

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**PROCESAMIENTO SÍSMICO 3D ADQUIRIDOS MEDIANTE EL
MÉTODO DE DISTRIBUCIÓN UNIFORME DE TRAZAS EN EL
ESTADO MONAGAS.**

**Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela por el Br.
Carlos F. Agudelo E.
para optar al título de Ingeniero Geofísico**

Caracas, 2007

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**PROCESAMIENTO SÍSMICO 3D ADQUIRIDOS MEDIANTE EL
MÉTODO DE DISTRIBUCIÓN UNIFORME DE TRAZAS EN EL
ESTADO MONAGAS.**

Tutor Académico: Lic. Juan José Infante
Tutor Industrial: Lic. Raúl Torres

Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela por el Br.
Carlos F. Agudelo E.
para optar al título de Ingeniero Geofísico

Caracas, 2007

Caracas, mayo de 2007

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Carlos Fernando Agudelo Escalona, titulado:

“PROCESAMIENTO SÍSMICO 3D ADQUIRIDOS MEDIANTE EL MÉTODO DE DISTRIBUCIÓN UNIFORME DE TRAZAS EN EL ESTADO MONAGAS”

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.
Jurado

Prof.
Jurado

Prof. Juan José Infante
Tutor

Lic. Raúl Torres
Tutor

DECICATORIA

Al Departamento de Geofísica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, por haber permitido la realización de este trabajo.

Al profesor Juan José Infante, tutor académico de este proyecto, por su ayuda e instrucción en el desarrollo de esta secuencia de procesamiento sísmico, realizada en el Centro de Procesos Sísmicos de la Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología Minas y Geofísica.

Al profesor Raúl Torres, por haber aceptado ser el tutor industrial de este Proyecto de Tesis de Grado, además de su paciencia, apoyo incondicional, orientación, estímulo, colaboración y aportes de significativa importancia para el desarrollo del mismo.

A mi hermana, por soportarme cuando más agobiado y cansado estaba, por ser esa persona en quien siempre confiaré y contaré de forma incondicional, por hacerme reír con sus cuentos y anécdotas locos.

A mi madre que siempre estuvo en todo momento para darme la mano cuando la necesitaba incondicionalmente, por escucharme y aconsejarme en momentos de difíciles.

A mi novia, mi bella por apoyarme en todo momento, por estar en las buenas y malas, por obligarme a trabajar en la tesis cuando me ponía flojo.

A los del Centro de Procesamiento Geofísico en GX Technology, por su ayuda incondicional y las respuestas que me dieron cuando más las necesitaba, por hacerme sentir como en casa, Marlin Arocha, Hernando y especialmente a Kenny Rondon por todo su apoyo, consejos, tiempo y dedicación permitiendo la culminación de este proyecto. A gente de Suelopetrol Vicente Oropeza, Victor Rodriguez, por su conveniente orientación metodológica y la enseñanza que me brindaron.

En especial a DIOS quien sin el no hubiese terminado este proyecto.

Carlos F. Agudelo E

Procesamiento sísmico 3D adquiridos mediante el Método de Distribución Uniforme de Trazas en el Levantamiento en el Estado Monagas.

Tutor Académico: Juan José Infante. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología Minas y Geofísica. Año 2007

Palabras Claves: procesamiento, sísmico, método uniforme de trazas, celdas, estáticas, deconvolución, velocidades, apilado, migración.

RESUMEN

En levantamientos sísmicos con objetivos múltiples (someros y profundos) o áreas en las cuales se desconoce a priori la cobertura sísmica necesaria para una relación señal/ruido aceptable, es conveniente disponer de un método de adquisición que permita flexibilidad en las selecciones de los tamaños de las celdas y las coberturas asociadas. En este proyecto de tesis, se presenta una técnica que permite cubrir estos requerimientos. La técnica se basa en el muestreo uniforme en la superficie a intervalos considerablemente menores que la mitad de la distancia entre fuente y receptores. De esta manera, se podrá definir durante el procesamiento de los datos las celdas muy pequeños con baja cobertura y celdas mayores con más altas.

Con el objetivo de procesar un conjunto de datos sísmicos 3D, aplicando el método de distribución uniforme de trazas, se logró procesar en el centro de procesamiento sísmico de Suelopetrol – GX Technology los datos adquiridos en campo. Los datos con los que se proceso fueron prestados por la empresa Suelopetrol.

Para el procesamiento de datos de sísmica se utilizó un paquete comercial (PROMAX, V.7; Landmark Inc.) ampliamente usado en el procesado de la sísmica de exploración petrolera. El proyecto esta conformado por 40 líneas receptoras en 278,85 Km, 18 líneas de disparo en 263,36 Km de líneas de disparo y 3,312 puntos de disparo programados y distribuidos sobre 129 km² de superficie. Para el desarrollo del estudio se trazo una secuencia básica de procesamiento. Este secuencia fue común para cada tamaño de celda que se uso en el estudio (20x32, 25x40 y 30x40).

Cabe de destacar que estas celdas no se encuentran predefinidas en la adquisición, sino son establecidos en el procesamiento de los datos sísmicos, dependiendo a sus dimensiones darán una mejor resolución de los datos.

El método permite combinar para un mismo levantamiento de celdas grandes de altas coberturas con celdas suficientemente pequeños para detalles estratigráficos y buzamientos altos. Además, se puede realizar con un mismo levantamiento un análisis para objetivos someros y profundos, de modo que el diseño puede considerar desde su fase inicial objetivos múltiples. El método también permite que el esfuerzo requerido en el campo es similar al de un levantamiento convencional, asimismo permite hacer levantamiento 3D en áreas exploratorias optimizando recursos y obteniendo altas coberturas sin comprometer gran cantidad de material de grabación, lo que implica una reducción de los costos operativos.

ÍNDICE

	Página
Portada	i
Contra portada	ii
Aprobación	iii
Dedicatoria	iv
Resumen	v
Índice general	vii
Índice de figuras	xi
CAPÍTULO I: Introducción	1
Generalidades.....	1
Objetivos.....	2
Localización.....	2
CAPÍTULO II: Marco geológico	3
2.1 Cuenca Oriental de Venezuela.....	3
2.2 Geología regional.....	5
2.3 Rasgos estructurales regionales.....	10
2.4 Geología local.....	13
2.4.1 Estructuras mayores.....	13
2.4.2 Estructuras menores.....	14
2.4.3 Carácter de las fallas.....	14

	Página
CAPÍTULO III: Marco teórico	16
Introducción.....	16
3.1 Edición.....	18
3.2 Aplicación de ganancias.....	19
3.3 Corrección de amplitud.....	19
3.3.1 Recuperación de amplitudes por divergencia esférica.....	19
3.3.2 Recuperación de amplitudes por ganancia exponencial.....	21
3.4 Deconvolución.....	21
3.4.1 Deconvolución predictiva.....	22
3.5 Aplicación de filtros.....	23
3.5.1 Filtro pasa banda.....	23
3.6 Correcciones estáticas.....	24
3.6.1 Estática de elevación.....	24
3.6.2 Corrección por estática residual.....	25
3.7 Tratamientos de apilamiento.....	27
3.7.1 Ordenamiento cmp.....	27
3.7.2 Análisis de velocidad.....	27
3.8 Migración.....	30
3.8.1 Principio de la migración.....	30
3.8.2 Algoritmo de Kirchhoff de migración en tiempo.....	32
3.9 Resolución.....	33
3.9.1 Resolución vertical.....	34
3.9.2 Zona de Fresnel.....	35
3.9.3 Resolución horizontal.....	36

	Página
3.10 Flexibilidad de la celda.....	37
3.11 Líneas escalonadas (stagger).....	41
3.12 Método de distribución uniforme de traza.....	42
CAPÍTULO IV: Levantamiento del proyecto	46
4.1 Levantamiento sísmico.....	46
4.2 Levantamiento del proyecto.....	47
4.3 Diseño del patch.....	48
4.4 Diseño de la celda.....	50
4.5 Análisis del diseño del levantamiento.....	51
CAPÍTULO V: Procesamiento de los datos sísmicos	57
5.1 Geometría y control de calidad.....	59
5.2 Edición.....	60
5.3 Aplicación de ganancias.....	61
5.4 Corrección de amplitud.....	63
5.5 Deconvolución.....	64
5.6 Aplicación de filtros.....	68
5.7 Correcciones estáticas.....	70
5.7.1 Estática de elevación.....	70
5.7.2 Corrección por estática residual.....	71
5.8 Tratamientos de apilamiento.....	73
5.8.1 Análisis de velocidad.....	73
5.8.2 Apilamiento.....	74
5.9 Migración.....	76

	Página
5.10 Procesamiento con nuevas celdas (25x40 y 20x32).....	77
5.10.1 Apilado con estáticas de elevación.....	80
5.10.2 Apilado residual.....	81
5.10.3 Apilado con DMO.....	82
5.10.4 Apilado con migración.....	83
CAPÍTULO VI: Análisis de los resultados	84
6.1 Análisis de secciones apiladas.....	86
6.2 Análisis de los corte en tiempo (time slice).....	92
6.3 Análisis espectral de frecuencia.....	98
CAPÍTULO VII: Conclusiones y recomendaciones	107
Bibliografía y referencias	108

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
CAPÍTULO II: Marco geológico	
2.1 Cuencas petrolíferas de Venezuela.....	4
2.2 Tabla de correlación de la Cuenca Oriental de Venezuela.....	9
2.3 Corte geológico conceptual noroeste-sureste desde la Plataforma Margarita-Los Testigos hasta el Río Orinoco.....	12
2.4 Principales estructuras geológicas ubicadas en la parte noreste de Venezuela.....	12
CAPÍTULO III: Marco Teórico	
3.1. Secuencia básica de procesamiento de datos sísmicos.....	17
3.2 Edición de trazas.....	18
3.3 Propagación de la onda en el subsuelo.....	20
3.4 Filtros pasa banda.....	23
3.5 Estática de elevación - planteamiento del problema.....	25
3.6 Tiempos de llegada de las reflexiones en el subsuelo desde un nivel de referencia.....	25
3.7 Modelo de las superficies de referencia de los datos sísmicos.....	26
3.8 Simulación de recorrido onda refractada.....	26
3.9 Geometría convencional de los levantamientos sísmicos.....	28
3.10. Registro sintético.....	29
3.11 Principios geométricos de la migración.....	31
3.12 Difractores en profundidad y tiempo.....	32

	Página
3.13 Trayectoria de los rayos desde el punto difractor hasta la superficie.....	34
3.14 Efecto de la disminución de espesores en el subsuelo en la resolución..	35
3.15 Zona de Fresnel.....	36
3.16 Relación entre el tamaño de celda y las líneas escalonadas.....	39
3.17 Fraccionamiento de la celda.....	40
3.18 Esquemas de muestreo en geometría ortogonal.....	40
3.19 Patch sísmico con 10 líneas y 80 canales por línea receptoras.....	44
3.20 Patch sísmico con desplazamiento lineal de las líneas receptoras y líneas fuentes.....	45
3.21 Mapa de cobertura.....	45
3.22 Distribución de offset.....	45
 CAPÍTULO IV: Levantamiento del proyecto	
4.1 Mapa de cobertura del tendido.....	47
4.2 Área cubierta en superficie y de área de cobertura máxima.....	48
4.3 Mapa de cobertura del tendido.....	49
4.4 Diseño del patch.....	49
4.5 Distribución uniforme de los cdp.....	50
4.6 Distancia entre los cdp tanto para las trazas como línea.....	51
4.7 Mapa de cobertura para celda 30x40.....	52
4.8 Mapa de cobertura para celda 25x40.....	52
4.9 Mapa de cobertura para celda 20x32.....	52
4.10 Distribución de offset para celda 20x32.....	53
4.11 Distribución de offset para celda 25x40.....	53
4.12 Distribución de offset para celda 30x40.....	54

	Página
4.13 Distribución de azimunth celda 20x32.....	54
4.14 Distribución de azimunth celda 25x40.....	55
4.15 Distribución de azimunth celda 30x40.....	55
CAPÍTULO V: Procesamiento de los datos sísmicos	
5.1 Mapa de cobertura del tendido.....	58
5.2 Edición trazas.....	61
5.3 Registro sin la aplicación del módulo de ganancia.....	62
5.4 Registro con recuperación de las amplitudes de las trazas.....	62
5.5 Corrección de amplitud por pérdida energética.....	63
5.6 Estudio de autocorrelación.....	64
5.6 Disparo con una longitud de operador de 45 ms.....	65
5.8 Disparo con longitud de operador 90 ms.....	66
5.9 Registro con perdida de la señal y de la resolución.....	67
5.10 Registro con ganancia de señal usando distancia predictiva.....	67
5.11 Aplicación de un balance de amplitud.....	68
5.12 Registro original sin aplicar filtro.....	69
5.13 Registro con filtro.....	69
5.14 Sección sin estática de elevación.....	70
5.15 Sección con estática de elevación.....	71
5.16 Sección sin estática residual.....	72
5.17 Sección con estática residual.....	72
5.20 Mapa de análisis de velocidades.....	73
5.21 Sección apilada luego del preproceso.....	74

	Página
5.22 Sección apilado con estática de elevación.....	75
5.23 Sección apilada con primera iteración.....	75
5.24 Sección apilada con segunda iteración	75
5.25 Sección apilada por DMO.....	76
5.26 Sección migrada.....	77
5.27 Archivo de velocidades para celda 30x40.....	78
5.28 Archivo de velocidad para celda 25x40.....	78
5.29 Archivo de velocidades para celda 20x32.....	78
5.30 Sección apilada para celda 20x32.....	80
5.31 Sección apilada para celda 25x40.....	80
5.32 Sección apilada residual para celda 20x32.....	81
5.33 Sección apilada residual para celda 25x40.....	81
5.34 Sección apilada con DMO para celda 20x32.....	82
5.35 Sección apilada con DMO para celda 25x40.....	82
5.36 Sección migrada para celda 20x32.....	83
5.37 Sección migrada para celda 25x40.....	83
 Capítulo VI: Análisis de los resultados	
6.1 Registro correspondientes a datos en bruto.....	85
6.2 Registro con pre – preproceso.....	85
6.3 Celda 20x32 traza.....	86
6.4 Celda 25x40 traza.....	86
6.5 Celda 30x40 traza.....	87
6.6 Celda 20x32 línea.....	87

	Página
6.7 Celda 25x40 línea.....	88
6.8 Celda 30x40 línea.....	88
6.9 Sección apilada con un tamaño de celda 20x32.....	89
6.10 Estudio de frecuencia para celda 20x32.....	89
6.11 Sección apilada con un tamaño de celda 25x40.....	90
6.12 Estudio de frecuencia para celda 25x40.....	90
6.13 Sección apilada para celda 30x40.....	91
6.14 Estudio de frecuencia para celda 30x40.....	91
6.15 Corte a 600 ms para celda 30x40.....	92
6.16 Corte a 1200 ms para celda 30x40.....	93
6.17 Corte a 3100ms para celda 30x40.....	93
6.18 Corte a 4100 ms para celda 30x40.....	94
6.19 Corte a 600 ms para celda 25x40.....	94
6.20 Corte a 1200ms para celda 25x40.....	95
6.21 Corte a 3200 ms para celda 25x40.....	95
6.22 Corte a 4200 ms para celda 25x40.....	96
6.23 Corte a 500 ms para celda 20x32.....	96
6.24 Corte a 900 ms para celda 20x32.....	97
6.25 Corte a 1200 ms para celda 20x32.....	97
6.26 Corte a 1500 ms para celda 20x32.....	98
6.27 Análisis espectral de frecuencia para un área somera (20x32).....	99
6.28 Análisis espectral de frecuencia para un área profunda (20x32).....	99
6.29 Análisis espectral de frecuencia para un área somera (25x40).....	100

	Página
6.30 Análisis espectral de frecuencia para un área profunda (25x40).....	100
6.31 Análisis espectral de frecuencia para un área somera (30x40).....	101
6.32 Análisis espectral de frecuencia para un área profunda (30x40).....	101
6.33 Frecuencia para zona somera celda 20x32.....	103
6.34 Frecuencia para zona profunda celda 20x32.....	103
6.35 Frecuencia para zona somera celda 25x40.....	103
6.36 Frecuencia para zona profunda celda 25x40.....	103
6.37 Frecuencia para zona somera celda 30x40.....	104
6.38 Frecuencia para zona profunda celda 30x40.....	104
6.39 Resolución somera para celda 20x32.....	105
6.40 Resolución somera para celda 30x40.....	105
6.41 Resolución profunda para celda 20x32.....	106
6.42 Resolución profunda para celda 25x40.....	106
6.43 Resolución profunda para celda 30x40.....	106

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la industria petrolera, el procesamiento de las ondas sísmicas ha contribuido al desarrollo de la exploración de hidrocarburos, constituyéndose como la principal herramienta usada por los geofísicos a la hora de proponer nuevas localizaciones y yacimientos.

Es por ello que durante la secuencia básica de procesamiento son muchos los aspectos teóricos y prácticos que se deben tener en cuenta, dado que pudiesen presentar problemas muy propios, como las condiciones geológicas de la zona en la que se está trabajando. El procesamiento de datos sísmicos constituye la segunda fase del estudio de prospecciones sísmicas y consiste en presentar los datos en una forma más adecuada para su interpretación geológica. Dicha fase se puede definir como una secuencia rutinaria de manejo de datos sísmicos para obtener una sección o producto final (Salvador, 2001). El procesamiento de datos puede ser afectado por distintos parámetros de adquisición como por ejemplo, la grabación para obtener el punto común en profundidad (CDP), o punto medio en profundidad (CMP).

El éxito práctico de las técnicas de cobertura múltiple, especialmente su capacidad de destacar los eventos de reflexión aún en levantamientos extremadamente ruidosos, permite obviar durante mucho tiempo las fuertes hipótesis que sustentan el concepto de CDP y las técnicas de cobertura múltiple. Vale decir, el concepto de CDP es estrictamente válido para estratificación horizontal plana, condición raramente encontrada en la práctica. La introducción del concepto de dip move out, permite remover la restricción de capas durante la suma de trazas sísmicas. El proceso es equivalente a una migración parcial antes del apilamiento. Por otro lado, las limitaciones computacionales que presentan las técnicas de migración en tiempo y profundidad antes del apilamiento están siendo superadas rápidamente, lo cual permite predecir un abandono gradual del concepto de CDP, surgiendo así otros métodos de adquisición que resultan ser más óptimos que el anterior, como es el método de distribución uniforme de trazas y el método de línea escalonada (stagger).

Estos métodos son más eficientes dado que no restringe el tamaño de celda o la magnitud del apilamiento múltiple tal como se hace al utilizar el CDP.

Además mediante estas técnicas se puede producir un fraccionamiento de la celda para geometrías ortogonales y mediante el método de líneas escalonadas (stagger) de las líneas receptoras y de disparos en cantidades menores a la distancia entre fuente y receptor. Este método puede definir el tamaño de celda como cualquier área con lados que son múltiplos enteros del espaciamiento uniforme de los puntos medios fuente-receptor, los cuales se distribuyen uniformemente en el área del levantamiento.

La presente de tesis mostrará los resultados obtenidos al procesar un conjunto de datos sísmicos 3D, usando varios tipos de celda: 20x32, 25x40 y 30x40 aplicados al método de distribución uniforme de trazas. Estos tamaños de celdas darán una mejor resolución de los datos de acuerdo a la dimensión del tamaño y dependiendo del enfoque que se desee hacer el estudio, ya bien sea somero o profundo.

El trabajo estará comprendido en tres etapas primordiales. La primera estará basada en el procesamiento de los datos 3D, cuyo flujo de procesamiento será igual para el procesamiento de los tres tamaños de celdas (20x32, 25x40 y 30x40). La segunda etapa estará constituida por la evaluación de un postproceso a las secciones obtenidas mediante el uso de algunos atributos sísmicos (frecuencia y amplitud), finalmente la última etapa corresponde al análisis de los resultados obtenidos para cada tamaño de celda y determinar que modelo es el mejor para el estudio (somero o profundo).

Este trabajo se realizó en la empresa Suelopetrol - GX Technology y la Universidad Central de Venezuela. Los datos que se usaron fueron un conjunto de datos 3D adquiridos en el estado de Monagas. Para el procesamiento de estos datos se uso una estación de trabajo marca IBM con sistema operativo es UNIX y el programa que se uso para el procesamiento fue Promax, de por la compañía Landmark.

CAPÍTULO 2

MARCO GEOLÓGICO

2.1 Cuenca Oriental de Venezuela

La zona donde se realizó el estudio sísmico 3D fue al Sur-Oeste del estado Monagas, entre los estados Anzoátegui y Monagas, ubicado al sur de la cuenca Oriental de Venezuela.

La cuenca Oriental de Venezuela se ubica en la zona centro-este de Venezuela la cual forma una depresión topográfica y estructural, que se encuentra limitada al sur por el curso del río Orinoco desde la desembocadura del río Arauca hacia el Este hasta Boca Grande, siguiendo de modo aproximado el borde septentrional del Cratón de Guayana; al oeste por el levantamiento de El Baúl y su conexión estructural con el mencionado cratón, que sigue aproximadamente el curso de los ríos Portuguesa y Pao y al norte, por la línea que demarca el piedemonte meridional de la Serranía del Interior Central Oriental. (González de Juana, 1980).

Según González de Juana, la cuenca continua por debajo del Golfo de Paria hacia el este, incluyendo la parte situada al sur de la cordillera Septentrional de la isla de Trinidad, y se hunde en el Atlántico al este de la isla del delta del Orinoco. Esta depresión tiene una longitud aproximada de 800 km en sentido oeste-este, un ancho promedio 200 km de norte a sur y un área total aproximada de 165.000 km² en los estados Guárico, Anzoátegui, Monagas y Territorio Delta Amacuro. La cuenca es asimétrica, con su flanco sur ligeramente inclinado hacia el norte y un flanco norte más tectonizado y con mayores buzamientos.

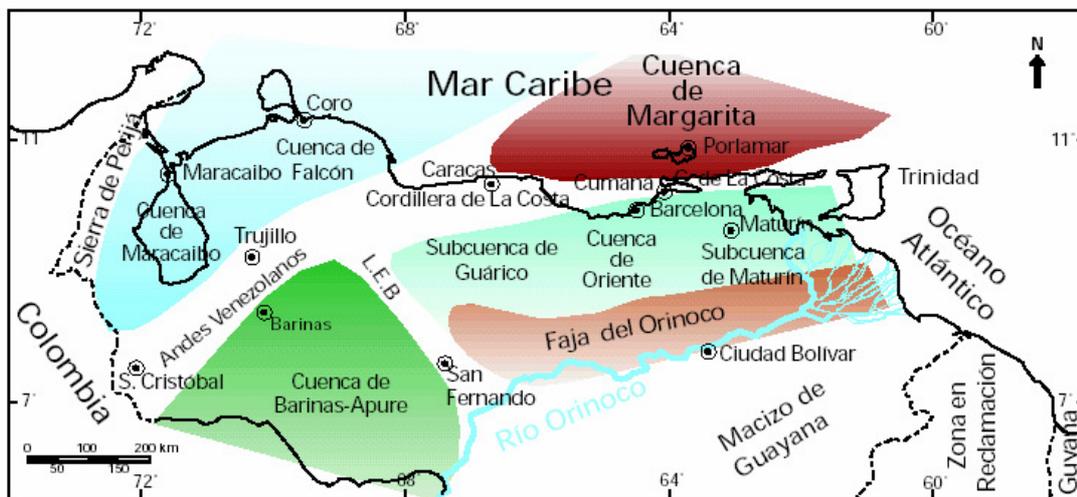


Figura 2.1.- Cuencas petrolíferas de Venezuela, (Modificado de Pérez de Mejía, 1980).

En los últimos años se han efectuados programas exploratorios en diversas áreas de interés de la cuenca Oriental con resultados muy exitosos, que la colocan en una posición de gran importancia, tanto por las reservas de petróleo crudo pesado descubiertos en la Faja Petrolífera del Orinoco hacia el Flanco sur de la cuenca, como por los recientes descubrimientos de crudo mediano, liviano y condensado. (Fernandes, 2002)

En cuanto al Norte de Monagas, se consideró de interés para la búsqueda de hidrocarburos desde el inicio de las actividades exploratorias en Venezuela a comienzos del siglo, debido a la existencia de numerosos manaderos de petróleo en la región. En un principio el esfuerzo de la perforación exploratoria se orienta predominantemente a la búsqueda de prospectos poco profundos del Terciario Tardío en el piedemonte de la serranía. Esta actividad originó el descubrimiento de los campos como el de Quiriuire (1928) Orocuai (1933), Jusepín (1938) y Manresa (1954).

2.2 Geología Regional

La cuenca Oriental es la segunda en magnitud de América del Sur por sus recursos Hidrocarburíferos (González de Juana, 1980), y probablemente constituya el área petrolífera más importante del país debido a la relevancia de los resultados obtenidos en el desarrollo de los campos El Furrial, El Carito, Mulata y Santa Bárbara en el norte de Monagas, constituyendo en la actualidad uno de los cuatro campos gigantes descubiertos desde 1980 en el norte de Sudamérica.

La columna sedimentaria consta casi exclusivamente de arenisca y lutitas, con edades que van desde el Cámbrico Temprano al Pleistoceno. La cuenca es asimétrica, con el flanco sur buzando suavemente hacia el norte que es interceptado por una zona de complejas perturbaciones tectónicas y plegamientos, que constituyen el flanco norte. Toda la cuenca se inclina hacia el este, de manera que la parte más profunda de ella se encuentra al noroeste, hacia Trinidad, donde se estima que puede haberse acumulado 12000 m de sedimentos. (González de Juana, 1980)

En la cuenca Oriental se encuentran localizadas distintas formaciones geológicas. A continuación se presenta una descripción básica de cada formación resaltando los aspectos más relevantes.

Formación Mesa: Cuaternario (Pleistoceno). Esta formación consta de arenas de grano grueso y gravas, con cemento ferruginoso cementadas y muy duras; conglomerados y arenas. El espesor de esta formación es muy variable, disminuye de norte a sur, como consecuencia del cambio en la sedimentación fluvio-deltáica y aumenta de oeste a este, por el avance de los sedimentos deltáicos. Los sedimentos gradan de norte a sur, de más gruesos a más finos al alejarse de las cadenas montañosas del norte; desde la parte central de Monagas al macizo de Guyana, gradan de más finos a más gruesos. (González de Juana, 1980).

En la Mesa de Maturín, la Formación Mesa tiene un espesor máximo de 275 m. Suprayace en contacto concordante y transicional, a la Formación Las Piedras (Plioceno). La Formación Mesa se extiende por los llanos centro-orientales y orientales (estados Guárico, Anzoátegui, Monagas). Se encuentran algunos afloramientos en los estados Sucre y Bolívar, inmediatamente al sur del río Orinoco.

La Formación Las Piedras: Según González de Juana (1980), define esta formación como una localidad caracterizada por areniscas micáceas, friables, de grano fino y colores gris claro a gris verdoso, interlaminada con lutitas gris a verdoso, lutitas ligníticas y lignitos. La formación tiene 1005 m de espesor, el cual aumenta hacia el eje de la cuenca de Maturín, hasta un máximo probable de 1370 m (L.E.V., 1970). Hacia los flancos de la cuenca, el espesor disminuye aproximadamente a la mitad. En cuanto a los miembros Prespuntal y Caicaito, sus espesores en el área tipo San Mateo-Cantaura, son de 457 y 305 m, respectivamente. La edad indicada de esta formación es entre Mioceno tardío a Plioceno. Esta formación se prolonga hacia el este hasta Pedernales, estado Delta Amacuro y el golfo de Paria, hacia el sur de la cuenca es concordante sobre la Formación Freites.

La Formación Freites : Terciario (Mioceno Medio a Mioceno Tardío basal). La Formación Freites, constituye el sello principal de los reservorios petroleros de la Formación Oficina en el Área mayor de Oficina, y contiene en su parte inferior arenas productoras de hidrocarburos. Según González de Juana observaron que la formación se vuelve más arenosa en cuanto más se adelgaza en el área Cerro Negro de la Faja Petrolífera del Orinoco. Las variaciones verticales en el contenido de arcilla, lutita, limo y siderita permiten una correlación extraordinaria, sobre la mayor parte del flanco sur de la cuenca, por variaciones en la curva de resistividad amplificada de los perfiles eléctricos. Esta formación se prolonga, en el subsuelo, a través de todo el flanco sur de la subcuenca de Maturín casi hasta el río Orinoco.

Hedberg menciona espesores de 335 m a 610 m desde el campo Yopales hacia los campos de Guara Oeste, Nipa y Leona Norte. Funkhouser (1948) reportaron un espesor de 792 m en la carretera de Aragua de Barcelona. En el área Cerro Negro, la formación se reduce desde 550 m en el norte a 73 m en el sur.

Hacia el margen sur de la cuenca cercana a la Faja Petrolífera del Orinoco, la Formación Freites disminuye de espesor a medida que se hace más arenosa, lo que hace más difícil su diferenciación de las formaciones Oficina y Las Piedras. Las lutitas y arcillas de la formación Oficina en el Área Mayor de Oficina, y contiene en la parte inferior, arenas productoras de hidrocarburos en algunos campos de la parte sur y media de esta área.

La Formación Oficina: Terciario (Mioceno Temprano - Medio). Esta formación es roca reservorio por excelencia, posee las arenas que son consideradas como los principales yacimientos en la mayoría de los campos de la Cuenca Oriental, debido a su cuantiosa producción petrolífera, su gran número de areniscas y a una variedad de tipos areniscas-recipiente.

La formación oficina consiste en una alternancia de lutitas intercaladas e interestratificadas con areniscas y limolitas. Las areniscas se hacen más abundantes, de mayor espesor y de grano más grueso hacia la base de la formación.

La Formación Oficina pasa lateralmente a la Formación Carapita y a la parte media y superior de la Formación Chaguaramas. Por otra parte, su edad es considerada del Mioceno Inferior a Medio (Gonzales de Juana et al., 1980).

La sedimentación de la Formación Oficina se inicia en condiciones de aguas dulces o salobres, continuando con repetidas alternancias de ambientes marinos someros, salobres y pantanosos; en general, las condiciones se hacen más marinas de oeste a este y de sur a norte. González de Juana (1980)

La Formación Merecure: Terciario (Oligoceno-Mioceno Temprano). Según Funkhouser alega que la formación se compone más del 50% de areniscas, masivas, mal estratificadas y muy lenticulares, incluso conglomerática.

Esta Formación es de origen fluvio-deltaico, constituida litológicamente por una secuencia de cuerpos arenosos generalmente masivos, separados por lutitas delgadas, Las arenas de esta Formación presentan coalescencias en la zona de interés, lo que la hace más difícil de correlacionar.

El espesor máximo de 520 m. La formación se adelgaza hacia el sur hasta acunarse, por debajo de la Formación Oficina, en los límites sur del área mayor de Oficina. Se presume una marcada discordancia basal por encima del Grupo Temblador del Cretácico. El contacto superior con la Formación Oficina es de aparente concordancia. La Formación Merecure representa, junto con la Formación Oficina, las principales unidades productoras de hidrocarburos en la cuenca Oriental.

La Formación Querecual Esta formación esta constituida de calizas arcillosas con estratificación delgada, laminada, carbonácea-bituminosas y lutitas calcáreas. (Hay y Aimard, 1977). El contraste litológico con las unidades del Grupo Sucre infreyacente (Gonzalez de Juana et al., 1980) y es concordante con las Formaciones Chimada o El Cantil.

Su contacto superior es concordante y transicional con la Formación San Antonio. La Formación Querecual grada lateralmente hacia el sur, en el subsuelo de la Cuenca Oriental, a la Formación Tigre del Grupo Temblador, con un aumento progresivo del contenido de areniscas hacia el sur.

El ambiente característico de esta formación es de un ambiente marino de poca profundidad en el subsuelo del norte de Anzoátegui, la cual la restringe al talud medio a inferior (margen pasivo), para los afloramientos del sur y este de la Serranía del Interior.

Esta Formación tiene una edad asociada de Albiense tardío-Cenomaniense temprano (Guillaume et al., 1972); sin embargo, González de Juana (1980) se inclina por una edad Turoniense-Coniaciense con probable extensión al Santoniense.

Formación Hato Viejo: Paleozoico (Cámbrico). La unidad es esencialmente una arenisca que en algunos casos contiene conglomerados. El espesor máximo penetrado es de unos 91 m. La formación infrayace a la Formación Carrizal. El ambiente de sedimentación es continental, y sus sedimentos representan el relleno de cuenca (facies fluvial y/o piedemonte) de una fase erosiva, contemporánea o subsiguiente a un período de intensa actividad tectónica. (LEV, 1999).

Grupo Temblador: Cretácico tardío. Hedberg (1942) introdujo brevemente el nombre Formación Temblador, para designar las capas del Cretácico presentes en el subsuelo en el sur de los estados Monagas y Anzoátegui.

A continuación se muestra la disposición espacial en la que se presentan las distintas formaciones ya señaladas anteriormente, las cuales constituyen la columna sedimentaria que se ha podido penetrar por los pozos de la zona son: Mesa, Las Piedras, Freites, Oficina, Merecure, Grupo Temblador, Carrizal y Hato Viejo.

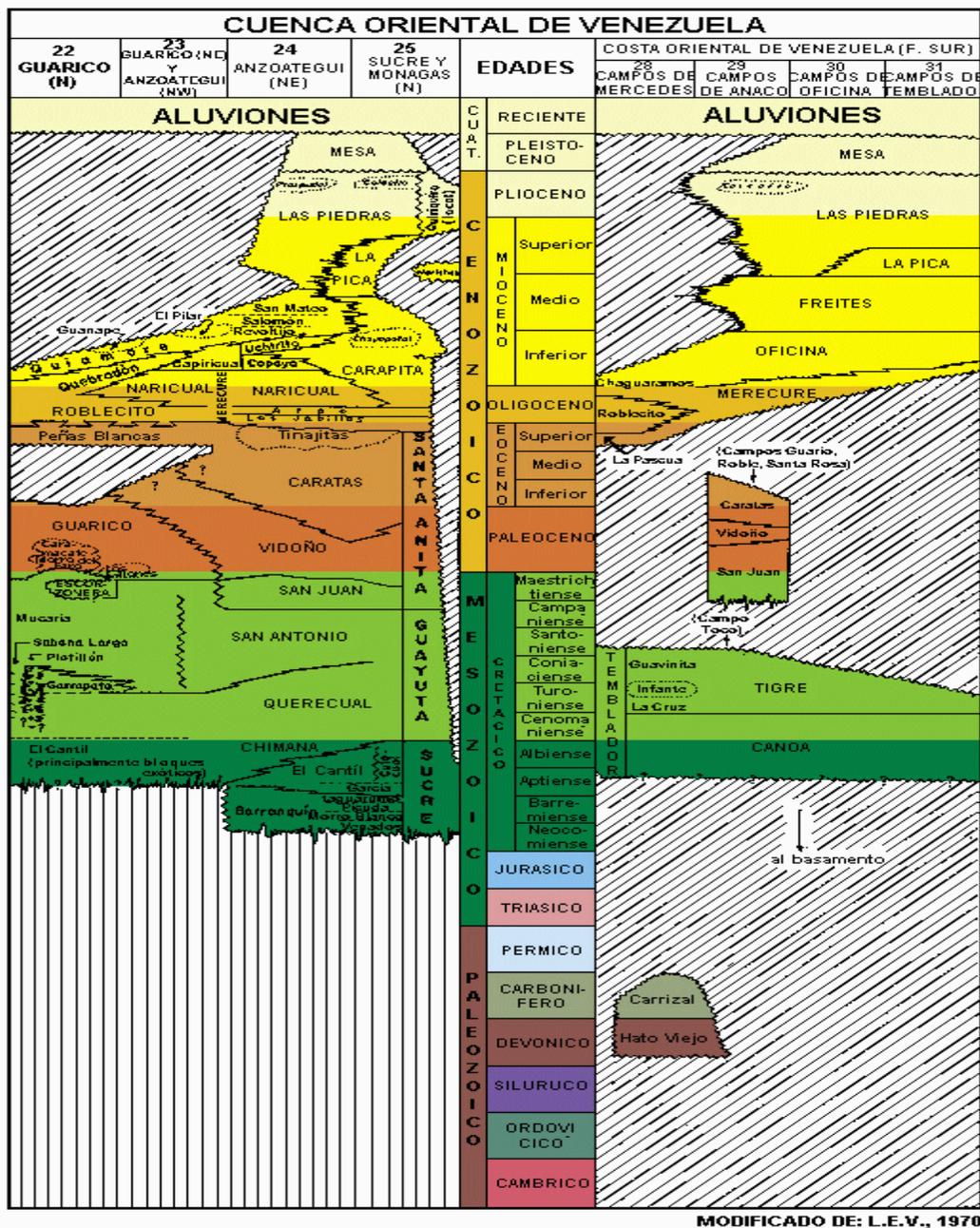


Figura 2.2.- Tabla de correlación de la Cuenca Oriental de Venezuela. Tomado de LEV, 1999.

2.3 Rasgos estructurales regionales

La Cuenca Oriental de Venezuela es una depresión estructural limitada al sur por el extremo norte del cratón de Guayana, al norte por el cinturón de fallamiento y plegamiento de la Serranía del Interior Central y Oriental, y al oeste por el alto estructural de El Baúl. Terciario Superior. La cuenca forma parte de un FORLAND involucrado en el cinturón de plegamiento y corrimiento asociado al emplazamiento de los terrenos caribe al norte de Suramérica.

De esta forma la cuenca Oriental de Venezuela esta forzada por distintas estructuras teniendo como resultado una cuenca asimétrica, el flanco sur levemente inclinado hacia el norte y el flanco norte con mayor buzamiento. Las estructuras más relevantes que influyen en la cuenca son:

Falla de Urica: según Rod (1956) define esta falla como un lineamiento transcurrente de componente dextral ubicado desde la zona petrolera de Tacata, siguiendo por la línea fronteriza de los estados Anzoátegui y Monagas hasta el NE de la población de Urica. Tiene aproximadamente 10 km de ancho, se extiende desde unos 100 km al NW de Barcelona hasta las cercanías de Tucupita sobre una distancia de 400 km.

Falla de San Francisco: esta falla comienza al norte de Cumanacoa con un rumbo N56°W cambiando a N85°W entre Guamaguama y Río Chiquito. Rosales (1972). El plano de falla es vertical hasta el campo de Quiriquire donde se embrolla con el corrimiento de Pirital. El desplazamiento de transcurrencia oscila entre 18 y 30 km., esta falla separa la Serranía del Interior Oriental, en áreas de evolución estructural diacrónica.

Fallas Normales en el Flanco Sur: En el flanco sur hay un sistema de fallas normales de rumbos aproximados este-oeste y buzamientos variables, productos de la carga tectónica proveniente de NW que generó el levantamiento del margen cratónico al sur, provocando un régimen extensional. Las fallas más importantes son: Tucupita, Pilón, Jobo Temblador, Merey-Oritupano, Guara-Leona y Soto-Zapatos.

Corrimiento Frontal de Guárico: este sistema de corrimientos se encuentra ubicado al norte de la cuenca con una longitud de 400 km, y representa el límite septentrional del sector noroeste de la cuenca oriental de Venezuela. Está segmentada por fallas oblicuas de dirección noroeste-sureste, con movimiento transcurrente dextral.

Sistema de Corrimientos Frontales de Anzoátegui y Guárico: Este sistema de corrimientos se extiende hacia el sur de la Serranía del Interior Oriental por debajo de planicies con anchura de 15 y 40 km, y una longitud aproximada de 150 km. Se pueden identificar varios corrimientos de rumbo este-oeste de 52 km de extensión que llegan hasta la falla de Urica. Al norte de los corrimientos se encuentran los campos de la Vieja y la Ceiba.

Corrimiento de Pirital: Se encuentra en la parte meridional de la Serranía del Interior (González de Juana, 1980). Según Sisto (1961) define la falla inversa de Pirital como un cabalgamiento de sedimentos Cretácicos hasta el Oligoceno sobre la Formación Carapita. Este corrimiento es producto del emplazamiento progresivo de varios compartimientos alóctonos de la Serranía, produciendo el principal acortamiento Norte-Sur.

Corrimientos de Anaco: Esta estructura tiene una longitud de 85 Km. Atraviesa la parte central de la cuenca con rumbo aproximado N40°E y buzamiento de 45 grados al noroeste. El corrimiento es una estructura joven que tiene un desplazamiento de unos 4000', y localmente pone en contacto el Mioceno inferior con Mio-Plioceno. El levantamiento de Anaco comprende varios domos asimétricos y algunas fallas normales, alineadas, sub-paralelas al levantamiento y con buzamiento al sureste. En el lado norte se encuentran cuatro campos petroleros relacionados estrechamente con el corrimiento.

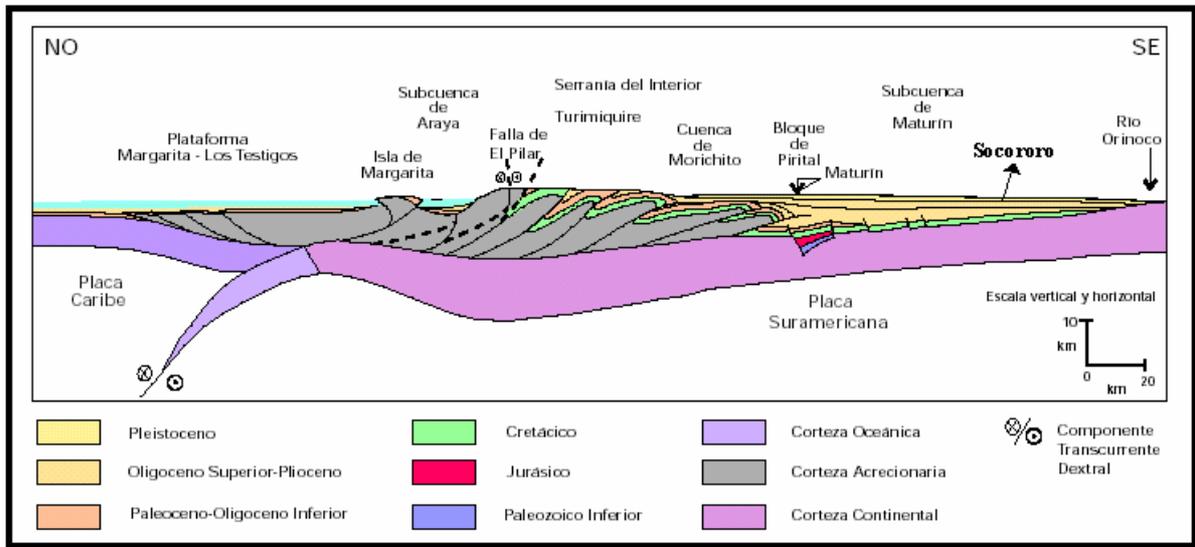


Figura 2.3.- Corte geológico conceptual noroeste-sureste desde la Plataforma Margarita-Los Testigos hasta el Río Orinoco. El flanco norte de la Subcuenca de Maturín asociado a los frentes de corrimiento bloques corticales, desplazados hacia el sur por la colisión entre las placas Caribe y Suramericana. (Schlumberger, 1997).

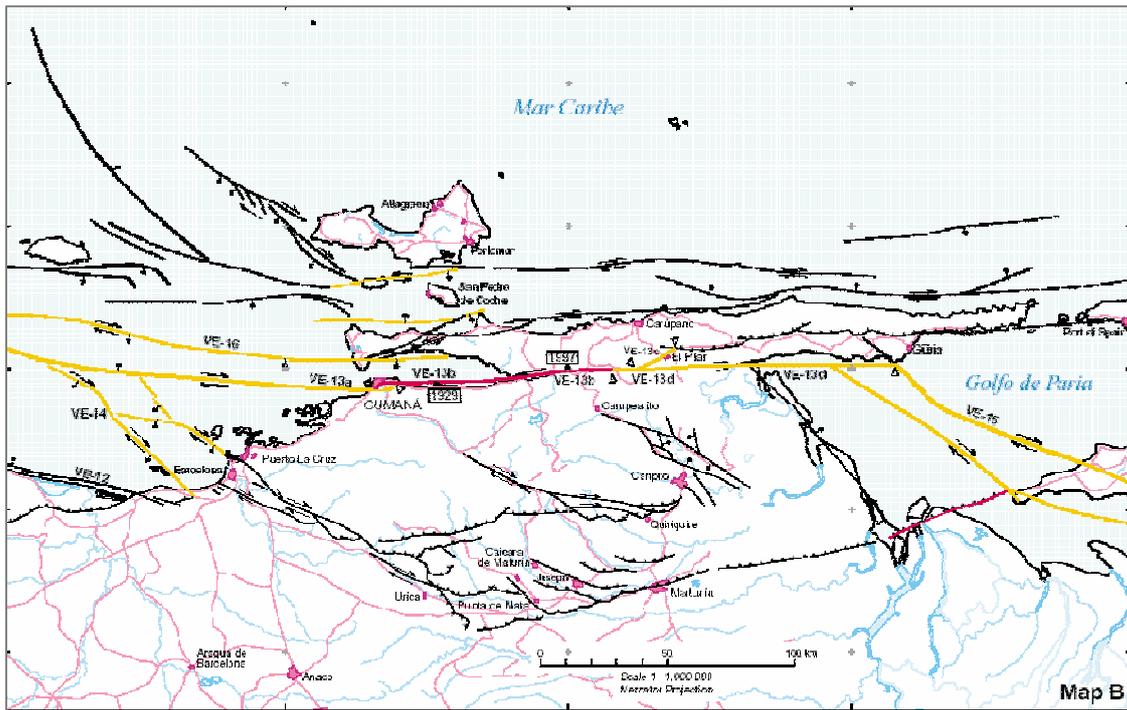


Figura 2.4 Muestra las principales estructuras geológicas ubicadas en la parte noreste de Venezuela . 1. Corrimiento Frontal Anzoátegui-Monagas, 2. Falla Los Bajos, 3. Falla de Urica, 4. Corrimiento de Pirital, 5. Falla de San Francisco, 6. Falla El Pilar, 7. Corrimiento Frontal de Guárico, 8. Falla de San Sebastián. (Tomado y modificado de Funvisis, 2005)

2.4 Geología local

En términos generales, la zona bajo estudio presenta un homoclinal suave de baja pendiente que se profundiza hacia el norte. Este homoclinal se encuentra notoriamente segmentado por un sistema de fallas normales de rumbo aproximado E-O.

En general el rumbo del homoclinal se presenta oblicuo al conjunto de fallas y su mayor inclinación se observa entre las áreas de Nardo-Oscurote y de Zeta donde la estructura pasa gradualmente desde una profundidad de 6.000 pies (1980 m) hasta 12.500 pies (4.125 m) con un insinuante aumento de estos valores en la dirección NE.

Además de las fallas regionales es posible observar un conjunto de estructuras menores que agrupa a un segundo sistema de fallas, más difuso y restringido que el anterior y algunos domos o altos estructurales de pequeña extensión producto de un suave plegamiento, confinados entre fallas mayores.

La descripción detallada de cada estructura se realiza a continuación.

2.4.1 Estructuras mayores: sin alguna duda, el rasgo estructural que más destaca sobre el área en estudio lo constituye el *TREND* principal de fallas normales, sinuosas y de notable extensión y continuidad.

Las fallas poseen una marca tendencia regional E-O aunque localmente presentan rumbos aproximados N30°E. Esta manera en que se dispone, así como el carácter extensional de las mismas permite establecer su vínculo con el sistema regional de fallas del flanco sur descrito previamente.

Sus longitudes son significativas, con valores que oscilan entre 20 y 24 Km e incluso, distancia mayores a 40 Km observables sobre el sector medio de Soto, Zeta y Mata Este. EL buzamiento puede ser tanto al norte como al sur, y presentan saltos verticales que varían entre 20 pies (6.6 m) y 100 pies (33 m) aproximadamente; estos últimos muy comunes hacia la zona de Mata Este.

Las fallas muestran un marcado control estructural sobre el conjunto de acumulaciones petrolíferas que se encuentran en el área. En general, la mayoría de los

yacimientos se disponen sobre el bloque norte de las mismas y con sus mayores dimensiones paralelas a la dirección de callamiento principal.

2.4.2 Estructuras menores: El conjunto de estructuras menores se encuentra constituido por un sistema de fallas secundario asociados al sistema principal y por algunos altos estructurales de forma cómica.

El sistema de fallas secundario posee una expresión marginal o escasa y se caracteriza por un conjunto de dislocaciones aproximadamente rectas, con rumbo N60°O, desplazamiento normal y extensión limitada a valores máximos de 3 Km. Su vinculación con el sistema de fallas principales es notoria, así como su influencia en las condiciones de entrapamiento en las acumulaciones petroleras del área.

Finalmente existe un conjunto de estructuras cómicas o pequeñas altos estructurales ocasionalmente simétricos, normalmente alargados y con desniveles máximos de unos 200 pies (66 m). Estos domos se disponen preferencialmente en los cuadrángulos de Soto, Nardo-Oscurote y Mata Este.

Los domos de Soto se presentan alineados en dirección aproximada N N-O, mientras que Nardo-Oscurote y Mata. Este la disposición es notoriamente E-O. Sin embargo, en ambos casos, el eje de los mismos marca una tendencia paralela a sub-paralela con la dirección de los contornos estructurales del homoclinal.

Estas estructuras no presentan ninguna asociación con los actuales yacimientos del área, por lo que hasta el presente carecen de importancia como elementos trampa.

2.4.3 Carácter de las fallas como elementos trampa: Como ya se ha indicado una notable vinculación entre el sistema de fallas presentes en el área en estudio y la acumulación de hidrocarburo allí observada. En realidad, esta vinculación no se restringe a una escala local y ésta muy bien documentada como una característica regional observable en el flanco sur de la cuenca.

La eficiencia de las trampas ya ha sido analizada por otros autores quienes han destacado su papel en la distribución vertical de hidrocarburo y en el proceso de migración de otros fluidos.

Según algunos datos recogidos por varios estudios realizados, se puede ver que existe un mayor efecto de entrapamiento en las fallas que buzcan hacia al sur que en las que buzcan al norte.

Sin embargo es conveniente recordar que la efectividad puede estar condicionada al mayor número de fallas con desplazamiento al sur en toda el área, lo que definitivamente predispone la disposición de las acumulaciones de los yacimientos y de los campos.

Por último, la distribución en la columna litológica del volumen y de la gravedad API de los hidrocarburos favorece la hipótesis de un sistema de alimentación de las trampas desde niveles inferiores. Las fallas han podido actuar como canales permeables facilitadores de esta migración ascendente que no es posible justificar en base a consideraciones litológicas sobre los cuerpos de arena, entre otras cosas, por la geometría lenticular aislada de los mismos.

CAPÍTULO 3

MARCO TEÓRICO

El procesamiento de datos sísmicos es la segunda fase del método sísmico de reflexión y consiste en presentar los datos en una forma más adecuada para su interpretación geológica. Dicha fase se puede definir como una secuencia rutinaria de manejo de datos sísmicos para obtener una sección o producto final. Las estrategias para el procesamiento de datos sísmicos, son sensiblemente afectadas por los parámetros de adquisición de campo. La grabación para obtener el “punto común en profundidad” (CDP), o “punto medio en profundidad” (CMP), es la técnica más extensamente usada en la adquisición de datos sísmicos. Con ésta se obtiene información redundante, medida en términos de “cobertura” (número de trazas por cdp), lo cual mejora la calidad de la señal sísmica. Una alta o baja cobertura genera la necesidad de que los datos sísmicos sean tratados diferentemente; de esto dependerá la calidad de la sección sísmica que se obtenga al final del procesamiento.

Por otro lado, las condiciones en superficie condicionan fuertemente la calidad de los datos adquiridos en campo. Las restricciones ambientales (ríos, quebradas, lagunas) y demográficas (caseríos o zonas urbanas), pueden tener un importante efecto en la calidad y cantidad de los datos obtenidos en campo.

Condiciones adversas, como las atmosféricas, adyacencia de vialidad de alta circulación vehicular, caminos rurales, ganado o animales caminando cerca de los receptores, estaciones de bombeo de gas, agua o petróleo, plantas generadoras de electricidad y las intrínsecas, propias de los equipos de grabación, deben ser tomadas en cuenta durante la grabación de los datos sísmicos en el campo, pues éstas, afectan notablemente su calidad.

En consecuencia, el analista geofísico, sólo podrá suprimir la mayor cantidad de ruido y mejorar la señal sísmica durante el procesamiento. Depurar esta señal constituye un reto, aún para un analista sísmico con experiencia.

Adicionalmente a los parámetros de adquisición de campo, el procesamiento de datos sísmicos resulta dependiente de las herramientas usadas para ello, teniendo un gran peso para el procesamiento de los datos, tres principales pasos, los cuales son: deconvolución, apilado y migración.

El objetivo del procesamiento de datos sísmicos de reflexión es mejorar la calidad de los mismos y presentarlos en una forma conveniente para su interpretación. Como todo proceso que se cumpla en etapas o fases y sea ejecutado secuencialmente, una secuencia de procesamiento de datos sísmicos (básica o no) se puede representar y detallar mediante un diagrama de flujo, como el mostrado en la figura 3.1

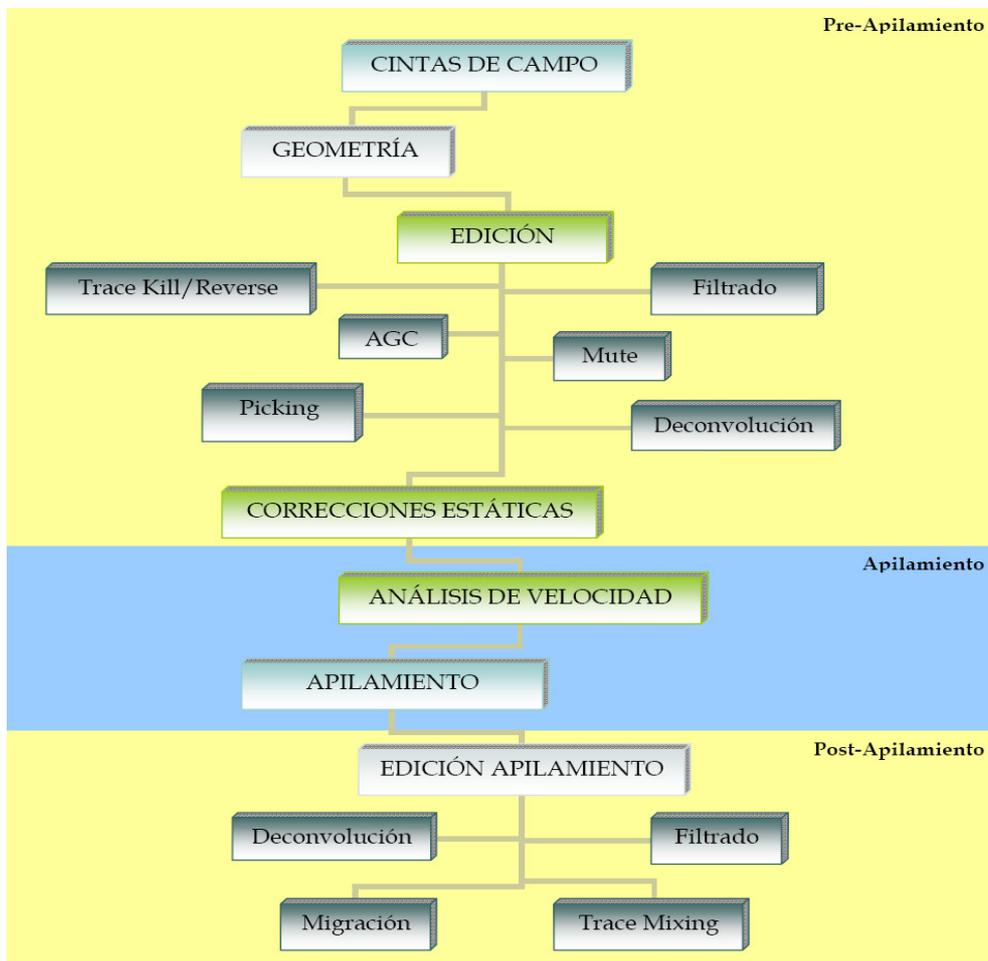


Figura 3.1. Diagrama de flujo, ilustrativo de una secuencia básica de procesamiento de datos sísmicos.

3.1 Edición

Después de cumplir con la fase de geometría, generalmente se ejecuta la etapa de edición, donde se eliminan los registros o trazas malas o no deseadas, producto de geófonos dañados o desactivados por problemas en la adquisición, lo cual puede afectar significativamente la calidad del resultado final del procesamiento, (figura 3.2). Este también es un proceso gráfico que se puede realizar a través de la pantalla del monitor de la estación de trabajo, donde el programa destinado para este fin grabará en el encabezado de cada traza o registro no deseado (editado) un código interno o marca, la cual servirá para reconocer y excluir estas trazas de las diferentes etapas de análisis, sucesivas en el procesamiento.

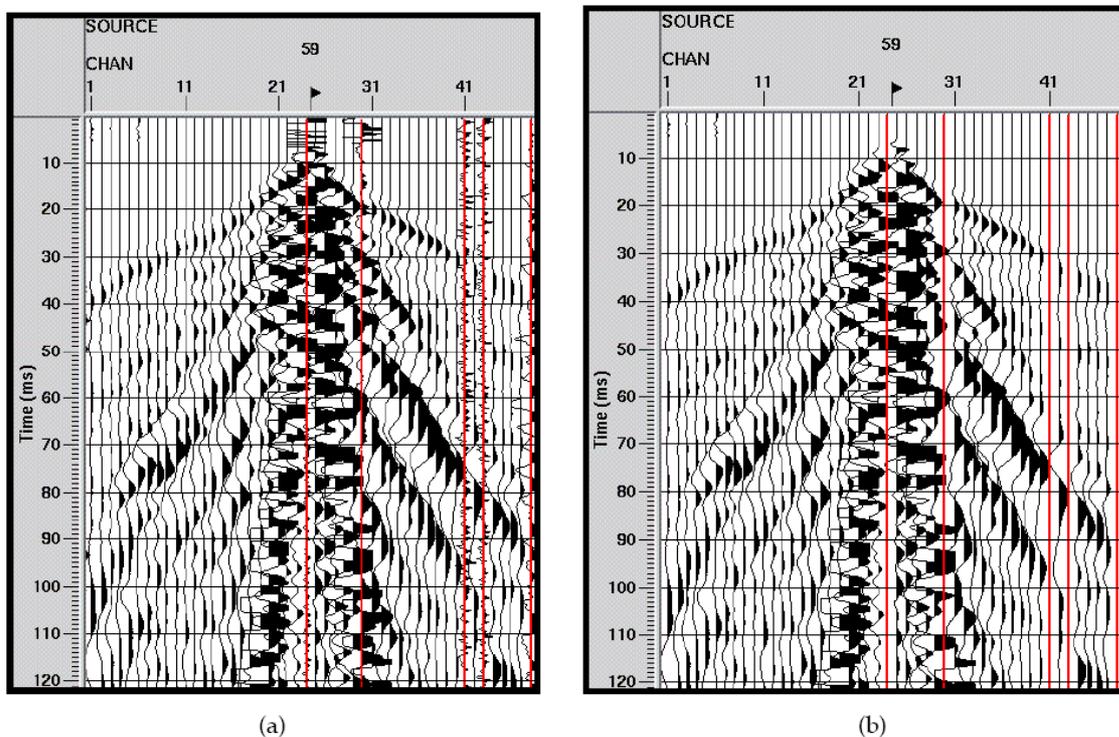


Figura 3.2 Ejemplo de un registro de campo (a) en el que se observan las trazas con alto contenido de ruido que deben ser eliminadas (b) en la primera fase del procesamiento.

3.2 Aplicación de ganancias

Conceptualmente, si se habla de un medio homogéneo, la tierra produce dos efectos en una onda propagándose. El primero de ellos está asociado con el decaimiento de la densidad de energía, proporcional a $1/r^2$, donde r es el radio del frente de onda. La amplitud de una onda es proporcional a la raíz cuadrada de la densidad de energía, que decae como $1/r$. En práctica, la velocidad sísmica de la tierra aumenta con la profundidad, causando una mayor divergencia del frente de onda, lo cual determina una variación de la densidad de energía.

De la misma manera, el contenido inicial de la onda cambia con el tiempo a medida que se propaga. En particular, las altas frecuencias son absorbidas más rápidamente. Esto se debe a un mecanismo de atenuación intrínseco de las rocas.

3.3 Recuperación de amplitudes

Proceso necesario para compensar las pérdidas por atenuación de amplitud debido a la propagación del frente de ondas en el subsuelo. Es decir, cada vez que la onda se propaga va incidiendo en alguna interfase de contraste acústico y parte de ella es reflejada y parte es transmitida; por tanto, la onda que continúa descendiendo pierde energía, por el contenido de fluidos en el espacio poroso y la distancia recorrida por dicho frente de onda. Las funciones de ganancia permiten compensar las pérdidas de amplitud que sufren las reflexiones por dispersión esférica, por la reflexión misma y por pérdidas térmicas. Dichas funciones pueden ser la corrección por *divergencia esférica* o por *ganancia exponencial*.

3.3.3 Recuperación por divergencia esférica La energía producida por un disparo se va atenuando a medida que se propaga en el subsuelo debido a la ampliación del frente de onda; de tal manera que a mayor profundidad el radio de dicha esfera será mayor, mientras que la amplitud disminuye como lo muestra la figura 3.3. La divergencia esférica que se produce desde el lugar de disparo, provoca que la energía disminuya inversamente al cuadrado de la distancia que el frente de onda ha viajado.

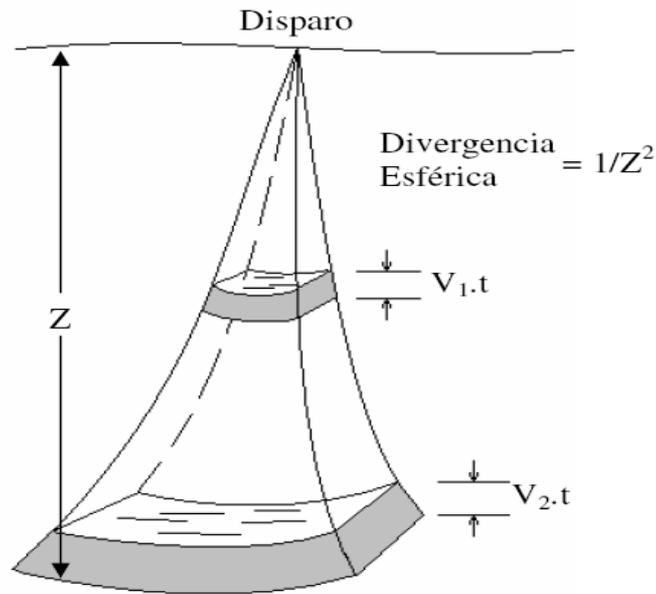


Figura 3.3 Propagación de la onda en el subsuelo (divergencia esférica)

La divergencia esférica varía según sea el medio en que se propaguen los impulsos:

1.a) Si la propagación del frente de ondas ocurre en un medio homogéneo, el decaimiento de la amplitud viene dado por:

$$L_{(Z)} = 1/Z \text{ o } L_{(t)} = 1/V_{1,t} \dots\dots 1$$

1.b) Si el medio es heterogéneo, el decaimiento de las amplitudes viene dado por:

$$L_{(t)} = \frac{V_1}{V_{(t)}^{2*} \cdot t} \dots\dots 2 \quad V_{(t)}^{2*} = \sum_{i=1}^N \frac{V_i^2 t_i}{t_0} \dots\dots 3$$

Donde V_1 es la velocidad rms del primer reflector al que se le aplicará la corrección y t es el tiempo doble de viaje de la onda hasta la profundidad dada Z

Finalmente, el factor de corrección por amplitud será: $A_{(t)} = G_{(t)} \prod_{i=1}^{N-1} (1 - R_i^2) \frac{V_1}{V_{(t)}^{2*}}$

3.3.2 Recuperación de amplitudes por ganancia exponencial

Función matemática aplicada a los valores de amplitud para compensar la atenuación de las mismas. Es de considerar que la amplitud relativa será alterada con la aplicación de dicha función, con el objetivo de mejorar la relación señal – ruido. La ecuación que rige la recuperación de las amplitudes mediante la ganancia exponencial en el dominio de decibels es

$$Ganancia(db) = a.t + 20.b.log(t) + c \dots\dots\dots 4$$

Donde *t* es el tiempo, *a* el factor de atenuación, *b* el factor de divergencia esférica y *c* el factor de ganancia constante. La corrección se fundamenta en aplicar la curva inversa dada por la ecuación anterior; de tal forma que varían ligeramente las amplitudes, así como las amplitudes verdaderas relativas, disminuyendo la atenuación de las mismas.

3.4 Deconvolución

El objetivo de la deconvolución es estimar los efectos producido ya sea por los posibles múltiples o reverberaciones originadas en las discontinuidades litológicas y variaciones de las propiedades físicas de las rocas, mediante la aplicación de filtros inversos por medio de procesos matemáticos que reducen o eliminan la energía reverberante y devuelve la forma de la ondícula en la señal lo más posible al pulso; de esta forma, comprime los componentes de la ondícula eliminando los múltiples y dejando sólo la reflectividad de la tierra en la traza sísmica. La energía de los múltiples o reverberaciones es ruido sísmico de tipo coherente y es fuente de confusión en la interpretación sísmica. (Yilmaz, 2001)

Matemáticamente, actúa como un filtro inverso que intenta obtener de la señal de salida dada por el subsuelo, la señal de entrada (el impulso generado en superficie) y poder deducir la serie de reflectividad que representa las interfases en el subsuelo.

El objetivo principal de aplicar la operación de deconvolución es entonces: remover los efectos, del pulso que la fuente sísmica genera para así eliminar las reverberaciones de la señal sísmica y mejorar la forma de la ondícula disminuyendo su anchura y por lo tanto haciéndola más resolutive.

3.4.1 Deconvolución predictiva

Este tipo de deconvolución permite controlar la resolución de la ondícula deseada, debido a que puede atenuar eventos periódicos empleando una distancia predictiva. Usa información de la primera parte de la traza para predecir y remover el efecto de la ondícula de la parte final de la traza sísmica. De tal manera, que la distancia predictiva discrimina parte de la ondícula que se desea preservar y la que se desea remover.

La atenuación de efectos no deseados mediante la aplicación de ésta deconvolución se fundamenta en la teoría del filtro de Wiener – Levinson. La longitud del operador del filtro es determinado con la solución del sistema matricial de Robinson y Treitel, 1980:

$$\begin{pmatrix} r_0 & r_1 & r_2 & \cdot & \cdot & \cdot & r_{n-1} \\ r_1 & r_0 & r_1 & \cdot & \cdot & \cdot & r_{n-2} \\ r_2 & r_1 & r_0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ r_{n-1} & r_{n-2} & r_{n-3} & \cdot & \cdot & \cdot & r_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} f_0 \\ f_1 \\ f_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ f_{n-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_\alpha \\ r_{\alpha+1} \\ r_{\alpha+2} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ r_{\alpha+n-1} \end{pmatrix}$$

Donde $r(t)$ es la autocorrelación de la señal de entrada, $f(t)$ es el filtro de Wiener – Levinson y $r(t+a)$ la crosacorrelación entre la salida deseada deslaza en una fase a y la salida deseada. Como el operador predictivo es un filtro que actuará en la señal de entrada en un tiempo posterior a t , determinando la traza en un tiempo $t + a$. Entonces, el inicio de la aplicación de la deconvolución predictiva debe ser diseñado con el objetivo de minimizar los efectos caudados por los ruidos periódicos no deseados.

3.5 Aplicación de filtros

Funciones, de fase cero y simulando una respuesta impulsiva, aplicadas a los datos sísmicos con el propósito de remover componentes de frecuencias desligadas de la señal de las reflexiones primarias. En el dominio f,t la discriminación entre las frecuencias asociadas al ruido de las asociadas a las reflexiones sísmicas es más sencilla, por ello el análisis de estas funciones se aplica en dicho dominio, y los datos son transformados mediante la *Transformada Rápida de Fourier*.

El principio básico es eliminar las frecuencias correspondientes al ruido no deseado de los datos a procesar, en la mayoría de los algoritmos se diseñan funciones con las cuales serán convolucionados los datos para identificar de forma concreta la señal que se desea remover. Considerando que el rango de frecuencia no deseado es comúnmente conocido, tal como el cono de ruido. Sin embargo, no deben eliminarse bandas de frecuencias sin un análisis detallado y minucioso que permita corroborar que las componentes removidas están verdaderamente ligadas al ruido.

3.5.1 Filtro pasa banda

Es diseñado para eliminar bandas de frecuencias, definiendo un máximo y un mínimo, pero sin incluir valores con pendientes verticales en el dominio f,t (figura 3.4); debido a que se originaría la deformación de la señal, según el fenómeno de Gibbs. Por ello, es necesario diseñar con cuatro (4) componentes la banda de frecuencias a remover

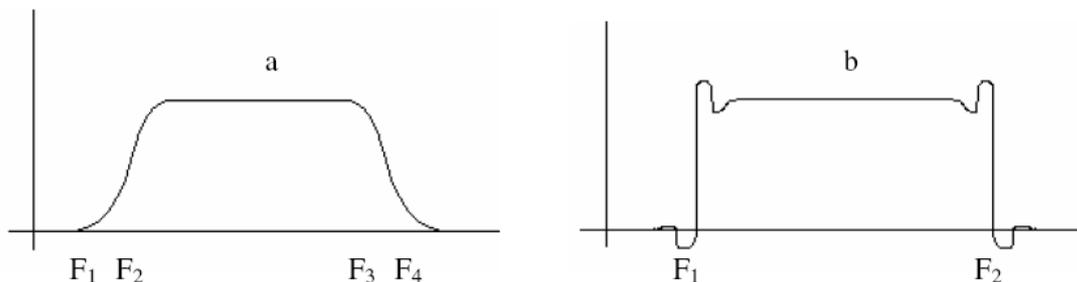


Figura 3.4 (a) diseño de filtro pasa banda (b) Diseño de filtro pasa – banda con pendientes verticales

3.6 Correcciones estáticas

3.6.1 Estática de elevación

Cuando una línea sísmica es diseñada en el campo, se toman los valores de coordenadas X,Y y los valores Z de elevación para cada una de las estaciones de disparo y de recepción sobre la superficie terrestre. Si se desea procesar la línea sísmica a un plano de referencia determinado, por ejemplo, al plano del nivel medio del mar, entonces será necesario efectuar la corrección estática por elevación (figura 3.5 y 3.6). Si se supone, que la velocidad con que viaja la onda sísmica y espesor de la capa meteorizada es constante a lo largo de la línea sísmica, se podrá calcular el tiempo que la onda sísmica tardaría viajando a través de la capa meteorizada, para cada estación. Este tiempo es usado para ajustar el desplazamiento de la reflexión de una traza sísmica con el tiempo de grabación de la misma, esto es, sin necesidad de tomar en cuenta posibles variaciones en el tiempo de viaje de la onda sísmica a través de la capa meteorizada.

El cálculo de la corrección estática por elevación se realiza mediante las siguientes expresiones matemáticas:

$$T_c \text{Disparos} = \frac{D - E_d}{V_c} \dots\dots 5 \quad ; \quad T_c \text{Receptores} = \frac{D - E_r}{V_c} \dots\dots 6$$

Donde Tc: el tiempo de corrección para disparos y receptores, D: el plano de referencia, Ed: el valor de elevación de cada disparo, Er: el valor de elevación de cada receptor y Vc : la velocidad de corrección, donde ésta se obtiene de la pendiente de las primeras llegadas en un registro sísmico.

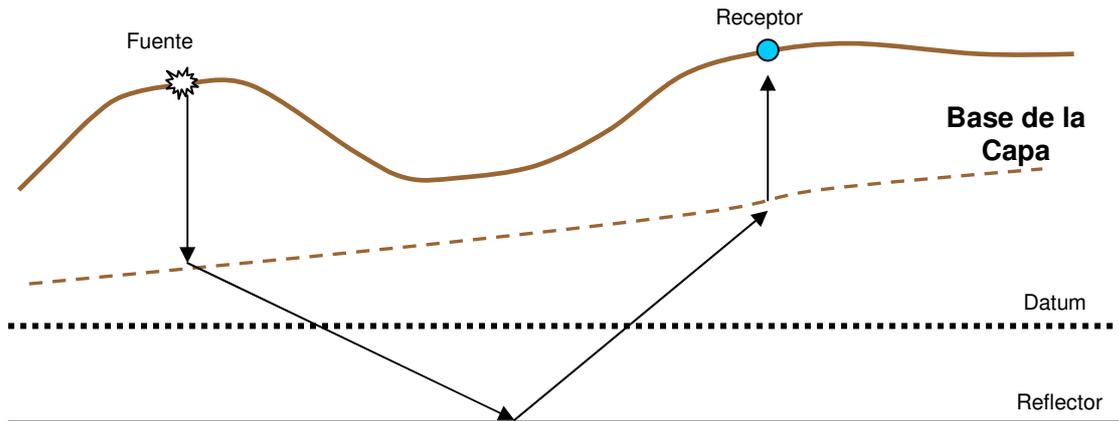


Figura 3.5 Se presenta el planteamiento del problema, donde la superficie es irregular, originando un retardo en el tiempo de llegada

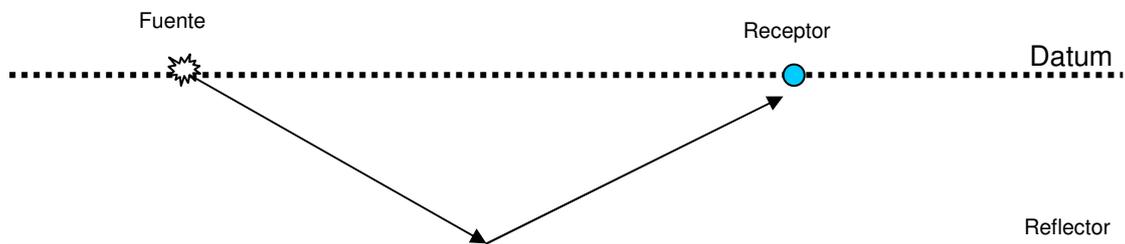


Figura 3.6 Se observa los tiempos de llegada de las reflexiones en el subsuelo desde un nivel de referencia (datum) en el cual no existen problemas con la topografía y la capa meteorizada.

3.6.2 Corrección por estática residual

La determinación de este parámetro es fundamental para la remoción del efecto que causa la capa meteorizada en la sección apilada. Esta capa somera de baja velocidad distorsiona y degrada los eventos, dificultando el análisis de los intérpretes. Las correcciones de estáticas son aplicadas para remover los tiempos de retardo que causan la capa meteorizada, debido a las variaciones de espesor, velocidad y elevaciones de fuentes y receptores. Por tanto, permiten referenciar los datos sísmicos a una misma superficie de adquisición (figura 3.7).

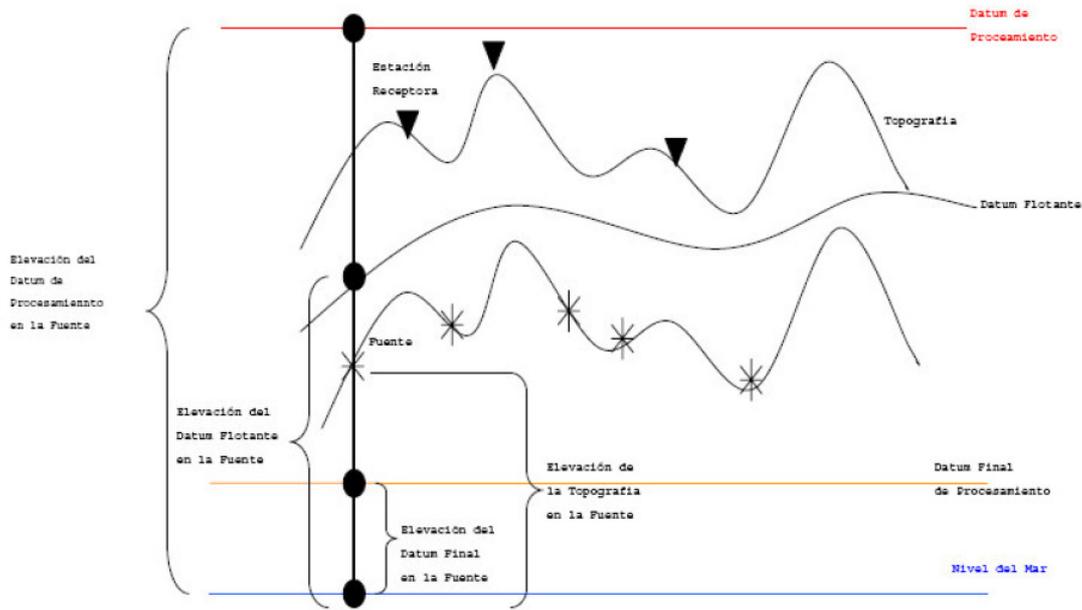


Figura 3.7 Modelo de las superficies de referencia de los datos sísmicos. Tomado de Estándares de presentación del dato sísmico en Venezuela. Ministerio de Energía y Minas

El cálculo de las correcciones estáticas por refracción viene dado por la determinación de los espesores y velocidades de la capa meteorizada, definiendo el modelo geológico de la capa somera considerando los primeros arribos de las ondas compresivas refractadas en la base de la capa meteorizada y las distancias fuente – receptor. Los pulsos refractados, simplificando el modelo con una sola capa, viajan desde la fuente a la interfase con la velocidad de la capa meteorizada, luego como ondas refractadas, viajan en la interfase con la velocidad de la capa refractante y finalmente, viajan desde la interfase con la velocidad de la capa meteorizada al receptor. La simulación del recorrido realizado por una onda refractada es mostrada en la figura 3.8

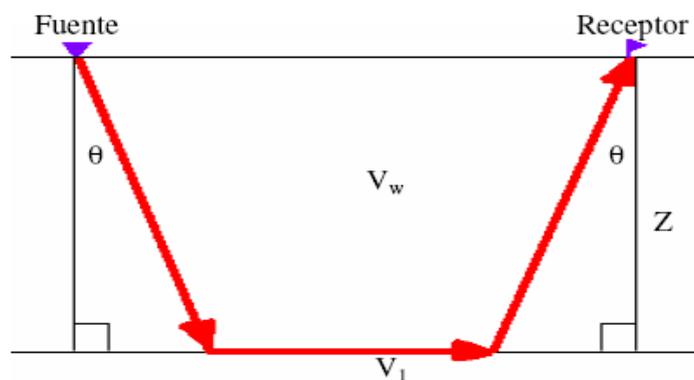


Figura 3.8 Simulación de recorrido onda refractada.

Según la ley de Snell para ondas críticamente refractadas, se tiene:

$$\frac{\sin(\theta)}{V_w} = \frac{\sin(90^\circ)}{V_1} \dots\dots 6 \qquad \frac{V_1}{V_w} \sin(\theta) = 1 \dots\dots 7$$

Considerando la geometría de la figura 3.8, los primeros arribos, la definición del refractor y el cálculo de la velocidad del mismo; todos estos parámetros obtenidos mediante la graficación de las domocrónicas, se puede determinar el espesor y velocidad de la capa meteorizada

3.7 Tratamientos de apilamiento

3.7.1 Ordenamiento cmp

Una vez editados los tiros de campos, se procede a realizar un reordenamiento de las trazas sísmicas en conjuntos de punto reflector común o CMP. Este ordenamiento consiste en agrupar las trazas que por geometría pertenecen a un mismo punto medio entre una fuente y un receptor determinado. Se deduce, por construcción, que el espaciado entre CMP es la mitad el espaciado entre geófonos y que las reflexiones en estos conjuntos poseen también trayectorias hiperbólicas.

3.7.2 Análisis de velocidades

Procedimiento en el procesamiento convencional basado en corregir en tiempo la curva hiperbólica que representa las reflexiones en las interfases. Esta corrección, conocida como *normal moveout (NMO)*, requiere de la selección de velocidades que mejor horizontalicen los eventos representados hiperbólicamente por el incremento entre la distancia fuente – receptor. De tal forma, que los datos serán transformados a cero distancia fuente receptor mediante la disminución del tiempo de viaje de un rayo reflejado en algún punto del reflector en profundidad. Por tanto esta corrección se fundamenta en simular incidencia normal, generando datos que puedan ser apilados.

Se sabe que por la geometría de los levantamientos sísmicos, el tiempo de viaje de la reflexión de una interfase horizontal que viaja desde la fuente hasta el receptor viene dado por la ecuación 3.7 y puede ser demostrada según la figura 3.9

$$t^2 = \frac{4Z^2}{V^2} + \frac{x^2}{V^2} \dots 3.7$$

Donde Z = profundidad hasta la interfase
 x = distancia fuente – receptor
 V = velocidad de propagación del medio

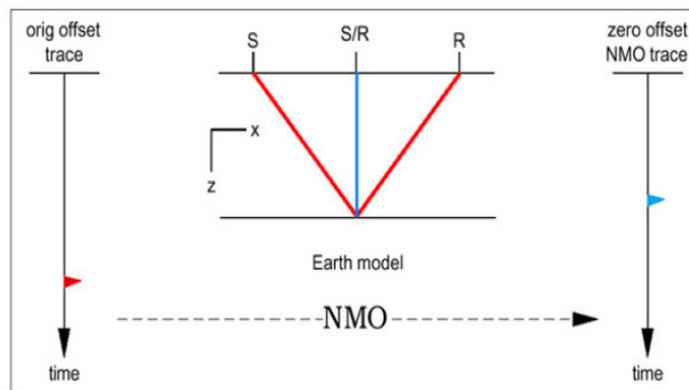


Figura 3.9 Geometría convencional de los levantamientos sísmicos.

La representación de la ecuación anterior en un gráfico distancia receptor vs tiempo será una hipérbola, como muestra la figura 3.10a Y los análisis de velocidades serán realizados para obtener trazas corregidas por *normal moveout*, como muestra la figura 3.10b. Esta corrección viene dada según las siguientes ecuaciones:

$$\Delta t = t_{(z)} - t_0 \dots 3.8$$

$$t_{(0)} = \frac{Z}{2V} \dots 3.9$$

Donde Δt = corrección por *normal moveout*.
 $t_{(z)}$ = tiempo doble de viaje de la onda desde la fuente, a la interfase, hasta el receptor
 $t_{(0)}$ = tiempo doble de viaje de la onda si incidiera perpendicularmente en los estratos

Con las ecuaciones 3.7, 3.8 y 3.9 se obtienen lo siguiente:

$$t_{(z)}^2 = t_{(0)}^2 + \frac{x^2}{V^2} \Rightarrow \Delta t = \frac{x^2}{V^2(t_{(z)} + t_0)} \dots 3.10$$

$$(t_{(z)} + t_0)(t_{(z)} - t_0) = \frac{x^2}{V^2}$$

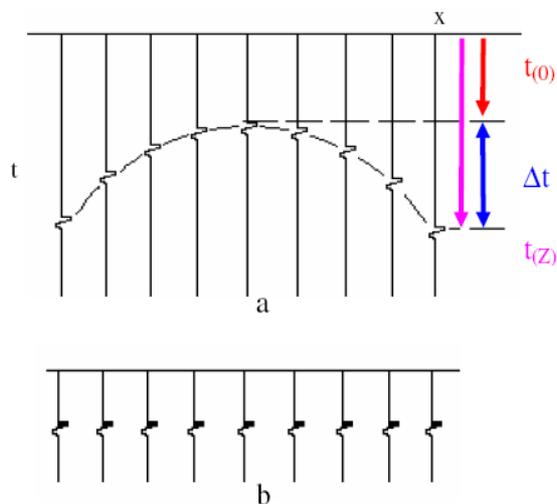


Figura 310. Registro Sintético en el que se observa (a) la reflexión de una interfase horizontal, y (b) la reflexión de la misma interfase pero corregida por nmo.

Las ecuaciones anteriores asumen que la trayectoria de las ondas sísmicas ocurre en capas horizontales, la onda se propaga con trayectoria recta y la velocidad de propagación es constante desde el plano de referencia, hasta la interfase reflectora.

La aplicación de la corrección *nmo* requiere conocer la velocidad del medio en el que se propagan las ondas. Mediante los análisis de velocidades este parámetro será estimado, pero bajo la figura de *velocidad de apilamiento*. La cual es la velocidad que corrige cada evento, llevándolo a la posición donde la reflexión obtenida estaría si los datos estuviesen adquiridos a cero (0) distancia fuente receptor. La selección de estas velocidades será guiada según la máxima semblanza, la cual permite estimar los valores que mejor horizontalizan los eventos en los registros; considerando a que a mayor profundidad el espectro de semblanza resulta cada vez menos confiable, pues se hace más difícil seguir los máximos de coherencia para determinar la velocidad correcta. Este espectro de semblanza consiste en generar varias hipérbolas de la ecuación 3.7 y corregir por *nmo* los datos, apilarlos y desplegar los máximos picos de amplitud o también llamados máximos de coherencia. De manera que el máximo de coherencia en la semblanza, indicará el valor de la velocidad de apilamiento que mejor horizontalizará los eventos de los datos analizados.

En el caso que los *cdp* muestren distintos puntos de una misma interfase horizontal, la velocidad de apilamiento será igual a la velocidad cuadrática media (*rms*). Pero si la capa buza, la traza será posicionada en el punto medio fuente – receptor, y el *cdp* no estará posicionado en el punto de reflexión. Por ello, en zonas con elevada complejidad estructural los resultados no presentan buena resolución, requiriendo el proceso de *migración*

3.8 Migración

Los datos sísmicos facilitan el análisis de cualquier zona de interés, permitiendo la interpretación de la misma con el uso de perfiles, volúmenes o secciones sísmicas. Estas imágenes sísmicas se generan mediante el despliegue de las reflexiones en su posición correcta, lo cual se fundamenta en dos (2) procesos: *apilamiento* y *migración*.

La migración se obtiene con las diversas soluciones de la ecuación de onda que describe la propagación de ondas elásticas a través de las rocas. Esta emplea un modelo de velocidad para redistribuir la energía sísmica reflejada, desde la posición supuesta en el punto medio a su verdadera posición; no obstante, se remueve el efecto de propagación de ondas llevando los reflectores con buzamiento a su posición verdadera en espacio y tiempo y se colapsa la energía de difracción a su punto de origen, cuya difracción ocurre por discontinuidades repentinas en los distintos tipos de roca. Por tanto, el objetivo de la migración sísmica es proporcionar una imagen con mayor resolución espacial de los eventos.

3.8.1 Principios de la migración

Sea un reflector con buzamiento real en profundidad como el mostrado en la geometría de la figura 3.11a, la sección donde los receptores y fuentes están ubicados en la misma posición (sección a cero *distancia fuente receptor*) es mostrada en la figura 3.11b. Ésta figura corresponde con la sección en tiempo del reflector real, pero muestra un buzamiento aparente menor. Esta imagen es construida si se grafica la primera y última reflexión en el reflector buzante. La primera llegada de incidencia normal grabada en A es mostrada por el punto C'. Con el transcurso del tiempo se siguen

grabando reflexiones normales del reflector CD y la última llegada será graba en B y corresponde con el punto D' .

El reflector $C'D'$ corresponde con la representación del reflector real CD en una sección en tiempo, en la imagen de la figura 3.11b se observa que el buzamiento del reflector es más pequeño y está desplazado tanto vertical como lateralmente. El cambio de posición será realizado por el proceso de migración (figura 3.11c), provocando un aumento en la inclinación de los reflectores, una disminución en la longitud del reflector y se mueve el evento en dirección buzamiento arriba. Las variaciones causadas por la migración en la representación de los reflectores son fundamentales para representar, lo mejor posible, a los eventos geológicos reales.

Estas imágenes serán obtenidas asumiendo secciones a cero distancias fuente receptor y los rayos deben seguir patrones de incidencia normal a las interfaces. Además, el buen resultado del proceso de migración sísmica estará condicionado a la buena aproximación entre la sección en tiempo y la sección a cero distancia fuente receptor, la relación señal – ruido y las velocidades empleadas para corregir el *normal moveout*

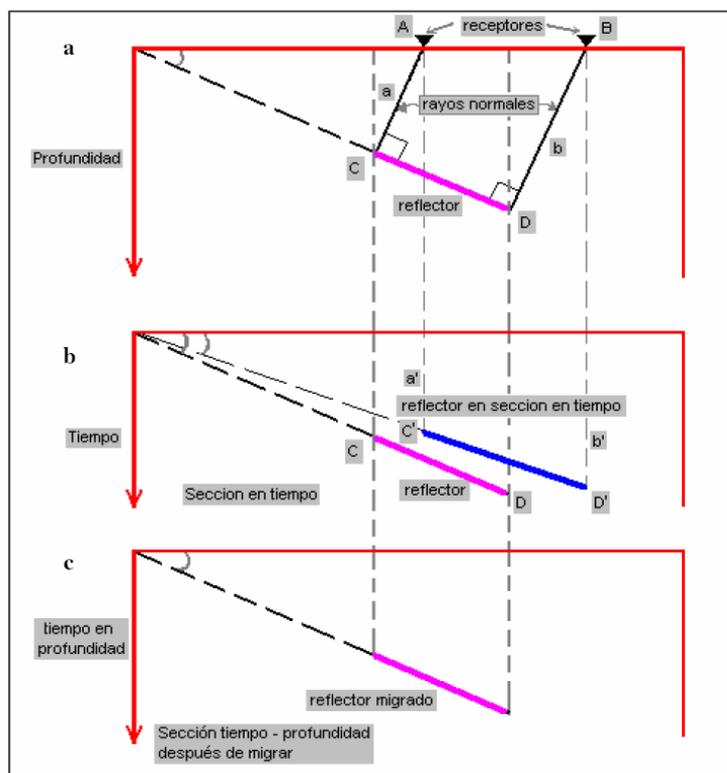


Figura 3.11 Principios geométricos de la migración.

3.8.2 Algoritmo de Kirchhoff de migración en tiempo

El proceso de migración según el algoritmo de Kirchhoff es generado mediante el método de difracción o el de sumatorias hiperbólicas. La geometría del método puede ser ilustrada con el modelo de *reflectores explotantes* dado por Loewenthal en 1976. Éste modelo asume que los reflectores emiten rayos y cada punto que constituye un reflector del subsuelo puede visualizarse como una fuente de energía que genera un tren de onda ascendente; los patrones de rayo son trazados a incrementos constantes de tiempo; y los frentes de onda son grabados en superficie. Entonces, un reflector sísmico puede ser observado como si estuviese compuesto de puntos difractores (figura 3.12a) y la migración de esa sección sísmica será realizada colapsando las hipérbolas de difracción a su ápice (figura 3.12b).

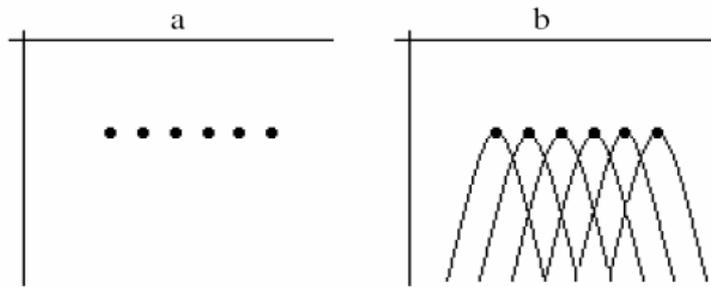


Figura 3.12 (a) Difractores de una estructura en profundidad. (b) Difracciones de una sección en tiempo.

Finalmente, cada punto de la sección migrada es generado al sumar todas las amplitudes a lo largo de la curva de difracción, cuya curvatura estará gobernada por una función de velocidad, y asignando el resultado al ápice de la hipérbola. Por otro lado, la curva de difracción se obtiene a partir del trazado de rayos desde el punto de difracción en el subsuelo hacia todos los puntos en superficie (figura 3.13a) y la ecuación que describirá la curva de difracción (figura 3.13b) viene dada por

$$t = \sqrt{t_0^2 + \frac{(x - x_0)^2}{V^2}} \dots\dots 3.11$$

Donde $t_0 = 2z_0/V$ y V la velocidad del medio hasta el punto difractor.

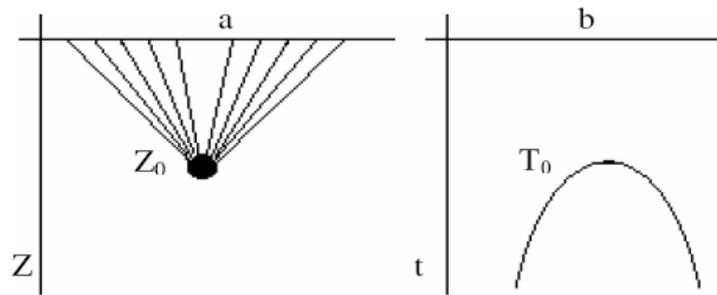


Figura 3.13 (a) Trayectoria de los rayos desde el punto difractor hasta la superficie. (b) Sección en tiempo de una difracción

3.9 Resolución sísmica

El objetivo principal de la sísmica de reflexión es estimar la posición y forma de los estratos o capas que constituyen el subsuelo de un área en estudio. El conjunto de actividades que enmarca la sísmica de reflexión puede agruparse en tres grandes etapas: 1) adquisición, 2) procesamiento e 3) interpretación. En la primera se realizan todas las operaciones en campo referentes a la recolección de datos, en el procesamiento se reconstruyen, filtran, amplifican y modifican las señales obtenidas de los frentes de ondas con el fin de generar mapas y secciones sísmicas. Finalmente, a través de las secciones sísmicas se lleva a cabo la interpretación del subsuelo.

De acuerdo con Yilmaz (2001) la sección sísmica es un plano vertical en el que aparecen representados los diferentes reflectores; un reflector se define como la superficie entre dos estratos donde se refleja parte de un frente de ondas incidente. Las secciones sísmicas son herramientas que permiten evaluar el subsuelo de un área en estudio, facilitando la visualización de la orientación preferencial y geometría de los estratos y los eventos estructurales de la historia geológica de la zona.

En el estudio sísmico, independientemente de cual sea el objetivo, se debe conocer la resolución sísmica vertical, ésta representa la menor distancia existente entre dos (2) interfases litológicas diferentes y consecutivas que producen reflexiones, lo que permite dar conocimiento si el objetivo del estudio se puede identificar con los datos obtenidos en la adquisición sísmica. La resolución está controlada por la longitud de onda y la frecuencia dominante de una señal sísmica y depende de la velocidad de propagación de la onda en la formación.

3.9.1 Resolución Vertical

La resolución sísmica vertical es una representación del mínimo espesor apreciable en la sísmica entre dos interfases litológicas diferentes y consecutivas. La resolución está relacionada con la longitud de onda, la cual a su vez está relacionada con la velocidad de propagación de la formación y de la frecuencia dominante. La longitud de la onda esta definida por la siguiente relación:

$$\lambda = \frac{V}{f} \dots\dots 3.12$$

Donde V : Velocidad Interválica

f : frecuencia dominante

A medida que el espesor de un estrato disminuye las amplitudes de la onda se mantienen relativamente constantes; sin embargo, cuando el espesor se aproxima a la amplitud alcanza su valor máximo. Este espesor se denomina espesor de entonación; la disminución del espesor de un estrato por debajo de este valor produce interferencia destructiva entre las reflexiones del tope y la base, lo cual se manifiesta en la atenuación de la amplitud, y en la mayoría de los casos, pérdida de la señal. Por otra parte, cuando se considera la longitud de onda aparente (λ) para una ondícula teórica de tipo Ricker, la resolución vertical esta definida por $\lambda/4$. Es por esto que se define a la resolución sísmica vertical según la siguiente ecuación:

$$\text{Espesor de Entonación=Resolución sísmica} = \frac{\lambda}{4} = \frac{V_{\text{int}}}{4f_{\text{dom}}} \dots\dots 3.13$$

Corresponde a la distancia mínima horizontal que separa a dos puntos en el subsuelo que son distinguibles con la sísmica. La resolución lateral depende básicamente del espaciamiento entre trazas y de las dimensiones de la zona de Fresnel.

3.9.2 Zona de Fresnel

La primera zona de Fresnel es el área sobre el reflector dentro de la cual ocurre interferencia constructiva a la señal reflejada observada en superficie y representa aproximadamente la dimensión de la resolución lateral que se puede lograr con el levantamiento. El radio de esta región depende de la longitud de onda y de la profundidad (figura 3.15). (Sheriff, 1994)

(Cordsen, 1995). Para estructuras positivas (altos estructurales) el radio de Fresnel disminuye; mientras que para estructuras negativas aumenta.

El diámetro de la zona de Fresnel determina la resolución lateral antes de migración. En el contexto de las difracciones, la resolución lateral debe ser capaz de distinguir entre dos difracciones adyacentes. Como la migración es un proceso que colapsa difracciones, es razonable pensar que la migración puede aumentar la resolución espacial, por lo tanto, la zona de Fresnel se hace más pequeña.

El efecto de la resolución sísmica se muestra en el modelo sintético de acuñaamiento (figura 3.14).

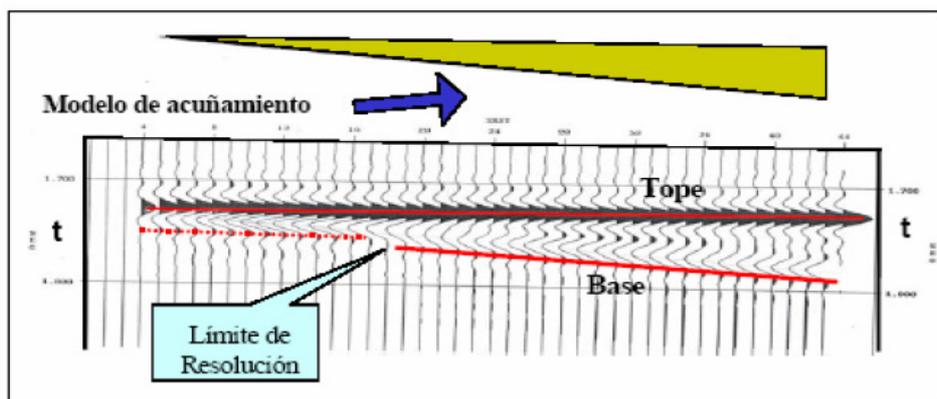


Figura 3.14. Modelo sísmico donde se observe el efecto de la disminución de espesores en el subsuelo.

La velocidad interválica esta definida como el tiempo que tarda un frente de ondas sísmico en pasar a través de dos capas adyacentes, y está definida por la siguiente ecuación:

$$V_{\text{int}} = \frac{2000 * (TopeA - TopeB)}{TiempoA - TiempoB} \dots\dots 3.14$$

3.9.3 Resolución Horizontal

También conocida como resolución lateral, se refiere a como dos puntos pertenecientes a un mismo estrato del subsuelo pueden ser reconocidos como dos puntos por separado en vez de uno solo. En el modelo de la figura 3.15 se tiene como fuente y receptor al punto S, ubicado en superficie, de donde se genera un frente de onda esférico hacia el subsuelo. El reflector mostrado en la figura puedes ser considerado como una serie de puntos consecutivos difractores. (Yilmaz, 2001)

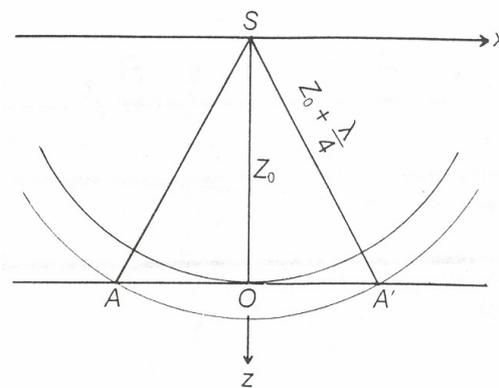


Figura 3.15. Zona de Fresnel AA'

La energía que llega al subsuelo arriva a un t_0 . Si el frente de onda avanza en profundidad a razón de $\lambda/4$, la energía de la onda llegará simultáneamente a los puntos A y A', para un tiempo:

$$t_0 = 2z/v \dots\dots\dots 3.16$$

$$t_1 = 2(z_0 + \lambda/4)/v \dots\dots 3.17$$

La energía para todos los puntos dentro del radio OA' llegarán a un tiempo comprendido entre t_0 y t_1 . El total de la energía llegando en el intervalo ($t_1 - t_0$), corresponde a la mitad del periodo dominante ($T/2$) e interfiere constructivamente. El área comprendida por AA' es llamada mitad de la longitud de onda de la zona de Fresnel, o simplemente como la primera zona de Fresnel. Dos puntos reflectores que caigan dentro de esta zona son indistinguibles en la sísmica.

Dado que la zona de Fresnel depende de la longitud de onda, también puede decirse que depende directamente de la frecuencia. Por ejemplo, si la señal sísmica a lo largo del frente de onda es relativamente de alta frecuencia, entonces la zona de Fresnel será más pequeña. Mientras más pequeña sea la zona de Fresnel, más fácil será diferenciar entre dos puntos reflectores. Una zona de Fresnel más pequeña significa una resolución espacial más alta.

En líneas generales, la migración tiende a acortar la zona de Fresnel, aproximando al valor de la longitud de onda dominante.

3.10 Flexibilidad de la celda (flexi bin)

La flexibilidad de las celdas es un método de adquisición 3D, el cual puede variar el tamaño de la celda post-adquisición. El aumento en las dimensiones de la celda causa un incremento de la cobertura, y si disminuimos de la celda, se obtendrá un decaimiento de la cobertura.

La flexibilidad de la celda también permite un estudio de definición y coherencia de eventos para celdas grandes y un estudio de resolución horizontal para celdas pequeñas. Para el diseño de las celdas hay que tomar en cuenta que existen 2 parámetros geométricos que afectan el tamaño de la celda apilada: el espaciamiento entre fuente en cada línea fuente y el espaciamiento entre receptores dentro de cada línea de receptores.

El método del fraccionamiento de celdas se utiliza en las líneas de la fuente y del receptor escalonadas (stagger) por una fracción seleccionada de los intervalos de la estación de la fuente y de la estación del receptor. GRI (1994) describe una investigación donde estaba una mitad el fraccionamiento de los intervalos de la fuente y

del receptor-estación. La enumeración de las localizaciones de la estación en el campo no es paralela de de línea a línea; sin embargo, esto no crea ninguna problemas operacional si se ejercita el cuidado razonable.

Se ha enfatizado (Cordsen, 1995) que cualquier técnica del fraccionamiento de la celda simplemente se entrelazan dos o mas con intervalos de muestreo que corresponden a los espaciamentos de la estación. Sin embargo las muestras superficies se distribuyen en una rejilla más fina de puntos medianos, en el detalle para los acontecimientos horizontales, y pueden de hecho ser beneficiosas para la definición de la superficie, también se ha demostrado una cierta mejora en interpretación lateral.

Cordsen (1995) llegó a esa conclusión que la cobertura depende de las dimensiones de la celda, de la cobertura de las trazas (trazas) y de la cobertura de las líneas (crossline). La cobertura de las trazas va estar definida de la siguiente manera:

$$SD = \frac{\text{número_de_receptores} \times RI}{2 \times SLI}$$

Donde:

RI va a estar definida por la separación entre las estaciones.

SLI va ser la separación de las líneas fuente.

La cobertura de las líneas esta definida por:

$$NC = \frac{NRL}{2}$$

Donde

NRL va ser el número de líneas receptoras

Donde el tamaño de la celda va a estar definido por la siguiente ecuación:

$$B = \frac{\Delta y}{2} \times \frac{\Delta x}{2}$$

Donde Δy es la separación de receptoras y Δx es la separación de fuente

Teniendo la cobertura de las trazas, líneas (crossline) y la dimensión de la celda se puede calcular la cobertura total. Esta está expresada de la siguiente manera.

$$\text{Cobertura} = \text{SD} \times \text{NC} \times B^2 \dots 3.18$$

Una vez obtenida la cobertura de las trazas y líneas, el tamaño de la celda va a estar definido por la relación entre la celda y las líneas escalonadas.

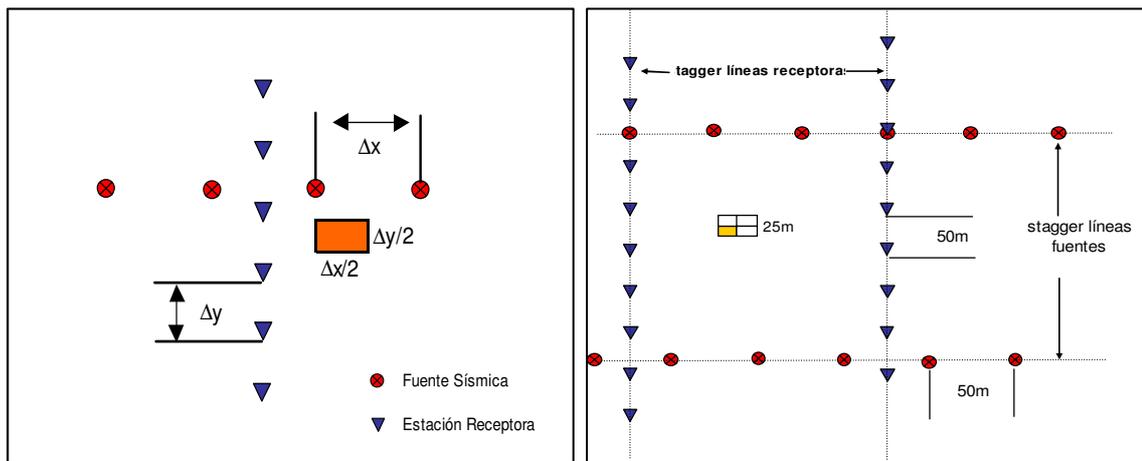


Figura 3.16 Relación entre el tamaño de celda y las líneas escalonadas

En este tipo de patrón, el espaciamiento de fuentes y los receptores están establecidos para esparcir los puntos medios dentro de una celda (Figura 3.17 y 3.18). El resultado es un mejor incremento de la muestra subterránea sin tener que disminuir el intervalo entre fuente receptor. Se obtiene mayor resolución con poco o menos extra esfuerzo. Debido a que los puntos medios están distribuidos, esta técnica experimenta doblamientos más bajos. Para superar esta limitación, se requiere una señal más alta del porcentaje de ruido.

La técnica del balance de celdas, la cual consiste en obtener desplazamiento de otras celdas, es en efecto una forma de mezcla de espaciamientos, que puede reducir la resolución de acumulación posterior. En la figura 3.17 se muestra un ejemplo, donde las posiciones de tiro están modificadas, estas se encuentran por la mitad del intervalo de la fuente en las líneas de tiro alternas. Los puntos de los receptores pueden ser alternados. Este método esparce los puntos medios a lo largo de la celda.

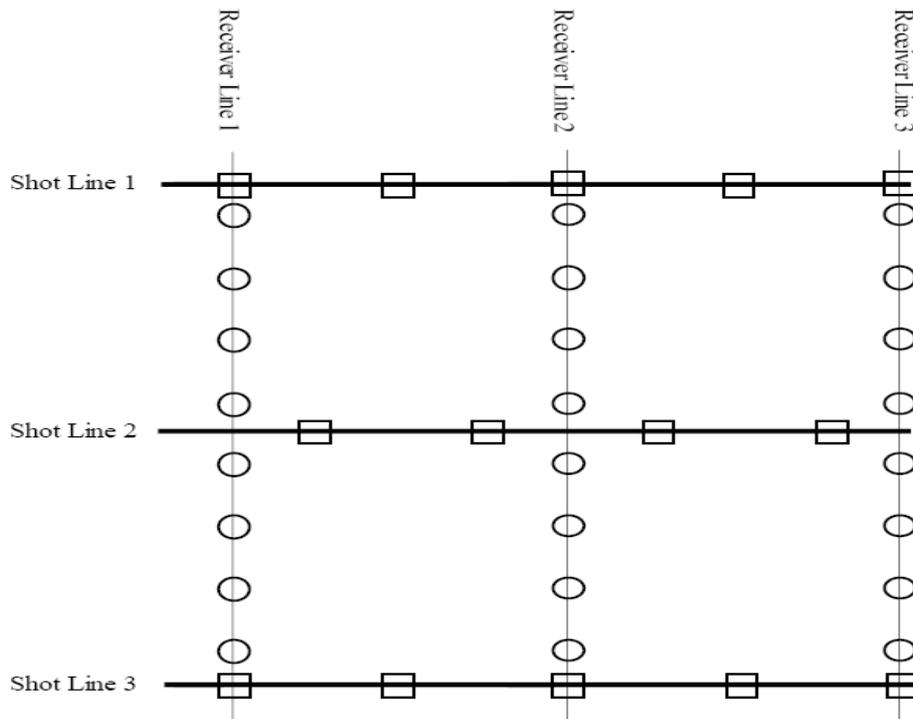


Figura 3.17 Fraccionamiento de la celda

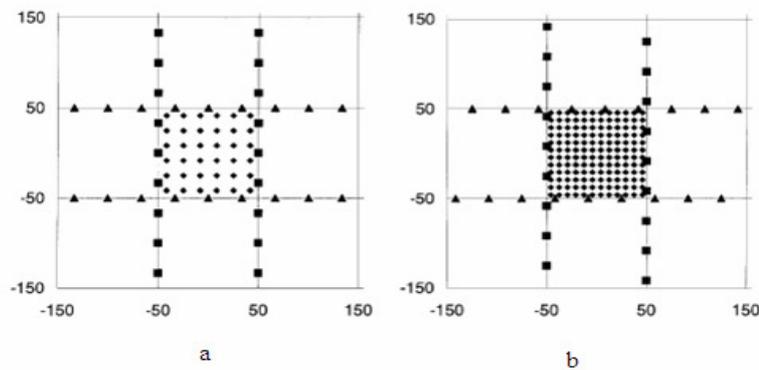


Figura 3.18 Esquemas de muestreo en geometría ortogonal.

En la figura 3.18 se observa un esquema de la geometría. En el extremo izquierdo (3.18a) un diseño convencional y en el extremo derecho (3.18b) un diseño del fraccionamiento de celdas. Los cuadrados y los triángulos representan localizaciones de los puntos de disparos y de los receptores. Los diamantes representan las posiciones del punto mediano. La distancia entre los puntos medianos con el fraccionamiento de la celda es un cuarto de la distancia entre las estaciones.

3.11 Líneas escalonadas (Staggered Line)

El Gas Research Institute 1994, introduce el concepto de líneas escalonadas (stagger) en el diseño de levantamientos sísmicos 3D, el cual se define como un método de adquisición que realiza un muestreo uniforme del subsuelo y permite flexibilidad en la selección del tamaño de la celda y las coberturas asociadas.

En un levantamiento sísmico 3D convencional las líneas de tiro y las líneas receptoras se encuentran dispuestas de manera ortogonal, la distancia entre receptores λ_r y la distancia entre disparos es λ_s . El tamaño de la celda estará definido como $0,5\lambda_r \times 0,5\lambda_s$ y todos los puntos de reflexiones caerán en el centro de la celda. Estas condiciones crean una traza apilada cada $0,5\lambda_r \times 0,5\lambda_s$ en la dirección X y en la dirección Y. El levantamiento con el método de líneas escalonadas se mueve sucesivamente las líneas de disparo $0,5\lambda_s$ y las líneas receptoras $0,5\lambda_r$. Esta geometría permite ordenar las trazas de campo en celdas más pequeños ($0,25\lambda_r \times 0,25\lambda_s$).

Cuando los datos se ordenan en las celdas más grandes, los puntos de reflexión no se concentran en el centro de la celda como sucede en la geometría convencional, sino que se distribuyen a través de toda el área de la celda. Cuando los datos se ordenan en celdas más pequeños los puntos de reflexión caen esta vez en el centro de las celdas. La cobertura de las celdas más pequeñas se reduce por un factor de 4 con respecto al cobertura de las celdas más grandes debido a la reducción del área de la celda.

La geometría fuente receptor define dos importantes parámetros de los datos 3D: la cobertura de apilamiento y el tamaño de la celda.

La cobertura de apilamiento es el número de trazas de campo individuales que son sumadas para crear cada traza apilada en un volumen de datos 3D, es decir, una cobertura apilada de N significa N trazas sumadas para producir una traza apilada. Una celda apilado define el tamaño de una pequeña área del subsuelo en la cual N trazas son reflejadas. En una tierra estratificada horizontalmente, la celda apilada es localizada en la distancia media entre cada N par fuente-receptor que envuelve la cobertura apilada N para cada celda. El área del subsuelo que estudia la sísmica 3D, consiste de un gran número de estas pequeñas celdas apiladas unidas entre sí que forman una superficie

continua. Los detalles de la imagen sísmica sobre esta superficie son creados por la amplitud y la variación de fase que ocurre entre las trazas apiladas que se forman dentro de estas celdas. Cuando la celda apilado es pequeño, las trazas se encuentran cercanas entre ellas; cuando la celda apilada es grande, las trazas se separan y la resolución horizontal de la data sísmica 3D disminuye.

Existen 2 parámetros geométricos que afectan el tamaño de la celda apilado: el espaciamiento entre fuente en cada línea fuente y el espaciamiento entre receptores dentro de cada línea de receptores (para este estudio estos parámetros no estarán definidos por el espaciamiento entre las líneas fuentes y líneas receptoras sino por el espaciamiento entre los cdp). La grabación con líneas escalonadas es una técnica que permite apilar datos 3D en celdas grandes que crean un volumen de datos con alta cobertura pero con reducida resolución horizontal y en celdas pequeños que crean un volumen de datos con baja cobertura pero que tienen una mejor resolución lateral.

La ventaja de ésta técnica es que la resolución lateral aumentada que proporciona es llevada a cabo por la clasificación directa de los datos en pequeñas celdas durante el procesamiento. La ventaja económica es que los datos de celdas pequeñas son adquiridos a un costo reducido en relación con la adquisición de datos de celdas grandes.

3.12 Método de distribución uniforme de traza

El muestreo de la superficie se una generalización de la flexibilidad de la celda, donde se logra mediante un desplazamiento lineal de las líneas receptoras y las líneas fuentes. La distancia entre los puntos medios estará determinada por los mayores buzamientos presentes en el subsuelo o requerimientos de resolución horizontal.

El método produce un fraccionamiento de la celda para geometrías ortogonales mediante el uso del método de las líneas escalonadas de las líneas receptoras y/o disparos en una cantidad igual a las medidas de las distancias fuente receptor. (Gas Research Intitute, 1994)

En el método de de distribución uniforme de trazas, el tamaño de la celda se define como cualquier área con lados múltiplos enteros del espaciado uniforme de los puntos fuente-receptor, los cuales se distribuyen uniformemente en el área del levantamiento; es decir, que los celdas de cobertura múltiple serán lados múltiplos de valores entre 4 y 10 metros.

El muestreo uniforme permite la flexibilidad en la selección del tamaño de la celda durante el procesamiento. Se determinó que la cobertura depende de las dimensiones de la celda; el aumento de las dimensiones de la celda causa un incremento de la cobertura y si se disminuye la celda, se obtendrá un decaimiento de la cobertura (Gas Research Intitute, 1994)

Este método puede ser aplicado a cualquier levantamiento 3D y provee una forma de reducción de costos en la fase de adquisición. En muchos casos en la fase de exploración puede seleccionarse una dotación sísmica con menos canales en los sistemas y adquirir los 3D con cobertura reducida. Ahora se puede adquirir los datos sísmicos mediante un muestreo uniforme en la superficie sin restringir el tamaño final de la celda o la magnitud del apilamiento múltiple tal como se hace al utilizar el concepto de CDP. El método ofrece la flexibilidad de mejorar los datos de un 3D en el procesamiento. (Robert Yibirin y Raúl Torres, 2001)

La técnica es particularmente útil en área con múltiples objetivos someros y profundos, estratigráficos y estructurales o en áreas nuevas con alta incertidumbre respecto a la calidad de los datos y en donde es difícil precisar de antemano un tamaño de la celda y una cobertura óptima. Algunos aspectos importantes a considerar durante el diseño con la técnica de cobertura uniforme en la superficie son:

- Para un tamaño de celda de referencia, la distribución de las distancias fuente-receptor deberá ser lo más uniforme posible.
- Las líneas de puntos medios deberá ser orientadas geológicamente para que ocurra una supresión óptima del ruido sísmico.
- Las opciones del procesamiento deberá ser tomadas en consideración durante la etapa de diseño del levantamiento.

Ejemplo: considerando un patch sísmico mostrado en la figura 3.19. El tamaño de la celda es $25 \times 25 \text{m}^2$ y la cobertura 3D es de 25. Para un área con objetivos tanto profundo (3000m) como someros (600m), el tamaño de la celda y la cobertura indicados podrían ser el resultado de un compromiso entre resolución en la sección somera y continuidad de reflectores en los eventos profundos.

Utilizando la técnica de muestro uniforme en la superficie, con intervalo de 5m en las direcciones líneas y trazas (figura 3.20), se puede apilar los datos utilizando tamaños de celda entre $5 \times 5 \text{m}^2$ hasta $50 \times 50 \text{m}^2$. Este último límite se toma por razones prácticas. La cobertura para celdas de $5 \times 5 \text{m}^2$ es de uno (1) y la cobertura para la celda de $50 \times 50 \text{m}^2$ es de cien (100). Cualquier celda de tamaño intermedio estará asociado a una cobertura igual al área de la celda en unidades de $5 \times 5 \text{m}^2$. Por ejemplo en la figura 3.21 muestra los mapas de cobertura para celdas de $20 \times 20 \text{m}^2$, $30 \times 30 \text{m}^2$ y $40 \times 40 \text{m}^2$. La figura 3.22 muestra la distribución de distancia fuente receptor para los mismos tamaños de celda.

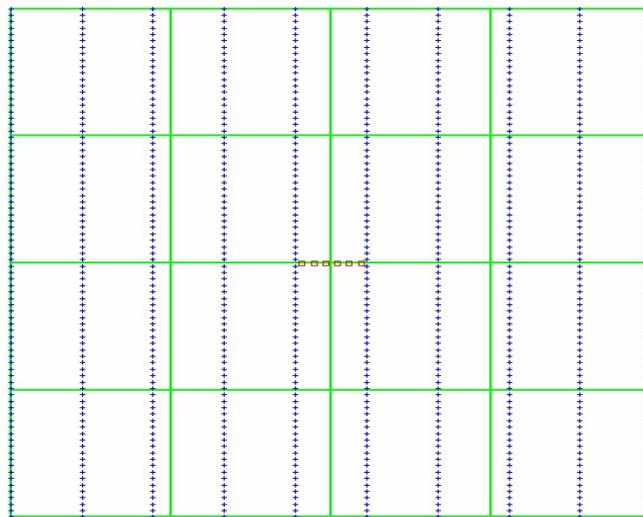


Figura 3.19 Patch sísmico con 10 líneas y 80 canales por línea receptoras

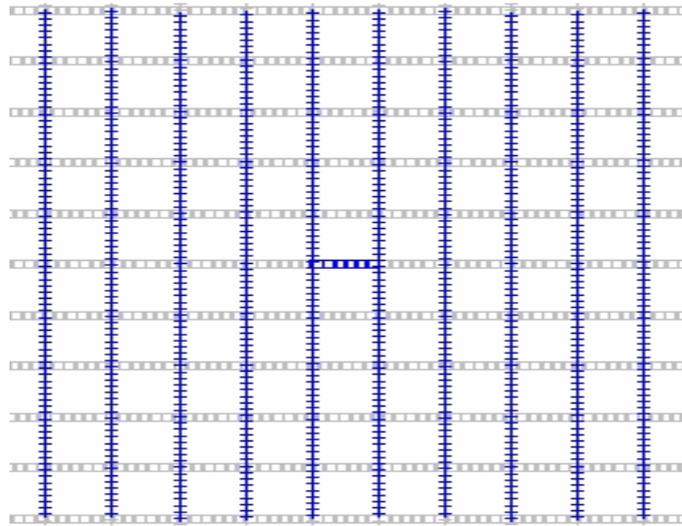


Figura 3.20 Patch sísmico con desplazamiento lineal de las líneas receptoras y líneas fuentes.

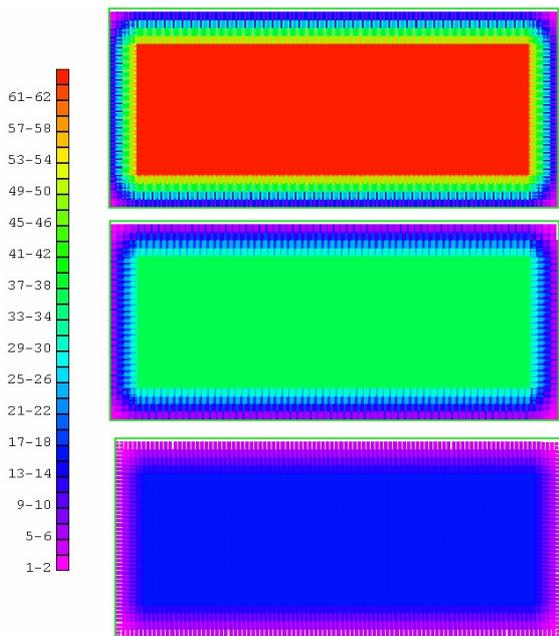


Figura 3.21 Mapa de cobertura

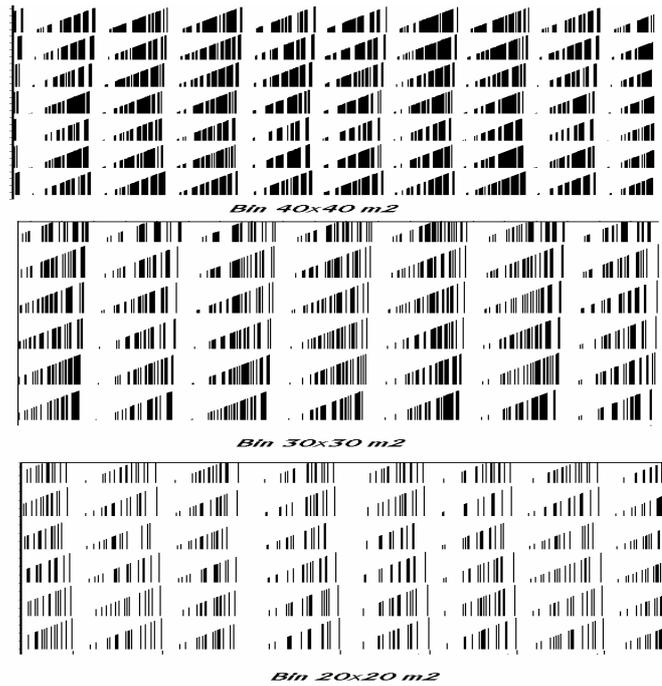


Figura 3.22 Distribución de distancia fuente receptor

CAPÍTULO 4

LEVANTAMIENTO

4.1 Levantamiento sísmico

El diseño de la adquisición del levantamiento sísmico se realizó de acorde con los objetivos principales que plantean. Estos objetivos están enfocados en realizar un estudio de eventos someros y profundos. Dado que los objetivos planteados por el cliente son múltiples, estratigráficos (someros) y estructurales (profundos) áreas en las cuales se desconoce a priori la cobertura sísmica necesaria para una relación señal-ruido aceptable, es conveniente disponer de un método de adquisición que permita flexibilidad en la selección de los tamaños de celda y las coberturas asociadas.

Por esta razón se plantea utilizar la técnica de líneas escalonadas y el método de distribución uniforme de trazas en el proyecto. Estas técnicas se basan en el muestreo uniforme en la superficie a intervalos considerablemente menores que las mitades de las distancias entre fuentes y receptores. De esta manera, se pueden definir durante el procesamiento de los datos celdas muy pequeños con baja cobertura, para el estudio de objetivos someros y celdas mayores con coberturas más altas, para estudiar los objetivos profundos.

La flexibilidad de la celda también permite un estudio de definición y coherencia de eventos para celdas grandes y un estudio de resolución horizontal para celdas pequeños. Para el diseño de las celdas hay que tomar en cuenta que existen 2 parámetros geométricos que afectan el tamaño de la celda apilada: el espaciamiento entre fuente en cada línea fuente y el espaciamiento entre receptores dentro de cada línea de receptores. Sin embargo hay que tomar en cuenta que para este estudio estos parámetros no estarán definidos por el espaciamiento entre las líneas fuentes y líneas receptoras sino por el espaciamiento entre los cdp.

4.2 Levantamiento

El levantamiento presenta las siguientes características:

- Tipo de fuente: explosivo
- Número de puntos de tiros por patch: 6
- Número de receptoras por línea: 100
- Número de líneas al pasar de un swath al siguiente: 1 (480metros)
- Distancia entre receptoras: 50 metros
- Distancia entre punto de tiro: 80 metros
- Separación de líneas de disparo: 500 m
- Separación de líneas receptoras: 480 m
- Cobertura: 25, 36, 49, variable
- Tamaño de celda (trazas, líneas): 25x40, 30x48, 35x56 m variable
- Cobertura Trazas y Líneas: 5x 5, 6x 6, 7x 7, variable
- Distancia fuente receptor máximo: 4096 metros
- Separación entre las líneas escalonadas (stagger) trazas 10 m
- Separación entre las líneas escalonadas (stagger) líneas 16 m

Una vez obtenidos los parámetros para el levantamiento del proyecto, éste fue conformado por 40 líneas receptoras en 278,85 km, 18 líneas de disparo en 263,36 km de líneas de disparo y 3,312 puntos de disparo programados y distribuidos sobre 129 km² de superficie. Esta área presenta objetivos someros (700 ms) y profundos (3000 a 3800 ms). Debido a la presencia de estos objetivos, el tamaño de la celda y la cobertura podrán ser el resultado de un compromiso entre la resolución en la sección somera y la continuidad de los reflectores en los eventos profundos.

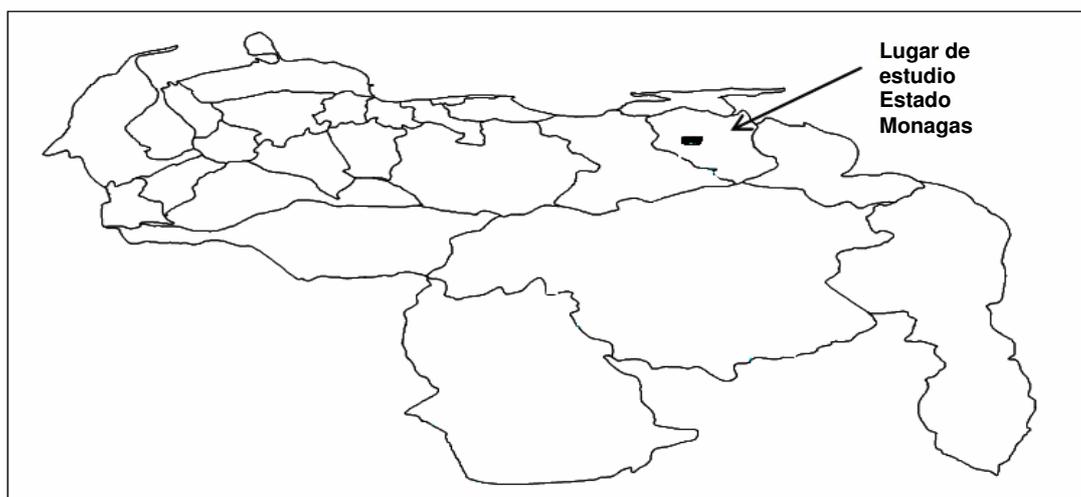


Figura 4.1 Mapa de ubicación del proyecto

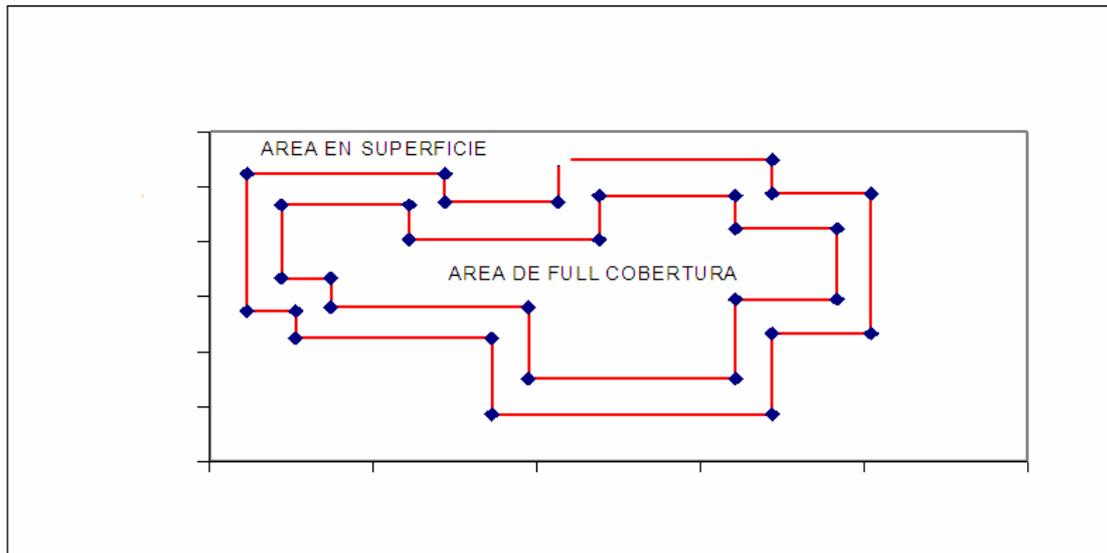


Figura 4.2 Área cubierta en superficie y de área de cobertura máxima

4.3 Diseño del patch

Tomando como referencia las características que presenta el levantamiento se diseñó el patch, así como también el mapa de cobertura, la distribución de puntos medios, fuentes-receptor (cdp cobertura) (figura 4.3). Las líneas receptoras activas forman un patch rectangular alrededor de un grupo de fuentes (figura 4.4). La separación entre las líneas escalonadas de las líneas (crossline) es mayor que las trazas, esto se debe a que el buzamiento de las capas en el sentido este-oeste es muy leve, por lo que la separación de las líneas va a ser mayor (16 m), mientras la separación entre las trazas va a ser más pequeña (10 m), ya que se requiere tener una mayor información en esa dirección dado que la capa buza en sentido sur-norte.

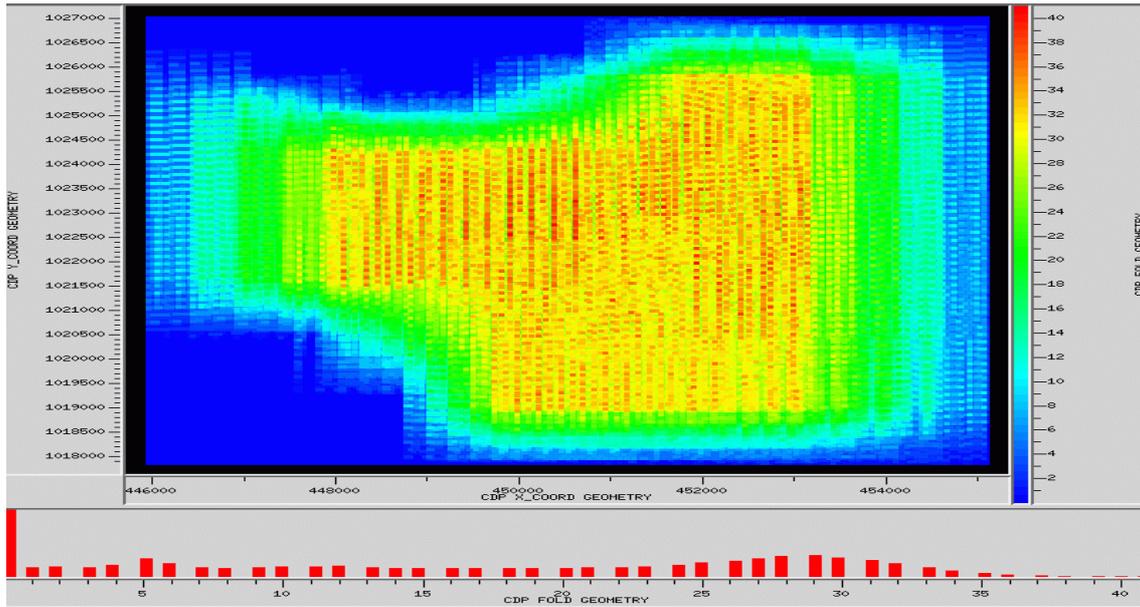


Figura 4.3 Mapa de cobertura del tendido, representado por los trazas (eje X) y líneas (eje Y)

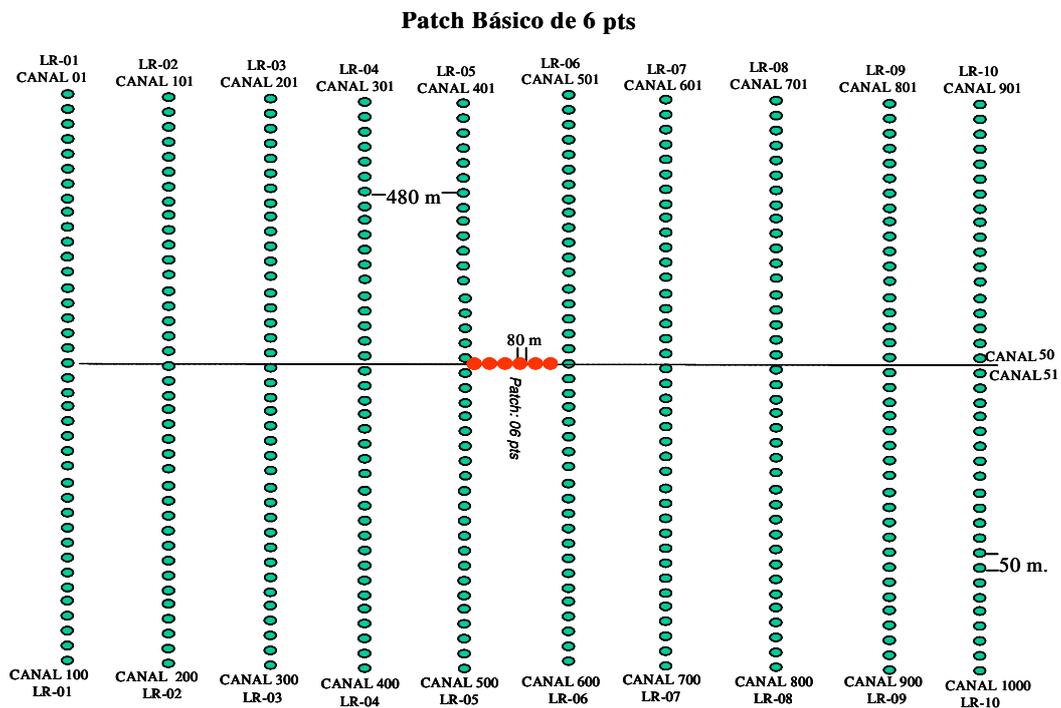


Figura 4.4 Diseño del patch

Como el área no presenta un objetivo único, se plantea la posibilidad de realizar un diseño opcional, que cumpla con los objetivos. El diseño fue elaborado por el programa Mesa versión 4.3 (Green Mountain Geophysics). Con el empleo de líneas escalonadas (stagger) y el método de distribución uniforme de trazas en el nuevo diseño, se busca obtener un levantamiento óptimo.

4.4 Diseño de la celda

Como se ha mencionado anteriormente para el diseño de estas celdas se usó la técnica de muestreo uniforme en la superficie mediante el método de líneas escalonadas, donde el espaciamiento de los cdp van a dar el tamaño correspondiente de las celdas que se van a usar para el procesamiento. Si se observa en las figuras 4.5 se puede que la distribución uniforme de los cdp.



Figura 4.5 Muestra la distribución uniforme de los cdp, los puntos de tiro y los receptores.

En la figura 4.6 se puede ver la distribución de los cdp y las distancias correspondiente para las trazas y líneas. La distancia de separación entre los cdp para las trazas son de 5 m, mientras que para las líneas es de 8, lo que permite apilar los datos a un tamaño de celda menor de $5 \times 8 \text{ m}^2$. Cualquier celda intermedio será multiplicado a una cobertura igual al área de la celda en unidades $5 \times 8 \text{ m}^2$. La cobertura de la celda menor $5 \times 8 \text{ m}^2$ es de 1. Se consideraron procesar con celdas de tamaño $20 \times 32 \text{ m}^2$, $25 \times 40 \text{ m}^2$ y $30 \times 40 \text{ m}^2$ con coberturas respectivas de 16, 20 y 30.

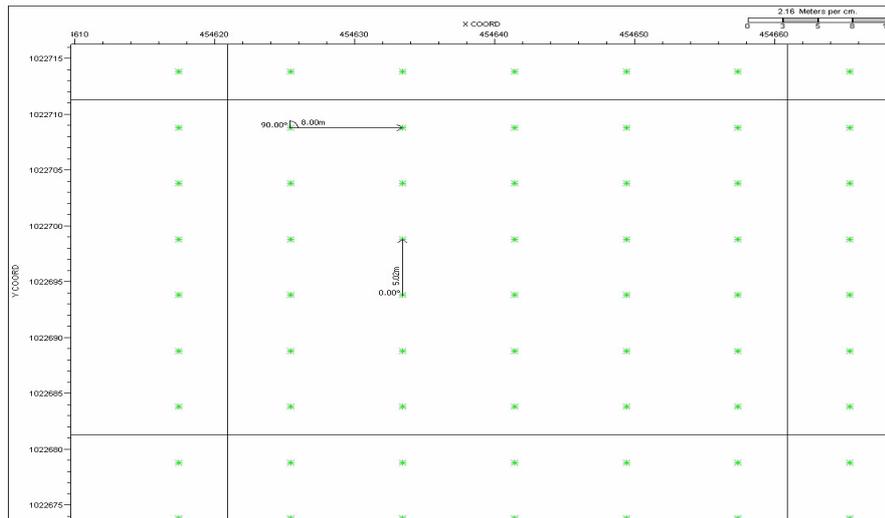


Figura 4.6 Distancia entre los cdp tanto para las trazas como líneas

4.5 Análisis del diseño del levantamiento

En el diseño, de todas las geometrías posibles se escoge aquella que permita obtener:

- Cobertura del subsuelo uniforme y adecuado.
- Distribución uniforme de las distancias fuente-receptor de las trazas contribuyentes a cada celda.
- Distribución azimutal (dirección espacial del par fuente-receptor) uniforme de las trazas contribuyentes a cada celda.

Con el empleo de las líneas escalonadas y el método de distribución uniforme de trazas, se logra una cobertura uniforme como se observa en la figura 4.5. También se logra una distribución de puntos medios fuente-receptor uniforme en el área de la celda, que permite un número de trazas igual a la multiplicidad correspondiente a la celda. La configuración que se obtuvo, ofrece facilidades de manejo del tamaño de la celda, todo esto es con el fin de conseguir la distribución de la distancia fuente receptor que sea lo más o menos correspondiente a la geometría del patch. En las figuras 4.7 4.8 y 4.9 se muestran los mapas de coberturas de los tamaños de las celdas considerados en la elaboración del diseño. La distribución de la distancia fuente receptor para las diferentes celdas se observa en las figuras 4.10, 4.11 y 4.12.

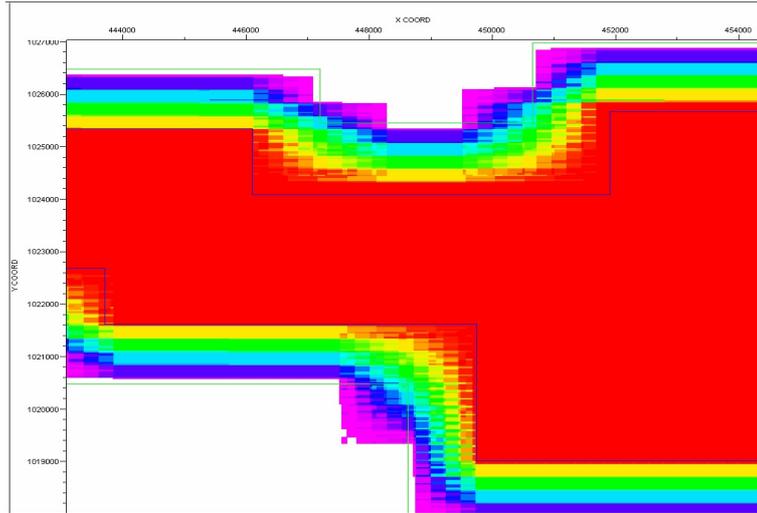
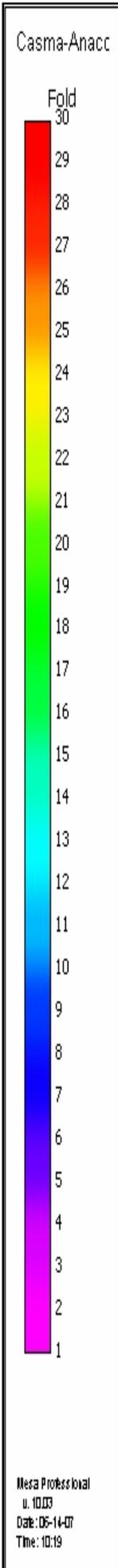


Figura 4.7 Mapa de cobertura para celda 30x40

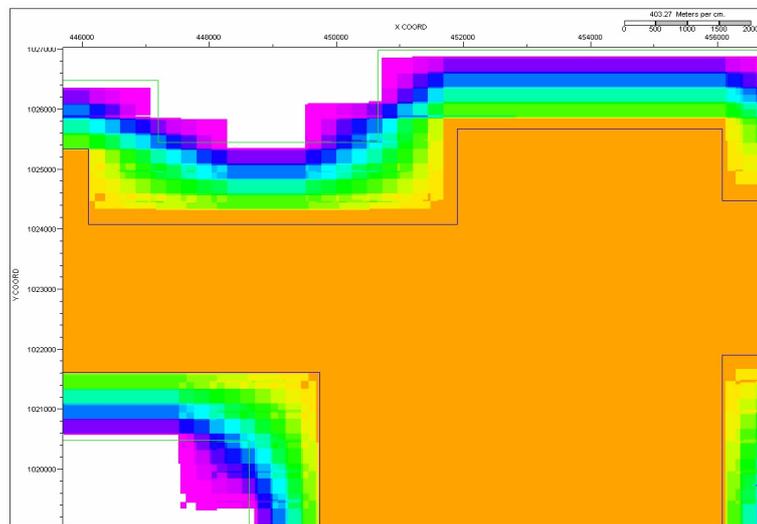


Figura 4.8 Mapa de cobertura para celda 25x40

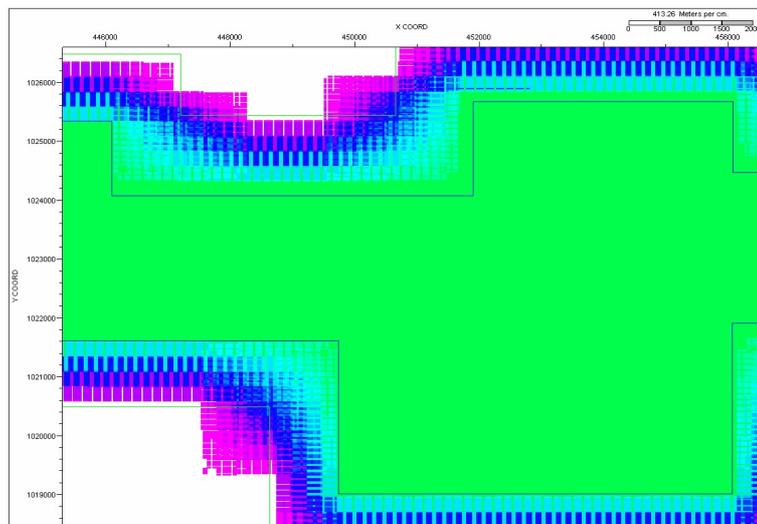


Figura 4.9 Mapa de cobertura para celda 20x32

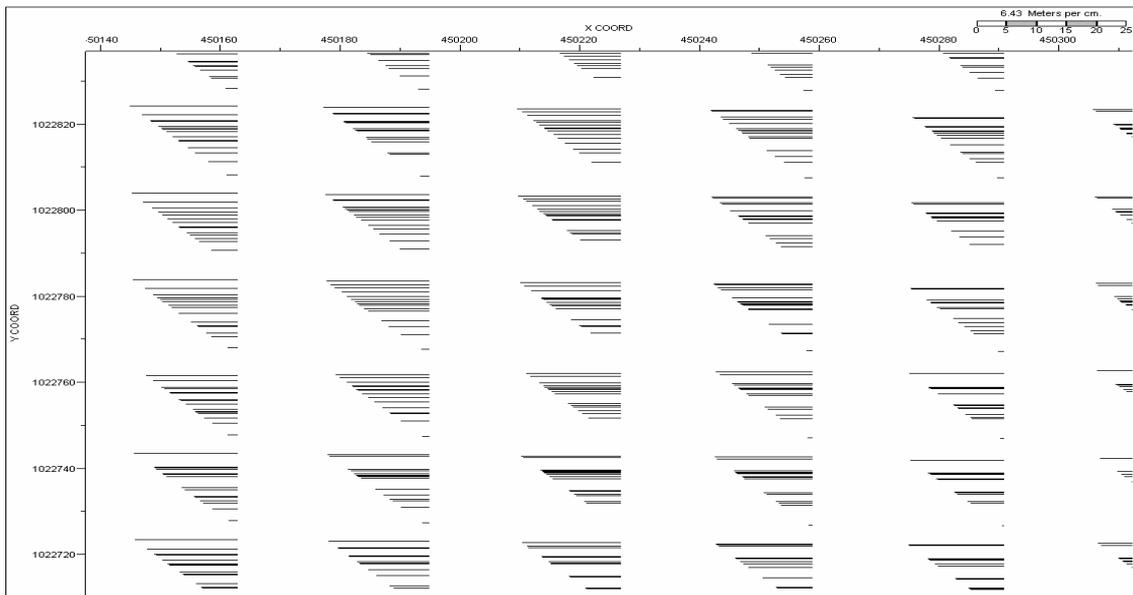


Figura 4.10 Distribución de distancia fuente receptor para celda 20x32

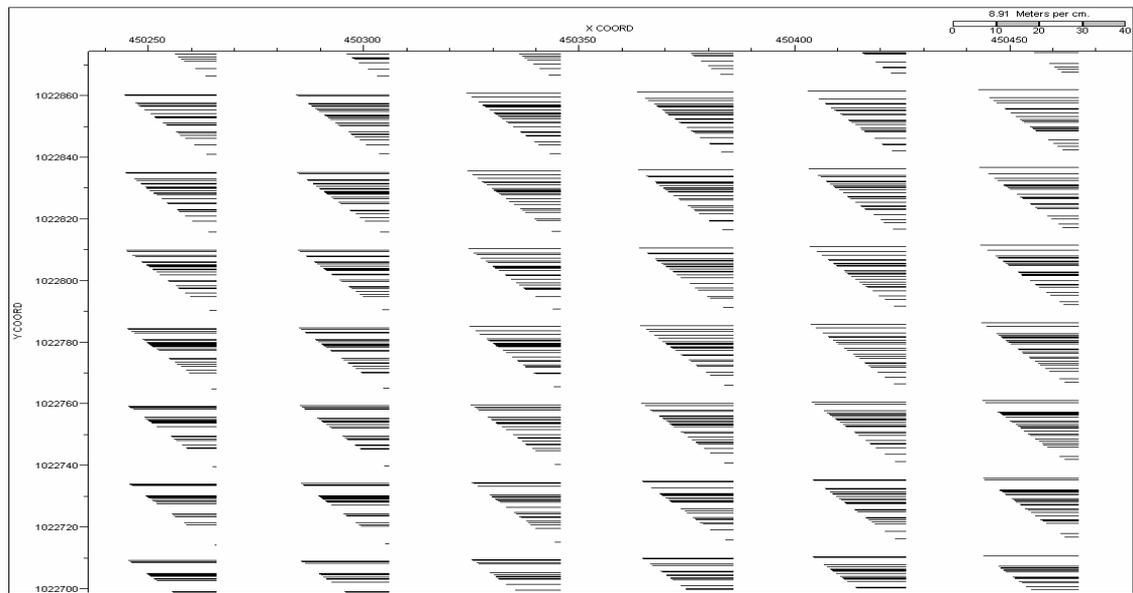


Figura 4.11 Distribución de distancia fuente receptor para celda 25x40

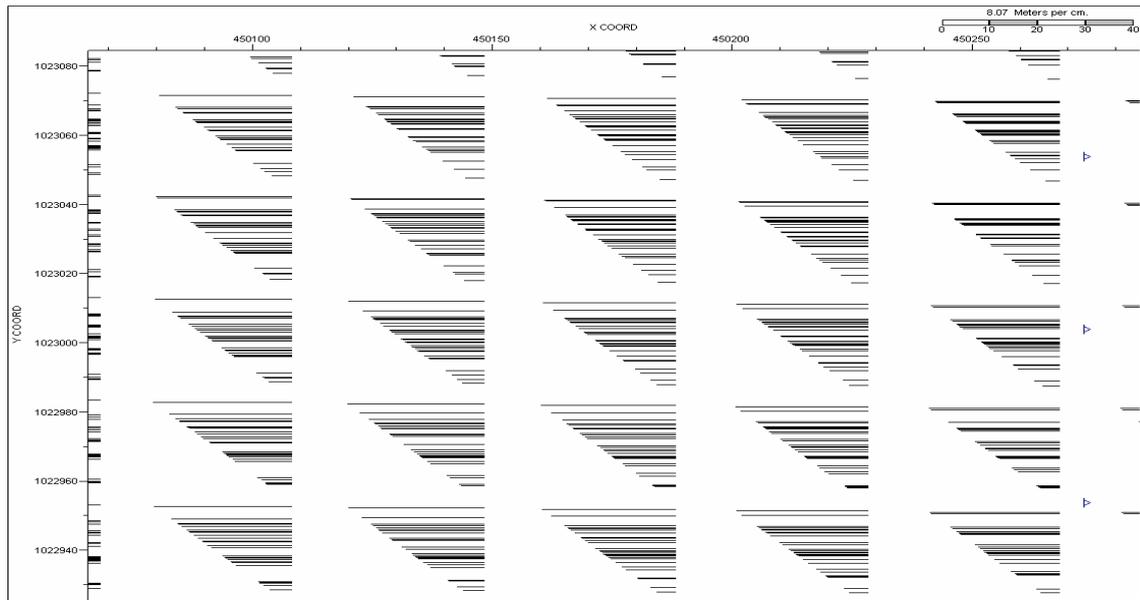


Figura 4.12 Distribución de distancia fuente receptor para celda 30x40

En la celda de 20x32 hay una baja distribución de distancia fuente receptor en comparación con los otros celdas, la cual, se hace más homogénea a medida que estos van aumenta el tamaño (celdas de 25x40 y 30x40). Mientras que para celdas más grandes la distribución de distancia fuente receptor suele ser uniforme. En las figuras 4.13, 4.14 y 4.15 se observa la distribución de azimuths para los diferentes celdas, se aprecia como en la celda de 20x32 para cada punto medio fuente-receptor hay ausencia de contribución de algunas das medias fuente-receptor, lo cual genera una mala distribución de distancia fuente receptor.

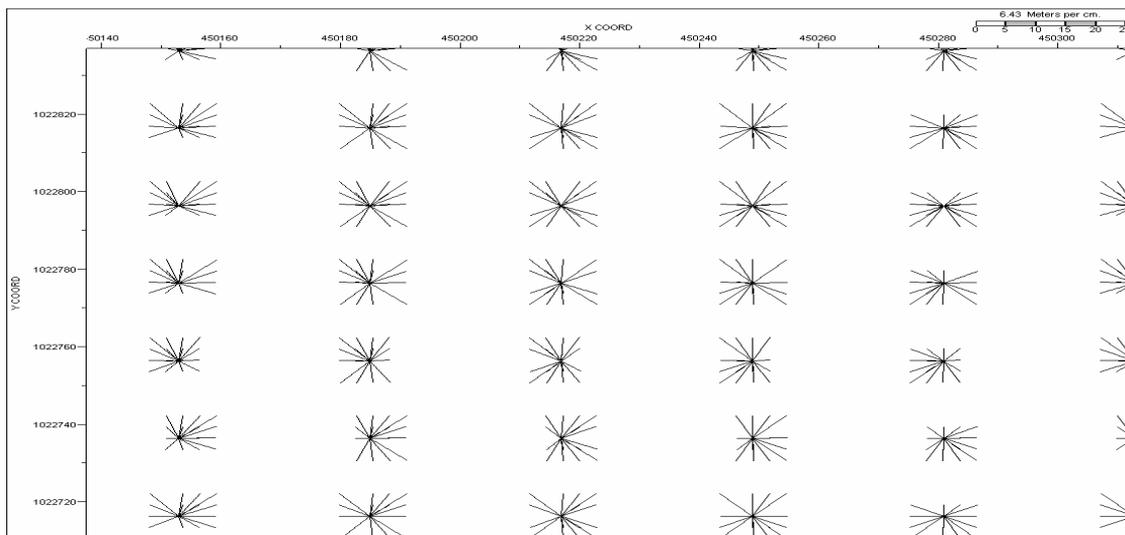


Figura 4.13 Distribución de azimuthh celda 20x32

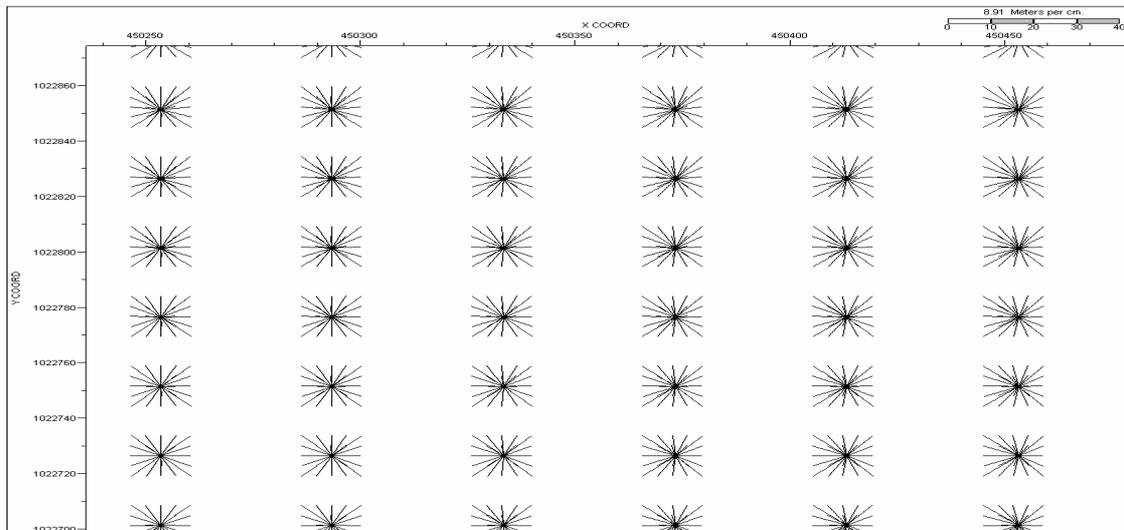


Figura 4.14 Distribución de azimunth celda 25x40

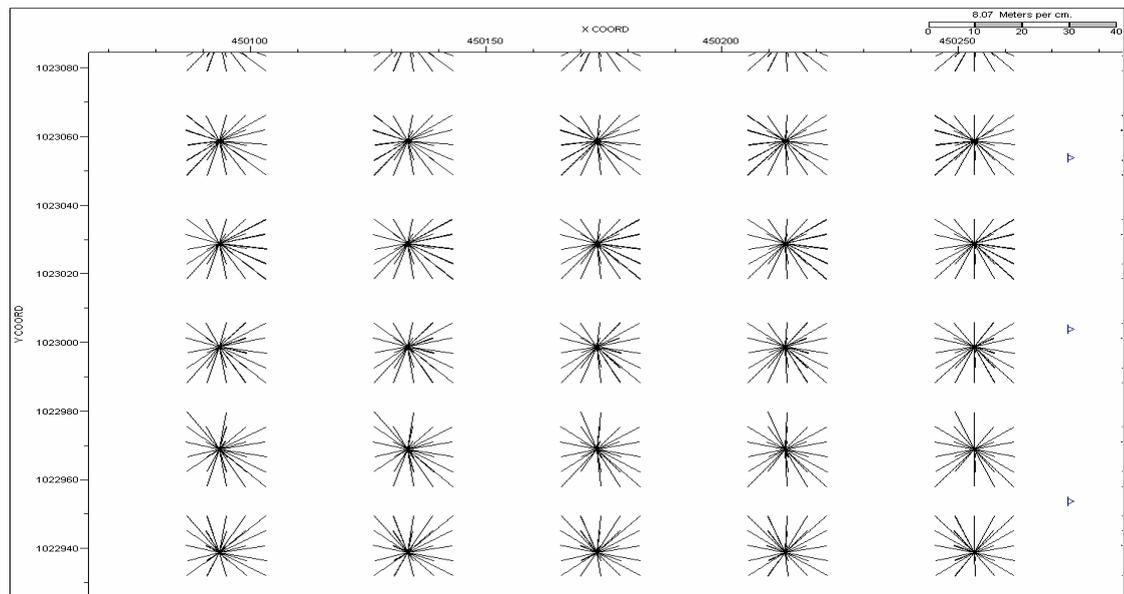


Figura 4.15 Distribución de azimunth celda 30x40

Una buena distribución lineal y área de las distancias fuentes-receptor, crea las condiciones óptimas para los análisis de velocidad a ser efectuados en el procesamiento de datos, para derivar las funciones de velocidad a ser usadas en las correcciones dinámicas y en la migración.

Con el empleo de líneas escalonadas y el método de distribución uniforme de trazas en el diseño, se puede manipular el tamaño de la celda en el procesamiento y obtener un tamaño de celda de 20x32, que el tamaño de celda 30x40 presenta la mayor

cobertura (figura 4.7) y una buena distribución azimutal, que no es mejor que la de las celdas 20x32 y 25x40 debido a que se observa la pérdida de la contribución de algunas distancias fuente-receptor.

Se puede apreciar que para la celda grande hay una pequeña pérdida de contribución de distancias fuentes-receptor en la distribución de azimuths. Esto pasa al igual que para la celda de 25x40 (figura 4.14)

En la celda de 20x32 es el de menor cobertura (figura 4.9), no posee una buena distribución azimutal y lineal posiblemente se deba a que carencia de trazas (figura 4.13). Durante el procesamiento se observará que la celda de 20x32 es de suma importancia porque ofrecerá un mejoramiento en la resolución horizontal, aunque con una pérdida en definición y coherencia de eventos.

Esta distribución uniforme de distancia fuente receptor permitirá un buen análisis de velocidad para efectuar el procesamiento y el muestreo con la distancia fuente receptor cortos, permitirá un buen análisis para aplicar las correcciones estáticas. La distribución de azimuths de las celdas de 25x40 y 30x40 se presentan uniforme. Se aprecia una mayor cobertura con la celda de 30x40 (cobertura de 30) que con la celda de 25x40 (cobertura de 20), pero ambos presentan una distribución lineal y árela uniforme que satisface las expectativas del proyecto.

CAPÍTULO 5

PROCESAMIENTO DE LOS DATOS SÍSMICOS

El procesamiento consiste en la elección y posterior aplicación de los parámetros y algoritmos de tratamiento adecuados a los datos sísmicos adquiridos en el campo (datos brutos) con el fin de obtener secciones sísmicas de calidad. El objetivo fundamental de todo procesado es aislar en los registros las reflexiones de los otros eventos sísmicos que se superponen a ellas (ruido ambiental, cono de ruido, onda aérea, etc.).

Actualmente, debido al gran incremento del volumen de datos (mayor capacidad instrumental) y al desarrollo de nuevos algoritmos (mayor potencia de cálculo), el dominio de las técnicas de procesado es el pilar básico de la prospección geofísica.

Otro factor decisivo en sísmica de alta resolución que afecta al procesamiento es la necesidad de preservar las altas frecuencias ya que las estructuras geológicas superficiales están en el límite de la detectabilidad sísmica y la aplicación de filtros para suprimir los eventos que no pertenecen a reflexiones caen, a menudo, en el mismo rango de frecuencias, de manera que cualquier disminución de este rango supone una menor definición de la sección sísmica. Es también un precepto que todo algoritmo empleado durante el procesado debe preservar el máximo posible las reflexiones originales, de manera que su aplicación no se superponga a éstas creando "artificios" que puedan considerarse como falsas reflexiones.

Para el procesamiento de datos de sísmica se utilizó un paquete comercial (PROMAX, V.7; Landmark Inc.) ampliamente usado en el procesado de la sísmica de exploración petrolera. El proyecto está conformado por 40 líneas receptoras en 278,85 km, 18 líneas de disparo en 263,36 km de líneas de disparo y 3,312 puntos de disparo programados y distribuidos sobre 129 km² de superficie. El diseño del tendido fue planteado como se muestra a continuación:

Geometría del tendido

Numero de líneas receptoras por swath	10
Intervalo entre receptoras	50 m
Avance de líneas receptoras	1 (480 m)
Número de canales por línea receptora	100
Número total de canales activos	1000 + 4 auxiliares
Separación de líneas de disparo	500 m
Separación de líneas receptoras	480 m
Número de disparos por patch	6
Intervalo entre puntos de tiro	80 m
Tamaño de celda (trazas, líneas)	20x32, 25x40, 30x40 m

Para el desarrollo del estudio se trazó una secuencia básica de procesamiento. Este secuencia fue común para cada tamaño de celda que se usó en el estudio (20x32, 25x40 y 30x40). Cabe de destacar que estas celdas no se encuentran predefinidas en la adquisición, sino son establecidas en el procesamiento de los datos sísmica, dependiendo a sus dimensiones darán una mejor resolución de los datos. A continuación se muestra un mapa de la cobertura del levantamiento.

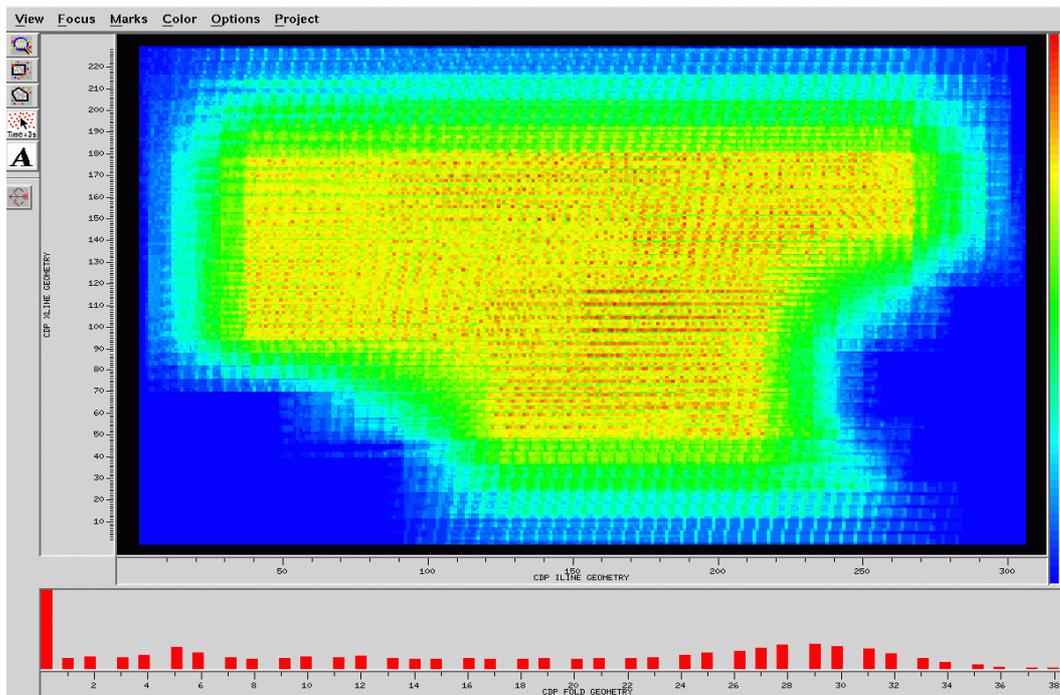
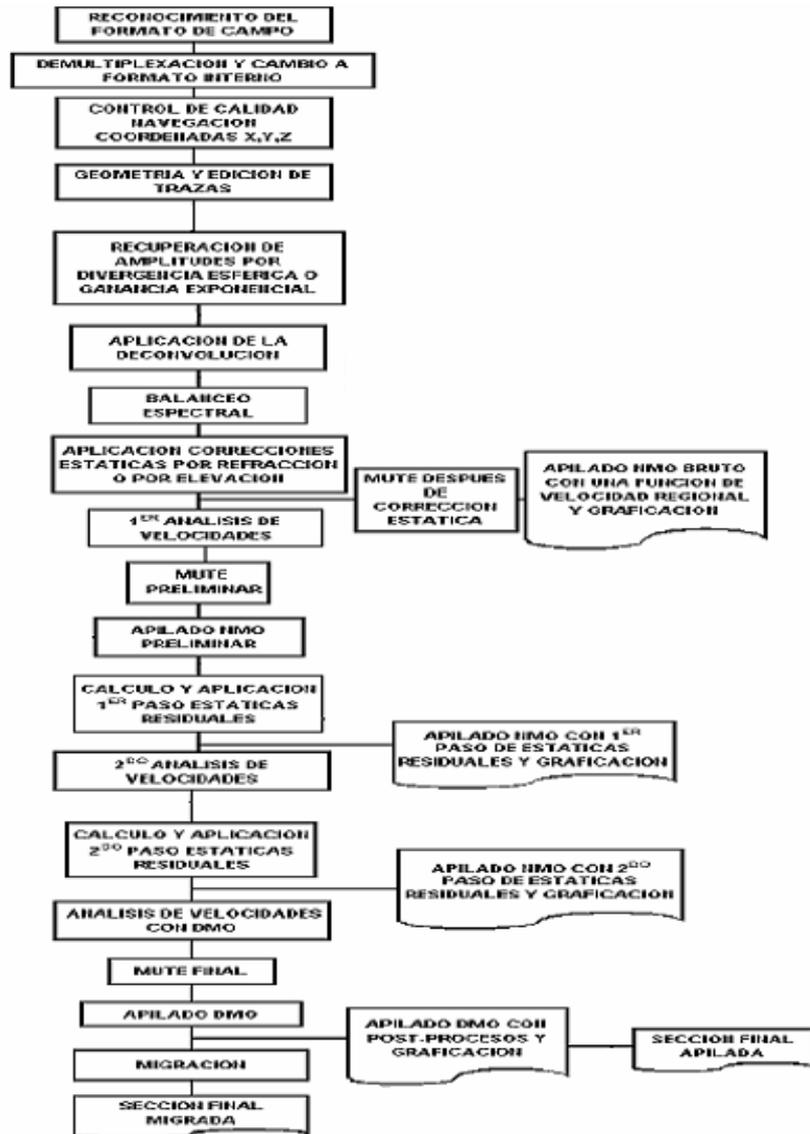


Figura 5.1 Mapa de cobertura del tendido, representado por los trazas (eje X) y líneas (eje Y)

Secuencia de procesamiento



Los datos con que se trabajaron fueron grabados en cartuchos 3590 en formato SEG-Y, los cuales se convirtieron a formato de Promax para su procesamiento, se leyeron 1369 disparos, desde el swath 12 al 27 para un total de 1230000 trazas procesadas aproximadamente.

5.1 Geometría y control de calidad

En primer lugar, fue esencial definir correctamente las coordenadas (X, Y, Z) de cada una de las estaciones (fuentes y receptores), así como algunas otras características como la distancia fuente receptor y el azimut entre otras. Algunos de estos datos fueron

introducidos manualmente, mientras que otros ya se encuentran en las cabeceras de los archivos de cada registro sísmico.

Una vez ya definida la geometría de campo queda perfectamente ubicada.

5.2 Edición

Se aplicó edición manual mediante un módulo iterativo, con este módulo se editaron las trazas anómalas, las cuales son escritas en un archivo en la base de datos, para ser aplicado en el procesamiento de los datos. A continuación se presenta una descripción más significativa de esta etapa.

Proceso	Descripción
Eliminación de trazas (<i>kill trace</i>)	Se excluyen, total o parcialmente, aquellas trazas que presentan ruido o malas conexiones. El malfuncionamiento del geófono implica la pérdida de una traza
Cambio de polaridad (<i>reverse trace</i>)	Algunas trazas suelen presentar cambios de polaridad debido a efectos de sitio o de intercambio de conexiones.
Lecturas de las primeras llegadas	En sismica de reflexión se emplean estas lecturas para el cálculo de las correcciones estáticas. En el caso específico de la sismica superficial, el conjunto de estas lecturas también se utiliza para calcular el campo de velocidades de refracción y así obtener un primer modelo del subsuelo ² .

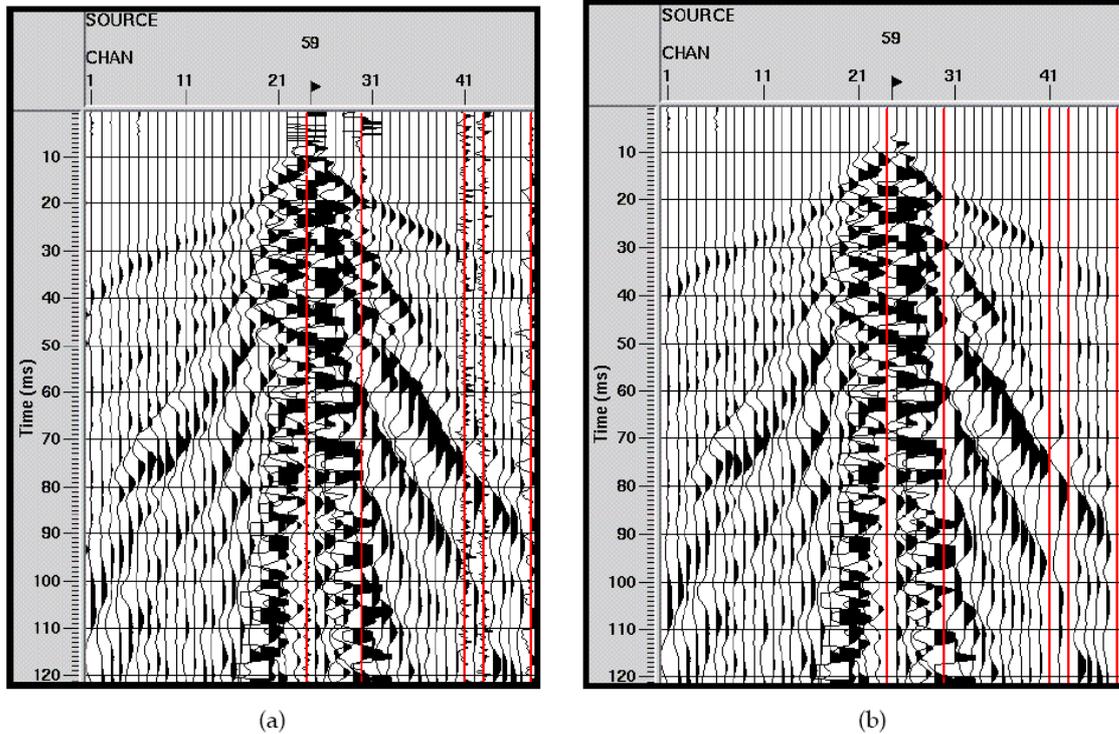


Figura 5.2 Ejemplo de un registro de campo (a) en el que se observan las trazas con alto contenido de ruido que deben ser eliminadas (b) en la primera fase del procesamiento.

5.3 Aplicación de Ganancias

A través de Promax, existe un módulo que se usa para realizar las correcciones por divergencia esféricas. Esta compensación se aplica uniformemente a todas las trazas usando una función predefinida a $g(t)$. Cada muestra de cada traza es multiplicada por la longitud del radio de la onda esférica emanada desde el punto de disparo en el tiempo de la muestra, es decir, el valor de la muestra $F(t)$ en el tiempo t milisegundos es multiplicado por un escalar.

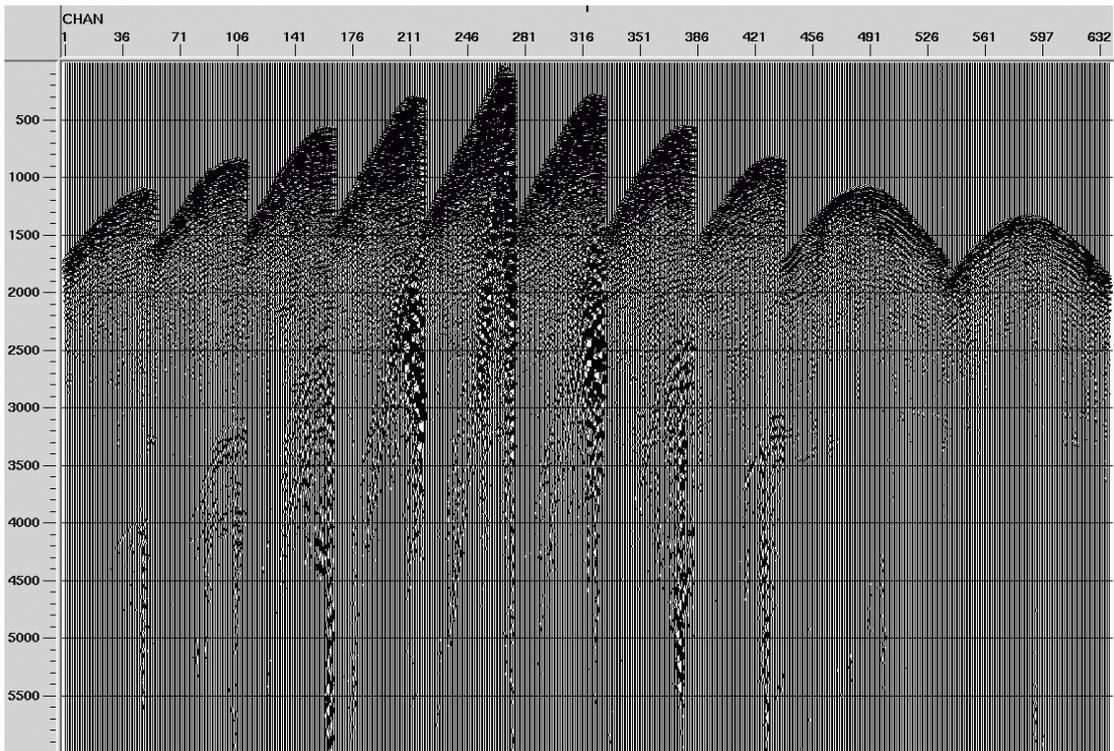


Figura 5.3 Ejemplo de una sección sin la aplicación del módulo de ganancia

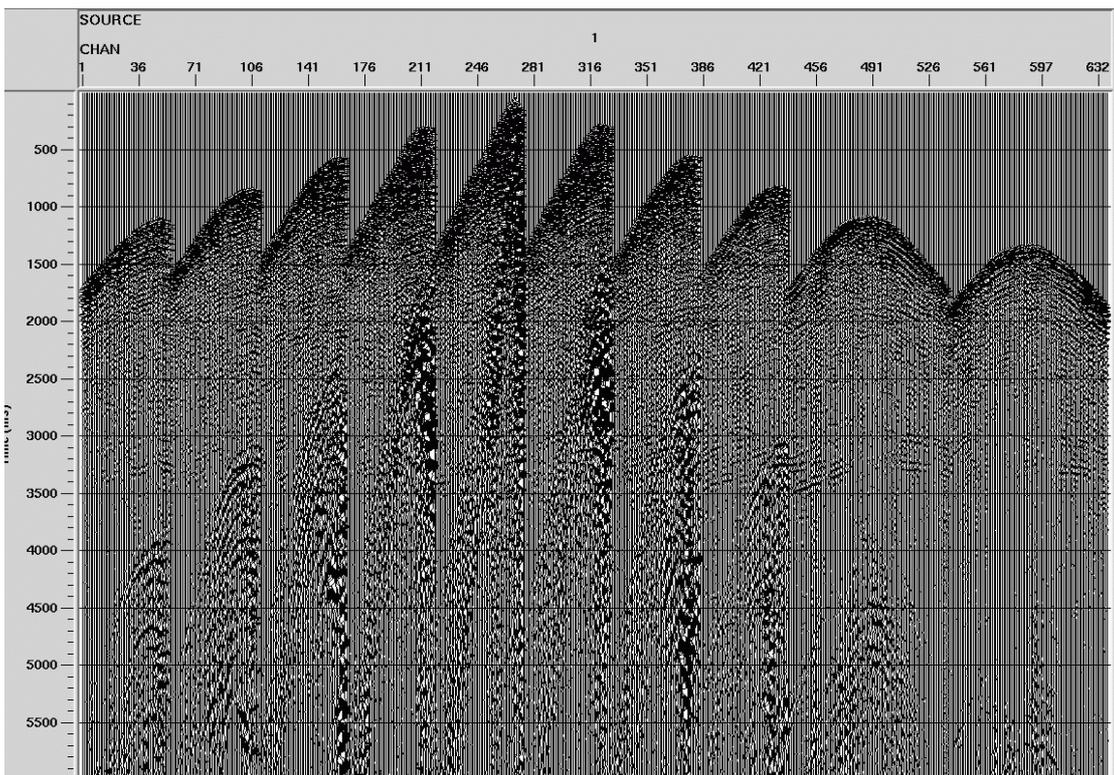


Figura 5.4 En esta sección se observa una recuperación de las amplitudes de las trazas.

Finalmente se observa como la recuperación por divergencia esférica, efectivamente se busca balancear las trazas.

5.4 Corrección de amplitud

La amplitud de los datos sísmicos varía dentro de un amplio rango debido al efecto que sobre ella tienen los coeficientes de reflexión y el decaimiento de la energía con la distancia (divergencia esférica); sin mencionar las posibles pérdidas en la transmisión de los datos o la atenuación intrínseca. Para compensar todos estos factores se aplican varios tipos de algoritmos, basados cada uno de ellos en criterios específicos (figura 5.5). Entre ellos los más usados en sismica superficial son:

Proceso	Descripción
Control de ganancia programada (<i>Programmed Gain Control, PGC</i>)	Es la corrección de amplitud más simple y consiste en asignar un valor predefinido a los datos. Se calcula el inverso de la envolvente de la traza (curva que une los picos de las trazas) de manera que al aplicar esta relación se corrige el decaimiento de la amplitud. Puede aplicarse tanto a los tiros como a las secciones apiladas, con el fin de preservar las variaciones relativas de amplitud en la dirección horizontal.
Control de ganancia automática (<i>Automatic Gain Control, AGC</i>)	El es una de las funciones de ganancias más utilizadas. Se obtiene calculando el valor medio (o promedio absoluto) de la amplitud dentro de una ventana específica de tiempo, luego se obtiene la relación entre el valor RMS deseado y el promedio antes calculado. Este escalar es asignado a la función de ganancia la cual se aplica a cada muestra o traza dentro de la ventana temporal elegida.
Corrección de amplitud por divergencia esférica (<i>True Amplitude Recovery, TAR</i>)	El objetivo de esta corrección es reconstruir las amplitudes debido a la absorción de los materiales y al decaimiento del frente de ondas con la distancia

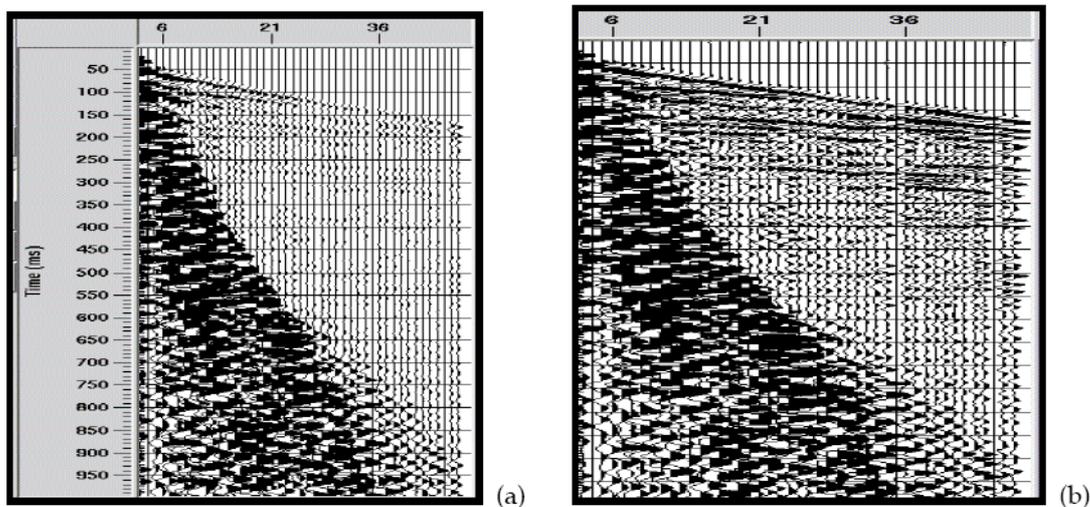


Figura 5.5 Efecto sobre un registro de campo de la corrección de amplitud por pérdida energética debido a la expansión geométrica del frente de ondas y a los mecanismos de absorción a lo largo de la trayectoria. (a) Tiro de campo sin procesar. (b) El mismo tiro en donde se ha corregido por divergencia (1/d), nótese el aumento de amplitud de las bajas frecuencias.

5.5 Deconvolución

Para este proceso se empleó el algoritmo Wiener-Livinson para mejorar la señal y extender su ancho de banda. Este algoritmo intenta encontrar filtros que convierten la señal de entrada en una deseada.

Antes de ser aplicada el módulo de deconvolución se tuvo que realizar un análisis de autocorrelación, este estudio permitió determinar algunos valores que se usarían para la aplicación de unos parámetros indispensables para la ejecutar el módulo que efectuar la deconvolución. A continuación se observa en la figura 5.6 un análisis de autocorrelación donde se determinó los valores correspondientes para la longitud del operador y la distancia predictiva.

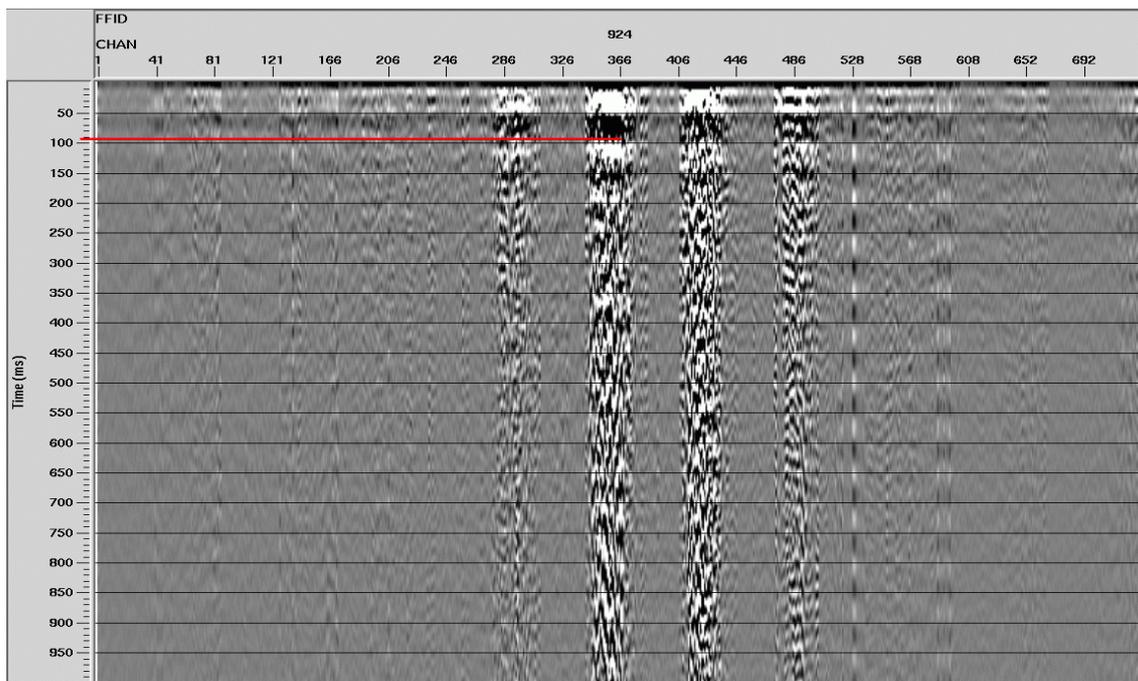


Figura 5.6 Se observa el tiempo tomado para la longitud del operador el cual fue de 90 ms y la distancia predictiva es de 16 ms aproximadamente.

Para este estudio se usaron un conjunto de parámetros dispensables a la hora de aplicar la deconvolución a los datos. Entre estos parámetros están:

1.- *La longitud de la ventana de diseño*, el operador de deconvolución es diseñado para cada traza sísmica individual. En este estudio se seleccionó una ventana de tiempo y espacio que se excluía zonas ruidosas (especialmente las primeras llegadas) y que garantizara las condiciones de inamovilidad (invarianza en el tiempo), tanto de la ventana como de la ondícula sísmica. Los valores de esta ventana son:

Tiempos	TDS1	TDE1	TDS2	TDE2
Venta de Diseño	446	2620	3696	5616
Ventana de Aplicación	646	5488	3434	5982

2.- *Longitud del operador*, una vez ya inspeccionada la autocorrelograma en la ventana seleccionada, se obtiene la cantidad y periodicidad de los múltiplos presentes. Esta longitud del filtro en tiempo, debe ser lo suficientemente larga para cubrir al múltiple del período más largo, por lo que se escogió una longitud del operado 90 ms .

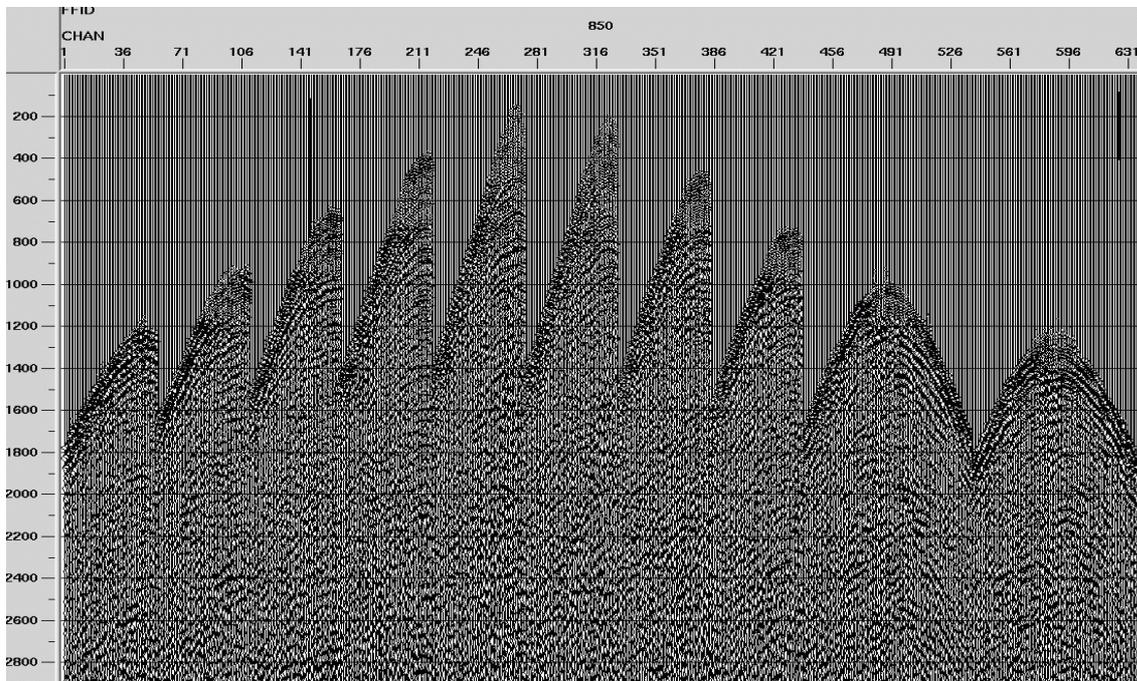


Figura 5.7 Disparo con una longitud de operador de 45 ms . Se puede observar que la señal se pierde a medida que la longitud va siendo menor, esta pérdida de la señal se nota entre los 200 a 1800 ms .

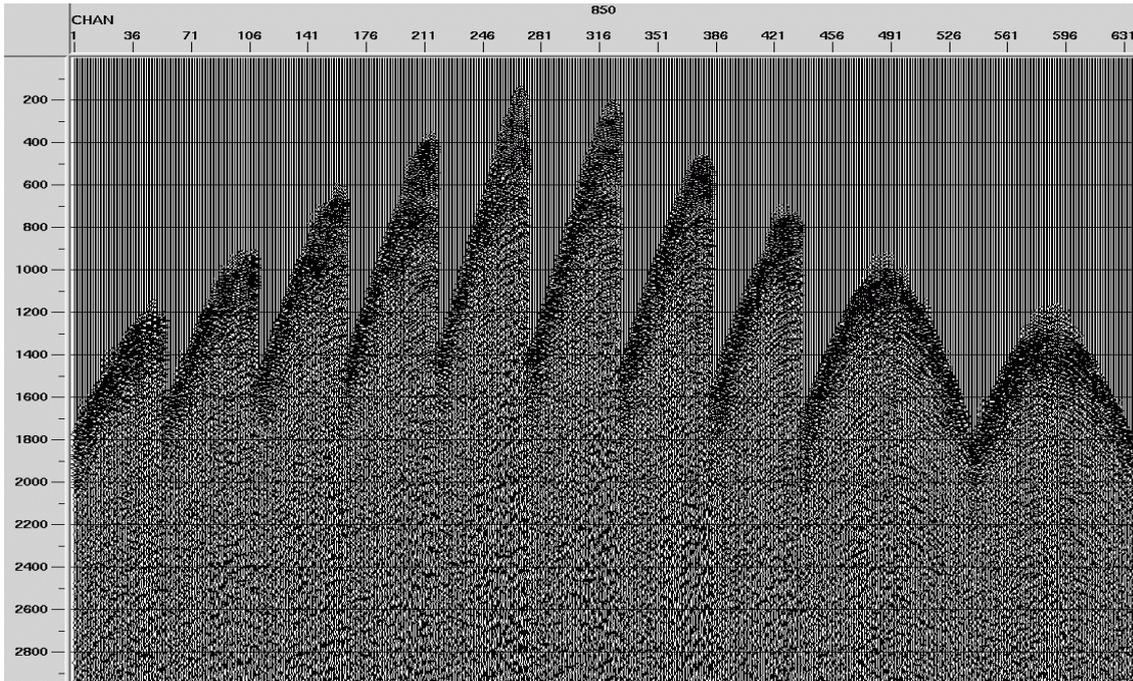


Figura 5.8 Disparo con longitud de operador 90 ms . En esta longitud se puede apreciar que la señal se mantiene.

3.- *Distancia predictiva*, para la deconvolución predictiva, esta distancia no debe ser mayor que el menor período del múltiple. Esta distancia en tiempo, se selecciono a fin de preservar la ondícula sísmica y al mismo tiempo de mejorar la resolución. Por lo que se tomo un nivel de ruido aleatorio que comprendieran altas frecuencias del espectro de la señal sísmica y la señal deseada. La distancia que se selecciono fue 16 ms .

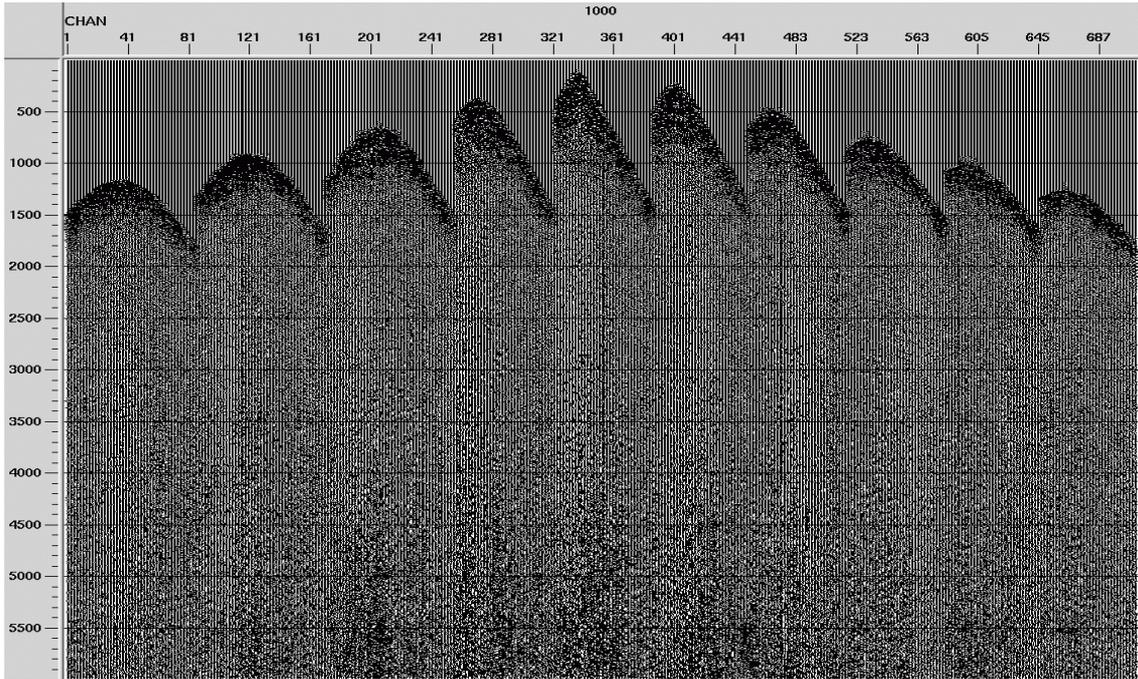


Figura 5.9 En esta sección se puede ver que hay una pérdida de la señal y de la resolución

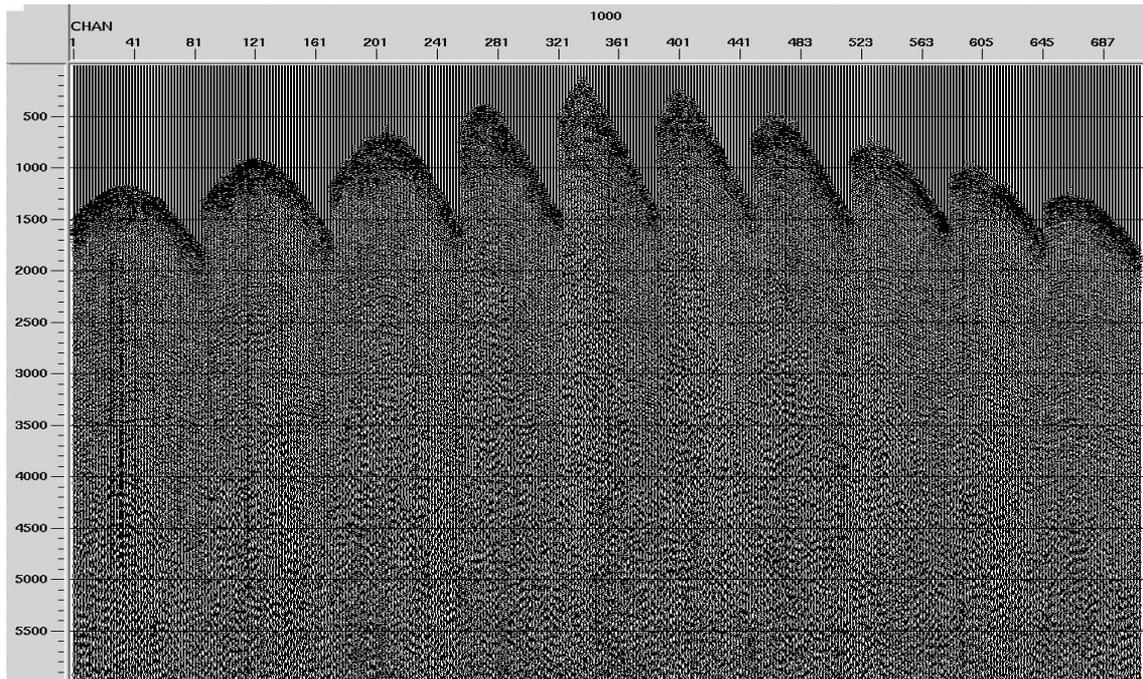


Figura 5.10 Se observa como la señal se mantiene y la resolución es mejor, usando una distancia predictiva de 16 ms.

4.- *Ruido aleatorio o ruido blanco*, en el diseño del filtro inverso puede volverse inestable y la matriz de autocorrelación en las ecuaciones normales podrá no tener un

inverso estable (pseudo inverso). Por ende, fue necesario añadir un porcentaje de ruido a fin de mejorar su inversión. Para el estudio el porcentaje de ruido utilizado fue 0.1 %

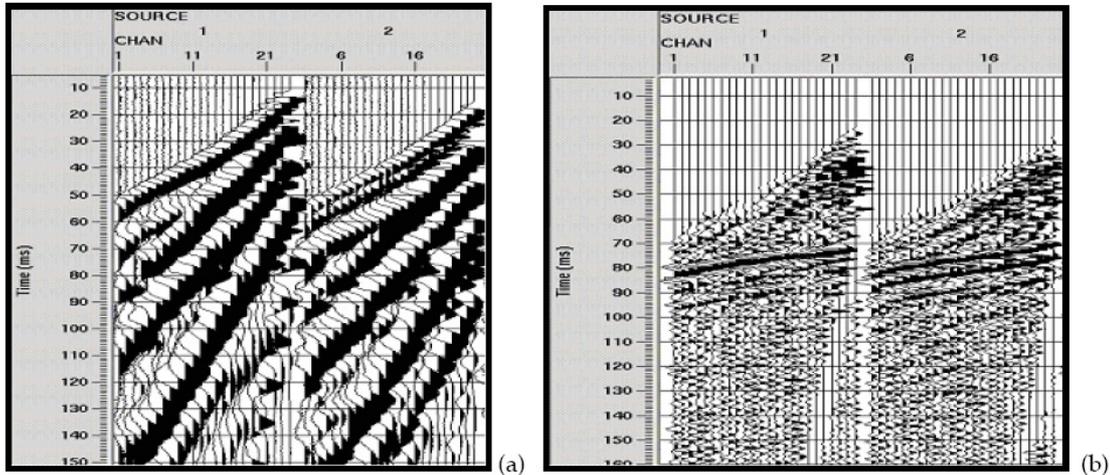


Figura 5.11 (a) Registros de campo (b) Los mismos registros después del borrado de las refracciones, de la aplicación de un balance de amplitud y de una deconvolución seguida de un filtro pasa-banda

5.6 Aplicación de filtros

Para las pruebas de balanceo espectral se efectuaron varios filtros para mejorar la señal en el dominio de la frecuencia y atenuación de ruido, no obteniendo resultados satisfactorios, se acordó no aplicarlo. También se realizaron pruebas de filtro FK teniendo como dominio el número de ondas por frecuencia y de las pruebas obtenidas se concluyó no aplicarlo a los datos por disminuir y eliminar frecuencias deseadas.

En las pruebas de filtro se realizaron evaluaciones variando las frecuencias de corte bajo y alto, aprobando el filtro pasa banda con frecuencias de corte bajo en 10-14 Hz y de corte alto en 120-130 Hz.

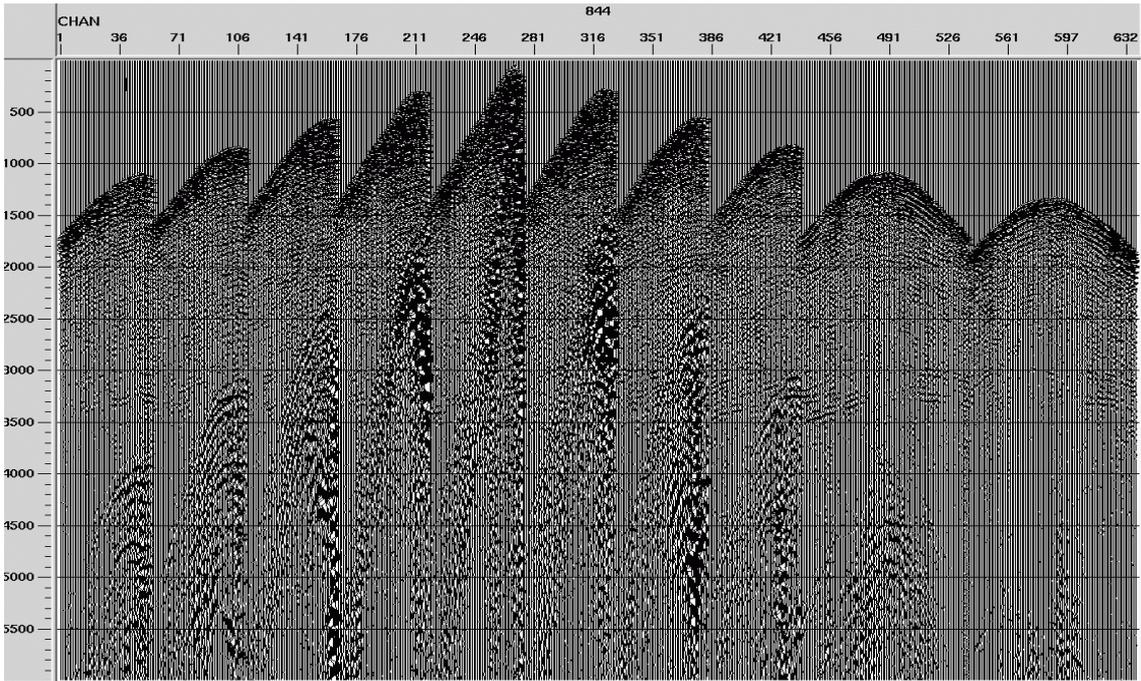


Figura 5.12 Se muestra una sección original, donde aun no se ha aplicado el filtro, se observa el ruido del registro (cono de ruido, onda de aire).

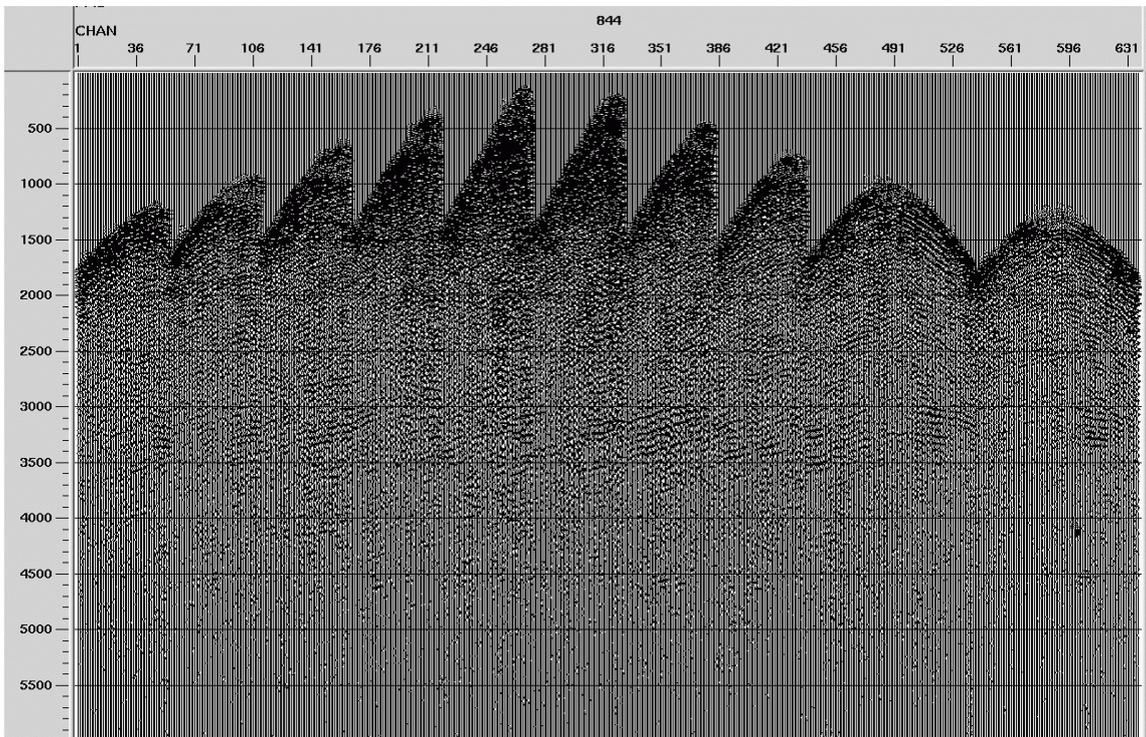


Figura 5.13 Se observa como el ruido se ha eliminado por medio de la aplicación del filtro pasa banda.

5.7 Correcciones estáticas

5.7.1 Estática de elevación

En la siguiente figura se puede observar un disparo con las estáticas aplicadas. Se observa, al compararlo con la figura 5.14 y 5.15 (disparo sin estática), la mejora de los primarios, se nota también como el tiempo de retardo producto de la capa alterada ha sido eliminado. Esto se logra ya que se ha eliminado el efecto o retardo producido por la capa alterada en el dominio fuente-receptor.

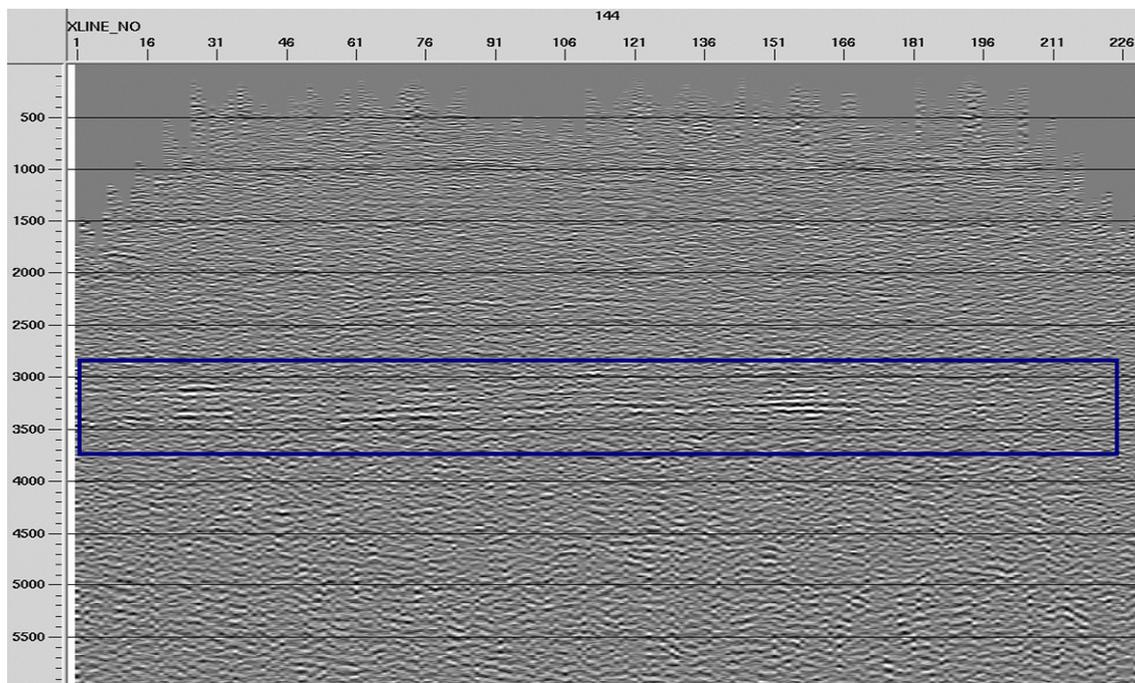


Figura 5.14 Muestra una sección sin estática de elevación, en los recuadros azules se pueden ver como los reflectores no tienen una continuidad bien definida.

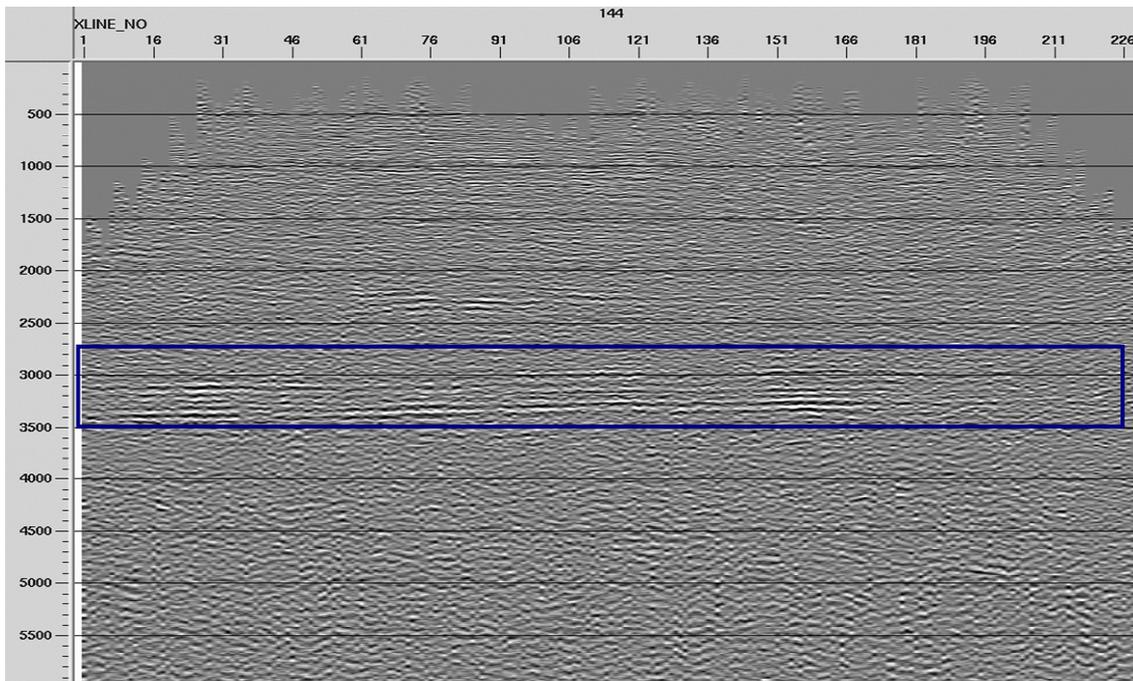


Figura 5.15 En esta sección se muestran que los reflectores presentan una mejor continuidad tanto en la parte más somera entre los 500 a 1000 ms como en la parte más profunda alrededor de los 3500 ms

5.7.2 Corrección por estática residual

Luego de aplicar NMO, no se consigue una perfecta alineación de las trazas apiladas, se desea entonces lograr dicha alineación usando un proceso automático. Para ello se necesita un modelo que corrija la trayectoria hiperbólica de una onda que sale de una fuente, viaja hasta un punto profundo en un horizonte reflector y regresa a un receptor.

La idea de aplicar esta corrección es mejorar la coherencia entre las trazas sísmicas que constituyen un CDP, al tiempo que se mantenga la verdadera relación entre estructura geológica, en el subsuelo, esto se puede observar en las figuras 5.16 y 5.17, donde la coherencia de los reflectores se ven mas definidas.

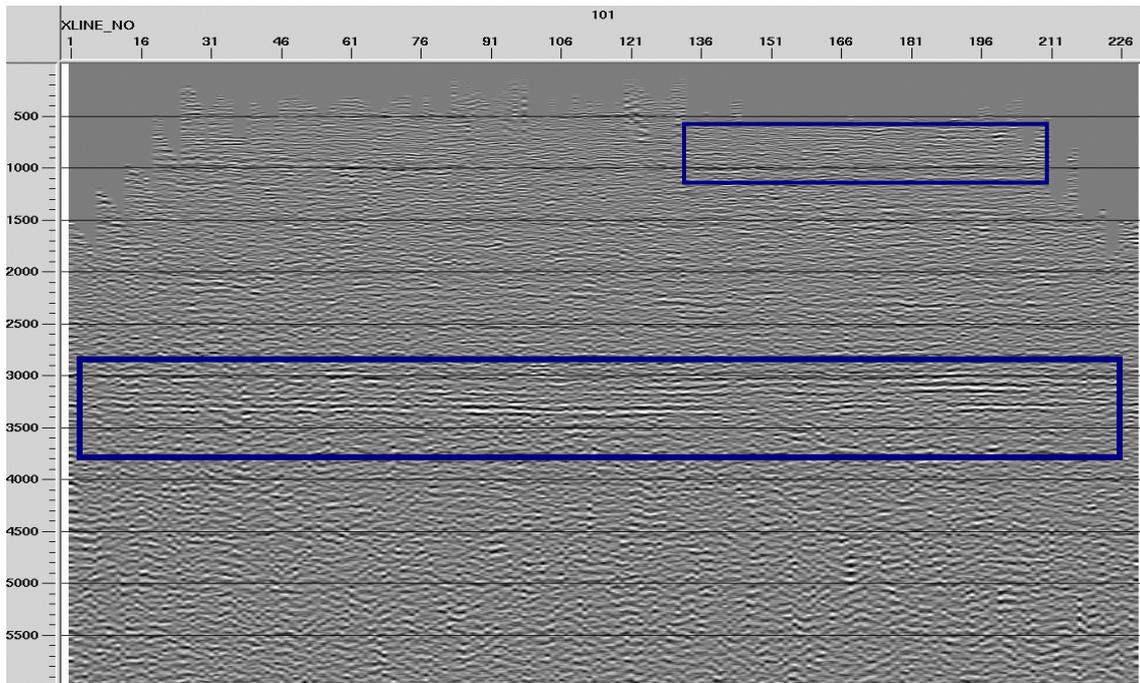


Figura 5.16 En el rectángulo señalado en la sección, se puede observar como los reflectores no están bien definidos, no poseen una continuidad a lo largo de la sección

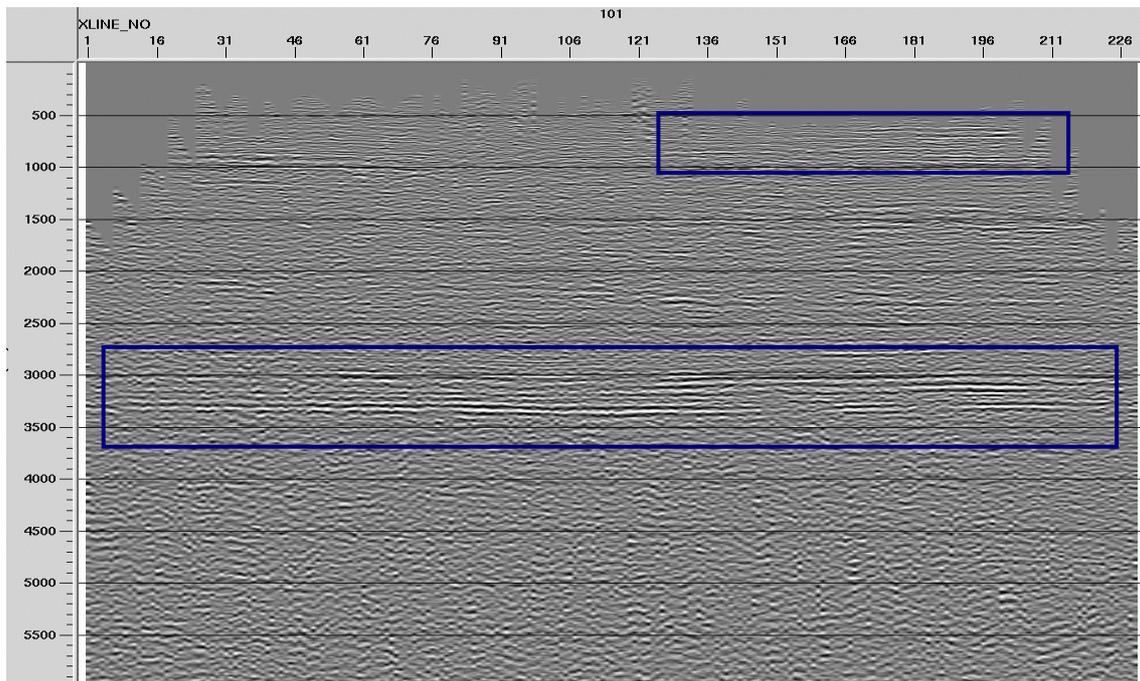


Figura 4.17 Se puede observar una mejora de la coherencia entre los reflectores que conforman la sección, teniendo una continuidad mas definida a lo largo del registro.

5.8 Tratamientos de apilamiento

5.8.1 Análisis de velocidad

El análisis se basa en la suposición de hiperbolicidad en las curvas de moveout normal. De esta manera, variando la velocidad se intentó ubicar la curva hiperbólica que mejor ajuste a los datos.

Para obtener dichas funciones de velocidades se tuvo que desplegar secciones o paneles de semblanza para cada gathers CMP y se selecciona las velocidades de apilamiento tomando en cuenta que los contornos de máxima semblanza corresponden a la mejor velocidad de apilamiento para dicho reflector, como se muestra en la próxima figura 5.18

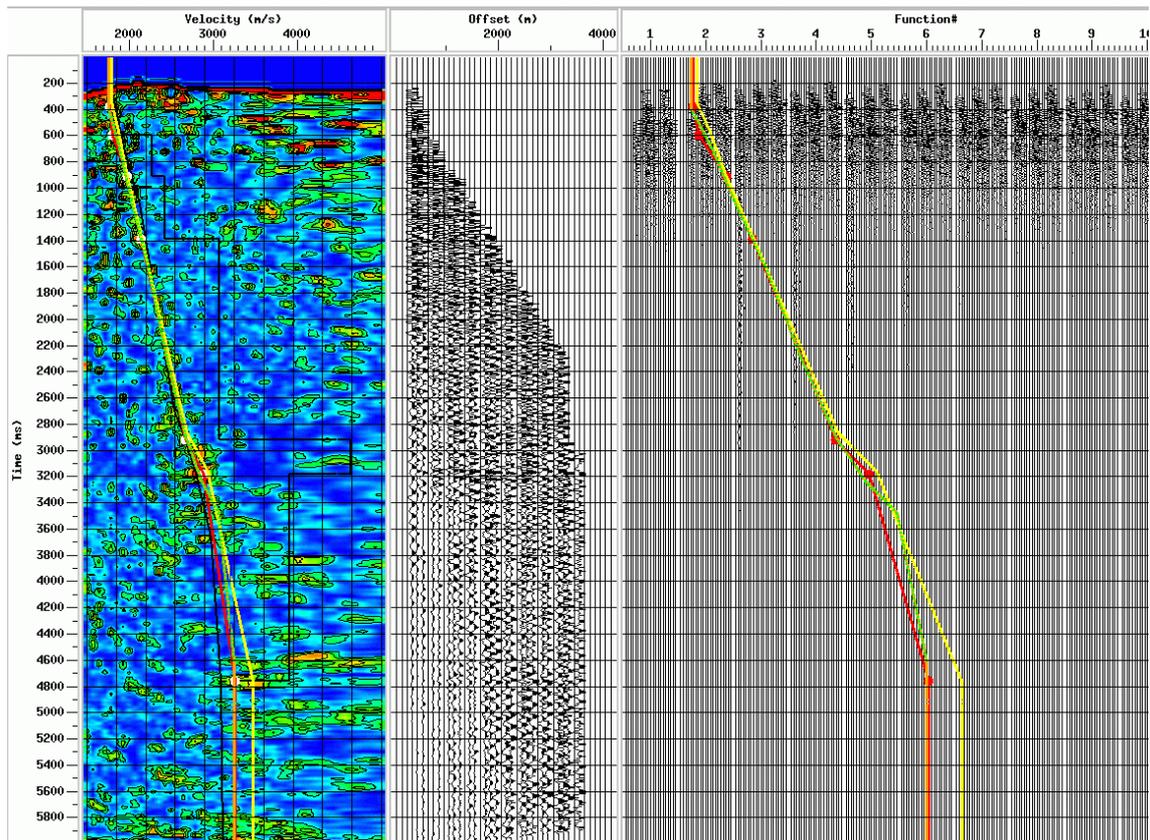


Figura 5.18 Muestra los gathers CMP donde se seleccionarán las velocidades de apilamiento.

Estas velocidades en función del tiempo, serán necesarias para las correcciones dinámicas NMO, dichas correcciones compensaran el aumento del tiempo de viaje que se producen al aumentar la distancia entre la fuente y el receptor.

A lo largo del procesamiento se efectuaron un total de cuatro análisis de velocidades. Los análisis se realizaron para cada estática, y posterior al DMO para refinar los campos de velocidades.

5.8.4 Apilamiento

Con los resultados del análisis de velocidad y una vez aplicadas las correcciones NMO se procedió, mediante la suma, a obtener la sección sísmica. Dicha sección obtenida aún no es la definitiva, aún se deberá realizar determinados procesos (calidad de coherencia u horizontalización de las reflexiones sísmicas de los datos sísmicos apilados) con el fin de llegar a una sección mejorada.

El primer apilado que se realizó fue después de realizar el estudio de ruido (deconvolución, filtro, ganancia, recuperación de amplitudes), posteriormente se efectuó un análisis de velocidad, donde se creó un archivo de velocidades a través de los piques de los super gathres (figura 5.19)

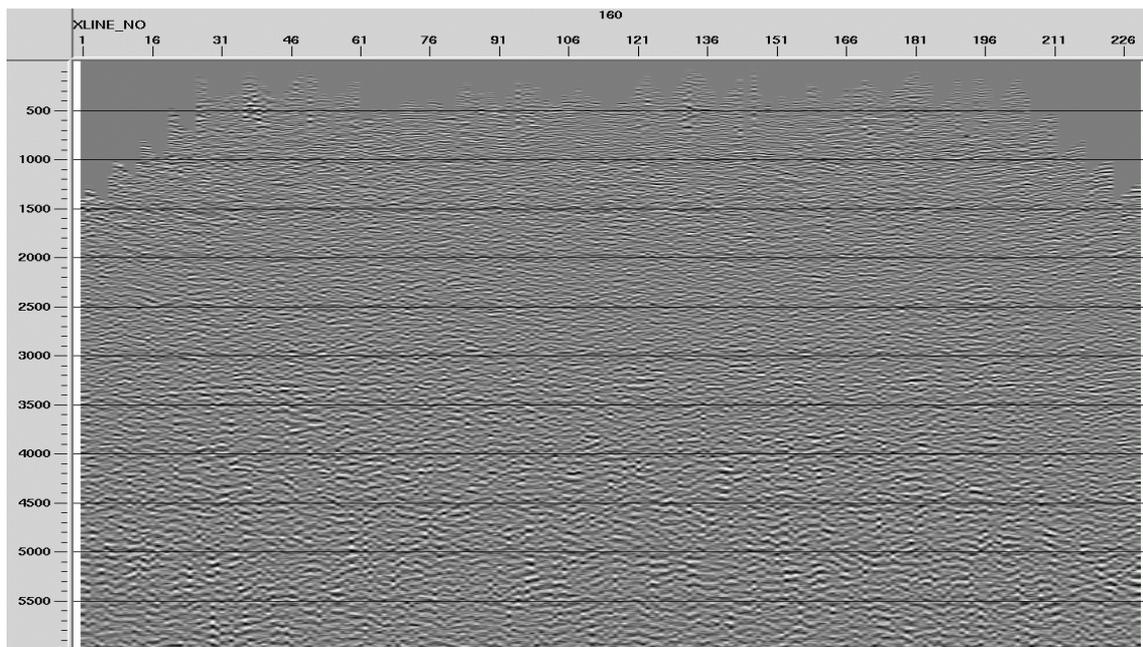


Figura 5.19 Sección apilado luego realizar el estudio de ruido (deconvolución, filtro, ganancia, recuperación de amplitudes)

Luego se generó un apilado para aplicar la estática de elevación, cuya entrada de referencia fue el primer archivo de velocidad (figura 5.20). Luego se realizó una primera iteración para las estáticas residuales, creando un nuevo archivo de velocidad (figura 5.21), luego se decidió hacer una segunda iteración para las estáticas residuales (figura 5.22), esto con el fin de refinar más los datos, para ello se tuvo que crear otro archivo de velocidad, este archivo de velocidad fue el que se uso como referencia para el resto del procesamiento.

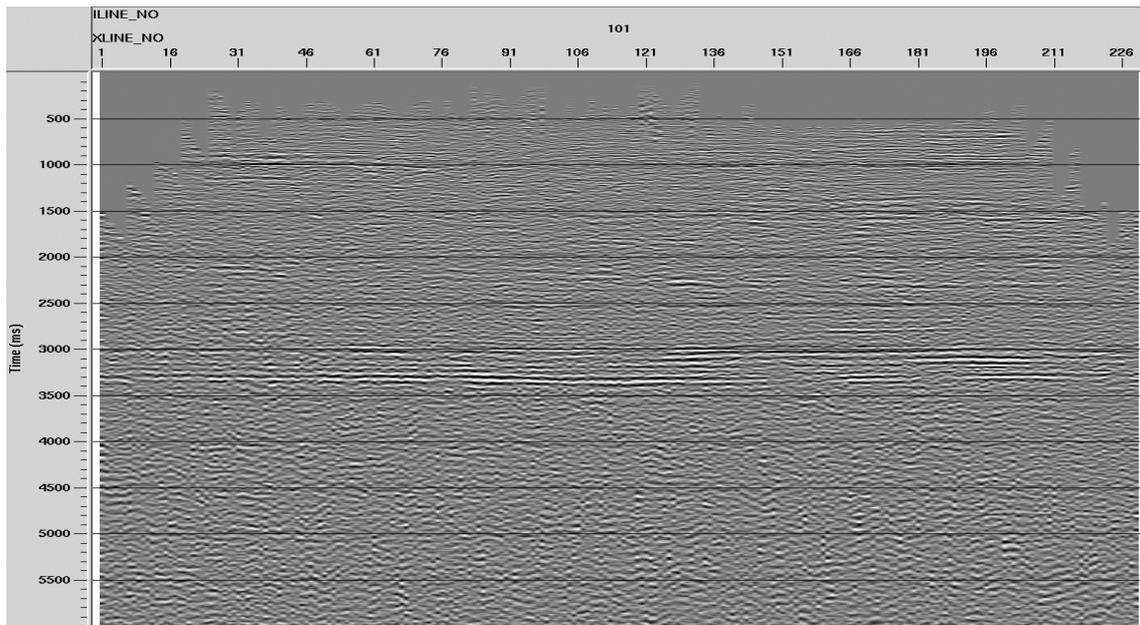


Figura 5.20 Sección apilado con estática de elevación

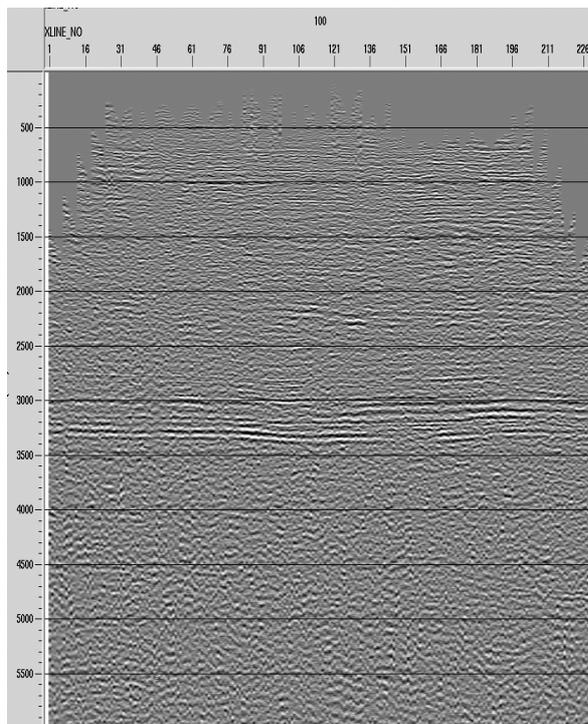


Figura 5.21 Sección apilada con primera iteración

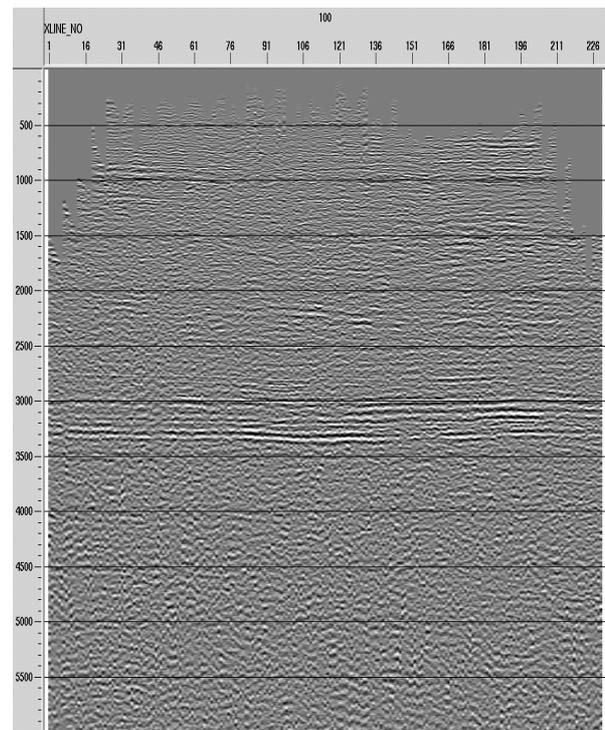


Figura 5.22 Sección apilada con segunda iteración

El último apilado se efectuó al hacer el estudio de DMO. Previo al apilado de DMO se tuvo que hacer un análisis de velocidades para generar el archivo de velocidad que necesitaría el apilado. Este último apilado será la entrada del siguiente paso en el procesamiento, que sería la de migración post-apilado (figura 4.23)

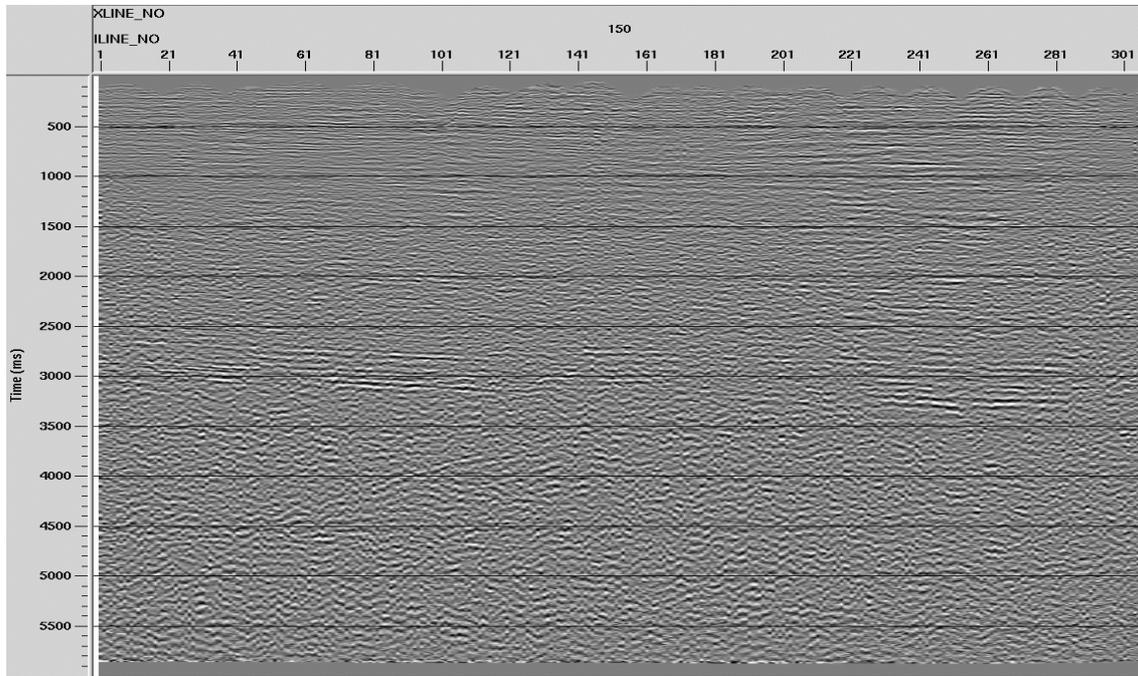


Figura 5.23 Sección apilada por DMO tomando como referencia el ultimo archivo de velocidad

5.9 Migración

Para este paso del procesamiento fue necesario tener como dato de entrada el apilado de DMO. Una vez obtenido esta entrada se procedió a aplicar la migración.

El tipo de migración que se realizó fue por difracción o migración por la integral de Kirchhoff siendo estos unos de los algoritmos más fáciles de usar, dando mejores resultados.

El módulo que se usó para la aplica la migración se llama Kirchhoff Time Mig, tomando como 60° de buzamiento máximo para migrar, se usó una máxima frecuencia de migración de 80hz y la apertura de migración fue el máxima distancia fuente receptor (4200 m) (figura 5.24)

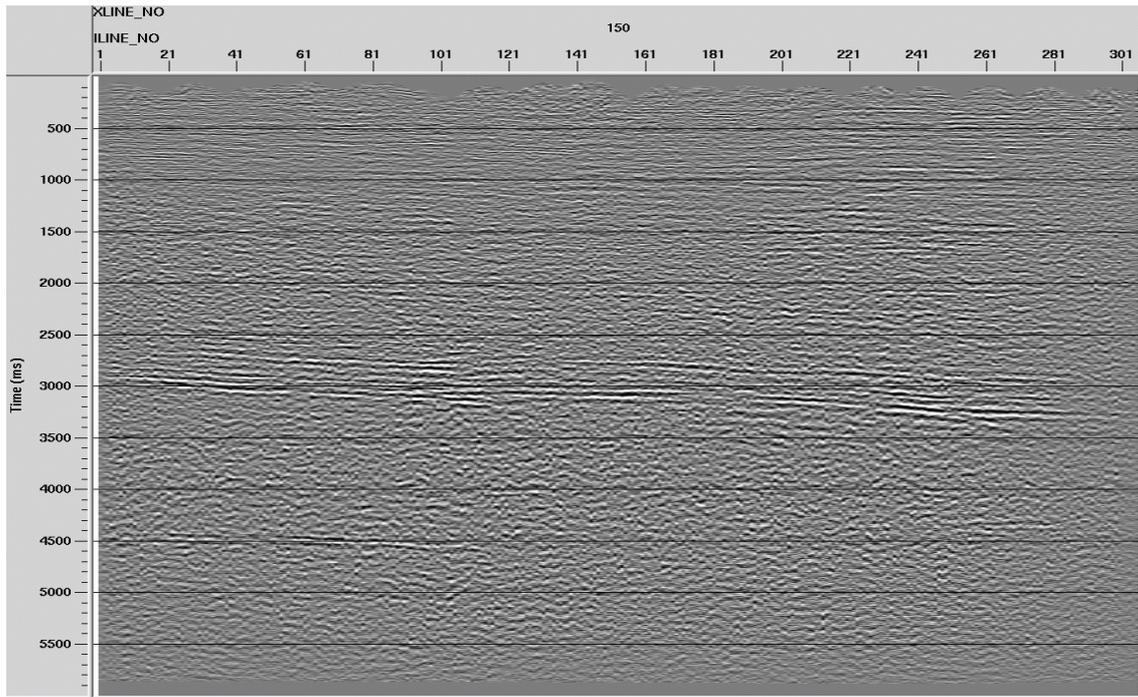


Figura 5.24 Sección sísmica apilada correspondiente con la etapa de migración final, en la secuencia del procesamiento

5.10 Procesamiento con nuevas celdas (25x40 y 20x32)

Como se ha mencionado anteriormente, durante el procesamiento de los datos empleando líneas escalonadas y el método de distribución uniforme de trazas, permite el procesamiento variar el tamaño de las celdas para tener una mayor cobertura y una mejor relación señal-ruido. Esta variación del tamaño de las celdas dependiendo del objetivo del procesamiento se implementó durante la fase de aplicación de la geometría de los datos.

Se procesó como base un tamaño de celda que en este caso fue de 30x40. Para estos nuevas celdas se mantienen los mismos parámetros de procesamiento empleados para los que se usó en la celda base e incluso se aplicaron las mismas velocidades hasta llegar a la fase de las estáticas residuales, donde se calculó a cada procesamiento con celdas diferentes sus propios residuales por separado.

Se tuvo que crear una nueva línea de procesamiento para cada una celdas, y cambiar la geometría; dado que cada celda tienen tamaño distinto se debió realizar un reordenamiento de los CDP.

Para el reordenamiento de los CDP se tuvo que tomar las coordenadas X y Y de los CDP anteriores y ubicar los nuevos CDP. Este procedimiento también se aplica para cada archivo de velocidades que se obtuvieron en los análisis de velocidades esto con el fin de evitar hacer un nuevo picado de velocidades y así obtener los mismos campos de velocidades del flujo del procesamiento anterior (figuras 5.25, 5.26, 5.27)

Mark Block	CDP	X Coord	Y Coord	Inline	Xline	TIME	VEL_RMS
1	51356,0	448320,5	1024608,0			13,9	1896,3
2	51356,0	448320,5	1024608,0			410,0	2344,0
3	51356,0	448320,5	1024608,0			806,0	2501,1
4	51356,0	448320,5	1024608,0			1665,3	2752,5
5	51356,0	448320,5	1024608,0			2352,7	2925,3
6	51356,0	448320,5	1024608,0			3070,0	3145,2
7	51356,0	448320,5	1024608,0			3391,3	3200,2
8	51356,0	448320,5	1024608,0			4250,6	3380,8
9	51356,0	448320,5	1024608,0			5057,5	3553,6
10	51356,0	448320,5	1024608,0			5939,2	3592,9

Figura 5.25 Archivo de velocidades para celda 30x40

Mark Block	CDP	X Coord	Y Coord	Inline	Xline	TIME	VEL_RMS
1	96843,0	448320,5	1024608,0			13,9	1896,3
2	96843,0	448320,5	1024608,0			410,0	2344,0
3	96843,0	448320,5	1024608,0			806,0	2501,1
4	96843,0	448320,5	1024608,0			1665,3	2752,5
5	96843,0	448320,5	1024608,0			2352,7	2925,3
6	96843,0	448320,5	1024608,0			3070,0	3145,2
7	96843,0	448320,5	1024608,0			3391,3	3200,2
8	96843,0	448320,5	1024608,0			4250,6	3380,8
9	96843,0	448320,5	1024608,0			5057,5	3553,6
10	96843,0	448320,5	1024608,0			5939,2	3592,9

Figura 5.26 Archivo de velocidad para celda 25x40

Mark Block	CDP	X Coord	Y Coord	Inline	Xline	TIME	VEL_RMS
1	61661,0	448320,5	1024608,0			13,9	1896,3
2	61661,0	448320,5	1024608,0			410,0	2344,0
3	61661,0	448320,5	1024608,0			806,0	2501,1
4	61661,0	448320,5	1024608,0			1665,3	2752,5
5	61661,0	448320,5	1024608,0			2352,7	2925,3
6	61661,0	448320,5	1024608,0			3070,0	3145,2
7	61661,0	448320,5	1024608,0			3391,3	3200,2
8	61661,0	448320,5	1024608,0			4250,6	3380,8
9	61661,0	448320,5	1024608,0			5057,5	3553,6
10	61661,0	448320,5	1024608,0			5939,2	3592,9

Figura 5.27 Archivo de velocidades para celda 20x32

Se puede observar que las coordenadas, los tiempos y las velocidades son iguales para cada archivo de velocidades; solo los CDP son distintos ya que se tuvo que reordenarlos para el cambio de celdas.

Una vez reordenados los CDP para cada tamaño de celda se procedió a correr el flujo del procesamiento anterior, tomando en cuenta que para cada apilado se tuvo que seleccionar el mismo archivo de velocidad que se usó para apilar en la secuencia anterior.

Cuando se llegó a la fase de migración se emplearon las mismas velocidades de migración para todas las celdas, todo se realizó con el fin de mantener una similaridad en el proceso realizado para tratar a cada celda, eso permite relacionar y comparar los resultados obtenidos.

Hay que tener en cuenta que las trazas y líneas de estas nuevas celdas son distintas a la celda con que se proceso inicialmente; por lo que se tuvo que ubicar las coordenadas X y Y de las trazas y líneas y reubicarlas para estas nuevas celdas. En el caso de la primera celda 30x40 las líneas son las mismas para la celda 25x40, mientras que para la celda mas pequeña no existe ninguna similitud con las dos anteriores.

Por ejemplo, si se toma las trazas 160 de la celda 30x40, la trazas correspondiente a la celda 25x40 sería la 190 y la 240 para la celda 20x32. En el caso de las líneas si se tomo la 120 para la celda 30x40 sería la misma para la celda 25x40 pero no pasaría lo mismo con la celda 20x32 ya que éste vendría siendo la líneas 153.

A continuación se observan los distintos apilados que se procesaron a medida que se fue corriendo el flujo de procesamiento, estos apilados son correspondientes para cada tamaño de celda que se proceso.

5.10.1 Apilado con estáticas de elevación

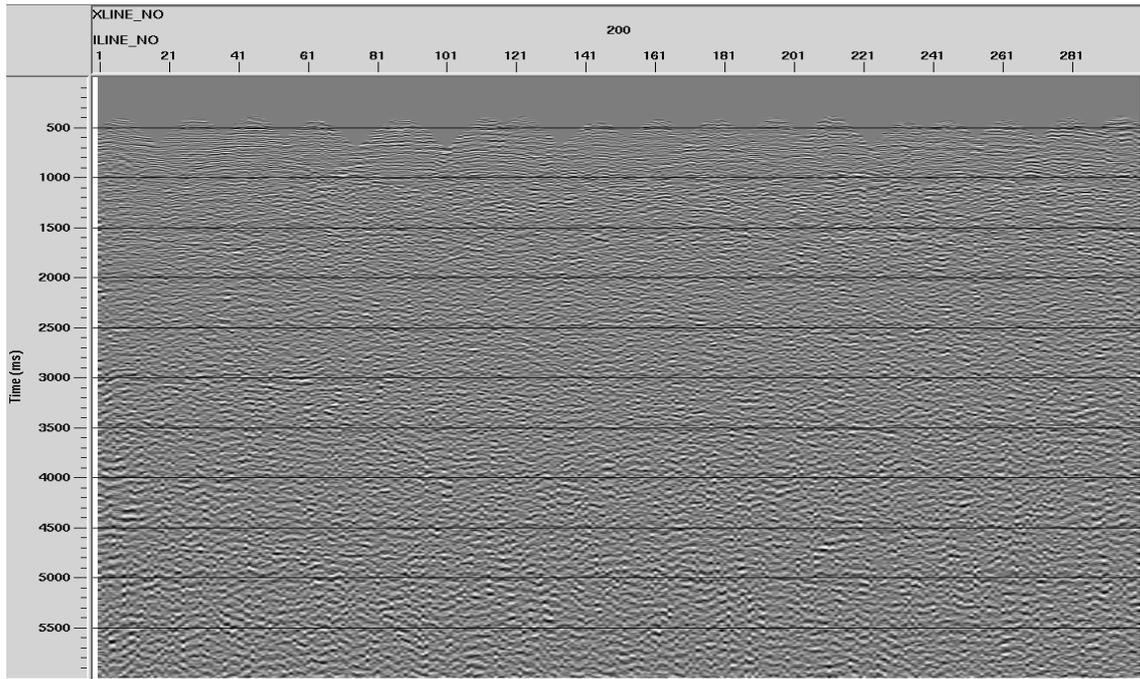


Figura 5.30 Sección apilada para celda 20x32

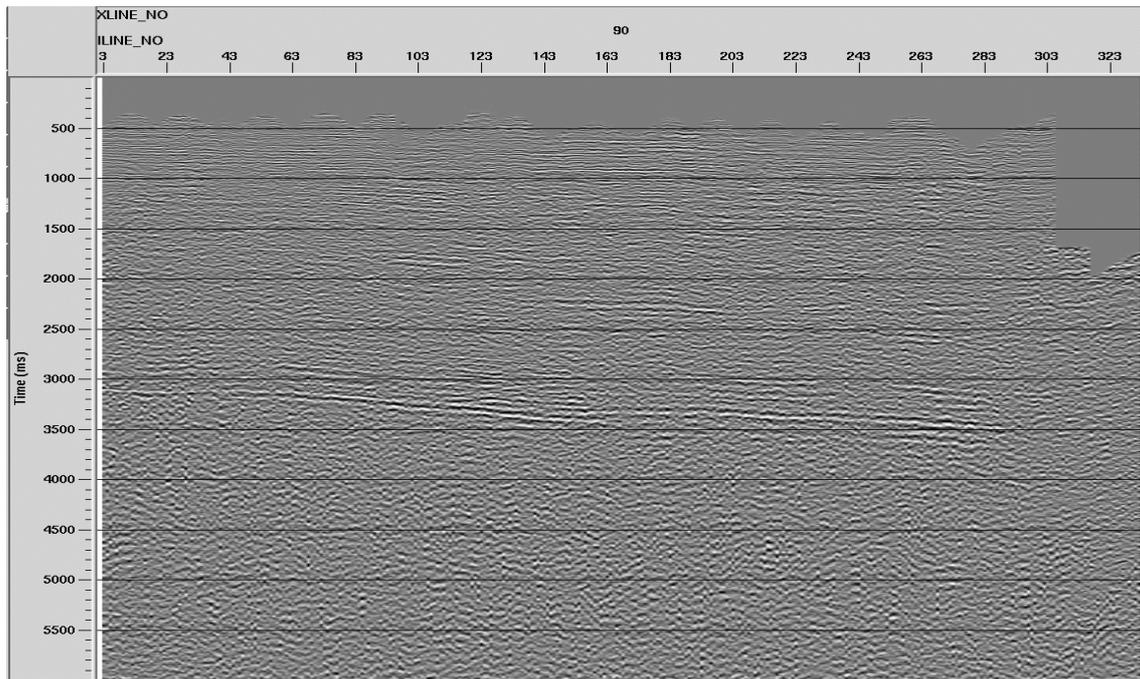


Figura 5.31 Sección apilada para celda 25x40

5.10.2 Apilado residual

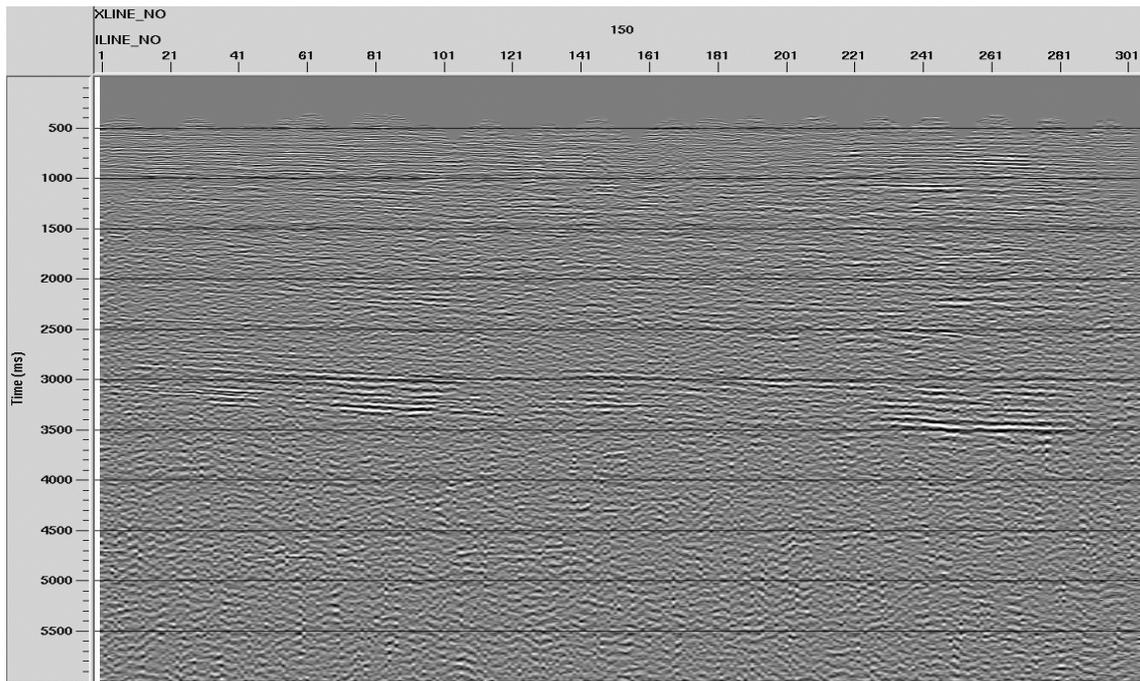


Figura 5.32 Sección apilada para celda 20x32

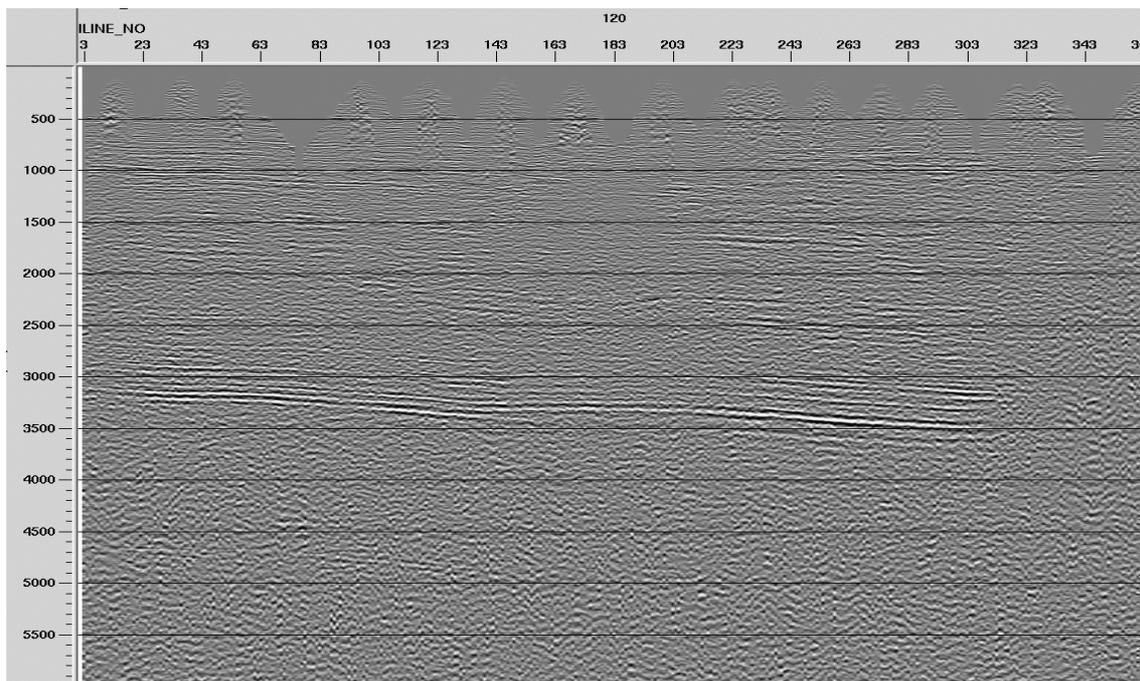


Figura 5.33 Sección apilada para celda 25x40

5.10.3 Apilado con DMO

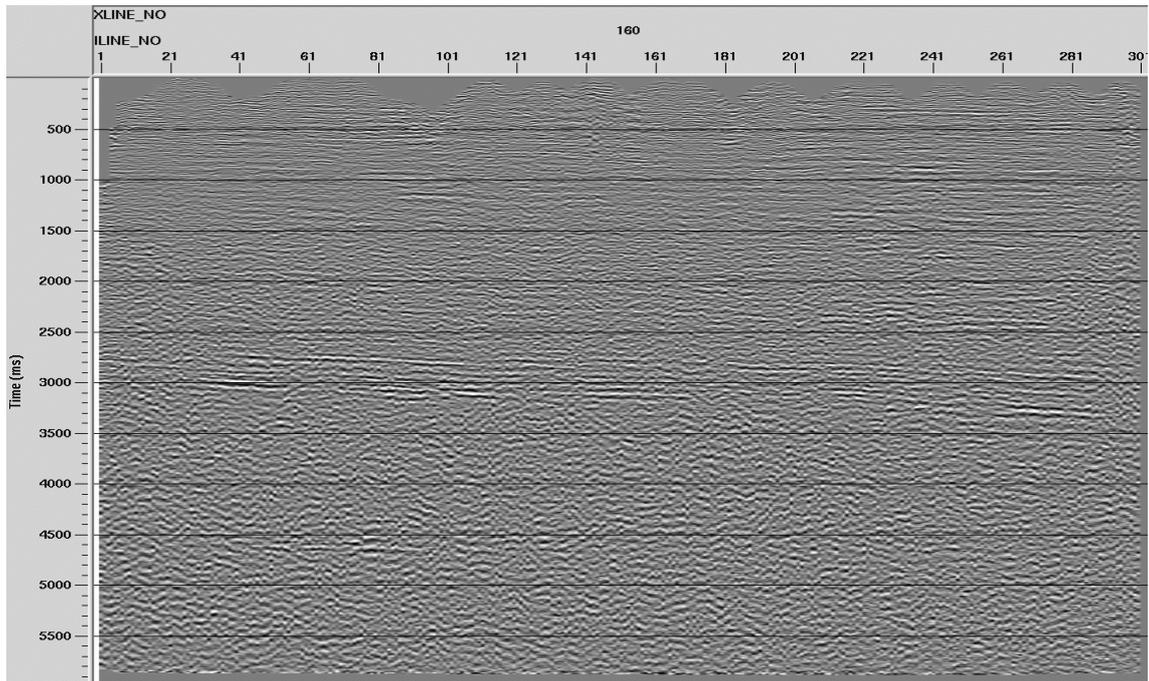


Figura 5.34 Sección apilada con DMO celda 20x32

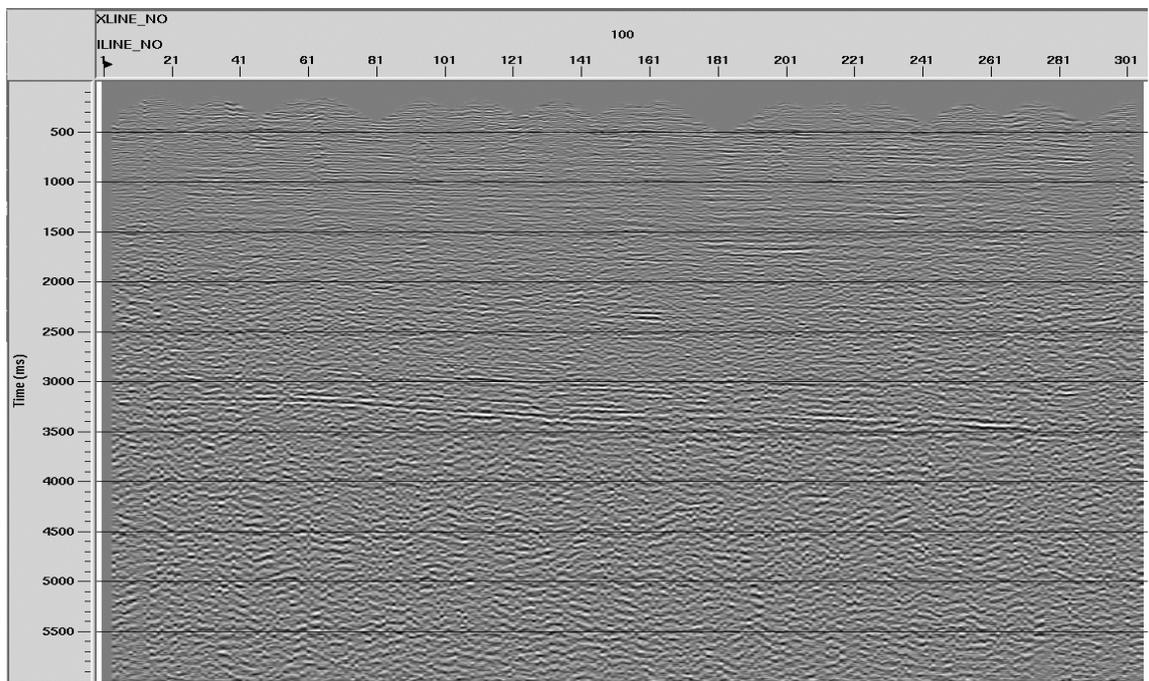


Figura 5.35 Sección apilada con DMO celda 25x40

5.10.4 Apilado con Migración

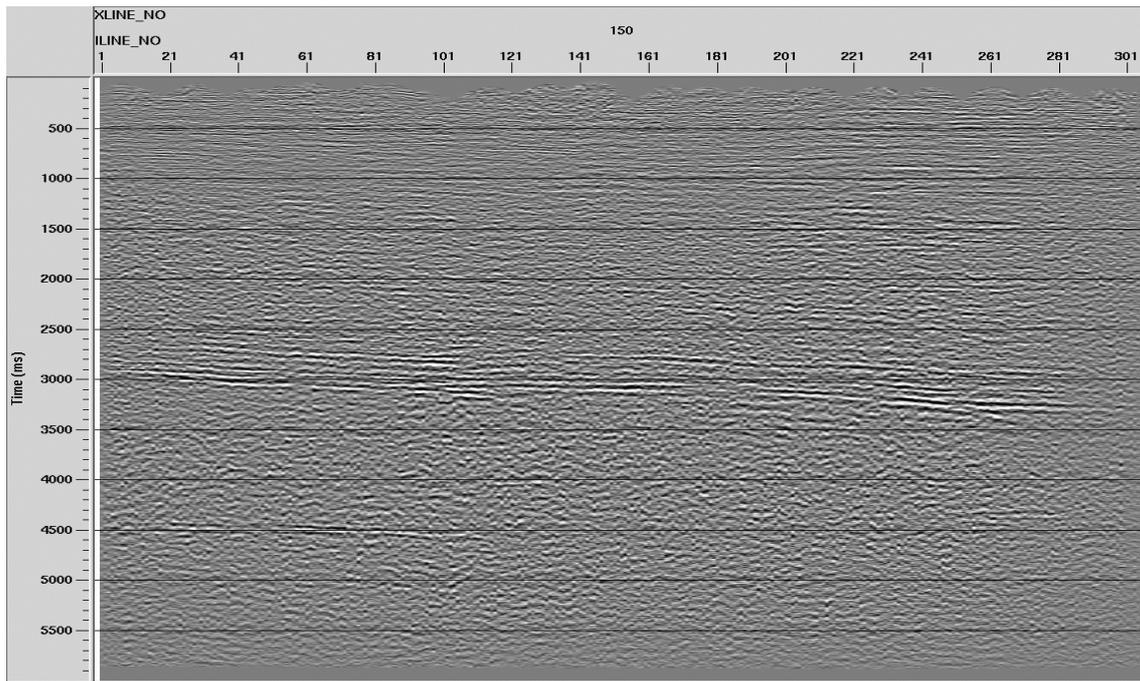


Figura 5.36 Sección migrada para celda 20x32

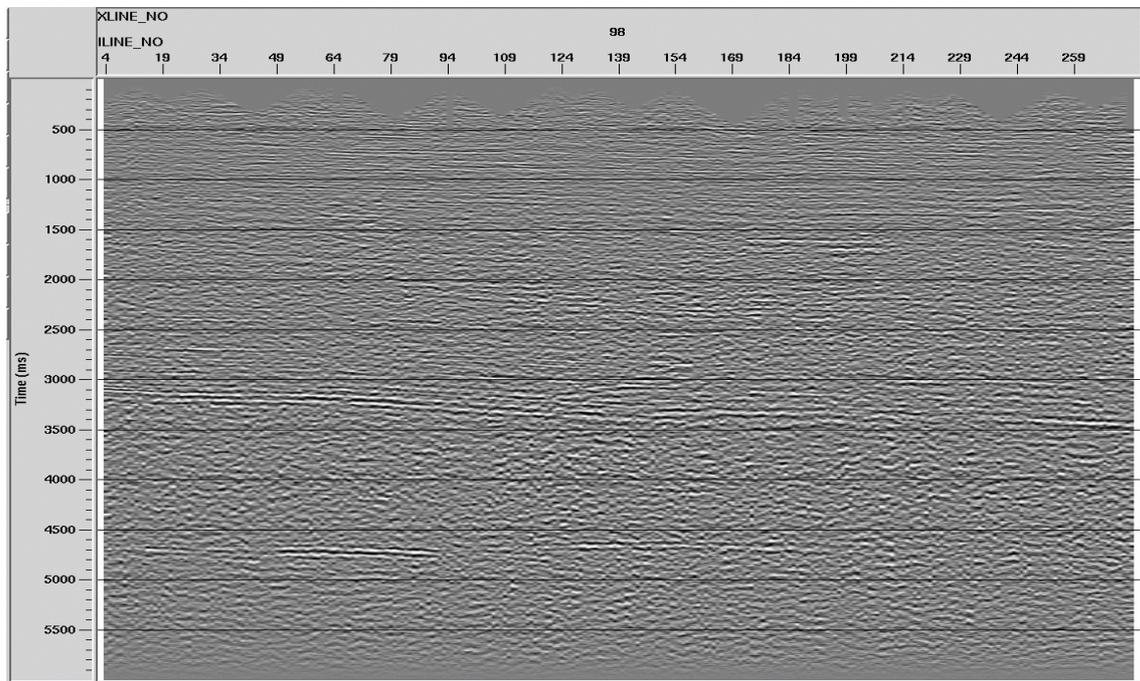


Figura 5.37 Sección migrada para celda 25x40

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL PROCESAMIENTO

El procesamiento realizado para los diferentes tamaños de celdas fue comparado a nivel de apilado con estática residual, con DMO y con migración, observando una buena continuidad en los reflectores.

Tanto como para las secciones trazas y líneas no se manifiesta la presencia de ruidos significativos que pudieran afectar los datos procesados, los ruidos fueron atenuados mediante la aplicación de un filtro pasa banda y un estudio de deconvolución que permitieron eliminar cualquier ruido que pudiese afectar con calidad de los datos.

Los resultados obtenidos para este estudio de ruido fueron bajas frecuencias producto por el ground roll y ruido producto al cableado de alta tensión, el cual se identifica comúnmente por presentar una frecuencia continua de 60 Hz .

Después de distintas pruebas, se optó por tomar varios tipos de tratamientos: i) hacer un estudio de frecuencia para conocer el rango de señal con la que se iba a procesar ii) de carácter más conservador en donde el algoritmo decisivo consistió en la aplicación de un filtro pasa banda que realiza un filtrado de la señal aplicando una ventana relativamente amplia, esto con el fin de no cortar señal deseada. Y iii) un procesado más restrictivo, en donde se añadió una corrección estática por elevación y una deconvolución predictiva con una longitud del operador de 60 ms y una ventana de predicción de 16 ms . Las velocidades de apilamiento que se usaron para ambos tamaños de celda varían entre 1600 m/s y 3800 m/s aproximadamente.

El análisis que se realizó para eliminar el ruido de los datos adquiridos dio buenos resultados, eliminando las frecuencias no deseada, a su vez se logró tener una buena relación señal-ruido. En las figuras 6.1 se observan dos secciones correspondientes a los datos en bruto cuyo ruido es muy notorio, mientras que en la figura 6.2 estas mismas secciones no presentan tal ruido.

6.1 Análisis de secciones apiladas

El aumento o reducción del tamaño de celda está íntimamente ligado a la coherencia, definición y resolución horizontal de los eventos. En las figuras 6.3, 6.4 y 6.5, se observa como un aumento del tamaño de la celda permite tener mayor coherencia de eventos y una mejor definición, pero también se observa una pérdida de resolución horizontal, tanto en las trazas como en las líneas.

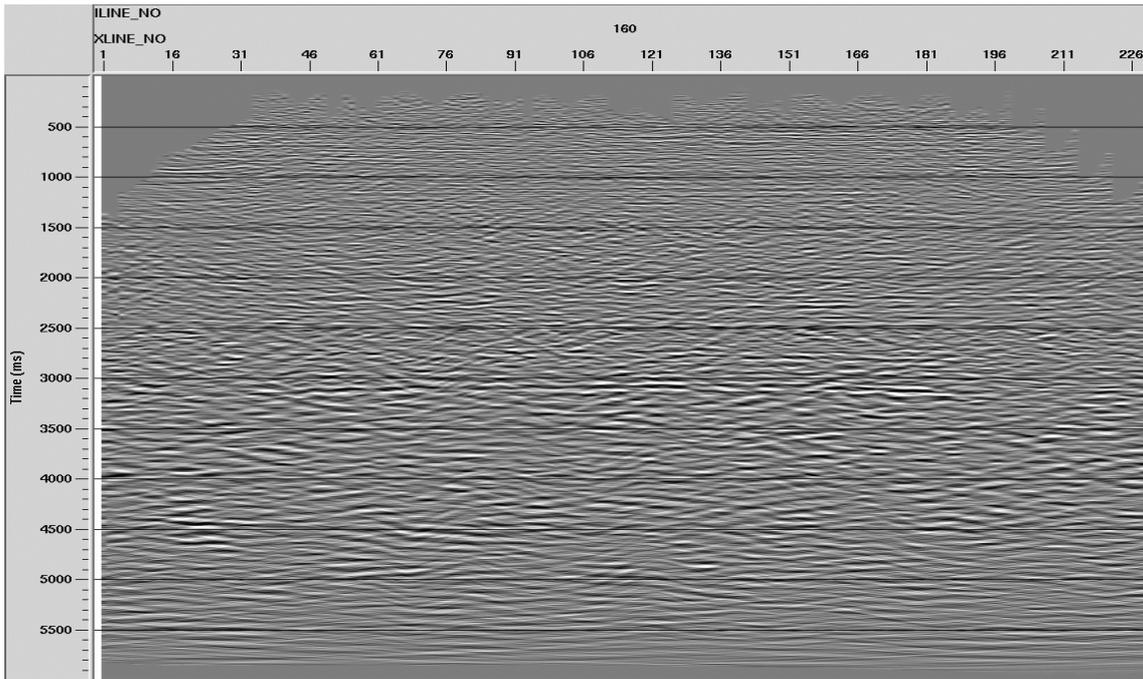


Figura 6.3 Celda 20x32 traza

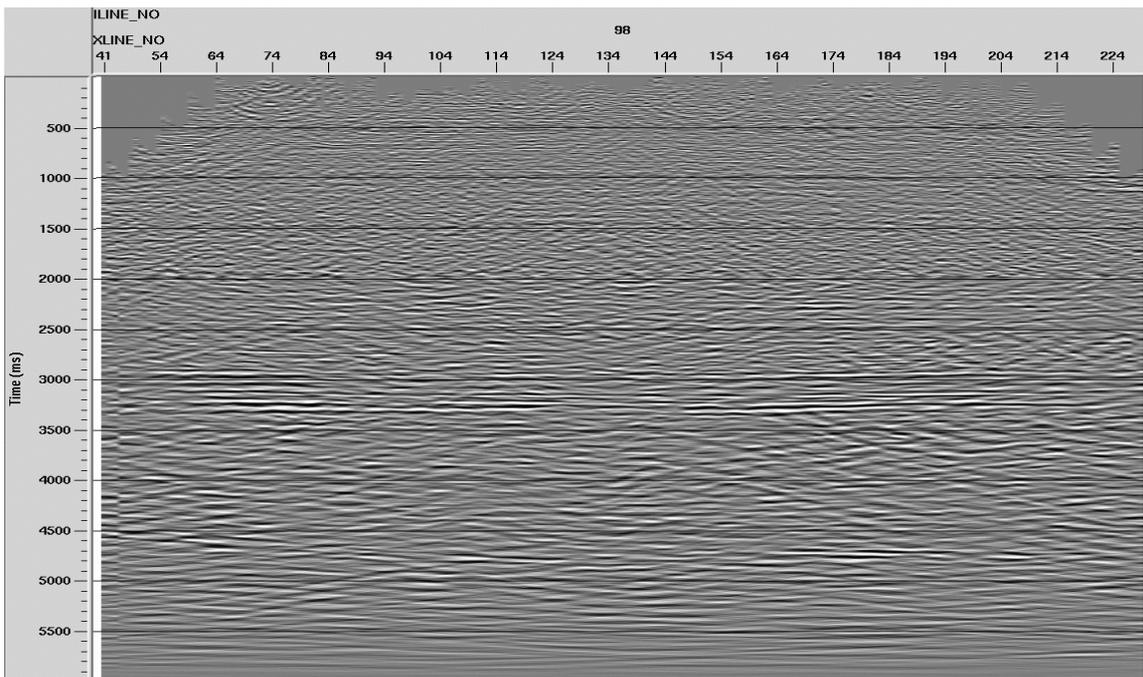


Figura 6.4 Celda 25x40 traza

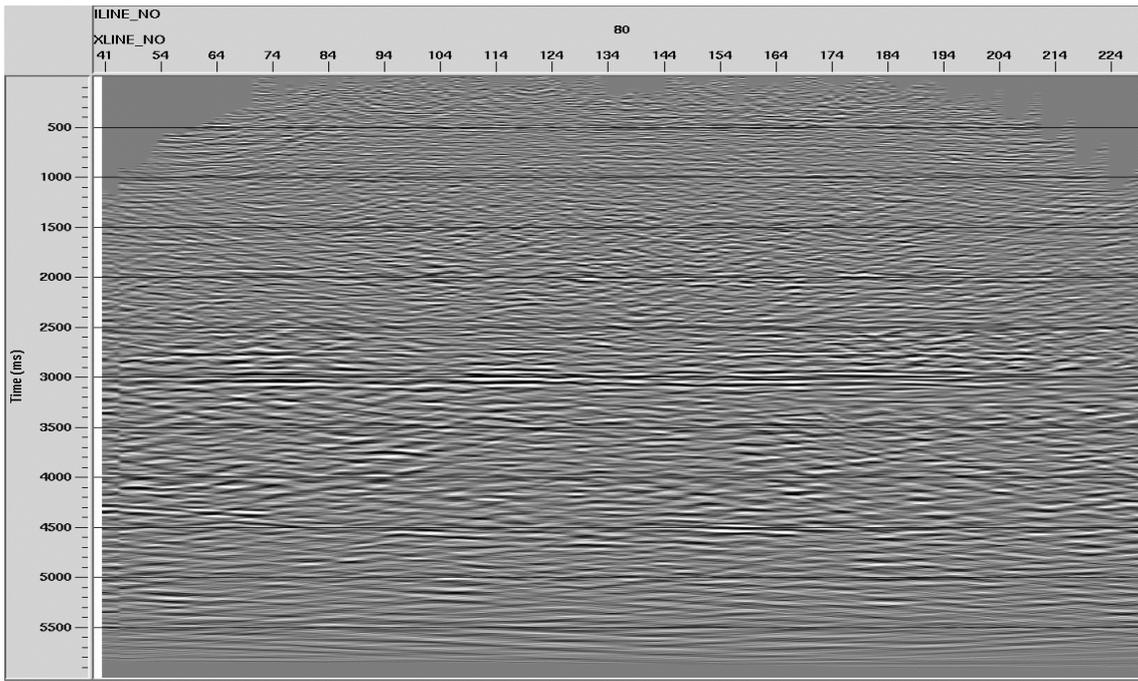


Figura 6.5 Celda 30x40 traza

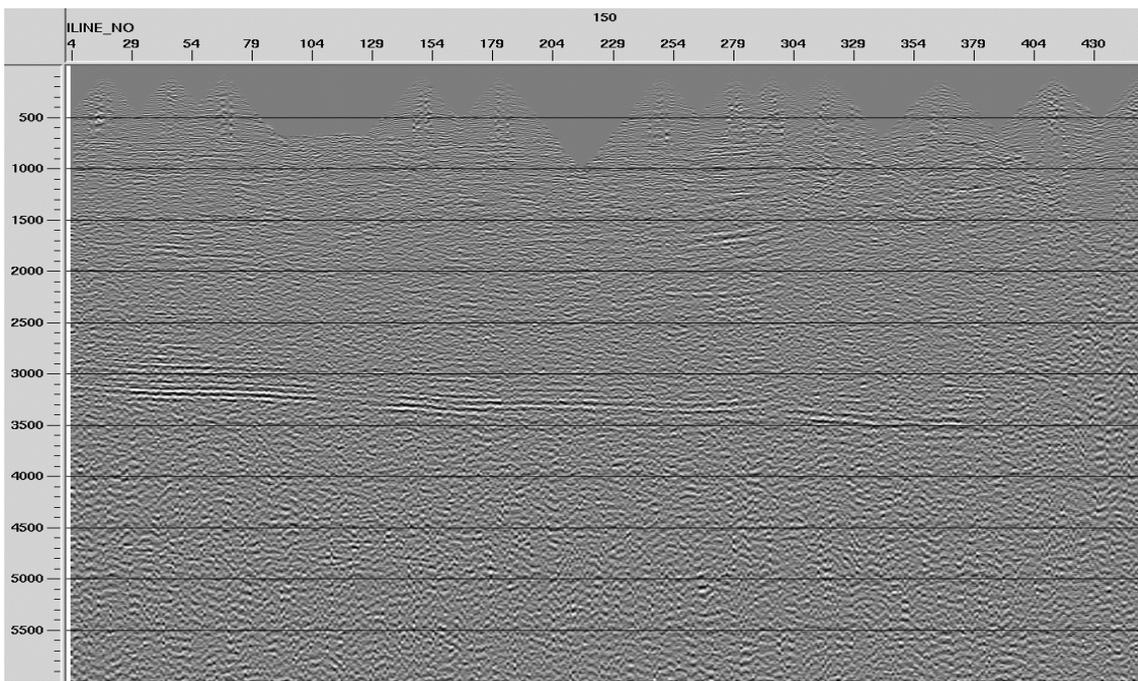


Figura 6.6 Celda 20x32 línea

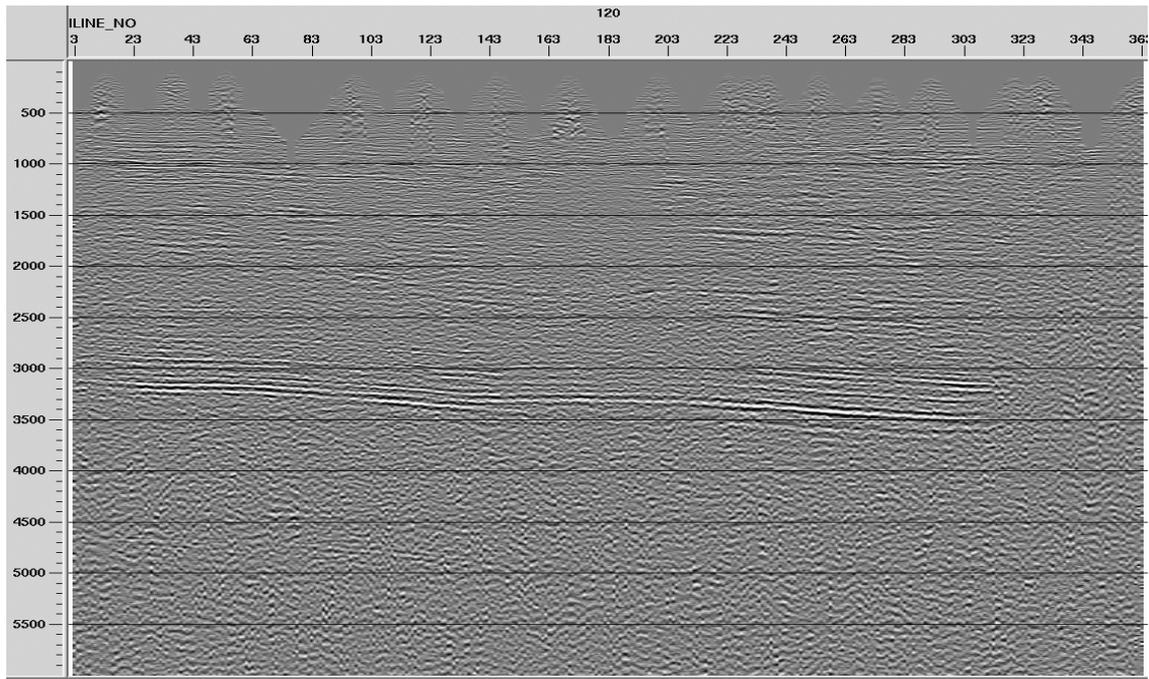


Figura 6.7 Celda 25x40 línea

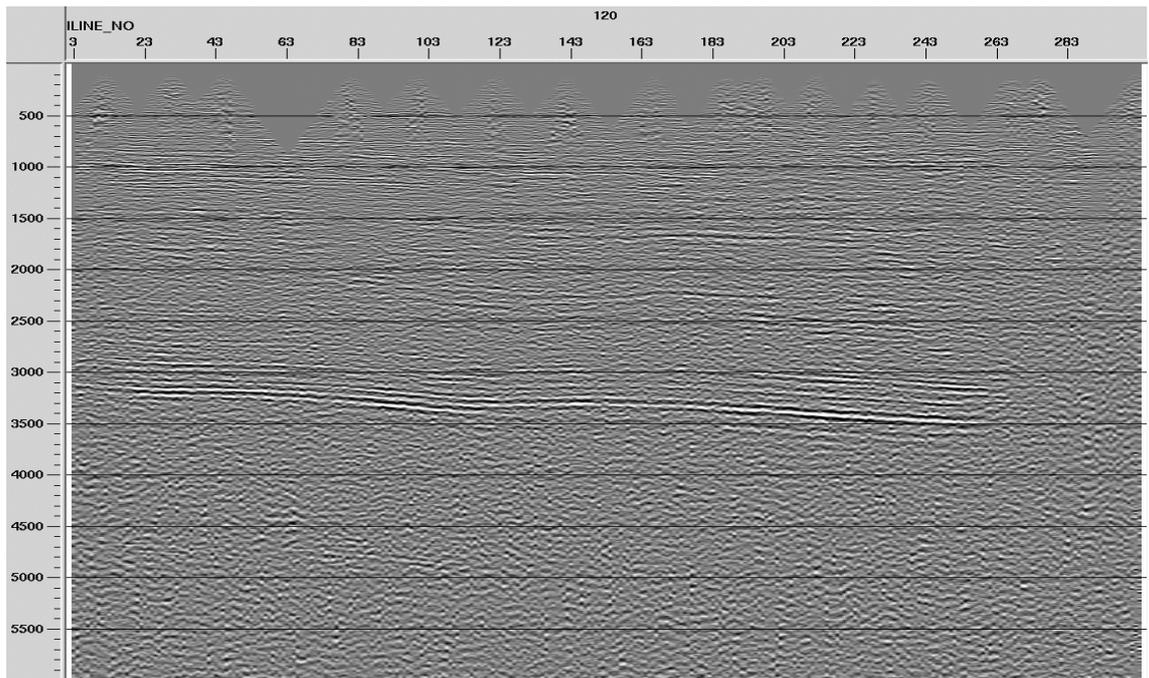


Figura 6.8 Celda 30x40 línea

En la sección procesada con un tamaño de la celda pequeño 20x32 los eventos más resaltantes en el ámbito regional no pierden su continuidad, pero existen otros eventos que se observan discontinuos o que no se observan (figura 6.9). A medida que se aumenta el tamaño de celda se observan mayor cantidad de eventos profundos y mayor coherencia de estos.

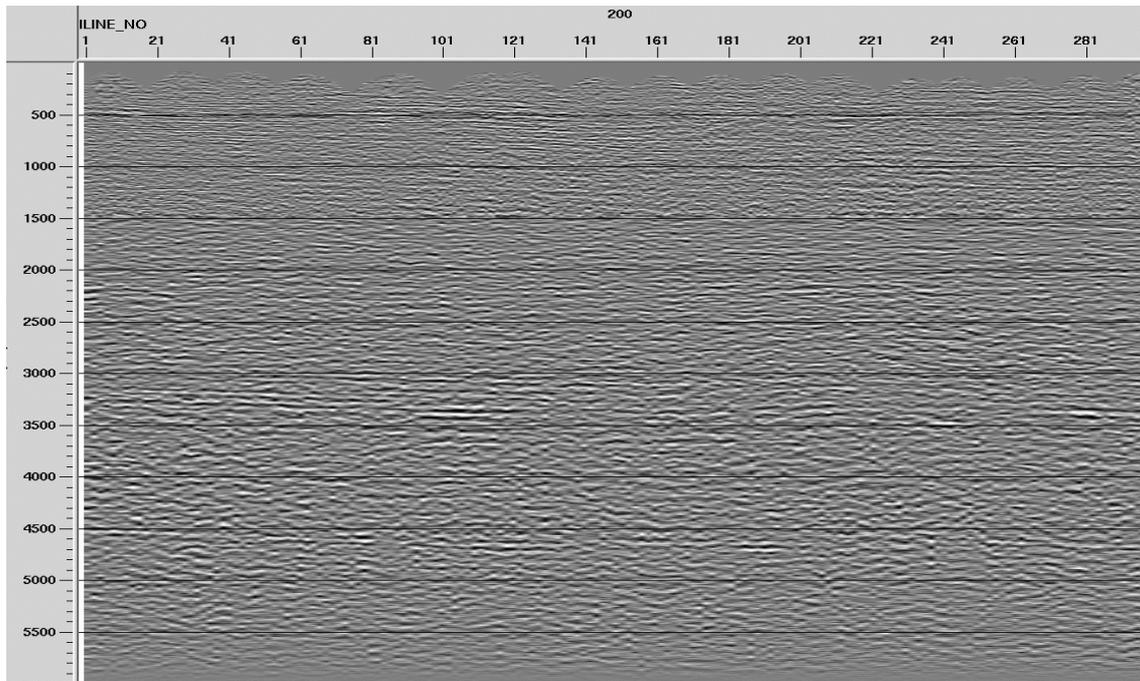


Figura 6.9 Sección apilada con un tamaño de celda 20x32, se puede observar como los reflectores que se encuentran entre los 500 a 1700 ms se ven mejor definidos, mientras que los reflectores que se localizan entre los 3000 y 4000 ms va perdiendo la resolución.

Se realizó un estudio de frecuencia en las secciones migradas para cada tamaño de celda, y se observó que las frecuencias para ambas celdas se conservó constante alrededor de los 80 Hz, esto garantizó que no se cortó información deseada en los datos.

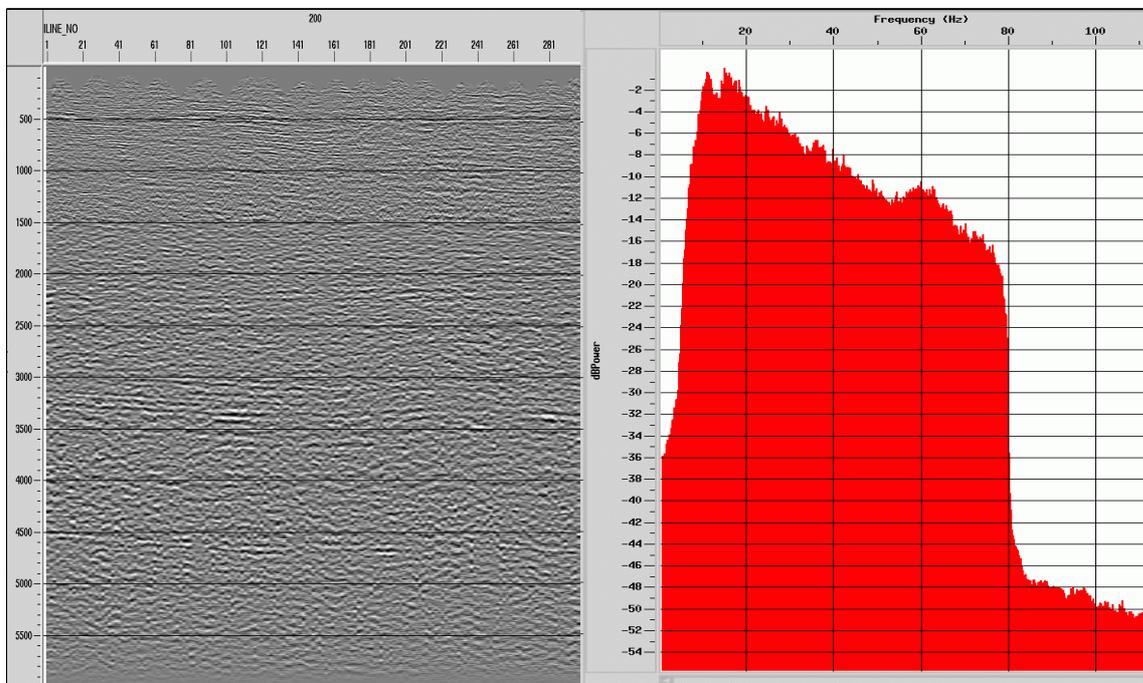


Figura 6.10 Se observa una sección apilada para celda 20x32 con conjunto con un análisis de frecuencia, la cual se mantuvo en aproximadamente 80 Hz .

En las secciones procesadas con un tamaño de celda de 25x40 se observa mejor definición de eventos mas profundos que en las secciones procesadas con un tamaño de celda mas pequeños, lo que permite decir que para secciones procesadas con tamaños de celdas mas grandes hay una pérdida de definición en las zonas someras, pero una mejor definición en las zonas mas profundas. Se puede observar a continuación una sección correspondiente a la celda 25x40, cuyos reflectores poseen una mejor resolución, entre los 2700 a 3400 ms (figura 6.11)

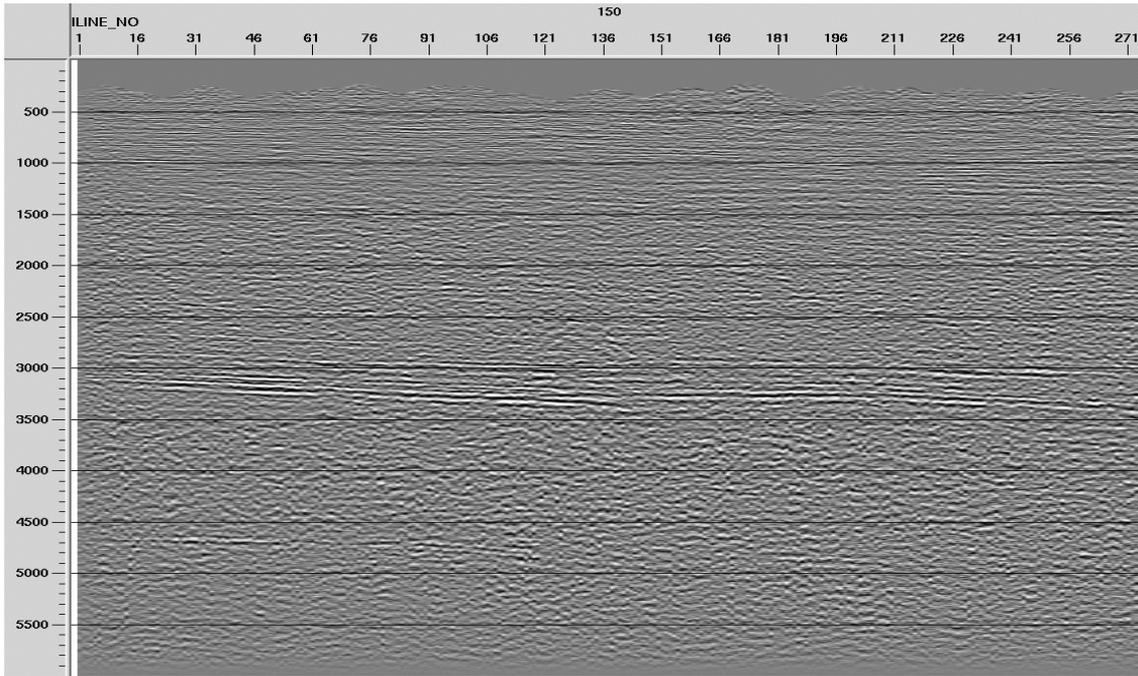


Figura 6.11 Sección correspondiente para un tamaño de celda de 25x40, muestra que los reflectores se encuentran mejor definidos para las zonas mas profundas.

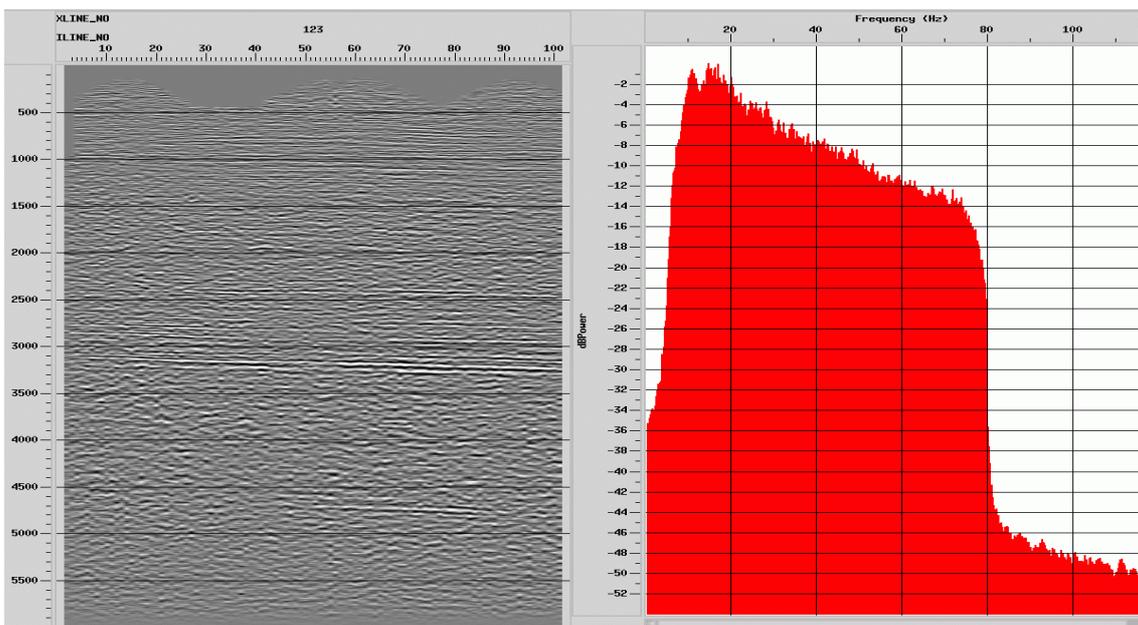


Figura 6.12 Estudio de frecuencia para celda de 25x40, se puede observar que la frecuencia de este tamaño de celda oscila entre los 8 y 80 Hz, al igual que en los demás tamaños de celdas.

Para las celdas de 30x40 las secciones presentan una mejor resolución, como se muestra en la figura 6.13, mientras que en zona más somera de la sección la definición no es muy clara, a medida que los tiempos aumentan la resolución es mejor y se nota con mayor claridad algunos reflectores.

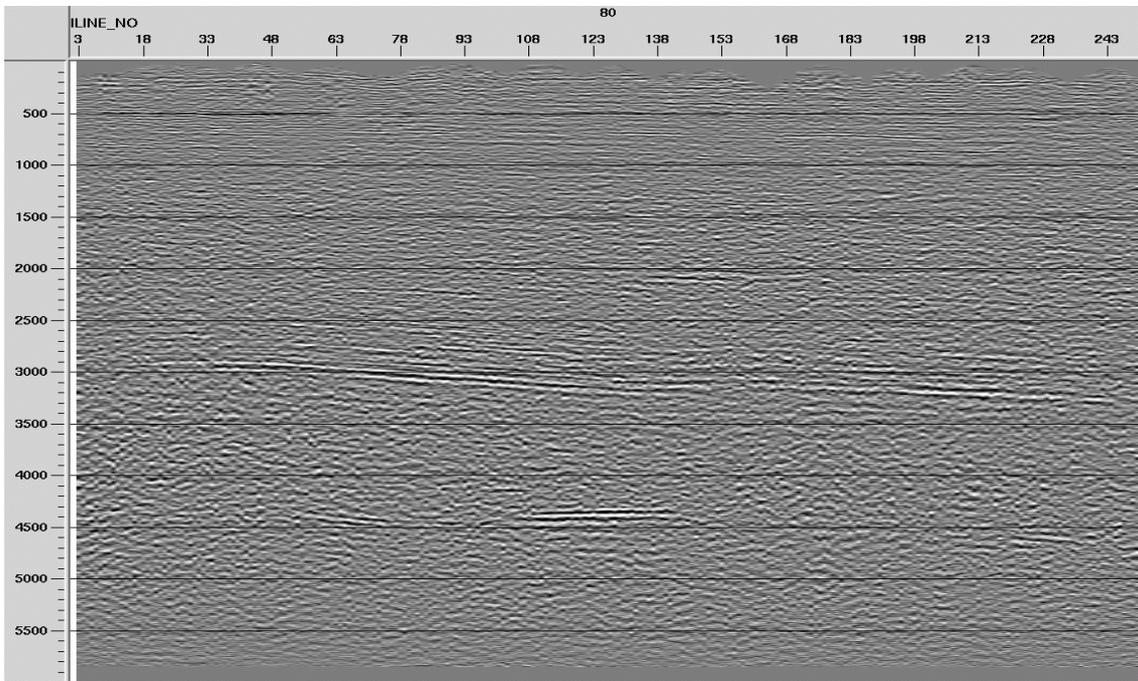


Figura 6.13 Sección apilada correspondiente a la celda 30x40, se observa con mayor definición los reflectores que se encuentran a mayor profundidad

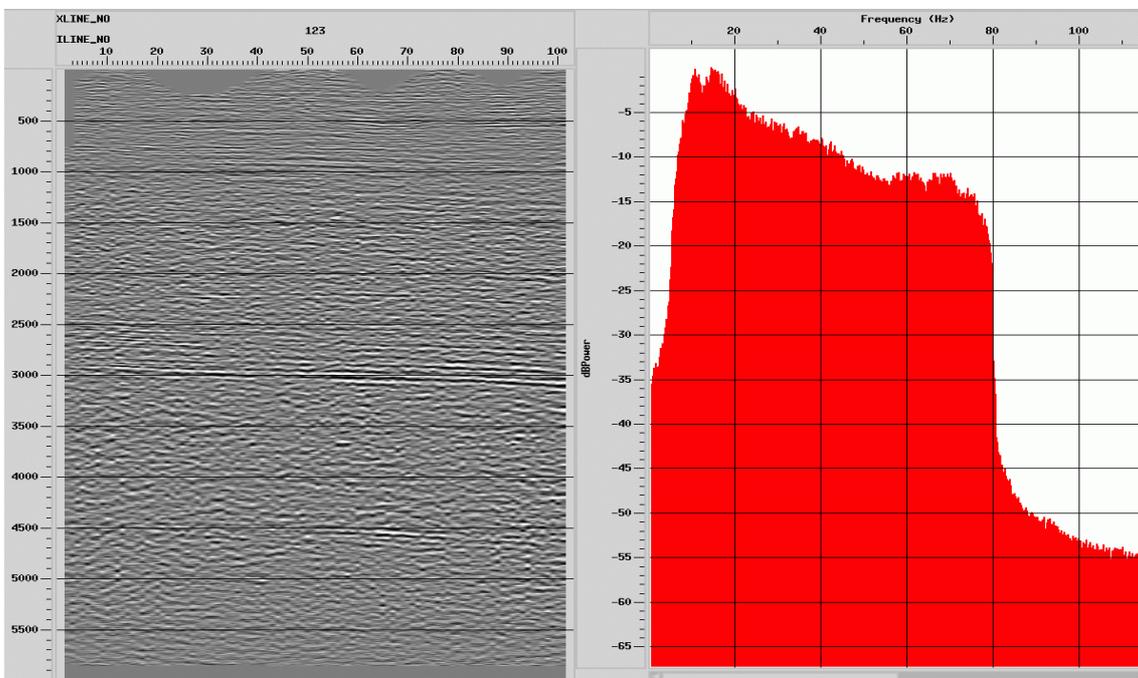


Figura 6.14 Estudio de frecuencia para celda de 30x40, se puede observar que la frecuencia de este tamaño de celda oscila entre los 8 y 80 Hz, al igual que en los demás tamaños de celdas.

Para ambos tamaños de celda se realizó un estudio de amplitudes, para analizar como varía la coherencia de las amplitudes en función al tiempo y en función a los distintos tamaños de celda. Para ello se realizaron cortes en el volumen de los datos (corte de tiempo), estos cortes se realizaron a los largo de las secciones, con el fin de ver como se comporta la coherencia de las amplitudes en las secciones.

6.2 Análisis de corte en tiempo

A continuación se muestran varios cortes en tiempo correspondientes con el tamaño a la celda de 30x40, en el cual se puede observar como la coherencia entre las amplitudes van mejorando a medida que los tiempos son mayores.

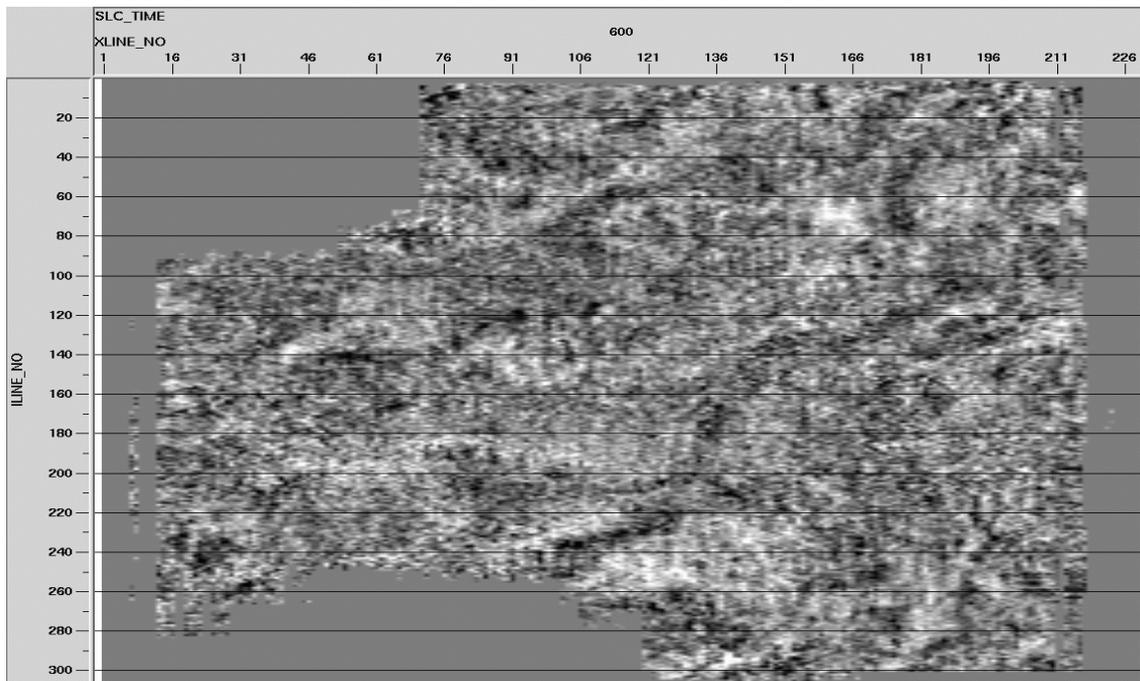


Figura 6.15 Se observa un corte a 600 ms, donde la coherencia entre amplitudes no es muy clara para la parte más somera de la sección

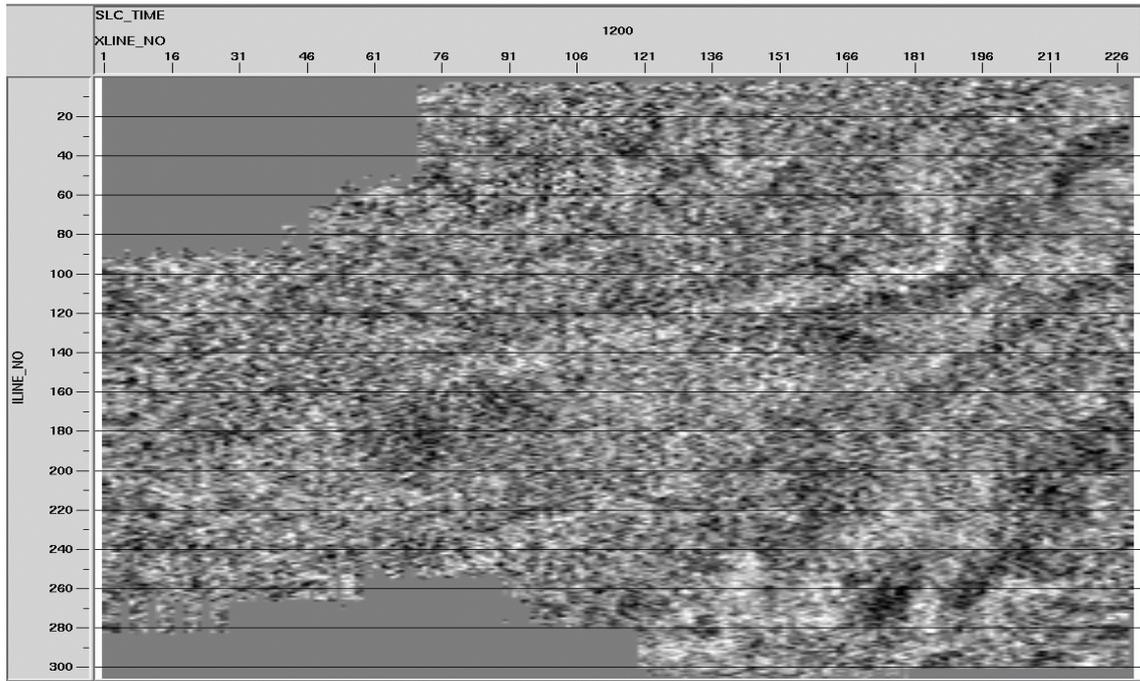


Figura 6.16 Se observa un corte de tiempo a 1200 ms, donde la coherencia empieza a mejorar, pero sigue siendo muy leve.

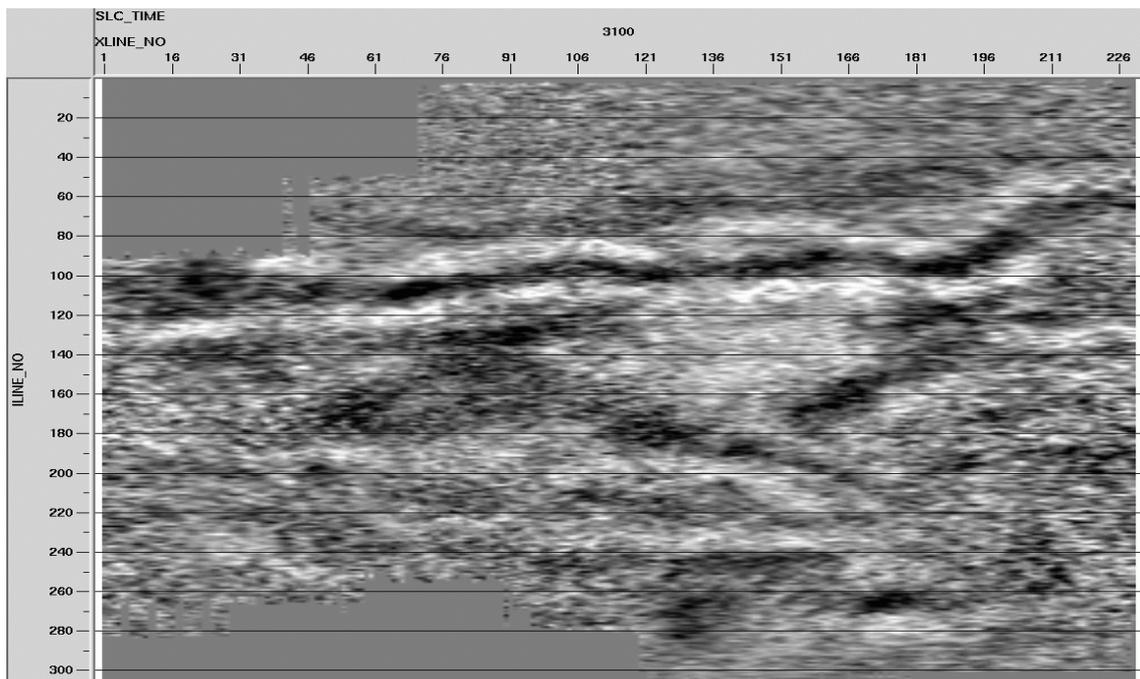


Figura 6.17 En este corte se puede observar que la coherencia es mayor y se nota una continuidad de las amplitudes para un rango de trazas que va desde las trazas 80 hasta la 200.

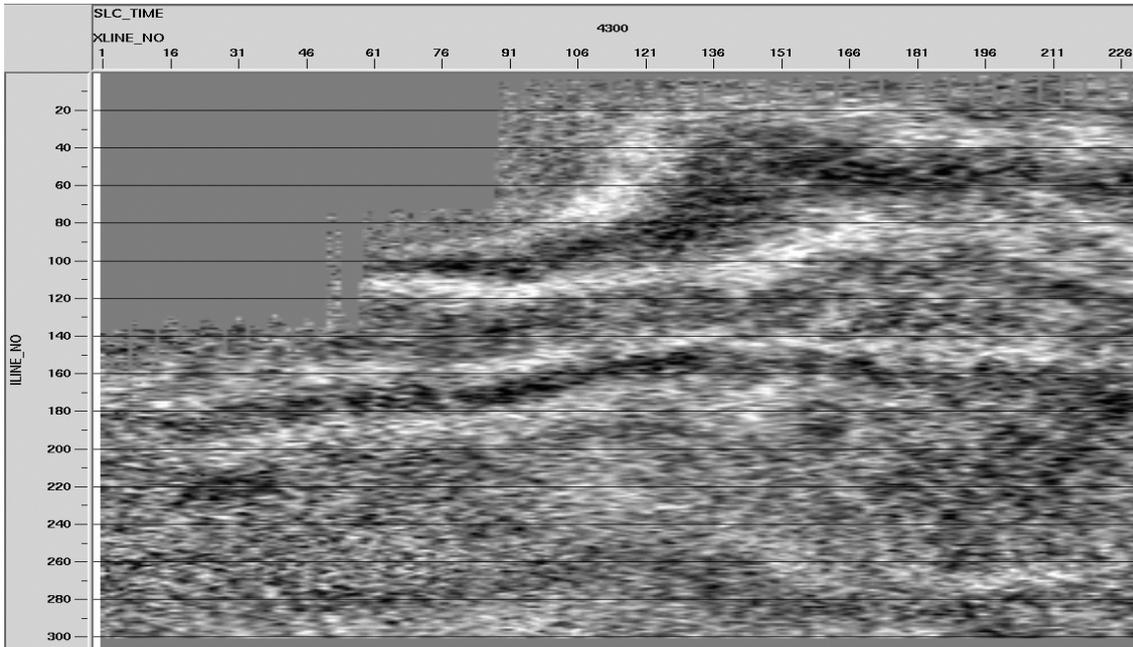


Figura 6.18 Corte a 4300 ms, se logra ver que hay pérdida en la coherencia de amplitudes

Para la celda de 30x40 la coherencia entre amplitudes abarca hasta tiempos bastante profundos entre los 3000 y 3800 ms , dado que para tiempos mayores la coherencia se pierde debido a la presencia del tope del basamento aproximadamente para los 4000 ms, donde la señal sísmica se pierde.

Para la celda de 25x40 la coherencia de las amplitudes no llegan a tal profundidad con para la celda de 30x40 pero si tiene una mejor resolución para eventos mas someros, a continuación se muestran algunos cortes en tiempo correspondientes para la celda de 25x40.

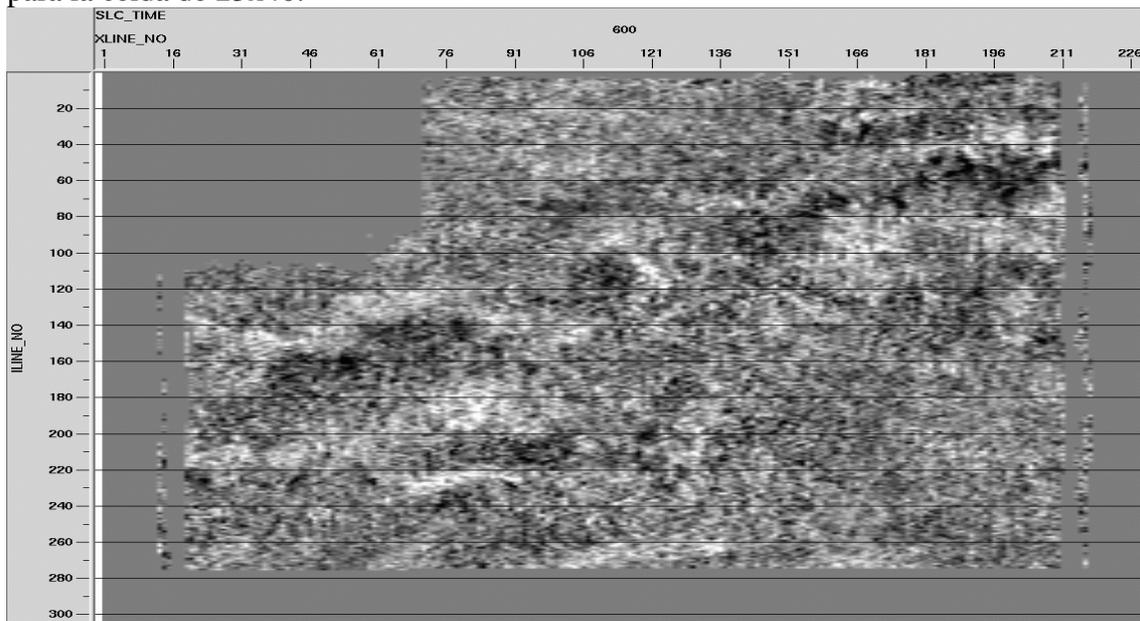


Figura 6.19 Corte para un tiempo de 600 ms, se observa como la coherencia entre las amplitudes se es mas clara que en el caso de la celda anterior.

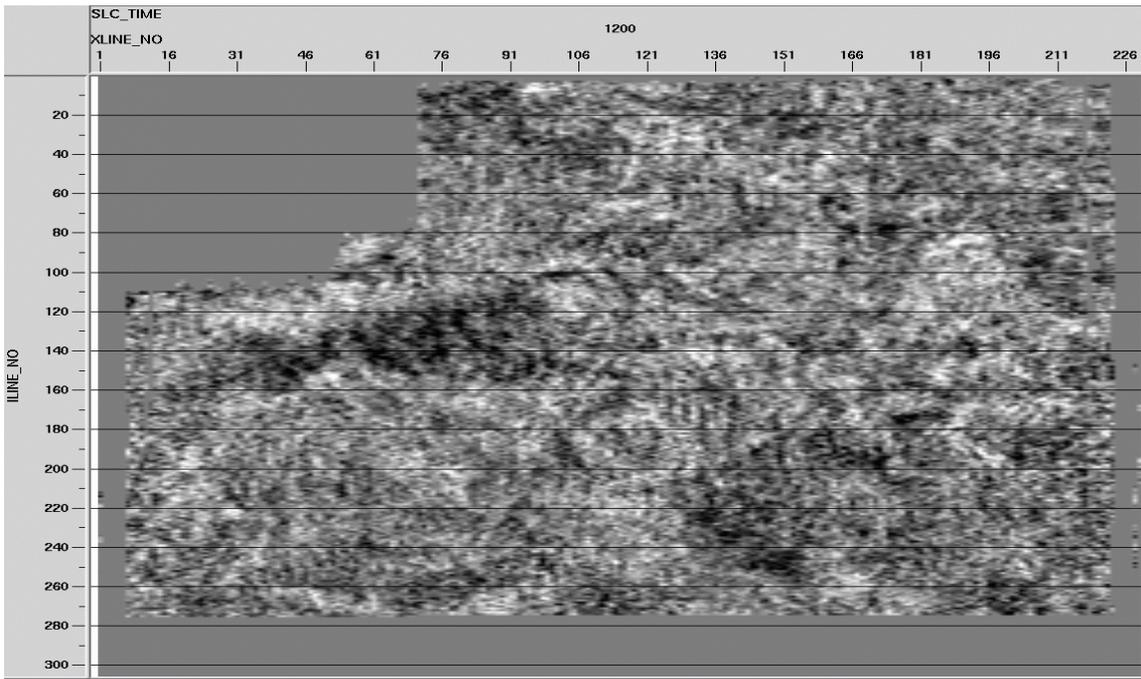


Figura 6.20 Corte de tiempo para un tiempo de 1200 ms, la resolución para este tiempo empieza a aclararse, observando una coherencia de amplitudes entre los trazas 100 hasta 160.

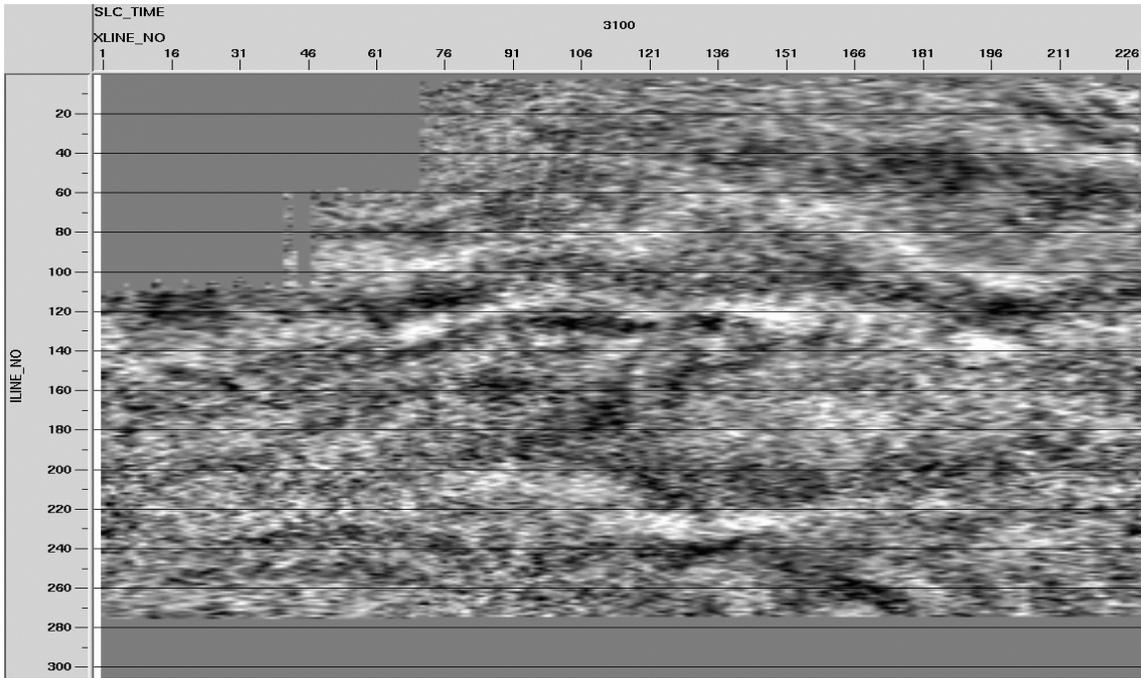


Figura 6.21 Corte para un tiempo de 3200 ms, ya para este tiempo la coherencia empieza a perder resolución, mientras que para la celda 30x40 para este mismo tiempo posee un alto grado de coherencia de amplitudes.

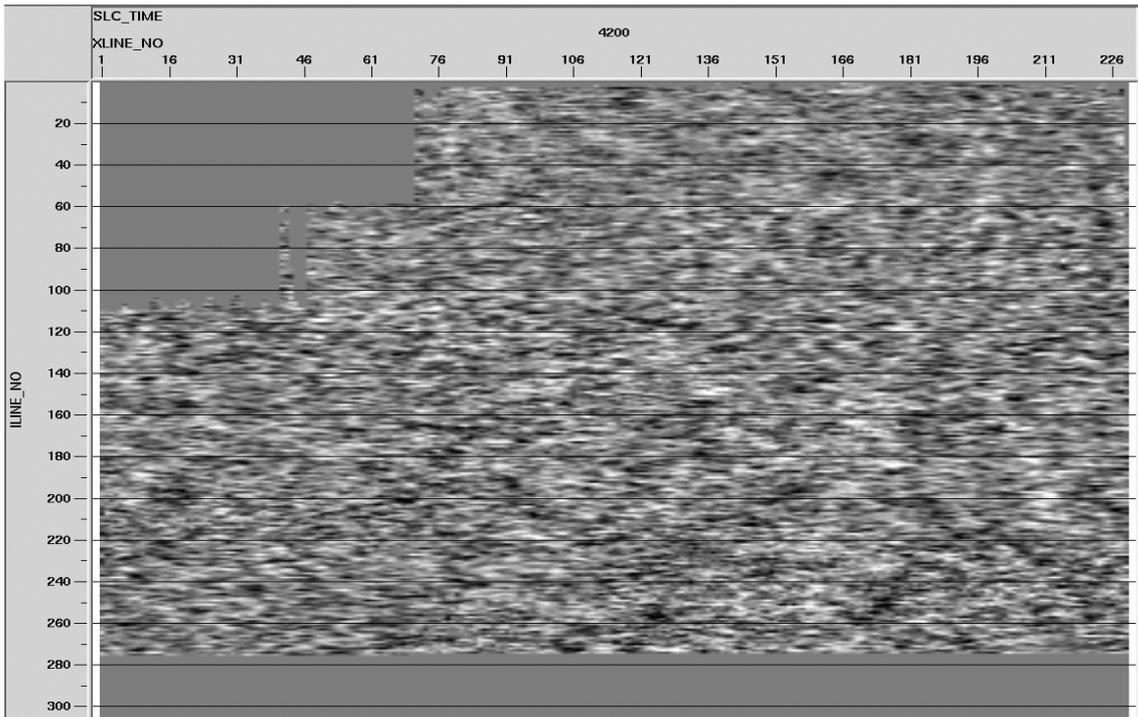


Figura 6.22 Corte para un tiempo de 4200ms, se nota que la resolución y la coherencia de amplitud son totalmente nulas para este tiempo.

Para la celda de 20x32 la coherencia entre amplitud va a estar definidas para la parte mas somera de las secciones, esto se debe a como el tamaño de dicha celda es más pequeña, la cantidad de cdp que se localizan en este tamaño son muchos y por ende la resolución de este tamaño va a estar representado por los eventos que se encuentren a menor tiempo.

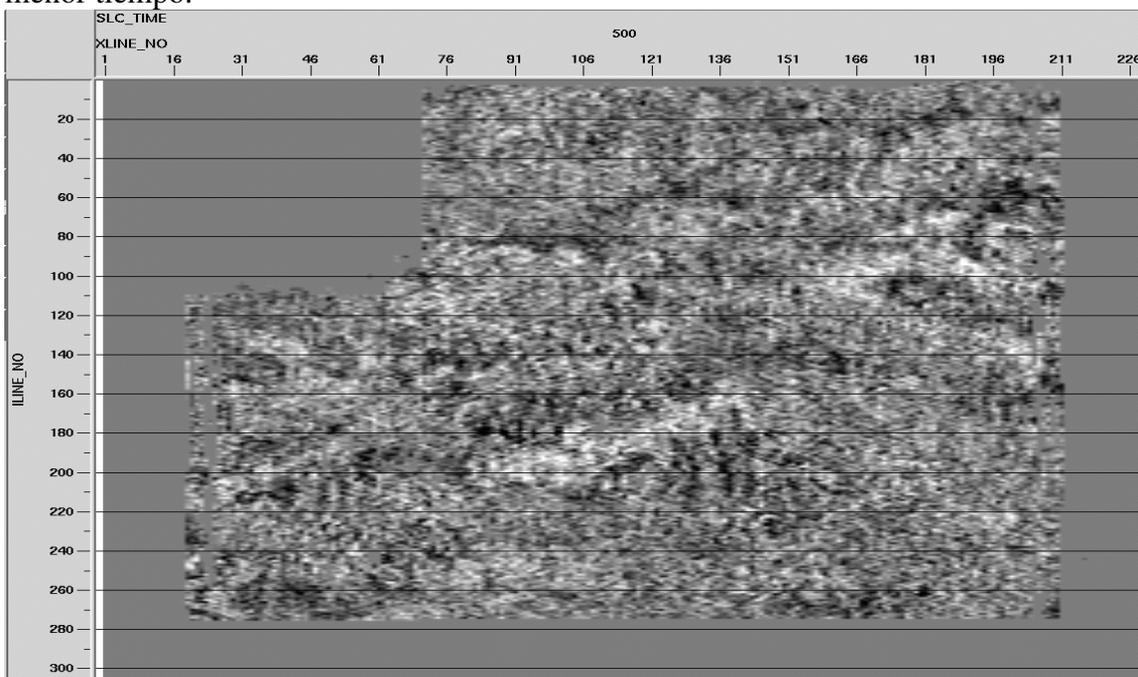


Figura 6.23 Corte para un tiempo de 500 ms, se observa como la coherencia de amplitudes se empieza a definir para unos tiempos menores.

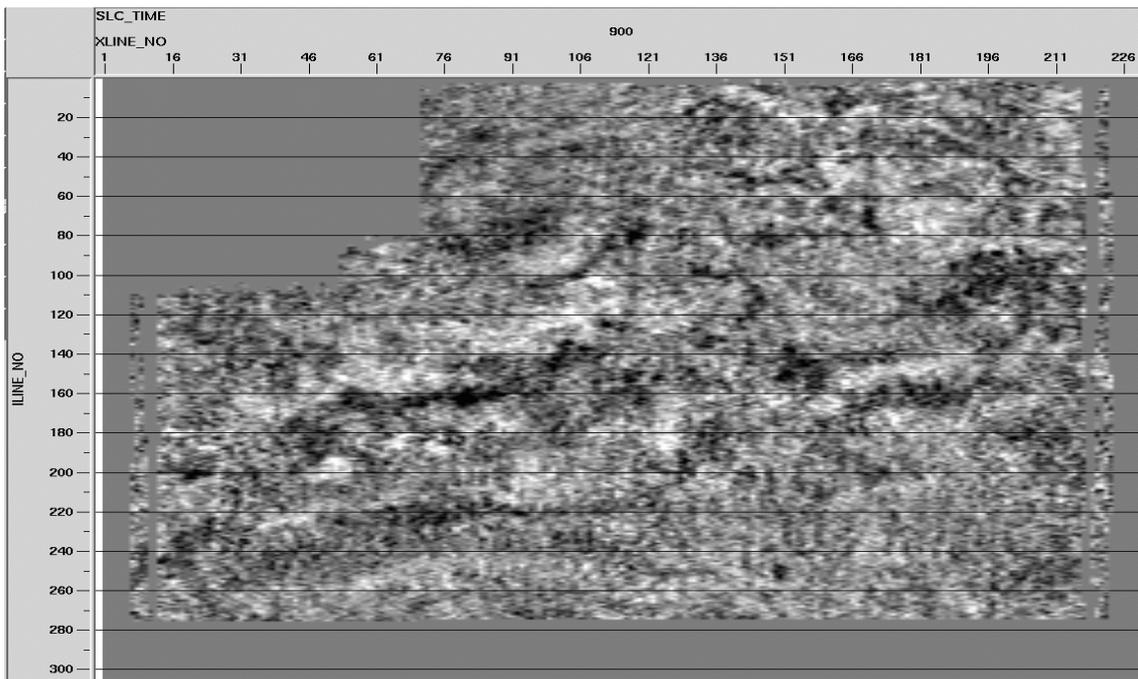


Figura 6.24 Corte para un tiempo de 900 ms, donde se muestra un aumento de la amplitud para las trazas que comprende entre 130 hasta 200.

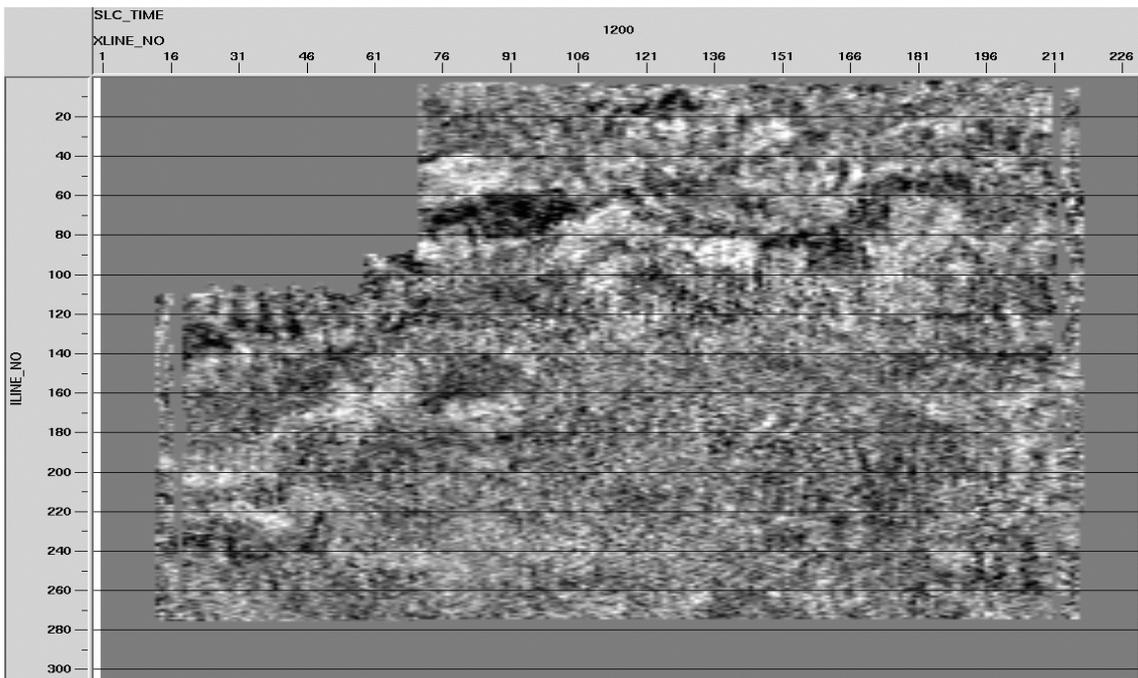


Figura 6.25 Corte para un tiempo de 1200ms, la resolución de la sección ya empieza a disminuir a medida que el tiempo es mayor.

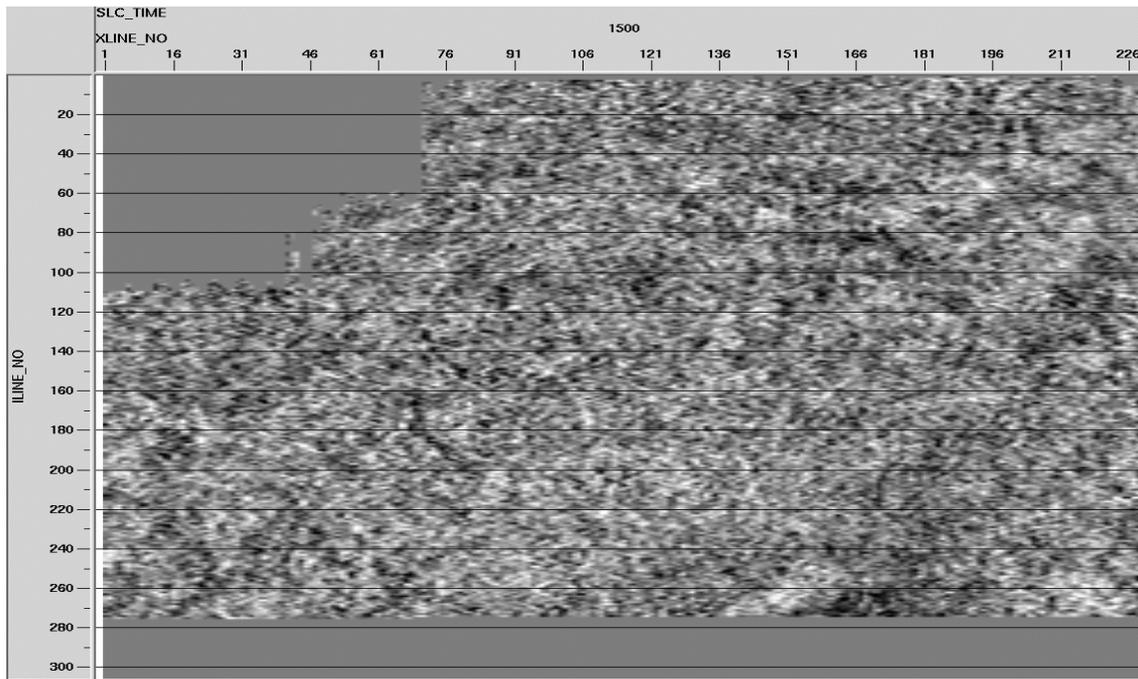


Figura 6.26 Corte para tiempo de 1500 ms, ya para este tiempo la coherencia de amplitudes es prácticamente nula, esto debido al tamaño de celda que sólo va a resaltar eventos mas someros en las secciones.

Los resultados obtenidos del procesamiento indican que la técnica permite el estudio de objetivos múltiples en un mismo levantamiento, porque al poseer una distribución uniforme de puntos de reflexión en el área, se puede manejar el tamaño de celda para ajustar los intereses de la sísmica durante el procesamiento a los objetivos someros o profundos, estructurales o estratigráficos.

Las celdas grandes permiten la definición de los reflectores importantes a nivel regional, la coherencia y la definición de estos, mientras que las celdas con menor tamaño da una resolución más somera detallada y en algunos casos la definición en estas zonas no se hace tan clara debido a la mala distribución de la distancia fuente receptor producto de la baja cobertura, que no permite darle coherencia a los reflectores.

6.3 Análisis espectral de frecuencia

En las siguientes figuras se podrá ver un estudio de análisis espectral de frecuencias realizadas para ambos tamaños de celda.

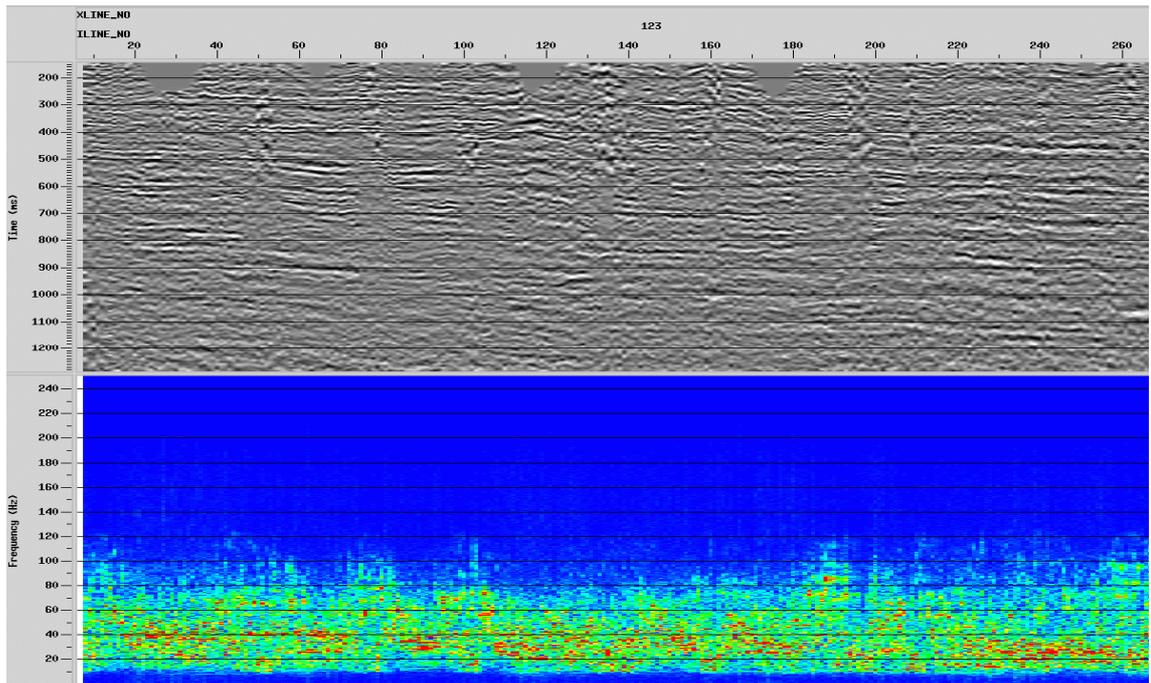


Figura 6.27 Análisis espectral de frecuencia para un área somera (celda 20x32).

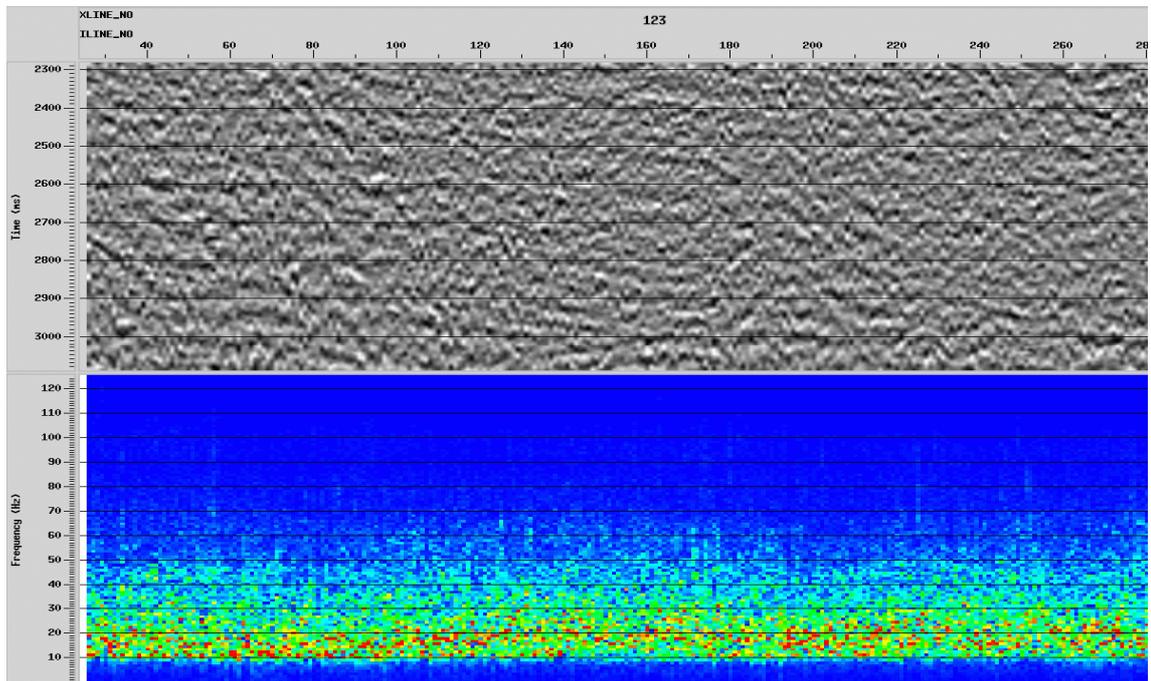


Figura 6.28 Análisis espectral de frecuencia para un área profunda (celda 20x32).

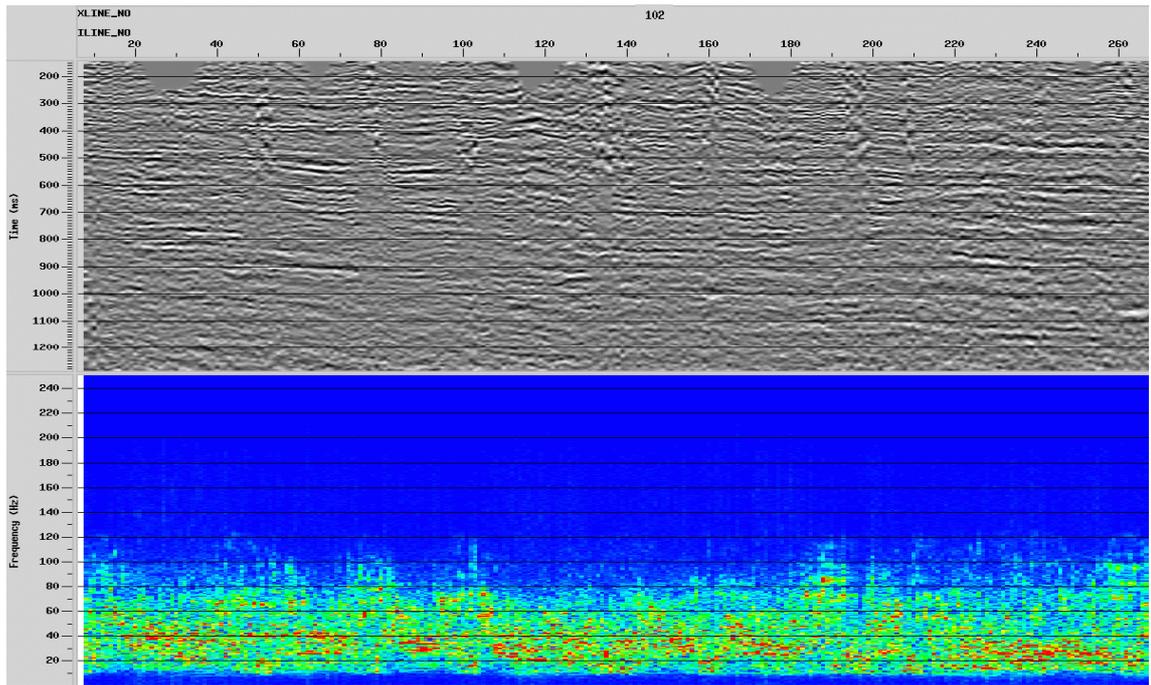


Figura 6.29 Análisis espectral de frecuencia para un área somera (celda 25x40).

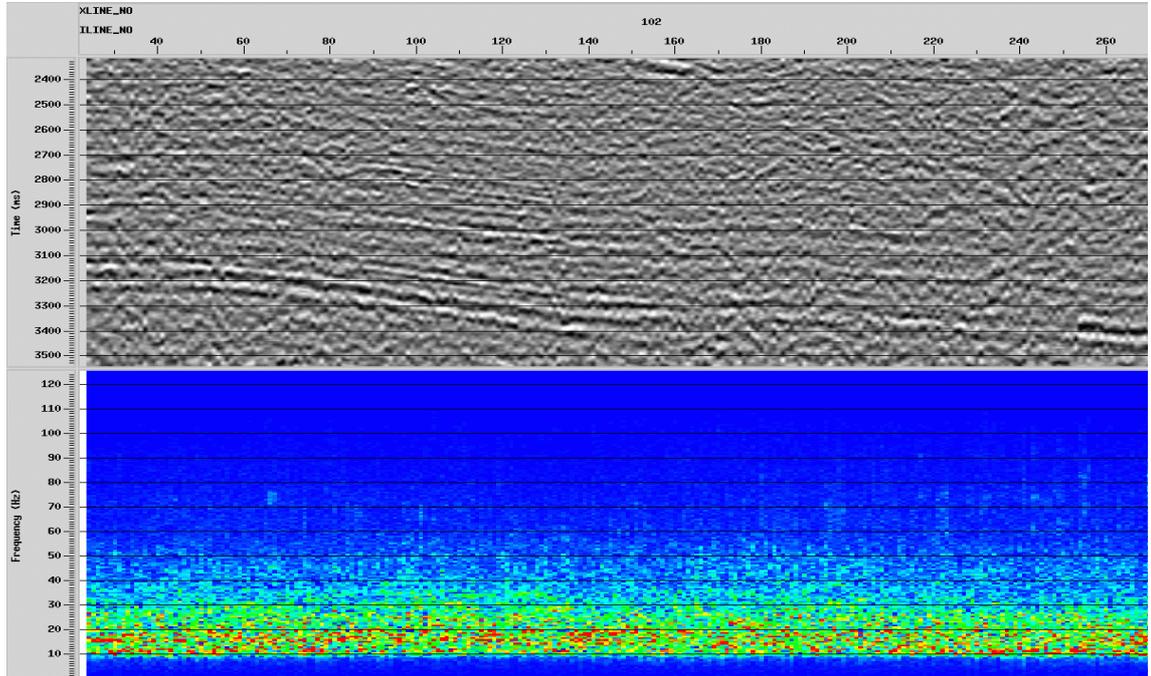


Figura 6.30 Análisis espectral de frecuencia para un área profunda (celda 25x40).

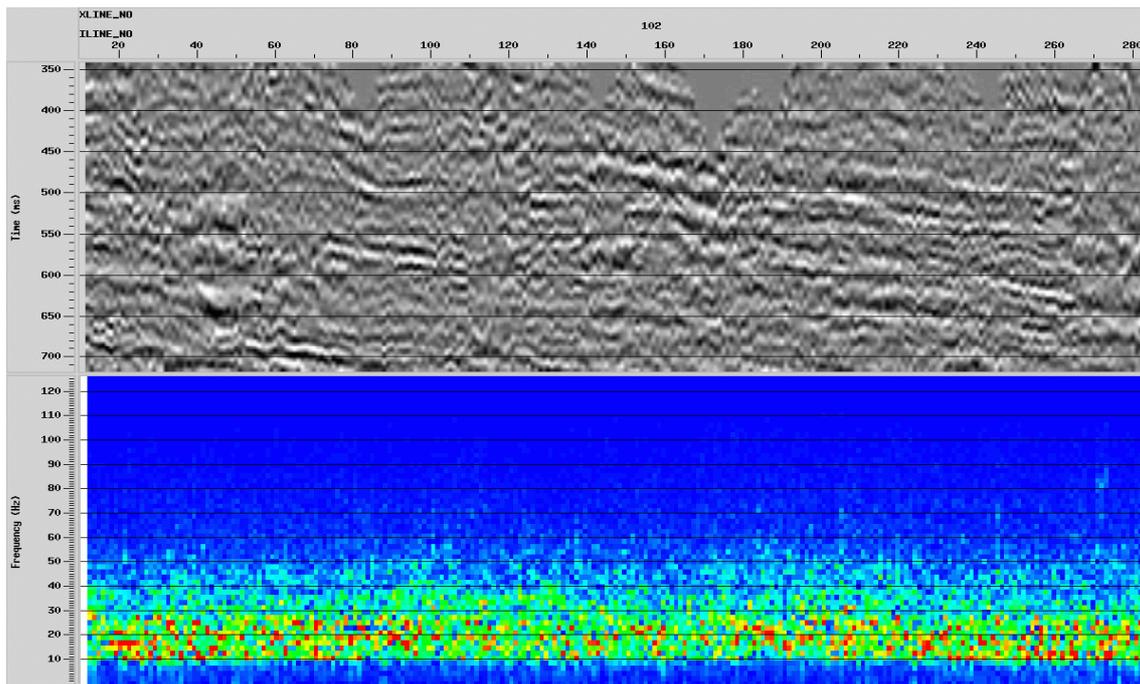


Figura 6.31 Análisis espectral de frecuencia para un área somera (celda 30x40).

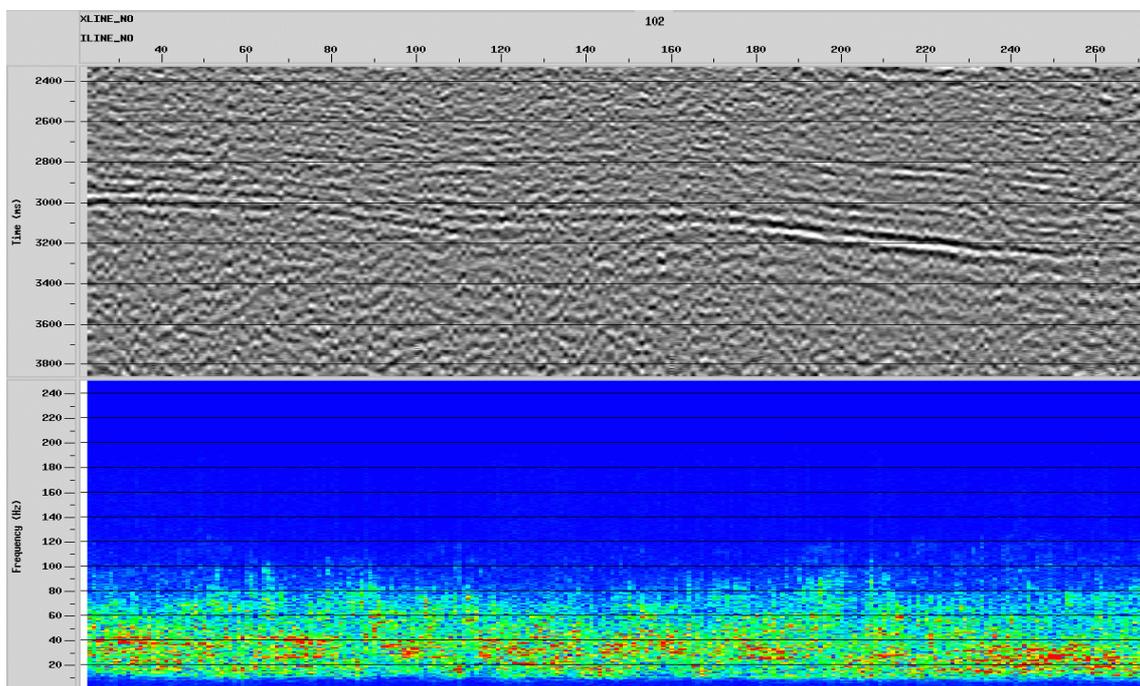


Figura 6.32 Análisis espectral de frecuencia para un área profunda (celda 30x40).

En lo que respecta al tamaño de celda pequeño 20x32 hay un mayor contenido de frecuencia en la parte somera, donde la resolución de la sección es mejor. Este contenido de frecuencia abarca hasta 100Hz aproximadamente (figura 6.27). Si se observa en la figura 6.28 para ese mismo tamaño de celda el contenido de frecuencia empieza a disminuir al igual que la resolución. El contenido de frecuencia para esta sección es de 50Hz para una profundidad máxima de 3000 ms aproximadamente.

Para el tamaño de celda de 25x40 la resolución que presenta en la parte somera es buena, esta resolución se puede observar hasta los 1000ms, el contenido de frecuencia también es óptimo, este abarca hasta unos 100 a 110Hz. Mientras que para la zona más profunda empieza a relucir eventos importantes, se puede observar la presencia de un horizonte bien definido con leve buzamiento hacia el norte. Las frecuencias que corresponden para esta zona de la sección abarcan desde los 50Hz hasta los 60Hz.

Finalmente para la celda más grande de 30x40 el contenido de frecuencia para la zona más somera es bajo, alrededor de los 50Hz. La resolución para esta zona no es muy buena, ya que para este tamaño de celda, los objetivos que se buscan son más estructuras, más profundos. Si se observa la figura 6.32 se logra ver que hay un reflector definido a lo largo de toda la sección, entre los 3000 a 3400ms, esta zona en específico presenta un alto contenido de frecuencia el cual oscila entre los 100Hz.

A continuación se observan espectros de frecuencia donde se puede definir la máxima frecuencia para cada tamaño de celda y para los distintos intervalos de tiempo (tiempos someros para zonas estratigráficas y tiempos profundos para eventos estructurales).

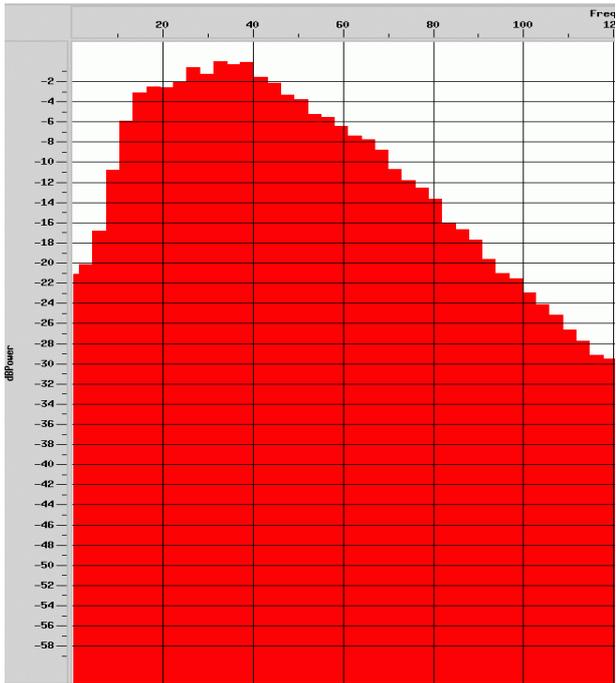


Figura 6.33 Frecuencia para zona somera celda 20x32

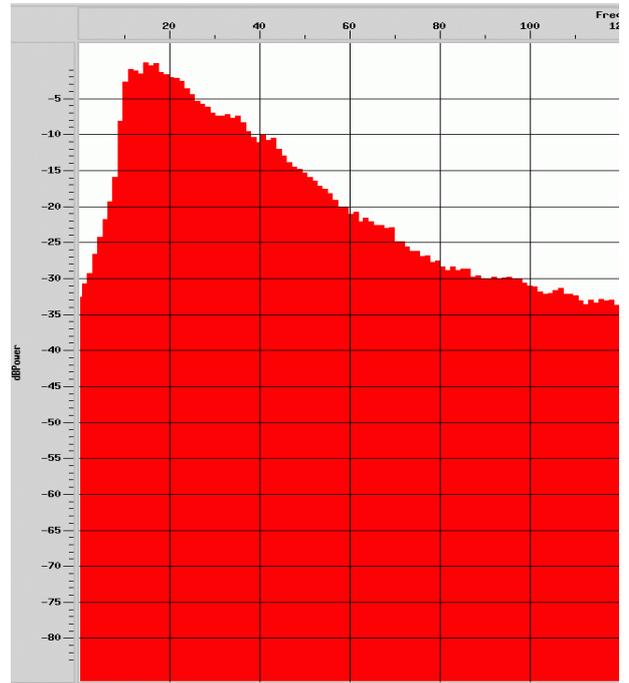


Figura 6.34 Frecuencia para zona profunda celda 20x32

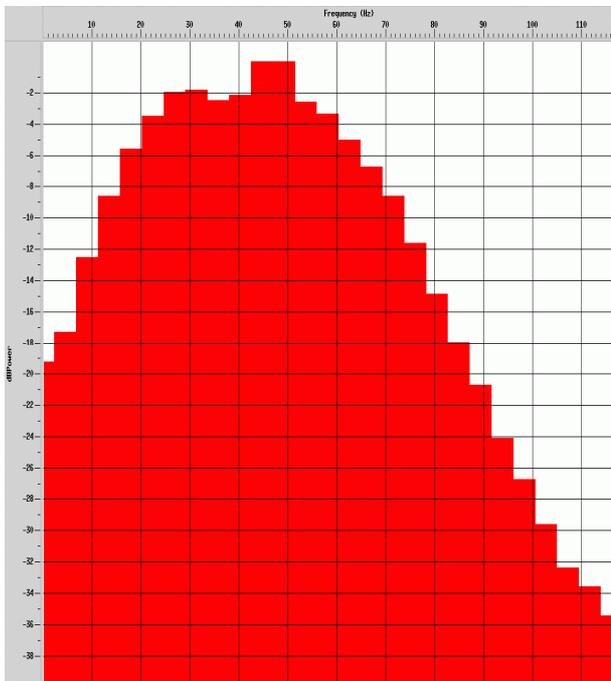


Figura 6.35 Frecuencia para zona somera celda 25x40

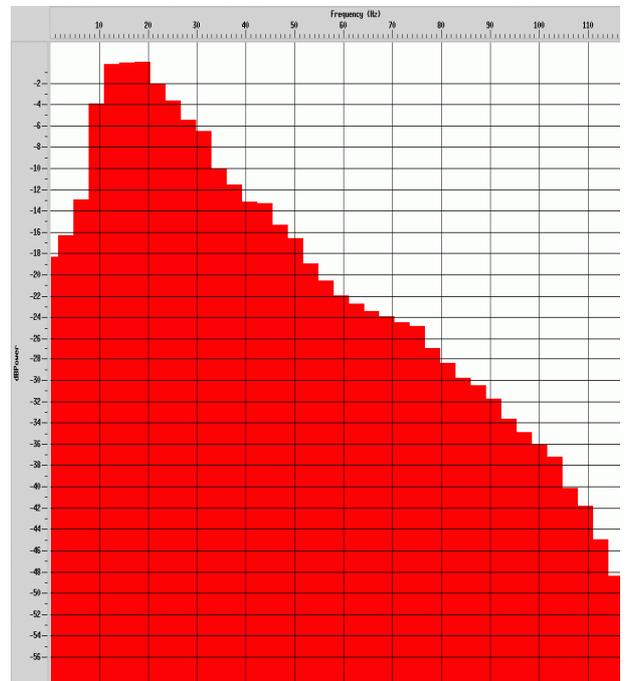


Figura 6.36 Frecuencia para zona profunda celda 25x40

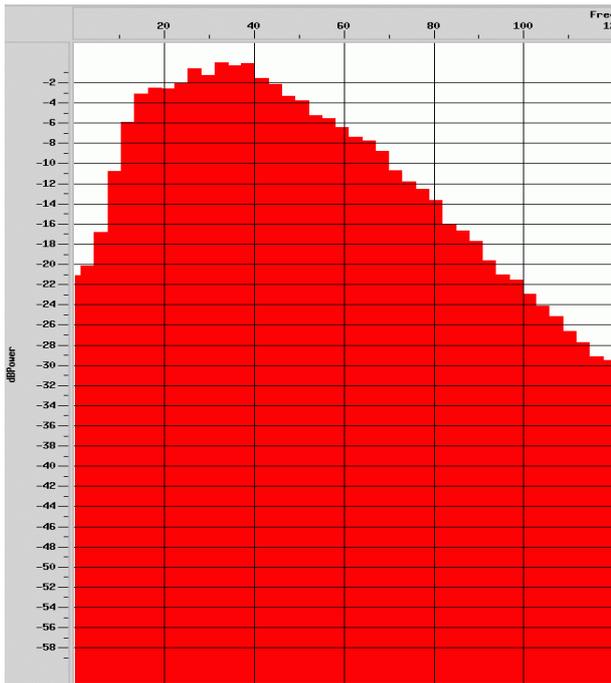


Figura 6.37 Frecuencia para zona somera celda 30x40

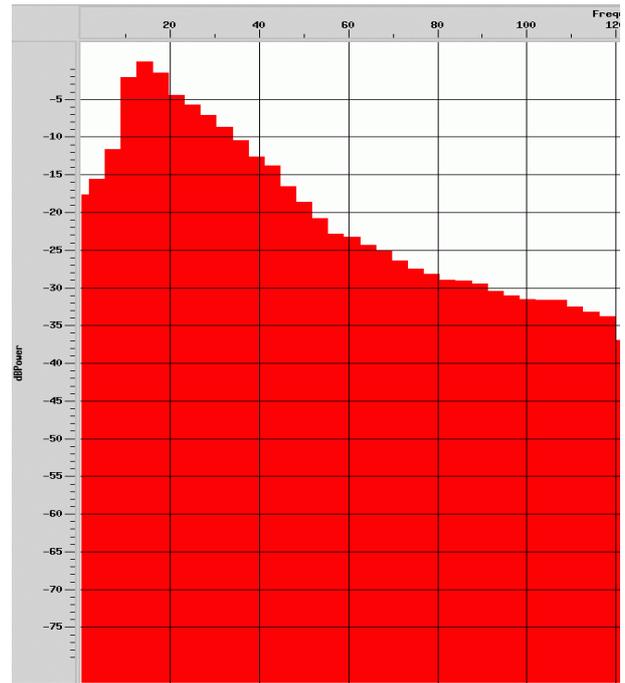


Figura 6.38 Frecuencia para zona profunda celda 30x40

Una vez tomado los máximos valores de frecuencia para cada celda y para cada zona de intereses (someros y profundos), se tomaron las velocidades interválicas correspondientes para los tiempos en que se realizó el espectro de frecuencia. De esta manera se pudo calcular la resolución vertical para cada tamaño de celda. Usando la formula de resolución vertical o de espesor de entonación:

$$\text{Espesor de Entonación} = \text{Resolución sísmica} = \frac{\lambda}{4} = \frac{V_{\text{int}}}{4f_{\text{dom}}} \dots 6.1$$

Para el tamaño de celda 20x32 la frecuencia máxima para zonas somera fue de 38 Hz (figura 6.34), la velocidad calculada para esta área fue aproximadamente de 2119 m/s. La resolución para esta zona somera fue óptima dando 13,24 m. Para las zonas más profundas la resolución alcanzó hasta 42,175 m, tomando un rango de frecuencia de 18 Hz (figura 6.35) y una velocidad de 3054 m/s. Para la celda de 25x40 la resolución hacia la zona somera (aproximadamente hasta 900 ms) fue de 14,5 m, con un valor máximo de frecuencia de 45 Hz (figura 6.36) y una velocidad de 2614 m/s, para la zona más profunda

(3300 a 3900 ms) la resolución alcanzó un valor de 47,22 m. Los valores de frecuencia para la zona somera correspondientes para la celda grande 30x40, fue alrededor de 33 Hz (figura 6.37) aproximadamente (entre los 500 a 900 ms), donde la velocidad para este intervalo de tiempo fue 2220 m/s, logrando una resolución de 17,2 m. Finalmente para el área más profunda de las secciones (entre los 3200 a 3900 ms) la resolución fue de 48,2 m, con una frecuencia aproximada de 17 Hz y una velocidad de 3320 m/s.

Se puede concluir que para la celda más pequeña la resolución en la zona más somera fue buena alcanzando un valor de 13,24 m, pudiendo ver con mayor detalle las zonas de poca profundidad (figura 6.38); al igual pasa con el tamaño de celda mediano, cuya resolución para esta zona en específico alcanzó 14,5 m. Para el tamaño la celda de 30x40 la resolución para la parte somera fue mayor, donde los eventos para esta zona no tienen tanta definición en comparación de las celdas anteriores (figura 6.39). Sin embargo, la resolución mejora para zonas más profundas donde las celdas más pequeñas no pueden dar tal definición para los eventos ubicados en estas zonas (figura 6.40, 6.41 y 6.42)

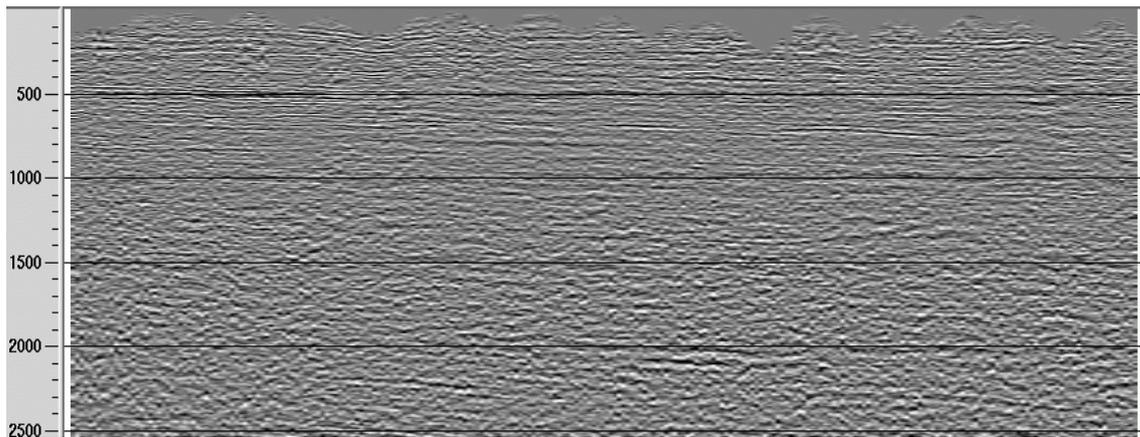


Figura 6.39 Resolución somera para celda 20x32

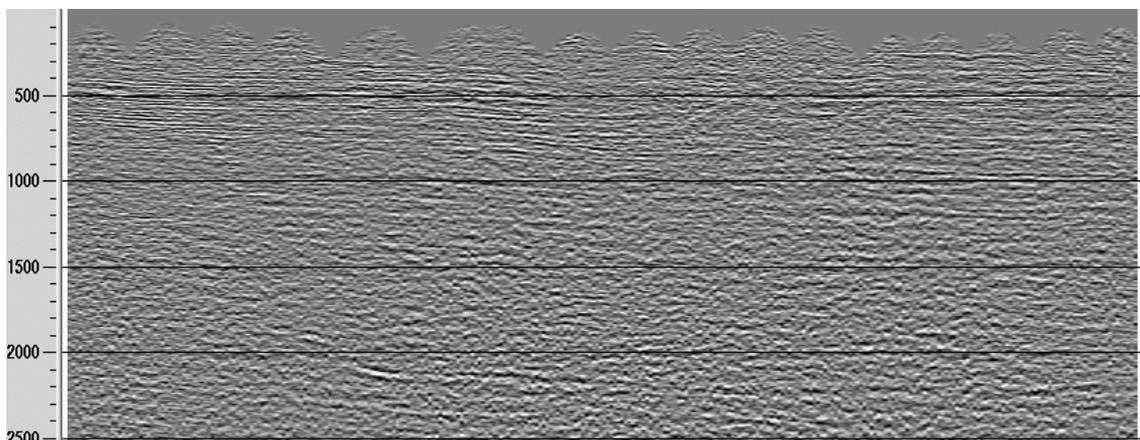


Figura 6.40 Resolución somera para celda 30x40

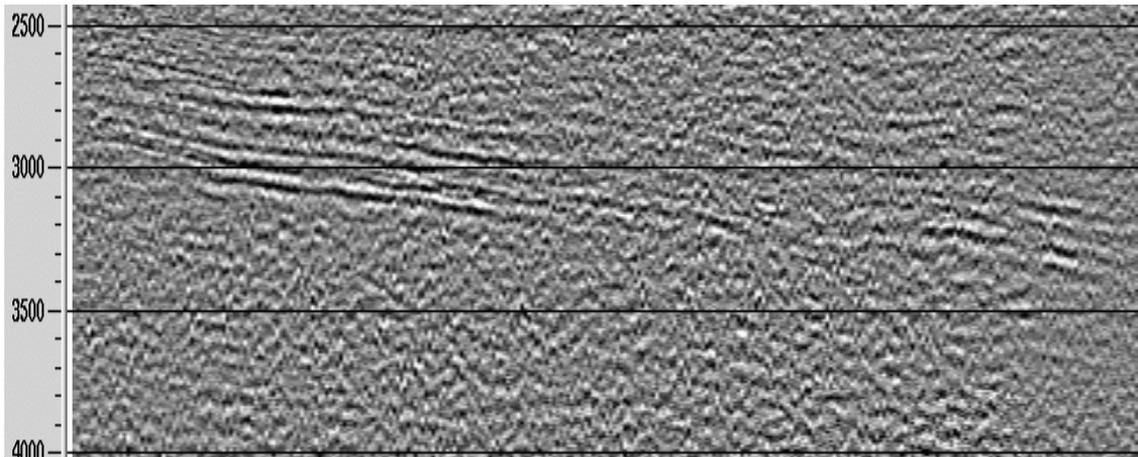


Figura 6.41 Resolución profunda para celda 20x32

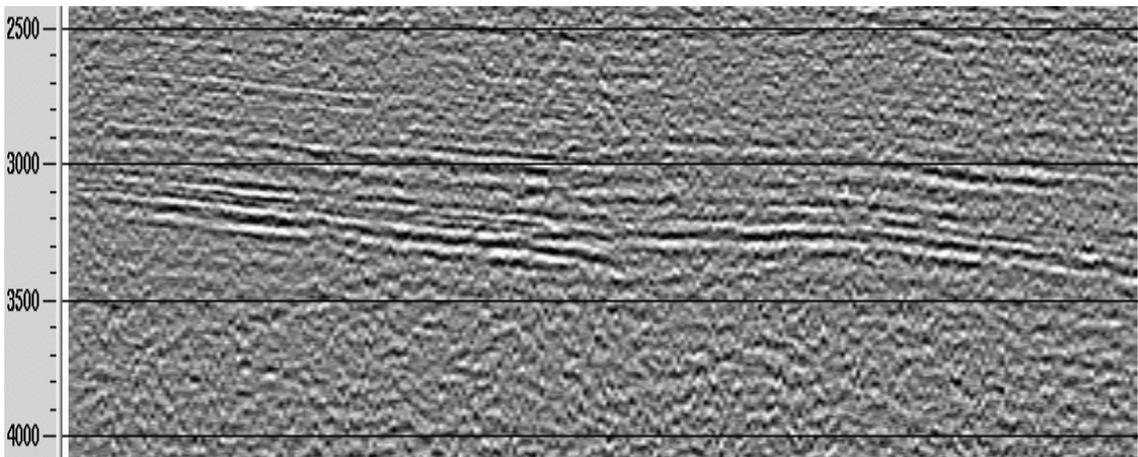


Figura 6.42 Resolución profunda para celda 25x40

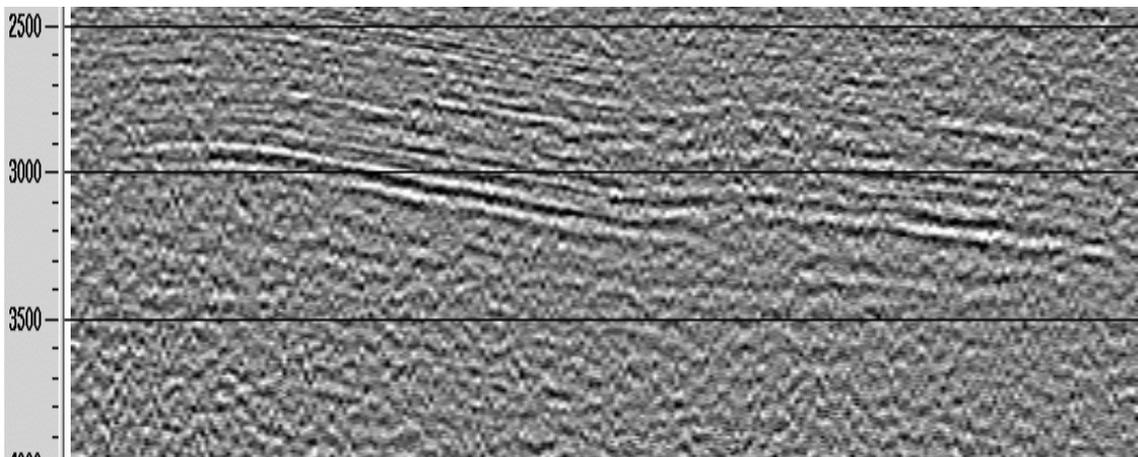


Figura 6.43 Resolución profunda para celda 30x40

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES

- La atenuación del cono de ruido en los registros del levantamiento necesitó la aplicación de una secuencia de funciones que permitieron filtrar el efecto del cono de ruido en los datos procesados.
- Las amplitudes de los datos fueron balanceadas considerando la consistencia con superficie, tomando en cuenta la influencia de las componentes con común receptor, fuente, offset y cdp; y considerando el comportamiento de las reflexiones según ventanas en tiempo y rangos de offset
- A medida que aumenta el tamaño de celda la densidad de puntos medios fuente-receptor en el área de la celda disminuye, esto nos indica que para celdas pequeñas la densidad de puntos medios es mayor. La apreciación anterior nos permite suponer que la resolución horizontal aumenta a medida que disminuimos el tamaño de celda.
- Se propone un sistema de adquisición sísmica para muestrear uniformemente en la superficie y permite el apilado final utilizando diferentes tamaños de celda.
- El método permite combinar para un mismo levantamiento celdas grandes de altas coberturas con celdas suficientemente pequeños para detalles estratigráficos y buzamientos altos. Además, se puede realizar con un mismo levantamiento un análisis para objetivos someros y profundos, de modo que el diseño puede considerar desde su fase inicial objetivos múltiples.
- El esfuerzo requerido en el campo es similar al de un levantamiento convencional, asimismo permite hacer levantamiento 3D en áreas exploratorias optimizando recursos y obteniendo altas coberturas sin comprometer gran cantidad de material de grabación, lo que implica una reducción de los costos operativos.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS CITADAS

Yilmaz, O, (2001) “Seismic Data Processing”. Investigations in Geophysics N°10 Volumen I y II. Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, Estados Unidos, 2001

González de Juana C, J Inturralde de Arozena, X Picard, (1980). Geología de Venezuela y de sus cuencas Petrolíferas. Caracas, Ed. Fonvines, 2 tomos, 1021 páginas.

Fernandes, J, (2002) “Análisis y modelaje de atributos sísmicos en la región de Monagas, estado Anzoátegui”. Tesis de grado no publicada. Departamento de Geofísica. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Ministerio de Minas e Hidrocarburos, (1970)“ Léxico estratigráfico de Venezuela”, segunda edición, Caracas, Venezuela.

Manzoni, S, (2001). “Secuencia básica de procesamiento de data sísmica para obtener datos finales, orientada a estudiantes de ingeniería geofísica”. Tesis de grado no publicada. Departamento de Geofísica. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Sheriff, R.E, (1994). “Encyclopedic Dictionary of Exploration Geophysicds” 3era edition. Society of Exploration Geophysicists, References Serie N° 1, Tulsa, USA, 384 páginas.

BARRAGAN, C (1991) “Fundamentals of Practical Seismic Data Processing”. Halliburton Geophysical Services, Inc.

Cordsen, A, (1995) “Arrangement of source and receiver lines for three-dimensional seismic data adquisition”. United States 1995

G.R.I (Gas Research Institute). 1994, “Staggered-Line 3D seismic recording”