script 8 <i>iva-KS.sh</i>	110
Shell-script 9 <i>vSelec.sh</i>	119
Shell-script 10 <i>nmo4.sh</i>	120
Shell-script 11 <i>migcyp.sh</i>	122

CAPÍTULO I

INTRODUCCION

1.1 Planteamiento del problema

La zona del Caribe presenta una gran complejidad a nivel tectónico; por ello se han ejecutado numerosos estudios y propuestas sobre teorías de su formación, desarrollo y geometría actual (Meschede & Frisch, 1998; Mann P, 1999). Además, se han desarrollado investigaciones para evaluar las hipótesis relacionadas a que una fracción importante del crecimiento de la corteza terrestre se debe a la colisión y acreción de los arcos magmáticos, el desarrollo de cinturones plegados, etc. Una de tales investigaciones fue la campaña geológica y geofísica desarrollada entre el 18 de abril y 3 de junio de 2004 llamada “*Broadband Ocean-Land Investigation of Venezuela and the Antilles arc Region*” (BOLIVAR) (R/V Maurice Ewing Cruise EW0404, 2004). En dicha campaña se realizó a través de sísmica activa de reflexión y refracción “off shore” (costa afuera) una adquisición sísmica en el buque de investigación Maurice Ewing, financiado por el "National Science Foundation, por el Consejo Nacional para Investigaciones Científicas y Tecnológicas y otras instituciones venezolanas mediante el modelado de la corteza marina en las interacciones de la placa caribeña y sudamericana. Los datos fueron procesados durante la adquisición en el buque; utilizando el sistema comercial *FOCUS*, que supone un aumento en los costos de cualquier proyecto, además de ello, no se tiene los parámetros utilizados para la reproducibilidad computacional de la misma.

Lo anterior afecta directamente al avance de cualquier proyecto a partir de datos obtenidos de otras investigaciones; dado que los paquetes comerciales de procesamiento de datos sísmicos son costosos y requieren de una infraestructura avanzada, la privacidad de los diferentes parámetros limita a la reproducibilidad y al mismo tiempo, no se disponen de programas de licencia no comerciales evaluados para el procesamiento de perfiles de sísmica de reflexión con estas características. Debido a a esto, el propósito de la presente investigación es reprocesar la línea *BOL-06* del

proyecto BOLIVAR utilizando los programas pertenecientes a *Seismic Un*x* estableciendo la secuencia de procesamiento adecuada para estos datos. El resultado se comparará con la sección obtenida en el procesamiento inicial durante el proyecto BOLIVAR, para la valoración de programas de acceso libre en la ejecución de proyectos de procesamiento sísmicos con recursos limitados.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Analizar comparativamente el reprocesamiento de los datos de la línea *BOL-06* del proyecto BOLIVAR utilizando los programas libres del *Seismic Unix*.

1.2.2 Objetivos específicos

- Codificar *scripts* que permitan simplificar el procesamiento de datos sísmicos.
- Verificar la calidad de los datos adquiridos, eliminando trazas y registros defectuosos de la línea sísmica *BOL-06* (control de calidad de los registros de campo).
- Generar la sección sísmica empleando los algoritmos y parámetros de una secuencia adecuada para el procesamiento de la línea sísmica.
- Comparar visualmente la sección sísmica final *Seismic Un*x vs FOCUS*.

1.3 Ubicación del área de estudio

Al noroeste del estado Falcón dentro del Mar Caribe, específicamente entre las coordenadas geográficas 11°46.387'N – 68°54.270'O a 12°37.427'N – 68°48.445'O de las Antillas de Sotavento de la plataforma norte costera de Venezuela (Figura 1).

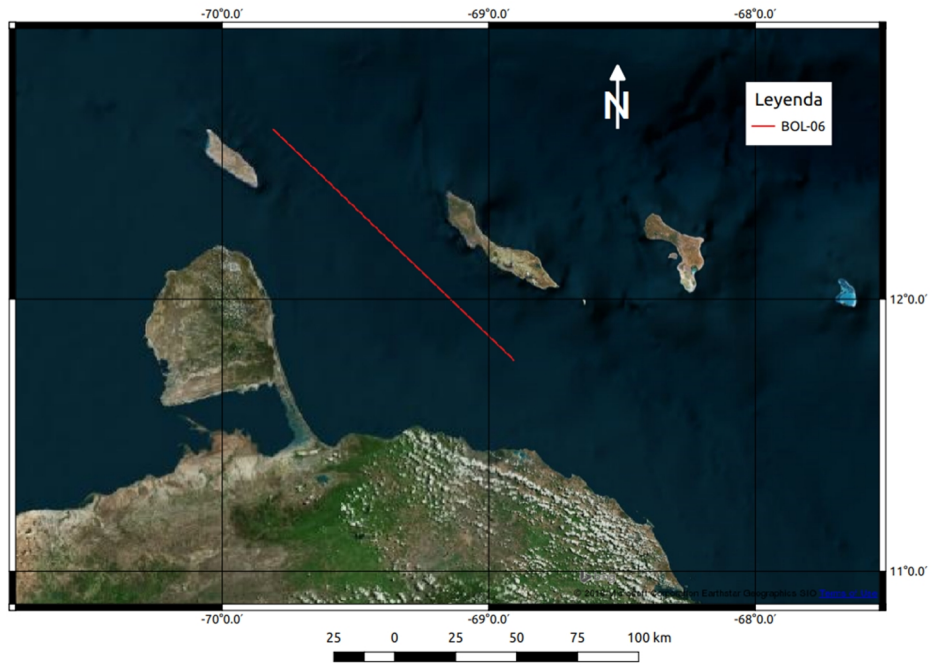


Figura 1 Ubicación de la línea sísmica *BOL-06*

1.4 Antecedentes

Se produjeron secciones preliminares migradas en tiempo durante la adquisición a bordo, para el estudio de las interacciones entre la corteza y el manto durante el crecimiento continental y la exhumación de rocas a alta presión en una zona oblicua de colisión arco-continente, con la siguiente secuencia de procesamiento en el programa *FOCUS* (R/V *Maurice Ewing Cruise EW0404*, 2004):

- Conversión de formato *SEG-Y* a formato *FOCUS*
- Definición de la geometría
- Ordenamiento CDP (*Common Deep Point*)
- Definición de la función de velocidad del agua para el apilado
- Apilado cerca de la mitad del cable usando la velocidad del agua
- *Picking* del tiempo del fondo marino del apilado
- Análisis de velocidad cada 2-4 km
- Edición de trazas defectuosas
- Filtro de banda ancha
- corrección de dispersión geométrica
- corrección de NMO (*Normal Move Out*)
- Enmudecer datos someros estirados
- Enmudecido interno
- Apilamiento
- Salida *SEG-Y*
- Migración F-K a velocidad del agua
- Salida *SEG-Y*
- Filtro de banda ancha
- Mezcla de 5 trazas
- Filtro variable en el tiempo
- AGC (*Automatic gain control*)
- Decimación de trazas
- Visualización en pantalla

Donde la sección sísmica de la línea *BOL-06* (Figura 2) se destaca por tener una longitud de aproximadamente 135 km, con 12 segundos de profundidad, en donde se puede visualizar las diferentes estructuras del subsuelo.

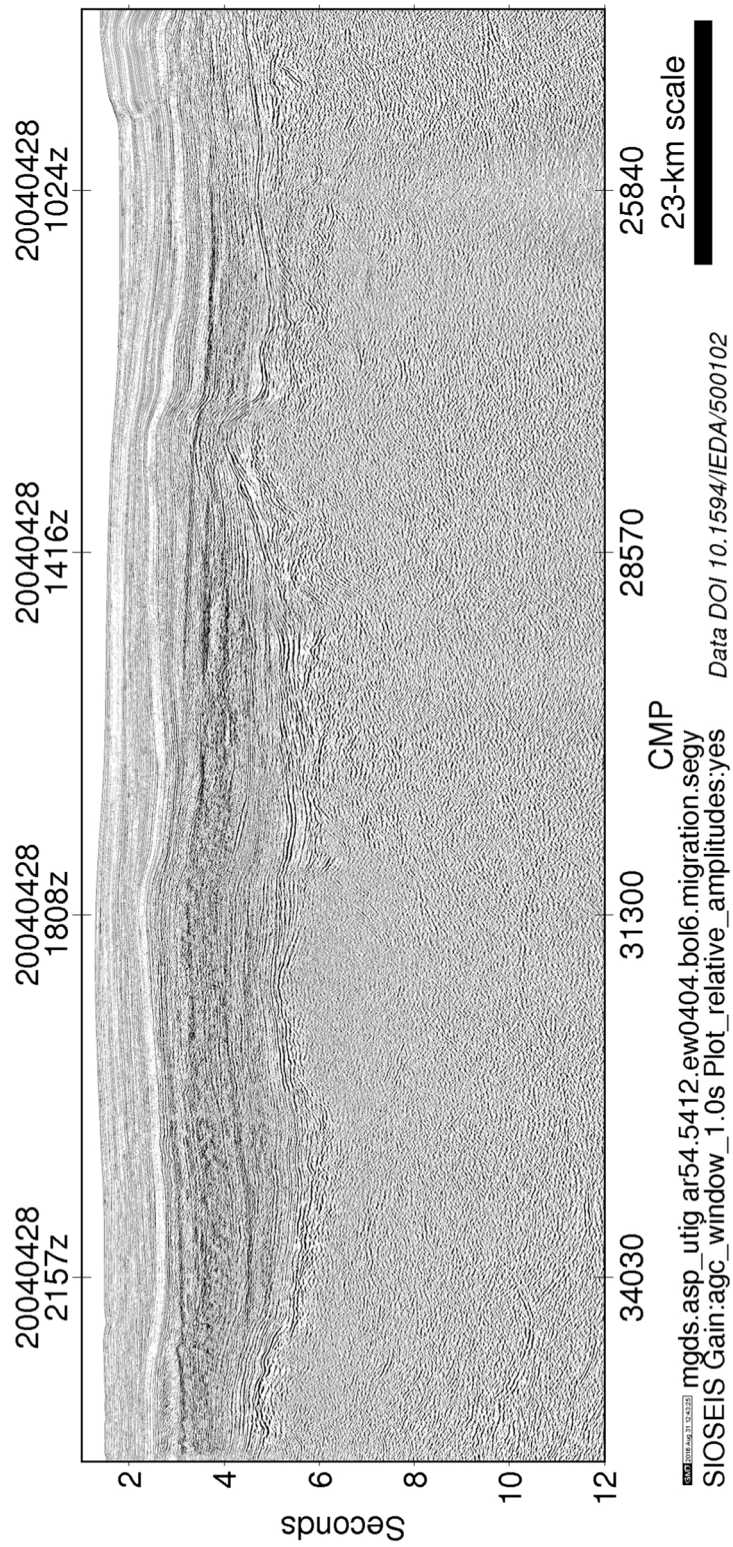


Figura 2 Sección migrada de la línea *BOL-06* del proyecto BOLIVAR R/V. Obtenido de *Maurice Ewing Cruise EW0404* (2004).

CAPÍTULO II

MARCO GEOLÓGICO

2.1 Región del Caribe

2.1.1 Evolución de la Placa Caribe

El origen y evolución de la placa del Caribe es un tema muy controversial. Esto se ocasiona debido a que la placa del Caribe no exhibe un centro de expansión oceánico (James, 2005; Meschede y Frisch, 1998; Pindell y Kennan, 2001). Ante esta situación se han originado varias ramas o teorías sobre su formación y desarrollo, entre las más importantes están la conocida como la Teoría “alóctona” u Origen Pacífico propuesta por Pindell y Kennan (2001) y la Teoría “*in situ*” u Origen *Intra-América* por Meschede y Frisch (1998) y posteriormente más desarrollada por James (2005) (Figura 3); un tercer modelo (alóctono) ha surgido recientemente dando un origen atlántico a la placa Caribe (Orihuela, 2012). A continuación, se presentan bosquejos generales de las teorías de desarrollo del Caribe debido a la importancia para la comprensión de la evolución de la región en estudio.

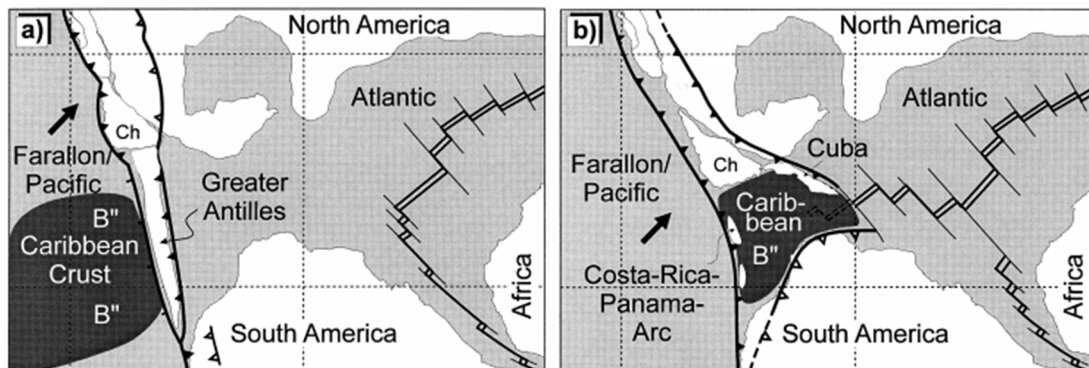


Figura 3 Esquema de los modelos de evolución del Caribe para el Albiense, 100 Ma. a) Modelo Pacífico. b) Modelo origen “*in situ*”. Tomado de Meschede y Frisch (1998).

La teoría de Origen Pacífico (Tabla 1) basándose en estudios de cinemática de placas, tomografías sísmicas, estratigrafía de cuencas y arcos, además de análisis de datos geocronológicos enmarca la formación de la Placa Caribe en el océano Pacífico en el

Mesozoico. Originándose la meseta basáltica a partir de un punto caliente en las islas Galápagos, en donde se desplaza hacia su posición actual entre las dos Américas. (Pindell y Kennan, 2001).

Tabla 1 Resumen de la teoría de Origen Pacífico.

Jurásico	Se produce la apertura del atlántico y separación entre Norteamérica y Suramérica a través de un proceso de <i>rifting</i> (Pindell y Kennan, 2001) formando una corteza proto-Caribe y creación del Golfo de México para finales del período, debido a la separación progresiva de los continentes previamente citados (Pindell y Kennan, 2009).
Cretácico temprano	Cesa la expansión del Golfo de México que ocasiona la culminación de la rotación del bloque de Yucatán. La Placa del Caribe empieza a distinguirse de la Placa Farallón mientras sucede la inversión de subducción entre Norteamérica y Suramérica (Pindell y Kennan, 2001). Una de las posibles causas se asocia a la expansión del atlántico (Pindell et al., 1988).
Cretácico tardío	El espesor anómalo es causado por el flujo basáltico producto del paso de la Placa Farallón por un punto caliente de Galápagos aproximadamente en el Turoniense (Pindell y Kennan, 2009). En el Campaniense ocurre una fase compresiva entre las Américas debido a la reducción de velocidad de expansión del proto-Caribe (Pindell et al., 1988).
Paleoceno	Debido a la convergencia entre las américas, posiblemente se generó la subducción del proto-Caribe debajo del margen de Suramérica, siendo la causante de la formación de la Serranía del Interior Oriental (Pindell y Kennan, 2001). La cuenca de Yucatán y la cuenca del retro-arco de Grenada se formaron debido a la expansión del paso de la placa del Caribe por el estrecho de Yucatán-Guajira al entrar a una amplia corteza oceánica del proto-Caribe (Pindell y Kennan, 2001).
Eoceno	La tectónica de la fosa de Caimán inicia por el movimiento relativo entre Caribe y Norteamérica, enmarcado por un movimiento dextral (Pindell y Kennan, 2001). En la región occidental de Suramérica, se forja una subducción de bajo ángulo por debajo del bloque de Maracaibo, por el efecto compresivo de Caribe (Pindell y Kennan, 2001).
Mioceno	Se produce el escape al norte de bloque Maracaibo. Las placas de Norteamérica y Suramérica mantienen su desplazamiento hacia el oeste. Se origina el levantamiento de los Andes de Mérida.

Por otro lado, la teoría de Origen *Intra*-América por James (2005) (Tabla 2), plantea la reconstrucción la paleografía de Pangea, a partir del estudio de material oceánico. Por

ello propone una formación relacionada con una superpluma del Cretácico, al mismo tiempo se plantea que el Caribe se formó junto al Golfo de México, la Cuenca de Yucatán y la Fosa Caimán durante la separación de Norteamérica de Gondwana en el Jurásico-Cretácico.

Tabla 2 Resumen de la teoría de Origen Intra-América.

Jurásico	Se produce la separación de los continentes generando sistemas de expansión asimétricos (James, 2009). Esto causa la evolución de las cuencas del Golfo de México, la cuenca de Yucatán, y la fosa de Caimán, debido a la separación de la placa Norteamericana de la Suramericana (Giunta y Oliveri, 2009). La extensión estuvo controlada por un sistema de fallas normales noreste (James, 2009).
Cretácico temprano	Se generan 1000 Km de desplazamiento en dirección norte-sur y 850 Km en dirección este-oeste por efectos de desplazamiento en la Fosa Caimán, que se evidencia por la separación entre el bloque Chortis y el bloque Maya, donde se desarrolla corteza transicional a oceánica en el espacio entre las dos placas (James, 2009).
Cretácico tardío	Se engrosa la corteza oceánica convencional debido a la extensión que estaba sometida la región que generaba una expulsión basáltica (James, 2005). Se promueve la formación de arcos de islas restringiendo Caribe como se conoce, a causa de la extensión entre el Atlántico y el Pacífico.
Paleoceno	Con la extensión entre el Atlántico y el Pacífico se tiene la subducción bajo la Placa Caribe que produce depósitos tipo <i>flysh</i> y <i>wildflysh</i> (James, 2009).
Eoceno	Formación de una discordancia regional y cinturones de unidades tectónicas imbricadas, con fuerte desmembramiento (Giunta y Oliveri, 2009). Esto afecta el nivel de costa del borde de Venezuela y Trinidad, a causa de emplazamientos de bloques alóctonos (James, 2009).
Mioceno	Caribe mantiene zonas de subducción con generación de arcos insulares al hacia al occidente y al oriente, mientras que, al sur, sistema de fallas laterales que forman estructuras transtensionales y transpresionales (James, 2005). Dicha extensión transtensional separa las islas de Blanquilla-Aruba, formando la Napa de Villa de Cura (Giunta y Oliveri, 2009).

Las diferencias de estos modelos de evolución tectónica del Caribe surgen de las muchas interpretaciones geológicas, geofísicas y geoquímicas para la reconstrucción

de la geometría y rutas de deriva de las placas, además para sentenciar la formación de los terrenos y tiempos de ocurrencia de los eventos. No es posible dar una teoría definida sobre la formación de la placa Caribe, se necesitan más estudios (Bachmann, 2001).

2.1.2 Límites de la Placa Caribe

La Placa Caribe consiste principalmente en el Mar Caribe y sus masas de tierras circundantes, limita entre Centroamérica al oeste hasta las Antillas Menores al este, y se extiende de norte a sur entre Cuba y Suramérica respectivamente, está definida aproximadamente entre las longitudes 60° y 90° O y entre las latitudes 10° y 20° N de coordenadas geográficas (Figura 4), y presenta una superficie de aproximadamente 4.000.000 Km² (Granja, 2005). A nivel regional, se encuentra bordeada por cuatro grandes placas, al norte y noreste con la placa Norteamericana, al sur y sureste con la placa Suramericana, al oeste se encuentra limitada por la placa de Cocos y al suroeste con la placa de Nazca (Giunta *et al.*, 1996).

Estudios a partir de datos de GPS (*Global Positioning System*) llevados por Mann *et al.* (2002), concluyen que el interior rígido de la placa Caribe con respecto a la placa Norteamericana se mueve a una velocidad de $18-20 \pm 3$ mm por año, con una dirección 70° noreste. Mientras que Weber *et al.* (2001), deduce que el movimiento en relación a la placa Suramericana tiene a una velocidad de 20 mm por año con azimut $86^\circ \pm 2^\circ$.

El extremo norte de la placa Caribe se presenta un movimiento lateral sinistral con algunas variaciones que se muestran con transpresión al sur de Puerto Rico e Hispaniola, extensión con expansión y generación de corteza oceánica en la Fosa Caimán y transtension en el paso de Mona; mientras que el margen meridional es más complejo, ya que no exhibe definición bastante clara de sus bordes, sin embargo, se toman como fallas discretas del tipo transcurrente dextrales que presenta transpresión en el cinturón deformado del sur del Caribe y al norte de Panamá, anexo con transtension en la Fosa de Cariaco. El límite este, marcado como típico de arco de islas (arco volcánico de las Antillas Menores) formados por la subducción de la corteza oceánica del Atlántico debajo de la placa Caribe y finalmente la frontera occidental

está definida por la fosa del Pacífico en una zona de convergencia determinada por una subducción de las placas de Cocos y Nazca debajo de Centroamérica (Bellizzia, 1985).

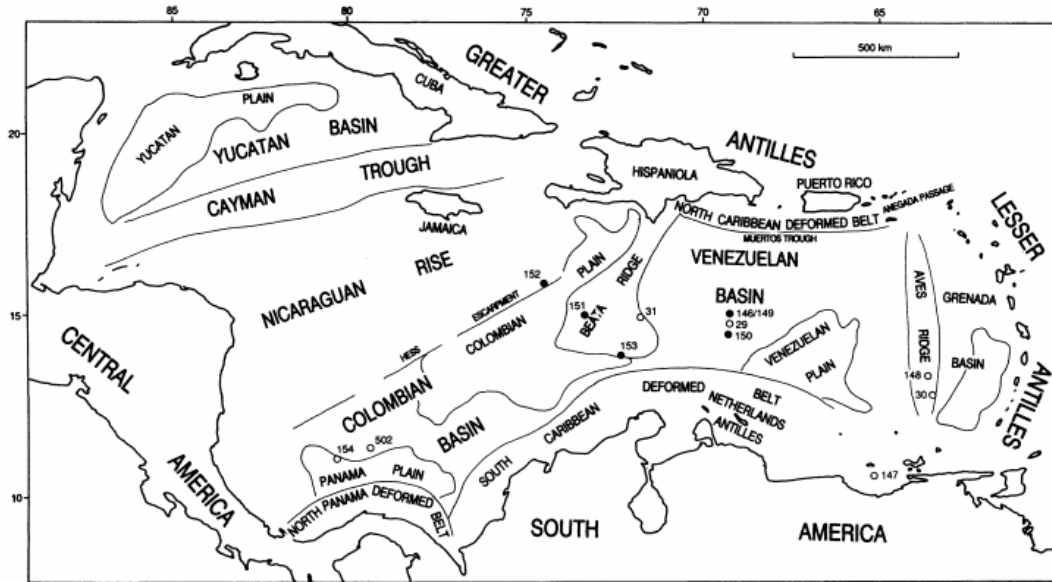


Figura 4 Mapa del Caribe donde muestra las principales provincias. Tomado de (Donnelly, 1994).

2.1.3 Composición de la Placa Caribe

Fisiográficamente la placa Caribe se encuentra subdividida por regiones geomorfológicas, respuesta de su evolución a través del tiempo y de su complejo tetanismo, dichas regiones corresponden en parte a diferentes provincias corticales que conforman la placa y en parte los elementos tectónicos activos que la conforman actualmente (Draper *et al.*, 1994). A continuación, se describen las provincias geológicas más destacadas:

- Alto de Aves: está ubicado a unos 200 Km al oeste del arco de las Antillas Menores y tiene una extensión de aproximadamente 500 Km en dirección N – S. Se trata de una meseta entre 50 y 150 Km de ancho, en donde incluye varios escarpes, siendo uno de ellos la Isla de Aves que se eleva sobre el nivel del mar (Draper *et al.*, 1994). El Alto se encuentra conformado por un basamento compuesto de basaltos, andesitas y granitos, que se encuentran cubiertos por

1500 m de sedimentos pelágicos. Este levantamiento se considera como un arco magmático del Cretácico Superior – Paleógeno (Case *et al.*, 1984).

- Cordillera de Beata: alto estructural que se extiende en dirección suroeste desde el Cabo de Beata, Hispaniola, alrededor de 400 Km, con un relieve de 2 Km y compuesto por una serie de cabalgamientos y graben que corren con el mismo azimut (Draper *et al.*, 1994). Se encuentra limitada al norte por la Hispaniola, al sur por el Cinturón Deformado del Sur del Caribe (CDSC), al este por la Cuenca de Venezuela y al oeste por la Cuenca de Colombia (Donnelly, 1994).
- Alto de Nicaragua: se extiende hacia el noreste desde Honduras y Nicaragua en América Central hasta Jamaica y el sur de Haití. Limita al norte con la cresta Caimán y, a lo largo del margen sur, con la escarpa de Hess de tendencia noreste-suroeste. El alto de Nicaragua es un relieve amplio, topográficamente complejo, de profundidad superficial a intermedia (0-3000 m) a lo largo de la cual hay una elevación superior (menos de 1200 m de profundidad del agua) e inferior (más de 1200 m de profundidad del agua) (Draper *et al.*, 1994).
- Arco de las Antillas Menores: grupo de isla que forma un arco volcánico que tiende a coincidir con el borde de la placa Caribe, en el cual, se extiende de sur a norte desde Granada hasta el Paso de Anegada a una distancia de 850 Km. Se describe como un sistema de doble arco en la mitad sur de la cadena para formar islas de Granada, Las Granadinas, San Vicente, Santa Lucía y Martinica (Martin-Kaye, 1969, Draper *et al.*, 1994).
- Cuenca de Bonaire: cuenca de distensión, donde posiblemente tenga relación con la cuenca de Grenada, cuyo espesor es de aproximadamente 7 Km (Pindell *et al.*, 1998). Se encuentra limitada por las islas de la cadena insular y por la Cordillera de la Costa Venezolana al norte y sur respectivamente; donde se extiende desde el Estado Falcón hasta la depresión de Margarita. Consiste en una espesa sección sedimentaria que fue depositada sobre un basamento ígneo-metamórfico mesozoico (Bellizzia y Dengo, 1986).
- Cuenca de Colombia: está definida por el escarpe de Hess al norte, al sur limita con el margen continental de Panamá y Colombia, donde tiene entre 4000 y

4400 m de profundidad (Draper *et al.*, 1998). La cuenca colombiana está ocupada en el centro y la parte norte por una planicie turbidítica ancha y evidentemente gruesa que ha obstaculizado las técnicas geofísicas, y, además, que evitaría la perforación (Donnelly, 1994). Los relieves más prominentes están asociados a bloques fallados y levantados (Alto de Mono) y a canales en los abanicos submarinos (Holcombe *et al.*, 1990).

- Cuenca de Grenada: parece ser una cuenca intra-arco formada por la separación de la base del sótano del Arco de Antillas Menores del Alto de Aves. En el norte, el edificio hundido del arco del Cretácico está bloqueado y la extensión no creó la corteza oceánica. En el sur, sin embargo, el sótano yace debajo de los 4000 m de depósitos inalterados y es probablemente oceánico (Pindell y Barrett, 1990).
- Cuenca de Venezuela: es la cuenca más larga y más profunda de las cuencas del Caribe. La cuenca es más profunda en sus límites norte (Muelle de los Muertos) y meridional (Llanura venezolana), donde converge con los Cinturones Deformados del Caribe Norte y Sur, respectivamente y llegan a profundidades mayores a 4000 m (Case *et al.*, 1984, Draper *et al.*, 1994).
- Cuenca de Yucatán: La cuenca de Yucatán está delimitada al sur por la Cordillera de las Caimán, al oeste con la Península de Yucatán de México, y al norte con la parte occidental y central de la isla de Rosencrantz (Draper *et al.*, 1994). La deformación de alto grado en las rocas sugiere que el engrosamiento de la corteza tiene relación con la colisión de Yucatán con el Gran Arco Volcánico del Caribe (García-Casco *et al.*, 2001).
- *Ridge* Caimán: El canal de las Islas Caimán tiene una extensión de 1600 Km, 120 Km de ancho y una profundidad de más de 6 km. Limita al norte y al sur con paredes empinadas, que tienen un fuerte parecido general a una falla transformante (Donnelly, 1994).
- Antillas de Sotavento: cresta submarina con importantes variaciones al sur del Caribe, con una tendencia este-oeste, donde limita en el extremo norte con el Cinturón Deformado del Sur de Caribe (CDSC), y al sur con la plataforma

continental al noroeste de Venezuela (Pindell y Barrett, 1990, Audemard y Audemard, 2002). Al sur del CDSC, dichos relieves submarino afloran, formando un grupo de islas en el mar Caribe. Tales como: Aruba, Bonaire, Curazao, La Blanquilla, La Orchila, La Tortuga, Los Frailes, Los Hermanos, Los Monjes, Los Roques, y Los Testigos, en donde las islas Aruba, Bonaire y Curazao son parte de las Antillas holandesas de Sotavento.

CAPÍTULO III

MARCO TEORICO

3.1 Método sísmico de reflexión marina

El método de sísmica de reflexión requiere de producir microsismos con fuentes artificiales en el que parte la energía de la onda se refleja desde las diversas faces geológicas del subsuelo a la superficie, donde se encuentran los receptores que vibran por la llegada de las ondas, finalmente estos generan una señal eléctrica, que se digitaliza para la grabación de amplitudes y tiempos de llegada de la onda. En las operaciones marítimas, un buque de investigación transporta la(s) fuente(s) de energía (cañones de aire) en alta mar con una o más líneas de receptoras, estas líneas se definen como cables que contienen una serie de hidrófonos (Figura 5). El buque avanza mientras se disparan las fuentes y se registran las ondas reflejadas en los receptores sísmicos, este tipo de método se pueden llevar a cabo las 24 horas, debido a que no hay necesidad de limitar la adquisición en la oscuridad. Al igual que con los registros de tierras, la adquisición de sísmica marina también se muestrea en tiempo (Evans, 1997).

Las principales etapas de un levantamiento sísmico son: su diseño, adquisición de los datos sísmicos, procesamiento de los mismos y su posterior interpretación. El diseño se debe ajustar a las características del área en estudio y los objetivos que se pretendan alcanzar con el levantamiento sísmico.

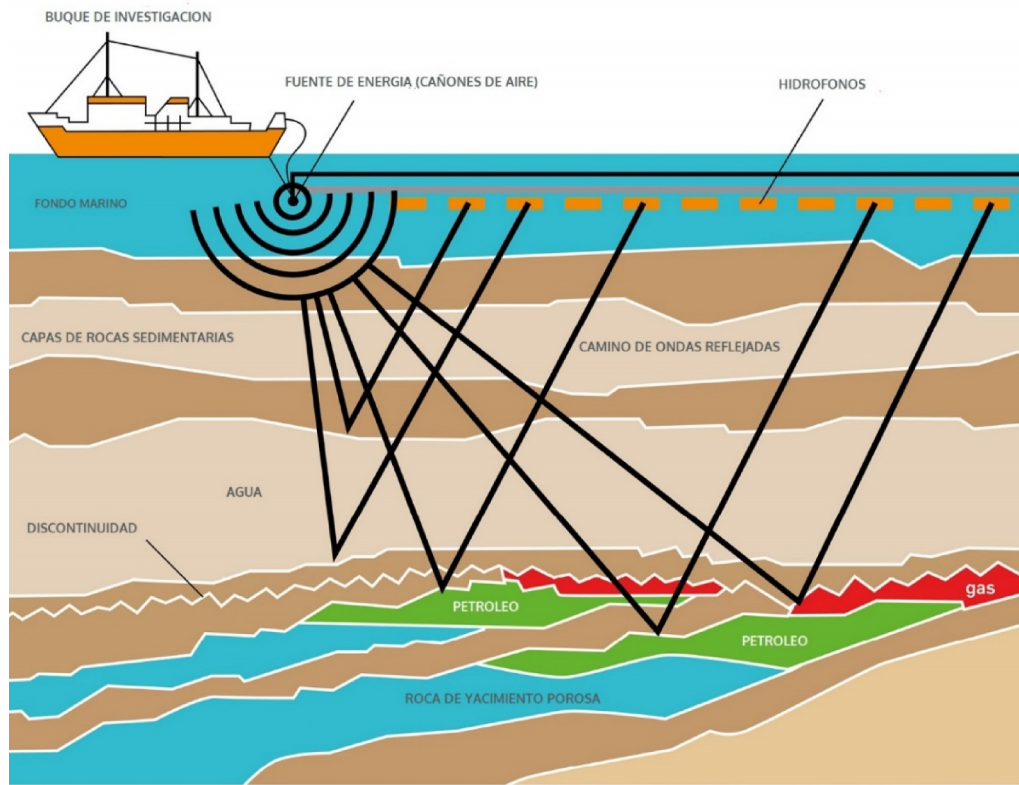


Figura 5 Esquema de adquisición en sísmica de reflexión marina. Modificado de GeoCafe (2015).

3.2 Modelo convolucional de la Tierra

Se puede considerar la onda sísmica registrada como el resultado de sucesivas convoluciones del impulso inicial de la fuente con un número de respuestas que representan varios factores que modifican la onda durante su paso por el subsuelo, tales como, reflejos primarios, los múltiples, las difracciones, las ondas superficiales, las ondas dispersas de las irregularidades cercanas a la superficie, las refracciones reflejadas, etc. Todas atenuadas por filtrado debido a la absorción y con el ruido que siempre se superpone (Sheriff & Geldart, 1995).

Bajo diversas aproximaciones, los efectos sucesivos que producen la traza sísmica de campo dentro de un intervalo de tiempo fijado pueden ser previstos por medio de la ecuación convolucional (Ec.1) (Robinson, 1985):

$$x(t) = w(t) * e(t) + n(t) \text{ Ec. 1}$$

Donde se indica que los registros sísmicos $x(t)$ (traza sísmica) contienen información sobre la fuente $w(t)$ (ondícula sísmica) y las propiedades del medio o información geológica del subsuelo por el que se propagan las ondas $e(t)$ (reflectividad), y finalmente se adhiere el ruido “ $n(t)$ ” (Figura 6) (Martínez, 2007).

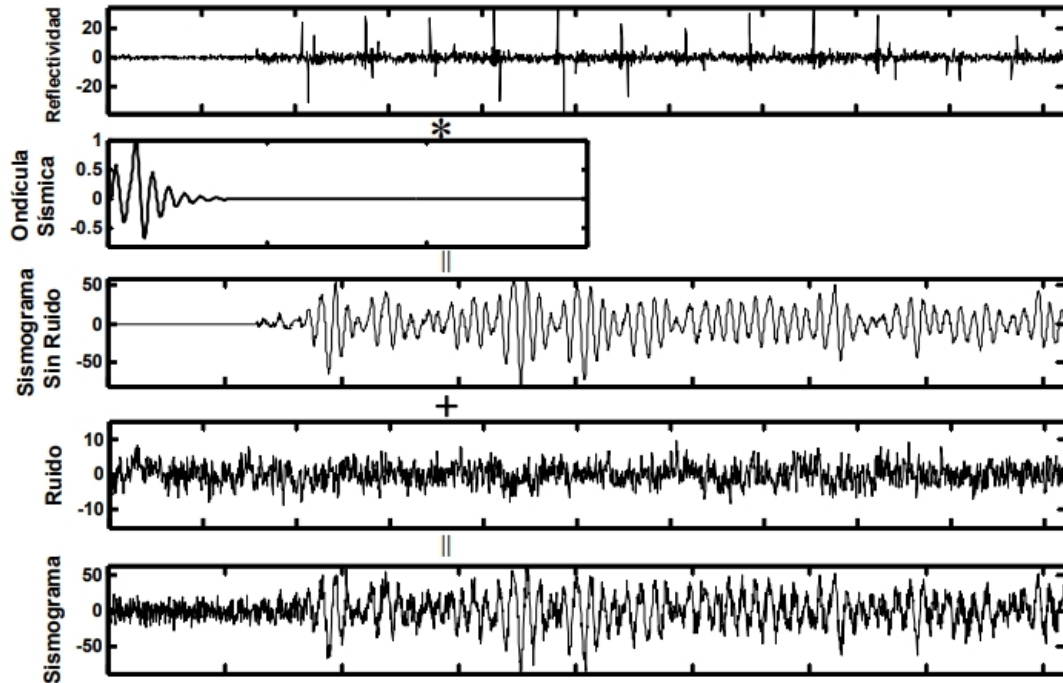


Figura 6 Modelo convolucional, el asterisco (*) denota convolucion. Tomado de (Martínez, 2007).

3.2.1 Procesamiento sísmico

El procesamiento sísmico radica en cambiar o presentar los datos, generalmente en mejorar la relación señal-ruido para facilitar la interpretación de las estructuras geológicas del subsuelo mediante la representación de un modelo de la Tierra en tiempo (Yilmaz, 2001). Las operaciones de procesamiento incluyen aplicar correcciones para causas perturbadoras conocidas, reorganizar los datos, filtrarlos según algunos criterios, combinar elementos de datos, transformar, migrar, medir atributos, mostrar, etc (Sheriff, 2002).

3.2.2 Secuencia básica de procesamiento de datos sísmicos

En el procesamiento de datos sísmicos existen tres etapas principales con el objetivo de mejorar la resolución sísmica y separar eventos que están muy juntos, ya sea espacial o temporalmente: deconvolución, apilamiento y migración. Todas las demás técnicas de procesamiento pueden considerarse secundarias, ya que ayudan a mejorar la eficacia de los procesos principales. El éxito de un proceso depende no solo de la elección correcta de los parámetros pertinentes a ese proceso en particular, sino también de la efectividad de los pasos de procesamiento anteriores (Yilmaz, 2001).

Yilmaz (2001) menciona lo siguiente, la deconvolución actúa sobre los datos a lo largo del eje de tiempo y aumenta la resolución temporal. El apilamiento comprime el volumen de datos y mejora la relación señal-ruido. La migración luego mueve los eventos a sus verdaderas posiciones subsuperficiales y colapsa las difracciones, y así aumenta la resolución lateral (Figura 7).

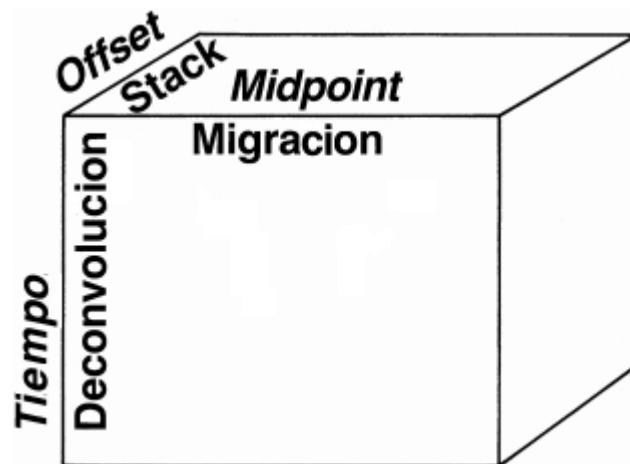


Figura 7 Volumen de datos sísmicos representado en las coordenadas de procesamiento (punto medio - desplazamiento – tiempo). Modificado de Yilmaz (2001).

3.2.3 Preprocesamiento

El preprocesamiento implica la edición de trazas. Se eliminan los rastros de ruido, los rastros con fallas transitorias o las señales de monofrecuencia; las inversiones de polaridad. Además de conversión de formato compatibles para el procesamiento en

algún programa. Un formato común utilizado en la industria sísmica para el intercambio de datos es *SEG-Y*, establecido por la Sociedad de Geofísicos de Exploración.

Finalmente, la geometría de campo se fusiona con los datos sísmicos; con base en la información de levantamiento de datos terrestres o información de navegación para datos marinos, las coordenadas de las ubicaciones de disparo (entendiendo como disparo, un registro de adquisición de datos sísmico) y receptor para todos los rastros se almacenan en encabezados de rastreo. Los cambios en las ubicaciones de los disparos y los receptores se manejan adecuadamente en función de la información disponible en el registro del observador. Muchos tipos de problemas de procesamiento surgen al configurar la geometría del campo incorrectamente; como resultado, la calidad de la sección final puede degradarse severamente (Yilmaz, 2001).

3.2.4 Transformada de Fourier

La transformada de Fourier es una de las etapas fundamentales para el procesamiento sísmico en la fase de análisis de señales, debido que el estudio de las trazas sísmicas se obtiene mediante dicha transformada, logrando pasar del dominio del tiempo al dominio de las frecuencias la información contenida las trazas (Yilmaz, 2001).

3.2.5 Filtros

Para mejorar la relación señal-ruido de los estudios sísmicos y resaltar los eventos de reflexión eliminando el ruido es necesario la utilización de filtros, por ellos se pueden definir como selectores de frecuencias que permiten el paso de los componentes espectrales comprendidos en uno o varios rangos (Martínez, 2007). Los filtros selectores de frecuencias según Oppenheim *et al.* (1997), se pueden dividir básicamente en:

Filtro pasa-bajo: filtro que deja pasar las bajas frecuencias, desde cero hasta un corte determinado, siendo las frecuencias mayores a esta, rechazadas (Figura 8).

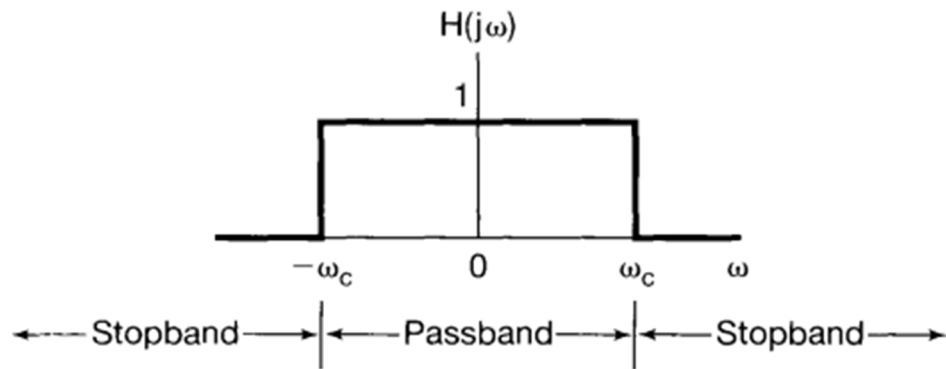


Figura 8 Filtro pasa-bajo obtenido de Oppenheim *et al.* (1997), ω_c = frecuencia de corte.

Filtro pasa-alto: trabajando de forma inversa a la pasa-bajo, este filtro rechaza las frecuencias desde cero hasta el corte determinado, aceptando las frecuencias mayores (Figura 9).

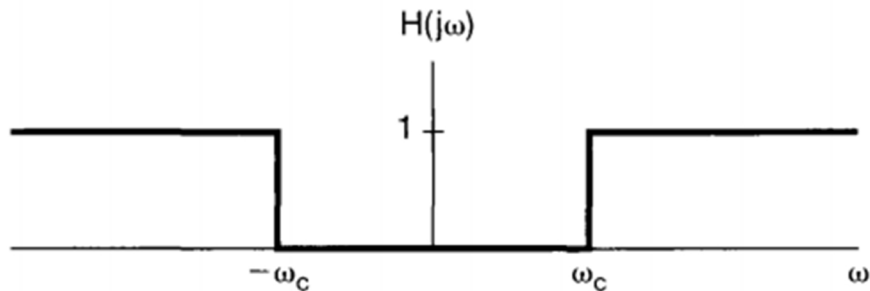


Figura 9 Filtro pasa-alto obtenido de Oppenheim *et al.* (1997), ω_c = frecuencia de corte.

Filtro pasa-banda: es un filtro que deja pasar bandas frecuencias entre los cortes determinados (Figura 10).

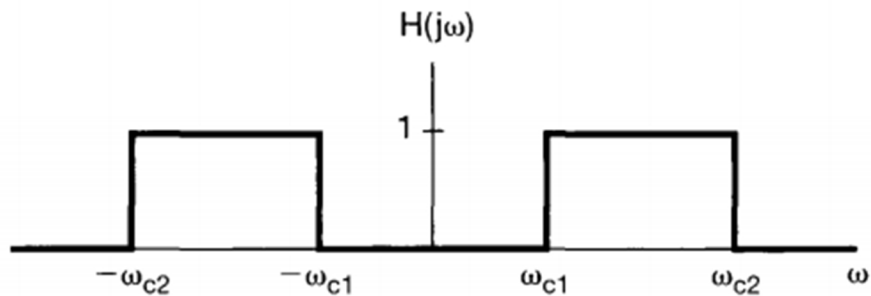


Figura 10 Filtro pasa-banda obtenido de Oppenheim *et al.* (1997), ω_c = frecuencia de corte.

3.2.6 Recuperación de amplitud

La recuperación de amplitud, es un escalar variante en el tiempo, en el cual la función está basada en un criterio deseado. Por ejemplo, la corrección de dispersión geométrica Ec.2:

$$g(t) = t^\alpha; \text{ usualmente } \alpha=2 \text{ Ec. 2}$$

Se aplica para compensar la divergencia del frente de onda al principio del procesamiento, antes de la deconvolución. También antes de la deconvolución, se puede aplicar una ganancia exponencial para compensar las pérdidas por atenuación. La ganancia debe usarse con cuidado, ya que puede destruir el carácter de la señal. Por ejemplo, un *AGC* instantáneo con una compuerta de tiempo muy pequeña hace que los reflejos fuertes no se puedan distinguir de los reflejos débiles (Yilmaz, 2001).

3.2.7 Deconvolución

La deconvolución comprime la ondícula básica registrada en el sismograma, atenúa las reverberaciones y los múltiples de período corto, por lo tanto, aumenta la resolución temporal y produce una representación de la reflectividad. El proceso normalmente se aplica antes del apilamiento de los datos; sin embargo, también es común aplicar la deconvolución a datos apilados (Yilmaz, 2001).

Sheriff & Geldart (1995) mencionan que el objetivo final de la deconvolución es extraer la función de reflectividad de la traza sísmica y así mejorar la resolución vertical y el reconocimiento de los eventos. A veces, la deconvolución solo intenta deshacer los efectos de algún filtrado previo. La Figura 11 muestra una sección apilada con y sin deconvolución, en donde, la deconvolución ha producido una sección con una resolución temporal mucho más alta con más detalle.

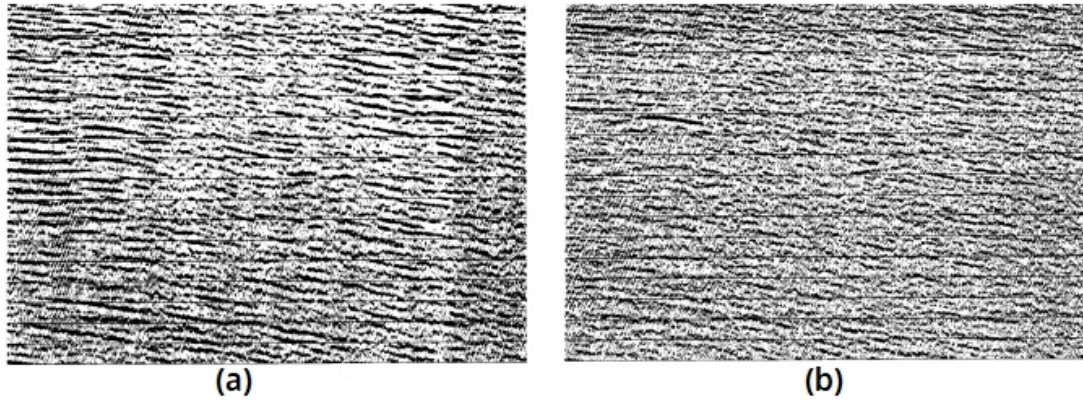


Figura 11 Ejemplo de sección apilada sin deconvolución (a) y con deconvolución (b). Modificado de Yilmaz (2001).

3.2.8 Auto-correlación

Manzoni (2001) menciona que la auto-correlación, como su nombre lo indica, es la correlación de una función consigo misma. La auto-correlación es esencial en el algoritmo de la deconvolución porque permite conocer como la ondícula sísmica cambia de reflexión en reflexión. Por otro lado, el auto-correlograma es la representación gráfica de una auto-correlación sobre un grupo de trazas sísmicas, y aplicar su análisis es conveniente para obtener los parámetros más convenientes de la deconvolución (Figura 12), con ella se puede definir un operador de la deconvolución (Figura 13), removiendo los posible múltiples de las trazas sísmicas.

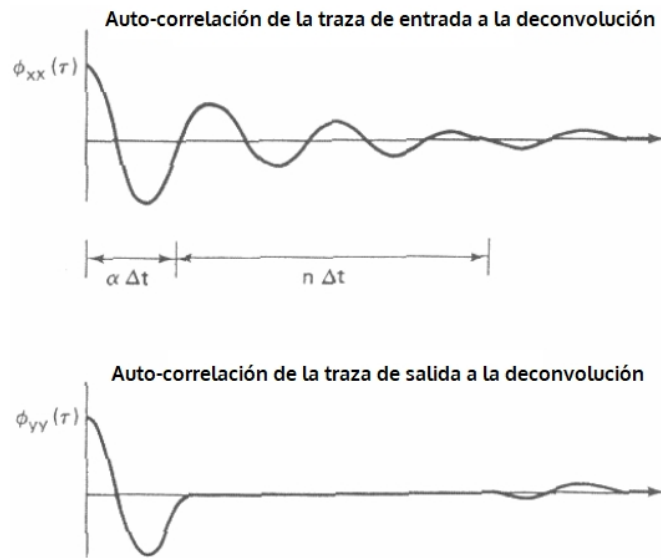


Figura 12 Trazas de auto-correlación antes y después de la deconvolución (α =longitud de predicción (PL), n =longitud de operador (OL)). Modificado de Forel *et al.* (2005).

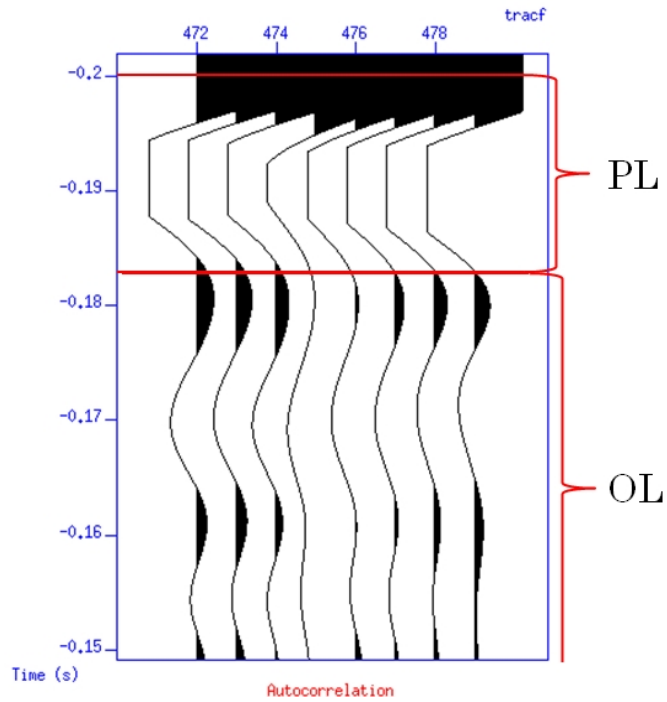


Figura 13 Obtención de longitudes de predicción y operador para aplicar deconvolución predictiva

3.2.9 Ordenamiento por CMP

La adquisición de los datos sísmicos de reflexión se realiza en coordenadas receptor-disparo, mientras que el procesamiento, se efectúa en coordenadas punto medio-*offset*. La transformación se logra clasificando los datos en conjuntos de punto medio común o “*Common Midpoint*” (*CMP*), la geometría de campo de cada traza individual se le asigna al punto medio entre la ubicación del disparo y el receptor asociado a esa traza. Las trazas asociadas a un mismo *CMP* son agrupadas, formando un conjunto de *CMP*. Cabe destacar que erróneamente se usa el término punto medio común (*CMP*) y punto de profundidad común o “*Common Depthpoint*” (*CDP*) indistintamente (Figura 14), no obstante, esto solo es cierto cuando se estudian reflectores planos en el subsuelo y las velocidades de no varían (Yilmaz, 2001).

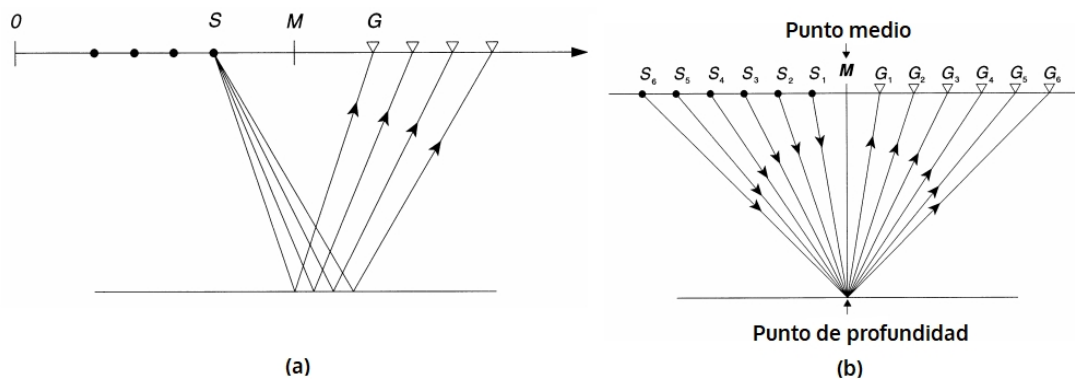


Figura 14 (a) esquema de un conjunto de *CMP* (b) esquema de *CMP* y *CDP*. Donde “S” son las fuentes; “G” son los geófonos. Modificado de Yilmaz (2001).

3.2.10 Análisis de velocidad

Los eventos reflejados en un registro de disparo no aparecen como líneas rectas sino como líneas curvas. Debido al tiempo de viaje de la onda reflejada entre los diferentes geófonos, haciendo que dichos eventos tengan forma hiperbólica, este efecto se denomina movimiento normal “*Normal moveout*” (*NMO*). Por ello, la sísmica multicanal demanda información ajustada sobre la velocidad de las ondas en el subsuelo, con el objetivo de obtener una mejor relación señal/ruido. Por tanto, sobre el conjunto de *CMP* espaciados uniformemente se realiza dicho proceso para construir una función o un campo de velocidad para el apilamiento (Rodríguez, 2012).

Telford *et al.* (1990), comentan que el objetivo principal del análisis de velocidad es determinar la velocidad *NMO* que se debe eliminar para maximizar el apilamiento de eventos que se consideran primarios. Cuando no hay precisión en el análisis de velocidad esto puede conllevar a una mala calidad de la sección apilada, obteniéndose reflectores con formas incoherentes.

Existen varios métodos de análisis de velocidad, uno de los más efectivos es el análisis mediante un gráfico de semblanza. Rodríguez (2012) comenta que consiste en un estudio de coherencia lateral para las trayectorias hiperbólicas de la señal sísmica que se representan en un espectro de velocidades donde los máximos corresponden a los eventos en los disparos por *CMP*.

3.2.11 Corrección de NMO

El aumento en el tiempo de reflexión debido al crecimiento de la distancia de la fuente al receptor para una interfaz de reflexión horizontal en un medio homogéneo de velocidad constante se define como movimiento normal “*Normal moveout*” (*NMO*), esta propiedad da como resultado que los eventos posean forma hiperbólica (Evans, 1997). Por ello, para eliminar el efecto del desplazamiento en los tiempos de viajes se aplica la corrección de *NMO* para llevar todas las reflexiones a los mismos tiempos eliminando los tiempos de viaje de cada traza (Figura 15). Con el debido análisis de velocidad en el conjunto de *CMP* después de la corrección, los eventos en su mayoría son aplanados en el rango de compensación (Yilmaz, 2001).

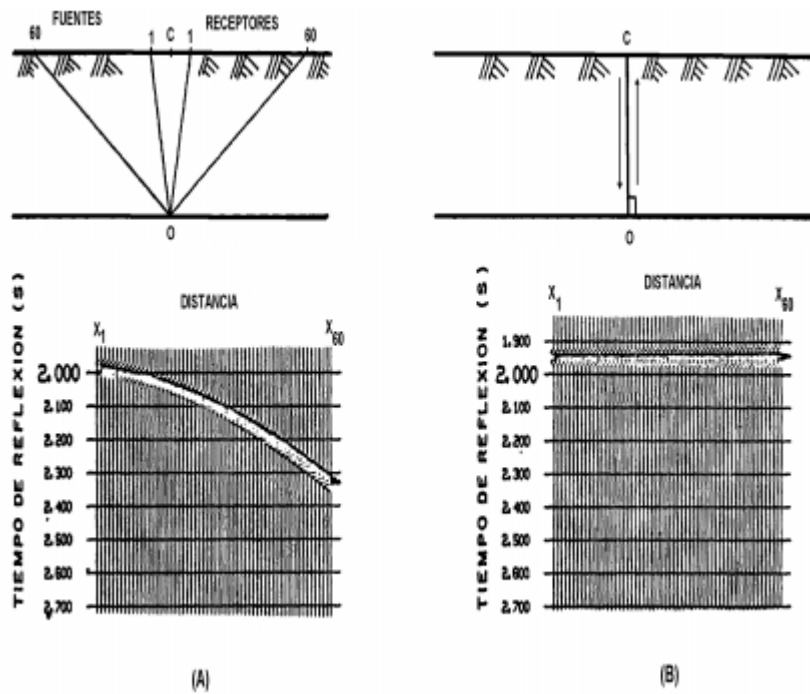


Figura 15 (A) trayectorias fuentes-receptor de un CDP en una capa plana y las trazas sísmicas correspondientes antes de la corrección *NMO*. (B) después de la corrección *NMO*. Tomado de Manzoni (2001).

3.2.12 Apilamiento

La suma de todas las trazas que conforman los puntos comunes de profundidad de una línea sísmica se define como apilamiento, y tiene como resultado una traza. La aplicación de la corrección *NMO*, permitirá horizontalizar y desplazar los eventos geológicos a casi su verdadera posición, por lo que el apilado será una representación muy próxima a la verdadera ubicación en el tiempo y en el espacio de los eventos geológicos presentes en el subsuelo (Manzoni, 2001).

3.2.13 Procesos post-apilamiento

Según Yilmaz (2001), una secuencia típica de procesamiento luego del apilamiento incluye los siguientes pasos:

- La deconvolución después del apilado se aplica generalmente para restablecer las frecuencias altas atenuadas. También suele ser efectivo para suprimir las reverberaciones y los múltiples de períodos cortos.

- El blanqueamiento espectral variable en el tiempo se utiliza para aplanar aún más el espectro y da cuenta del carácter variable en el tiempo de la forma de onda fuente.
- El filtrado de paso de banda variable en el tiempo se utiliza para eliminar el ruido en el extremo de alta y baja frecuencia del espectro de la señal.
- A veces se incluye la atenuación del ruido aleatorio no correlacionado de traza a traza.
- Finalmente, se aplica algún tipo de ganancia de visualización a los datos apilados. Para la conservación de la amplitud verdadera, se evita el escalamiento en el tiempo de amplitudes apiladas; en su lugar, se aplica una función de compensación de amplitud relativa que es constante desde la traza hasta la traza.

3.2.14 Migración

Implica repositionar elementos de datos para hacer que sus ubicaciones sean apropiadas para las localizaciones de los reflectores asociados o puntos de difracción. La migración normalmente se lleva a cabo luego del apilamiento, esto normalmente da buenos resultados cuando hay pequeños buzamientos y los eventos con diferentes buzamientos no interfieren en la sección no migrada. La migración antes del apilamiento casi siempre da mejores resultados, pero equivale a más costos debido al exceso volumen de datos a migrar. La corrección DMO (*dip moveout*) elimina gran parte de la necesidad de migración, por lo que normalmente la migración antes de apilamiento se asocia a migración de profundidad en áreas donde la distribución de velocidad es compleja. Aunque el objetivo de la migración es obtener una imagen de los reflectores en sus ubicaciones correctas en profundidad, la velocidad requerida para la conversión en tiempo a profundidad generalmente no se conoce con precisión y el resultado de la migración suele ser una sección en tiempo (Sheriff & Geldart, 1995).

Uno de los métodos de migración más comunes a emplear son los equivalentes a operaciones en frecuencia-número de onda ($f-k$), el método de Migración Stolt asume velocidad constante para expresarse como un mapeo directo. Para variaciones de

velocidad verticales, la migración realiza un estiramiento vertical en el eje de tiempo para hacer que los tiempos de reflexión sean aproximadamente equivalentes a los registrados para una Tierra de velocidad constante (Yilmaz, 2001).

3.3 Procesamiento traza sencilla VS multi-traza

Forel *et al.* (2005) menciona, cuando se considera la aplicación de un proceso de traza sencilla (registro de disparo), tales como la ganancia o filtrado, el orden de los procesos no importa, el resultado es el mismo, mientras que cuando se piensa aplicar procesos de trazas múltiples (luego de ordenamiento *CMP*), como *NMO* o migración, el orden es muy importante, debido a que altera dramáticamente la salida de los datos, a continuación, se tienen algunos ejemplos de comparaciones de procesos de trazas de *SU* (Tabla 3):

Tabla 3 Comparación de procesos de traza sencilla VS multi-traza. tomado Forel *et al.* (2005).

Traza sencilla	Multi-traza
sugain - ganancia	sunmo – <i>NMO</i>
sulfilter – filtrado 1-D	suvelan – semblanza
sukill – Enmudecimiento	sudipfilt – filtrado 2D
supef - deconvolución	sustold – migración tipo Stold

3.4 Seismic Un*x

Seismic Un*x es un programa libre y flexible del sistema operativo Linux principalmente para procesamiento sísmico y desarrollo de sub programas de la misma área, que proporciona un ambiente de formación y procesamiento autónomo, de tal forma, que los usuarios puedan modificar y ampliar sus capacidades con respecto a sus necesidades, por ello, el programa se distribuye con el código fuente completo. El programa no se restringe a solo procesamiento sísmico, debido a que se puede ejecutar un amplio conjunto de métodos relacionados con el estudio de ondas, y adicionalmente este tiene la función de reconocer una variedad de lenguaje *Shell* para ampliar la funcionalidad del paquete (Stockwell y Cohen, 2008).

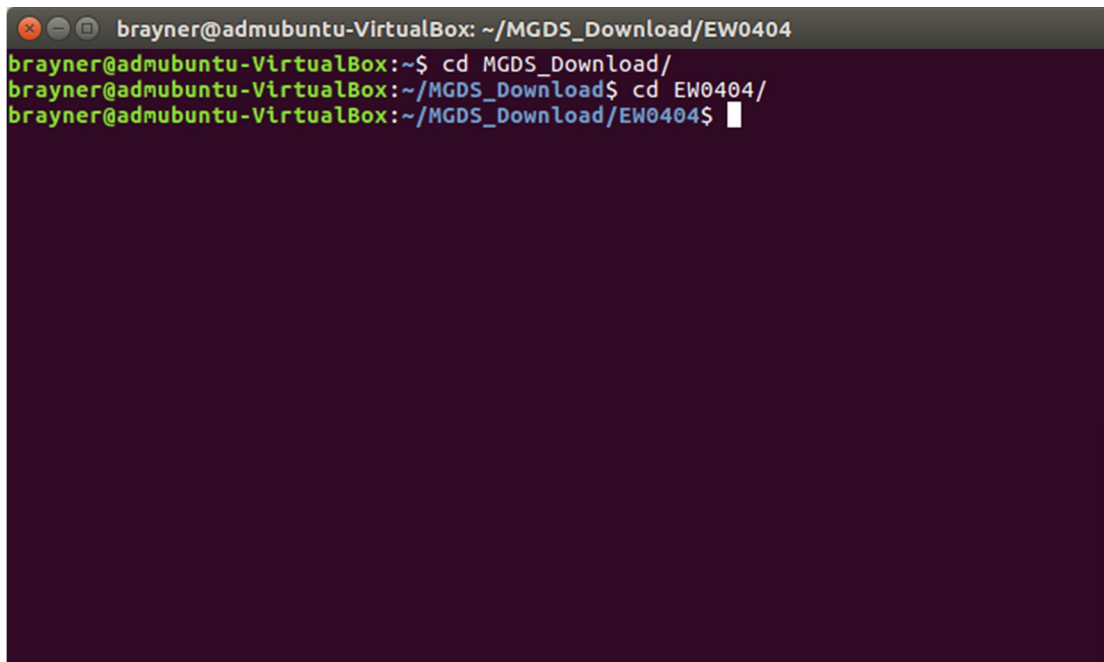
3.4.1 Shell-script

En *Seismic Unix* (*SU*) es posible utilizar comandos directos en la ventana de Terminal de Linux, la forma más eficiente de usar *SU* es a través de los *Shell-script*. Estos nos permiten combinar varios programas de procesamiento en un solo "trabajo", similar a los paquetes de procesamiento sísmico comercial (Forel *et al.*, 2005).

CAPÍTULO IV

METODOLOGIA

En esta sección del trabajo de investigación se presenta el procedimiento y sus respectivos parámetros para procesar los datos de la línea sísmica marina 2D utilizando el paquete de procesamiento sísmico *Seismic Unix*. Se describieron los diferentes comandos y *Shell-script* utilizados para el manejo de los datos y sus correspondientes ejemplos de resultados, el ambiente de proyecto para la ejecución de dichos comandos se ubica en el Terminal de Linux (Figura 16), en donde hay que localizar el directorio del contenido, tanto de los archivos de los datos de la línea sísmica en binario con extensión *su* para el uso de los mismos, como de los *Shell-script* con extensión *sh* para aplicar dichos comandos.



```
brayner@admubuntu-VirtualBox: ~/MGDS_Download/EW0404
brayner@admubuntu-VirtualBox:~$ cd MGDS_Download/
brayner@admubuntu-VirtualBox:~/MGDS_Download$ cd EW0404/
brayner@admubuntu-VirtualBox:~/MGDS_Download/EW0404$
```

Figura 16 Ventana de Terminal de Linux.

4.1 Ordenadores usados en procesamiento

En el procesamiento de cualquier proyecto geofísico es de suma importancia las características de los ordenadores a utilizar, debido a que tienen que ser capaz de proporcionar el producto de cada paso del procesamiento de los datos, para este proyecto se utilizaron computadoras de características accesibles por universidades o empresas, tanto para el procesamiento de grandes volúmenes de datos (Tabla 5), como para el análisis de pequeños *set* de datos (Tabla 4) a analizar con diferentes programas de *Seismix Unix*:

Ordenador usado para análisis de datos y parámetros de procesamiento:

Tabla 4 Características de ordenador portátil.

Computadora portátil	Ubuntu v16.04 virtualizada Virtual Box	2 GB de RAM	Procesador i5 7th gen	1 núcleo
----------------------	--	-------------	-----------------------	----------

Ordenador usado para procesamiento de grandes volúmenes de datos:

Tabla 5 Características de ordenador de escritorio.

Computadora de escritorio	Ubuntu v14.04	8 GB de RAM	Procesador i7	4 núcleos
---------------------------	---------------	-------------	---------------	-----------

4.2 Descarga de los datos

Los datos disponibles para el desarrollo de la investigación de la línea sísmica *BOL-06* del proyecto “*Broadband Ocean-Land Investigation of Venezuela and the Antilles arc Region*” (BOLIVAR) fueron obtenidos del sitio *Marine Geoscience Data System* en formato *SEG-Y*, para entender este formato debemos tener en cuenta lo siguiente:

Stockwell y Cohen (2008) mencionan que, a principios de la década de 1980, el formato de almacenamiento de datos más común era *SEG-Y*. Este es el formato *Y* de la Sociedad de Exploración de Geofísicos que se describe en la publicación de la *SEG Normas de Cinta Digital*.

El formato de datos *SEG-Y* consta de 3 partes. La primera parte es un encabezado de imagen de tarjeta *Extended Binary Coded Decimal Interchange Code (EBCDIC)* de 3200 *bytes* que contiene 40 tarjetas (es decir, 40 líneas de texto con 80 caracteres por

línea) en valor de datos de texto que describen la cinta. La segunda parte es un encabezado binario de 400 *bytes* que contiene información sobre el contenido del carrete de cinta. La tercera porción del formato *SEG-Y* consiste en las trazas sísmicas reales. Cada traza tiene un encabezado de traza de 240 *bytes* (Stockwell y Cohen, 2008).

Los datos de adquisición de la línea sísmica *BOL-06* fueron los siguientes (Tabla 6):

Tabla 6 Datos de la geometría de la línea sísmica *BOL-06*.

Punto de referencia a la fuente	88.6 metros
Número del 1er canal	480
Profundidad del cable	7 metros
Nombre del sistema de adquisición	<i>SYNTRAK</i>
Volumen de fuente	6947 cu. in.
Presión de fuente	2000 psi
tipo de fuente	Bolt 1500C
Número de cañones	20
Profundidad de la fuente	7 metros
Intervalo de disparos	50 metros
Intervalo de muestra de adquisición	4000 microsegundos
Longitud de registro	14.336 segundos
Brújula	Si
Boya de cola activa	Si
Retardo de grabación	No
Sistema de adquisición	Digital
2 o más naves	No
Offset cercano	183 m
Offset lejano	6171 m

4.3 Visualización y revisión de los datos de la línea

4.3.1 Conversión a formato *SU*

Luego de obtener los datos de la línea sísmica *BOL-06* del sitio *Marine Geoscience Data System* en el formato *SEG-Y*. Se procedió a modificar al formato *su* debido a que *Seismic Un*x (SU)* no reconoce el formato original, esto se logró en el Terminal de Linux mediante los comandos *segypread* para leer la cinta (en este caso

EW0404.00006.000.001) en formato *SEG-Y* y *segyclean* que elimina los campos significativos para que *SU* pueda leerlos y hacer la conversión en el archivo de salida (en este caso *bol00_06*, donde “00” se definió como el archivo sin modificaciones en *SU*).

```
segyclean tape=EW0404.00006.000.001 | segyclean> bol06_00
```

El formato de datos *SU* se basa en la porción de las trazas del formato *SEG-Y*. La principal diferencia entre dichas trazas, es que la porción de datos de las primeras es flotantes, escritas en el formato binario nativo de la máquina con la que está ejecutando *SU*. Los encabezados del *EBCDIC* y binario no se conservan en el formato *SU*, por lo que un archivo *SEG-Y* no funcionará con ningún programa *SU*.

4.3.2 Obtención del encabezado

Es de suma importancia el análisis de encabezado o *header* de los datos sísmicos debido a que muestran información de los registros obtenidos en la línea, el encabezado puede incluir el número de traza y el desplazamiento de la traza (para registros por disparo o *CMP*), y además de ello, es sustancial familiarizarse con la misma para la posterior edición de la geometría. Para esto se utilizó el comando *surange* para obtener el conjunto de valores y rangos de máximos y mínimos del *header* (Tabla 7).

```
surange < bol06_00.su > rangos_06.txt
```

Donde se obtuvo la siguiente información de la línea sísmica:

Tabla 7 Datos obtenidos del encabezado de la línea sísmica.

Dato	Información obtenida	Descripción
<i>tracl</i>	2 – 24050 (2 – 5291)	Número de secuencia de las trazas dentro de la línea.
<i>tracr</i>	1 – 1334880 (1 – 1334880)	Número secuencial de trazas dentro de la cinta.
<i>fldr</i>	6000 – 8795 (6000 – 8795)	Número de registro de campo.
<i>tracf</i>	1 – 480 (1 – 480)	Número de trazas dentro del registro de campo.
<i>ep</i>	6000 – 8791 (6000 – 8791)	Número de punto de fuente de energía.
<i>cdp</i>	1466 – 146641 (1466 – 2471)	Número de conjunto de CDP.

Dato	Información obtenida	Descripción
<i>trip</i>	1	Código de identificación de rastreo 1=Dato Sísmico 2=Muerto 3=Ficticia 4=Fuera de tiempo 5=Uphole 6=Sweep 7=Timing
<i>duse</i>	1	Datos a usar: 1=Producción 2=Prueba
<i>offset</i>	-6171 – -183 (-6171– -183)	Distancia del punto de origen al receptor (Es negativo si está opuesto a la dirección en la que se disparó la línea)
<i>swdep</i>	0 – 1354 (1021 – 1126)	Profundidad del agua en la fuente
<i>scalco</i>	-10 – 0 (-10 – -10)	Factor de escala para las siguientes 4 entradas con valor más o menos 10 a la potencia 0, 1, 2, 3 o 4 (si es positivo, multiplica, si es negativo divide).
<i>sx</i>	-15078403 – 0 (-14878269– -15078403)	Coordenada de la fuente en X.
<i>sy</i>	0 – 2726740 (2537804 – 2726740)	Coordenada de la fuente en Y.
<i>gx</i>	-15078403 – 0 (-14878269 – -15078403)	Coordenada del receptor en X.
<i>gy</i>	0 – 2726740 (2537804 – 2726740)	Coordenada del receptor en Y.
<i>counit</i>	0 – 2 (2 – 2)	Código de unidades de coordenadas: para las cuatro entradas anteriores 1 = longitud (metros o pies) 2 = segundos de arco (en este caso, los valores X son longitud y los valores Y son latitud, un valor positivo designa el número de segundos al este de Greenwich o al norte del Ecuador).
<i>lagb</i>	0 – 999 (479 – 777)	Microsegundos entre el tiempo de interrupción y el tiempo de iniciación de la fuente de energía, puede ser positivo o negativo.
<i>ns</i>	3584	Número de muestras.
<i>dt</i>	4000	Intervalo de muestreo (en microsegundos).
<i>year</i>	2004	Año de la grabación.
<i>day</i>	119	Día del año.
<i>hour</i>	7 – 23 (8 - 23)	Horas del día (en 24 horas).

Dato	Información obtenida	Descripción
<i>minute</i>	0 – 59 (17 – 49)	Minutos de la hora.
<i>seconds</i>	0 – 59 (49 – 52)	Segundos del minuto.

Información obtenida= mínimo – máximo (primero – ultimo) respectivamente

4.3.3 Revisión de la continuidad en la numeración de los registros

Debido a que los números de *fldr* y *ep* no coinciden se analizaron las secuencias de dichos datos, para tener en cuenta donde se encuentran los posibles saltos de la sucesión e incluirla en los futuro *Shell-script* de estudios de registros sísmicos.

Para la revisión de secuencias citadas anteriormente, enmarcadas por los datos obtenidos en el encabezado, se empleó el comando *sugethw* que extrae del *header* los valores de las palabras claves de los datos sísmicos seleccionados en un archivo tipo ASCII (.txt):

```
sugethw < bol06_00.su key=fldr,ep > regcampo06.txt
```

Posterior al análisis secuencial se hallaron saltos entre los *fldr* 6069 y 6074 (Figura 17), y además entre los *fldr* y *ep* 8152 y 8164.

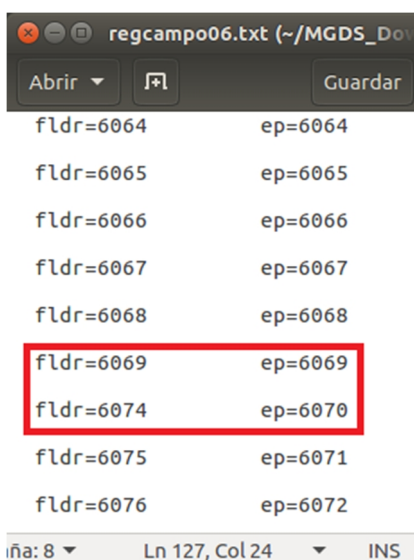


Figura 17 archivo tipo ASCII obtenido a partir del *sugethw* (Salto destacado en la secuencia de *fldr* con respecto al *ep*).

4.3.4 Inspección de trazas

En *SU* es posible tener una visualización de los disparos a través de los programas de mapeado “*suxwigb*” o “*suximage*”, en donde se despliega una ventana con los datos de campo, además es factible colocar título al gráfico y a los ejes coordenados mediante las variables *title*, *label1* y *label2* (Figura 18).

Para facilitar la visualización de los disparos se utilizó el programa “*suwind*”, que tiene el objetivo de leer todo el archivo de entrada para priorizar los datos seleccionados del rango deseado del encabezado mediante los parámetros numéricos *min* (mínimo del dato) y *max* (máximo del dato) para la representación de los mismos con el programa *suxwigb* o generar a un nuevo archivo de salida con extensión *SU*.

El programa *suwind* tiene la particularidad de leer primeramente todo el conjunto de datos de entrada para luego concluir con la instrucción de salida, por ello, para paquetes con un gran volumen de datos, tiene la deficiencia de prolongar mucho tiempo de trabajo. Por esta razón se decidió muestrear en relación al *flrd* un archivo con un conjunto de datos espaciados a cada 100 registros (*fldr*=6000, 6100, 6200...8795), para identificar trazas problemáticas constantes a lo largo de la línea de trabajo creando un *Shell-script* llamado *fldr_100_en_100.sh* (*Shell-script* 1), donde se utilizó el programa *suxwigb*.

```
suxwigb < bol06_flrd100.su perc=95&
```

Cabe destacar el parámetro *perc* indica ganancia en la visualización del registro.

Por otra parte, se subdividió el archivo original en archivos de 100 disparos por archivo (*fldr*=6000-6100, *fldr*=6101-6200...*fldr*=8701-8795) mediante otro *Shell-script* llamado *subdiv100.sh* (*Shell-script* 2) para la edición de trazas. Estos archivos se visualizaron con un *Shell-script* modificado de Forel *et al.* (2005), llamado *iview.sh* (*Shell-script* 3) para facilitar el estudio de las secuencias de registros y obtención de las trazas problemáticas.

Se tomaron como trazas problemáticas aquellas con exceso de ruido (Figura 19) o bajas amplitudes, en muchos disparos se nota la presencia del ruido de oleaje o *swell noise*

(Figura 18), Elboth *et al.* (2009), lo definen como ruido marino causado por las variaciones de largo período en la superficie oceánica u oleaje, generando cambios en la presión hidrostática del cable sísmico, además se caracteriza por su baja frecuencia y gran amplitud.

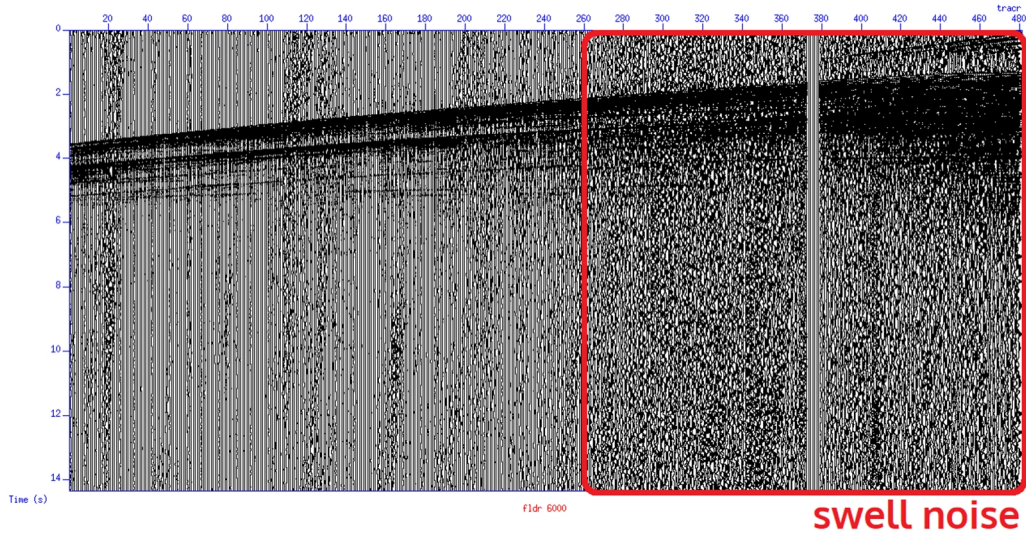


Figura 18 Disparo 6000 representado en el programa *suxwigb* afectado por *swell noise*.

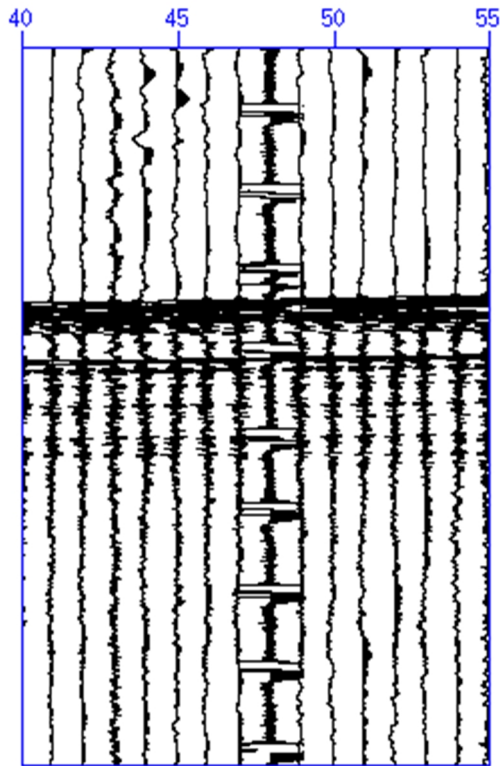


Figura 19 Traza problemática con exceso de ruido.

4.3.5 Enmudecimiento de trazas problemáticas

Es necesario llevar a cero las trazas problemáticas para mejorar la relación señal-ruido (Figura 20), para ello se utilizó el programa “*sukill*”, donde se tomó como base el *Shell-script* de Forel *et al.* (2005), llamado *killer2.sh* (*Shell-script* 4) para enmudecer un total de 16415 trazas.

Sukill < *indata* *key=tracr a= (número de traza)* > *dataout*

Cabe destacar que, para facilitar el procesamiento debido al tiempo de cómputo y sobrecarga al sistema causado por el gran volumen de datos, se hizo el enmudecimiento en las trazas contenidas en los archivos que sujetan 100 *fldr*, para luego concatenar o enlazar los archivos de salida para obtener finalmente la línea completa con las trazas enmudecidas con el comando “*cat*” que permite concatenar uno o más archivos.

cat 6000_6100.su 6101_6200.su ... 8700_8795.su > *6000_8795.su*

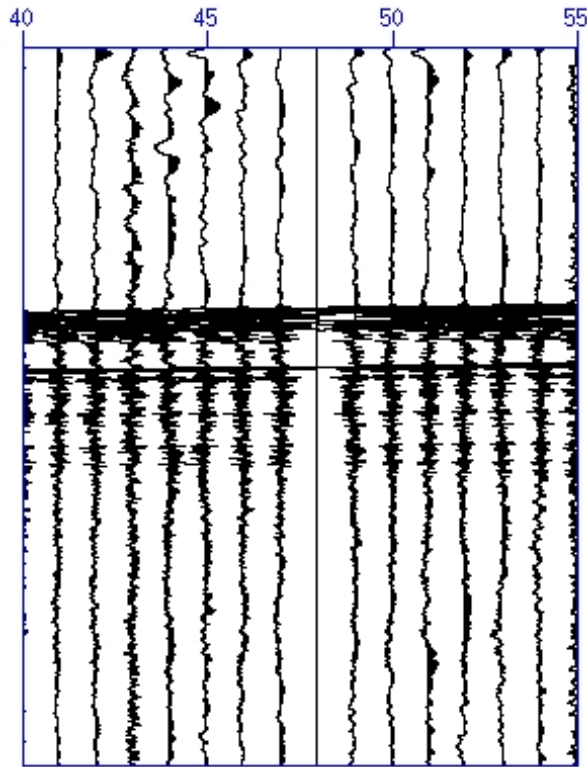


Figura 20 Traza enmudecida con el programa *sukill*.

4.4 Filtrado

4.4.1 Analisis espectral

La aplicación de filtros digitales, tiene como objetivo la eliminación de ruido contenido en las trazas sísmicas y resaltar los eventos de reflexión, por ello se estudia el rango de frecuencias y la amplitud en los que se encuentran los datos y así elegir los tipos de filtros y sus parámetros a utilizar (Gaya, 2006). Por ello se aplicó el programa “*suspectfx*” en las trazas sísmicas, en donde se calcula la transformada de Fourier para obtener el espectro de frecuencias en el dominio de $f-x$ y así adquirir el ancho de banda en donde se encuentran los datos de la línea sísmica, este programa se ejecutó en el *Shell-script* obtenido de Forel *et al.* (2005), llamado *fxdisp.sh* (*Shell-script* 5), dicho programa solicita interactivamente el nombre de archivo de entrada, el valor de *perc* y la identificación del eje x para luego mostrar las representaciones del espectro de

frecuencia en un intervalo menor a la Frecuencia de Nyquist (<125 Hz) y el disparo respectivo (Figura 21).

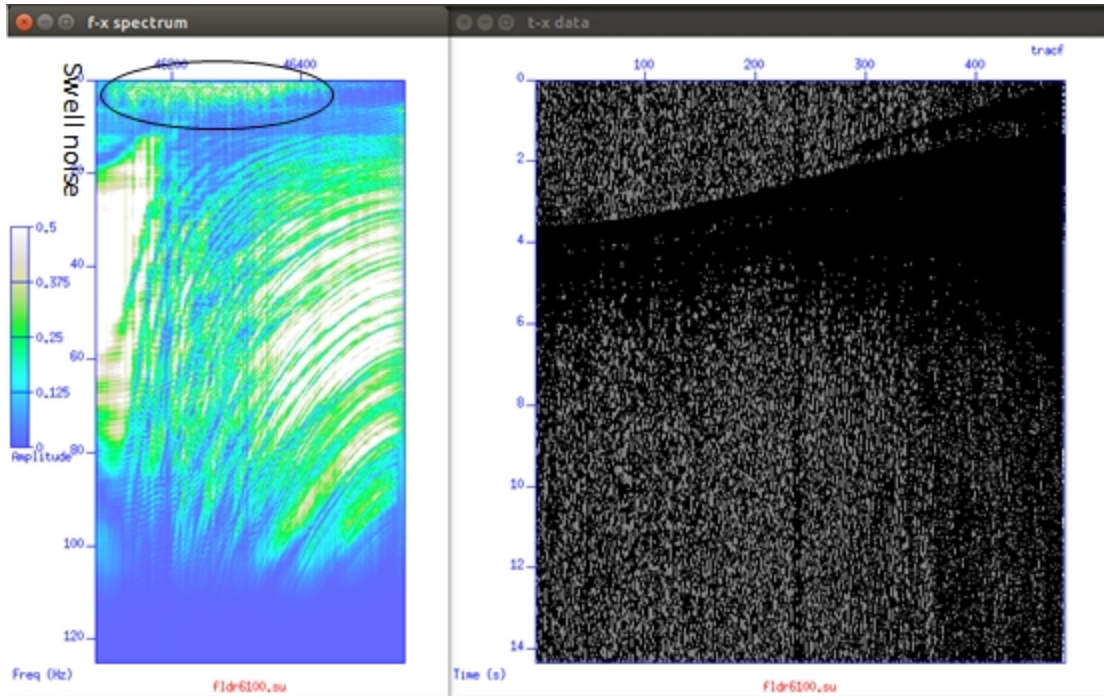


Figura 21 Espectro de frecuencia y disparo obtenido del *fxdisp.sh* (disparo 6100).

Para el análisis espectral se utilizó el archivo de entrada, los disparos de los *flrd* espaciados a cada 100 registros.

4.4.2 Filtro pasa-banda

Con el objetivo de atenuar los ruidos de alta y bajas frecuencias, así como, *swell noise* se aplicó un filtro pasa-banda (Figura 22) a todos los disparos “*sufilter*”, donde las frecuencias del filtro fueron:

- F1=6 Hz
- F2=12 Hz
- F3=100 Hz
- F4=110 Hz

sufilter < *bol06_02kill.su* *f=6,12,100,110* > *bol06_03filter.su*

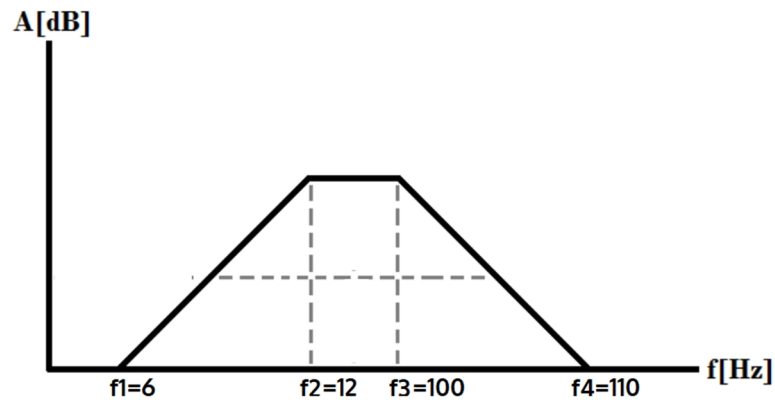


Figura 22 Filtro pasa-banda no-ideal con bandas de transición. Modificado de Rufianenlared (2016).

Cabe destacar que los valores de los parámetros “*f*” de *sulfilter* representan respectivamente las frecuencias que dan apertura a la banda de transición (f1, f4) y de corte de la banda de paso (f2, f3), y se obtuvieron a través del estudio del análisis espectral de los disparos, donde se promediaron los diferentes valores de las frecuencias citadas con anterioridad respectivamente.

4.5 Recuperación de amplitud

Para compensar las pérdidas de amplitud por la atenuación, debido a la divergencia esférica en el subsuelo, se procedió a la etapa de recuperación de amplitud o aplicación de ganancia con el programa “*sugain*”.

Se aplicó una multiplicación de los datos por una potencia de tiempo, donde dicha ganancia ejecuta la siguiente fórmula a las trazas sísmicas:

$$A_v = A_a * (t_1)^p$$

debido que el frente de onda esférica se debilita en una función de 1/distancia al cuadrado, sin embargo, los datos reales no siempre responden como la teoría, por ello se aplicó diferentes potencias, tales como 1.8, 2 y 2.2 para observar el comportamiento del gráfico de amplitud y de decibelios (dB) de las trazas y seleccionar el más óptimo para la línea sísmica.

Para dicho análisis se utilizó el *Shell-script* obtenido de Forel *et al.* (2005), *igain.sh* (*Shell-script* 6), en donde interactivamente nos permite usar la mayoría de las opciones

en *sugain* luego de colocar los datos de entrada y el *perc* dentro del archivo *sh*. El programa pide parámetros tales como, nombre de la representación de trazas en el eje de las abscisas (*tracf*, *tracr*), el número de la traza a ilustrar antes y después de la corrección por divergencia esférica y finalmente el tipo de ganancia a aplicar en los datos sísmicos, donde se empleó la opción *multiply data by t^pow* y su respectiva potencia. Finalmente, el programa exhibe tres pantallas: representación del disparo, gráfico de decibelios y gráfico de amplitud de la traza seleccionada para los datos originales (Figura 23) y después de aplicar la ganancia correspondiente (Figura 24).

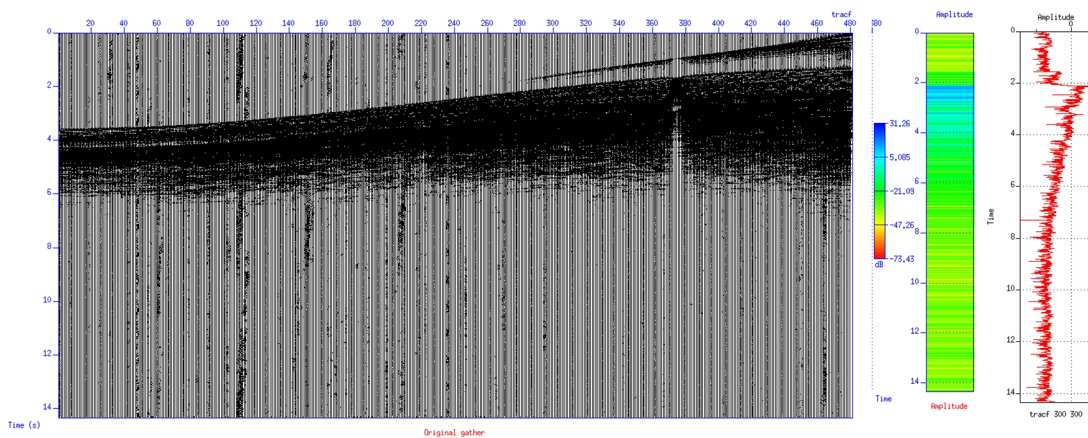


Figura 23 disparo 6100 filtrada y sin ganancia.

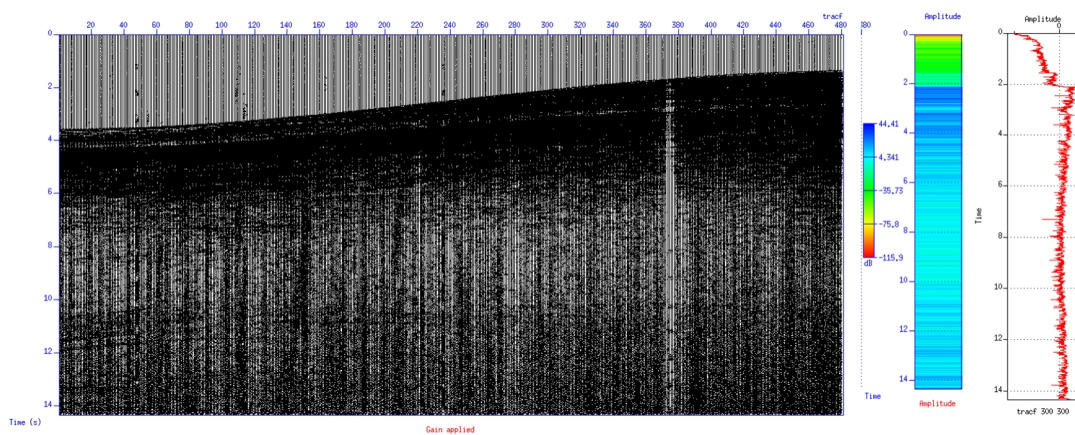


Figura 24 disparo 6100 filtrada con ganancia ($t^{pow}=2$).

Posteriormente se aplicó la corrección por divergencia esférica a toda la línea sísmica utilizando una ganancia de multiplicación de los datos por una potencia de tiempo igual a 2 con la línea de comando:

sugain < bol06_03filter.su tpow=2 > bol06_04gain.su

Debido a que este representa una mejora en la relación señal-ruido y realza los eventos profundos y muestra uniformidad en el gráfico de amplitud y de decibelio para la amplitud verdadera de la traza.

4.6 Deconvolución

Para eliminar las reverberaciones de los registros sísmicos se utilizó el método de filtrado de error de predicción de Wiener (*supef* en *SU*), dicho proceso es el principal de la deconvolución de Wiener-Levinson. El uso del programa *supef*, en sí mismo, generalmente requiere que se establezca el valor la longitud de predicción (*PL*) o *minlag* y longitud del operador (*OL*) o *maxlag* en segundos (Figura 12).

El valor *PL* para una deconvolución predictiva, se determina estableciendo primero el tamaño de una de las ondículas que se está incrementando, mientras que el valor *OL* se obtiene a través de varias pruebas empíricas al auto-correlograma, a través de la aplicación *auto-correlation* (*suacor*). Dichos dos programas se encuentran incluido en el *Shell-script* obtenido de Forel *et al.* (2005), *idecon.sh* (*Shell-script* 7), donde luego de ingresar internamente los datos de entrada y el valor de nivel relativo de ruido blanco (*wnoise*), el programa interactivamente solicita parámetros tales como: valor exponencial de ganancia (si no se ha aplicado a los datos), *perc*, nombre de la representación de trazas en el eje de las abscisas (*tracr*, *tracf*), tipo de *plot* al registro y correlograma (*suxwigb* o *suximage*), con el fin de exponer los gráficos del disparo y auto-correlación sin aplicación de la deconvolución. En el gráfico de auto-correlación (Figura 25) las bandas paralelas obtenidas después del máximo, corresponden a múltiples y reverberaciones, que se trataran de atenuar. Manzoni (2005) define el ruido blanco como ruido aditivo a fin de mejorar la inversión del filtro de predicción.

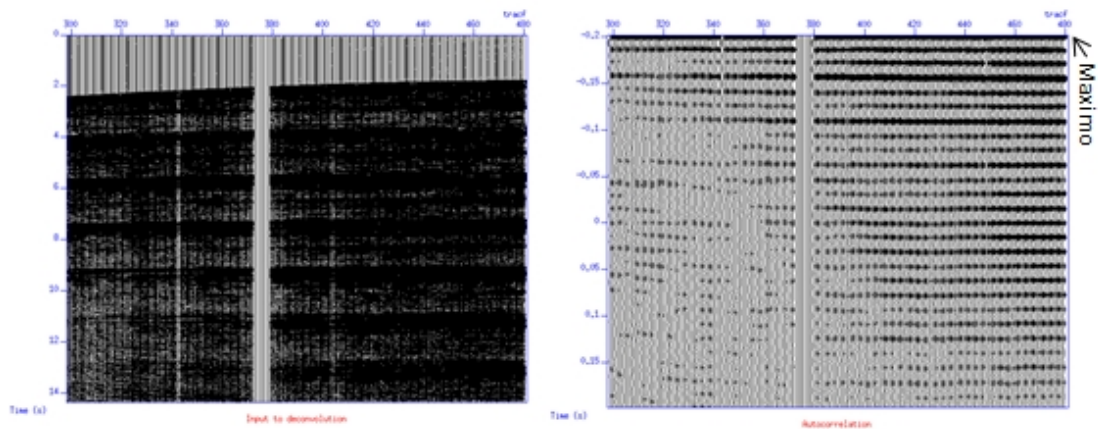


Figura 25 Gráficos del disparo 6500 y auto-correlograma sin aplicación de la deconvolución

Posteriormente la aplicación solicita los valores de PL y OL para finalmente mostrar los gráficos con el empleo de la deconvolución. La auto-correlación se utilizó en toda la longitud de grabación del registro, la primera prueba fue con la deconvolución impulsiva (Figura 26) (PL igual al intervalo de muestreo), los resultados mostraron su baja efectividad en la atenuación de múltiples y reverberaciones, por lo tanto, se utilizó el procedimiento de la deconvolución predictiva ya descrita (Figura 27), obteniéndose los siguientes valores para PL y OL después de ejecutar varias pruebas:

$$PL=0.02 \text{ s}, OL=0.25 \text{ s}$$

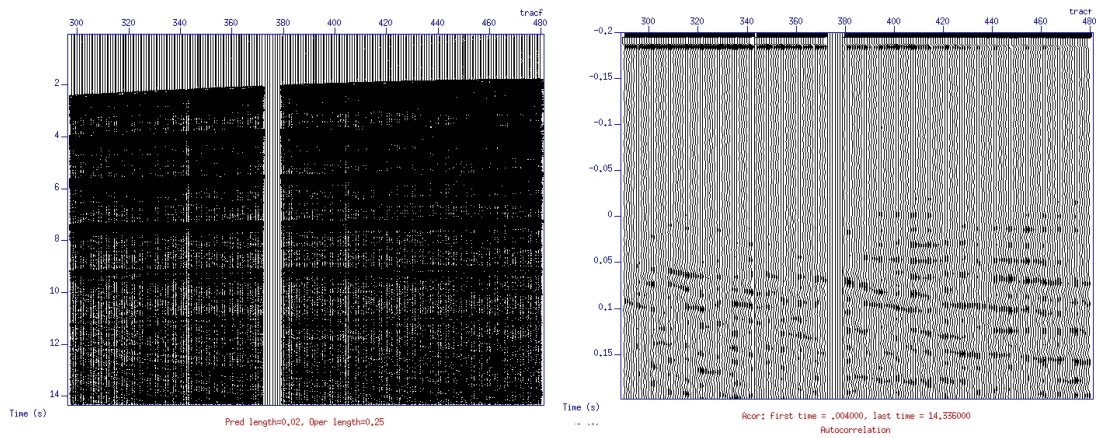


Figura 26 Gráficos del disparo 6500 y auto-correlograma luego de la aplicación de la deconvolución impulsiva.

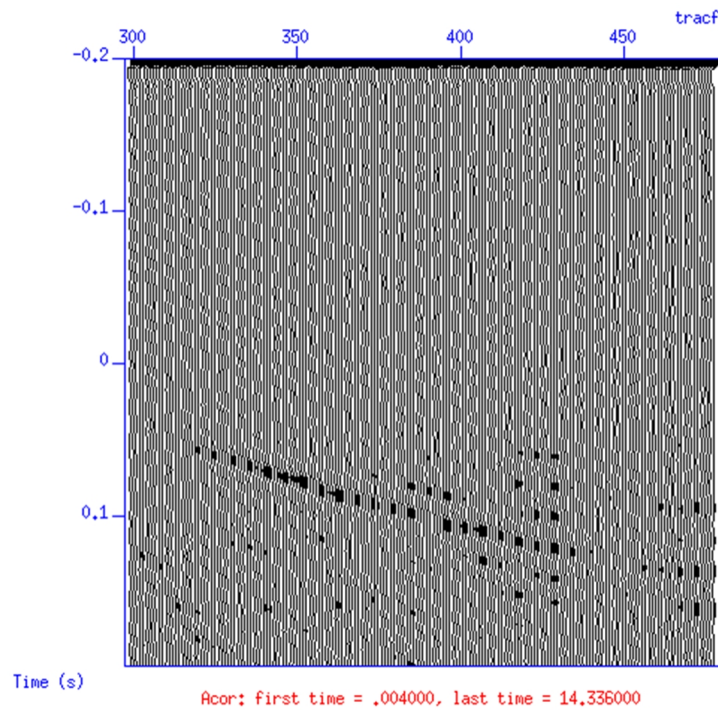


Figura 27 auto-correlograma luego de la aplicación de la deconvolución predictiva

Finalmente, luego de obtener los parámetros específicos para la aplicación de la deconvolución, se utilizó la siguiente línea de comando para atenuar las reverberaciones de la línea sísmica:

```

supef < bol06_04gain.su minlag=0.02 maxlag=0.25 pnoise=0.001 mincorr=0.004
maxcorr=14.336 > bol06_05decon.su

```

Donde *mincorr* y *maxcorr* corresponden a la ventana de tiempo de la longitud de grabación, mientras que el parámetro *pnoise*, es significado del ruido aditivo.

4.7 CMP

Para cambiar del registro del disparo a los registros *CMP* (Figura 28) se utilizó la aplicación de reordenamiento “*susort*” que permite ordenar los datos con parámetros de encabezado.

```

susort < bol06_06cdp.su cdp offset > bol06_09sort.su

```

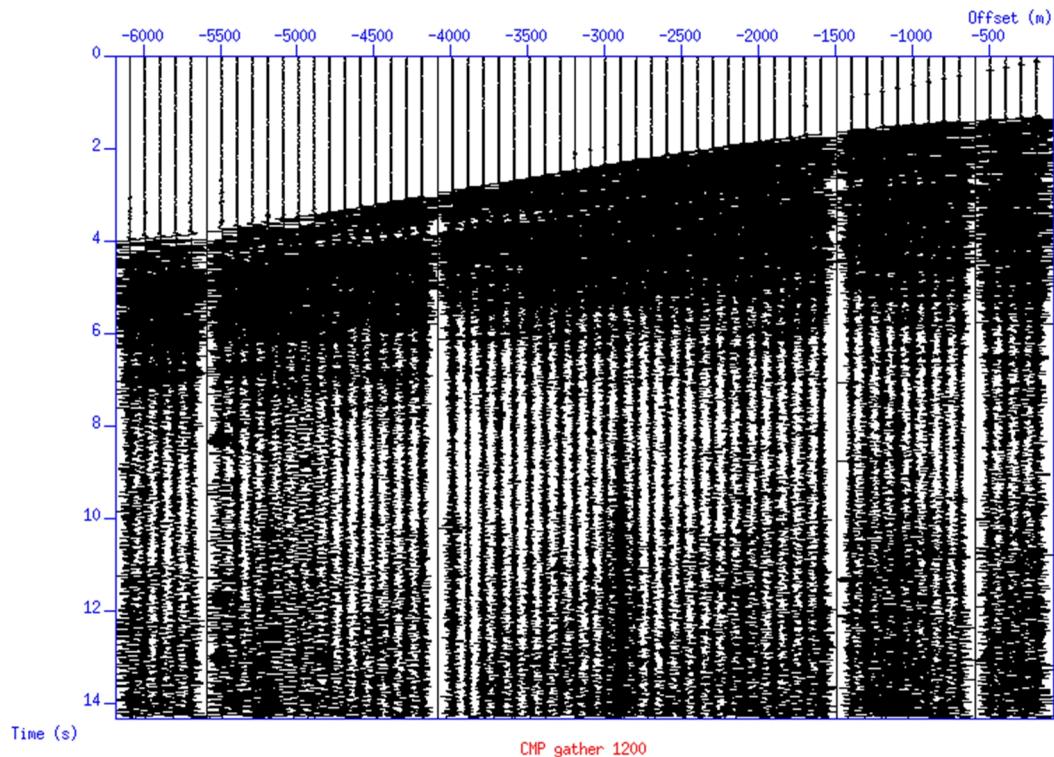


Figura 28 Disparo *CMP* 1200

Donde fue necesario el recalcu de algunos parámetros del encabezado, tales como el *fldr* y *cdp* con el programa “*suchw*”, donde los campos del encabezado pueden calcularse y sobrescribirse a partir de otros con la siguiente formula Ec.3:

$$val(key1) = (a + b * val(key2) + c * val(key3)) / d \text{ Ec.3}$$

val(key1) =valor del parámetro a calcular

val(key2) =valor del primer parámetro a relacionar

val(key3) =valor del segundo parámetro a relacionar (si es necesario)

a =cambio general o constante

b =escalar para el primer parámetro

c =escalar para el segundo parámetro

d =escalar a dividir (si es necesario)

Cabe destacar que las variables de la ecuación contienen valores predeterminados y estos fueron modificados manualmente en la línea de comando correspondiente.

Los valores del *cdp* fueron modificados con la ecuación obtenida de Nainggolan (2014), para que estos comiencen en una secuencia nueva de números arábigos (1, 2, 3 ...), debido a esto, los *fldr* también se alteraron para que comiencen con la misma secuencia. Los valores de *fldr* de los diferentes disparos se recalcularon de la siguiente manera:

$$val(fldr) = (-5999 + 1 * val(fldr))$$

```
suchw < bol06_05decon.su key1=fldr key=fldr a=-5999 b=1 >  
bol06_05decon_fldr.su
```

Mientras que los valores de *cdp* se obtuvieron con la siguiente ecuación:

$$cdp = (A * fldr) - B + (tracf - 1)$$

$$A = 2 * \frac{ir}{ir} \frac{e}{e} \frac{d}{ni \acute{o}f} = 8; B = A - 1 = 7$$

```
Suchw < bol06_05decon_fldr.su key1=cdp key2=tracf key3=fldr a=-8 b=1 c=8 >  
bol06_06cdp.su
```

Es importante señalar que *SU* trabaja en función de *CDP* debido a que no tiene una clave para *CMP*, Forel *et al.* (2005), por ello se utiliza este parámetro tomándolo como equivalente al *CMP*.

4.8 Análisis de velocidad

En esta etapa del procesamiento se utilizó el *Shell-script* tomado de Schleider (2011), *iva-KS.sh* (*Shell-script* 8), en conjunto con el *Shell-script* *vSelec.sh* (*Shell-script* 9) para realizar el análisis de las velocidades de apilamiento para cada *CMP*, donde *iva-KS.sh* contiene el programa “*suvelan*” para efectuar un estudio de los pares velocidad-tiempo ($v-t$) mediante un espectro de velocidades de los registros por *CMP* y obtención de los picos de semblanza que definen las mejores velocidades de apilamiento. *iva-KS.sh* es invocado por *vSelec.sh* que funciona como auxiliar para definir los datos y parámetros de entrada y el archivo de salida de los pares $v-t$.

Luego de ingresar los datos de entrada, *perc* y el número *CMP* a analizar, además de los parámetros: primera velocidad de análisis (f_v), número de velocidades a incrementar (n_v) y el intervalo de velocidad de crecimiento (dv) en los distintos *sh*, *iva-KS.sh* realiza el gráfico del espectro de velocidades del *CMP* a examinar con el programa *suvelan*, además del disparo (Figura 29), para iniciar la obtención interactiva de los pares $v-t$ en los picos de semblanza con la tecla “S”.

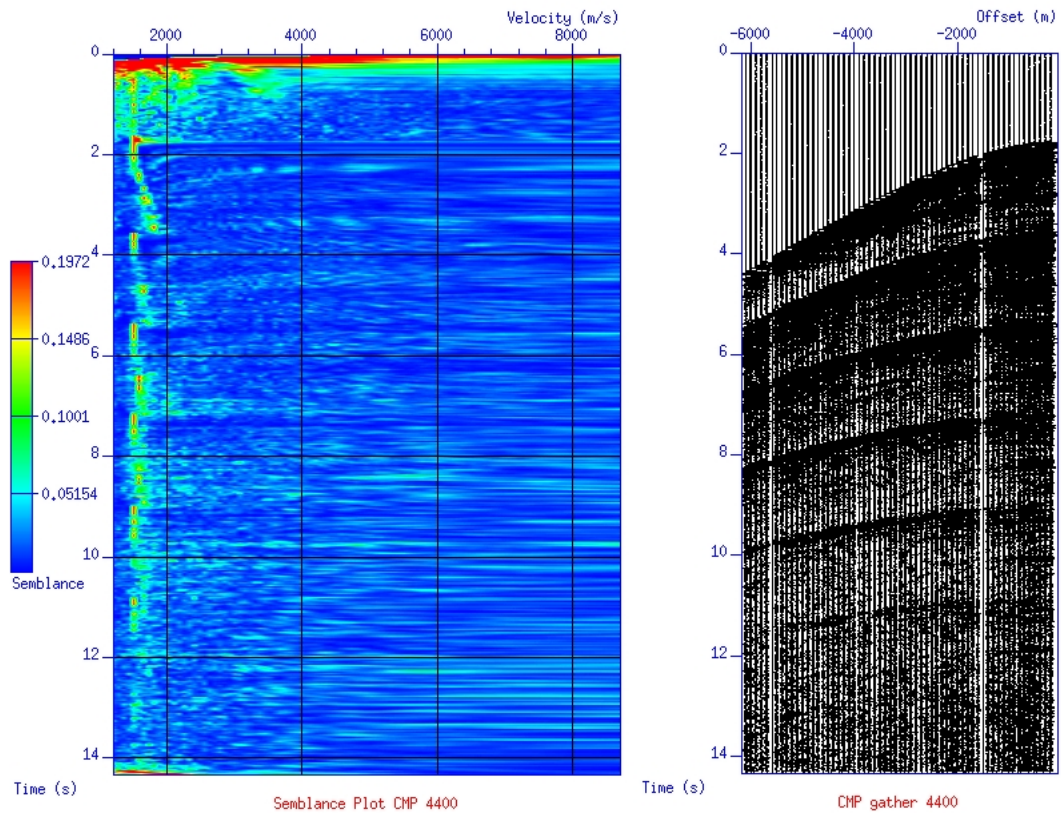


Figura 29 Espectro de velocidad y del registro *CMP* 4400

Luego de la adquisición de los puntos, se selecciona la tecla “*Q*” para que el *sh* mostrara la curva de velocidades a partir puntos de semblanza, y, por otra parte, los *CMP* corregidos con dichos pares $v-t$ (Figura 30), al culminar el análisis de los registros por *CMP* los *sh* generan un archivo tipo ASCII (.txt) con los resultados obtenidos.

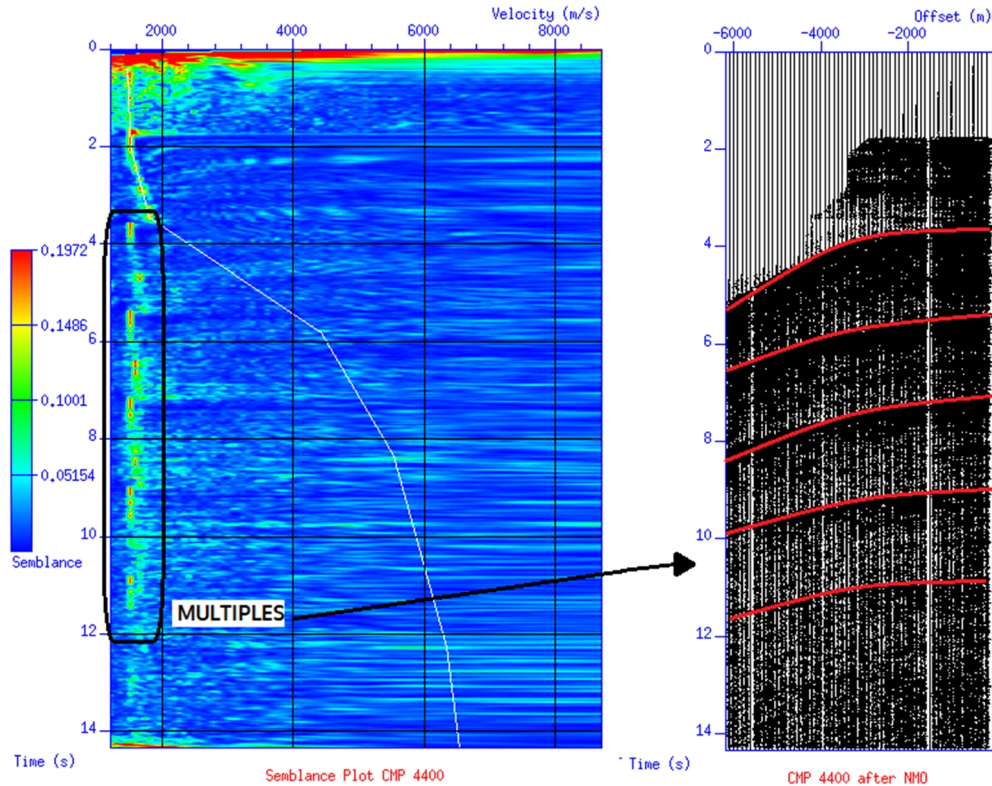


Figura 30 Espectro de velocidad con la curva de velocidad y disparo *CMP 4400* con corrección *NMO*.

Es importante señalar que los 34 *CMP* analizados fueron aquellos establecidos con una cobertura máxima en la línea sísmica, y además en un intervalo de 4 km. La cobertura se obtuvo a través de la línea de comando “*sukeycount*”, realizando un archivo tipo ASCII (.txt) que contiene la cuenta de la cobertura.

```
sukeycount < bol06_07sort.su key=cdp > count_cdp.txt
```

4.9 *NMO* y apilamiento

Posterior a la obtención de los pares $v-t$ para eliminar la cantidad *NMO* para el apilamiento, se utilizó el programa “*sunmo*” contenido en el *Shell-script* tomado de Forel *et al.* (2005), *nmo4.sh* (*Shell-script* 10) en toda la línea sísmicas, luego de ingresar los datos de entrada, además de todos los pares $v-t$, este sustrae el tiempo de viaje de las ondas para colocar los reflectores de forma horizontal.

Para representar los eventos geológicos en el subsuelo casi a su verdadera posición, y, además, eliminar ruido aleatorio contenida en las trazas se utilizó el programa de *SU* “*sustack*” para apilar las trazas con el mismo *CMP* y así obtener una sección próxima a la realidad.

```
sustack < bol06_08nmo.su > bol06_09stack.su
```

Posteriormente se aplicó un análisis de una deconvolución predictiva para realzar un poco más lo eventos reflectivos con el *sh*, *idecon.sh* (*Shell-script* 7), para luego emplear el comando *supef*.

```
supef < bol06_09stack.su minlag=0.03 maxlag=0.5 pnoise=0.001 mincorr=0.004  
maxcorr=14.336 > bol06_10stack_decon.su
```

4.10 Migración

Una sección apilada ofrece una imagen del subsuelo cercana a la realidad, no obstante solo ocurre cuando las estructuras geológicas tienden a ser capas horizontales y planas, por ello se hace indispensable aplicar un proceso de migración (Manzoni, 2001), debido a esto se utilizó el programa “*sustolt*” o Migración Stolt, que se incluye en el *Shell-script* obtenido de Forel *et al.* (2005), *migcvp.sh* (*Shell-script* 11), donde luego de incluir los datos de entrada y salida en el *sh*, además de parámetros de entrada tales como, los valores mínimos y máximos de *CMP* (*cdpmin* y *cdpmax*), espaciado entre los *bins* de los *CMP*, el programa migra varias veces entre valores constantes de velocidad ingresados previamente en el *sh* a una tasa de crecimiento generando “paneles” de migración para analizar posteriormente y elegir la mejor velocidad de migración.

Por lo tanto, se utilizaron los 22840 *CMP* obtenidos de la línea sísmica, y una velocidad constante definida por la del agua (inicial y final) de 1460 m/s con un espaciado entre *bins* de 6.25 para obtener un solo panel de migración (*bol06_11migra.su*).

4.11 Procesos post-migración

Finalmente, buscando igualar los resultados obtenidos por el proyecto de investigación BOLIVAR (*Maurice Ewing Cruise EW0404*, 2004), se aplicaron una serie de procesos a los datos migrados, para mejorar la definición de la sección sísmica final, tales como:

- Mezcla de trazas

Se utilizó el programa “*sumix*”, Manzoni (2001), lo define como proceso en el cual sujeta un número de trazas apiladas y las suma, repartiendo el peso en la traza central, ayudando a mejorar la resolución de horizontes pobres en resolución.

$$\text{sumix} < \text{bol06_11migra.su} > \text{bol06_12migra_mix.su}$$

- filtro pasabanda

se aplicó nuevamente un filtro con las mismas características previamente utilizadas antes del apilamiento

$$\text{sufilter} < \text{bol06_12migra_mix.su} \text{ f=6,12,100,110} > \text{bol06_13migra_filt.su}$$

- Un control automático de ganancia (*AGC*)

Yilmaz (2001), menciona que este tipo de ganancia funciona para generar señales débiles. Se utilizó una ventana de 1 segundo

$$\text{sugain} < \text{bol06_13migra_filt.su} \text{ agc=1 wagc=1} > \text{bol06_13migra_filt.su}$$

- Decimación de trazas

Se utilizó una decimación de trazas a cada 2 trazas para obtener la misma ventana de la sección culminada por el proyecto de investigación

$$\text{Suwind} < \text{bol06_13migra_filt.su} \text{ j=2} > \text{bol06_14migra_decimation.su}$$

- *Mute*

Finalmente, se aplicó un *mute* a la línea sísmica, eliminando el ruido generado, tanto por la migración, como por el *AGC*, en los tiempos superiores a la superficie marina de la sección sísmica; con el programa “*sumute*”

sumute < *bol06_migra_decimation.su* key=*cdp* *tmute=1.35,1.25* *xmute=0,6811* >
bol06_15final_migrada.su

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1 Filtrado

En la Figura 31 se puede observar un ejemplo de los disparos obtenidos luego del enmudecimiento de 16415 trazas problemáticas por exceso de ruido y falta de información en las ondículas sísmicas, con el programa *sukill* y sin filtrado de frecuencias, en donde específicamente se obtuvieron un total de 10 trazas constantes definidas por el *tracf* a lo largo de toda la línea de adquisición marina:

tracf: 48, 151, 236, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379

Es importante señalar que las trazas más cercanas a la fuente son aquellas posicionadas al extremo derecho del registro de disparo, además se encuentran presentes posibles reflectores y/o múltiples en promedio entre 2 y 11 segundos de longitud de grabación, por ello, se deduce que antes de los primeros 2 segundos las ondas se encuentran en la columna de agua y se puede observar la onda directa, al mismo tiempo, se contempla la presencia de *swell noise* o ruido por oleaje marino que se atenuó mediante el filtro descrito en la sección 4.4.2

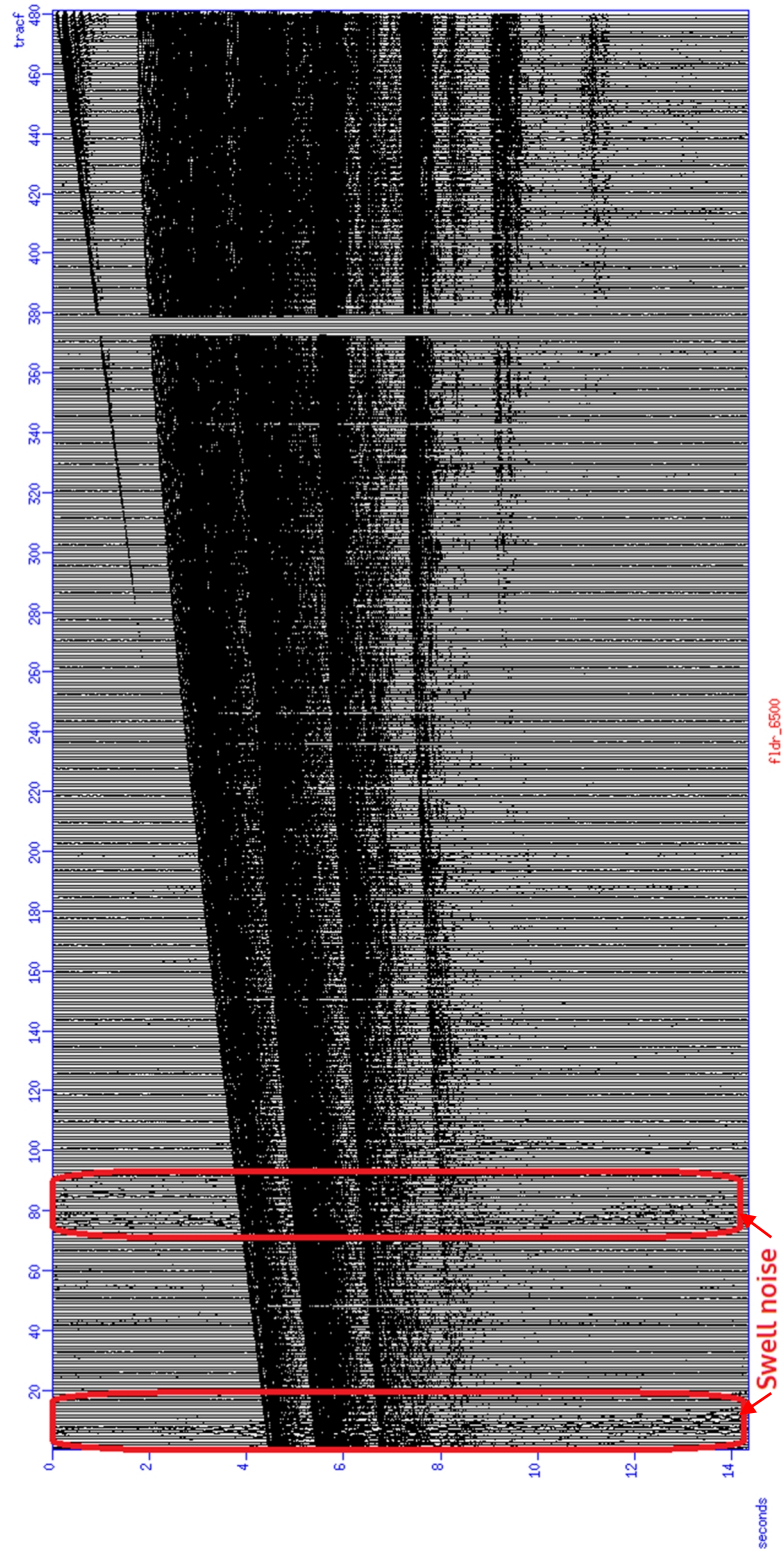


Figura 31 Disparo 6500 antes del filtrado.

Se pudo observar en los espectros de frecuencias de los diferentes disparos analizados (Figura 32) que el ancho de banda de frecuencias obtenidos con *SU*, tiene un rango de la frecuencia de Nysquist, poseyendo un valor de 125 Hz en el eje Y (para no estar alterada por el efecto de sobremuestro o *aliasing*), a un muestro de 4000 ms. En donde el inicio de las frecuencias resaltante mayores a un valor de “cero” de amplitud se encontraban entre un rango de 6 Hz y 110 Hz, frecuencias menores a 6 Hz son consideradas efectos de *swell noise* y parte del objetivo de la aplicación de filtros será atenuar dicho ruido, el inicio de banda de frecuencia se utilizó como parámetros de un filtro pasa-banda, específicamente las frecuencias de apertura de la banda de transición para ambos lados del filtro, mientras que a partir de 12 Hz hasta 100 Hz las frecuencias oscilan entre valores menores a 0.5 de amplitud, por ello se tomó dicha banda citada con anterioridad como medidas para las frecuencias de corte en el filtro pasa-banda. Donde luego de la aplicación del filtro se puede observar con facilidad como el efecto de *swell noise* fue atenuado, tanto en los registros de disparo (Figura 33), como en el espectro de frecuencias (Figura 34), permaneciendo así los posibles reflectores y/o múltiples en la banda de frecuencias de mayor importancia.

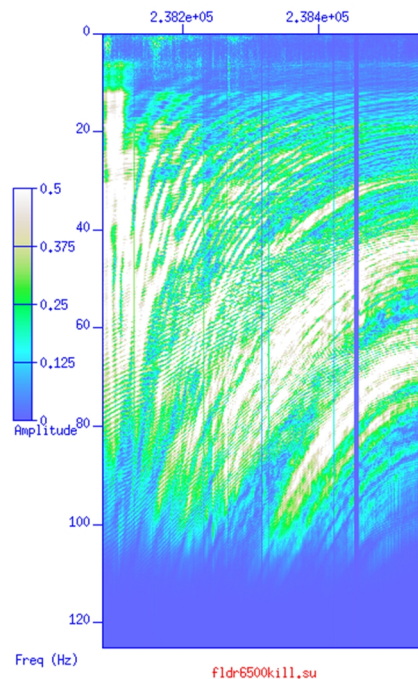


Figura 32 Espectro de frecuencia del disparo 6500.

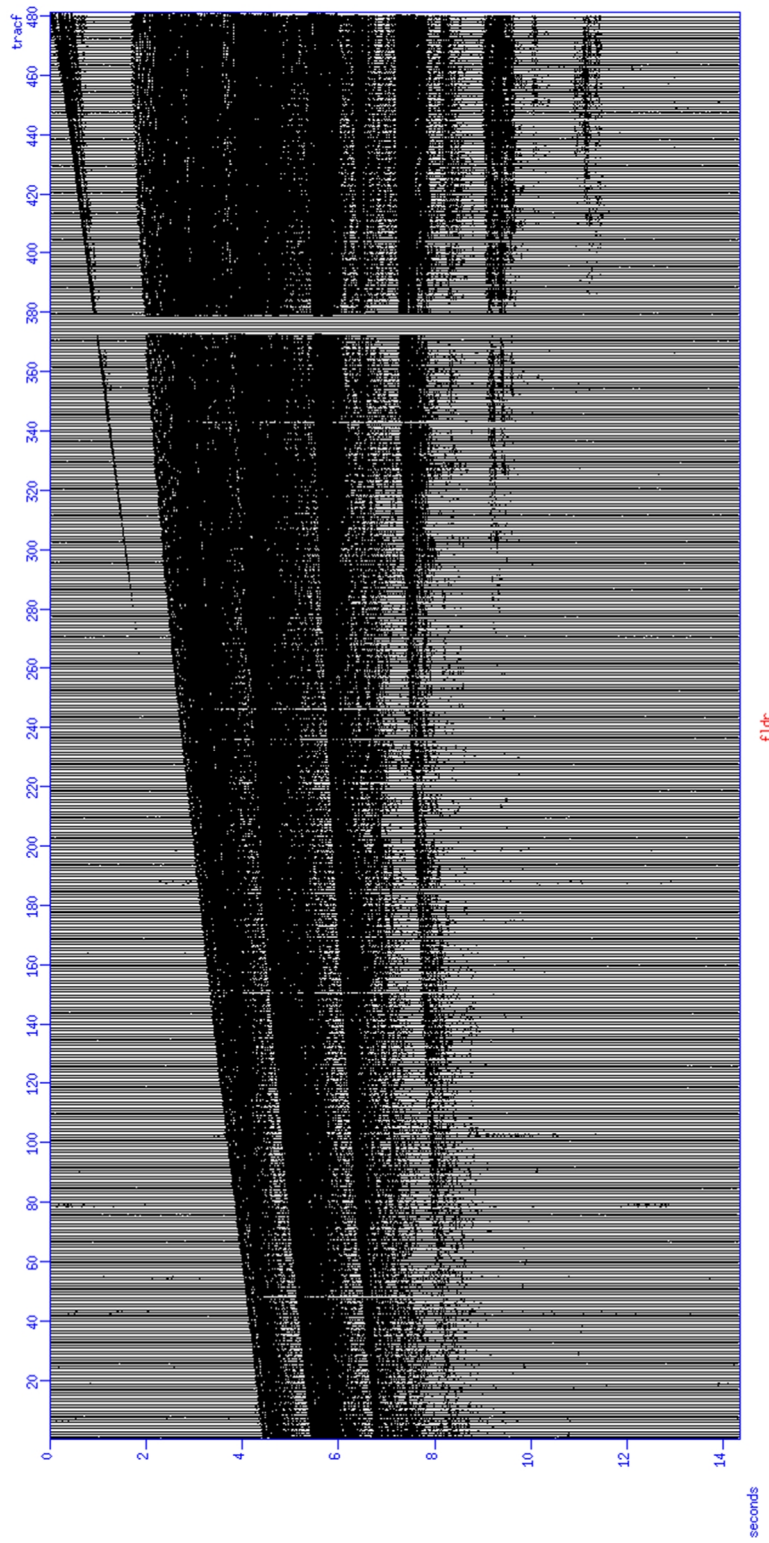


Figura 33 Disparo 6500 luego del filtrado pasa-banda.

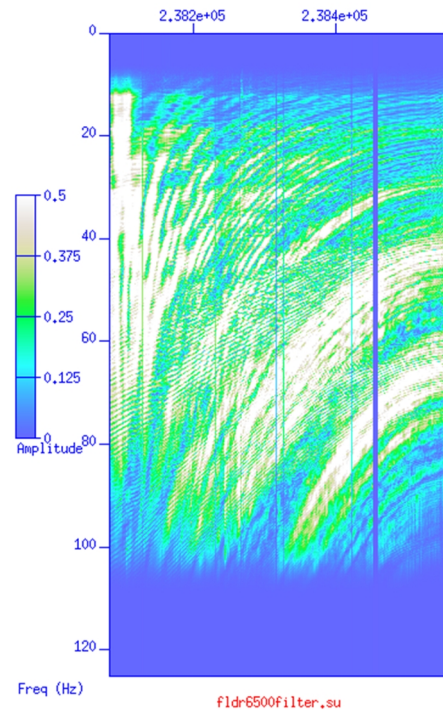


Figura 34 Espectro de frecuencia del disparo 6500 luego de la aplicación del filtro pasa-banda.

5.2 Corrección por divergencia esférica

Se hizo el análisis del decaimiento de amplitud de la traza o *tracf* 300 (Figura 35), se puede observar en los diferentes gráficos del disparo (en este caso 6100 y 6500), que la información sísmica empieza a atenuarse a causa de la divergencia esférica. Con el programa obtenido de Forel *et al.* (2005), *igain.sh*, se logra apreciar en los gráfico de amplitud de dicho *tracf* 300 que los primeros segundos de grabación se deben a la columna de agua, mientras que a los 2.2 segundos emprende el primer cuerpo reflector de la zona, por otro lado, los registros empiezan tienen cualidades individuales en las amplitudes que se relacionan posibles reflectores que causan el aumento de la amplitud nuevamente en las diferentes áreas de adquisición, pero tienden a tener el mismo comportamiento en la atenuación de amplitudes y en los gráficos de decibelios, donde se obtuvieron los siguientes valores (Tabla 8):

Tabla 8 valores del gráfico de decibelio para *tracf*300 de los disparos 6100 y 6500, sin aplicación de ganancia.

	Disparo 6100	Disparo 6500
Máximo dB	31.26	34.21
Mínimo dB	-73.43	-50.61

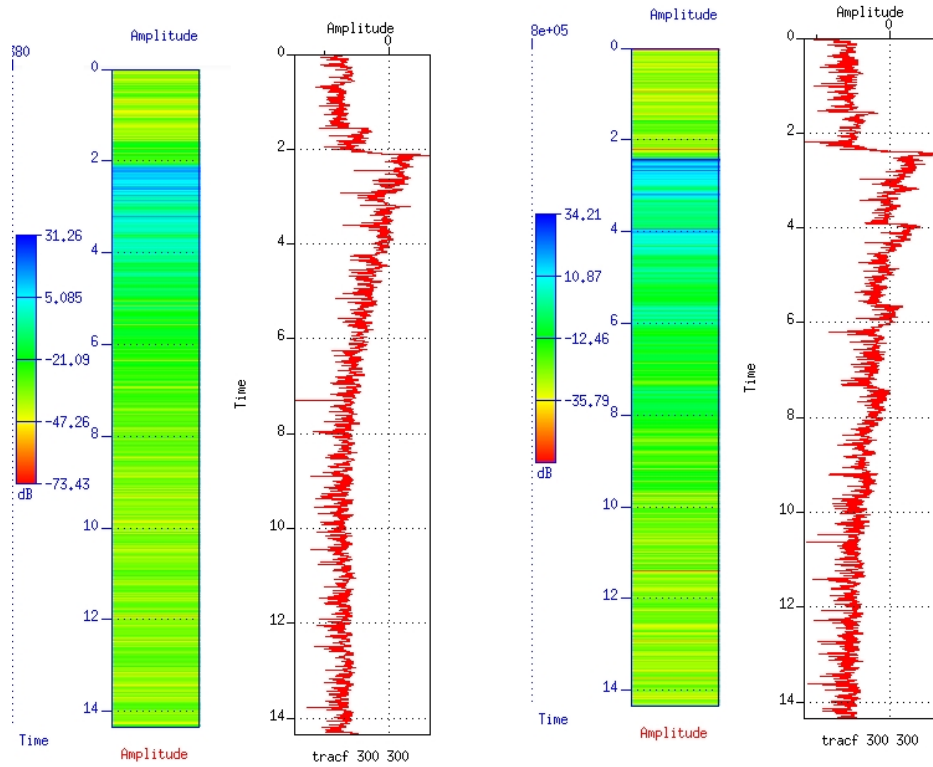


Figura 35 Gráficos de decibelios y amplitud de *tracf*300 en los disparo 6100 y 6500 sin aplicación de ganancia.

Posteriormente se aplicó una multiplicación de los datos por una potencia de tiempo para compensar dicha amplitud y obtener una distribución más homogénea de las señales, por ello, se recurrió a usar valores teóricos para la potencia de tiempo con el fin de obtener la amplitud verdadera de la señal sísmica, tales como 1.8 (Figura 56), 2.0 y 2.2 (Figura 57) (Tabla 9). En donde el comportamiento de las señales tiende a ser el mismo, por lo tanto, se utilizó una potencia igual a 2 en toda la línea de adquisición. Posteriormente, comparando gráficos de varios disparos se pudo apreciar que la aplicación de la ganancia es efectiva para toda la línea, ya que le proporciona un

comportamiento casi homogéneo a las amplitudes y decibeles de las trazas analizadas (Figura 36).

Tabla 9 valores del gráfico de decibelio para *tracf*300 del disparo 6500, con aplicación de ganancia correspondientes a potencias de tiempos iguales a 1.8, 2.0 y 2.2.

	$t^{\text{pow}}=1.8$	$t^{\text{pow}}=2$	$t^{\text{pow}}=2.2$
Maximo dB	48.2	49.56	51.09
Minimo dB	-135.3	-132.3	-134.5

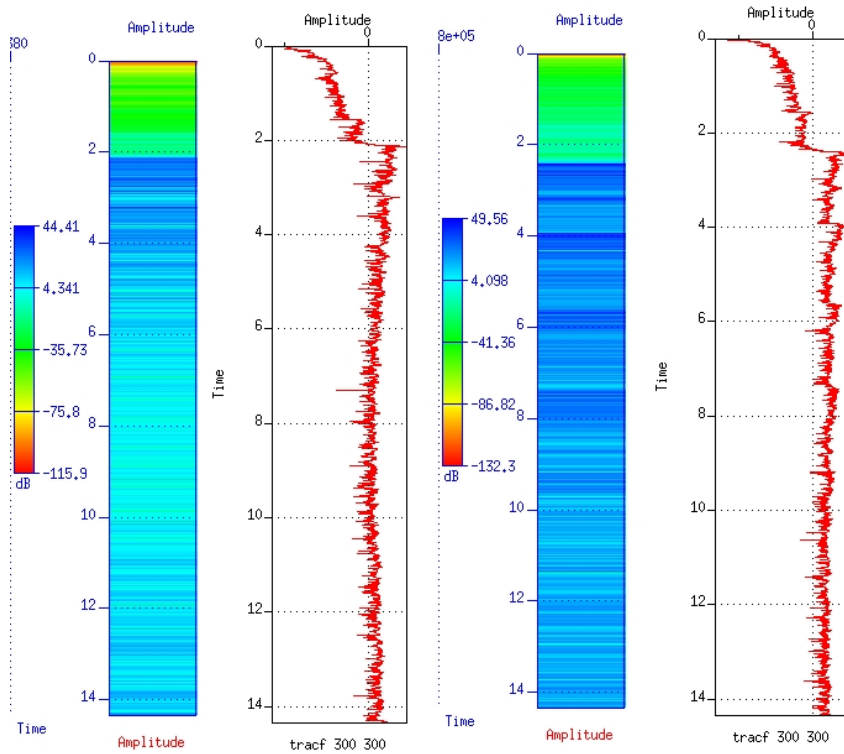


Figura 36 Gráficos de decibelios y amplitud de *tracf*300 en los disparos 6100 y 6500 luego de la aplicación de ganancia ($A' = A * t^2$).

En los gráficos de las diferentes disparos (Figura 37) se observa como la aplicación de ganancia aumentó las amplitudes de las trazas. Con este proceso recuperamos tanto las amplitudes de la señal, como las del ruido

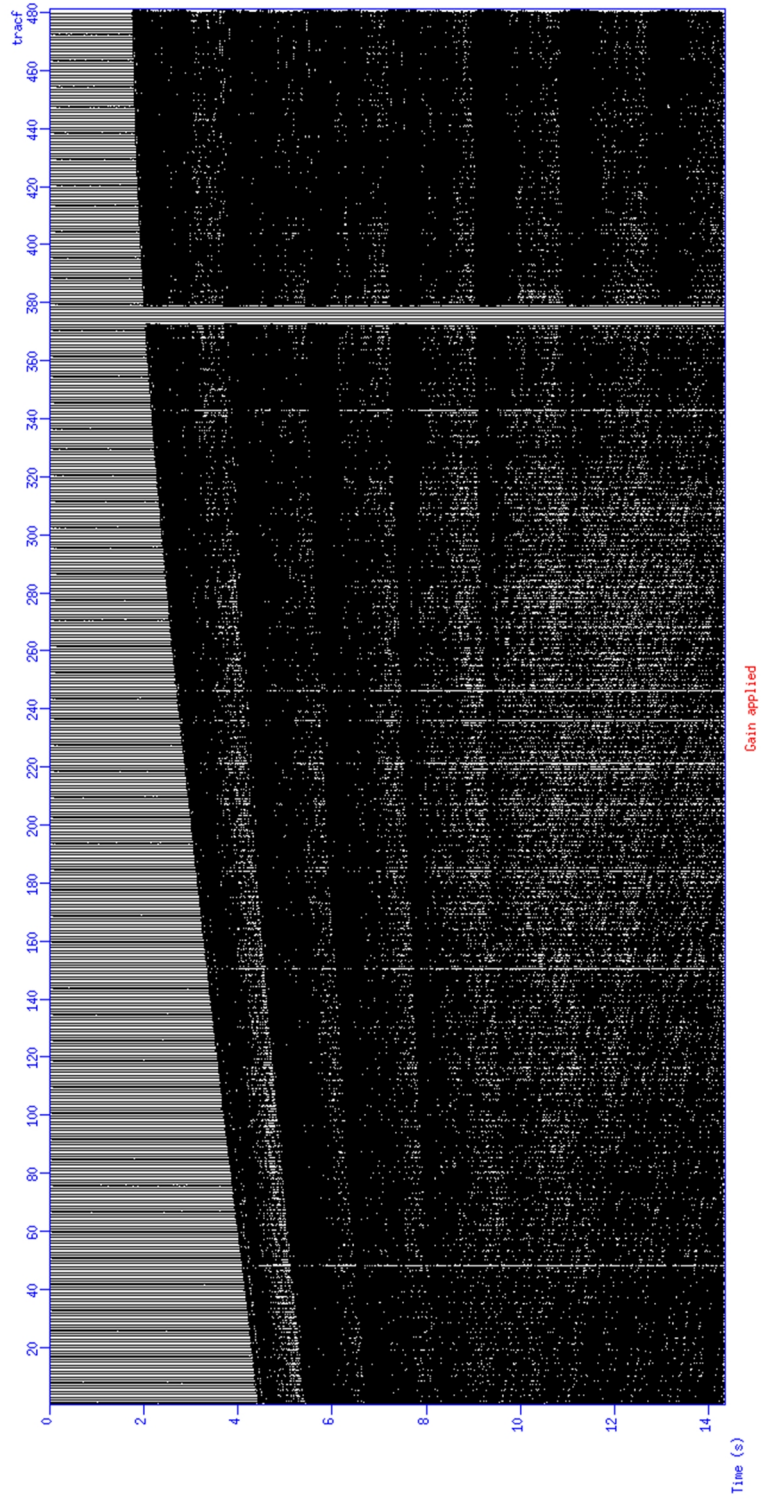


Figura 37 Disparo 6500 luego de aplicación de ganancia ($A'=A*t^2$).

5.3 Deconvolución

Del análisis del auto-correlograma correspondiente al disparo 6100 (Figura 38), se observan las presencias de múltiples y reverberaciones. Analizando dicha la figura se obtuvo un valor de PL igual a 0.02 segundos. El auto-correlograma de la deconvolución impulsiva (Figura 39) exhibe aún la presencia de un fuerte múltiple después del máximo de correlación; a consecuencia de esto se descartó como método. A partir de las pruebas empíricas con diferentes OL para una deconvolución predictiva se obtuvo un valor de 0.25 segundos que es capaz de atenuar en gran medida los eventos sísmicos de forma eficaz sin aumentar su periodicidad en los últimos segundos de grabación (Figura 40), cabe destacar que aumentar dicho tiempo puede eliminar en su totalidad los eventos representados en la auto-correlación pero no influye a cambios significativos en el registro del disparo y aumenta considerablemente el tiempo de computo del procesamiento.

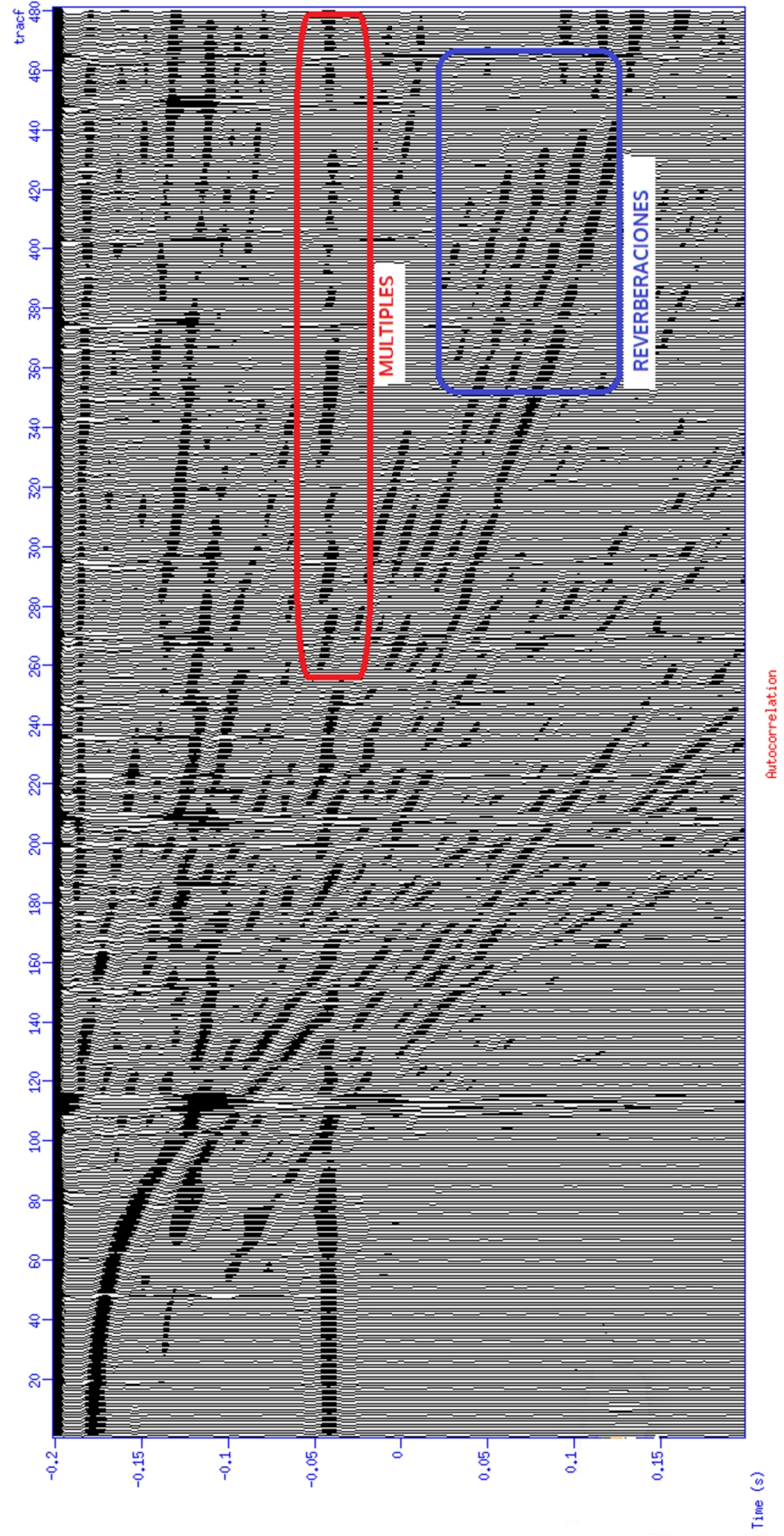


Figura 38 Auto-correlograma del disparo 6100.

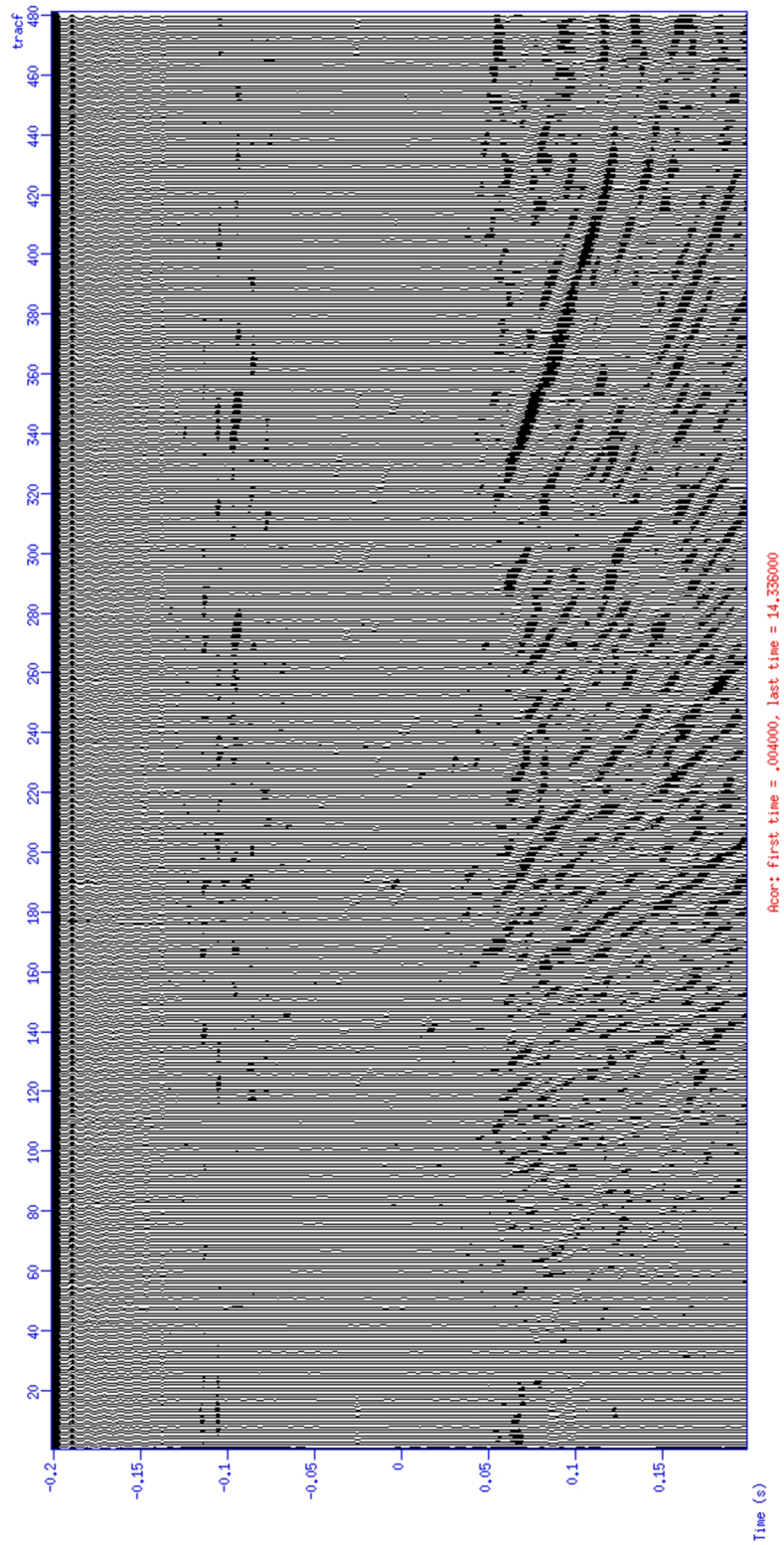


Figura 39 Auto-correlograma luego de la deconvolución impulsiva.

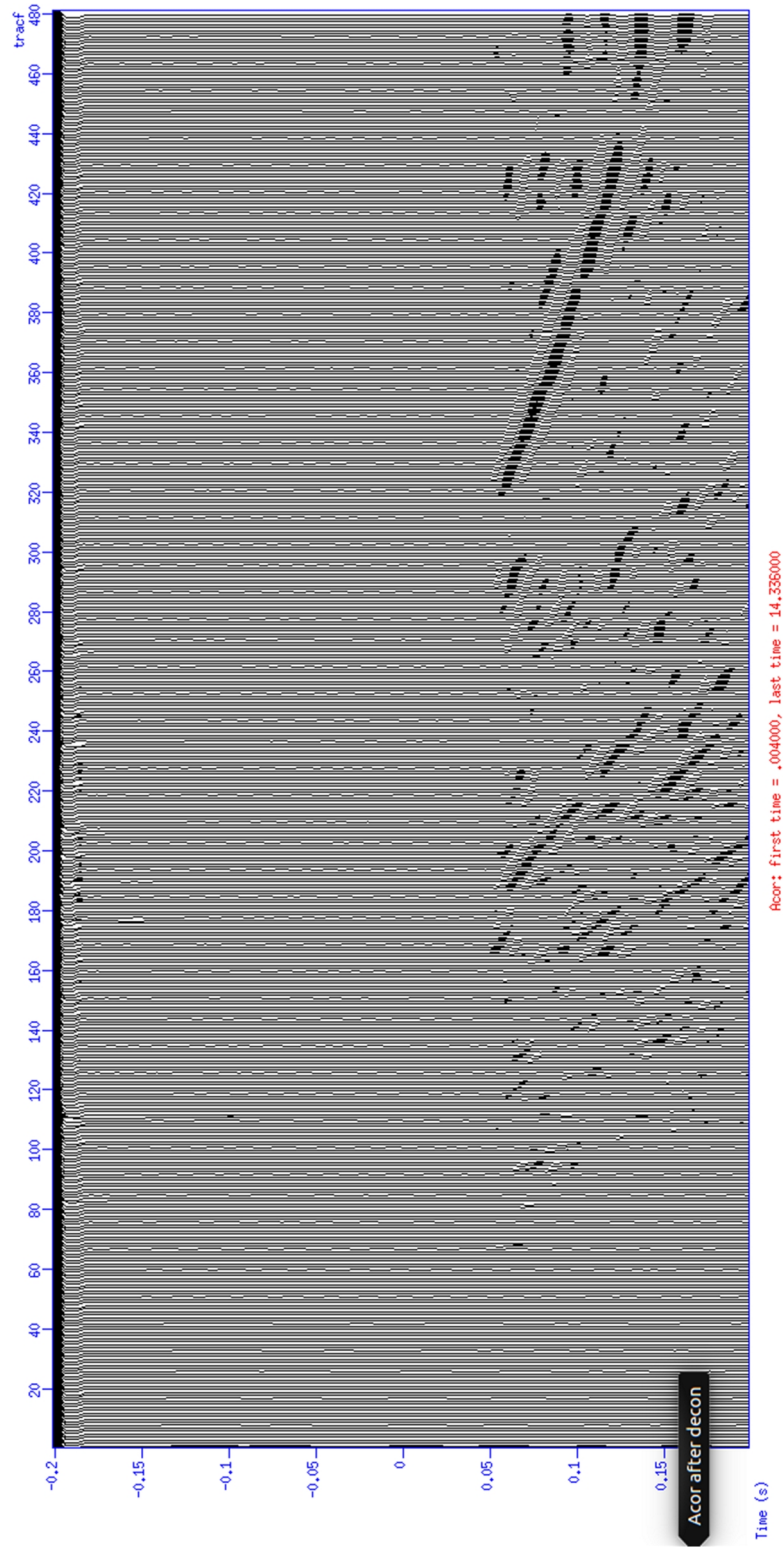


Figura 40 Auto-correlograma luego de la deconvolución predictiva.

5.4 Análisis de velocidad

Al ordenar los registros a *CMP* se obtuvo un total de 22840 grupos de *CMP*, con una cobertura máxima de 6000% (Figura 41), donde disminuye en algunos puntos, debido a los saltos encontrados en la línea sísmica; entre los *CMP* 561-1065, y además 17224-17785.

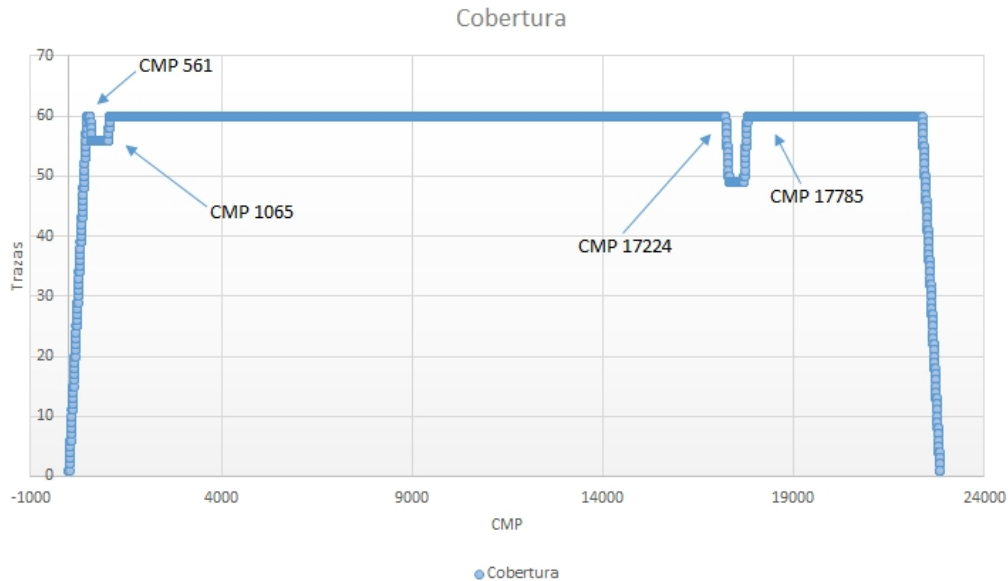


Figura 41 Cobertura de línea sísmica.

En los 34 espectros de velocidades que fueron analizados (en este caso Figura 42) para obtener los picos de semblanza se pudo observar en las velocidades menores a 2000 m/s la presencia de puntos fuertes de semblanza en un rango valores mayores a 0.135 unidades en los primeros 3 segundos de longitud de grabación, que representan los reflectores más representativos de los disparos, causando que la selección de los puntos para la curva velocidad-tiempo ($v-t$) sea sencilla de obtener en este intervalo de tiempo, mientras que posterior a los 3 segundos se manifiesta la concurrencia de múltiples a lo largo de la mayoría de los disparos por *CMP*.

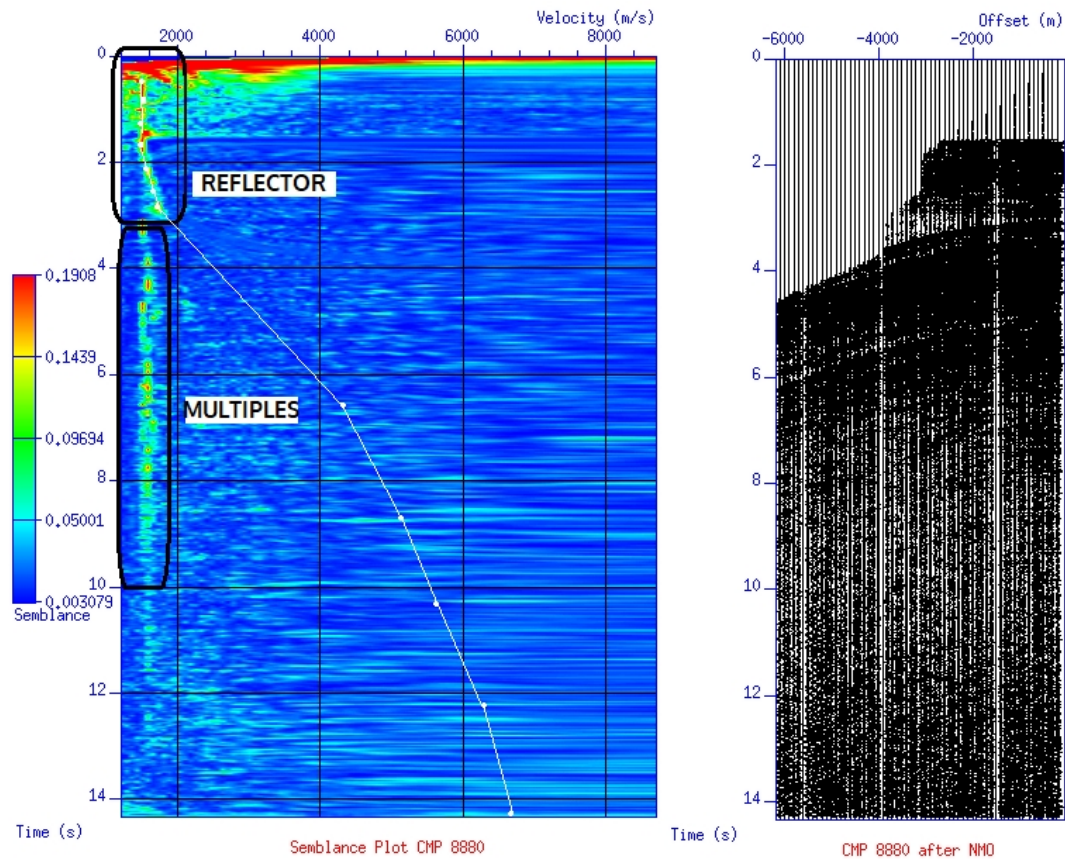


Figura 42 Espectro de velocidad con la curva de velocidad y disparo *CMP* 8800 con corrección *NMO*.
 A partir de los 6 segundos de longitud de grabación en las velocidades mayores a 3000 m/s los rangos de semblanza se oscilan dentro de valores de 0.045 unidades con algunas excepciones más altas (Figura 43), estableciendo que las velocidades obtenidas a partir de los puntos de semblanza en estas profundidades no varíen para para la corrección *NMO*, no obstante, no se seleccionaron velocidades mayores a 6500 m/s.

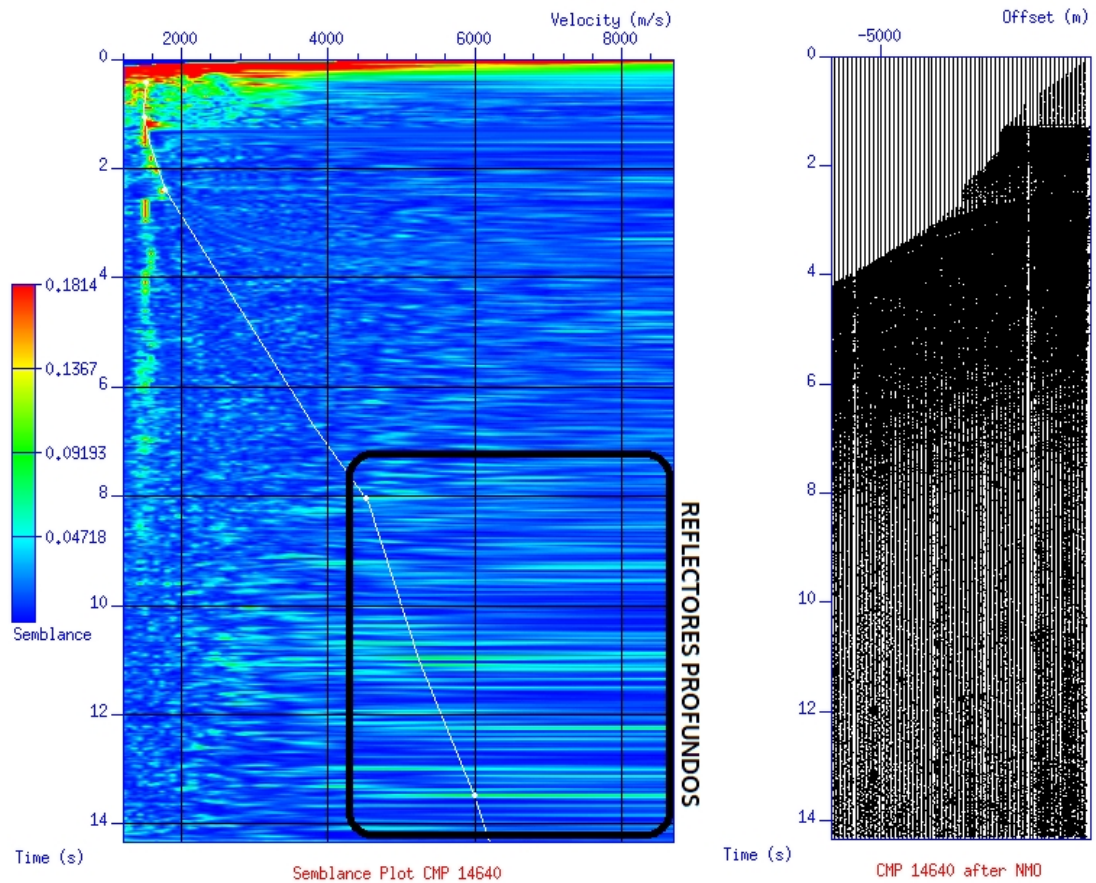


Figura 43 Espectro de velocidad con la curva de velocidad y disparo *CMP* 14640 con corrección *NMO*. La tendencia de las curvas $v-t$ para la corrección *NMO* fueron similares para todos los registros *CMP*, los eventos de los disparos fueron aplanados en superficie sin dejar rastro de la forma hiperbólica, excepto en los múltiples en profundidad que mantienen aún su geometría.

5.5 Apilado

En la Figura 44 se puede observar la sección apilada obtenida con *Seismic Un*x (SU)*, mientras que en la Figura 45 se tiene a la sección obtenida del proyecto de investigación *R/V Maurice Ewing Cruise EW0404 (2004)*, apilada con el programa comercial *FOCUS*, donde cabe señalar que posiblemente tuvo un remuestreo de los datos o una decimación de trazas no especificado en el reporte, para obtener una sección con la mitad de los *CMP* de la línea sísmica.

Para un estudio mas detallado se visualizaron pequeñas secciones de la misma zona y dimensiones en ambas línea de procesamiento, en el cual, la sección apilada “A” con *SU* esta entre los 2000 y 1000 *CDP* (Figura 46), mientras la sección de *FOCUS* esta disminuida a la mitad de *CDP*, es decir entre 1000 y 5000 (Figura 47); ambas secciones cuentan con 6 segundos de profundidad.

Por otro lado, la sección apilada “B” con *SU* cuenta en el rango de 17800 y 20600 *CMP* (Figura 48), mientras que la sección de *FOCUS* entre 8900 y 10300 (Figura 49); entre 1.3 y 3.2 segundos de profundidad.

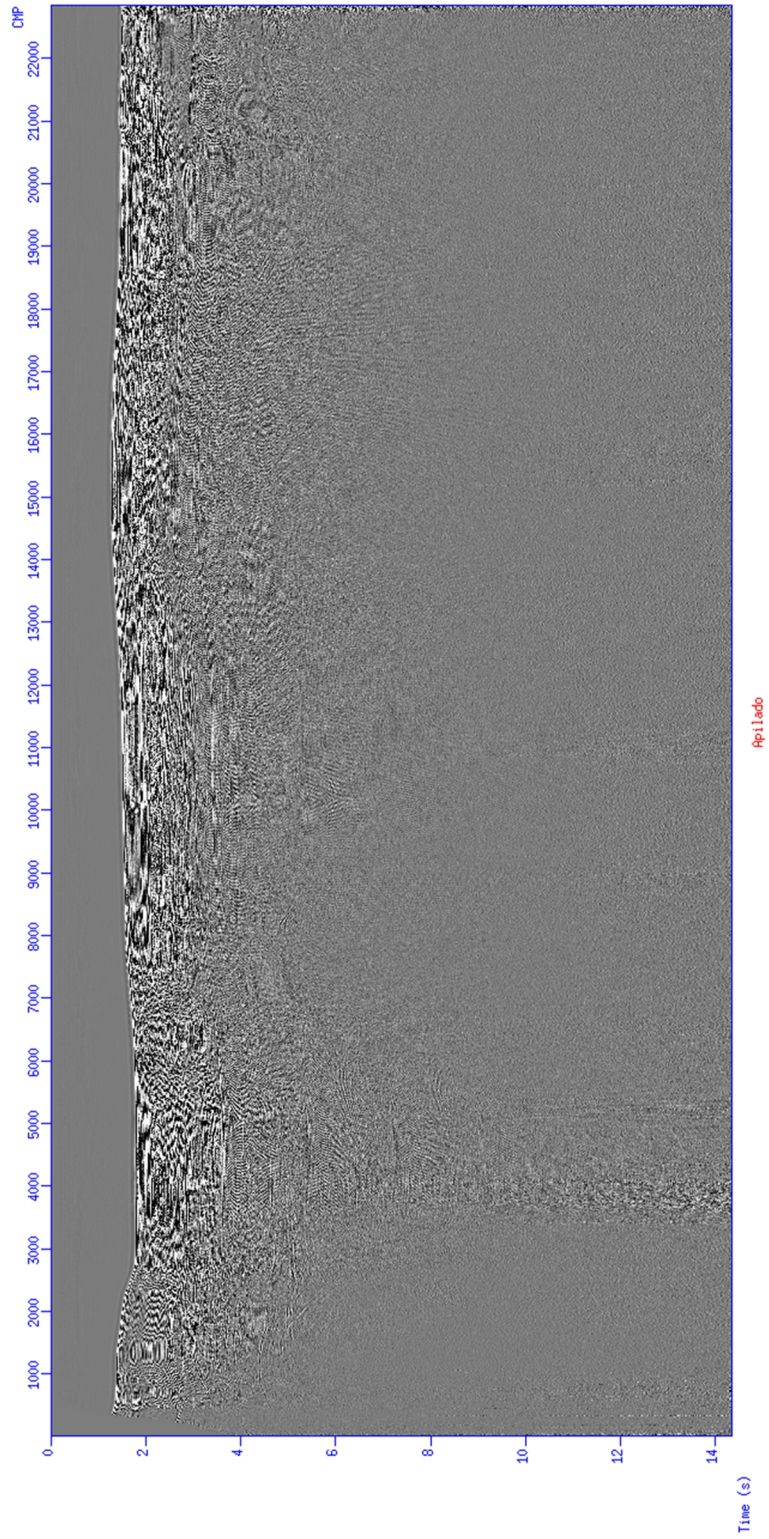


Figura 44 Sección apilada obtenida con *Seismic Un*x*.

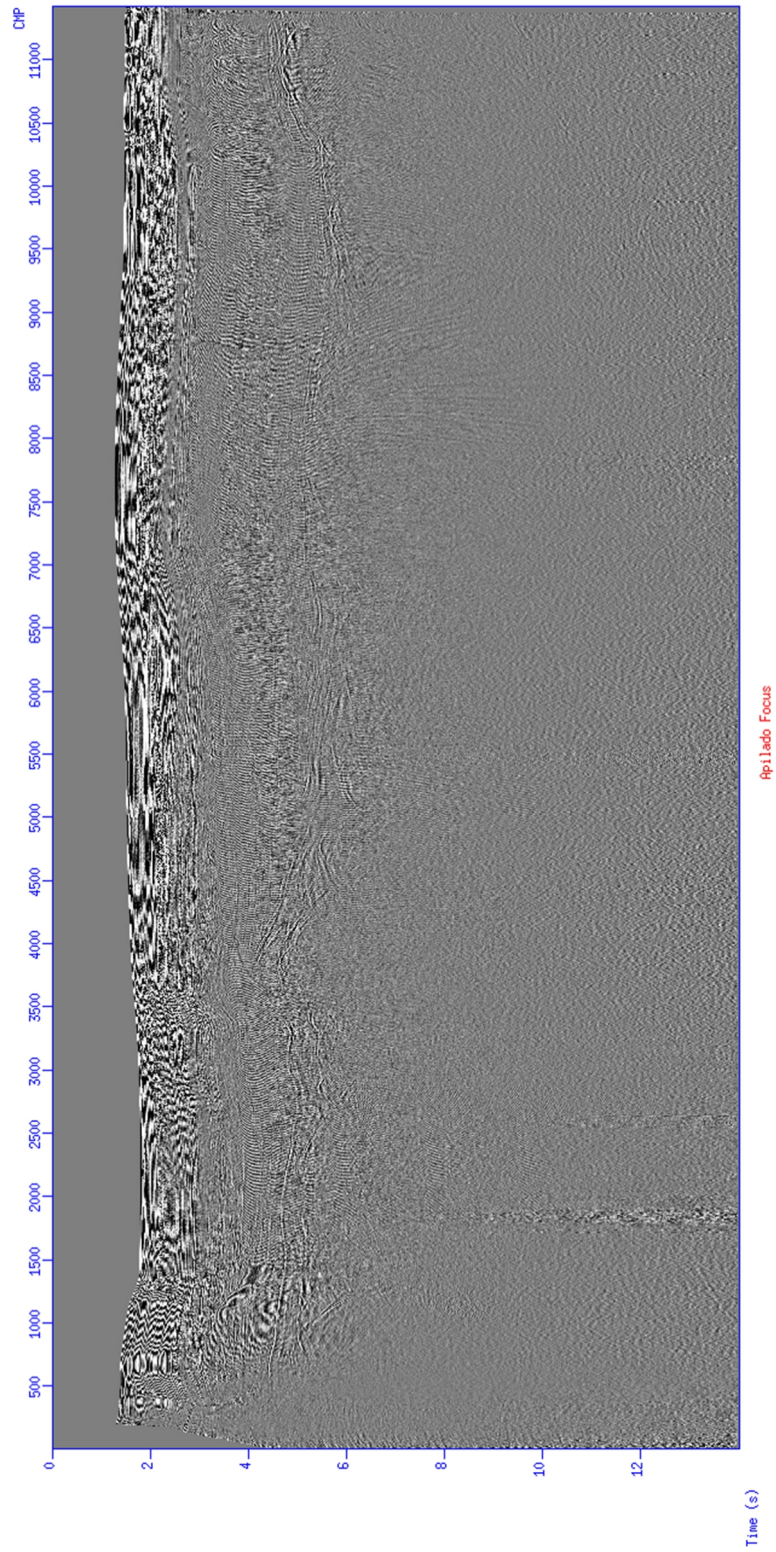


Figura 45 Sección apilada con *FOCUS*, obtenida de *R/V Maurice Ewing Cruise EW0404* (2004).

Se comparon visualmente las sección apilada “A” obtenida con *SU* (Figura 46) y *FOCUS* (Figura 47), donde se puede observar que en la sección de *SU*, existe una mayor cantidad reflectores acentuados en las zonas de superficie marina en comparación con la sección de *FOCUS*, esto se puede visualizar en el area 1S y 1F de ambas figuras, no obstante, en la sección de *FOCUS* no se encuentran tan horizontalizados las estructuras, generando posiblemente una cuenca, como se puede observar en las zonas 2S y 2F, por otro lado, la sección de *SU* tiene poca presencia de puntos de dispersión en comparación las zonas mas profundas, como se ve en las zonas 3S y 3F que posiblemente se debe a un anticlinal.

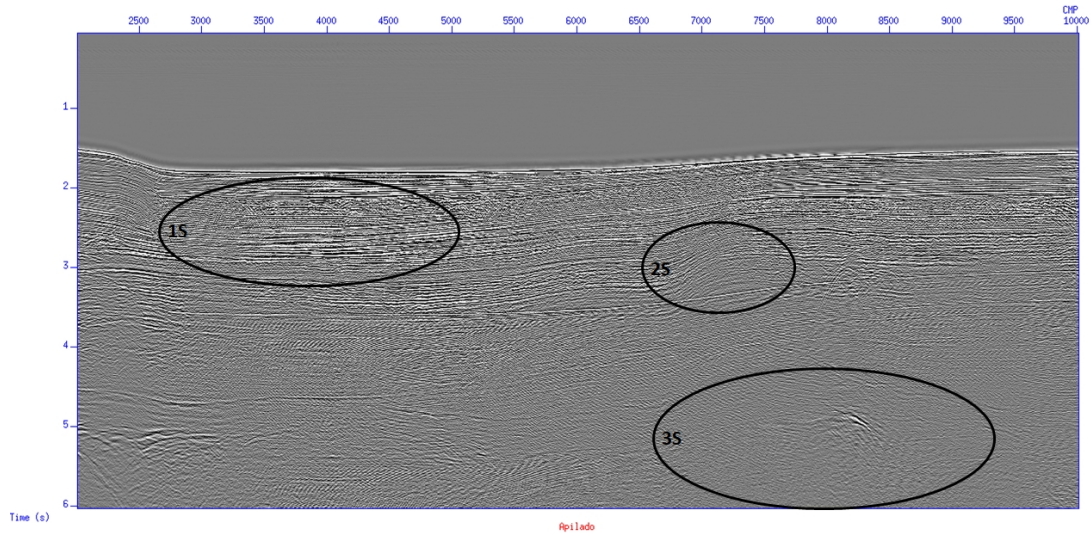


Figura 46 Sección apilada “A” con *SU*.

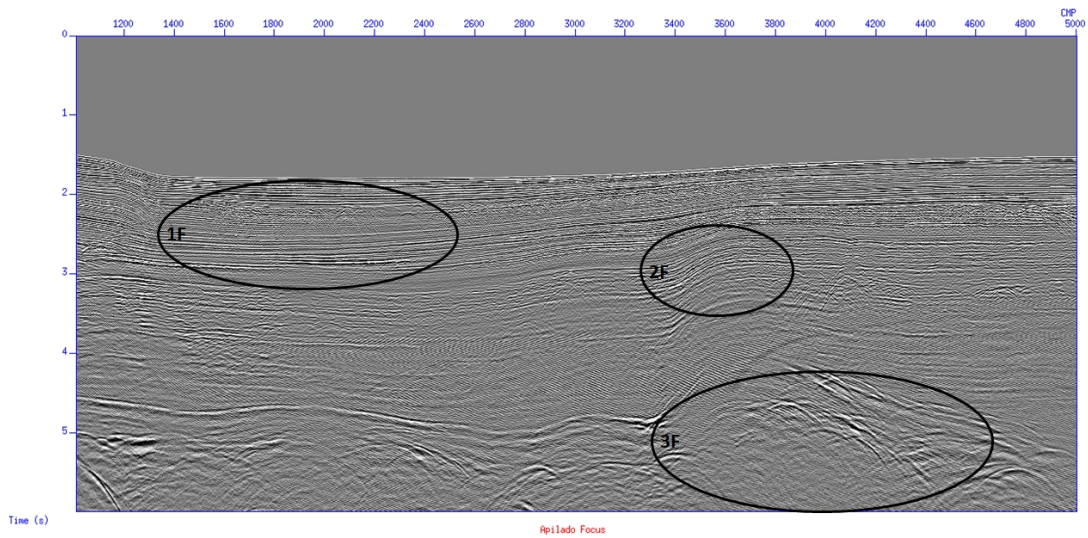


Figura 47 Sección apilada “A” con *FOCUS*, obtenida de *R/V Maurice Ewing Cruise EW0404* (2004). Para observar mejor las estructuras en el subsuelo se utilizó una gama de colores, en una sección más cerca para realzar los horizontes. Se puede observar que la sección apilada “B” obtenida con *SU* (Figura 48) realmente si tiene una mayor presencia de reflectores, en donde estos se acentúan mucho más, como se observa tanto en la zona 4S, como en superficie, debido a que la sección de *FOCUS* (Figura 49) en la zona 4F, tiene una cierta atenuación de los reflectores en profundidad, que son solapados por una zona de puntos de dispersión.

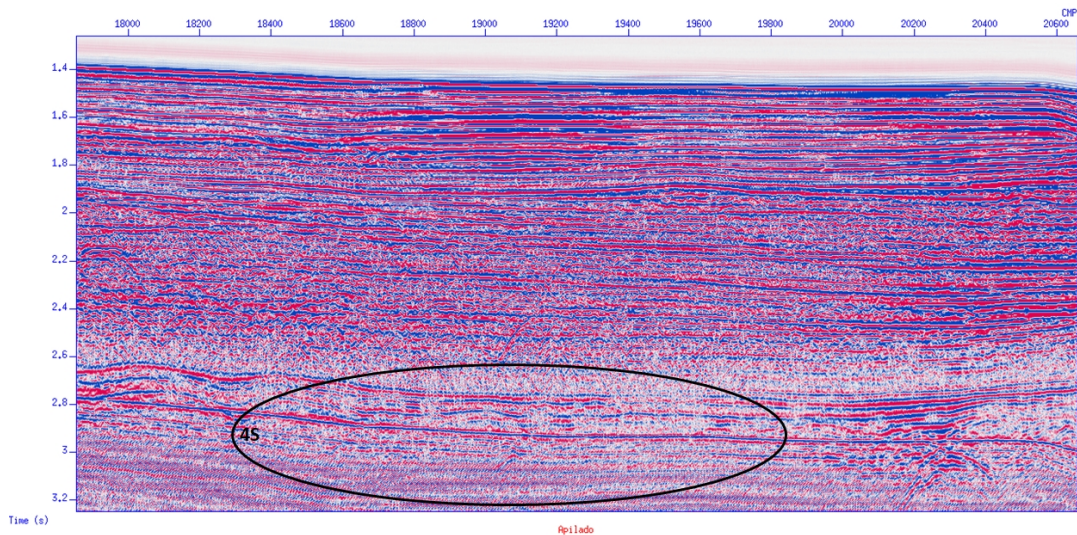


Figura 48 Sección apilada “B” con *SU*.

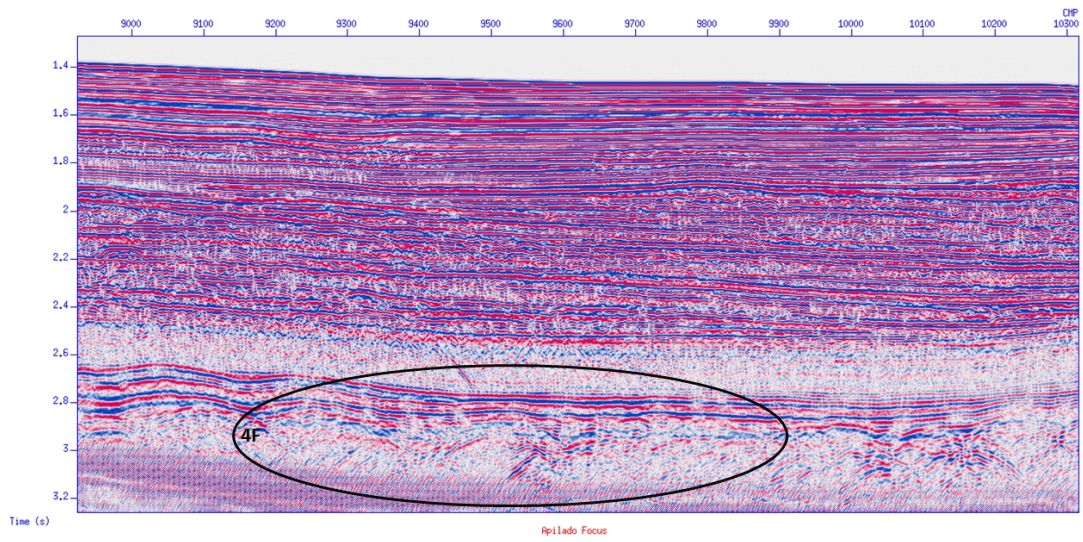


Figura 49 Sección apilada "B" con *FOCUS*, obtenida de *R/V Maurice Ewing Cruise EW0404* (2004).

5.6 Migración

En la Figura 50 se puede observar la sección migrada final obtenida con los diferentes programas de procesamiento de *SU* para una línea de adquisición de 1334880 trazas, que contiene un número de 11416 *CMP*, con 14 segundos de profundidad, al igual que la sección migrada, procesada en el proyecto de investigación *R/V Maurice Ewing Cruise EW0404* (2004) con el programa *FOCUS* (Figura 51).

Se puede visualizar de forma general que antes de los 4 segundos de tiempo, en las zonas mas superficiales, la sección obtenida con *SU* contiene un mayor número de reflectores acentuados en profundidad, por otro lado, la sección obtenida con *FOCUS*, contiene una mayor definición de los reflectores pero menor cantidad, atenuandose algunos horizontes en profundidad.

En el rango de 4 y 6 segundos, la sección de *FOCUS* acentua un horizonte generado por la eliminación de los puntos de dispersión, mencionados anteriormente en la zona 3F de la Figura 47, mientras que la sección *SU* no presenta este reflector particular tan marcado.

Luego de los 6 segundos la sección de *SU* contiene mayor homogeneidad y definición en las zonas mas profundidad, posterior al horizonte mencionado en el párrafo anterior, mientras que la sección de *FOCUS* se atenuan estos atributos en dicha zona.

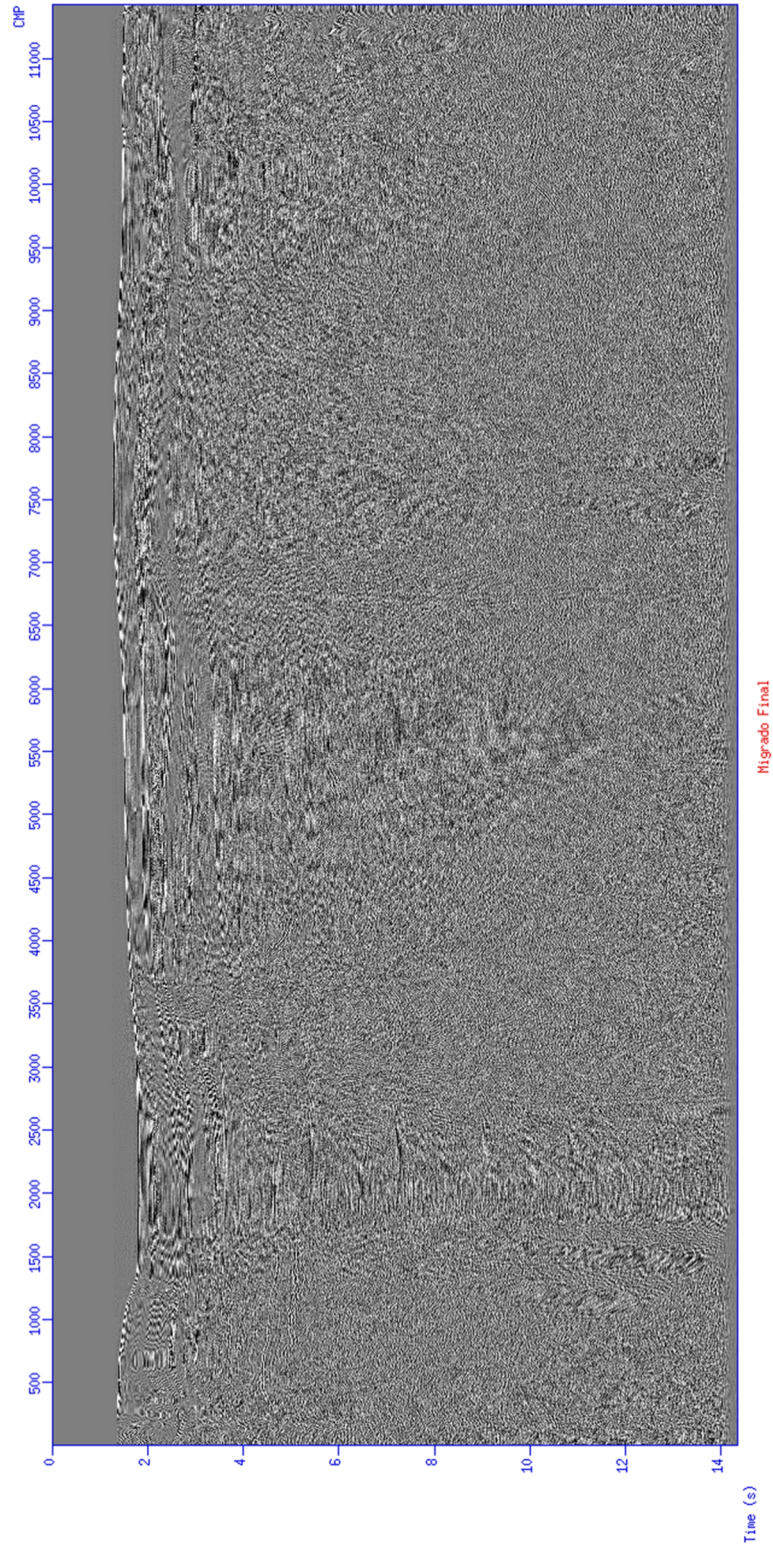


Figura 50 Sección final migrada con *SU*.

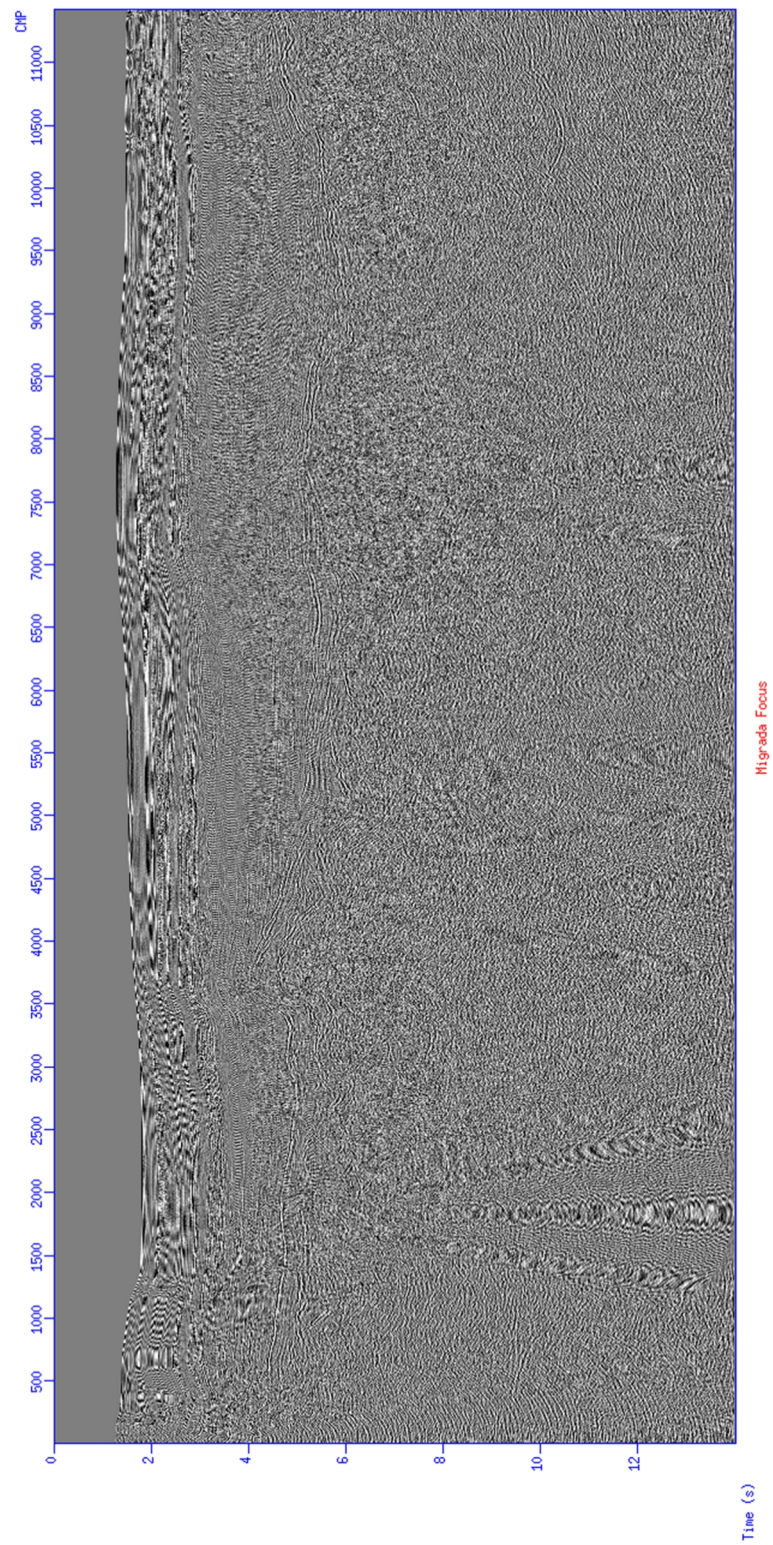


Figura 51 Sección final migrada con *FOCUS*, obtenida de *R/V Maurice Ewing Cruise EW0404* (2004).

Se obtuvieron secciones migradas más cercanas en ambas líneas de procesamiento, para un análisis más detallado de las mismas, entre los 800 y 4400 *CMP*, y 6 segundos; en donde se puede apreciar en la Figura 52 en la zona 5S de la sección “C” de *SU*, un aumento de la resolución de los horizontes en comparación con la zona 5F de la sección de *FOCUS* de la Figura 53, mientras que en la zona 6F de la sección de *FOCUS* se visualiza la presencia del reflector mostrando características de anticlinal, que en *SU* se aprecia levemente.

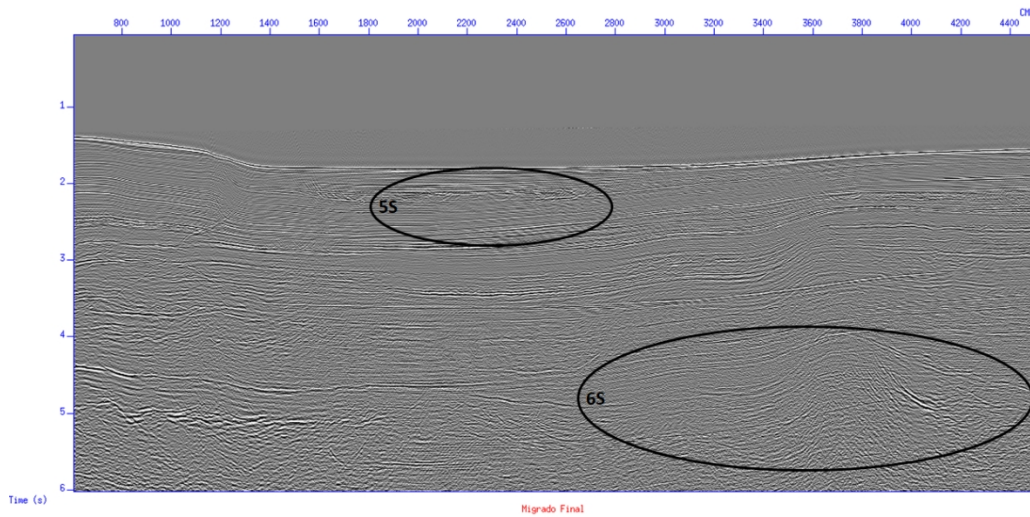


Figura 52 Sección migrada “C” con *SU*.

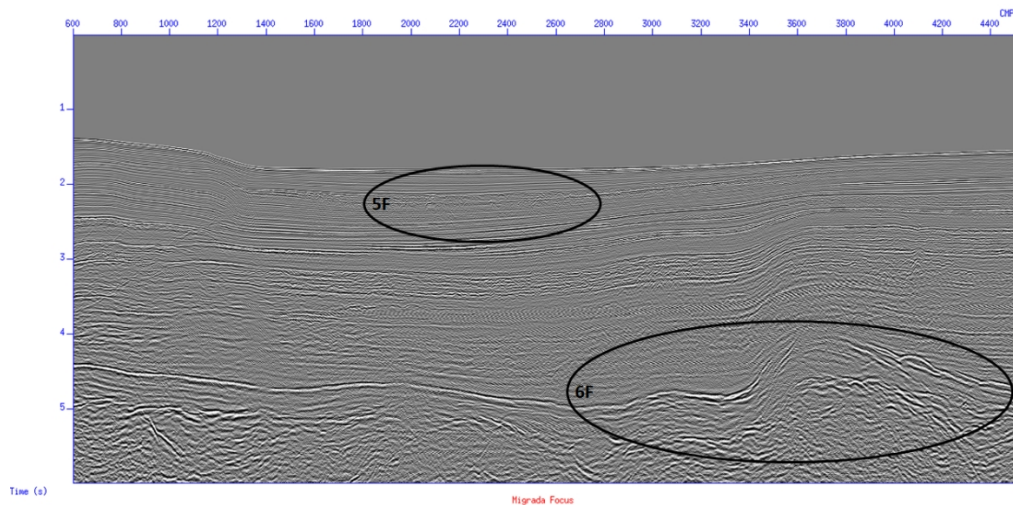


Figura 53 Sección migrada “C” con *FOCUS*, obtenida de *R/V Maurice Ewing Cruise EW0404* (2004).

Finalmente, se obtuvo una sección “D” migrada, entre los 3800 y 6000 *CMP*, y en un rango de 1 a 5 segundos, tanto en *SU* (Figura 54) como en *FOCUS* (Figura 55), donde se puede apreciar la mejor resolución de los reflectores, como por ejemplo en la zona 7S en comparación con la 7F, mientras que en *FOCUS* se puede ver como acentúa el reflector ubicado entre 4 y 6 segundos; posteriormente en la zona 8F se puede apreciar mejor la presencia del reflector citado con anterioridad en la zona 6F (Figura 53), que en contraste con *SU* este tiene menor resolución de dicho reflector.

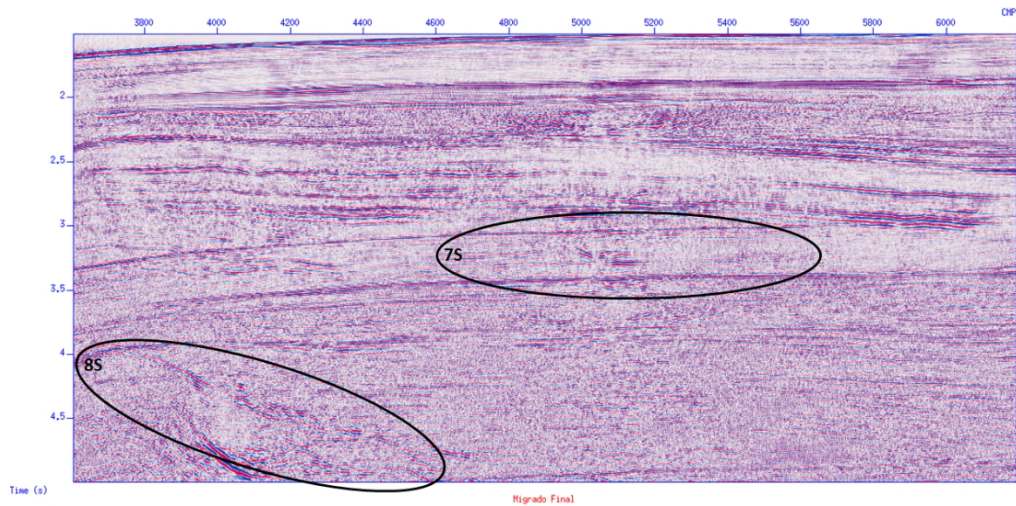


Figura 54 Sección migrada “D” con *SU*.

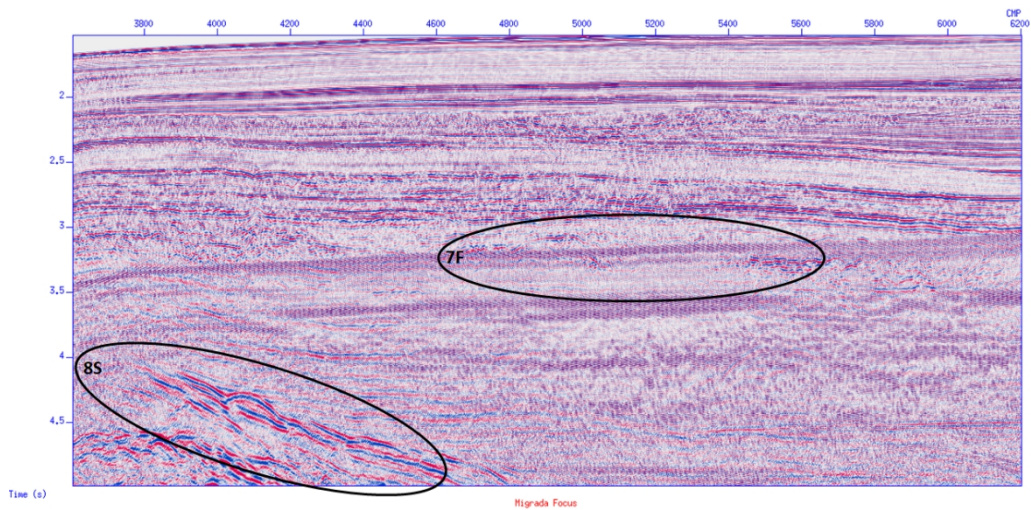


Figura 55 Sección migrada “D” con *FOCUS*, obtenida de *R/V Maurice Ewing Cruise EW0404* (2004).

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se comprobó que con el conjunto de rutinas de *Seismic Un*x* es posible procesar una línea sísmica marina, 2D de gran volumen (1334880 trazas), esto indica, que dichos programas tienen el potencial para procesar líneas sísmicas marinas 2D de proyectos de investigaciones de gran alcance.

Las diferencias obtenidas en las secciones finales, tanto con *Seismic Un*x*, como los obtenidos con el programa *FOCUS* en el proyecto BOLIVAR, se deben a diferencias entre los parámetros de procesamientos, particularmente en el criterio en la selección de las velocidades de apilamiento. Se presume que los analistas del EW0404 hayan preferido enfatizar en los reflectores más profundos.

El esquema de procesamiento obtenida en este proyecto de investigación, fue capaz de obtener una buena definición de los reflectores entre 2 y 4 segundos del fondo marino.

La programación *Shell-script* para los diferentes pasos de procesamiento, mejora interactivamente el ambiente de trabajo en la secuencia de procesado sísmico, a la falta de una interfaz gráfica de *Seismic Un*x*.

Se editaron 16415 trazas problemáticas, con exceso de ruido o bajas amplitudes, que fueron enmudecidas en la edición de trazas para la limpieza de la sección sísmica.

6.2 Recomendaciones

Mejorar la secuencia de edición para la selección de trazas problemáticas, con un *Shell-script* interactivo que permita obtener los números secuenciales de las mismas, y, además, revisar el script de enmudecimiento de trazas sísmicas para gran volumen de datos, debido a que sobrecarga el sistema al invocar una cantidad enorme de “*sukill*”.

Optimizar el programa de selección de datos “*suwind*”, para leer los datos de entrada a medida en que se avanza en la línea sísmica, y este no repita el ciclo de lectura.

Investigar otras técnicas de atenuación de múltiples presentes en *Seismic Un*x*.

Realizar un procesamiento de sísmica terrestre para observar el comportamiento de los programas para aplicar correcciones estáticas, y evaluar el potencial de *Seismic Un*x* para líneas sísmicas de longitudes extensas.

Evaluar las diferentes rutinas de deconvolución y migración listada en *Seismic Un*x*.

Comprobar el comportamiento de otros sistemas de código abierto tales como: *SIOSEIS* (sísmica marina) y *GeBr* (interfaz gráfica para *Seismic Un*x*).

BIBLIOGRAFÍA

- Schleicher, K. (2011). *Open Data/Open Source: Seismic Unix scripts to process a 2D land line*. The University of Texas at Austin.
- Audemard, F., & Audemard, F. (2002). *Structure of the Mérida Andes, Venezuela: relations with the South America–Caribbean geodynamic interaction*. Tectonophysics.
- Bachmann, R. (2001). *The Caribbean Plate and the question of its formation*. Institute of Geology, University of Mining and Technology Freiberg.
- Bellizzia, A. (1985). *Sistema montañoso del Caribe: Una cordillera alóctona en la parte norte de América del sur*. VI Congreso Geológico Venezolano. Tomo X.
- Bellizzia, A., & Dengo, G. (1986). *The caribbean mountain system, northern South America; a summary*. GSA Decade Amer. Geol. GNA Vol H (The Caribbean Region).
- Case, J., Holcombe, T., & Martin, R. (1984). *Map of geologic provinces in the Caribbean region*. The Caribbean South American Plate Boundary and regional Tectonics: Geological Society of America Memoir 162. doi:<https://doi.org/10.1130/MEM162-p1>
- Donnelly, T. (1994). *The Caribbean sea Floor*. Kingston: Caribbean Geology: An Introduction, U.W.I. Publishers' Association.
- Draper, G., Jackson, T., & Donovan, S. (1994). *Geologic Provinces of the Caribbean Region*. Caribbean Geology an introduction: U.W.I. Publishers Association Kingston.
- Elboth, T., Pettersson, B., & Andreassen, Ø. (2009). *Flow and swell noise in marine seismic data*. GEOPHYSICS. doi:<http://dx.doi.org/10.1190/1.3078403>
- Espinoza, C. (2017). *Procesamiento de datos sísmicos 2D usando Seismic Unix*. Universidad Simón Bolívar, Sartenejas.

- Evans, B. (1997). *A handbook for seismic data acquisition in exploration*. Tulsa: Society of Exploration Geophysicists.
- Forel, D., Benz, T., & Pennington, W. D. (2005). *Seismic Data Processing with Seismic Unix*. Tulsa, Oklahoma, USA: Society of Exploration Geophysicists.
- Garcia-Casco, A., Torres-Roldan, R., Millan, G., Monié, P., & Haissen, F. (2001). *High-grade metamorphism and hydrous melting of metapelites in the Pinos terrane (W Cuba): Evidence for crustal thickening and extension in the northern Caribbean collisional belt*. *Journal of metamorphic Geology*.
- Gaya, M. (2006). *Procesado de Sísmica de Reflexión Superficial en el Complejo Turbidítico de Ainsa (Huesca)*. Universitat Politècnica de Catalunya, Catalunya.
- GeoCafe. (2015, 12 23). *geocafe*. Retrieved 8 9, 2018, from <http://geocafemx.blogspot.com/2015/12/>
- Giunta, G., & Oliveri, E. (2009). *Some remarks on the Caribbean Plate kinematics: facts and remaining problems*. Geological Society. London: Special Publications. doi:10.1144/SP328.2
- Giunta, G., Navarro, E., Beccaluva, L., Bellia, S., Comin-Chiaramonti, P., Dengo, G., . . . Carnemolla, S. (1996). *Geología de los márgenes de la placa del Caribe: Generalidades en Guatemala, Costa Rica, La Española y resultados preliminares del análisis de una transversal en la Cordillera de la Costa de Venezuela*. *Revista Geologica de América Central*.
- Granja, J. (2005). *Geodinámica del borde noreste de la Placa Caribe*. Trabajo de investigación de Tercer Ciclo. Programa de Doctorado. Departamento de Geodinámica, Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- Holcombe, T., Ladd, J., Westbrook, G., Edgar, N., & Bowland, C. (1990). *Caribbean Margin Geology; Ridges and Basins of the Plate Interior*.

- James, K. (2005). *Arguments for and against the Pacific origin of the Caribbean Plate and arguments for an in situ origin*. Barbados: Caribbean Journal of Earth Science. doi:10.1344/105.000000370
- James, K. (2009). *In situ origin of the Caribbean: discussion of data*. Geological Society. London: Special Publications. doi:10.1144/SP328.3
- Mann, P. (1999). *Caribbean Sedimentary Basins" Classification and Tectonic Setting from Jurassic to Present*. Sedimentary Basins of the World, Caribbean Basins.
- Mann, P., Calais, E., Ruegg, J.-C., DeMets, C., & Jansman, P. (2002). *Oblique collision in the northeastern Caribbean from GPS*. TECTONICS. doi:doi:10.1029/2001TC001304
- Manzoni, S. (2001). *Secuencia básica de procesamiento de data sísmica para obtener datos finales, orientada a estudiantes de ingeniería geofísica*. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Martínez, O. (2007). *Estimación de la velocidad de propagación y atenuación de ondas en edificios a partir de trazas sísmicas deconvolucionadas*. Instituto Politécnico Nacional Unidad OAXACA.
- Martin-Kaye, P. (1969). *A summary of the geology of the Lesser Antilles*. Overseas Geology and Mineral Resources.
- Meschede, M., & Frisch, W. (1998). *A plate-tectonic model for the Mesozoic and Early Cenozoic history of the Caribbean plate*. Tectonophysics. doi:10.1016/S0040-1951(98)00157-7
- Nainggolan, H. (2014, 05 19). *TotalCorner*. Retrieved from 2 D High resolution marine seismic data processing by using seismic: http://totalcorner.blogspot.com/2014/05/2-d-marine-seismic-data-processing-by_19.html
- Oppenheim, A. V., Willsky, A. S., & Hamid Navab, S. (1997). *Signals & System*.

- Orihuela, N. (2012). *Análisis de la placa Caribe a partir de modelos integrados de anomalías de campos potenciales*. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Paolini, M. (2012). *Interpretación geofísica integrada del sector occidental de la plataforma centro norte costera de Venezuela*. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Pindell, J., & Barrett, S. (1990). *Geological evolution of the Caribbean region; A Plate tectonic perspective*. The Geology of North America. The Geological Society of America.
- Pindell, J., & Kennan, L. (2001). *Kinematic Evolution of the Gulf of Mexico and Caribbean*. Petroleum Systems of Deep-Water. Houston, Texas: GCSSEPM Foundation 21st Annual Research Conference Transactions.
- Pindell, J., & Kennan, L. (2009). *Tectonic evolution of the Gulf of Mexico, Caribbean and northern South America in the mantle reference frame: an update*. Geological Society, London, Special Publications. doi:10.1144/SP328.1
- Pindell, J., Cande, S., Walter, P., Rowley, D., Dewey, J., Labrecque, J., & Haxby, W. (1988). *A plate-kinematic framework for models of Caribbean evolution*. Tectonophysics.
- Pindell, J., Higgs, R., & Dewey, J. (1998). *Cenozoic palinspatic reconstruction, paleogeographic evolution and hidrocarbon setting of the northern margin of South America*. SEPM Special Publication, N° 58.
- R/V Maurice Ewing Cruise EW0404. (2004). *SE Caribbean Seismic Project. Active Source Experiment*.
- Robinson, E. (1985). *Seismic time-invariant convolutional model*. Geophysics, Vol 50. doi:<https://doi.org/10.1190/1.1441894>
- Rodríguez, Y. (2012). *Procesamiento sísmico de la línea 18 del proyecto JUNIN 06G 2D*. Universidad Simón Bolívar, Sartenejas.

- Rufianenlared. (2016, 5 31). *Rufianenlared*. Retrieved 9 20, 2018, from <http://rufianenlared.com/filtros/>
- Sánchez, F. (2011). *Interpretación sísmica y gravimétrica de la costa centro-norte venezolana*. Universidad Simón Bolívar, Sartenejas.
- Sheriff, R. (2002). *Encyclopedic Dictionary of Applied Geophysics*. Tulsa, Oklahoma, U.S.A.: Society of Exploration Geophysicists (fourth edition). doi:<https://doi.org/10.1190/1.9781560802969>
- Sheriff, R. E., & Geldart, L. P. (1995). *Exploration Seismology*. Cambridge University Press.
- Stockwell, J. (2017). *A Course in Geophysical Image Processing with Seismic Unix: GPGN 461/561 Lab Fall 2017*. Center for Wave Phenomena.
- Stockwell, J. W., & Cohen, J. K. (2008). *The new SU User's manual*. Colorado School of Mines: The Society of Exploration Geophysicists.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied Geophysics*. Cambridge University Press: Cambridge.
- Toribio, E. (2012). *Modelado estructural y retrodeformacion, en la Cuenca Oriental de Falcon-Costa Afuera*. Universidad Simón Bolívar, Maestría en ciencias de la Tierra, Sartenejas.
- Weber, J., Dixon, T., DeMets, C., Ambeh, W., Jansman, P., Mattioli, G., Saleh, J., Sella, G., Bilham, R., Pérez, O. (2001). *GPS estimate of relative motion between the Caribbean and South American plates, and geologic implications for Trinidad and Venezuela*. Geological Society of America. doi:10.1130/0091-7613(2001)029<0075:GEORMB>2.0.CO;2
- Yilmaz, Ö. (2001). *Seismic data analysis - Processing, inversion and interpretation of seismic data* (Vol. I). (S. M. Doherty, Ed.) Tulsa: Society of Exploration Geophysicists.

APENDICES A

Dentro del Terminal es posible desplazarse entre directorios con el comando *change directory* (*cd*) o para volver al directorio anterior (*cd ..*), para la visualización de los archivos contenidos en cada directorio o carpeta de trabajo se utiliza el comando llamado *list directory contents* (*ls*), para más información, como fecha de modificación, tamaño o dueño de los archivos se utiliza el comando (*ls -l*).

Dentro de la simbología en el Terminal de Linux se tienen algunos comandos esenciales que serán necesarios para comprender los *Shell-script* posteriores a realizar. Será útil si conoce los comandos elementales de *Unix* ().

Tabla 10 Comandos esenciales

Comando	Descripción
<i>Pipe</i>	Conecta dos procesos
\	Marca de continuación de un proceso en la siguiente línea
&	Ejecuta un proceso en segundo plano
<	Envía datos de derecha a izquierda
>	Redirige el resultado del comando anterior
>>	Agrega el contenido al archivo de salida sin sobrescribir
Control + C	Detiene un proceso usando la ventana activa

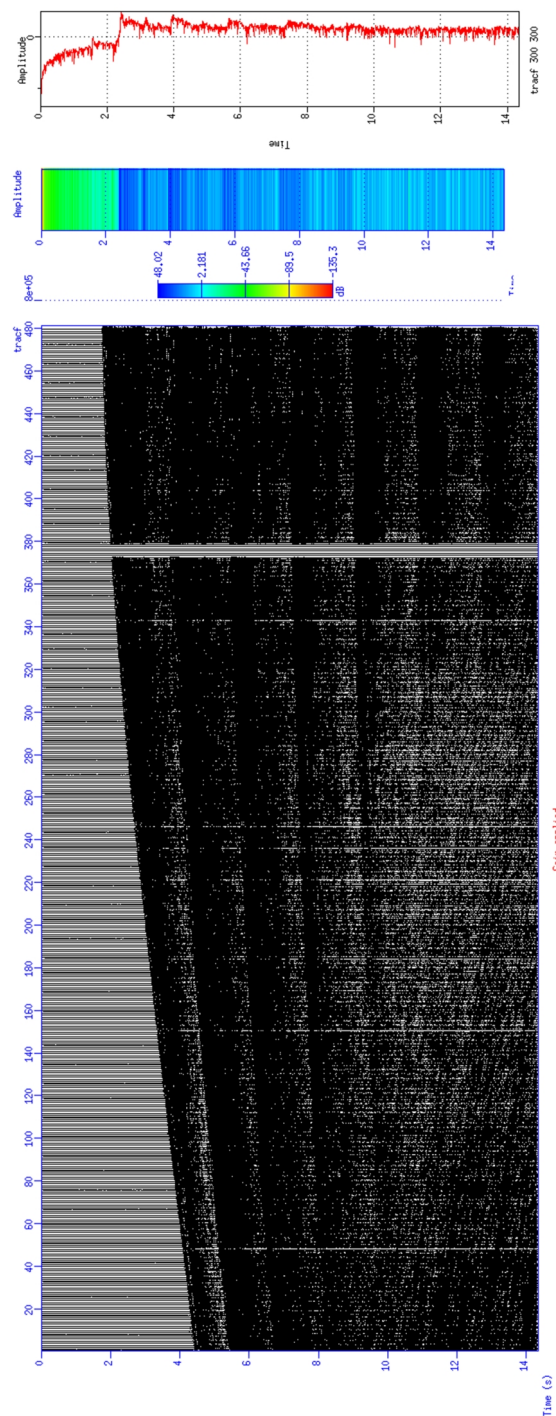


Figura 56 Disparo 6500 luego de aplicación de ganancia ($A'=A*t^{1.8}$), gráficos de amplitud y decibelios del $tracf=300$.

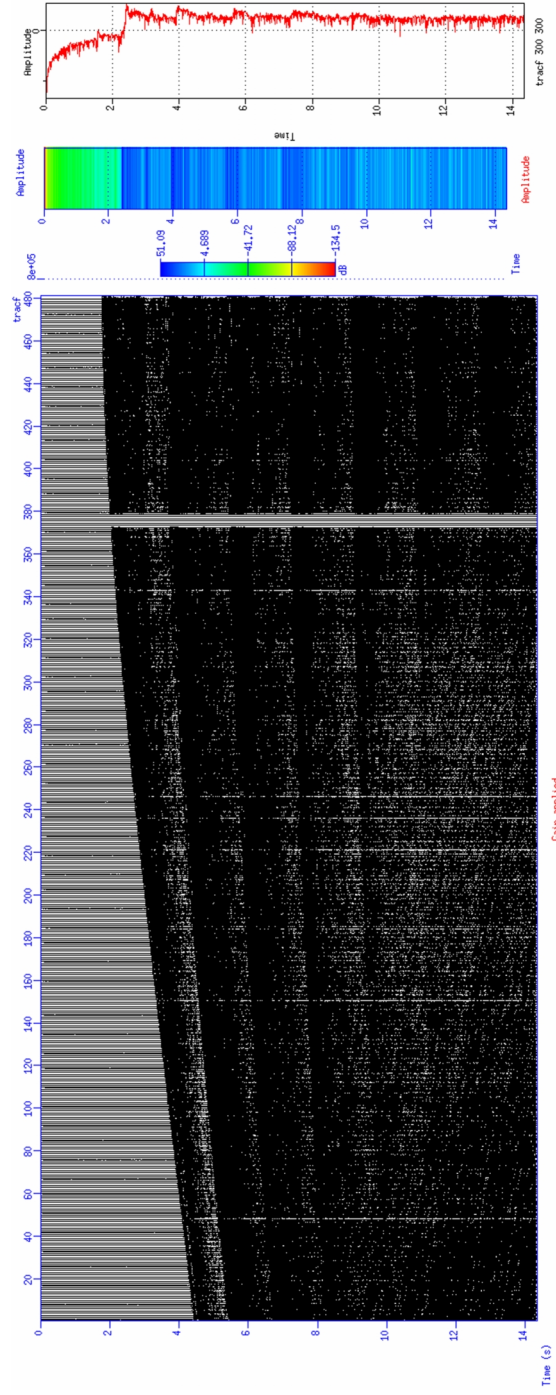


Figura 57 Disparo 6500 luego de aplicación de ganancia ($A'=A*t^{2.2}$), gráficos de amplitud y decibelios del $tracf=300$.

APENDICES B

Shell-script 1 *fldr_100_en_100.sh*.

```
#!/bin/sh

suwind <bol06_00.su key=fldr min=6000 max=6000>bol06_fldr100.su
suwind <bol06_00.su key=fldr min=6100 max=6100>>bol06_fldr100.su
suwind <bol06_00.su key=fldr min=6200 max=6200>>bol06_fldr100.su
suwind <bol06_00.su key=fldr min=6300 max=6300>>bol06_fldr100.su
suwind <bol06_00.su key=fldr min=6400 max=6400>>bol06_fldr100.su
suwind <bol06_00.su key=fldr min=6500 max=6500>>bol06_fldr100.su
suwind <bol06_00.su key=fldr min=6600 max=6600>>bol06_fldr100.su
suwind <bol06_00.su key=fldr min=6700 max=6700>>bol06_fldr100.su
suwind <bol06_00.su key=fldr min=6800 max=6800>>bol06_fldr100.su
suwind <bol06_00.su key=fldr min=6900 max=6900>>bol06_fldr100.su
suwind <bol06_00.su key=fldr min=7000 max=7000>>bol06_fldr100.su
suwind <bol06_00.su key=fldr min=7100 max=7100>>bol06_fldr100.su
suwind <bol06_00.su key=fldr min=7200 max=7200>>bol06_fldr100.su
suwind <bol06_00.su key=fldr min=7300 max=7300>>bol06_fldr100.su
suwind <bol06_00.su key=fldr min=7400 max=7400>>bol06_fldr100.su
suwind <bol06_00.su key=fldr min=7500 max=7500>>bol06_fldr100.su
suwind <bol06_00.su key=fldr min=7600 max=7600>>bol06_fldr100.su
suwind <bol06_00.su key=fldr min=7700 max=7700>>bol06_fldr100.su
suwind <bol06_00.su key=fldr min=7800 max=7800>>bol06_fldr100.su
suwind <bol06_00.su key=fldr min=7900 max=7900>>bol06_fldr100.su
suwind <bol06_00.su key=fldr min=8000 max=8000>>bol06_fldr100.su
suwind <bol06_00.su key=fldr min=8100 max=8100>>bol06_fldr100.su
suwind <bol06_00.su key=fldr min=8200 max=8200>>bol06_fldr100.su
suwind <bol06_00.su key=fldr min=8300 max=8300>>bol06_fldr100.su
suwind <bol06_00.su key=fldr min=8400 max=8400>>bol06_fldr100.su
suwind <bol06_00.su key=fldr min=8500 max=8500>>bol06_fldr100.su
suwind <bol06_00.su key=fldr min=8600 max=8600>>bol06_fldr100.su
suwind <bol06_00.su key=fldr min=8700 max=8700>>bol06_fldr100.su
suwind <bol06_00.su key=fldr min=8795 max=8795>>bol06_fldr100.su
exit 0
```

Shell-script para muestrear un conjunto de datos espaciados a cada 100 registros.

```
#!/bin/sh

suwind<bol06_01_kill.su key=fldr min=6000 max=6069 > fldr_6000_6069.su
suwind<bol06_01_kill.su key=fldr min=6074 max=6100 > fldr_6074_6100.su
suwind<bol06_01_kill.su key=fldr min=6100 max=6200 > fldr_6100_6200.su
suwind<bol06_01_kill.su key=fldr min=6200 max=6300 > fldr_6200_6300.su
suwind<bol06_01_kill.su key=fldr min=6300 max=6400 > fldr_6300_6400.su
suwind<bol06_01_kill.su key=fldr min=6400 max=6500 > fldr_6400_6500.su
suwind<bol06_01_kill.su key=fldr min=6500 max=6600 > fldr_6500_6600.su
suwind<bol06_01_kill.su key=fldr min=6600 max=6700 > fldr_6600_6700.su
suwind<bol06_01_kill.su key=fldr min=6700 max=6800 > fldr_6700_6800.su
suwind<bol06_01_kill.su key=fldr min=6800 max=6900 > fldr_6800_6900.su
suwind<bol06_01_kill.su key=fldr min=6900 max=7000 > fldr_6900_7000.su
suwind<bol06_01_kill.su key=fldr min=7000 max=7100 > fldr_7000_7100.su
suwind<bol06_01_kill.su key=fldr min=7100 max=7200 > fldr_7100_7200.su
suwind<bol06_01_kill.su key=fldr min=7200 max=7300 > fldr_7200_7300.su
suwind<bol06_01_kill.su key=fldr min=7300 max=7400 > fldr_7300_7400.su
suwind<bol06_01_kill.su key=fldr min=7400 max=7500 > fldr_7400_7500.su
suwind<bol06_01_kill.su key=fldr min=7500 max=7600 > fldr_7500_7600.su
suwind<bol06_01_kill.su key=fldr min=7600 max=7700 > fldr_7600_7700.su
suwind<bol06_01_kill.su key=fldr min=7700 max=7800 > fldr_7700_7800.su
suwind<bol06_01_kill.su key=fldr min=7800 max=7900 > fldr_7800_7900.su
suwind<bol06_01_kill.su key=fldr min=7900 max=8000 > fldr_7900_8000.su
suwind<bol06_01_kill.su key=fldr min=8000 max=8100 > fldr_8000_8100.su
suwind<bol06_01_kill.su key=fldr min=8100 max=8200 > fldr_8100_8200.su
suwind<bol06_01_kill.su key=fldr min=8200 max=8300 > fldr_8200_8300.su
suwind<bol06_01_kill.su key=fldr min=8300 max=8400 > fldr_8300_8400.su
suwind<bol06_01_kill.su key=fldr min=8400 max=8500 > fldr_8400_8500.su
suwind<bol06_01_kill.su key=fldr min=8500 max=8600 > fldr_8500_8600.su
suwind<bol06_01_kill.su key=fldr min=8600 max=8700 > fldr_8600_8700.su
suwind<bol06_01_kill.su key=fldr min=8700 max=8795 > fldr_8700_8795.su

exit 0
```

Shell-script para subdividir el archivo a cada 100 registros.

```
#!/bin/sh
# File: iview.sh
#   View seismic gathers from a 2-D line
# 15 agosto, 2017 modificado con mpicks (Brayner Garcia, Vincenzo De
Lisa)
# Set messages on
##set -x
#=====
# USER AREA -- SUPPLY VALUES
# input seismic data
indata=dato de entrada.su # SU format
# plot choices
myperc=95    # perc value for plot
plotype=0    # 0 = wiggle plot, 1 = image plot
Wplot=800    # Width of plot (pixels)
Hplot=1000   # Height of plot (pixels)
# processing variables
sortkey=fldr # sort key (usually fldr or cdp)
firsts=primer disparo # first sort (fldr or cdp)
lasts=ultimo disparo # last sort (fldr or cdp) value
increment=1  # sort key increment
tracekey=trac # trace label key
#=====
# file descriptions
# tmp1 = binary temp file for input gather
#-----
echo " "
echo " *** VIEWER ***"
echo " "
echo "   INPUT: $indata"
#-----
# Remove old temporary file
rm -f tmp*
#-----
# BEGIN LOOP
#-----
i=$firsts
while [ $i -le $lasts ]
do
  echo " "
  echo "Reading gather $i of $indata"
```

```

echo "First gather = $firsts   Last gather = $lasts"

suwind < $indata key=$sortkey min=$i max=$i > tmp1

if [ $plottype -eq 0 ]; then
    suxwigb < tmp1 xbox=10 ybox=10 wbox=$Wplot hbox=$Hplot \
        mpicks=dummy \
        title="$sortkey $i" \
        label1=" Time (s)" \
        perc=$myperc verbose=0 &
else
    suximage < tmp1 xbox=10 ybox=10 wbox=$Wplot hbox=$Hplot \
        title="$sortkey $i" \
        label1=" Time (s)" \
        perc=$myperc verbose=0 &
fi
echo " "
echo "Press Return or Enter to see next gather"
echo " Or enter \"x\" to exit"
> /dev/tty
read response
cat dummy >>archive de salida.txt
case $response in
[xX])
    zap xwigb > tmp1
    zap ximage > tmp1
    i=`expr $lasts + 1`
    ;;
*)
    zap xwigb > tmp1
    zap ximage > tmp1
    i=`expr $i + $increment`
    ;;
esac
done
#-----
# END LOOP
# Exit
echo " "
echo " ==> Closing iview"
pause
rm -f tmp*
exit

```

Shell-script 4 *killer2.sh* modification de Forel *et al.* (2005).

```
! /bin/sh
# File: killer2.sh
# kill regularly appearing bad traces

# Set messages on
set -x

indata=6000_6100.su
outdata=6000_6100killt.su

sukill < $indata key=tracr a=61|
sukill key=tracr a=103|
sukill key=tracr a=175 |
sukill key=tracr a=199 |
.
.
.
sukill key=tracr a=1334479|
sukill key=tracr a=1334815 > $outdata
# Exit politely from shell
exit
```

Programa para enmudecer trazas problemáticas, donde se eliminaron un total de 16415 trazas.

```
#!/bin/sh
# File: fxdisp.sh
#Start this script with fxdisp.scr
#
# Transform each input trace to its frequency spectrum
#
# Inputs (2): gather name, perc, x-axis key
# Outputs (2): f-x display, gather display
#
# This is only a display script. Data are not saved.
echo " "
echo " *** F-X SPECTRAL DISPLAY ***"
echo " "
#-----
# Begin loop
#-----
ok=false
while [ $ok = false ]
do
    echo " Enter file name perc value key for x-axis"
    echo " Example: dog.su 90 offset"
    > /dev/tty
    read indata myperc xkey
# Create frequency spectrum of each trace and normalize
suspecfx < $indata | suop op=norm |
# Plot frequency traces
suximage xbox=10 ybox=10 wbox=400 hbox=600 \
    label1=" Freq (Hz)" \
    windowtitle="f-x spectrum" title=$indata \
    cmap=HSV7 legend=1 units="Amplitude" \
    verbose=0 bclip=0.5 wclip=0.0 &
# Plot input seismic data
suxwigb < $indata perc=$myperc key=$xkey \
    xbox=420 ybox=10 wbox=600 hbox=600 \
    label1=" Time (s)" label2=$xkey \
    windowtitle="t-x data" title=$indata \
    verbose=0 &
#-----
# Choose loop or exit
#-----
echo " "
echo " 1 = again 2 = exit"
> /dev/tty
```

```

read selection
  case $selection in
    1)
      ok=false
      ;;
    2)
      ok=true
      zap xwigb > tmp1 # decrease screen messages
      zap ximage > tmp1 # decrease screen messages
      ;;
  esac
done
#-----
# Exit
#-----
rm -f tmp1
exit

```

Programa para representar el espectro de frecuencias de las trazas sísmicas.0

```
#!/bin/sh
#File: igain.sh
# Run script igain.scr to start this script
# Set messages on
##set -x
#-----
# User-supplied values
indata=Ncdp1280.su # Input file
myperc=95 # perc value
#-----
echo " "
echo " *** INTERACTIVE GAIN TEST ***"
echo " "
# Remove temporary files
rm -f tmp*
#-----
# Get preliminary information: trace(s) to analyze
#-----
# Ask user for display key
echo " "
echo " Supply name of key for trace selection."
echo " For example: offset or tract"
> /dev/tty
read mykey
echo " "
echo " Supply minimum and maximum key values for dB amplitude display."
echo " For the best display, use only one to three traces."
echo " for example: 300 300"
echo " or: 250 450, or: -450 -250"
> /dev/tty
read mykey1 mykey2
#-----
# Log preliminary information
echo " *** INTERACTIVE GAIN TEST ***" > tmp4
echo "Input file = $indata perc = $myperc" >> tmp4
echo "key = $mykey min value = $mykey1 max value = $mykey2" >> tmp4
#-----
# Show original gather and spectra first
#-----
suxwigb < $indata xbox=10 ybox=10 wbox=400 hbox=600 \
    label1=" Time (s)" label2="$mykey" \
    title="Original gather" key=$mykey \
    perc=$myperc verbose=0 &
```

```

suwind < $indata key=$mykey min=$mykey1 max=$mykey2 |
suattributes mode=amp |
suop op=db > tmp0
suximage < tmp0 xbox=420 ybox=10 wbox=190 hbox=600 \
    label1=" Time" label2="Amplitude" title="Amplitude" \
    grid1=dot grid2=dot legend=1 units=dB \
    cmap=HSV1 verbose=0 &
suxgraph < tmp0 -geometry 190x600+620+10 \
    label1="Time" label2="Amplitude" \
    title="$mykey $mykey1 $mykey2" grid1=dot grid2=dot \
    nTic2=2 -bg white verbose=0 &
#-----
# Amplitude correction
#-----
new=true # true = first test
ok=false # false = continue looping
while [ $ok = false ]
do
    rm -f tmp0 # remove earlier copy of file to be gained

    if [ $new = true ] ; then
        cp $indata tmp0
        echo " -> Original data" >> tmp4
    else
        echo " "
        echo "Enter A to add another gain correction"
        echo "Enter S to start over"
        > /dev/tty
        read choice1
        case $choice1 in
            [sS])
                cp $indata tmp0
                echo " -> Using original data"
                echo " -> Using original data" >> tmp4
                ;;
            [aA])
                cp tmp1 tmp0
                echo " -> Using modified data"
                echo " -> Using modified data" >> tmp4
                ;;
        esac
    fi
done
echo " "
echo "Select Gain Correction Method:"

```

```

echo " Enter A for automatic gain correction"
echo " Enter B to add an overall bias value"
echo " Enter C to clip data"
echo " Enter E to multiply data by exp(t*epow)"
echo " Enter J to use Jon Claerbout values:"
echo "         tpow=2 gpow=.5 qclip=.95"
echo " Enter M to balance by dividing by mean"
echo " Enter R to balance data by 1/rms"
echo " Enter S to scale data"
echo " Enter T to multiply data by t^tpow"
> /dev/tty
read choice2
case $choice2 in
[aA])
    echo " Supply window length in seconds:"
    > /dev/tty
    read wagg
    echo " -> AGC: window length = $wagg s"
    echo " -> AGC: window length = $wagg s" >> tmp4
    sugain < tmp0 agc=1 wagg=$wagg > tmp1
    ;;
[bB])
    echo " Supply overall bias value"
    > /dev/tty
    read bias
    echo " -> Bias with value $bias"
    echo " -> Bias with value $bias" >> tmp4
    sugain < tmp0 bias=$bias > tmp1
    ;;
[cC])
    echo " Supply clip value between 0.00 and 1.00:"
    > /dev/tty
    read qclip
    echo " -> Clip by $qclip of absolute values"
    echo " -> Clip by $qclip of absolute values" >> tmp4
    sugain < tmp0 qclip=$qclip > tmp1
    ;;
[eE])
    echo " Supply exponent epow:"
    > /dev/tty
    read epow
    echo " -> Gain function is: A'=A*e^(t*$epow)"
    echo " -> Gain function is: A'=A*e^(t*$epow)" >> tmp4
    sugain < tmp0 epow=$epow > tmp1

```

```

;;
[jJ)
echo " -> Jon: tpow=2 gpow=.5 qclip=.95"
echo " -> Jon: tpow=2 gpow=.5 qclip=.95" >> tmp4
sugain < tmp0 jon=1 > tmp1
;;
[mM)
echo " -> Balance: divide by mean"
echo " -> Balance: divide by mean" >> tmp4
sugain < tmp0 mbal=1 > tmp1
;;
[rR)
echo " -> Balance: divide by rms value"
echo " -> Balance: divide by rms value" >> tmp4
sugain < tmp0 pbal=1 > tmp1
;;
[sS)
echo " Supply overall scale factor"
> /dev/tty
read scale
echo " -> Scale with factor $scale"
echo " -> Scale with factor $scale" >> tmp4
sugain < tmp0 scale=$scale > tmp1
;;
[tT)
echo " Supply exponent tpow:"
> /dev/tty
read tpow
echo " -> Gain function is: A'=A*t^$tpow"
echo " -> Gain function is: A'=A*t^$tpow" >> tmp4
sugain < tmp0 tpow=$tpow > tmp1
;;
esac
#-----
# Plot gained data
#-----
suxwigb < tmp1 xbox=420 ybox=10 wbox=400 hbox=600 \
label1=" Time (s)" label2="$mykey" \
title="Gain applied" key=$mykey \
perc=$myperc verbose=0 &

suwind < tmp1 key=$mykey min=$mykey1 max=$mykey2 |
suattributes mode=amp |
suop op=db > tmp2

```

```

suximage < tmp2 xbox=830 ybox=10 wbox=190 hbox=600 \
  label1=" Time" label2="Amplitude" title="Amplitude" \
  grid1=dot grid2=dot legend=1 units=dB \
  cmap=HSV1 verbose=0 &

suxgraph < tmp2 -geometry 190x600+1030+10 \
  label1="Time" label2="Amplitude" \
  title="$mykey $mykey1 $mykey2" grid1=dot grid2=dot \
  nTic2=2 -bg white verbose=0 &

#-----
# Choose loop or exit
echo " "
echo "Enter 1 for more Amplitude corrections"
echo "Enter 2 to output gained seismic data and EXIT"
> /dev/tty
read choice3
case $choice3 in
  1)  ok=false
      ;;
  2)  cp tmp1 igain.su
      echo " *** Output data file: igain.su"
      echo " *** Output data file: igain.su" >> tmp4
      cp tmp4 igain.txt
      echo " *** Output log file: igain.txt"
      pause exit
      ok=true
      zap xwigg > tmp3 # decrease screen messages
      zap ximage > tmp3 # decrease screen messages
      zap xgraph > tmp3 # decrease screen messages
      ;;
esac

new=false # true = first test
done
#-----
# Exit
# Remove temporary files
rm -f tmp*
# Exit politely from shell
exit

```

Programa para visualizar ejemplos de diferentes tipos de ganancia aplicado a una traza.

```

#!/bin/sh
# File: idecon.sh
#   Run script idecon.scr to start this script
#   You can window the seismic data for autocorrelation
#   analysis. For predictive deconvolution, based on
#   the autocorrelation display, use a prediction length
#   equal to the time from zero to the second zero crossing.
#   Example:
#
#       Prediction length = .030 seconds
#       Operator length = .250 seconds
#
# Set messages on
##set -x
#=====
# User-supplied values
#-----

# Input seismic file
indata=flidr6400_fltrd.su

# percent white noise [supef default=0.001]
wnoise=0.001

#=====
# DOCUMENT TERMS:
#
# PL = Prediction length
# OL = Operator length
#
# |
# **
# | *      **
# | *      * *   **
# | *      * *   * *   **
# |-----*-----*-----*-----*-----*-----*
# | * * | * *   ** | **
# | * * | **
# | ** |
# |
# |== PL == |==== OL =====|
#
# Input wavelet

```

```

#
#
# |
# **
# | *
# | *
# | *
# -----*-----*****_-*
# | * * **
# | * *
# | **
# |
#
# Output wavelet
#
#
# REFERENCE: Robinson, E.A., Treitel, S., 2000, Geophysical
#           Signal Analysis, Society of Exploration
#           Geophysicists, Tulsa, p. 278-279.
#
#-----
# Describe temporary files
#-----

# tmp0 = input seismic file, after gain
# tmp1 = input to deconvolution:
#       tmp0 (reproc=s) or tmp3 (reproc=r)
# tmp2 = input seismic windowed for autocorrelation
# tmp3 = output of the prediction error filter
# tmp4 = output of the prediction error filter
#       windowed for autocorrelation
# tmp5 = ASCII log file of processing parameters
# tmp6 = ASCII file to reduce screen display of "zap"

#-----

echo " "
echo " *** DECONVOLUTION TEST ***"
echo " "
echo " ENVIRONMENT QUESTIONS ..."

# Remove temporary files
rm -f tmp*

```

```

#-----
# Supply gain value to t^(power)
# Supply perc value for plots
# Supply key value for plots

echo " "
echo "Supply gain power value for t^(power)"
echo "For no gain, supply 0"
> /dev/tty
read tpow

echo " "
echo "Supply \"perc\" value for plots"
echo " Typical values are 100, 98, 95, 90, 85"
echo " If you need a perc value less than 70,"
echo " your data are probably poorly gained."
> /dev/tty
read myperc

echo " "
echo "Supply \"key\" for plot x-axis annotation"
echo " Typical values are: tracl tracl offset"
> /dev/tty
read mykey

#-----
# Ask: wiggle traces (xwigg) or image (ximage)

echo " "
echo "For wiggle traces, enter w"
echo "For image display, enter i"
> /dev/tty
read display

case $display in
i)
    wiggle=1
    ;;
*)
    wiggle=0
    ;;
esac

#-----

```

```

# Apply gain, copy input data to temporary file

sugain < $indata tpow=$tpow > tmp0

#-----
# From data: get number of samples, sample interval
# Compute time length of traces

ns=`sugethw ns < tmp0 | sed 1q | sed 's/. *ns=/'`
dt=`sugethw dt < tmp0 | sed 1q | sed 's/. *dt=/'`

# Convert dt key value from microsec to sec
tsamp=`bc -l << -END
scale=6
$dt / 1000000
END`

# Compute last time (seconds)
tend=`bc -l << -END
$ns * $tsamp
END`

#-----
# Write to log file

echo " *** DECONVOLUTION TEST ***" > tmp5
echo " Input file = $indata" >> tmp5
echo " Percent white noise = $wnoise Gain = $tpow" >> tmp5
echo " Sample interval is $tsamp seconds" >> tmp5
echo " Data last time is $tend seconds" >> tmp5
echo " -----" >> tmp5

#-----

# initial setting for autocorrelation analysis window start
taa=$tsamp
# initial setting for autocorrelation analysis window end
tzz=$tend

#-----

new=true # true = 1st time through loop
finish=false # true = exit decon script

```

```

#-----
# Begin testing loop
#-----

echo " "
echo " ITERATION QUESTIONS ..."

while [ $finish = false ]
do

  if [ $new = true ] ; then

    cp tmp0 tmp1
    echo " -> Original data" >> tmp5

  else

    echo " "
    echo "Enter R to re-process deconvolved data"
    echo "Enter S to start over"
    > /dev/tty
    read reproc

    case $reproc in
      [sS])
        cp tmp0 tmp1
        echo " -> Using original data"
        echo " -> Using original data" >> tmp5
        ;;
      [rR])
        cp tmp3 tmp1
        echo " -> Using modified data"
        echo " -> Using modified data" >> tmp5
        ;;
    esac

  fi

  rm -f tmp3 tmp4

#-----
# Plot seismic

if [ $wiggle -eq 0 ] ; then

```

```

suxwigb < tmp1 perc=$myperc xbox=10 ybox=10 wbox=300 hbox=500 \
  label1=" Time (s)" label2=$mykey key=$mykey \
  windowtitle="Test input" \
  title="Input to deconvolution" verbose=0 &
else
  suximage < tmp1 perc=$myperc xbox=10 ybox=10 wbox=300 hbox=500 \
    label1=" Time (s)" \
    windowtitle="Test input" \
    title="Input to deconvolution" verbose=0 &
fi

#-----
# Tell user current autocorrelation window settings

echo " "
echo " $indata:"
echo " "
echo " -----"
echo " Sample interval is $tsamp seconds"
echo " Data last time is $tend seconds"
echo " -----"
echo " "
echo " Autocorrelation window start time is $taa"
echo " Autocorrelation window last time is $tzz"

#-----
# Autocorrelation analysis window

echo " "
echo "Change autocorrelation analysis window ? (y/n)"
> /dev/tty
read windowC

case $windowC in
[yY])
  wndwC=0
  ;;
*)
  wndwC=1
  ;;
esac

if [ $wndwC -eq 0 ] ; then
  echo " "

```

```

echo "Supply first time (seconds)"
> /dev/tty
read taa
echo "Supply last time (seconds)"
> /dev/tty
read tzz
fi

echo " "
echo " $indata:"
echo " "
echo " Autocorrelation first time is $taa"
echo " Autocorrelation first time is $taa" >> tmp5
echo " Autocorrelation last time is $tzz"
echo " Autocorrelation last time is $tzz" >> tmp5

#-----
# Plot autocorrelation

suwind < tmp1 tmin=$taa tmax=$tzz > tmp2

if [ $swiggle -eq 0 ] ; then
    suacor < tmp2 ntout=101 sym=0 |
    suxwigg perc=$myperc xbox=322 ybox=10 wbox=300 hbox=500 \
        label1=" Time (s)" label2=$mykey key=$mykey \
        windowtitle="Acor before decon" interp=1 \
        title="Autocorrelation" wclip=0 verbose=0&
else
    suacor < tmp2 ntout=101 sym=0 |
    suximage perc=$myperc xbox=322 ybox=10 wbox=300 hbox=500 \
        label1=" Time (s)" \
        windowtitle="Acor before decon" \
        title="Autocorrelation" wclip=0 verbose=0 &
fi

#-----
# Prediction length & Operator length

echo " "
echo "Enter prediction length (seconds)"
> /dev/tty
read minlag
echo "Enter operator length (seconds)"
> /dev/tty

```

```

read maxlag

echo " Prediction length = $minlag" >> tmp5
echo " Operator length = $maxlag" >> tmp5

#-----
# Deconvolution

supef < tmp1 minlag=$minlag maxlag=$maxlag \
    mincorr=$taa maxcorr=$tzz pnoise=$wnoise > tmp3

#-----
# After deconvolution -- plot data

if [ $wiggles -eq 0 ] ; then
    suxwigb < tmp3 perc=$myperc xbox=634 ybox=10 wbox=300 hbox=500 \
        label1=" Time (s)" label2=$mykey key=$mykey \
        title="Pred length=$minlag, Oper length=$maxlag" \
        windowtitle="Deconvolution" verbose=0 &
else
    suximage < tmp3 perc=$myperc xbox=634 ybox=10 wbox=300 hbox=500 \
        label1=" Time (s)" \
        title="Pred length=$minlag, Oper length=$maxlag" \
        windowtitle="Deconvolution" verbose=0 &
fi

#-----
# After deconvolution -- plot autocorrelation

suwind < tmp3 tmin=$taa tmax=$tzz > tmp4

if [ $wiggles -eq 0 ] ; then
    suacor < tmp4 ntout=101 sym=0 |
    suxwigb perc=$myperc xbox=946 ybox=10 wbox=300 hbox=500 \
        label1=" Time (s)" label2=$mykey key=$mykey \
        title="Acor: first time = $taa, last time = $tzz" \
        windowtitle="Acor after decon" interp=1 verbose=0&
else
    suacor < tmp4 ntout=101 sym=0 |
    suximage perc=$myperc xbox=946 ybox=10 wbox=300 hbox=500 \
        label1=" Time (s)" \
        title="Acor: first time = $taa, last time = $tzz" \
        windowtitle="Acor after decon" verbose=0 &
fi

```

```

#-----
# Do more decon or exit

echo " "
echo "Enter 1 for more decon testing"
echo "Enter 2 for EXIT"
> /dev/tty
read selection

case $selection in
  1)
    finish=false
    ;;
  2)
    cp tmp3 idecon.su
    cp tmp5 idecon.txt
    echo " "
    echo "Output seismic file is ==> idecon.su"
    echo "  Output log file is ==> idecon.txt"
    pause exit
    zap xwigg > tmp6 # decrease screen messages
    zap ximage > tmp6 # decrease screen messages
    finish=true
    ;;
esac

new=false

done

#-----
# Exit
#-----

# Remove temporary files
rm -f tmp*

# Exit politely from shell
exit

```

Programa para aplicar deconvolución y auto-correlación a un registro sísmico.

```
#!/bin/sh
## File: iva.sh

#####
# Credits:
# 2004 Hale, Cohen, with Stockwell modifications 2004.
#   In su distribution directory:
#   ~/su/src/demos/Velocity_Analysis/Traditional/Velan
# 2005 Seismic Processing with Seismic Un*x
#   Forel, Benz, Pennington, 2005
#   script iva.sh (section 7.6.7.3) and
#   velanQC.sh (section 8.2.2.2)
# 2011 Schleicher, offered to David Forel for new edition
#   of "Seismic Processing with Seismic Un*x"
#####

# Set messages on
#set -x

#-----
# USER AREA -- SUPPLY VALUES
#-----
# CMPs for analysis

eval $1
echo parm1 is $1
echo cmp1 and numCMPs $cmp1 $numCMPs
#-----
# File names

indata=$2
outpicks=$3 # ASCII file
inpicks=$4

#####3
#####3
#-----
# display choices

myperc=98 # perc value for plot
SUXWIGB_OR_XIMAGE=suxwigb
#SUXWIGB_OR_XIMAGE=suximage
```

```

# size of the display windows
HBOX=700 # originally 450
WBOXCVS=300 # originally 300
WBOXCMP=200 # originally 300
WBOXVELAN=500 # originally 300

XBOXVELAN=10 # kls 1350 puts it on second screen

# these parameters work nicely to put plots on
# my 2nd screen. I turn them on by changing
# the next line to:  if [ 1 ]
if [ 1 -eq 2 ]
then
    echo "***** in if ****"
    HBOX=1000 # originally 450
    WBOXCVS=300 # originally 300
    WBOXCMP=200 # originally 300
    WBOXVELAN=800 # originally 300
    XBOXVELAN=1350
fi

XBOXCVS=`expr $XBOXVELAN + $WBOXVELAN`
XBOXCMP=`expr $XBOXCVS + $WBOXCVS`
XBOXNMOCMP=`expr $XBOXCMP + $WBOXCMP`
#-----
# Processing variables

# Semblance variables
nvs=101 # number of velocities
dvs=$6 # velocity interval
fvs=$5 # first velocity

# Compute last semblance (velan) velocity
lvs=`echo "$fvs + (( $nvs - 1 ) * $dvs)" | bc -l`

# CVS variables
fc=$fvs # first CVS velocity
lc=$lvs # last CVS velocity - now same at the last semblance velocity
nc=11 # number of CVS velocities (panels)
SPAN=11 # ODD number of CMPs to stack into central CVS

#=====
# HOW SEMBLANCE (VELAN) VELOCITIES ARE COMPUTED

```

```

# Last Vel = fvs + (( nvs-1 ) * dvs ) = lvs
# 5000 = 500 + (( 99-1 ) * 45 )
# 3900 = 1200 + (( 100-1 ) * 27 )

#-----

# HOW CVS VELOCITIES ARE COMPUTED

# dc = CVS velocity increment
# dc = ( last CVS vel - first CVS vel ) / ( # CVS - 1 )
# m = CVS plot trace spacing ( m = d2, vel units )
# m = ( last CVS vel - first CVS vel ) / ( ( # CVS - 1 ) * SPAN )

# j=1
# while [ j le nc ]
# do
# vel = fc + { [( lc - fc ) / ( nc-1 ) ] * ( j-1 ) }
# j = j + 1
# done
# EXAMPLE:
# vel = 1200 + ( (( 3900 - 1200 ) / ( 10-1 ) ) * ( 1-1 ) )
# vel = 1200 + ( (( 3900 - 1200 ) / ( 10-1 ) ) * ( 2-1 ) )
# ...
# vel = 1200 + ( (( 3900 - 1200 ) / ( 10-1 ) ) * ( 11-1 ) )
#-----

# FILE DESCRIPTIONS

# spanpanel.$picknow.su = binary temp file for input CVS gathers
# cvs.$picknow.su = binary temp file for output CVS traces
# nmopanel.$picknow.su = binary temp file for NMO (flattened) section
# panel.$picknow.su = current CMP windowed from line of CMPs
# spanpanel.$picknow.su = span of CMPs windowed to make cvs
# picks.$picknow = current CMP picks arranged as "t1 v1"
# "t2 v2"
# etc.
# par.# ( # is a sequential index number; 1, 2, etc.)
# = current CMP picks arranged as
# "tnmo=t1,t2,t3,..."
# "vnmo=v1,v2,v3,..."
# par.0 = file "par.cmp" re-arranged as
# "cdp=#,#,#,etc." NOTE: # in this line is picked CMP
# "#=1,2,3,etc." NOTE: # in this line is "#"

```

```

# outpicks = concatenation of par.0 and all par.# files.

#-----

echo " *** INTERACTIVE VELOCITY ANALYSIS ***"

#-----
#kls Remove old files. Open new files
#rm -f panel.*.su picks.* par.* tmp*

echo "save the old outpicks file with date in the name:"
suffix=`date|sed "s/ /_/g"`
echo "cp -p $outpicks $outpicks.$suffix"
cp -p $outpicks $outpicks.$suffix

#make a set of picks.* files that will be used to plot on the
#velan and the cvs plots, and apply nmo to gather plot

if [ -s $inpicks ]
then
  tvnmoqc mode=2 prefix=picks par=$inpicks
fi

#-----
# Get ns, dt, first time from seismic file
nt=`sugethw ns < $indata | sed 1q | sed 's/. *ns=/'`
dt=`sugethw dt < $indata | sed 1q | sed 's/. *dt=/'`
delrt=`sugethw delrt < $indata | sed 1q | sed 's/. *delrt=/'`

# Convert dt from header value in microseconds
# to seconds for velocity profile plot
dt=`echo "scale=6; $dt / 1000000 " | bc -l`

# If "delrt", use it; else use zero
tstart=`echo "scale=6; ${delrt} / 1000" | bc -l`

#-----
# BEGIN IVA LOOP
#-----

i=1

```

```

while [ $i -le $numCMPs ]
do
# set variable $picknow to current CMP
eval pickprev=\$cmp`expr i - 1`
eval picknow=\$cmp$i
eval picknext=\$cmp`expr i + 1`

# make a file so the while loop will run the first time
echo "just some junk" > newpicks.$picknow
while [ -s "newpicks.$picknow" ]
do
# work this location until the user makes no picks
# on the velan

if [ -s picks.$picknow ] ; then
    echo "Location CMP $picknow has no picks."
fi

#-----
# Plot CMP (right)
#-----

suwind < $indata \
    key=cdp min=$picknow max=$picknow > panel.$picknow.su

$SUXWIGB_OR_XIMAGE < panel.$picknow.su \
    xbox=$XBOXCMP ybox=0 wbox=$WBOXCMP hbox=$HBOX \
    title="CMP gather $picknow" \
    label1=" Time (s)" label2="Offset (m)" key=offset \
    perc=$myperc verbose=0 &

#-----
# Constant Velocity Stacks (CVS) (middle-left)
# Make CVS plot for first pick effort.
# If re-picking t-v values, do not make this plot.
#-----

# truncate SPAN to odd number less then or equal to SPAN
HALF_SPAN=`expr $SPAN / 2`
SPAN=`expr $HALF_SPAN "*" 2 + 1`

# Select CMPs $picknow +/- HALF_SPAN.
# Write to spanpanel.$picknow.su
CMPMIN=`expr $picknow - $HALF_SPAN`

```

```

CMPMAX=`expr $picknow + $HALF_SPAN`
suwind < $indata key=cdp min=$CMPMIN max=$CMPMAX \
> spanpanel.$picknow.su

# Calculate CVS velocity increment
# dc = ( last CVS vel - first CVS vel ) / ( # CVS - 1 )
dc=`echo "( $lc - $fc ) / ( $nc - 1 )" | bc -l`

# Calculate trace spacing for CVS plot (m = d2, vel units)
# m = ( last CVS vel - first CVS vel ) / ( ( # CVS - 1 ) * SPAN )
m=`echo "( $lc - $fc ) / ( ( $nc - 1 ) * $SPAN )" | bc -l`
if [ ! -s cvs.$picknow.su ] ; then
  # CVS velocity loop
  rm cvs.$picknow.su
  j=1
  while [ $j -le $nc ]
  do
    vel=`echo "$fc + $dc * ( $j - 1 )" | bc -l`

    # uncomment to print CVS velocities to screen
    ## echo " vel = $vel"

    sunmo < spanpanel.$picknow.su vnmo=$vel |
    sustack >> cvs.$picknow.su

    j=`expr $j + 1`
  done
fi

# Compute lowest velocity for annotating CVS plot
# loV = first CVS velocity - HALF_SPAN * vel inc
loV=`echo "$fc - $HALF_SPAN * $m" | bc -l`

#-----
# Picking instructions
#-----
echo " "
echo "Preparing CMP $i of $numCMPs for Picking "
echo "Location is CMP $picknow. CVS CMPs = $CMPMIN,$CMPMAX"
echo " "
echo " Use the semblance plot to pick (t,v) pairs."
echo " Type \"s\" when the mouse pointer is where you want a pick."
echo " Be sure your picks increase in time."
echo " To control velocity interpolation, pick a first value"

```

```

echo " near zero time and a last value near the last time."
echo " Type \"q\" in the semblance plot when you finish picking."
echo " "
echo " If there are no picks (using \"s\") before you quit (using"
echo " \"q\" in the semblance plot, picking will continue at the"
echo " next CMP."

#-----
# Plot semblance (velan) (left)
#-----

# if there is a non-zero length picks.$picknow file, plotit
# kls add logic for pickprev, picknow, picknext
if [ -s picks.$picknow ]
then

    #--- --- --- --- --- --- --- --- ---
    # Get the number of picks (number of lines) in picks.$picknow
    # Remove blank spaces preceding the line count.
    # Remove file name that was returned from "wc".
    # Store line count in "npair" to guide line on velan.

    npair=`wc -l picks.$picknow \
        | sed 's/^ *(.*)\^1/' \
        | sed 's/picks.$picknow//' `
    plotline="curve=picks.$picknow npair=$npair curvecolor=white"
else
    plotline=" "
fi
# echo plotline=$plotline

# plot the cvs
# cat picks.$picknow
suximage < cvs.$picknow.su \
    xbox=$XBOXCVS ybox=0 wbox=$WBOXCVS hbox=$HBOX \
    title="CMP $picknow Constant Velocity Stacks" \
    label1=" Time (s)" label2="Velocity (m/s)" \
    f2=$loV d2=$m verbose=0 \
    perc=$myperc n2tic=5 cmap=rgb0 $plotline &

# if there is a velocity function, display moved out gather
if [ -s picks.$picknow ]
then
    # translate picks.$picknow into tnmo/vnmo for sunmo

```

```

# sort < picks.$picknow -n |
  mkparfile < picks.$picknow string1=tnmo string2=vnmo > par.$i
# apply nmo and plot the moved out gather
sunmo < panel.$picknow.su par=par.$i cdp=$picknow verbose=0 \
| $SUXWIGB_OR_XIMAGE \
  xbox=$XBOXNMOCMP ybox=0 wbox=$WBOXCMP hbox=$HBOX \
  title="CMP $picknow after NMO" \
  label1=" Time (s)" label2="Offset (m)" \
  verbose=0 perc=$myperc key=offset &
fi

# compute and plot the semblance/velan
cat picks.$picknow
suvelan < panel.$picknow.su nv=$nvs dv=$dvs fv=$fvs \
| suximage \
  xbox=$XBOXVELAN ybox=0 wbox=$WBOXVELAN hbox=$HBOX
perc=99 \
  units="semblance" f2=$fvs d2=$dvs n2tic=5 \
  title="Semblance Plot CMP $picknow" cmap=hsv2 \
  label1=" Time (s)" label2="Velocity (m/s)" \
  legend=1 units=Semblance verbose=0 gridcolor=black \
  grid1=solid grid2=solid \
  mpicks=newpicks.$picknow $plotline

if [ -s "newpicks.$picknow" ]
then
  echo "there is a non-zero length newpicks.$picknow file"
  cat newpicks.$picknow
  cp newpicks.$picknow picks.$picknow
fi

echo " "
echo " t-v PICKS CMP $picknow"
echo "-----"
cat picks.$picknow
echo "-----"

# rm spanpanel.$picknow.su
zap xwigb > /dev/null
zap ximage > /dev/null

done
i=`expr $i + 1`

```

```

done

#-----
# Create velocity output file
#-----

cdplist=$cmp1

i=2
while [ $i -le $numCMPs ]
do
    eval picknow=\$cmp$i
    cdplist=$cdplist,$picknow
    i=`expr $i + 1`
done
echo cdp=$cdplist \>>$outpicks

i=1
while [ $i -le $numCMPs ]
do
    sed < par.$i 's/$/ \Vg' >> $outpicks
    i=`expr $i + 1`
done

#-----
# Remove files and exit
#-----

echo " "
echo " The output file of t-v pairs is "$outpicks:
cat $outpicks
rm -f panel.*.su spanpanel.*.su picks.* par.* newpicks.* cvs.*.su
rm -f $outpicks.*

```

```
#!/bin/sh
#source ./setupenv.sh
# run velocity analysis at one location near center of the line

# iva has 6 parameters.
# 1- a list of the cmps and the number locations
# 2- the name of the input traces file
# 3- the name of the output velocity file
# 4- the name of the input velocity file
# 5- minimum velocity
# 6- semblance velocity increment (there are always 101 velocities)

./iva-KS.sh \
  "cmp1=1200 cmp2=1840 cmp3=2480 cmp4=3120 cmp5=3760 cmp6=4400
  cmp7=5040 cmp8=5680 cmp9=6320 cmp10=6960 cmp11=7600 \
  cmp12=8240 cmp13=8880 cmp14=9520 cmp15=10160 cmp16=10800
  cmp17=11440 cmp18=12080 cmp19=12720 cmp20=13360 cmp21=14000
  cmp22=14640 \
  cmp23=15280 cmp24=15920 cmp25=16560 cmp26=17200 cmp27=17840
  cmp28=18480 cmp29=19120 cmp30=19760 cmp31=20400 cmp32=21040
  cmp33=21680 \
  cmp34=22300 numCMPs=34" \
  cmp_velan.su \
  vpicks.txt \
  vpicksOrig1.txt \
  1200 75 \
  2>/dev/null
```

```

#!/bin/sh
# File: nmo4.sh
#   Apply NMO (flatten) 2-D line of CMPs
# Input (1): 2-D line of CMPs
# Output (1): NMO-corrected 2-D line of CMPs
# Use: nmo4.sh
# NMO correction is interpolated between named CMPs.
# Set debugging on
#set -x
# Name data sets
indata=bol06_07sort.su
outdata=bol06_08nmo4.su
sunmo < $indata \
cdp=1200,1840,2480,3120,3760,4400,\
5040,5680,6320,6960,7600,8240,8880,9520,10160,10800,\
11440,12080,12720,13360,14000,14640,15280,15920,16560,\
17200,17840,18480,19120,19760,20400,21040,21680,22300 \
tnmo=0.344741,1.03422,1.59111,3.02311,4.37556,7.47822,8.67156,10.6074,14.3996 \
vnmo=1535.53,1535.53,1575,1890.79,2048.68,3213.16,4811.84,6410.53,7614.47 \
tnmo=0.291704,0.928148,2.62533,5.012,7.61081,14.3465 \
vnmo=1535.53,1535.53,1772.37,2305.26,5186.84,6667.11 \
tnmo=0.503852,1.75022,2.46622,3.76563,5.22415,6.62963,8.06163,9.91792,14.373 \
vnmo=1535.53,1535.53,1693.42,1989.47,2384.21,3627.63,5640.79,6292.11,7061.84 \
tnmo=0.371259,1.29941,2.25407,3.44741,5.22415,7.82296,8.32681,11.0052,14.3465 \
vnmo=1496.05,1535.53,1594.74,1930.26,2305.26,5482.89,6055.26,6331.58,6509.21 \
tnmo=0.371259,0.954667,2.22756,3.36785,6.68267,8.592,14.373 \
vnmo=1535.53,1535.53,1515.79,1851.32,4476.32,6035.53,6509.21 \
tnmo=0.397778,1.06074,2.06844,3.44741,5.80756,8.35333,12.2516,14.3465 \
vnmo=1456.58,1496.05,1515.79,1792.11,4436.84,5522.37,6331.58,6528.95 \
tnmo=0.424296,2.148,2.78444,3.52696,5.33022,5.88711,6.36444,7.69037,12.8084,14.267 \
vnmo=1515.79,1515.79,1653.95,1831.58,2325,4002.63,4910.53,5739.47,6588.16,6963.16 \
tnmo=0.344741,1.06074,2.01541,3.50044,6.23185,7.55778,10.0505,12.3841,14.373 \
vnmo=1496.05,1535.53,1555.26,1831.58,4831.58,5798.68,6311.84,6686.84,6884.21 \
tnmo=0.556889,2.04193,3.42089,6.07274,7.5843,9.20193,14.2935 \
vnmo=1496.05,1555.26,1831.58,4792.11,5384.21,5640.79,6114.47 \
tnmo=0.503852,1.69719,2.94356,3.34133,5.27718,8.43289,9.99748,14.32 \
vnmo=1515.79,1515.79,1792.11,1871.05,4594.74,6075,6331.58,6647.37 \
tnmo=0.477333,1.59111,1.96237,3.10267,5.48933,8.1677,13.604,14.3465 \
vnmo=1515.79,1515.79,1496.05,1792.11,4180.26,5028.95,5877.63,6232.89 \
tnmo=0.318222,1.03422,1.8563,3.10267,5.012,7.98207,9.54667,11.9599,14.4526 \
vnmo=1496.05,1515.79,1496.05,1792.11,2344.74,4851.32,5936.84,6410.53,6686.84 \
tnmo=0.291704,1.0077,2.17452,2.97007,6.68267,8.56548,10.2627,12.4372,14.3465 \
vnmo=1417.11,1535.53,1653.95,1752.63,4318.42,5403.95,5936.84,6232.89,6469.74 \
tnmo=0.371259,1.432,2.41319,2.864,6.36444,8.00859,10.1036,12.225,14.32 \
vnmo=1535.53,1555.26,1634.21,1772.37,4772.37,5601.32,6272.37,6686.84,6825 \
tnmo=0.424296,1.08726,1.75022,2.89052,6.1523,6.41748,7.79644,10.8196,12.172,14.3996 \
vnmo=1515.79,1555.26,1496.05,1732.89,2502.63,2660.53,4022.37,4910.53,5246.05,5601.32 \

```

```

tnmo=0.397778,1.11378,1.7237,2.33363,2.89052,8.00859,9.86489,11.1378,13.1267,13.7366,14.37
3 \
vnmo=1515.79,1515.79,1535.53,1653.95,1792.11,3982.89,4831.58,5601.32,6134.21,6292.11,6351.
32 \
tnmo=0.371259,1.08726,1.77674,2.99659,4.18993,7.00089,9.308,11.9068,13.1797,14.32 \
vnmo=1535.53,1535.53,1535.53,1811.84,2581.58,4890.79,5818.42,6351.32,6410.53,6746.05 \
tnmo=0.556889,1.0077,1.75022,2.33363,2.99659,6.0197,7.4517,10.7665,13.0736,14.2935 \
vnmo=1555.26,1515.79,1496.05,1693.42,1811.84,3982.89,4851.32,5542.11,6035.53,6489.47 \
tnmo=0.477333,1.27289,1.7237,2.5723,6.41748,7.95556,11.3234,13.8692,14.2935 \
vnmo=1496.05,1515.79,1555.26,1732.89,4318.42,4890.79,5621.05,6153.95,6292.11 \
tnmo=0.503852,0.90163,1.48504,2.51926,6.07274,9.54667,11.4825,13.1797,14.0813,14.32 \
vnmo=1555.26,1535.53,1535.53,1792.11,4101.32,5167.11,5640.79,5996.05,6213.16,6252.63 \
tnmo=0.371259,1.27289,1.80326,2.54578,6.07274,7.98207,8.93674,12.225,14.3465 \
vnmo=1535.53,1575,1614.47,1831.58,3785.53,5028.95,5700,6390.79,6746.05 \
tnmo=0.556889,1.19333,1.93585,2.41319,6.7357,8.08815,11.0317,12.9941,13.5775,14.2935 \
vnmo=1496.05,1496.05,1594.74,1772.37,3785.53,4555.26,5384.21,6173.68,6410.53,6647.37 \
tnmo=0.503852,1.08726,2.01541,2.51926,5.91363,6.89481,9.52015,10.9787,14.32 \
vnmo=1496.05,1496.05,1634.21,1752.63,3903.95,4732.89,5877.63,6390.79,6607.89 \
tnmo=0.556889,0.928148,1.48504,2.54578,5.96667,8.51244,10.077,12.6759,13.4714,14.3465 \
vnmo=1555.26,1515.79,1515.79,1792.11,4121.05,4969.74,5344.74,5996.05,6193.42,6390.79 \
tnmo=0.556889,0.90163,1.51156,2.49274,7.13348,10.0505,12.119,13.7366,14.32 \
vnmo=1496.05,1496.05,1535.53,1831.58,4140.79,5325,5778.95,6134.21,6311.84 \
tnmo=0.503852,0.769037,1.35244,1.82978,2.5723,8.03511,10.9521,11.6151,14.0018,14.3996 \
vnmo=1515.79,1515.79,1515.79,1634.21,1831.58,4476.32,5009.21,5226.32,5857.89,5996.05 \
tnmo=0.424296,0.742518,1.69719,2.75793,8.08815,12.3311,13.2062,14.4791 \
vnmo=1575,1535.53,1535.53,1831.58,4278.95,5147.37,5384.21,5581.58 \
tnmo=0.636444,1.24637,1.7237,2.65185,5.86059,8.22074,10.4483,11.509,12.8084,14.4261 \
vnmo=1535.53,1535.53,1535.53,1792.11,3193.42,4575,5167.11,5502.63,5838.16,6292.11 \
tnmo=0.291704,0.875111,1.67067,2.83748,5.70148,8.11467,10.077,11.3499,13.6305,14.0018,14.4
261 \
vnmo=1496.05,1515.79,1496.05,1851.32,3963.16,4673.68,5088.16,5403.95,5996.05,6134.21,6311.
84 \
tnmo=0.371259,0.928148,1.69719,2.78444,7.876,10.1566,11.3499,12.3576,14.32 \
vnmo=1496.05,1476.32,1555.26,1811.84,4515.79,5561.84,6094.74,6351.32,6765.79 \
tnmo=0.556889,1.03422,1.75022,2.89052,5.40978,8.00859,10.3687,10.7665,13.7631,14.5587 \
vnmo=1515.79,1496.05,1515.79,1811.84,2364.47,4792.11,5502.63,5601.32,6252.63,6489.47 \
tnmo=0.503852,1.0077,2.04193,2.54578,5.88711,7.55778,8.8837,9.17541,10.74,14.3465 \
vnmo=1515.79,1476.32,1555.26,1713.16,3903.95,5206.58,5660.53,5818.42,6311.84,6864.47 \
tnmo=0.318222,0.769037,1.67067,2.51926,2.81096,4.08385,7.69037,8.1677,8.8837,9.91792,11.16
43,12.7289,14.3465 \
vnmo=1515.79,1515.79,1535.53,1752.63,1831.58,2423.68,4851.32,5167.11,5581.58,6015.79,6371.
05,6765.79,7002.63 \
tnmo=0.344741,0.875111,1.48504,1.7237,2.12148,2.78444,4.74681,7.69037,9.54667,10.4483,13.8
957,14.2935 \
vnmo=1476.32,1515.79,1575,1535.53,1614.47,1831.58,2423.68,4278.95,4890.79,5265.79,6094.74,
6232.89 \
    > $outdata

# Exit politely from shell
Exit

```

```
#!/bin/sh
# File: migcvp.sh
#   Create one panel for each migration velocity
#   Each panel has the same "fldr" value
#   The migration velocity is in key "offset"
#   Total number of panels is in key "nvs"

# Set messages on
set -x
#-----
# USER AREA -- SUPPLY VALUES
#-----
# Seismic files
indata=bol06_10stackdecon.su # SU format
outdata=migcvp.su # migration Constant Velocity Panels

# Migration variables
cdpmin=1 # Start CDP value
cdpmax=22840 # End CDP value
dxcdp=6.25 # distance between adjacent CDP bins (m)
smig=1.0 # stretch factor (0.6 typical if vrms increasing)
# [the "W" factor] (Default=1.0)
vscale=1.9 # scale factor to apply to velocities (Default=1.0)
lstaper=20 # length of side tapers (traces) (Default=0)
lbtaper=100 # length of bottom taper (samples) (Default=0)

# Velocity panel variables
firstv=1460 # first velocity value
lastv=5000 # last velocity value
increment=200 # velocity increment

numVtest=100 # use to limit number of velocity panels
# otherwise, use very large value (100)
#-----
# Compute number of velocity panels

numV=`echo "( ( $lastv - $firstv ) / $increment ) + 1" |bc -l

if [ $numVtest -lt $numV ] ; then
  numV=$numVtest
fi

#-----
```

```

# FILE DESCRIPTIONS
# tmp1 = binary temp file of input data
#-----
cp $indata tmp1
migV=$firstv
echo " "

#-----
# Loop through Migration Constant Velocity Panels
# Each panel has the same "fldr" value
# Panel migration velocity is in key "offset"
# Total number of panels (numV) is in key "nvs"
#-----
i=1
while [ $i -le $numV ]
do

echo " iteration number = $i Velocity = $migV"

suwind < tmp1 key=cdp min=$scdpmin max=$scdpmax |
sushw key=fldr a=$i |
sushw key=offset a=$migV |
sushw key=nvs a=$numV |

sustolt cdpmin=$scdpmin cdpmax=$scdpmax dxcdp=$dxcdp \
tmig=0 vmig=$migV smig=$smig vscale=$vscale \
lstaper=$lstaper lbtaper=$lbtaper \
>> $outdata

i=`expr $i + 1`
migV=`expr $migV + $increment`

done
#-----
# Remove files and exit
#-----
echo " "
echo " Output file = $outdata"
echo " "

rm -f tmp*
exit

```