

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

APLICACIÓN DE DIFERENTES METODOLOGÍAS DE ATENUACIÓN DE MÚLTIPLES EN DATOS MARINOS SOMEROS 3D.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Loconte V., Giuseppe
Para optar al Título
de Ingeniero Geofísico

Caracas, 2012

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

APLICACIÓN DE DIFERENTES METODOLOGÍAS DE ATENUACIÓN DE MÚLTIPLES EN DATOS MARINOS SOMEROS 3D.

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Yaraixa Pérez
TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Arístides Melendez

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Loconte V., Giuseppe
Para optar al Título
de Ingeniero Geofísico

Caracas, 2012

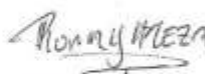
Caracas, noviembre de 2012

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller **GIUSEPPE LOCONTE VONA**, titulado:

**"APLICACIÓN DE DIFERENTES METODOLOGÍAS DE ATENUACIÓN DE
MÚLTIPLES EN DATOS MARINOS SOMEROS 3D"**

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 expuestas por el autor, lo declaran **APROBADO**.


Prof. Michael Schmitz
Jurado


Prof. Rony Meza
Jurado


Prof. MSc. Yaraíxa Pérez
Tutor Académico

DEDICATORIA

Con todo cariño a mi familia, especialmente a mis padres ANNA VONA y ANTONIO LOCONTE (TONI) pilar fundamental en mi vida los AMO. A mis NONNOS que tanto han esperado por este momento, a mi hermanita CHIARA y mi hermanito GYGY, mis tíos, primos y a mi novia los amo.

AGRADECIMIENTOS

A mi mamá y a mi papá, que me brindaron su apoyo incondicional en todo momento sin ellos este logro hubiese sido muchísimo más difícil. A mi hermana chiarita y a mi hermanito gygy.

A mis nonnos y mis tíos que siempre me brindaron su apoyo desde niño, así como también a mis primos.

A mi novia que compartió conmigo la última etapa de mi carrera brindándome palabras de aliento y apoyo.

A mis amigos Luigi (apuntico de ser administradores no?), Franktasma (Ese consejito de tu papa nos sirvió a todos, geofísico instrumentista), cala (coo me perdí la apertura de métodos en verano, IL PUPI) y Robert (No alcanzo el gol de piqué, inolvidable victoria interista. PD deberías pagar la puerta de la padrona).

A mi tutora la profesora Yaraixa Pérez por conseguirme la oportunidad con la empresa CGGVERITAS y ayudarme en todo momento en el desarrollo del proyecto muchísimas gracias.

A la empresa CGGVERITAS, que me brindo la oportunidad y todo su apoyo para el desarrollo de este proyecto.

A mi Tutor Industrial el Ingeniero Arístides Melendez por el apoyo prestado durante mis pasantías en la empresa.

A mi cotutor Industrial el Ingeniero Hernando Aponte por prestar su ayuda incondicional en la elaboración de este proyecto de verdad muchísimas gracias, así como también a todo el personal de la empresa CGGVERITAS (Solange, Francisco, salvador, Yaneth, Usmar, Pablo, Jhony, Ramiro, Juvencio, Orlando, Concepción, Yenny, Luis, Angy, Leida, Oswaldo) a todos ellos

Loconte V., Giuseppe

**APLICACIÓN DE DIFERENTES METODOLOGÍAS DE ATENUACIÓN DE
MÚLTIPLES EN DATOS MARINOS SOMEROS 3D.**

Tutor Académico: Prof. Yaraixa Pérez. Tutor Industrial: Ing. Arístides Melendez.

**Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y
Geofísica. Departamento de Geofísica. Año 2012, 86pág.**

Palabras Claves: Atenuación de múltiples, datos marinos, sísmica marina 3D, SWD, SRME, deconvolución, transformada radon.

Resumen: El objetivo principal de este trabajo de grado está enfocado en la remoción de múltiples de datos marinos someros 3D. Para el procesamiento del mismo fue utilizado el software “Geovation” suministrado por la empresa CGG-VERITAS. Una vez revisadas las distintas secuencias utilizadas de remoción de múltiples en datos marinos, se observó que existen dos etapas de remoción de múltiples, una etapa aplicada antes del análisis de velocidad en donde se aplican procesos predictivos tales como la deconvolución, SWD y SRME y otra etapa aplicada luego de la corrección NMO separando el múltiple del primario mediante distintas transformadas. Se aplicaron distintas secuencias y se compararon entre ellas, de manera tal de determinar cuál de ellas elimina el mayor porcentaje de las reflexiones múltiples contenidas en el dato conservando lo mejor posible las amplitudes del mismo. Primero fueron aplicados los procesos predictivos de manera de limpiar el dato lo mayor posible previo al análisis de velocidad, una vez hecho un buen análisis de velocidad fueron aplicados los distintos procesos que dependen de la misma. Se observaron los mejores resultados en los procesos tales como SWD, deconvolución y la transformada radón. Se pudo determinar que en datos marinos someros, el proceso del SRME no es el más conveniente, ya que este necesita tener el fondo marino bien definido para la predicción del modelo a sustraer. Para la eliminación del múltiple de fondo marino los mejores resultados se vieron en el método SWD, así como también se observaron excelentes resultados en procesos basados en la transformada radón, donde el múltiple con gran diferencia de *moveout* respecto al primario es bien diferenciado.

Índice General

	Pág.
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos.....	v
Resumen.....	vi
Índice General.....	vii
Índice de Figuras.....	x

CAPITULO I INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 Objetivo general	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
1.3 JUSTIFICACIÓN	2
1.4 ZONA DE ESTUDIO	3

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

2.1 MÚLTIPLE	4
2.1.1 Múltiple del fondo marino	4
2.1.2 Múltiple de tipo peg-leg	4
2.1.3 Múltiples intracapa.....	5
2.2 CARACTERISTICA DE LOS MÚLTIPLES.....	5
2.3 METODOLOGÍAS ANTIMÚLTIPLE.....	6
2.3.1 METODOS ANTIMÚLTIPLES BASADOS EN SU PERIODICIDAD Y PREDICTIBILIDAD.	6
2.3.1.1 SRME (Eliminación de múltiples en relación con la superficie / <i>surface</i> <i>related multiple elimination</i>).....	6
2.3.1.2 SWD (Atenuación de múltiples en aguas someras / <i>shallow water demultiple</i>)	7

2.3.1.3 DECONVOLUCIÓN PREDICTIVA	8
2.3.2 MÉTODOS ANTIMÚLTIPLES QUE DEPENDEN DE LA VELOCIDAD. (COMPORTAMIENTO ESPACIAL).	12
2.3.2.1 TRANSFORMADA FK	14
2.3.2.2 TRANSFORMADA RADÓN.	16
2.4 AUTOCORRELACIÓN	17
2.5 ANÁLISIS DE VELOCIDADES.	18
2.5.1 SEMBLANZA	19
2.6 CONTROL DE GANANCIA AUTOMÁTICA (AGC).	19
2.7 FEATHER O FEATHERING.....	19

CAPITULO III MARCO METODOLÓGICO

3.1 DATO DE ENTRADA CON ATENUACIÓN DE RUIDO.	25
3.2 CONTROL DE CALIDAD (QC) DE LOS DATOS DE ENTRADA.....	25
3.3 ANÁLISIS DE VELOCIDAD REGIONAL.	25
3.4 SECUENCIAS DE PROCESOS APLICADOS PARA ATENUACIÓN DE MÚLTIPLE.	26
3.5 DECONVOLUCIÓN PREDICTIVA EN EL DOMINIO TAU-P.	27
3.6 DEMULTIPLE DE AGUAS SOMERAS (SWD).	29
3.6.1 ELABORACIÓN DEL MODELO SWD	29
3.6.2 SUSTRACCIÓN ADAPTATIVA DEL MODELO.	30
3.7 ATENUACIÓN DE MÚLTIPLE CONSISTENTE CON SUPERFICIE SRME.	30
3.8 ANÁLISIS DE VELOCIDAD.....	32
3.9 ATENUACIÓN DE EVENTOS PARABÓLICOS EN LA TRANSFORMADA RADON.	35
3.10 ANTIMÚLTIPLE EN OFFSET CERCANOS.....	38

CAPITULO IV RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 DECONVOLUCIÓN PREDICTIVA EN EL DOMINIO TAU-P.	40
4.2 SWD (Atenuación de múltiples de agua somera)	44

4.3 SRME.....	46
4.4 <i>Gathers</i> de distintas secuencias.....	48
4.4.1 Secuencia#1.....	48
4.4.2 Secuencia#2.....	49
4.4.3 Secuencia#3.....	50
4.4.4 Secuencia#4.....	51
4.4.5 Secuencia#5.....	53
4.5 Apilados de distintas secuencias	55
4.6 Imágenes relacionadas con la secuencia#2.	59
4.6.1 <i>Gathers</i> : DECONVOLUCION EN EL DOMINIO TAU-P (SECUENCIA#2).59	
4.6.2 SWD (Eliminación de múltiples en aguas someras) (SECUENCIA#2).	60
4.6.3 ANÁLISIS DE VELOCIDAD (SECUENCIA#2).	62
4.6.4 ATENUACIÓN DE EVENTOS PARÁBOLICOS EN LA TRANSFORMADA RADON (SECUENCIA#2).	63
4.6.5 ANTIMÚLTIPLE EN <i>OFFSETS</i> CERCANOS (SECUENCIA#2).	65
4.7 AUTOCORRELACIONES DE LOS APILADOS DE LA SECUENCIA#2 (Entrada, deconvolución, SWD, radón y <i>offset</i> cercanos).	67
4.8 IMÁGENES DEL CUBO SÍSMICO.	68
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Esquematzación de la reflexión de distintos múltiples.	4
Figura 2.2. Reflexión de múltiples de distintos periodos. (Modificado de Verschuur, 2006).	5
Figura 2.3. Modelo de múltiple del fondo marino	7
Figura 2.4. Modelo simple de la tierra con capas horizontales y su serie de reflectividad asociada. (Tomado de Curso QED de CGG VERITAS).	8
Figura 2.5. Distorsión de la ondícula de entrada por los filtros de la tierra y sistema de grabación. (Modificado de Curso QED de CGG VERITAS).	9
Figura 2.6. Traza grabada después de todo el ruido sumado en su trayectoria. . (Modificado de Curso QED de CGG VERITAS).	9
Figura 2.7. Proceso de deconvolución de la señal recibida. (Modificado de CGG-VERITAS. Curso CBT).	11
Figura 2.8. Trayectoria del múltiple (Rojo) y del primario (Amarillo), con tiempos de llegada semejante (Modificado de Verschurr, 2006)	12
Figura 2.9. Transformada F-K. (Modificado de CGG-VERITAS. Curso CBT).	15
Figura 2.10. Datos antes de la transformada radón (a) y después de aplicar la transformada (b) (modificado de Verschuur, 2006)	16
Figura 2.11. Múltiples y primarios antes de la corrección NMO (izquierda) y después de la corrección NMO (derecha).(Modificado de CGG-VERITAS. Curso CBT).	17
Figura 2.12. Autocorrelación de una traza sísmica en intervalos de tiempo, en A se comparan a tiempo 0, en B con un intervalo de tiempo y en C con el doble de intervalo de tiempo (Tomado de CGG-VERITAS Curso CBT).	18
Figura 3.1.Geometría de adquisición.	22
Figura 3.2. Post-Plot de la adquisición (en rojo se resaltan las líneas navegadas).	22
Figura 3.3. Secuencia básica de procesamiento marino (En el recuadro verde se resalta el enfoque del proyecto)	23

Figura 3.4. Flujo de trabajo para establecer las distintas metodologías. La secuencia#2 resaltada en azul celeste, fue la aplicada en este proyecto debido a que es la que mejor se ajusta a este tipo de dato. _____	24
Figura 3.5. Ventana de autocorrelación de los datos de entradas (Linea1354G1C5)	27
Figura 3.6. Gather con ventana de diseño del operador de deconvolución. _____	28
Figura 3.7. Imagen representativa de un Disparo en común, para representar como determinar los parámetros del SWD. _____	30
Figura 3.8. Semblanza y Gathers utilizados para el análisis de velocidad. A la izquierda sin el proceso de radón aplicado y a la derecha con el proceso de radón aplicado _____	32
Figura 3.9 Gráfico de inline y crossline utilizadas para el análisis de velocidad.____	33
Figura 3.10 Semblanza y gathers de la inline1354 en la crossline 2760 (Amplitudes menores en azul, mayores en rojo)._____	34
Figura 3.11. Modelado de múltiples de baja velocidad (Modificado de CGG-VERITAS. Curso CBT). _____	35
Figura 3.13Gathers antes de atenuación de eventos parabólicos en la transformada Radon (izquierda) y después de aplicarla (derecha), con escala de colores distinta.	37
Figura 3.14Gather antes de aplicar el filtro F-K (izquierda), después de aplicar el filtro F-K (Centro) y diferencia (derecha). _____	38
Figura 4.1.Gather antes de la deconvolución (izquierda). Gather después de la deconvolución con longitud del operador de 800ms, distancia predictiva 25ms y ventana 0ms a 5500ms (centro) y su diferencia (derecha). Inline1354G1C5 CMP 88673325. _____	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4.2.Apilado antes de la deconvolución (izquierda). Apilado después de la deconvolución con longitud del operador de 800ms, distancia predictiva 25ms y ventana 0ms a 5500ms y (derecha). inline1354G1C5 (Zoom del apilado para apreciar mejor el resultado). _____	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4.3.Autocorrelación antes de la deconvolución (Arriba), después de la deconvolución con distancia predictiva de 20ms (centro) y después de la deconvolucióncondistancia predictiva de 10 ms (abajo). Ambos procesos tienen	

longitud del operador de 800ms y ventana de diseño de 0ms a 5500ms	
inline1354G1C5.	42
Figura 4.4. Autocorrelación de la deconvolución (Arriba), y del SWD (abajo).	
inline1354.	43
Figura 4.5. Gather (CMP) con deconvolución (izquierda). Gather (CMP) con SWD (derecha).	
inline 1354G1C5 CMP 88673125 y CMP 88673225.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4.6. Apilados con AGC de la línea 1354. SRME (izquierda), SWD (derecha).	
	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4.7. Gathers. Datos de entrada (izquierda), secuencia#1 (centro) y diferencia derecha.	
Inline 1354 CMP 88673425.	47
Figura 4.8. Gathers. Datos de entrada (izquierda), secuencia#2 (centro) y diferencia derecha.	
Inline1354CMP 88673425.	48
Figura 4.9. Gathers. Datos de entrada (izquierda), secuencia#3 (centro) y diferencia derecha.	
Inline1354CMP 88673425.	49
Figura 4.10. Izquierda SWD (Calculando el modelo de la deconvolución), derecha SWD (Calculando el modelo de los datos en crudo)	
Inline 1354 CMP 88673025.	50
Figura 4.11. Gathers. Datos de entrada (izquierda), secuencia#4 (centro) y diferencia derecha.	
Inline 1354CMP 88673425.	51
Figura 4.12. Gathers. Datos de entrada (izquierda), secuencia#5 (centro) y diferencia derecha.	
Inline 1354CMP 88673425.	52
Figura 4.13. Espectro de amplitud en una ventana de tiempo comprendida entre 500ms y 6000ms de los gathers comparativos entre las 5 secuenciaa con respecto al dato de entrada.	53
Figura 4.14. Espectro de amplitud de los apilados mostrados a continuación.	54
Figura 4.15. Apilado. Datos de entrada (izquierda), secuencia#1 (centro) y diferencia derecha.	
Inline 1354.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4.17. Apilado. Datos de entrada (izquierda), secuencia#2 (centro) y diferencia derecha.	
Inline 1354.	¡Error! Marcador no definido.

Figura 4.18. Gathers Secuencia#2. Datos de entrada (izquierda), salida de la deconvolución (centro) diferencia (derecha).Inline 1354 CMP 88673225. _____	58
Figura 4.19. Gathers Secuencia#2. Datos con deconvolución (izquierda), salida de la sustracción del modelo obtenido del SWD (centro) diferencia (derecha).Inline 1354 CMP 88673225. _____	59
Figura 4.20. Gathers inline 1462, Secuencia#2, Deconvolución (Izquierda), Deconvolución+SWD (Centro) y Deconvolución-SWD (Derecha) CMP95751913. 60	
Figura 4.21. Gathers referentes a la salida del proceso SWD de la secuencia#2. Corregido con velocidades regionales (izquierda) y corregido con nuevas velocidades (derecha).Inline 1354 CMP 88673225. _____	61
Figura 4.22. Gathers Secuencia#2. Sustracción del modelo SWD nuevas velocidades (izquierda), transformada radón (centro), diferencia (derecha). Inline 1354 CMP 88673225. _____	62
Figura 4.23. Mismos Gathers de la figura 4.22, con una ganancia escalar aplicada al display. _____	63
Figura 4.24. Gathers Secuencia#2. Transformada radón (izquierda), atenuación de múltiples en offset cercanos (centro) y su diferencia (derecha). Inline 1354 CMP 88673225. _____	64
Figura 4.25. A la izquierda se muestra el gather una vez aplicada toda la secuencia#2 y a la derecha la compensación de amplitudes por divergencia esférica y por offset. Inline 1354 CMP 88673225. _____	65
Figura 4.26. Autocorrelaciones de los apilados de la secuencia#2, de arriba hacia abajo se muestran los distintos procesos respectivamente (Entrada, deconvolución, SWD, radón y por ultimo offset cercanos)._____	66
Figura 4.27.Cubo sísmico del área a procesar previo a la atenuación de múltiples donde se muestra la inline 1462, la crossline 3430, timeslice2300ms y el fondo marino _____	67
Figura 4.28.Cubo sísmico del área,procesadacon la secuencia#2 donde se muestra la inline 1462, la crossline 3430, timeslice2300ms y el fondo marino. _____	68

Figura 4.28.Cubo sísmico del área, procesada con la secuencia#2 donde se muestra la inline 1462, la crossline 3430, timeslice2300ms y el fondo marino_____ 69

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos 20 años en Venezuela se ha venido desarrollando la exploración sísmica costa afuera, durante el procesamiento de este tipo de datos existen muchos obstáculos que limitan la visualización de las señales de interés, la presencia de múltiples del fondo marino es uno de ellos, ya que estos enmascaran en gran magnitud la señal sísmica. La principal característica de estos múltiples está atada a la profundidad del agua y la complejidad del fondo marino.

Para diversas profundidades del fondo marino existen distintas maneras de atacar los múltiples provenientes del mismo, es decir, no existe solo una técnica de atenuación de múltiple para todos los rangos de profundidad.

Las metodologías convencionales utilizadas para atenuación de los múltiples superficiales requieren tener el reflector del fondo marino bien delimitado. En sísmica marina somera debido al tipo de adquisición (arrastre de *streammer*), la configuración utilizada no es la más optima, ya que el offset más cercano no permite que las primeras reflexiones definan el fondo marino, y por ende, se producen inconvenientes a la hora de sustraer dichos múltiples.

Una alternativa a la solución de este problema, seria adquirir en ambientes someros mediante cables en el fondo del mar (OBC), el problema es que este tipo de adquisición es muy costosa en comparación a la de arrastre de *streammer*. Otra alternativa para solucionar este problema recae en el procesamiento de los datos. Es por esto que se plantea hacer un estudio comparativo de distintos métodos de atenuación de múltiples y así poder identificar cuál de ellos permite obtener mejor imagen sísmica.

Se generarán volúmenes sísmicos utilizando diferentes métodos de atenuación de múltiples, para determinar la efectividad de cada uno de ellos, con el fin de tener una imagen sísmica limpia para minimizar errores en la interpretación.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Determinar la metodología más eficaz en la atenuación de múltiple del fondo marino, en una sísmica marina somera 3D.

1.2.2 Objetivos específicos

- Ejecutar un procesamiento convencional para la carga de datos y atenuación de ruidos.
- Generar modelos de múltiples de corto y largo períodos.
- Establecer comparaciones entre los distintos modelos generados y seleccionar el modelo que mejor se ajusta.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Encontrar una metodología para atenuar los múltiples del fondo marino de corto período conservando la calidad de los datos sísmico, será de gran ayuda para futuros estudios, debido al aporte de información sobre la metodología aplicada, ya que estructuralmente los datos que se adquieren en las costas venezolanas, son en su gran mayoría adquiridos en aguas someras, pudiendo tener en común este tipo de problemas. Es por esto que la obtención de imágenes sísmicas de alta calidad, permitirá reducir la incertidumbre en la interpretación de futuras zonas de interés geológico y así se podrá facilitar la localización de nuevas perforaciones con mayor confiabilidad.

1.4 ZONA DE ESTUDIO

Debido a la confidencialidad de la información, la ubicación del área de estudio no será mencionada en el proyecto.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 MÚLTIPLES

Un múltiple es una reflexión secundaria que llega a los receptores luego de reflejarse varias veces en uno o varios horizontes. Es decir, las reflexiones en las que se encuentran involucradas más de una interfaz, en conjunto se conocen como múltiples (Verschuur, 2006).

Existen distintos tipos de múltiples como se pueden ver a continuación:

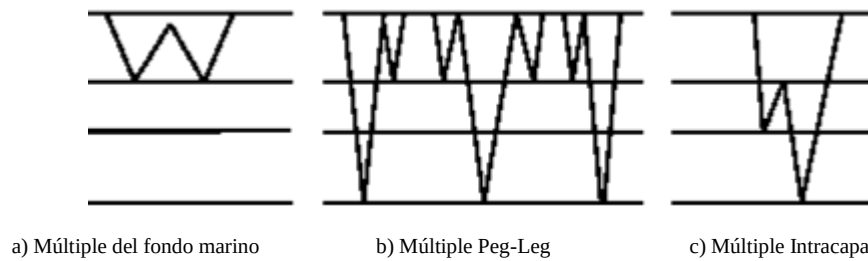


Figura 2.1. Esquematización de la reflexión de distintos múltiples.

2.1.1 MÚLTIPLE DEL FONDO MARINO

Los múltiples cuya energía se propaga dentro de la capa de agua sin viajar nunca a la capa subyacente al fondo marino son denominadas reverberaciones, mientras que los múltiples que viajan sobre la primera capa y también se desplazan en capas subyacentes son denominados múltiples de superficie ver figura 1.a (Verschuur, 2006).

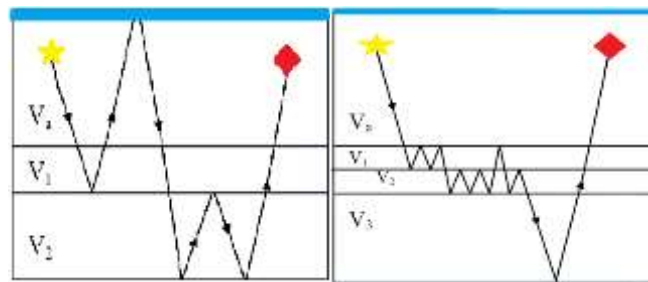
2.1.2 MÚLTIPLE TIPO PEG-LEG

Son múltiples que se reflejan una vez debajo del fondo marino, y una o varias veces en la capa de agua. Estas reverberaciones pueden ocurrir del lado de la fuente, del lado del receptor, o de ambos lados ver figura 1.b (Verschuur, 2006).

2.1.3 MÚLTIPLE INTRACAPA

Son múltiples que se quedan atrapado dentro de capas y luego vuelven a la superficie como podemos ver figura 1.c (Verschuur, 2006).

También existen otros tipos de múltiples que son clasificados por su periodo, como lo son los múltiples de periodo largo, y múltiples de periodo corto (capas de poco espesor con fuerte contraste de impedancia acústica) ver figura 2.



a) Múltiple de periodo largo

b) Múltiple de periodo corto

Figura 2.2. Reflexión de múltiples de distintos periodos. (Modificado de Verschuur, 2006).

2.2 CARACTERISTICA DE LOS MÚLTIPLES

Es necesario tener en cuenta los efectos causados por los múltiples en los datos sísmicos, para así saber cómo removerlos.

- ✓ Los múltiples presentan un aumento en la pendiente a medida que aumenta el orden del múltiple, ya que esto indica que el múltiple a viajado más tiempo por las capas más someras y por ende una disminución de la velocidad (esto se observa en dominio del CDP GATHER)
- ✓ Presentan repeticiones periódicas, y su amplitud aumenta o disminuye de forma regular (Verschuur, 2006)

- ✓ Los efectos estructurales y de amplitud de los reflectores generadores de múltiples en el campo de ondas sísmica están combinados y pueden generar bandas verticales de energía de alta y bajas frecuencia a lo largo de la sección sísmica (Verschuur, 2006).
- ✓ Todas las características nombradas pueden ser combinadas y es aquí donde se dificulta la discriminación de los mismos.

2.3 METODOLOGÍAS ANTIMÚLTIPLE

Existen distintos métodos de remoción de múltiples, unos basados en la periodicidad y predictibilidad de los mismos, otros basados en su comportamiento espacial (es decir diferencias entre las velocidades como se nombro anteriormente).

2.3.1 METODOS ANTIMÚLTIPLES BASADOS EN SU PERIODICIDAD Y PREDICTIBILIDAD.

En estos métodos se parte del hecho de que los múltiples están definidos como eventos que aparecen en un patrón repetitivo, esto con la ayuda de la ecuación de onda que permite relacionar los primarios de los múltiples (Verschuur, 2006).

2.3.1.1 SRME (Eliminación de múltiples en relación con la superficie / *surface related multiple elimination*).

El modelado de múltiples intracapa y del fondo marino, radica de la teoría de Verschuur y otros en el desarrollo del método SRME (relación de múltiples relativos a la superficie), en que los múltiples que normalmente se consideran ruido indeseado de los datos sísmicos, están íntimamente relacionados con las reflexiones primarias y pueden ser construidos a partir de las mismas. De esto se deduce que los múltiples contienen datos equivalentes acerca del subsuelo que vienen dado por las reflexiones primarias. El múltiple (M) puede obtenerse a través de la convolución de los datos grabados (D) con las reflexiones primarias

(P), seguidas de la deconvolución de la fuente (S) ver figura 2.3 (Verschuur et al, 1992).

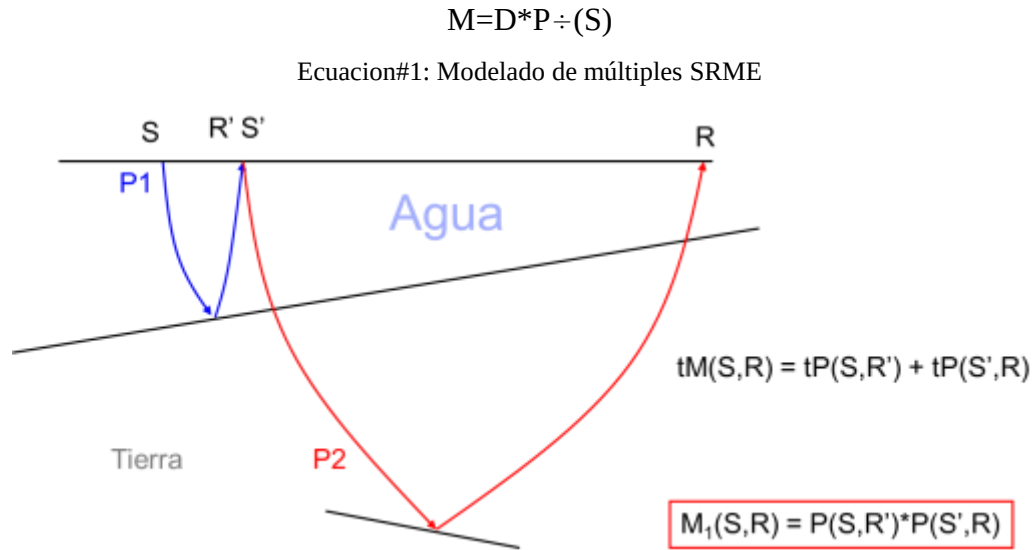


Figura 2.3. Modelo de múltiple del fondo marino

2.3.1.2 SWD (Atenuación de múltiples en aguas someras / *shallow water demultiple*)

Son datos que usan la información de los múltiples para predecir el primario de la capa de agua. Es especialmente bueno en situaciones donde el fondo marino es complejo y somero (Menor a 200ms o 150m).

La diferencia fundamental entre SWD (demultiple en aguas someras) y SRME radica en que SWD solo modela los múltiples provenientes del fondo marino, mientras SRME modela tanto los múltiples provenientes del fondo marino, como los múltiples intracapa. Para el procesamiento de datos convencional de aguas someras (menores a 150m) el método de SRME, no se adapta bien en reflexiones de corto período, debido a la falta de offset cercanos, la grabación de las reflexiones del fondo marino no son lo suficientemente buenas. En este caso se debería de probar otros métodos predictivo. Es por esto que en aguas someras se

aplica el método SWD, ya que este se encarga de predecir el fondo marino para luego modelar los múltiples provenientes del mismo.

2.3.1.3 DECONVOLUCIÓN PREDICTIVA

Como el nombre lo dice, es el proceso que “deshace” los efectos de la convolución. El propósito es vencer los efectos de filtrado de la tierra y del sistema de grabación, mediante un adecuado filtro inverso. La Deconvolución es un paso integral en el procesamiento de los datos sísmicos para mejorar la resolución temporal de los datos mediante la compresión de la ondícula sísmica básica. Esta función es comúnmente aplicada en diferentes etapas del procesamiento, es decir, se puede aplicar durante el pre-apilamiento, y también puede ser utilizado en la sección apilada (Yilmaz, 1987).

Consideremos un modelo simple de la tierra con capas horizontales, con velocidades y densidades de cada capa conocida (ver figura 2.4):

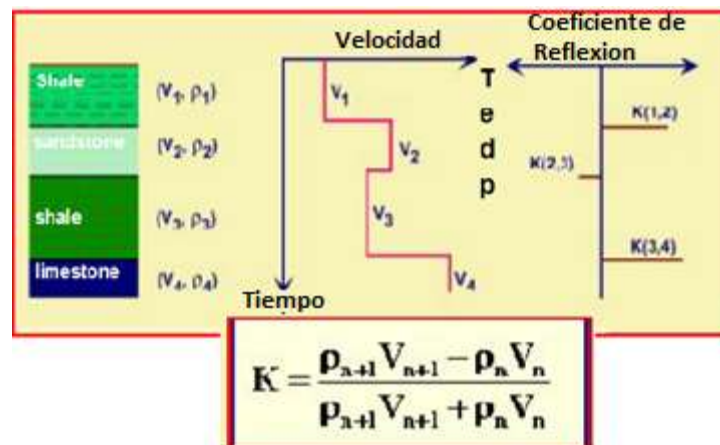


Figura 2.4. Modelo simple de la tierra con capas horizontales y su serie de reflectividad asociada.
(Tomado de Curso QED de CGG VERITAS).

La gráfica de la serie de reflectividad se podría considerar como la traza sísmica ideal. Aquí los *sipke* definen la posición de cada interfaz y su amplitud promedio del valor del coeficiente de reflexión. Sin embargo, en un modelo real de la tierra,

no se obtienen grabaciones tan sencillas, vienen distorsionadas en dos maneras: Alargamiento de la ondícula y generación de múltiples (ver figura 2.5).

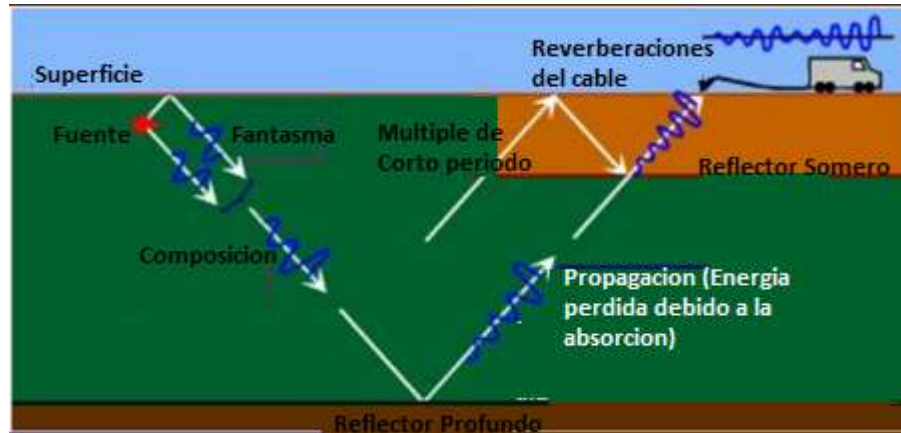


Figura 2.5. Distorsión de la ondícula de entrada por los filtros de la tierra y sistema de grabación. . (Modificado de Curso QED de CGG VERITAS).

En la Figura 2.5, se puede observar que la ondícula de entrada esta distorsionada por el efecto fantasma, la propagación de los múltiples y el sistema de grabación, por lo tanto la ondícula registrada es mas larga que la ondícula de entrada.

Este estiramiento significa que las ondas reflejadas desde las interfaces muy próximas entre si, se solapan en el tiempo y puede llegar a ser imposible identificar los reflectores separados.

Combinando ambos efectos de distorsión de la traza sísmica, obtendremos la siguiente traza (ver figura 2.6).

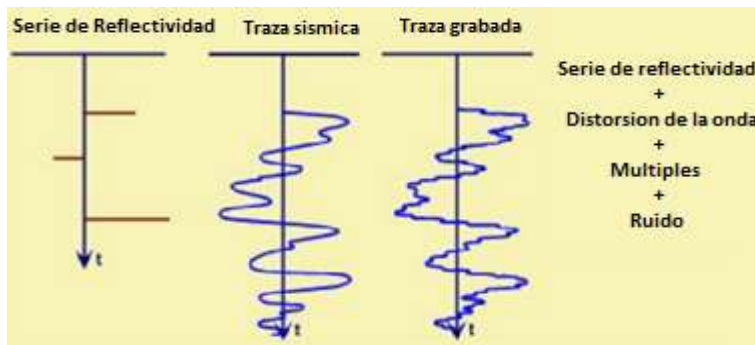


Figura 2.6. Traza grabada después de todo el ruido sumado en su trayectoria. . (Modificado de Curso QED de CGG VERITAS).

La traza sísmica registrada, es muy distinta a la traza sísmica que se quiere tener. Para eliminar algunos de estos efectos de distorsión es usada la deconvolución.

La deconvolución intenta: (Acortar el periodo de la ondícula y atenuar ciertos múltiples). Para esto, se debe saber el concepto básico de la convolución.

Considerando la traza sísmica, como el resultado de la convolución de la ondícula fuente con: (La serie de reflectividad de la tierra, ondículas de absorción de la tierra, la ondícula de la serie de múltiples de la tierra y la ondícula del sistema de grabación), todos estos actuando como filtro que distorsionan la ondícula de la fuente.

$$h(t)=e(t)*g(t)$$

Donde:

$h(t)$ = la traza sísmica grabada

$e(t)$ = la respuesta del impulso de la tierra (salida deseada)

$g(t)$ = los otros impulsos del sistema

Ecuación#2 Convolución del impulso deseado con el ruido distorsionado

Entonces, si es convolucionado un operador por su inversa, se obtiene un pulso unitario $g(t)*g'(t)=d(t)$, por ende si se convoluciona la traza sísmica grabada ($h(t)$) por la inversa de $g(t)$ ($g'(t)$) el resultado será el impulso de la tierra. A $g'(t)$ se le llama operador de deconvolución: $h(t)*g'(t) = e(t)*g(t)*g'(t) = e(t)$.

La deconvolución es un tipo de filtro inverso, como se ilustra en la figura 2.7.

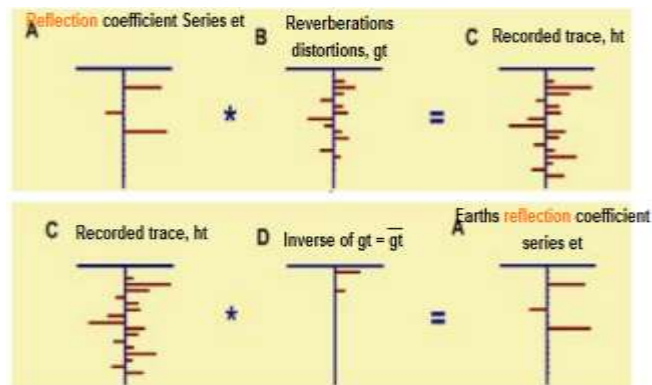


Figura 2.7. Proceso de deconvolución de la señal recibida. (Modificado de CGG-VERITAS. Curso CBT).

El operador de deconvolución está diseñado en esta ventana de tiempo y posteriormente el operador es convolucionado con la data. Este proceso ensancha el espectro de los datos sísmicos y aumenta las altas y bajas frecuencias de la señal y el ruido. Por lo que frecuentemente los datos necesitan ser filtrados después de la deconvolución (Yilmaz, 1987).

Los principales parámetros a tener en cuenta en la deconvolución predictiva son:

- Ventana de aplicación: Ventana en tiempo donde será aplicado el proceso de la deconvolución
- Ventana de diseño: Ventana en tiempo, dentro del cual se va a calcular el operador de deconvolución (se recomienda seleccionar ventanas donde está concentrada la mayor cantidad de ruido). En esta ventana se calcula la autocorrelación de la traza sísmica para la determinación de otros parámetros
- Distancia predictiva: Distancia comprendida entre la ondícula central de la autocorrelación y su primer múltiple asociado
- Longitud del operador: Intervalo de tiempo empleado para el cálculo del operador.(Yilmaz, 1987).

La Deconvolución predictiva en el dominio Tau-P utiliza el hecho de que los múltiples tienen un período constante a una incidencia constante, por lo tanto también tienen una inclinación constante. Esto sirve para atenuar múltiples de largo período.

2.3.2 MÉTODOS ANTIMÚLTIPLES QUE DEPENDEN DE LA VELOCIDAD. (COMPORTAMIENTO ESPACIAL).

Si se consideran dos eventos de reflexión sísmica que llegan aproximadamente al mismo tiempo, tendremos que el múltiple viaja en la capa más somera de la tierra, mientras el primario viaja en capas más profundas (ver figura 2.8) (Verschuur, 2006).

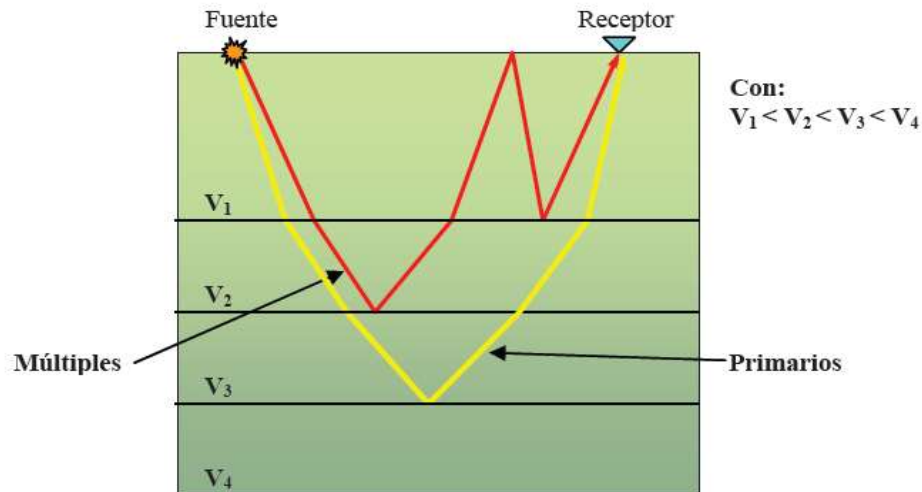


Figura 2.8. Trayectoria del múltiple (Rojo) y del primario (Amarillo), con tiempos de llegada semejante (Modificado de Verschurr, 2006)

En la figura 2.8, asumiendo que la velocidad aumenta con respecto a la profundidad, como lo indica la misma, podemos observar que el primario (amarillo) viaja más tiempo en capas más profunda que el múltiple en rojo, por ende este evento tendrá velocidad de propagación mayor en comparación al múltiple. Si se considera un grupo de trazas ordenadas por punto común en

profundidad (CDP) y distancia fuente receptor (offset), tendremos como resultado una diferencia en la pendiente, o una diferencia de *moveout* entre ambos eventos (Verschuur, 2006). Una reflexión primaria tiene menos “*moveout*” que un múltiple, y esto es más evidente en los offset lejanos del CMP *gather*, ya que en los offset más cercanos la diferencia de NMO es muy pequeña (Yilmaz O: 1987).

Cuando se corrige por velocidad NMO los CDP *gathers*, se pueden diferenciar mejor este efecto, ya que si se a corregido con un buen análisis de velocidad, el evento primario quedara horizontalizado y el múltiple tendrá un *moveout* remanente (Verschuur, 2006).

Por tal motivo, en las secuencias de procesamiento primero se aplican las metodologías que dependen de la periodicidad y predictibilidad, y luego aquellas que dependen de la velocidad, ya que una vez atenuado en gran magnitud los múltiples, resulta más sencillo hacer el análisis de velocidad.

Ya que en el dominio tiempo-distancia estas funciones no se diferencian notablemente, se debe transformar el dato a otro dominio el cual debe tener en cuenta los siguientes criterios (Verschuur, 2006)

- ✓ El dominio de la transformada debe ser escogido de manera tal que los primarios y los múltiples puedan ser mapeados en distintas regiones y el solapamiento sea mínimo.
- ✓ La transformada debe poderse devolver, de manera que después de separar los primarios de los múltiples estos puedan ser anti-transformados o regresados a su dominio original tiempo-offset.

Existen dos maneras de suprimir el múltiple, bien sea eliminando el múltiple en el dominio de la transformada y devolviendo la transformada, o eliminando el dato en el dominio de la transformada y transformar solo los múltiples para luego sustraerlo de los datos originales. Entre los métodos de remoción de múltiples utilizados en este proyecto se tienen:

2.3.2.1 TRANSFORMADA FK.

La transformada de Fourier es extensamente utilizada en el procesamiento de datos. Aquí se descompone la señal en funciones exponenciales de (senos y cosenos), en funciones de dos coordenadas (tiempo y offset) en un CMP GATHER, la transformada FK hace una doble transformada de Fourier, en donde los datos son transformados al dominio tiempo-frecuencia, y en la segunda transformada se transforman los datos del dominio tiempo-frecuencia al dominio frecuencia temporal-numero de onda. Esto con el fin de establecer un dominio en donde el dato se pueda distinguir del ruido lineal (bien sean ruido coherente, o múltiple) (Verschuur, 2006).

En este caso estudiaremos la transformada FK, como método de remoción de múltiples, para esto es necesario tener en cuenta lo siguiente:

- ✓ El principio del método parte del hecho de que es posible separar eventos en el dominio F-K (frecuencia-numero de ondas), que ocupan la misma área en el dominio T-X (tiempo espacio).
- ✓ Se debe poder aplicar la transformada inversa y regresarlos al dominio original sin ser modificados.
- ✓ Nótese en la figura 2.9, que tanto A,B y C son eventos repetidos en el dominio T-X, mientras que su transformada F-K los convierte en tres eventos simples.
- ✓ Los eventos con buzamiento positivo (aumento del tiempo a medida que aumenta la distancia de offset), se transforman en el espacio de los K (numero de onda) positivo, mientras que los evento con buzamiento negativo (disminución de tiempo a medida que aumenta la distancia de offset), se transforman en el espacio de los K (numero de onda negativo) y los evento horizontales se mantienen en el centro de la transformada.

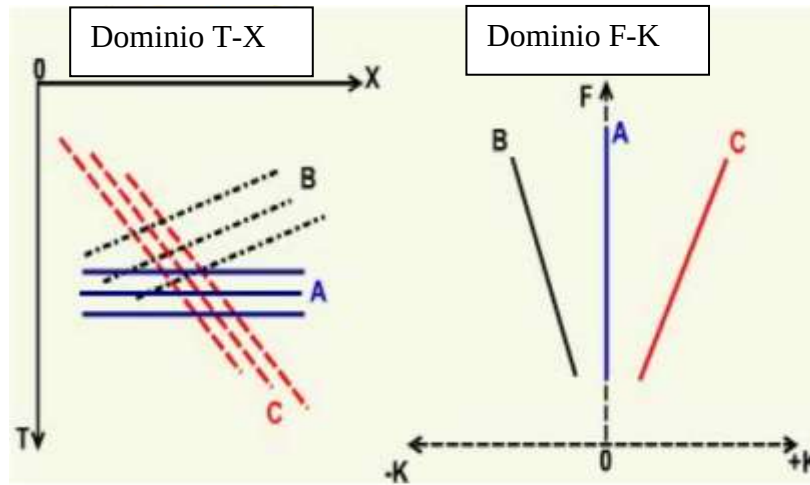


Figura 2.9. Transformada F-K. (Modificado de CGG-VERITAS. Curso CBT).

Primero, los datos $d(x,t)$ son transformados al dominio tiempo-frecuencia (Verschuur, 2006):

$$D(x, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} d(x, t) e^{-j2\pi ft} dt$$

Luego es aplicada una nueva transformada de Fourier sobre la coordenada espacial, la cual esta definida como:

$$D(k_x, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} D(x, f) e^{+j2\pi k_x x} dx$$

Donde f es la frecuencia temporal y k_x es el número de onda horizontal, el cual puede ser considerado como frecuencia espacial.

Del mismo modo para regresar al espacio original, pasar del dominio del número de onda al de la frecuencia (Verschuur, 2006):

$$D(x, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} D(k_x, f) e^{-j2\pi k_x x} dk_x$$

Y luego del dominio de frecuencia temporal al dominio del tiempo

$$d(x, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} D(x, f) e^{+j2\pi ft} df$$

2.3.2.2 TRANSFORMADA RADÓN.

Aquí los datos son transformados al dominio tau-pi, donde tau corresponde al tiempo de intersección y “pi” corresponde a la curvatura de las hipérbolas corregidas por NMO en los datos de entrada, esto sirve para tener mejor separación entre primarios y múltiples y poder sustraer los mismos conservando en mayor magnitud la señal.

La transformada Radón parabólica separa los eventos de reflexión basándose en la diferencia de *moveout* (ver figura 2.10). Una vez corregido los eventos con la respectiva función de velocidad, se espera que los mismos estén horizontalizados, mientras que los múltiples tenga un *moveout* residual (ver figura 2.11). Los primarios y los múltiples pueden ser distinguidos y separados a partir de sus diferencias de *moveout*. Una vez aplicada la corrección NMO, se transforman los datos, y se sustrae la zona donde se estime que estén los primarios, luego se devuelve el modelo del múltiple al dominio original y es sustraído de los datos de entrada (Zhou, 1994).

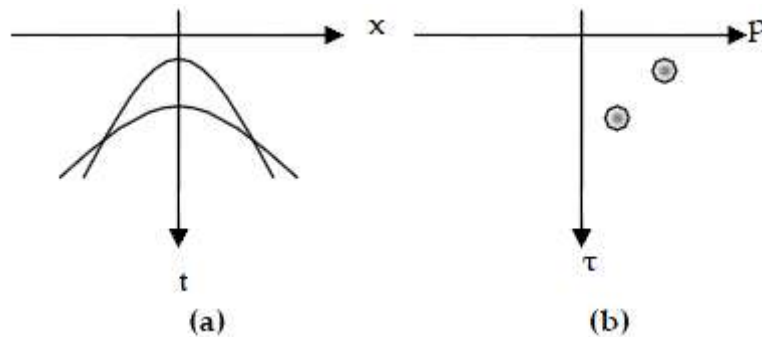


Figura 2.10. Datos antes de la transformada radón (a) y después de aplicar la transformada (b)
(modificado de Verschuur, 2006)

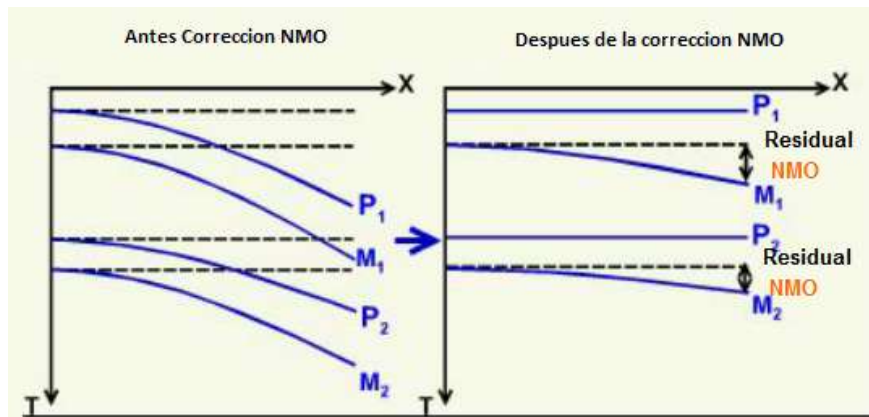


Figura 2.11. Múltiples y primarios antes de la corrección NMO (izquierda) y después de la corrección NMO (derecha). (Modificado de CGG-VERITAS. Curso CBT).

2.4 AUTOCORRELACIÓN

En trabajos sísmicos, resulta muy útil la comparación de una traza sísmica consigo misma, a este proceso comparativo se le llama autocorrelación.

Podría parecer extraño, ya que pareciera que la traza se correlaciona perfectamente con ella misma, pero este proceso produce cierta información importante sobre la traza, por ejemplo, una traza con información periódica como los múltiplos puede ser detectada con procesos de autocorrelación.

Sin embargo, si se hace un intervalo en tiempo de la copia con respecto a la original, se observa que la semejanza entre los dos cambios es una función del intervalo de tiempo. (ver figura 2.12). (CGG-VERITAS Curso CBT)

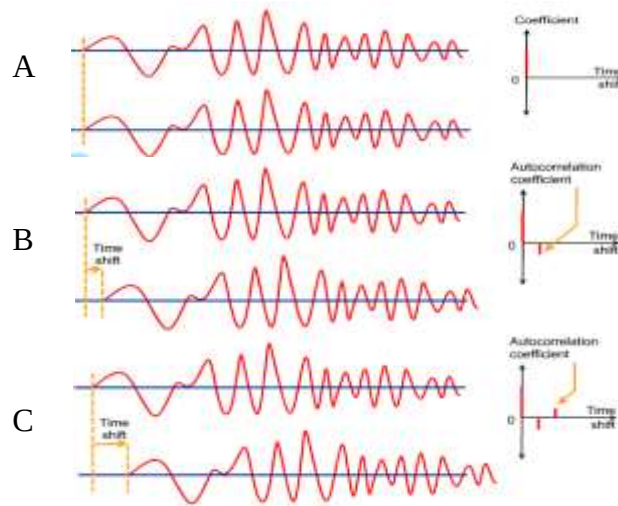


Figura 2.12. Autocorrelación de una traza sísmica en intervalos de tiempo, en A se comparan a tiempo 0, en B con un intervalo de tiempo y en C con el doble de intervalo de tiempo (Tomado de CGG-VERITAS Curso CBT).

2.5 ANÁLISIS DE VELOCIDADES.

Es un proceso realizado CMP (punto común en profundidad). El resultado del análisis es un campo de velocidades NMO que se usarán en el apilamiento para obtener la sección sísmica apilada. Cuando no se tiene una buena precisión en el establecimiento de las velocidades de reflexión, la calidad de la sección apilada puede degradarse, ya que estas no son sumadas coherentemente. (Dobrin, et al:1988). Otro de los inconvenientes de no tener un buen análisis de velocidad de los datos recurre en el paso de eliminación de múltiples, ya que esta función es aquella que corrige los *gather* por diferencia de *moveout* y alinea los eventos, un mal análisis de velocidad puede causar pérdida de información cuando sean aplicados procesos antimúltiple que dependan de la misma, así como también pueden disminuir su eficacia en la atenuación de los mismos.

Ejemplo:

Si se tiene unos *gather* corregidos por velocidad, y dichas velocidades son más lentas que la velocidad NMO (se sobrecorrigien los eventos), cuando sean aplicada alguna de las transformada antes nombradas como Radón o FK, gran cantidad de

múltiples estarán en el mismo espacio que los primarios, y por ende no serán sustraídos de los datos (Se elimina menor cantidad de ruido, pero no se pierde dato), por otra parte si dicha función de velocidad calculada es mayor a la velocidad NMO (se subcorrigen los eventos), muchos de los datos primarios tendrán apariencia de múltiples y por ende serán removido del dato perdiendo así información valiosa.

2.5.1 SEMBLANZA

Es un espectro de velocidad, el cual grafica velocidad vs tiempo doble de viaje a “cero-offset” que permite definir velocidades de apilamiento eligiendo las amplitudes más altas del gráfico. La semblanza es utilizada para el análisis de velocidad ya que es más fácil distinguir reflectores primarios y sus múltiples. La semblanza junto a los *gathers* y unos mini apilados con velocidades constante, son herramientas que usa el geofísico a la hora de realizar su análisis de velocidad.

2.6 CONTROL DE GANANCIA AUTOMÁTICA (AGC).

Es una función aplicada a los datos sísmicos con la finalidad de reescalar en tiempo las amplitudes para mejorar así la velocidad de la últimas llegadas reflectivas, la cual fue atenuada por los diversos factores que producen el decaimiento en la amplitud (perdida de amplitud por offset, divergencia esférica entre otras), de esta manera los eventos son visibles en la sección sísmica. De hecho, el principal uso del mismo es aplicarlo a los datos de manera grafica para así poder observar un balanceo de amplitud en toda la sísmica

2.7 FEATHER O FEATHERING.

El *feather o feathering*, es un término usado en adquisición de datos marinos, que indica una desviación de los cables con respecto al arreglo de fuente, ya que no siguen la trayectoria ideal o establecida en el pre-plot. Es generalmente causado por corrientes de aguas durante las operaciones de sísmica marina y generalmente el ángulo de “*feather*” medido en los cables es menor a 10grados. (Payton 1975)

Esto aumenta la dificultad en el procesamiento convencional de los datos sísmicos, ya que la ubicación del punto medio común (CMP) de los datos adquiridos ahora se encuentra ligeramente fuera de la pista de adquisición deseada.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

En esta etapa, se describen los pasos seguidos para la elaboración de los distintos procesos y flujos de trabajo de la secuencia de procesamiento establecida. Cabe destacar, que se mostraran las distintas secuencias en una sola línea navegada, pero el control de calidad de los mismos debe realizarse en distintas líneas navegadas del cubo.

Los datos son adquiridos por arrastre de *streamer*, con un sistema de dos fuentes y 6 cables asociados, con los siguientes parámetros de adquisición Figura 3.1:

Longitud del registro: 6050ms.

Tasa de muestreo: 2ms.

Número de fuentes: 2.

Separación entre fuentes: 50 m.

Hidrófonos por grupo: 16

Distancia entre Grupo: 12.5m.

Grupos por cable: 480.

Grupos activos por disparo: 2880.

Longitud del cable: 6000m

Intervalo de disparo: 18.75 m alternando las fuentes.

Profundidad de la fuente: 6m +- 1

Profundidad del cable: 8m +- 1

Cobertura: 60

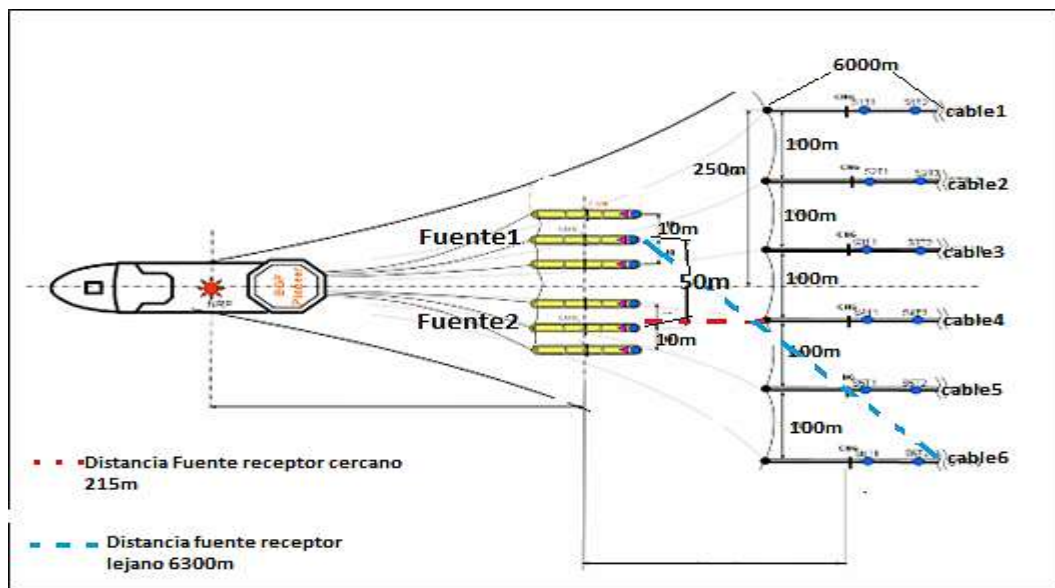


Figura 3.1.Geometría de adquisición.

En la siguiente imagen se muestra el post-plot de la adquisición, resaltando en negro el área procesada en este proyecto.

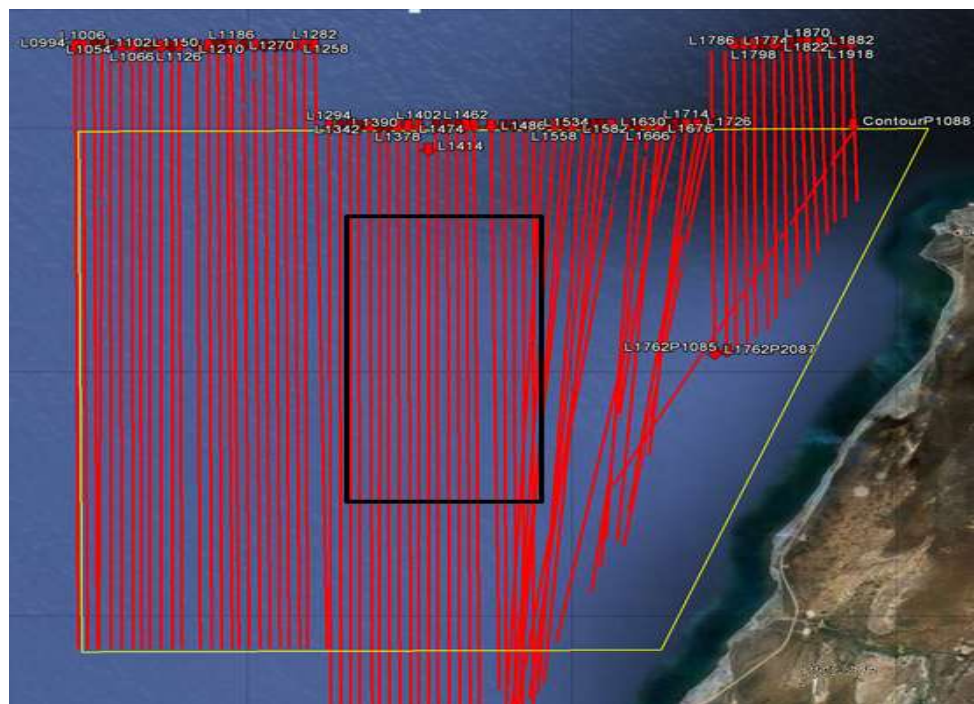


Figura 3.2. Post-Plot de la adquisición (en rojo se resaltan las líneas navegadas).

A continuación se muestra una secuencia básica de procesamiento marino, resaltando en el recuadro verde la etapa a desarrollar en este proyecto (atenuación de múltiples) (ver figura 3.3). Así como también se muestra en la figura 3.4 el flujo de trabajo realizado, donde se resaltan en colores las distintas metodologías.

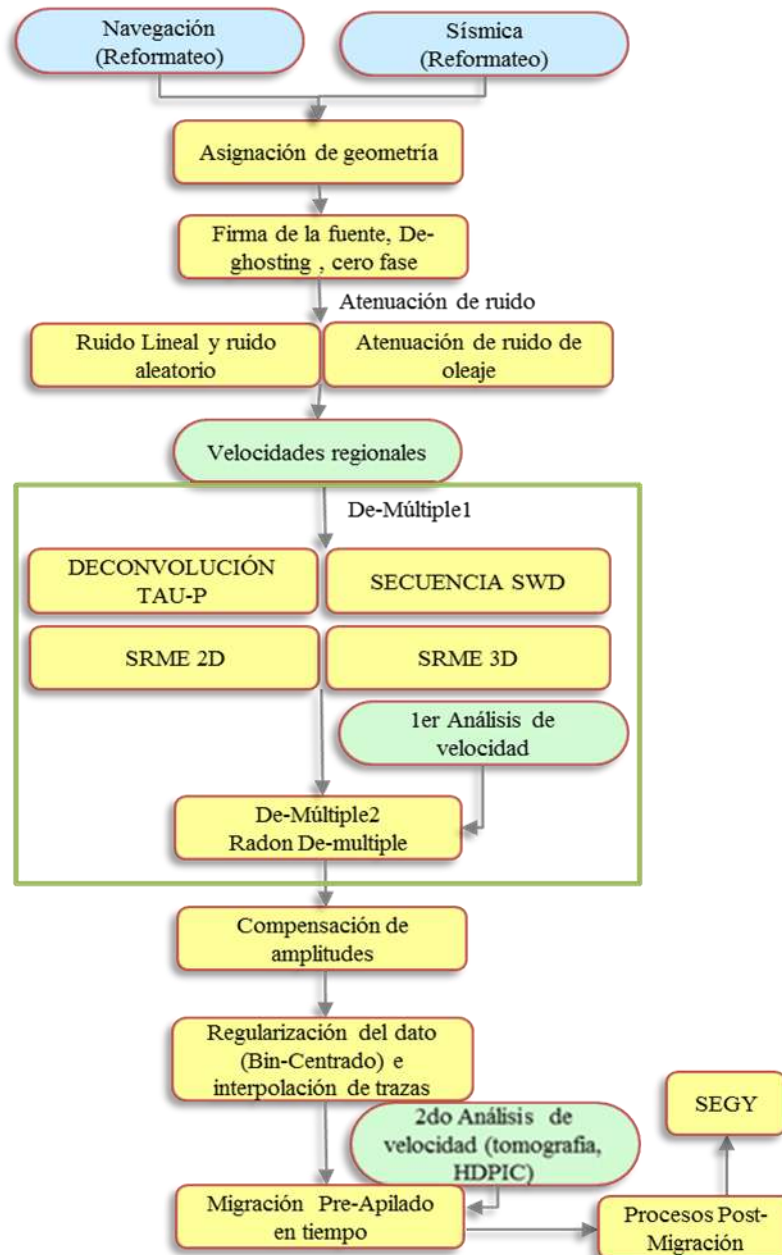


Figura 3.3. Secuencia básica de procesamiento marino (En el recuadro verde se resalta el enfoque del proyecto)

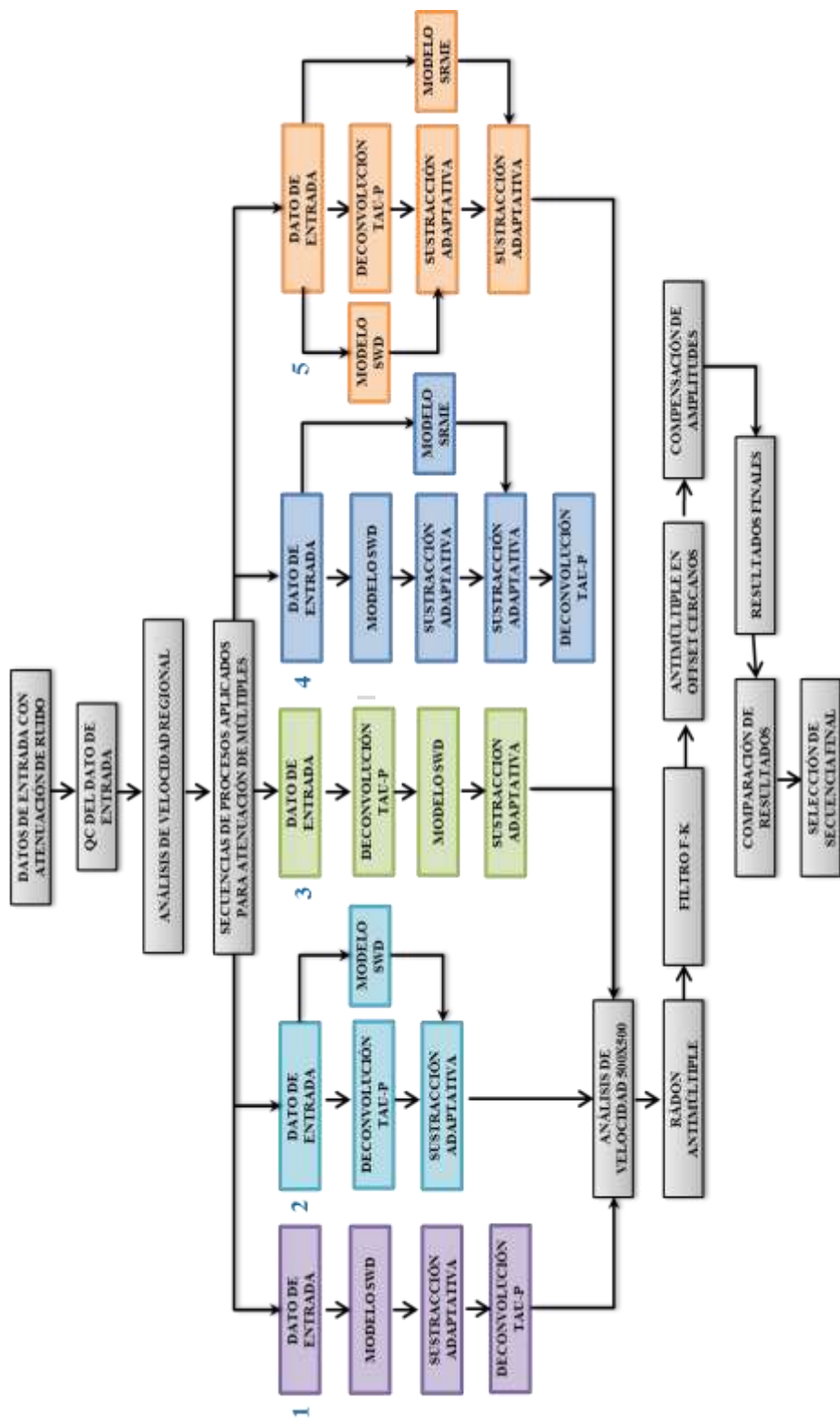


Figura 3.4. Flujo de trabajo para establecer las distintas metodologías. La secuencia#2 resaltada en azul celeste, fue la aplicada en este proyecto debido a que es la que mejor se ajusta a este tipo de dato.

3.1 DATO DE ENTRADA CON ATENUACIÓN DE RUIDO.

Fue proporcionado por los analistas de la empresa 50km² de datos para ser procesado comprendidos entre las *inline* 1350-1550 y *crossline* 2517-4118, ordenados por líneas navegadas y separados en combinación de fuente y cable asociado. Cada secuencia está comprendida por la combinación de las dos fuentes y los seis cables (dando como resultado doce líneas navegadas por secuencia)

Cabe destacar que los mismos, ya cuentan con los procesos previos pertinentes al paso de antimúltiples que se pueden ver en la figura 3.3 (procesos de eliminación de ruido, asignación de geometría, edición de trazas, firma de la fuente, de-ghosting).

3.2 CONTROL DE CALIDAD (QC) DE LOS DATOS DE ENTRADA.

En este paso se navega la geometría, verificando cuales son las líneas de cada secuencia que mayor contribuye a la línea navegada, ya que como se sabe, por efecto de *feathering* (los cables debido a factores externos pueden ladearse) las líneas no son adquiridas completamente en línea recta ocasionando que las mismas contribuyan a líneas vecinas. Esto con el fin de realizar control de calidad en cada secuencia, seleccionando la combinación fuente-cable que más contribuye para cada secuencia. También se debe verificar si los parámetros de adquisición se cumplieron de manera óptima.

3.3 ANÁLISIS DE VELOCIDAD REGIONAL.

En este proyecto fue proporcionado un análisis de velocidad regional de la zona, este fue de gran ayuda para realizar apilados y *gather* en cada proceso aplicado, de manera de poder hacer un control de calidad de los procesos aplicados. Cabe destacar que el análisis de velocidad proporcionado sirvió de guía para un posterior análisis de velocidad más detallado.

3.4 SECUENCIAS DE PROCESOS APLICADOS PARA ATENUACIÓN DE MÚLTIPLE.

Como en un principio no se posee el dato lo suficientemente limpio, ya que los múltiples enmascaran los primarios para realizar un buen análisis de velocidad, y las velocidades suministradas son muy regionales, se propone eliminar primero los múltiples con procesos que no dependan de la misma.

- ✓ Deconvolución predictiva en el dominio Tau-P.
- ✓ SWD (*Shallow Water Demultiple*) Demultiple de aguas someras.
- ✓ SRME (*Surface Related Multiple Elimination*) Eliminación de múltiples relacionados con la superficie.

La secuencia de procesamiento antimúltiple fue dividida en dos partes notable, primero se realizaron procesos que no dependen de la velocidad y una vez aplicado estos proceso y hecho un análisis de velocidad mucho mas detallado, se procedió a aplicar los procesos que dependen de la misma (Eventos parabólicos en la transformada Radón, transformada F-K, atenuación de múltiples en offset cercanos).

En la figura 3.4 se plantean cinco secuencias distintas de procesos atenuadores de múltiples que no dependen de la velocidad.

En la secuencia1 se plantea generar el modelo del SWD a partir de los datos de entrada, luego sustraer el modelo adaptativamente de los mismos y por último aplicarle una deconvolución predictiva en el dominio Tau-P, mientras que en la secuencia2 se plantea aplicar primero la deconvolución y luego sustraer adaptativamente el modelo del SWD generado a partir de los datos de entrada.

La secuencia3 difiere de la secuencia2 únicamente en la predicción del modelado de múltiple, ya que como sabemos la secuencia2 el modelado se hizo a partir de los datos de entrada, mientras que en la secuencia3 el modelo del SWD se elaboro a partir del dato con deconvolución.

Por último se plantearon las secuencias 4 y 5, en las cuales fue agregada la sustracción adaptativa del modelo del SRME a las secuencia 1 y 2 respectivamente.

3.5 DECONVOLUCIÓN PREDICTIVA EN EL DOMINIO TAU-P.

En este proceso se requiere como paso principal realizar la autocorrelación de un apilado de los datos de entrada (ver figura 3.5), con el fin de poder definir el parámetro principal de la deconvolución que es la distancia predictiva, la ventana de diseño es definida en una zona donde exista gran cantidad de dato para el cálculo del operador de deconvolución y se recomienda que la longitud del operador sea menor o igual a $L/5$, donde L es la ventana de diseño.

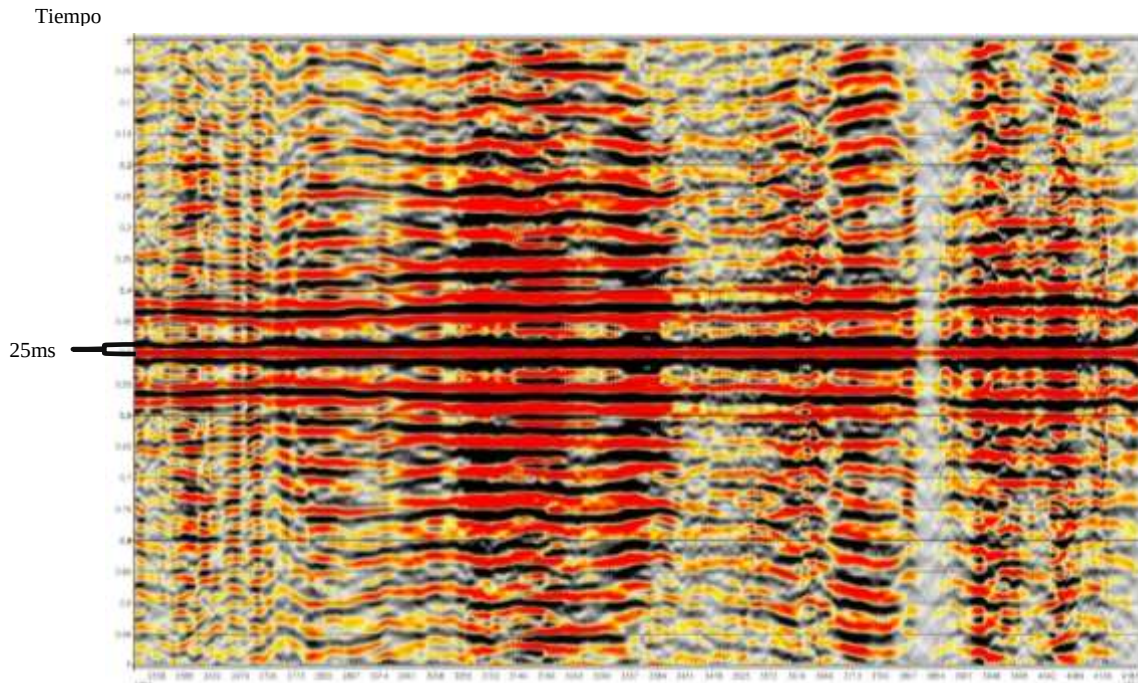


Figura 3.5. Ventana de autocorrelación de los datos de entradas (Linea1354G1C5)

Una vez definido la distancia predictiva, como se puede observar en la Figura 3.5, se procede a seleccionar las distintas ventanas de diseño. Luego de realizar diferentes pruebas se establece una ventana de diseño que parte de 500ms a 6000ms; a partir de dicha ventana se define la longitud del operador (El módulo

utilizado recomienda que sea menor o igual a $L/5$). Una vez hecha todas las pruebas se determinan los siguientes parámetros:

- ✓ Longitud del operador: 800ms.
- ✓ Distancia predictiva: 25ms.
- ✓ Ventana de diseño 5500ms comprendidos entre (500ms a 6000ms).
- ✓ Ventana de aplicación (a todo el dato 0ms a 6s).

La ventana de diseño puede ser dividida en dos ventanas si se desea aplicar distintos operadores de deconvolución, pero en este caso con un solo operador de deconvolución se tuvieron resultados gratificantes, es por esto que se aplicó una ventana de diseño prácticamente en todo el dato, obviando solamente los primeros 500ms del mismo (ver figura 3.6)

Cabe destacar que previo a lo antes nombrado los datos deben ser transformado al dominio tau-p, y una vez terminado el proceso de deconvolución se procede a devolver los datos al dominio inicial.

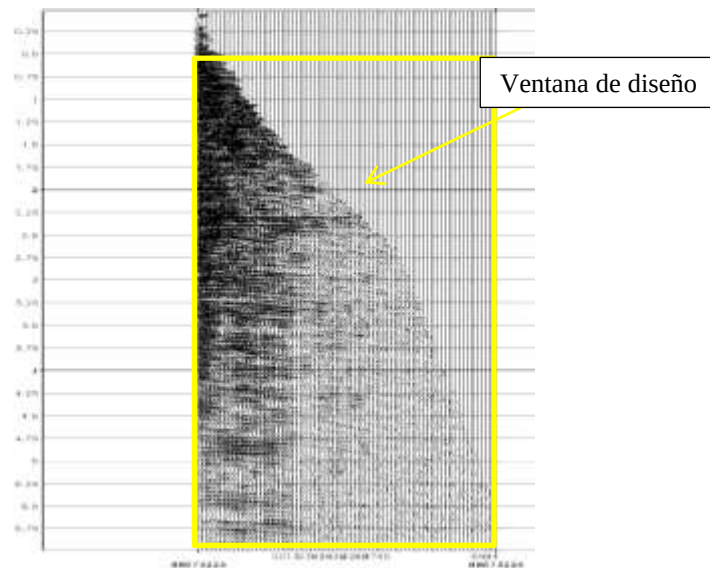


Figura 3.6. Gather con ventana de diseño del operador de deconvolución.

3.6 DEMULTIPLE DE AGUAS SOMERAS (SWD).

Para la elaboración de este proceso fue necesario elaborar dos procesos, primero generar el modelo de múltiple a sustraer y luego sustraer el modelo adaptativamente de los datos.

3.6.1 ELABORACIÓN DEL MODELO SWD

En este paso existen parámetros importante a la hora de generar el modelo, los cuales son la distancia predictiva, que en este caso dicho valor es aproximadamente menor al tiempo doble de viaje del fondo marino; este se calcula conociendo la profundidad del fondo marino y la velocidad del agua (1500m/s), en este caso en particular el fondo marino de la zona de estudio comprende profundidades entre 40m y 60m. El modulo recomienda que dicha distancia sea entre 30ms y 20ms menor a la profundidad del fondo marino calculado en tiempo doble de viaje. Otro parámetro es la longitud del operador, esta debe ser probada con distinto valores, pero recomienda comenzar con un valor inicial que incluya al menos dos saltos de múltiples y se deben indicar la cantidad de trazas cercanas para construir el modelo, esta cantidad depende del tiempo doble de viaje del fondo marino y el espaciamiento entre receptores (ver figura 3.7) ejemplo:

Si el tiempo doble de viaje es 60ms, y el espaciamiento entre receptores es de 12.5m, entonces las ntrazas= $2*60/12.5=9.6$.

El módulo recomienda que el modelo sea generado a partir del dato sin procesos antimúltiples aplicado y limpio de ruido, aunque en algunos casos generar el modelo a partir del dato de salida del proceso previo, genera buenos resultados, es en esta etapa donde se debe probar y decidir cuál de ellos es de mayor agrado para el analista.

En este proyecto se probó generar el modelo de ambas forma, dando mejor resultado la elaboración del mismo a partir de los datos de entrada (secuencia2)

Para la construcción del modelo se utilizaron los siguientes parámetros:

- ✓ Distancia Predictiva: 40 ms
- ✓ Longitud del operador: 320 ms
- ✓ Ntrazas: 9



Figura 3.7. Imagen representativa de un Disparo en común, para representar como determinar los parámetros del SWD.

3.6.2 SUSTRACCIÓN ADAPTATIVA DEL MODELO.

En esta etapa se resta adaptativamente un conjunto de datos m (modelo) a partir de un conjunto de datos de entrada d , mediante la estimación adaptativa de un filtro f que aumenta la semejanza entre m y d bajo el criterio de mínimos cuadrado. Es aplicado en un espacio-temporal 2D con ventanas de tiempos independiente.

Tanto para la adaptación del modelo como para la sustracción, se debe indicar la cantidad de iteraciones, estas son determinadas por el analista dependiendo de los resultados obtenidos de las distintas pruebas, mientras mas iteraciones se hagan en la sustracción mas radical será el proceso.

3.7 ATENUACIÓN DE MÚLTIPLE CONSISTENTE CON SUPERFICIE SRME.

En este paso se aplicaron unos módulos que computan y sustraen los múltiples de la superficie del fondo marino, para cada traza de entrada de acuerdo con la aproximación al modelo geológico. Este método está basado como se dijo anteriormente en la aproximación de capas medias, cuyo algoritmo se sustenta en el desarrollo de (G.Berkhout y E.Verschuur).

La mayor dificultad en la sustracción del modelo calculado, viene dada por la cantidad de iteraciones necesarias y el tiempo inicial al cual se quiere aplicar el mismo, ya que como se indico en el marco teórico tiene dificultades en zonas donde el fondo marino es somero. Se realizaron distintas pruebas aplicando el método a partir de distintos tiempo que serán mostrados en el siguiente capítulo “RESULTADOS Y ANÁLISIS”.

Una vez analizadas y comparadas las distintas secuencias, debe ser elegida una de ella con el fin de pasar al análisis de velocidad y aplicar los procesos que dependen de la misma.

Con el propósito de limpiar aún más el dato a la hora de generar la semblanza, los mini-apilados y los *gathers* que se requieren para el análisis de velocidad, fue aplicado un proceso que depende de la misma (Atenuación de eventos parabólicos (menor velocidad) aplicando la transformada Radon).

Cabe destacar que este proceso fue aplicado solo a las líneas donde se decidió hacer el análisis, de manera de facilitar el mismo. Los parámetros aplicados fueron conservadores, eliminando así los eventos con mayor diferencia de *moveout*. A continuación se muestran los *gathers* y semblanza utilizados para el análisis de velocidad, en donde unos tienen el proceso de radón aplicado, mientras que el otro no lo tiene(ver figura 3.8).

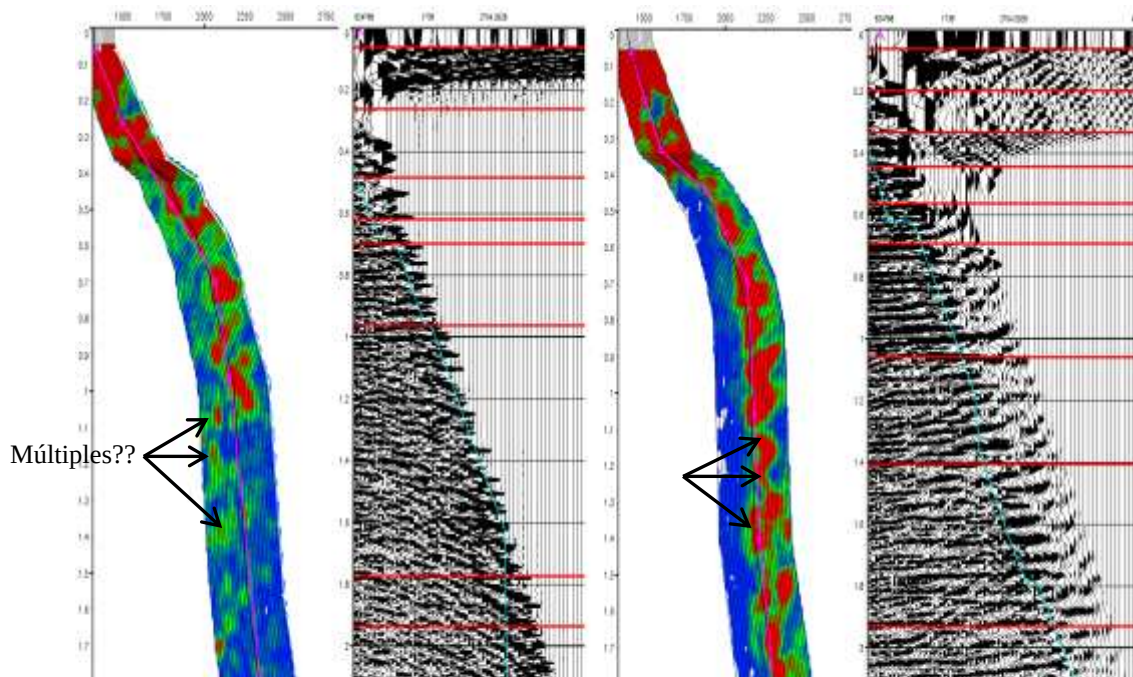


Figura 3.8. Semblanza y Gathers utilizados para el análisis de velocidad. A la izquierda sin el proceso de radón aplicado y a la derecha con el proceso de radón aplicado

En la figura anterior se puede apreciar claramente, como aplicar el proceso de radón sobre las líneas donde se decidió realizar el análisis facilita significativamente el análisis de velocidad, ya que se pueden apreciar mucho mejor los eventos y como se horizontalizan los mismos. En la zona señalada se puede apreciar como se observan grandes amplitudes de menor velocidad o igual velocidad a los eventos más someros, una vez eliminado dichos eventos que corresponden a esas amplitudes, se realzan amplitudes de eventos primarios las cuales pueden ser tomadas en cuenta en el análisis de velocidad.

3.8 ANÁLISIS DE VELOCIDAD.

Una vez acondicionado el dato para el análisis de velocidad, se procede a generar los mini-apilados con velocidades constante (CVS: *Constant Velocity Stack*), la semblanza y los *gathers*. Luego se cargan estos tres gráficos en el software utilizado, relacionándolos entre ellos para tener una función de velocidad que horizontalice lo más posible los *gathers* (ver figura 3.10)

En este caso por tratarse de pocos kilómetros cuadrado de sísmica, y por la importancia que tiene la velocidad en los métodos que dependen de la misma, se decidió hacer el análisis cada 500m en dirección de las *inlines* y *crossline* (ver figura 3.9)

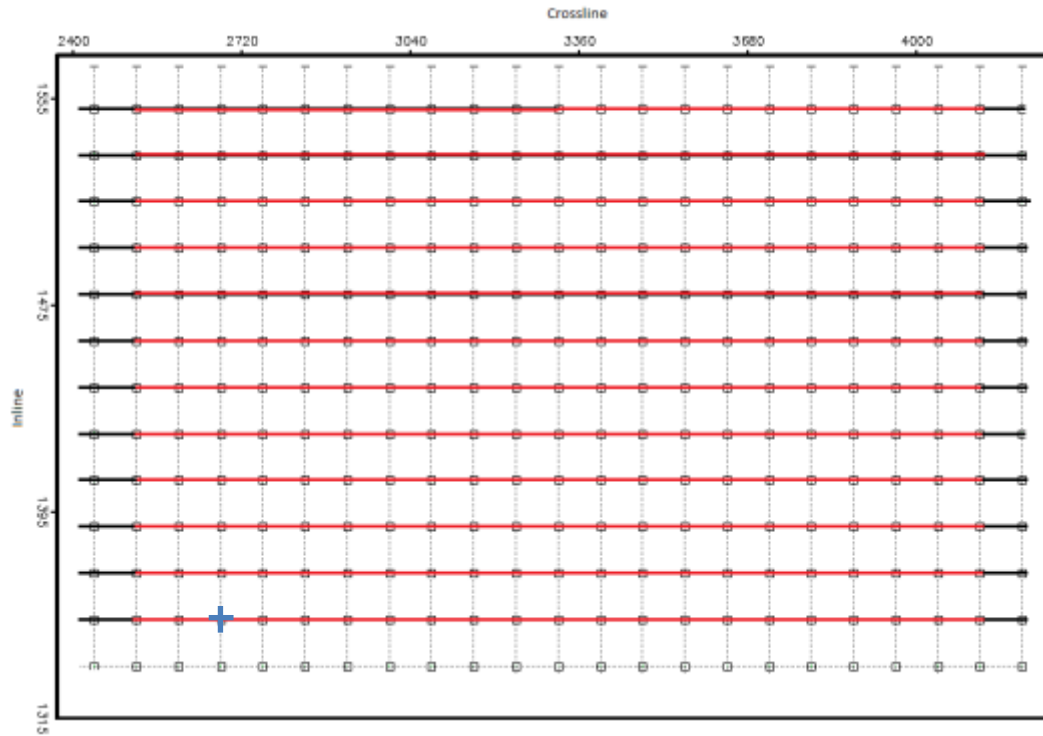


Figura 3.9 Gráfico de inline y crossline utilizadas para el análisis de velocidad.
 + (inline 1354, crossline 2760, de la cual sale la Figura 3.10)

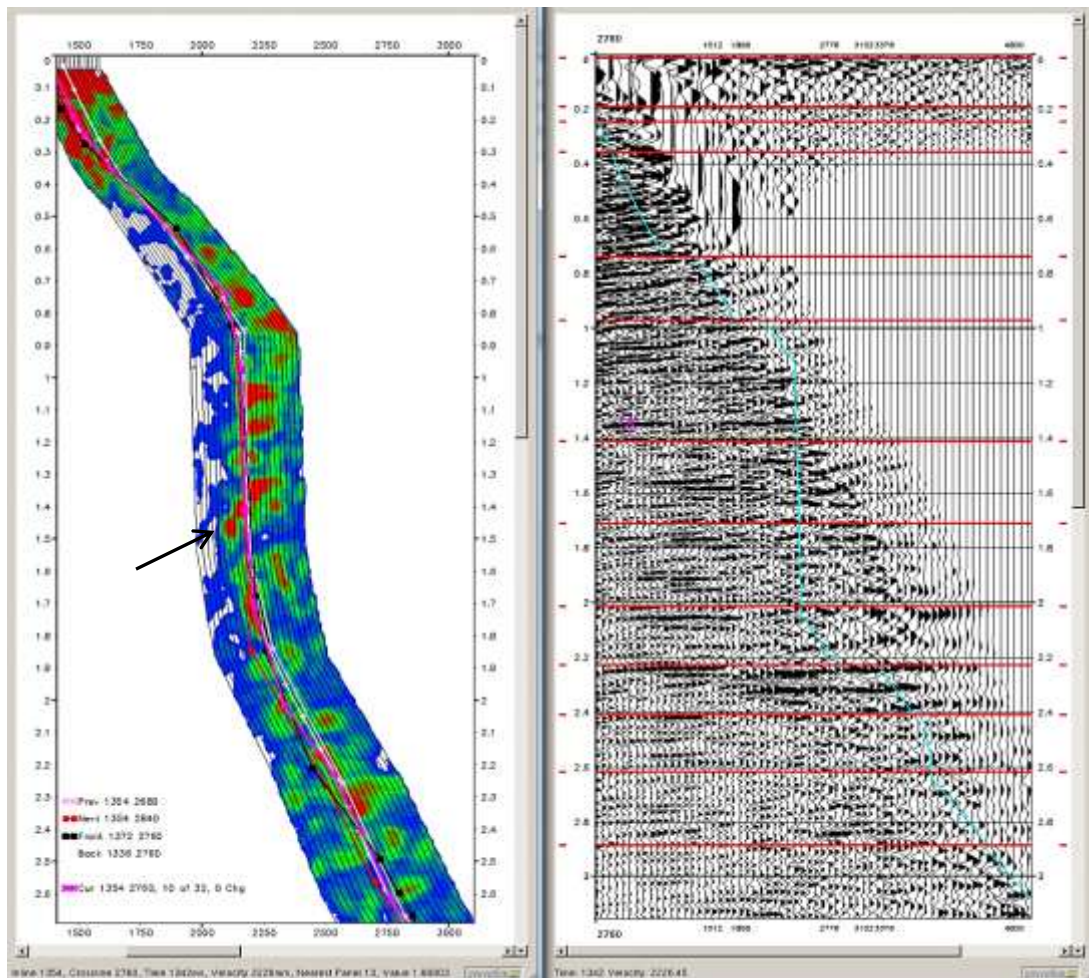


Figura 3.10 Semblanza y gathers de la inline1354 en la crossline 2760 (Amplitudes menores en azul, mayores en rojo).

Hay que ser muy cuidadoso en el análisis de velocidad, ya que se pueden confundir eventos primarios con múltiples como se observa en la figura 3.10, estos aparecen como eventos de menor velocidades y de gran amplitud.

Si se horizontalizan algunos de estos eventos en el análisis de velocidad, los mismos no serán removidos en los procesos siguientes, eliminando efectividad. En cambio si por lo contrario el análisis de velocidad es mayor a la del primario, los mismos serán subcorregidos y tomaran la apariencia de un múltiple en los *gathers* con una diferencia de *moveout*, pudiendo ser removidos en los siguientes procesos.

Una vez realizado un buen análisis de velocidad, y verificado en un control de calidad sobre las líneas analizadas que el mismo mejoro en gran magnitud, se procede a aplicar los procesos que dependen de la misma.

En este proyecto se utilizaron los siguientes procesos:

- ✓ Atenuación de eventos parabólicos aplicando la transformada Radon.
- ✓ Eliminación de múltiples en *offset* cercanos.

3.9 ATENUACIÓN DE EVENTOS PARABÓLICOS EN LA TRANSFORMADA RADON.

Se removieron los múltiples caracterizados como eventos de baja velocidad en el dominio tau-pi, este modulo en particular, trabaja eliminando de los *gathers* los eventos que quedan con alguna diferencia de *Moveout* (ver figura 3.11).

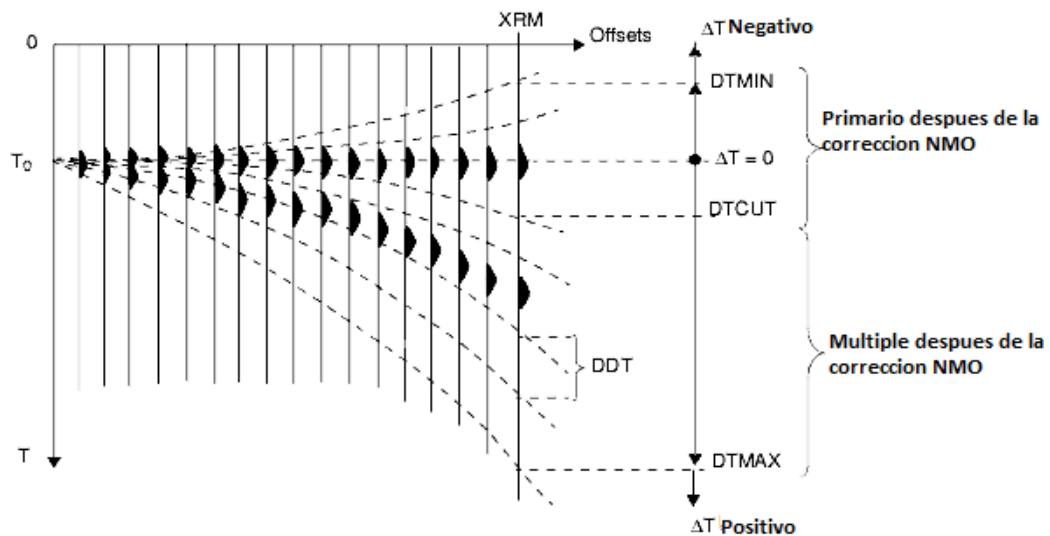


Figura 3.11. Modelado de múltiples de baja velocidad (Modificado de CGG-VERITAS. Curso CBT).

El límite entre la zona que se considera primario o múltiple es definido por el parámetro DTCUT expresado en (ms), el parámetro DDT nos indica cada cuanto se quiere construir las parábolas y (DTMIN y DTMAX) nos indican los tiempos mínimos y máximos de las parábolas generadas.

Luego de realizar gran cantidad de pruebas, se decidió aplicar el proceso en dos ventanas de tiempo distintas cambiando sus parámetros a cada una de ellas:

Parámetros en ventana de tiempo de (330ms – 600ms)

- ✓ DTMIN: - 400ms.
- ✓ DTMAX: 5000ms.
- ✓ DDT: 20ms.
- ✓ DTCUT: 400ms.

Parámetros en ventana de tiempo de (590ms – 6000ms)

- ✓ DTMIN: - 400ms.
- ✓ DTMAX: 10000ms.
- ✓ DDT: 20ms.
- ✓ DTCUT: 300ms.

A continuación se muestra en la figura 3.12 la importancia que juega el análisis de velocidad en la eliminación de múltiples aplicando la transformada radón. Se tienen 2 *gathers* horizontalizados con la misma velocidad, la diferencia radica, que cuando fue aplicado el proceso de eliminación de eventos parabólicos, en el *gather* de la izquierda fue usada la velocidad que se tenía antes del segundo análisis de velocidad, mientras que en el *gather* de la derecha se utilizó el mejor análisis de velocidad. En el recuadro señalado se puede apreciar que el proceso aplicado con un mejor análisis de velocidad elimina mayor cantidad de múltiples desenmascarando los primarios, es por esto que se observan los eventos más planos, cabe destacar que fueron utilizados los mismos parámetros y los *gathers* tienen la misma función de velocidad en la corrección de *moveout*.

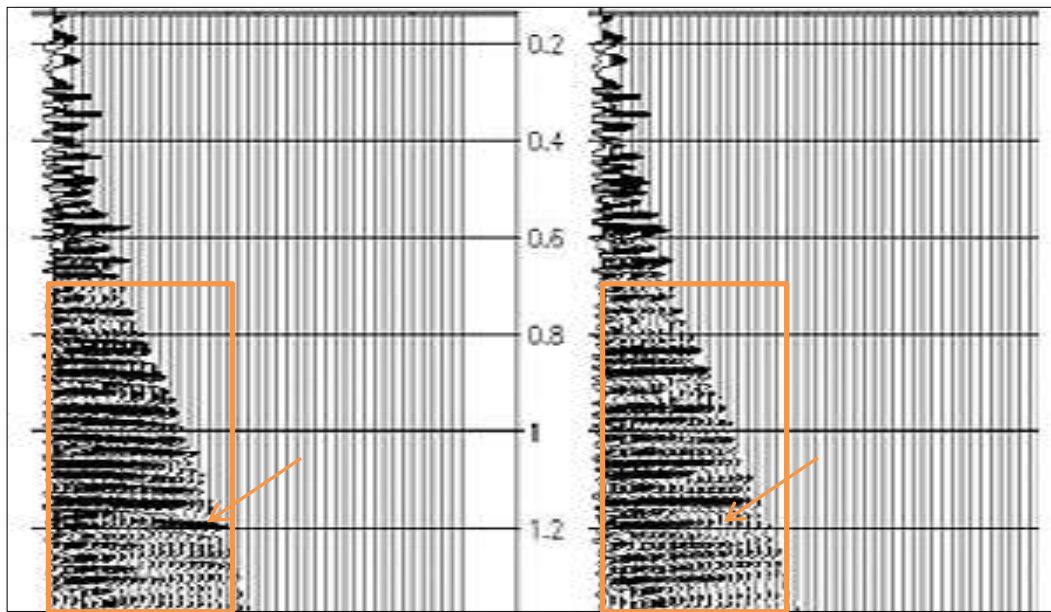


Figura 3.12 Gathers con atenuación de eventos parabólicos en la transformada radón. A la izquierda aplicando el método antes del 2do análisis de velocidad. A la derecha aplicando el método después del 2do análisis de velocidad. Línea 1354 CMP 88673725

Aplicado el proceso de la transformada radon, realizando el control de calidad de los *gathers*, fue apreciado un ruido lineal en los mismos. (ver figura 3.13)

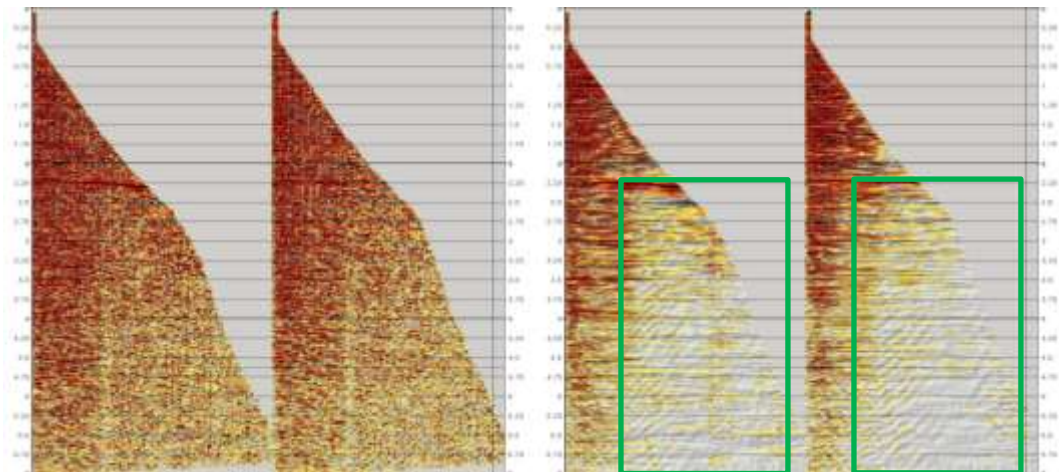


Figura 3.13 Gathers antes de atenuación de eventos parabólicos en la transformada Radon (izquierda) y después de aplicarla (derecha), con escala de colores distinta.

Para eliminar este ruido presente en los datos, se aplicó un filtro FK, esto con el fin de entrar con el dato mucho mas limpio antes de aplicar el último paso de la secuencia, (ver figura 3.14)

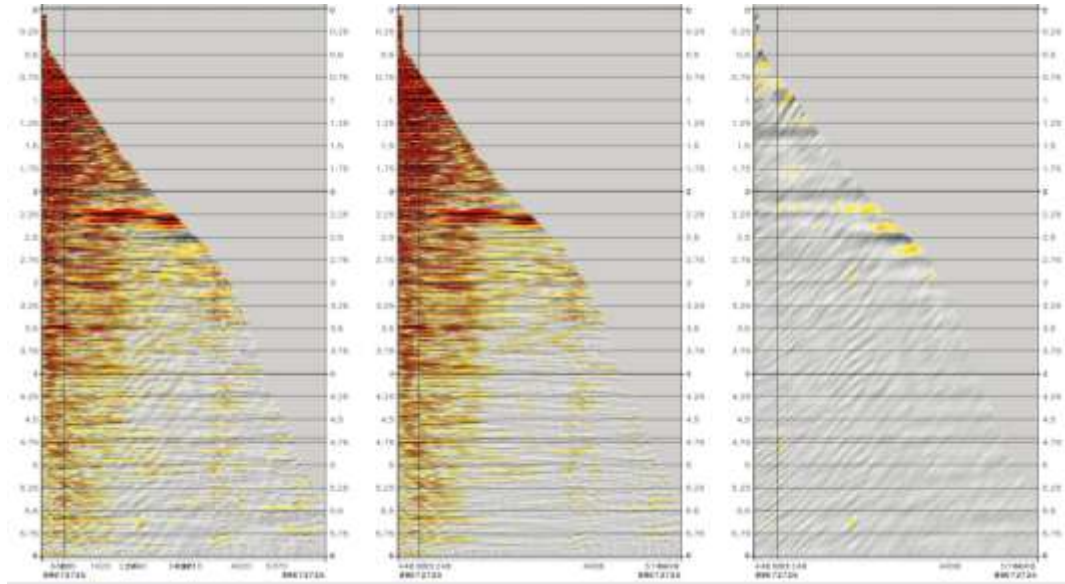


Figura 3.14 Gather antes de aplicar el filtro F-K (izquierda), después de aplicar el filtro F-K (Centro) y diferencia (derecha).

Se puede observar como el filtro FK elimina ese ruido diagonal que se tenía en los datos.

3.10 ANTIMÚLTIPLE EN OFFSET CERCANOS.

Una vez eliminado el ruido indeseado y los eventos parabólicos, siguen quedando remanentes de múltiples en *offset* cercanos, debido a que la diferencia de *moveout* en estos *offset* es muy poca y el dato tiene a confundirse con el múltiple. El principio de este proceso radica en separar el múltiple mediante la supresión de los eventos primarios, esto tomando en cuenta que en los *gathers* a lo largo de los *offsets* los primarios son los que muestran la menor variación. Una vez separado el primario del resto del dato, el modulo trabaja sobre el resto del dato atenuando tanto ruido no deseado como eventos múltiples y el resultado de ese proceso es sumado nuevamente al dato primario de manera de conservar los eventos.

Capítulo IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Como es sabido, el objetivo principal del proyecto es encontrar la metodología más efectiva para la eliminación de múltiples en aguas someras. Para esto fue necesario comparar los distintos procesos aplicados en sus distintas fases (CMP *gathers*, apilados, autocorrelaciones).

A continuación se mostraran los resultados de los distintos procesos aplicados por separado al dato, con el fin de tomar decisiones en el planteamiento de las metodologías.

4.1 DECONVOLUCIÓN PREDICTIVA EN EL DOMINIO TAU-P.

La deconvolución predictiva en el dominio tau-p, trabaja de gran manera atenuando múltiples de largo periodo, así como también mejora la resolución vertical comprimiendo la ondícula sísmica, convirtiéndola a un impulso y eliminando los trenes de onda reverberantes

Se puede observar en los *gathers* claramente como elimina el ruido periódico y realza la señal enmascarada detrás del múltiple (ver figura 4.1), también se puede ver que elimina los múltiples en todo el intervalo de tiempo.

Comparando la entrada y la salida de los apilados (ver figura 4.2), se puede observar claramente como después de la deconvolución, el ruido reverberante que aparecía en la entrada es atenuado en gran magnitud.

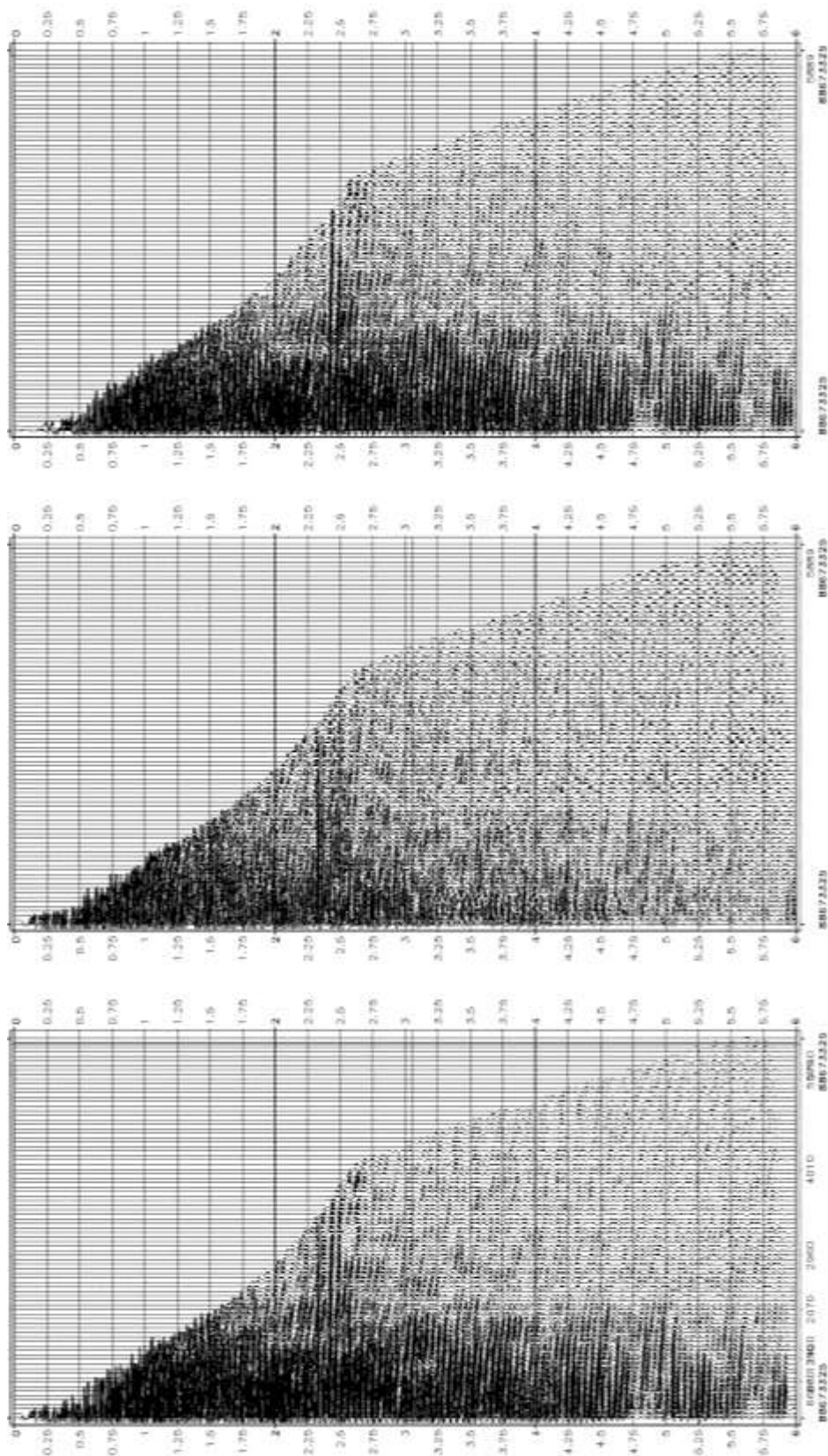


Figura 4.1. Gather antes de la deconvolución (izquierda). Gather después de la deconvolución con longitud del operador de 800ms, distancia predictiva 25ms y ventana 0ms a 5500ms (centro) y su diferencia (derecha). Inline1354G1C5 CMP 88673325.

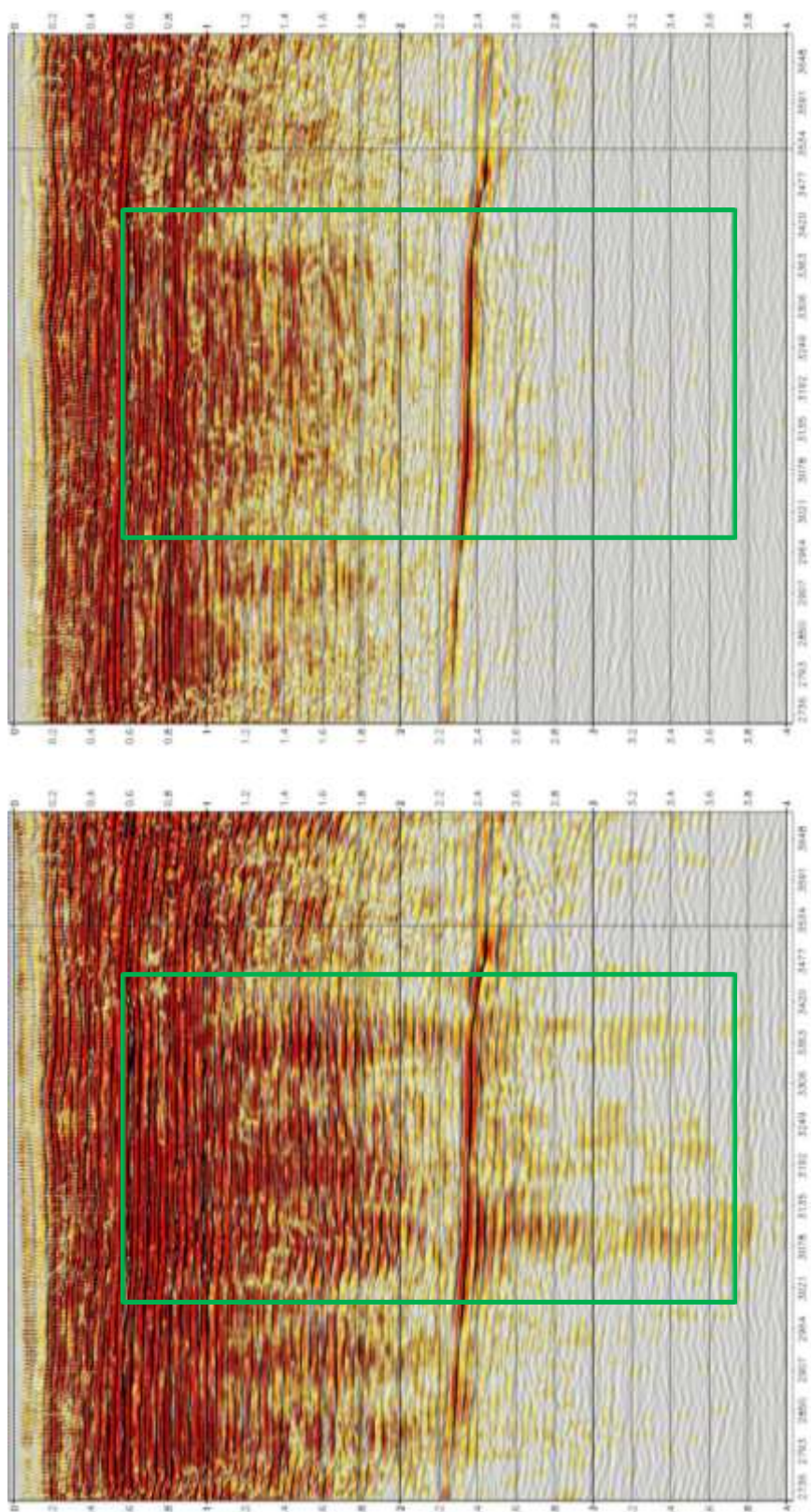


Figura 4.2. Apilado antes de la deconvolución (izquierda). Apilado después de la deconvolución con longitud del operador de 800ms, distancia predictiva 25ms y ventana 0ms a 5500ms y (derecha). inline1354G1C5 (Zoom del apilado para apreciar mejor el resultado).

Uno de los controles de calidad más usado en el proceso de deconvolución de los datos es la autocorrelación, es por esto que en la siguiente imagen (figura 4.3) se muestra la autocorrelación de los apilados de entrada comparándolos con los de la salida de la deconvolución, aquí podemos observar como la deconvolución con distancia predictiva de 20ms conserva en gran magnitud la ondícula central y elimina gran cantidad de múltiples. A pesar de que la Autocorrelación de la deconvolución aplicada con distancia predictiva de 10ms elimina más cantidad de múltiple, la misma no conserva la ondícula central. Es por esto que la distancia predictiva que mejor se ajusto a los datos fue de 20ms.

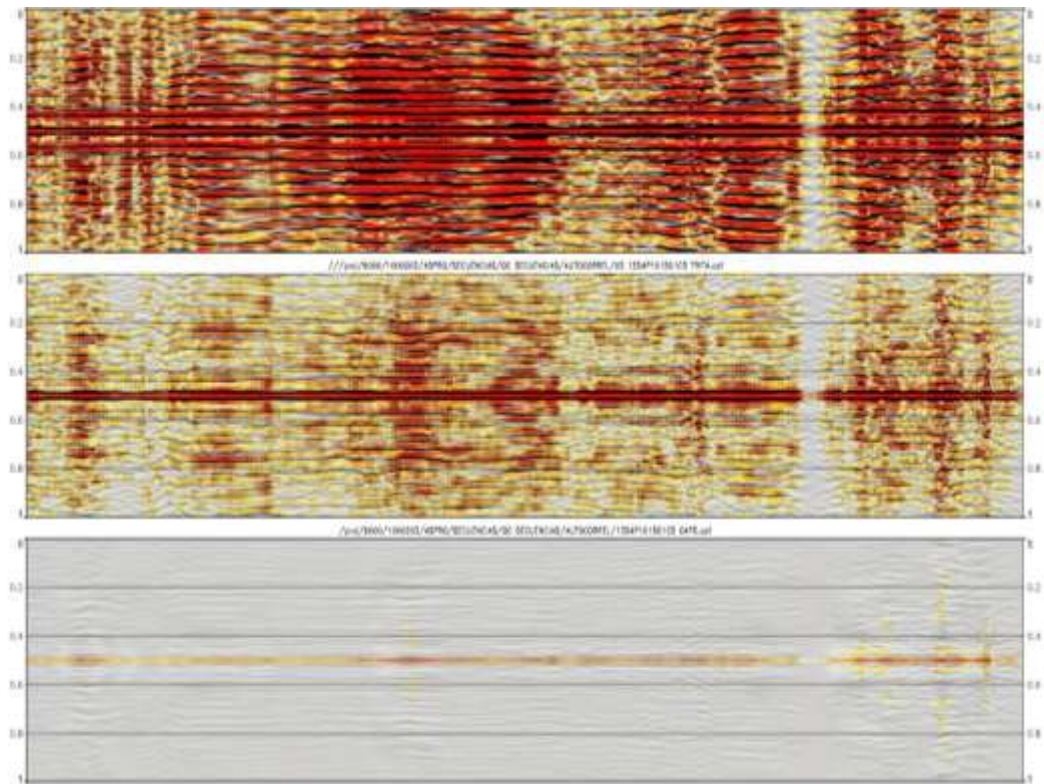


Figura 4.3. Autocorrelación antes de la deconvolución (Arriba), después de la deconvolución con distancia predictiva de 20ms (centro) y después de la deconvolución con distancia predictiva de 10 ms (abajo). Ambos procesos tienen longitud del operador de 800ms y ventana de diseño de 0ms a 5500ms inline1354G1C5.

4.2 SWD (Atenuación de múltiples de agua somera)

Haciendo una comparación en las autocorrelaciones obtenidas por la deconvolución y la sustracción adaptativa del modelo del SWD (ver figura 4.4) se puede observar como ambas eliminan gran cantidad de múltiples y conservan en gran magnitud la ondícula central, así como también se observa que cada una de ellas ataca distintas zonas.

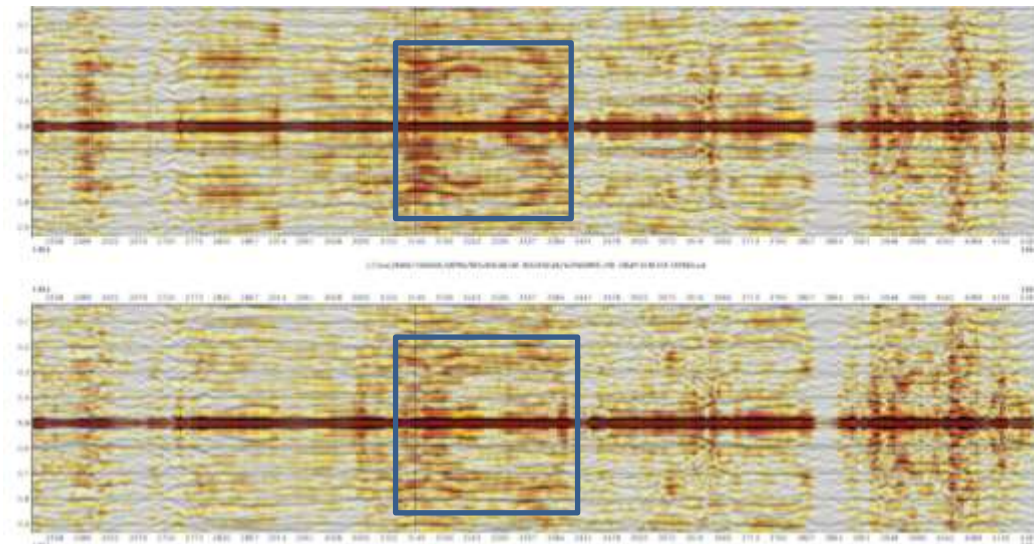


Figura 4.4. Autocorrelación de la deconvolución (Arriba), y del SWD (abajo). inline1354.

Se puede observar que en la autocorrelación que el proceso de SWD pareciera eliminar mayor cantidad de múltiple de los datos que la deconvolución. Aunque si se observan los *gathers* se puede apreciar que el proceso de SWD no es muy eficaz eliminando los múltiples de período más largo. Por esta razón en las metodologías señaladas en el capítulo anterior, se utilizaron ambos procesos. En la figura 4.5 se puede apreciar los *gathers* comparativos entre la deconvolución y SWD.

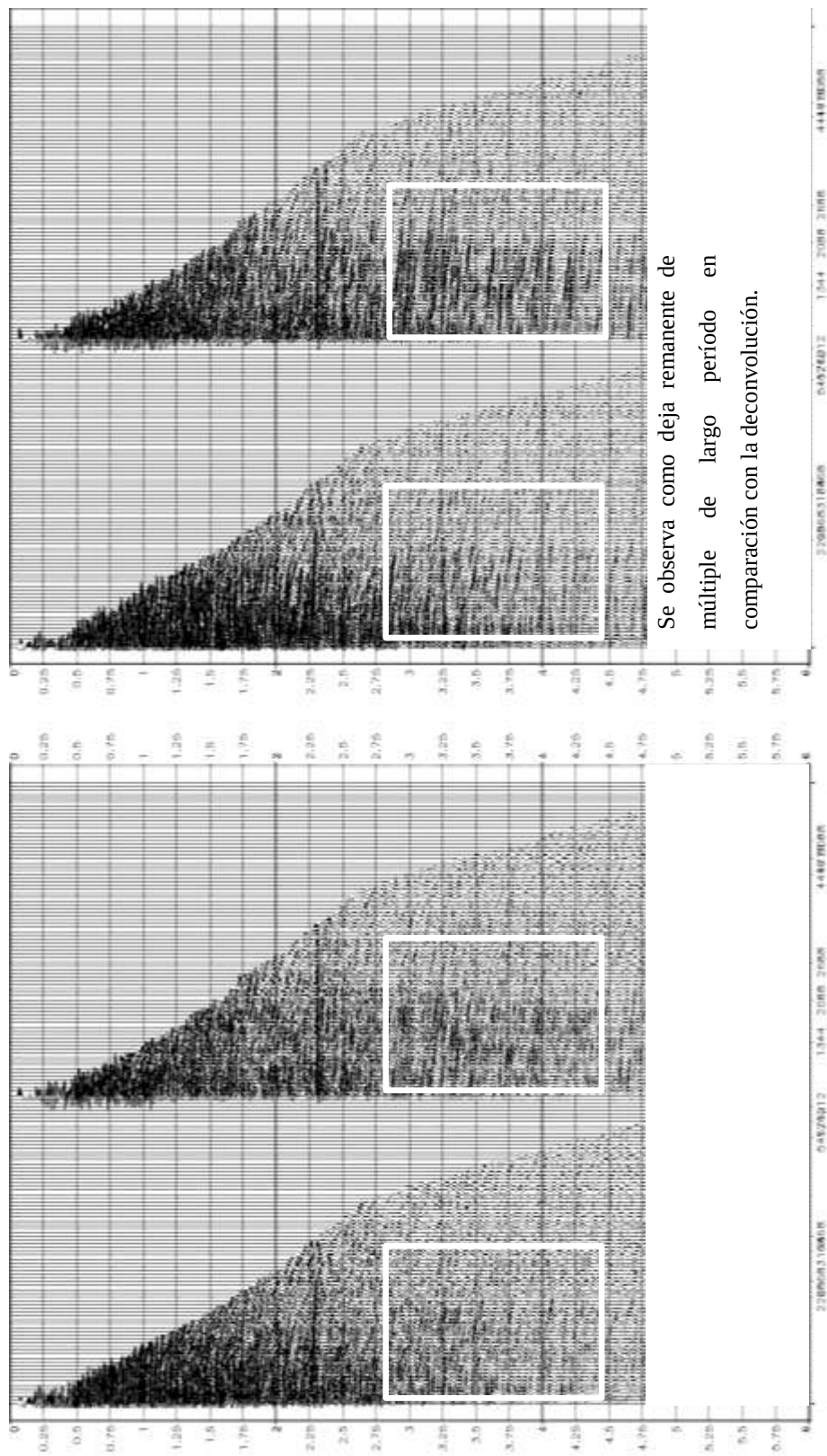


Figura 4.5. Gather (CMP) con deconvolución (izquierda). Gather (CMP) con SWD (derecha). inline 1354G1C5 CMP 88673125 y CMP 88673225.).

4.3 SRME

Una vez visto el resultado del SRME sobre los datos, observando los apilados y comparándolo con el proceso SWD(ver figura 4.6), se puede apreciar que aunque el proceso SRME daña el dato en los primeros 500ms (recuadro negro), pareciera que se llevara el múltiple intracapa remanente que no atacó ni la deconvolución ni el SWD (recuadro verde). Es por esto que se decide incluir el paso del SRME una vez aplicada la deconvolución y el proceso del SWD.

Como ya se indico anteriormente, este proceso no trabaja en una forma muy efectiva cuando no se tiene el fondo marino bien definido, ya que no ataca los múltiples provenientes del mismo, pero es una gran herramienta para atenuar los múltiples intracapa, por tal motivo, el cálculo del modelo y la sustracción del mismo se realizo a partir de 500ms en adelante (ver figura 4.6).

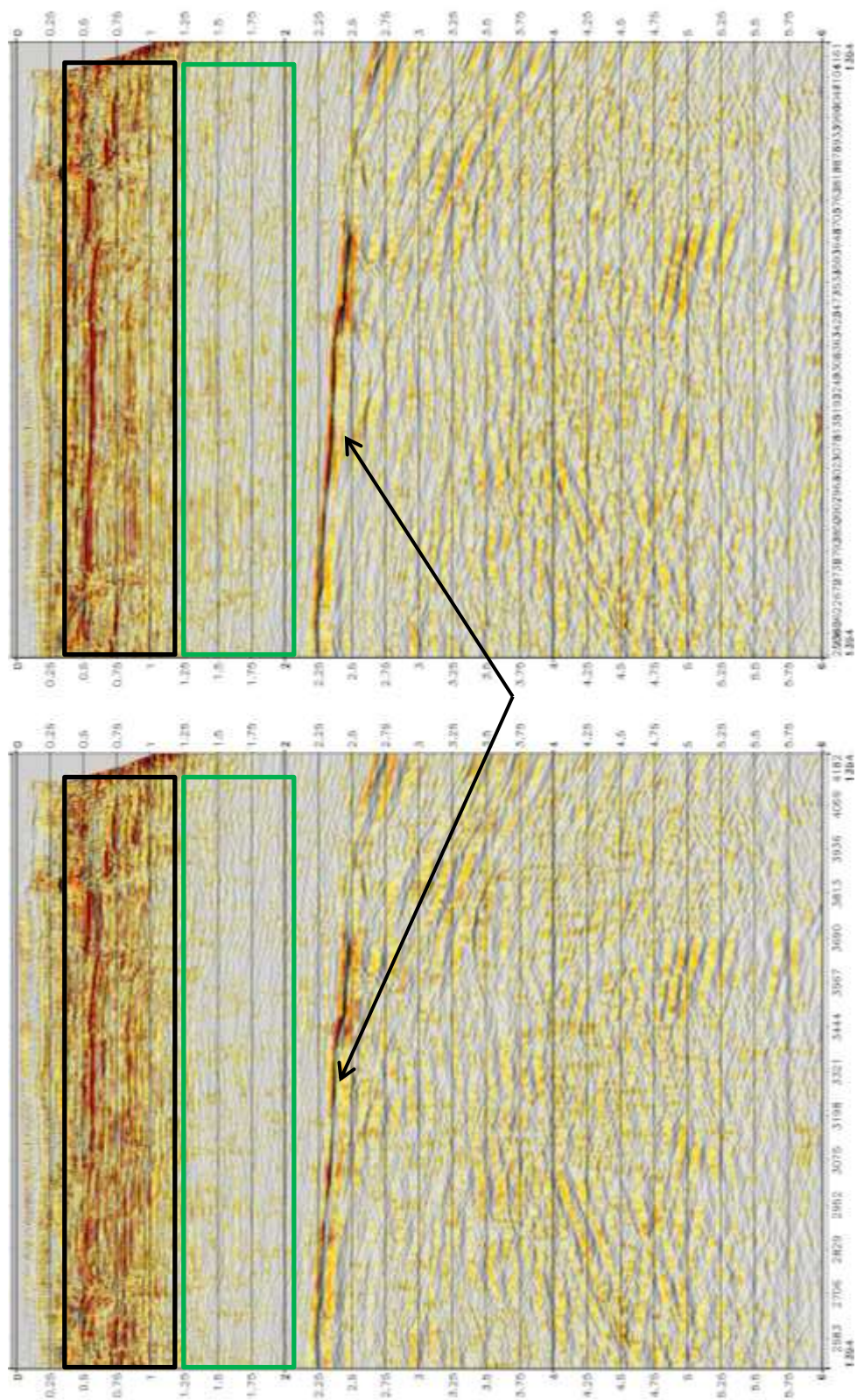


Figura 4.6. Apilados con AGC de la línea 1354. SRME (izquierda), SWD (derecha).

A continuación se muestran imágenes comparativas de las distintas metodologías aplicadas previas al análisis de velocidad, siendo corregidos los mismos con velocidades regionales

4.4 *Gathers* de distintas secuencias

4.4.1 Secuencia#1

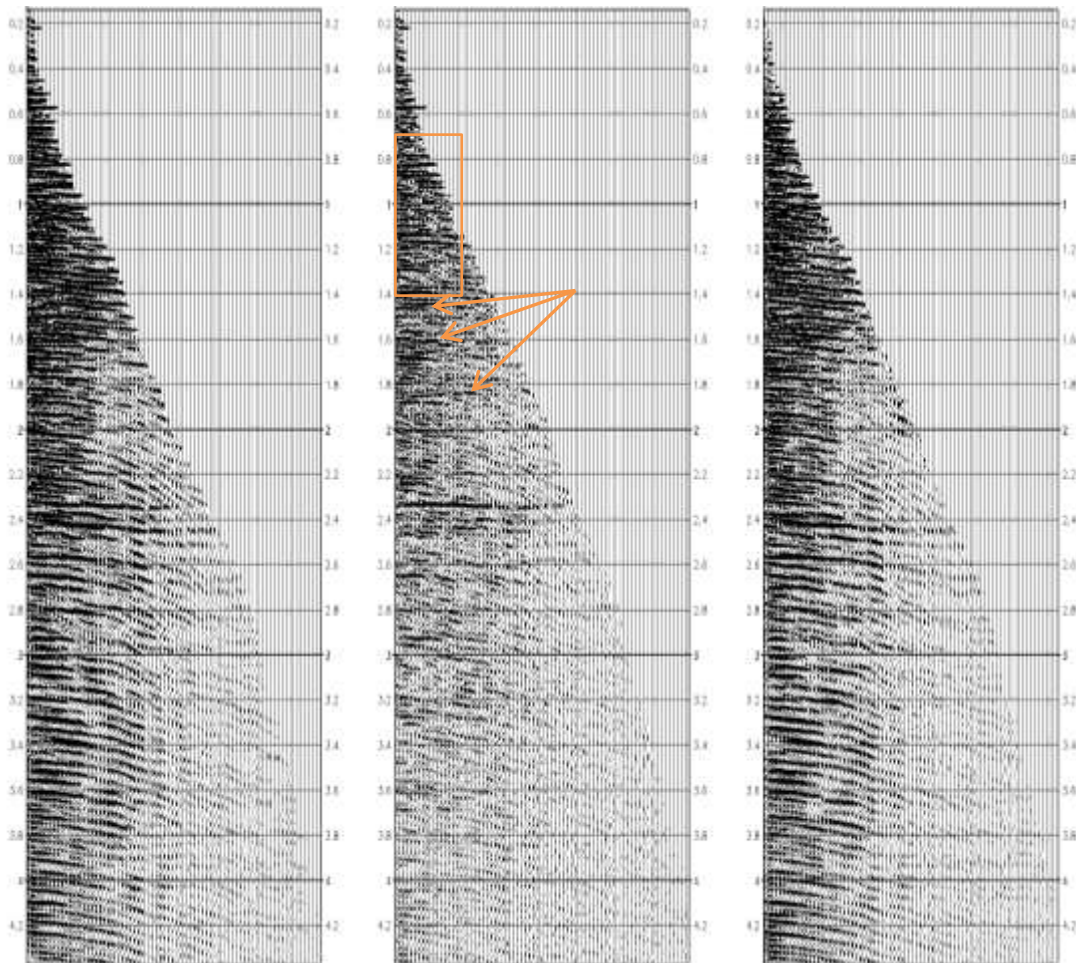


Figura 4.7. *Gathers*. Datos de entrada (izquierda), secuencia#1 (centro) y diferencia derecha. Inline 1354
CMP 88673425.

En la Figura 4.7 se observan los *gathers* comparativos entre la entrada, secuencia#1 aplicada y su diferencia, observando en la diferencia de los mismos que los eventos que sustrae son eventos de menor velocidad asociado a los múltiples. También se

puede apreciar que al eliminar los múltiples del dato de entrada realiza los eventos ocultos detrás del mismo.

4.4.2 Secuencia#2

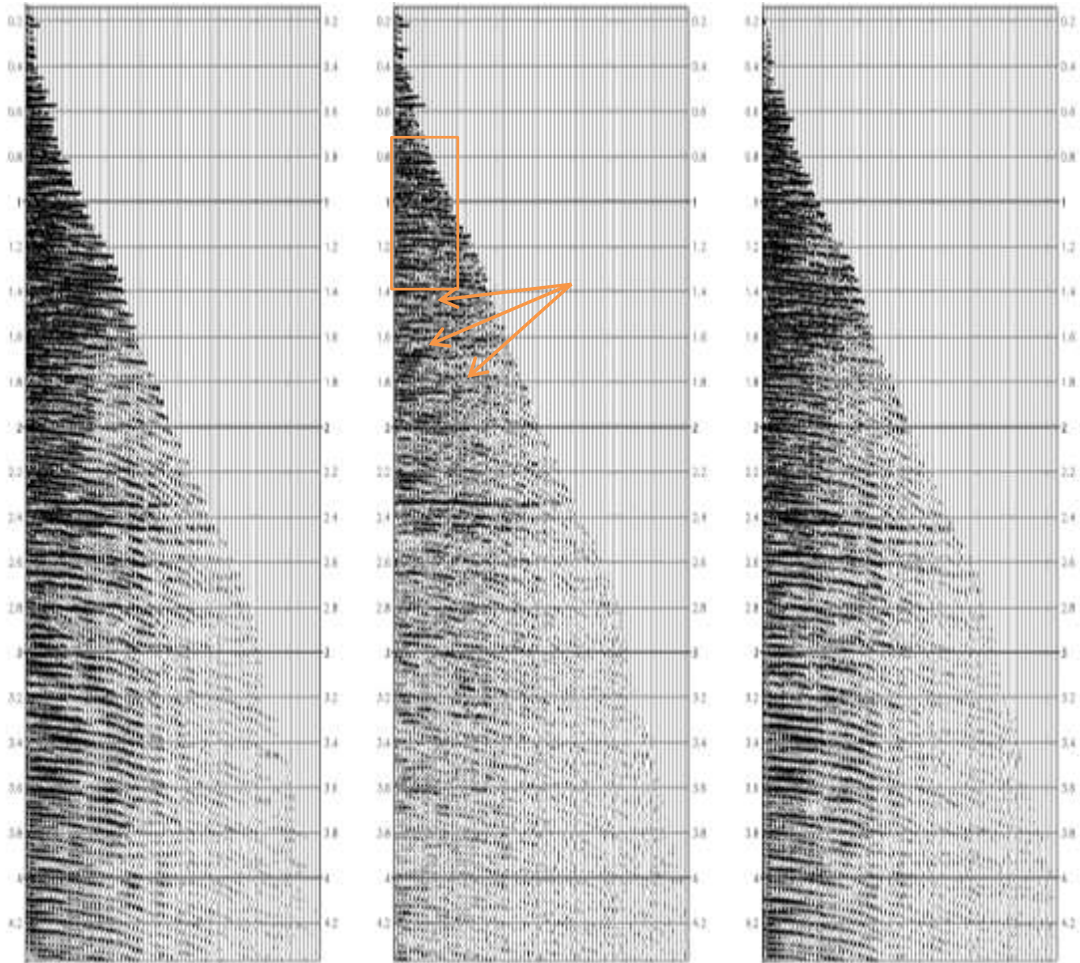


Figura 4.8. Gathers. Datos de entrada (izquierda), secuencia#2 (centro) y diferencia derecha. Inline1354CMP 88673425.

En los *gathers* observado en la imagen anterior (ver figura 4.8) se puede apreciar que la secuencia#2 así como la secuencia#1 conserva en gran magnitud los eventos horizontales, aunque en el recuadro señalado los eventos se ven mejor definidos así como también en las zonas señaladas se observa como elimina eventos hiperbólicos que aun están presentes en la secuencia#1. La principal diferencia entre la secuencia#1 y la secuencia#2 radica en que en la secuencia#1 la sustracción

adaptativa del modelado del SWD fue aplicada antes de aplicar la deconvolución, mientras que en la secuencia#2 este proceso fue invertido.

4.4.3 Secuencia#3

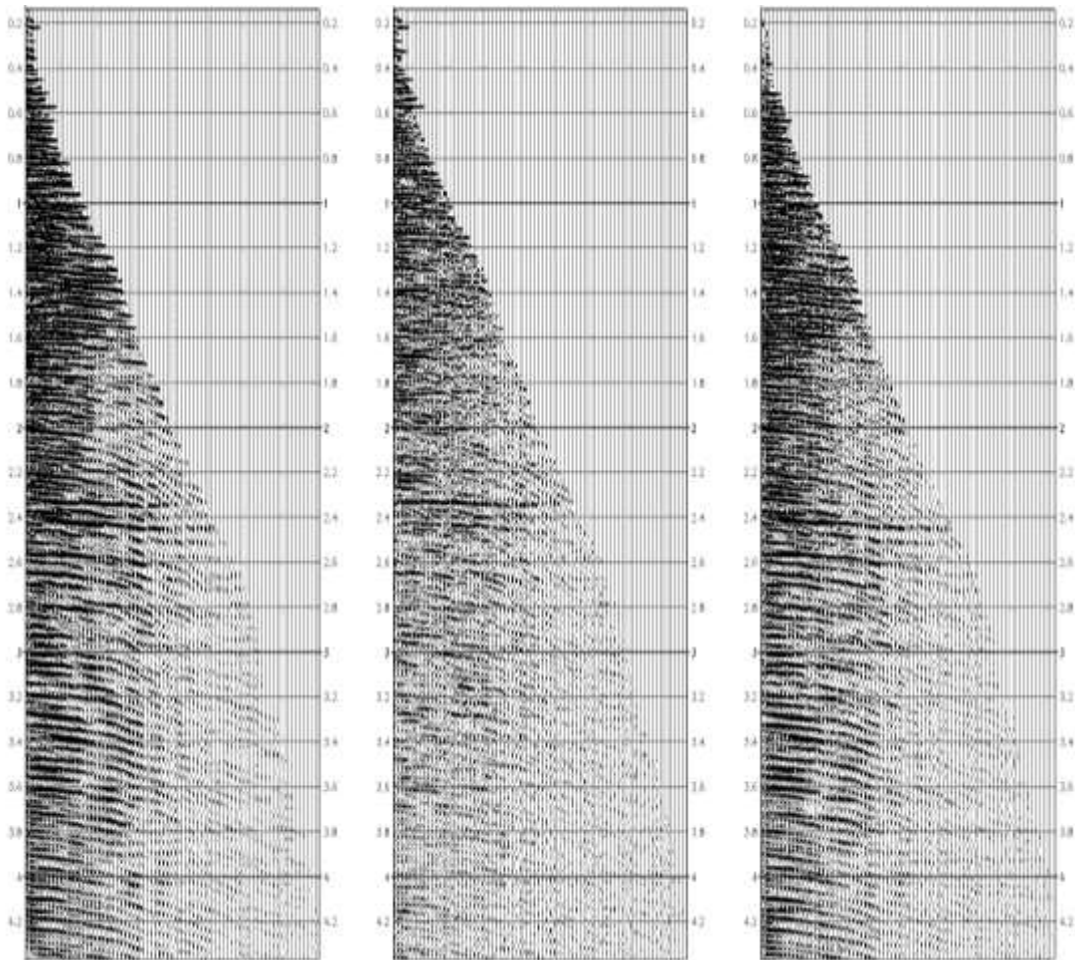


Figura 4.9. Gathers. Datos de entrada (izquierda), secuencia#3 (centro) y diferencia derecha.

Inline1354CMP 88673425.

La secuencia#3 fue planteada con el fin de determinar de qué modo el modelado predictivo de los múltiples tiene mayor efectividad, es decir (si generar el modelo del SWD a partir de el dato crudo y sustraerlo una vez aplicada la deconvolución ó si generar el modelo del SWD una vez aplicada la deconvolución y sustraerlo). Como se puede apreciar en la figura 4.9 y en la figura 4.8 la diferencia no se aprecia muy

evidente, es por esto que a continuación en la figura 4.10 se muestran unos *gathers* comparativos entre ambas secuencias haciendo un zoom respectivo en los mismos.

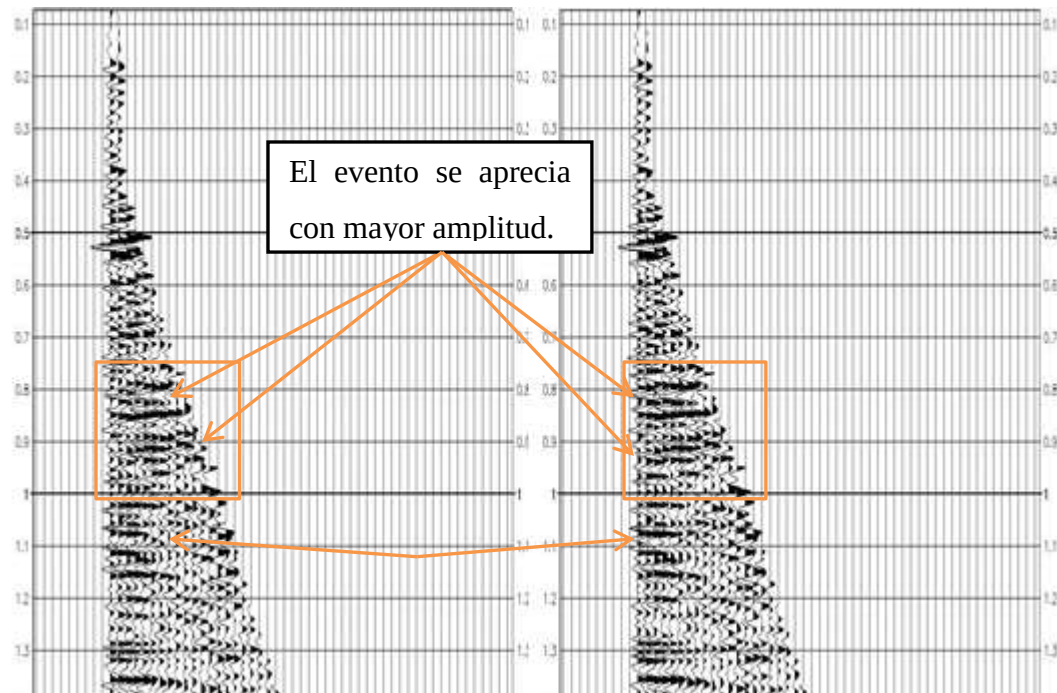


Figura 4.10. Izquierda SWD (Calculando el modelo de la deconvolución), derecha SWD (Calculando el modelo de los datos en crudo) Inline 1354 CMP 88673025.

En la figura anterior se puede apreciar notablemente que sustraer el modelo calculado a partir de los datos en crudo se conservan mejor las amplitudes en los *gathers*.

4.4.4 Secuencia#4.

La secuencia#4 difiere de las anteriores ya que en esta fue aplicado un proceso adicional (Sustracción adaptativa del modelo del SRME calculado a partir de los datos de entrada), esto con el fin de eliminar como ya se dijo anteriormente el múltiple intracapa remanente. Como se pudo observar en la figura 4.6 el apilado muestra como con el proceso del SRME no se obtienen buenos resultados en los primeros 500ms, por lo mismo el modelado y la sustracción del mismo fue aplicado a partir de 500ms. A continuación se muestran unos *gathers* en donde fue aplicada la secuencia#4 (ver figura 4.11).

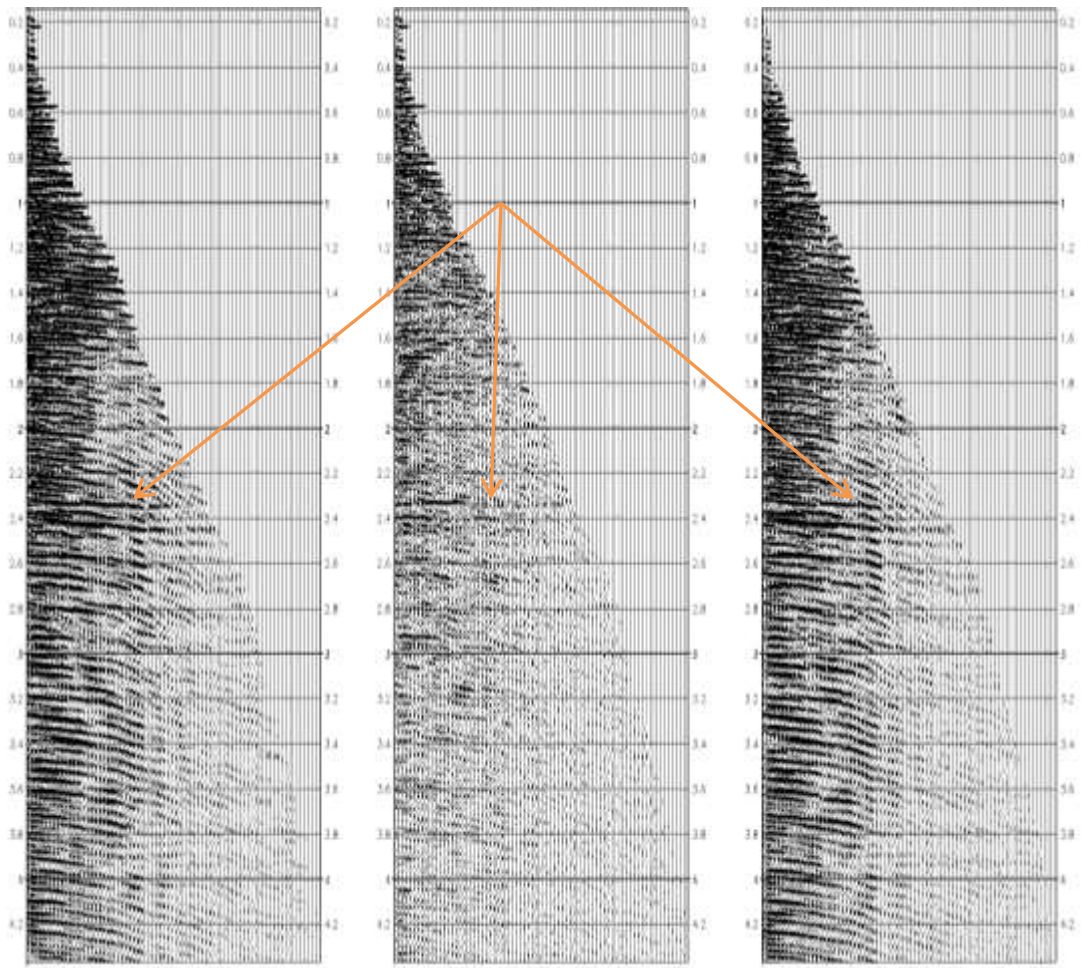


Figura 4.11. Gathers. Datos de entrada (izquierda), secuencia#4 (centro) y diferencia derecha. Inline 1354CMP 88673425.

Se puede apreciar en la zona señalada como es sustraído de los *gathers* parte del evento que se encuentra a 2.3ms, pudiéndose apreciar mucho mejor en la diferencia.

También se puede observar que con este proceso fueron eliminados mayor cantidad de múltiples. Cabe destacar que no en todas las *Inline* el proceso del SRME toco de esta manera los eventos y es aquí donde se debe tomar la decisión si sacrificar un poco de dato para atenuar mayor cantidad de múltiple o si se desea preservar en mayor magnitud el evento primario.

4.4.5 Secuencia#5.

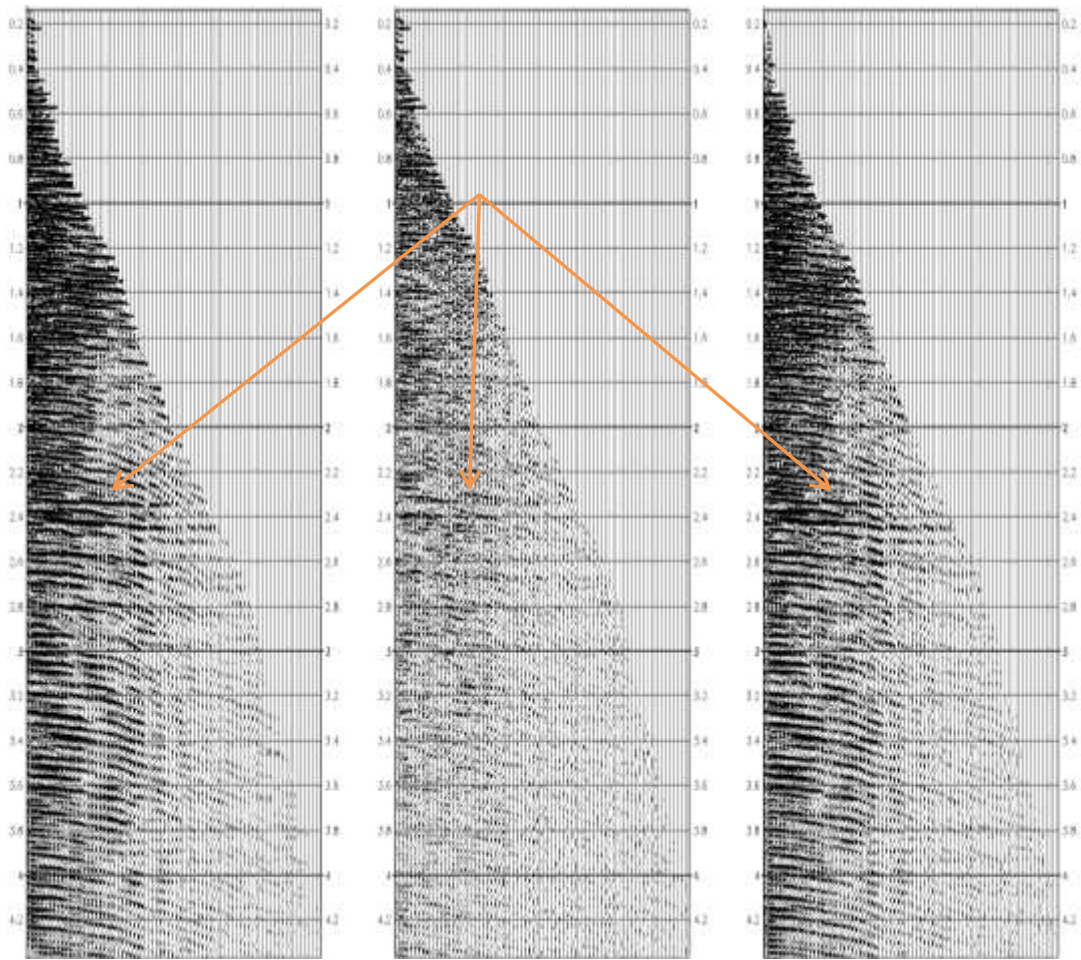


Figura 4.12. Gathers. Datos de entrada (izquierda), secuencia#5 (centro) y diferencia derecha. Inline 1354CMP 88673425.

La secuencia#5 fue aplicada una secuencia semejante a la secuencia#2, con la única diferencia en que en esta secuencia una vez aplicada toda la secuencia#2 fue aplicada la sustracción adaptativa del modelado SRME, pudiendo observar en los *gathers* como ya se dijo anteriormente que el proceso SRME no se adapta de manera tan efectiva en datos donde el fondo marino (generador de gran cantidad de múltiples) es relativamente somero (menor a 300ms). A pesar de que los *gathers* se aprecian más limpios entre 1.2s y 1.8s en la figura 4.12, se puede apreciar que el evento presente a

2.3ms perdió gran amplitud. Por tal motivo la secuencia#4 y la secuencia#5 fueron excluidas en este tipo de datos.

La imagen que se muestra a continuación figura 4.13 corresponde con un espectro de amplitud tomado de los *gathers* comparativo entre las cinco secuencias antes nombradas comparadas con la entrada en común (datos con atenuación de ruido).

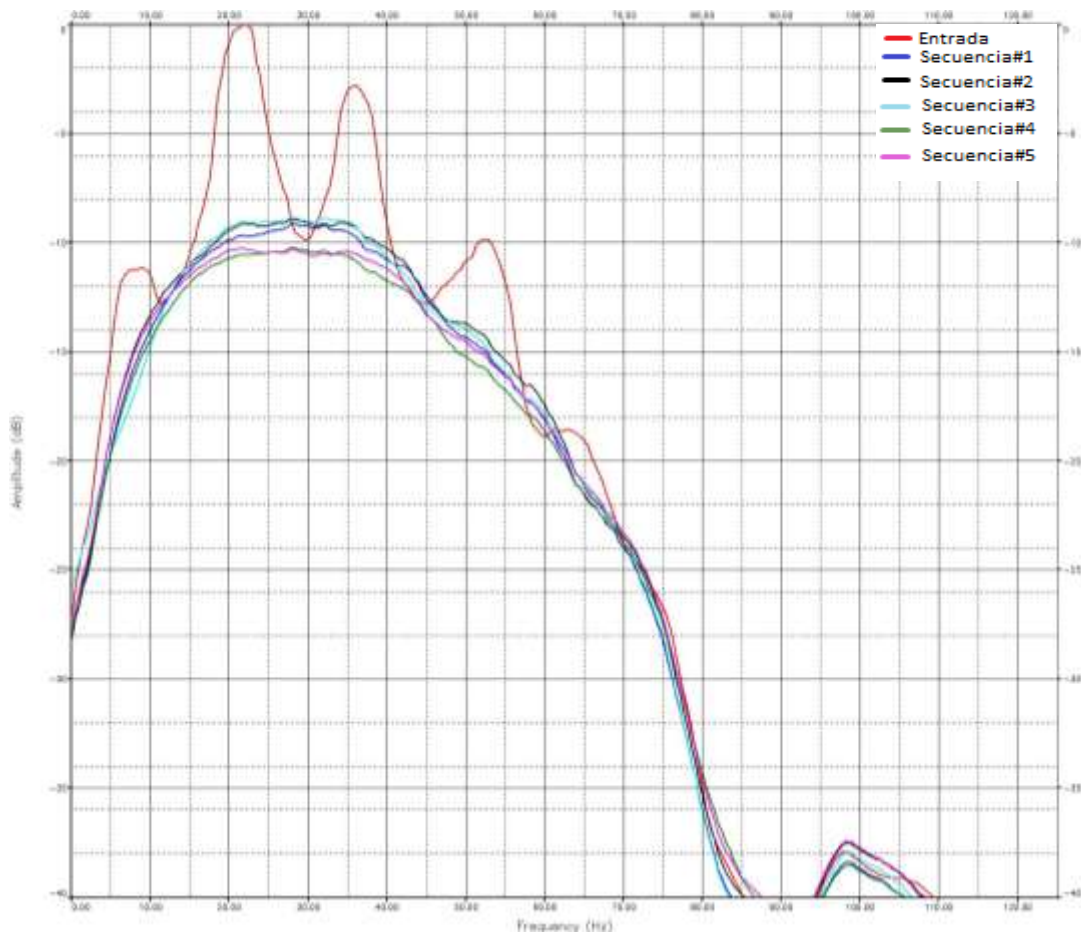


Figura 4.13. Espectro de amplitud en una ventana de tiempo comprendida entre 500ms y 6000ms de los *gathers* comparativos entre las 5 secuenciaa con respecto al dato de entrada.

En la figura 4.13 se puede apreciar claramente como las amplitudes de la secuencia#4 y secuencia#5 son relativamente menores a las otras. También se puede observar que las secuencia#2 y secuencia#3 son las que conservan mayor amplitudes. Sin embargo la secuencia#3 pierde amplitudes con respecto a la secuencia#2 en frecuencias

comprendidas entre 5hz y 15hz, así como también en frecuencias comprendidas entre 50hz y 75hz.

4.5 Apilados de distintas secuencias.

En las figuras (4.15, 4.16 y 4.17), se tienen los apilados de las secuencias (1,2,3) respectivamente, apreciándose como las tres imágenes son muy similares, notándose su mayor diferencia en el recuadro señalado, en el que la secuencia#2 se aprecian los eventos con mayor amplitud.

Puede apreciarse como las distintas secuencias conservan en gran magnitud las amplitudes, en la diferencia se observa que se elimina el efecto reverberante que enmascara el dato, dificultando la interpretación estructural del mismo. A continuación se muestra un espectro de amplitud de los apilados (ver figura 4.14) en donde se puede apreciar lo mencionado respecto a las amplitudes.

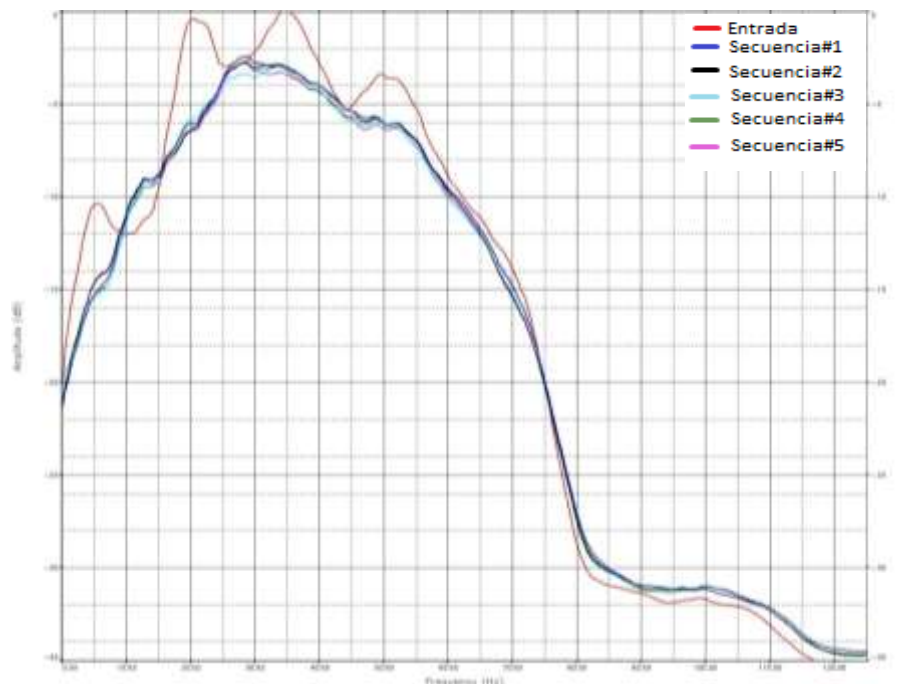


Figura 4.14. Espectro de amplitud de los apilados mostrados a continuación.

En la figura 4.14 se observa como la curva de amplitud de la secuencia#2 es aquella con valores más altos.

Secuencia#1

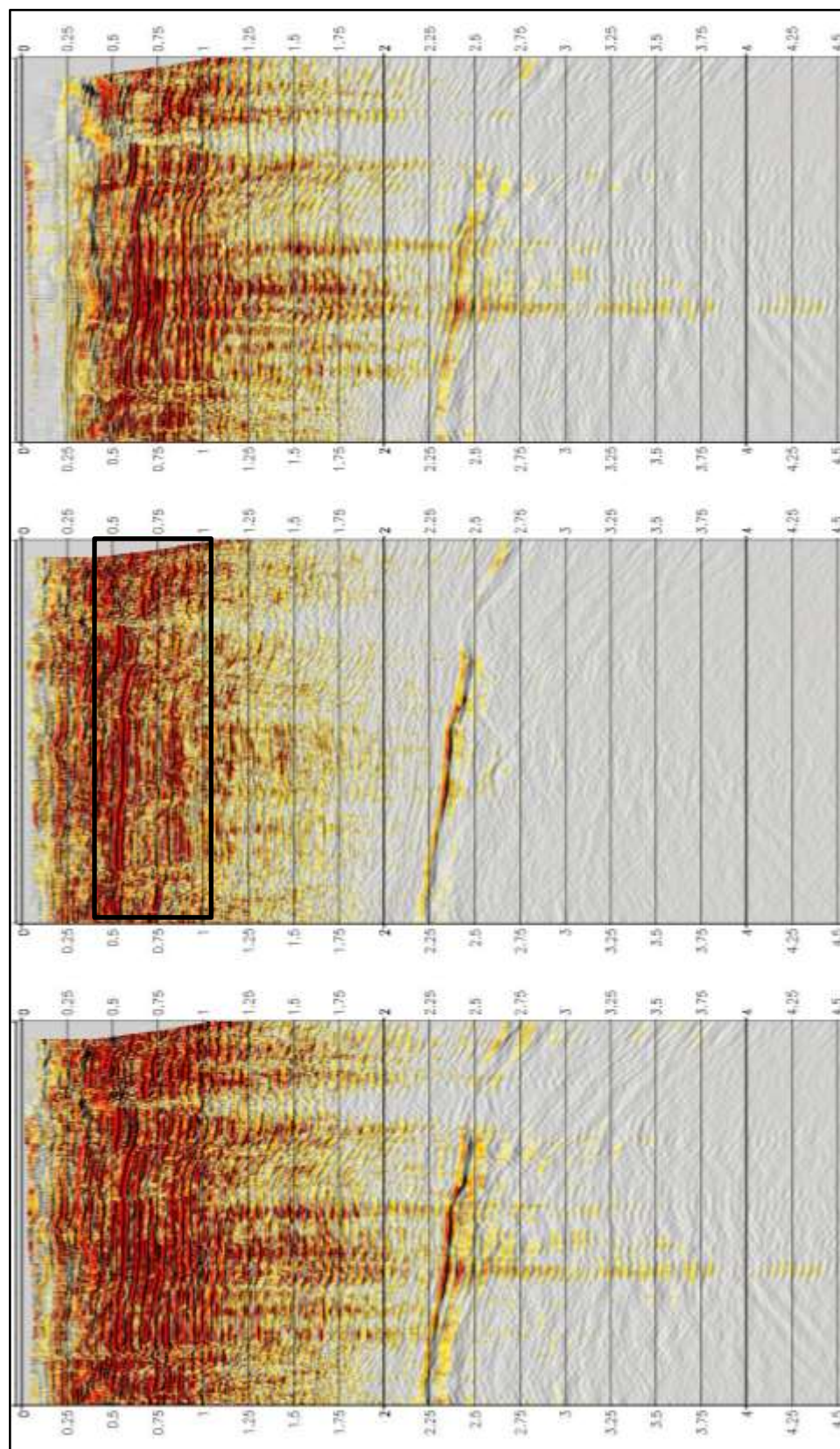
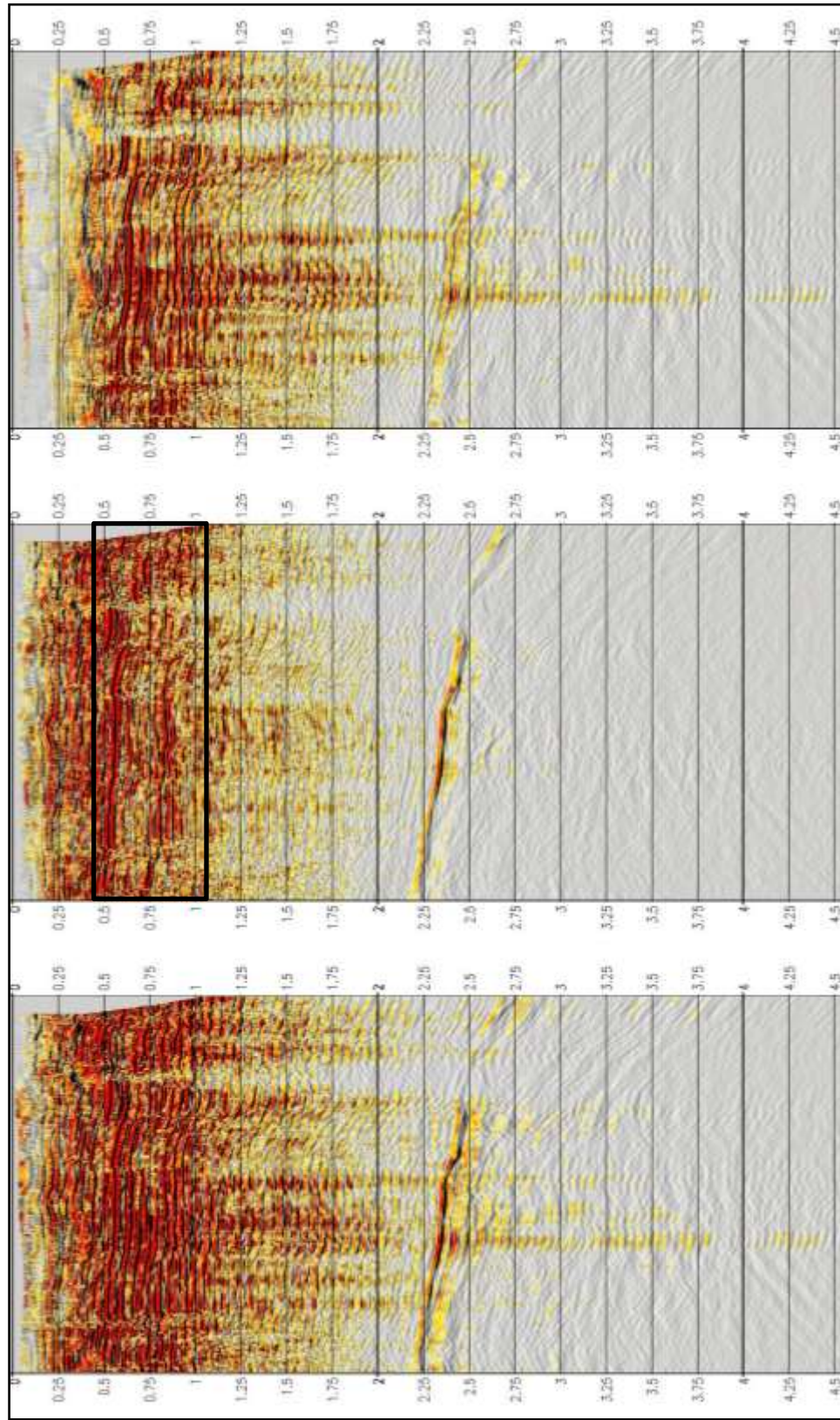


Figura 4.15. Apilado. Datos de entrada (izquierda), secuencia#1 (centro) y diferencia derecha. Inline 1354.

Secuencia#2



4.16. Apilado. Datos de entrada (izquierda), diferencia#2 (centro) y diferencia derecha. Inline 1354.

Secuencia#3

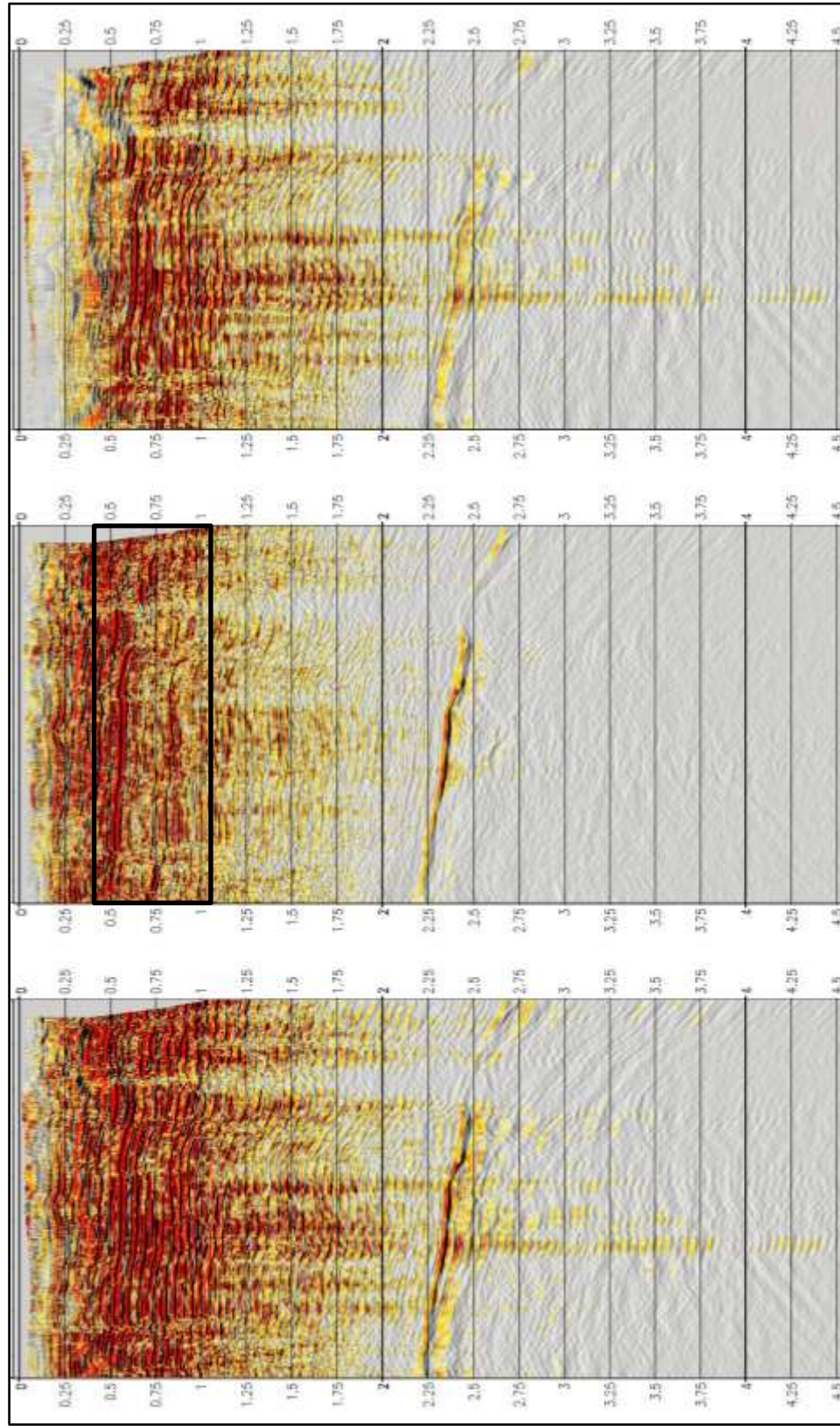


Figura 4.17. Aplado. Datos de entrada (izquierda), secuencia#2 (centro) y diferencia derecha. Inline 1354.

4.6 Imágenes relacionadas con la secuencia#2.

4.6.1 *Gathers*: DECONVOLUCION EN EL DOMINIO TAU-P (SECUENCIA#2).

En los *gathers* que se muestran a continuación, se puede verificar como el proceso de deconvolución en el dominio tau-p con los parámetros establecidos trabaja efectivamente sobre el dato de entrada, eliminando gran parte de las reverberaciones y múltiples tanto de largo como de corto periodo. En la diferencia se puede observar como todo el dato que a sido eliminado son eventos alineados con velocidades menores al evento primario (característica típica de los múltiples).

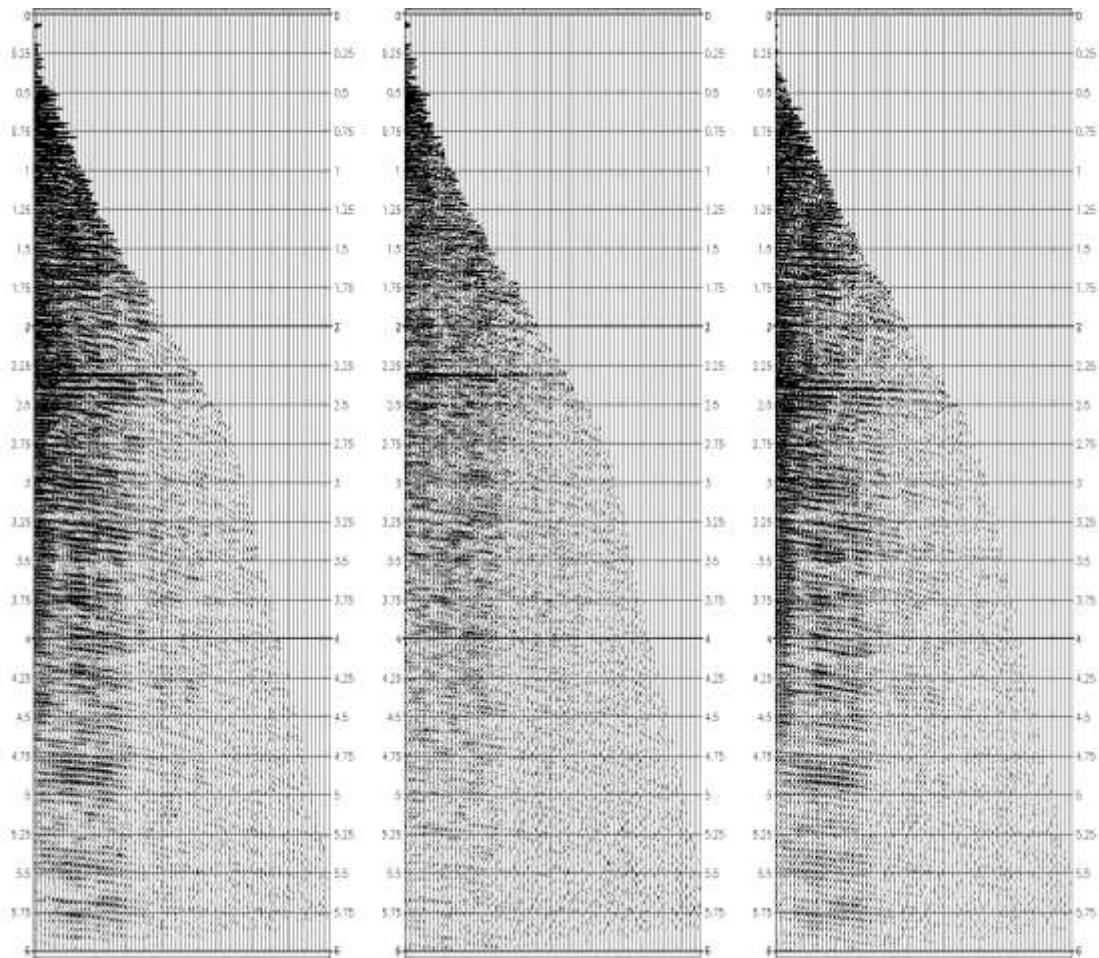


Figura 4.18. *Gathers* Secuencia#2. Datos de entrada (izquierda), salida de la deconvolución (centro) diferencia (derecha).Inline 1354 CMP 88673225.

4.6.2 SWD (Eliminación de múltiples en aguas someras) (SECUENCIA#2).

En la figura 4.19, se puede observar como en la sustracción del modelo del SWD no se observan cambios tan radicales, aunque se puede apreciar claramente como atenúa múltiples de periodo corto en *offset* cercano. Se observa claramente como el proceso del SWD conserva en gran magnitud los eventos primarios a diferencia del SRME debido a que este proceso modela el fondo marino a partir del múltiple y a partir de esto modela los múltiples del fondo marino.

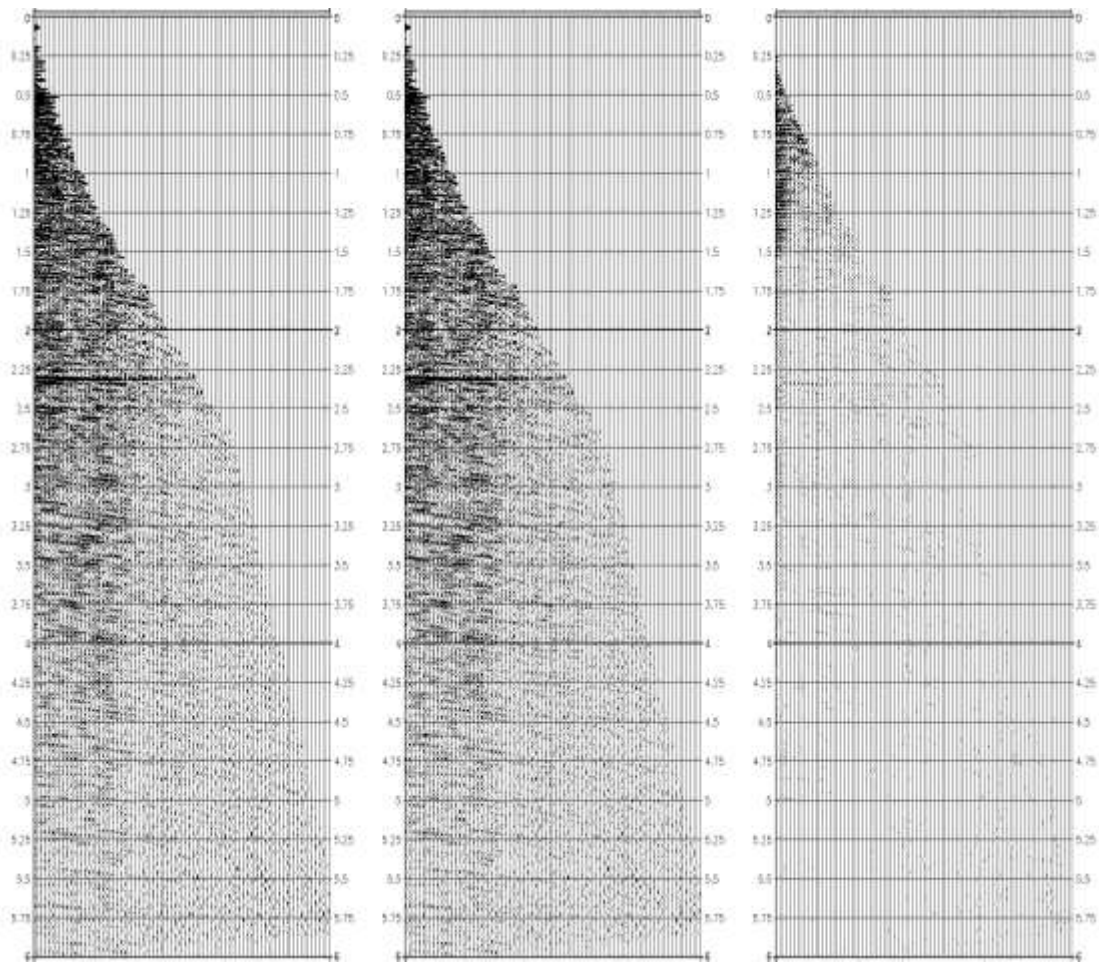


Figura 4.19. Gathers Secuencia#2. Datos con deconvolución (izquierda), salida de la sustracción del modelo obtenido del SWD (centro) diferencia (derecha).Inline 1354 CMP 88673225.

A continuación se muestran unos *gathers* de la *inline* 1462 donde se observa la importancia de aplicar SWD en la secuencia utilizada.

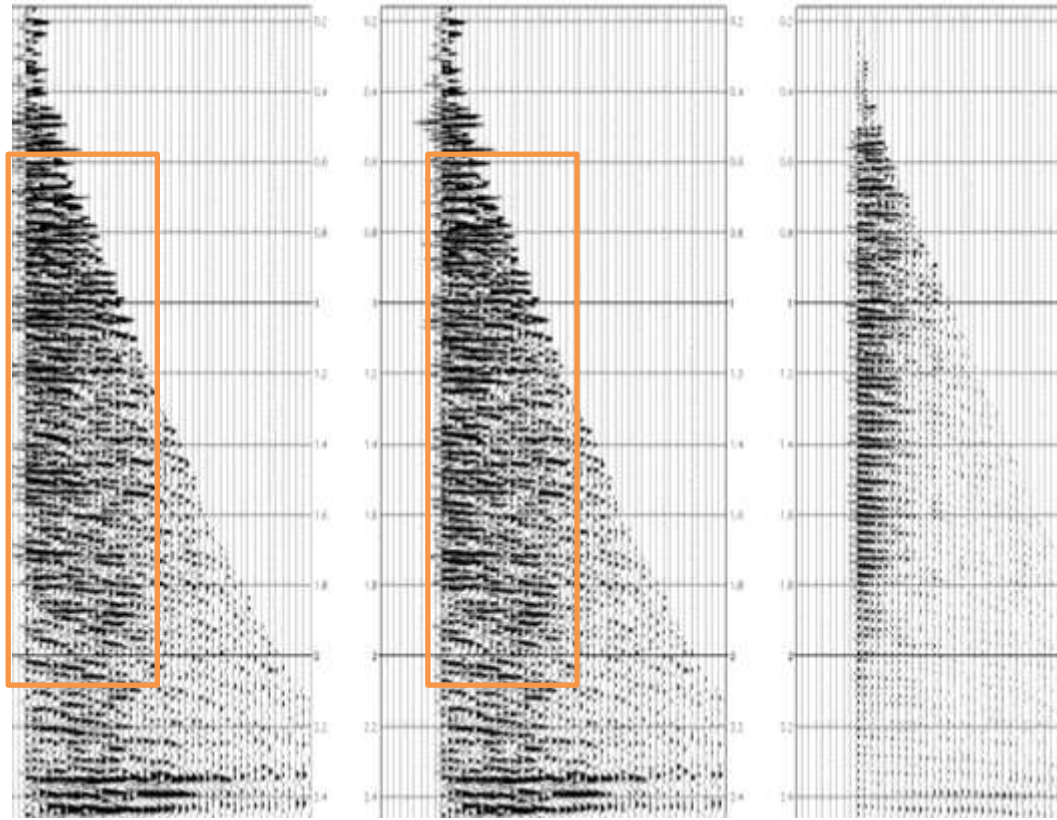


Figura 4.20. Gathers inline 1462, Secuencia#2, Deconvolución (Izquierda), Deconvolución+SWD (Centro) y Deconvolución-SWD (Derecha) CMP95751913.

En los *gathers* de la Figura 4.20 se aprecia como la sustracción adaptativa del modelo SWD, atenúa el múltiple de corto periodo correspondiente al fondo marino, realzando algunos eventos que se encontraban enmascarados por el múltiple. Se puede observar claramente como en el intervalo comprendido entre 1.6s y 1.8s, se realzan eventos que no se veían previos al proceso. Como se aprecia en la figura 4.5, el proceso del SWD elimina gran cantidad de múltiples aplicándose a los datos en crudo, la decisión de aplicar el proceso de SWD una vez aplicada la deconvolución fue tomada una vez comparada la secuencia#1 y #2. Otra de los motivos que llevo a elegir la secuencia#2 es que en la misma tanto la deconvolución como el modelo del SWD son calculados a partir del dato sin procesos antimúltiples.

4.6.3 ANÁLISIS DE VELOCIDAD (SECUENCIA#2).

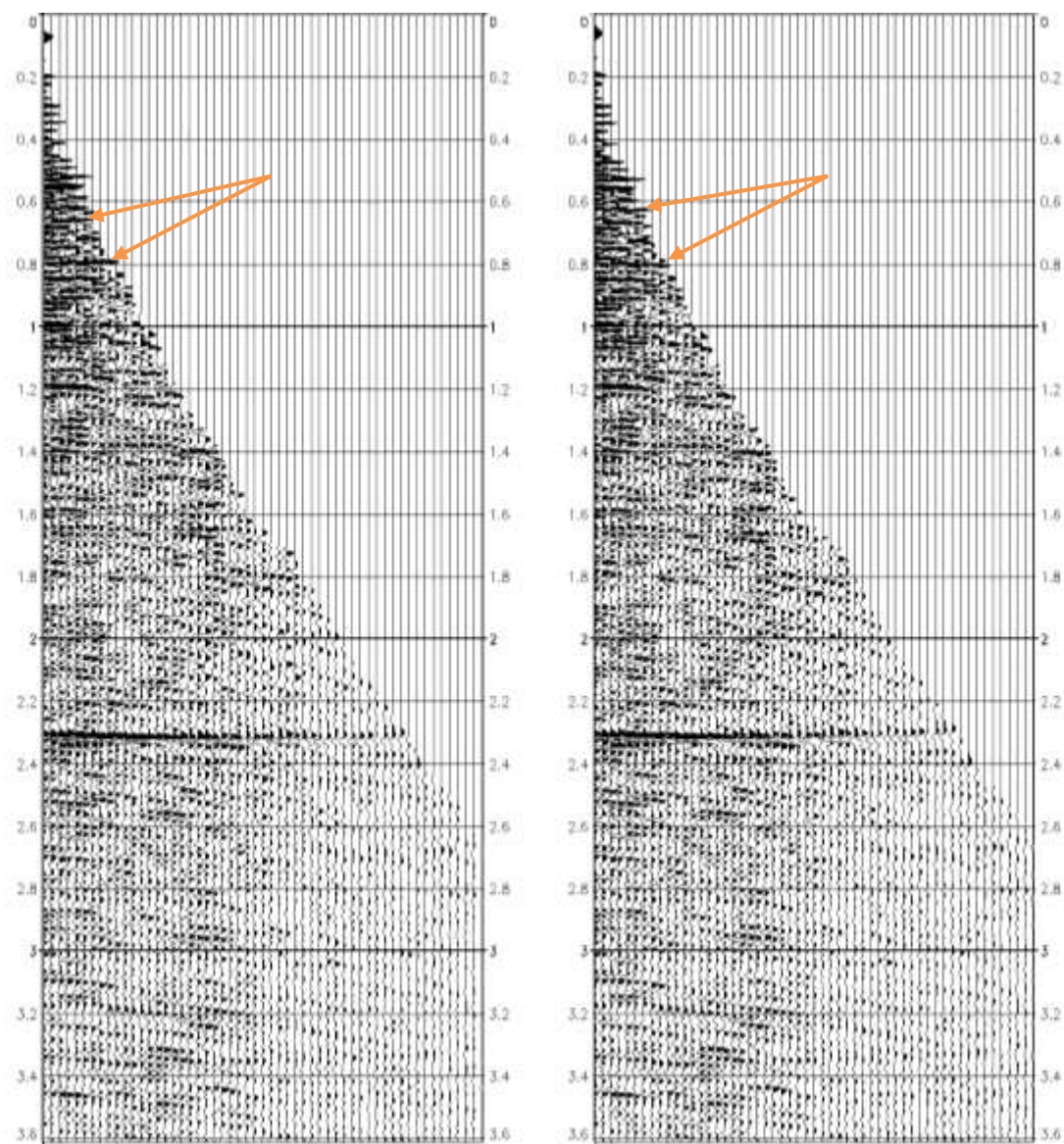


Figura 4.21. Gathers referentes a la salida del proceso SWD de la secuencia#2. Corregido con velocidades regionales (izquierda) y corregido con nuevas velocidades (derecha).Inline 1354 CMP 88673225.

En la figura 4.21, es importante resaltar como en los eventos resaltados que previo al análisis de velocidad se observan horizontalizados pareciendo ser eventos primarios, una vez hecho un mejor análisis de velocidad estos eventos se observan hiperbólicos, definiendo mejor aún el múltiple a sustraer en el siguiente paso.

4.6.4 ATENUACIÓN DE EVENTOS PARÁBOLICOS EN LA TRANSFORMADA RADÓN (SECUENCIA#2).

En el siguiente *gather* se puede apreciar claramente como la atenuación de eventos parabólicos en la transformada radón elimina en gran magnitud las reflexiones múltiples de menor velocidad. Una vez atenuada estas grandes amplitudes, se puede observar cómo se realzan los eventos que se encontraban enmascarados detrás de las mismas.

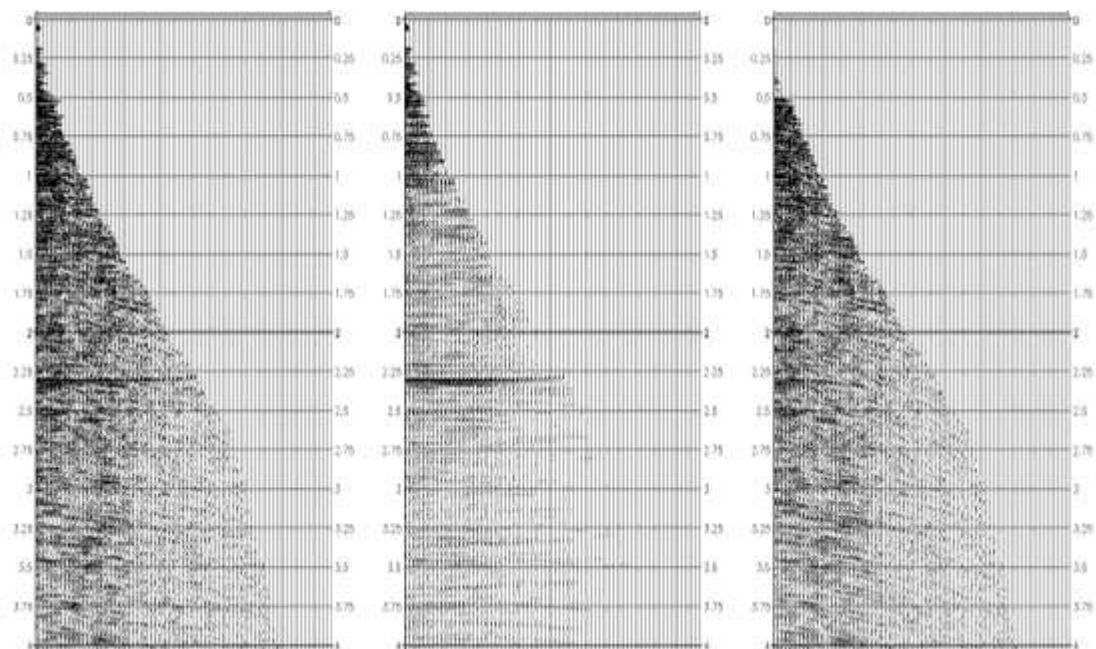


Figura 4.22. Gathers Secuencia#2. Sustracción del modelo SWD nuevas velocidades (izquierda), transformada radón (centro), diferencia (derecha). Inline 1354 CMP 88673225.

Como se puede apreciar en la figura 4.22, una vez eliminada gran cantidad de eventos múltiples de gran amplitud, se observan eventos horizontalizados que se encontraban ocultos. A la figura 4.22, se le aplico una ganancia escalar (en *display*) de manera tal de poder visualizar mejor los eventos, esta ganancia no fue aplicada en los pasos previos debido a que la imagen se vería saturada por la gran cantidad de múltiples (ver figura 4.23).

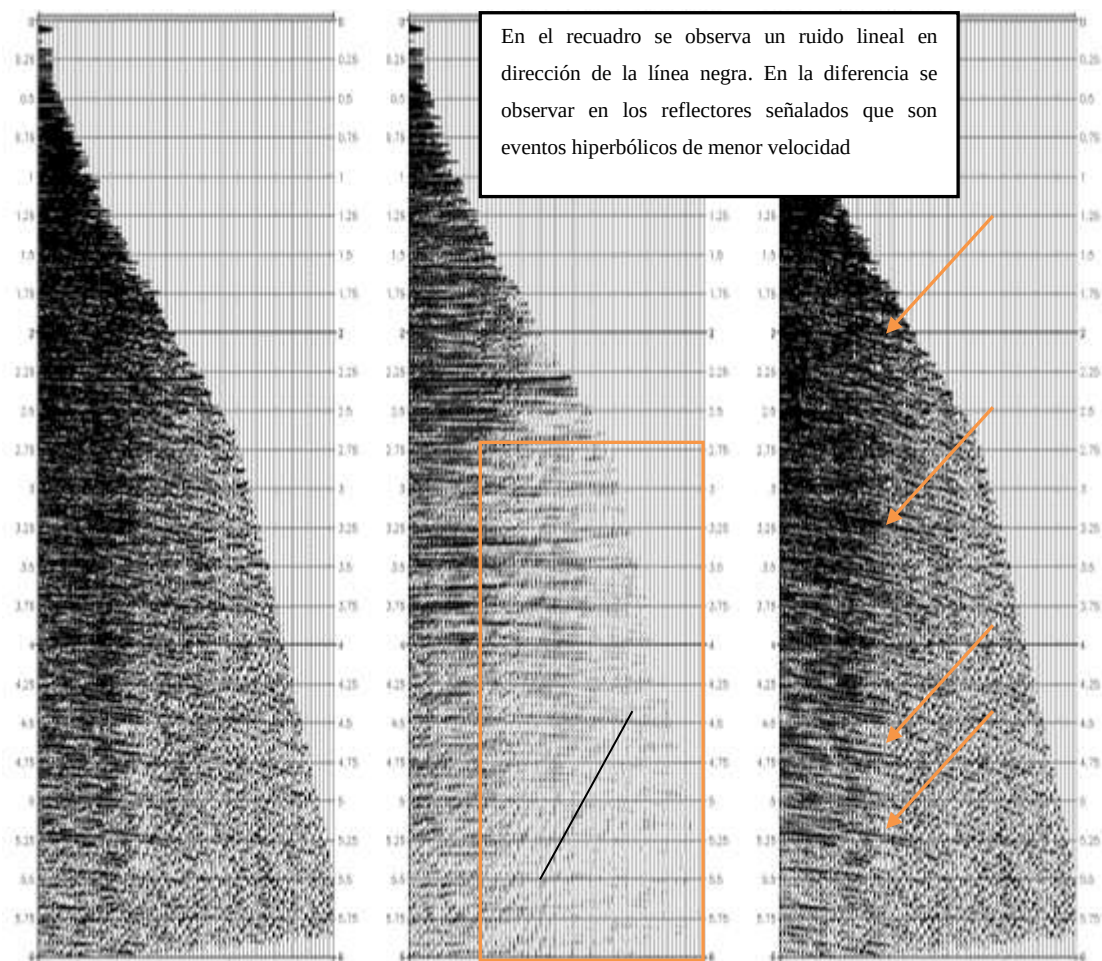


Figura 4.23. Mismos Gathers de la figura 4.22, con una ganancia escalar aplicada al *display*.

En la figura 4.23, se puede apreciar claramente como una vez eliminado gran cantidad de eventos parabólicos se pueden apreciar los eventos primarios. También se puede apreciar en la zona señalada que se realza un ruido lineal en la dirección mostrada por esta razón fue incluido el filtro FK en la secuencia#2 previo a la atenuación de múltiplos en *offset* cercanos.

En la figura 3.13 mostrada en el capítulo anterior se puede apreciar el efecto del filtro FK sobre los *Gathers* notándose como se elimina únicamente el ruido lineal sin tocar el dato.

4.6.5 ANTIMÚLTIPLE EN *OFFSETS* CERCANOS (SECUENCIA#2).

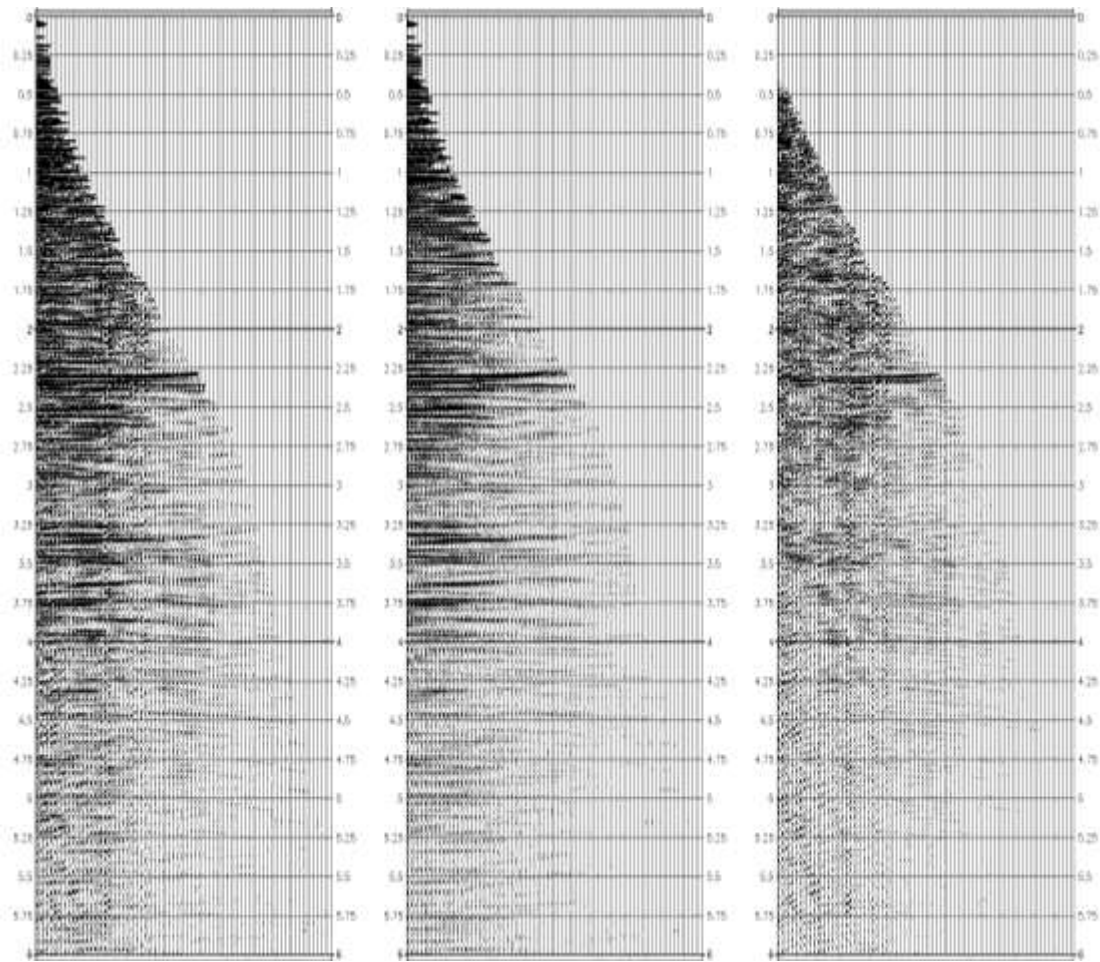


Figura 4.24. Gathers Secuencia#2. Transformada radón (izquierda), atenuación de múltiples en offset cercanos (centro) y su diferencia (derecha). Inline 1354 CMP 88673225.

En la figura 4.24, se puede apreciar claramente, como una vez eliminado el evento múltiple en *offset* cercanos, se aprecia como los eventos horizontales son aún mejor definido, también se puede apreciar que el proceso aplicado elimina eventos múltiples a lo largo de todo el *gather* que no pudo ser eliminado mediante la transformada radón, esto debido a que en este modulo se considera evento primario únicamente a los eventos horizontales, mientras que del dato restante es sustraído todo aquello que sea ruido y lo que resta es sumado nuevamente al dato considerado como primario. Es por esto que previo a aplicar este proceso debe ser eliminado la mayor cantidad de ruido posible, para así garantizar que aquel dato que es sustraído sean datos de evento múltiple.

Una vez eliminado todo el múltiple posible fue aplicada a los *Gathers* una corrección de amplitud por divergencia esférica así como también una corrección por *offset*, de manera de visualizar los eventos en un rango de amplitud coherente (ver figura 4.25).

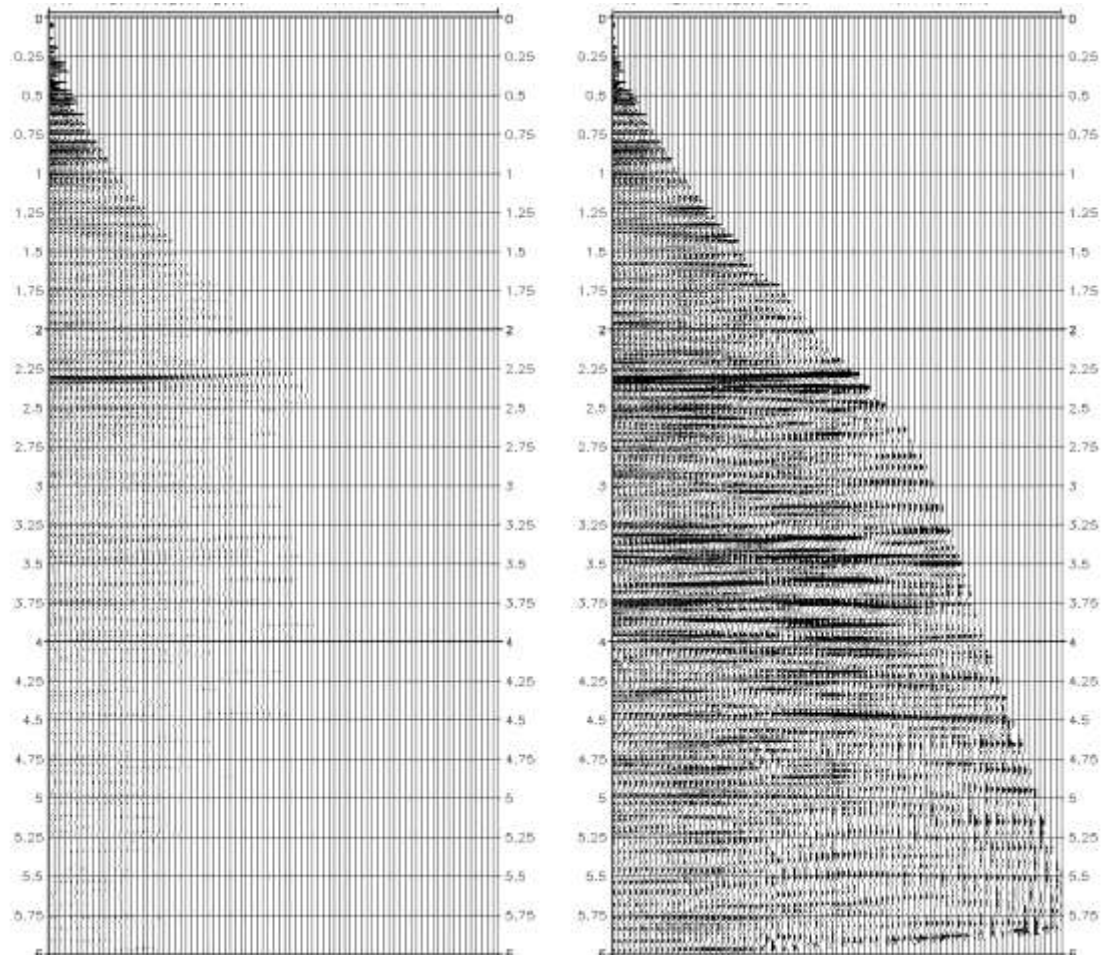


Figura 4.25. A la izquierda se muestra el gather una vez aplicada toda la secuencia#2 y a la derecha la compensación de amplitudes por divergencia esférica y por *offset*. Inline 1354 CMP 88673225.

Una vez observada la secuencia#2 a nivel de *Gathers*, a continuación se mostraran las autocorrelaciones de los apilados de la secuencia#2. Cabe destacar que los datos a nivel de apilado la diferencia entre procesos no se ven tan radical, ya que el proceso de apilado a la hora de sumar los eventos actúa como atenuador de eventos múltiples, debido a que los mismos no se encuentran horizontalizados. Es por esto que el control de calidad debe ser muy cuidadoso a nivel de *Gather*.

4.7 AUTOCORRELACIONES DE LOS APILADOS DE LA SECUENCIA#2 (Entrada, deconvolución, SWD, radón y *offset* cercanos).

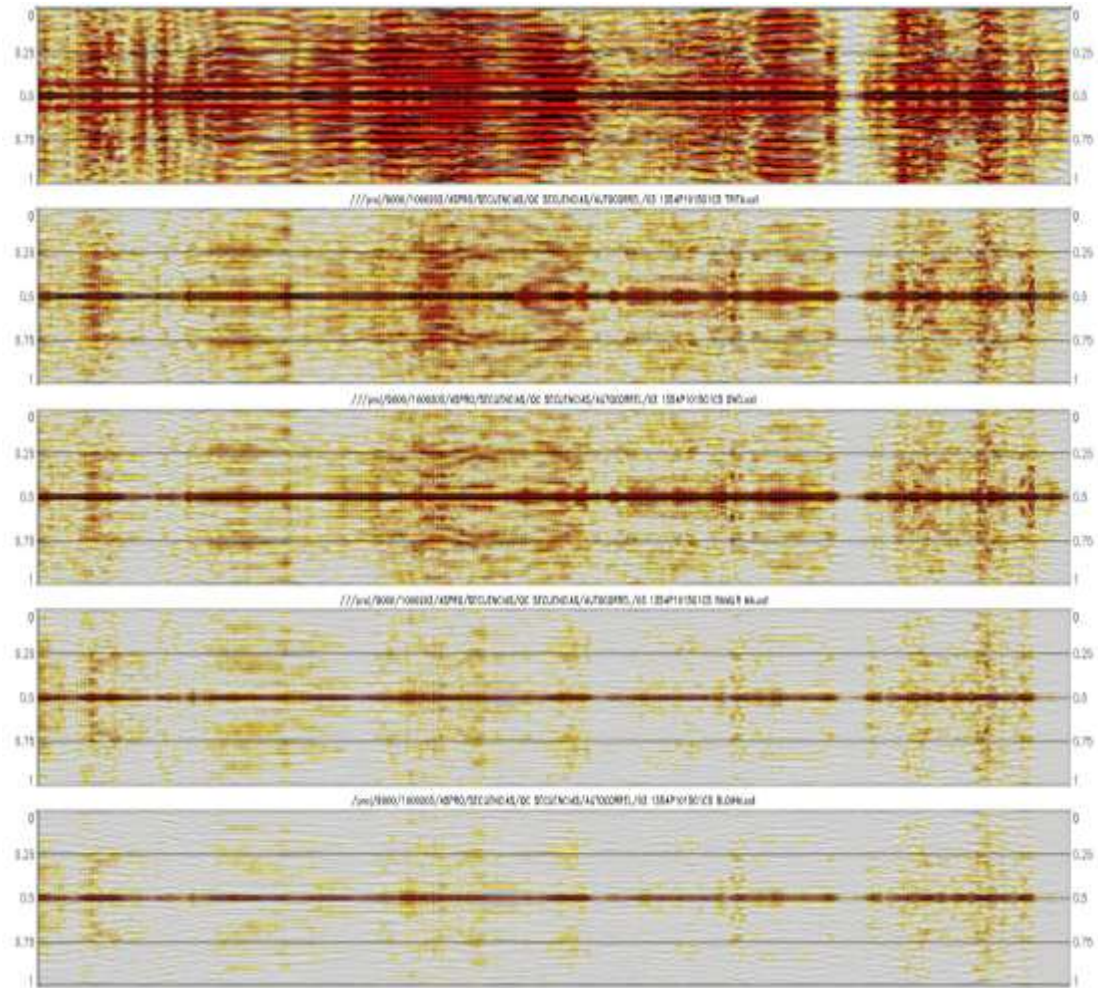


Figura 4.26. Autocorrelaciones de los apilados de la secuencia#2, de arriba hacia abajo se muestran los distintos procesos respectivamente (Entrada, deconvolución, SWD, radón y por ultimo offset cercanos).

En la figura 4.26, se puede apreciar evidentemente como la amplitud de la ondícula central de las distintas autocorrelaciones es conservada, así como también se observa como el ruido que se encuentra alrededor de la ondícula central es atenuado en gran magnitud por los distintos procesos antimúltiples aplicado. En esta imagen se aprecia muy bien como se logro atenuar la mayor cantidad de múltiples conservando lo mayor posible la ondícula central.

4.8 IMÁGENES DEL CUBO SÍSMICO.

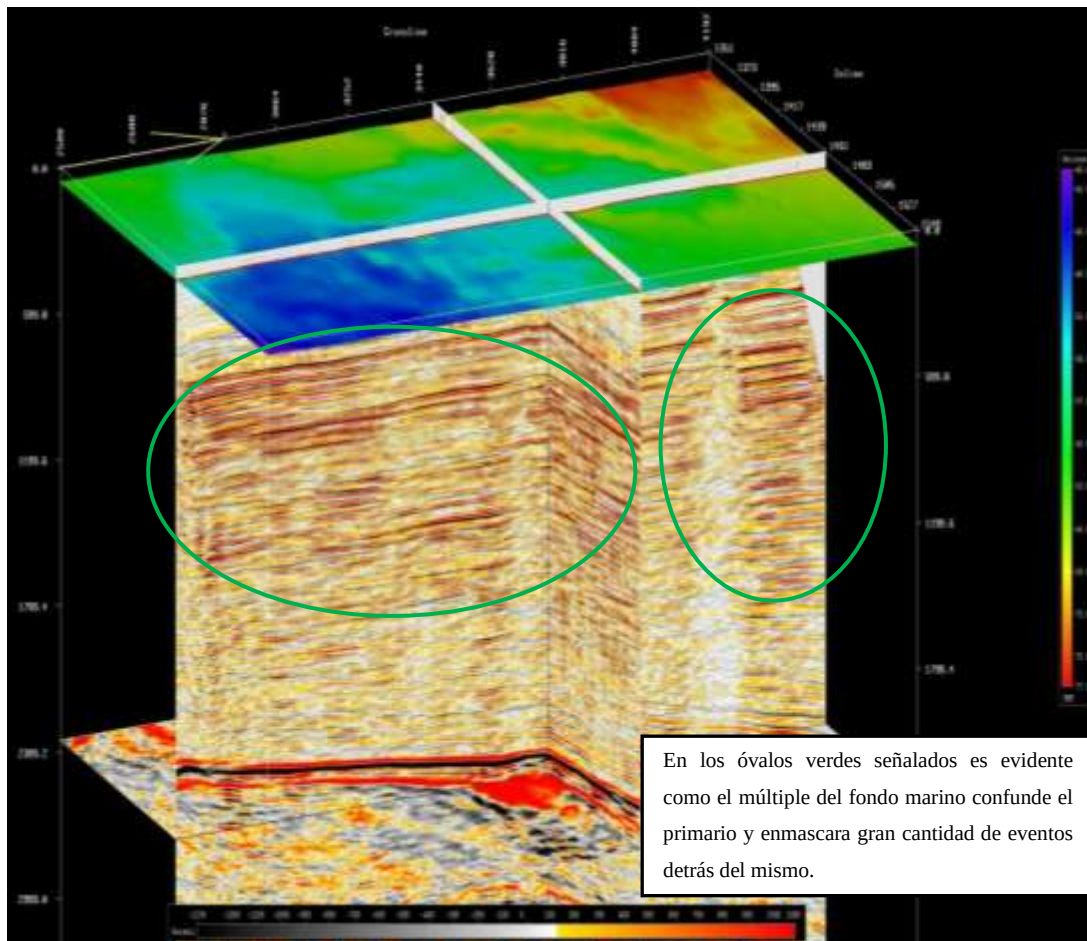


Figura 4.27. Cubo sísmico del área a procesar previo a la atenuación de múltiples donde se muestra la inline 1462, la crossline 3430, timeslice 2300ms y el fondo marino

En la figura 4.27, se puede apreciar claramente como se hace difícil interpretar las estructuras en el cubo sísmico sin ningún proceso antimúltiple aplicado. Los eventos primarios se ven confundidos entre los eventos múltiples como se puede apreciar en las zonas señaladas. Cabe destacar que el fondo marino observado, es construido a partir de los datos batimétricos de la zona, ya que como se sabe, el mismo no pudo ser obtenido a partir de la sísmica debido a lo somero que se encuentra el fondo marino y la geometría de adquisición utilizada. Se puede observar, como el fondo

marino se encuentra por encima de las estructuras más someras de la sísmica, notándose que el mismo no se refleja en los datos sísmicos.

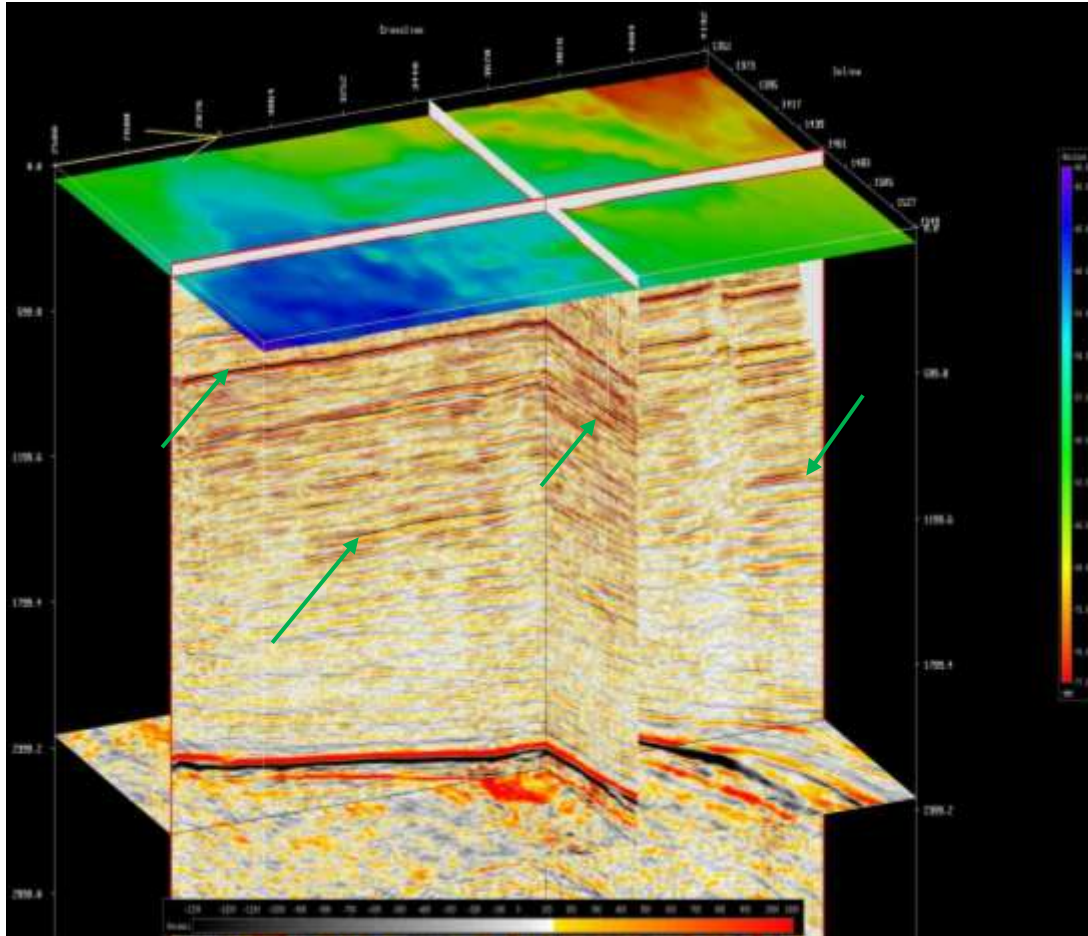


Figura 4.28.Cubo sísmico del área, procesada con la secuencia#2 donde se muestra la inline 1462, la crossline 3430, timeslice2300ms y el fondo marino.

Se puede apreciar como en la figura 4.28, una vez aplicada toda la secuencia antimúltiple, los apilados del cubo sísmico presentan unos eventos mucho más definidos ya que fue eliminada la reflexión múltiple que tapaba el dato. En las zonas señaladas se aprecia claramente como los eventos primarios se pueden apreciar claramente.

A continuación en la figura 4.29, se muestra una imagen comparativa entre el cubo de entrada y el cubo con secuencia antimúltiple aplicada.

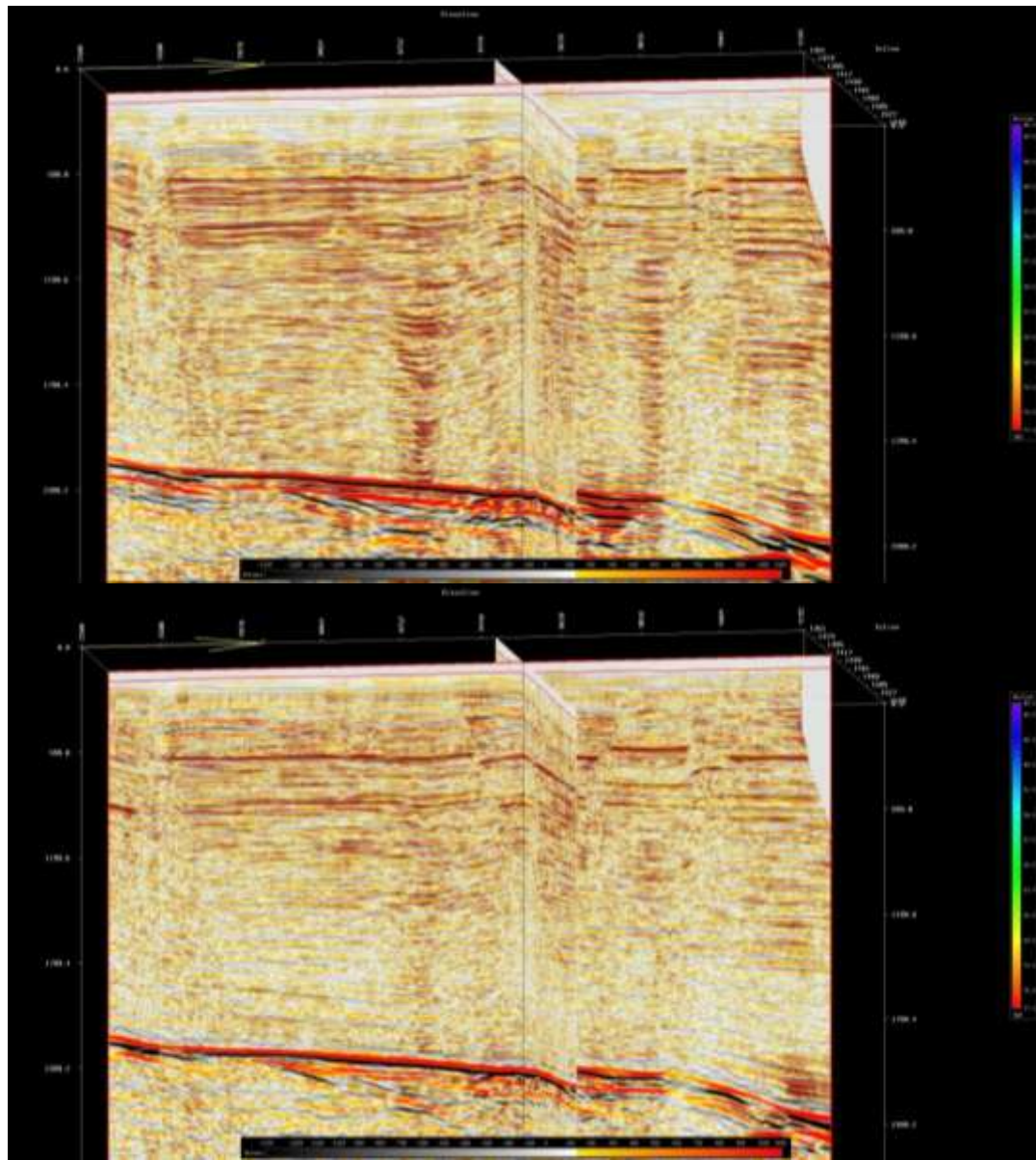


Figura 4.28.Cubo sísmico del área, procesada con la secuencia#2 donde se muestra la inline 1462, la crossline 3430, timeslice2300ms y el fondo marino

En la figura 4.28, se puede apreciar claramente como el dato a nivel somero es muy pobre, evidenciándose lo que se dijo anteriormente de no tener el fondo marino bien definido en la sísmica, también es importante resaltar el incremento que se observa en las amplitudes de los eventos primarios una vez atenuado el evento múltiple, pudiéndose realizar una interpretación estructural con mayor facilidad. Como ya se

dijo anteriormente, los resultados más radicales se observan a nivel de *CMP Gathers*, ya que a nivel de apilado en los datos de entrada gran cantidad de múltiple es suprimido a la hora de sumar las trazas coherentes.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En estos datos en particular, para la obtención de los modelos (SWD y SRME) y el operador de deconvolución, se obtuvieron mejores resultados calculándolos a partir del dato sin ningún proceso anti-múltiple, ya que los mismos requieren del múltiple bien definido.
- En sísmica marina somera, el proceso conocido como SRME no modela bien los múltiples del fondo marino ya que no se tiene el fondo marino bien definido, es mejor acudir a procesos más novedosos y que tardan un poco más de tiempo de computo como el SWD, ya que este a partir del múltiple del fondo marino predice el fondo marino y con el fondo marino ya definido se pueden predecir mucho mejor los múltiples provenientes del mismo.
- Previo al segundo análisis de velocidad, si el dato aun se encuentra con gran cantidad de múltiple, es recomendable aplicar procesos como radon, con un criterio un poco más flexible para así poder eliminar los eventos hiperbólicos más evidentes y poder realizar un mejor análisis, ya que este es de suma importancia para los siguientes procesos.
- El análisis tanto en las autocorrelaciones de los apilados, como en los *gathers* resulto ser una herramienta muy importante para poder determinar que secuencia se adaptaba mejor.
- La secuencia#2, fue aquella en donde se determinaron mejores resultados, conservando mayores amplitudes a nivel de *gathers* y apilados y eliminando gran cantidad de eventos múltiples, ya que en la misma tanto la deconvolución como el SWD se calcularon a partir del dato de entrada.
- La eliminación de eventos de hiperbólicos en la transformada radón arrojo excelentes resultados, no obstante se debe tener muchísimo cuidado en usar este proceso, ya que depende mucho del analista en que se conserven los eventos primarios.
- El análisis de velocidad es un paso muy importante en el procesamiento de datos sísmico, así como también es de gran importancia aplicarlo con gran

criterio previo a los procesos anti-múltiples que dependen de la misma, ya que como se pudo observar un mal análisis de velocidad puede tener consecuencia tanto en la supresión de eventos primarios como en la conservación de algunos eventos múltiples. Con un excelente análisis de velocidad los parámetros a utilizar en la eliminación de eventos parabólicos en la transformada radón podrían ser mucho más ajustados eliminando así mayor cantidad de eventos múltiples.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Berkhout, A. J. and D. J. Verschuur, (1997), Estimation of multiple scattering by iterative inversion, part I: theoretical consideration: Geophysics.

Beasley et al. (1988), "Method of processing seismic data".
<http://www.freepatentsonline.com/4974212.html>.

CGG-VERITAS. Curso CBT (computer-based training). Recuperado en mayo 2012. <http://cbt.cggveritas.com/course/category.php?id=7>.

Dobrin, M., Savit, C., (1998), Introduction to Geophysical Prospecting. McGraw-Hill Book Company, p. 206-207, 239,258.

Hale, I.D.,(1983), "Dip Moveout by Fourier Transformation," Dissertation submitted to Dept. of Geophysics, Stanford U.

Payton, (1975). "Marine 3-D seismic method using source position control." <http://www.freepatentsonline.com/4974212.html>.

Verschuur, D.J., and Kelamis, P., (1997), Surface-related multiple elimination on 3D land data: 67th Annual International Meeting, Society of Exploration Geophysicists.

Verschuur, D.J., Berkhout, A., and Kelamis, P., (1995), Estimation of multiple scattering by iterative inversion-Part II: Examples on marine and land data: 65th Annual International Meeting, Society of Exploration Geophysicist.

Verschuur, D. J., (2006), Seismic multiple removal techniques: past, present and future: EAGE publications b.v. edition.

Yilmaz, O., (1987), Seismic data processing: Society of Exploration Geophysicists, 526 p.