

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ANÁLISIS DE DIFERENTES ALGORITMOS DE MIGRACIÓN POST-APILAMIENTO SOBRE DATOS SÍSMICOS BIDIMENSIONALES AL OESTE DEL ESTADO BARINAS.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Vásquez, Jhonny Alexis
para optar al Título
de Ingeniero Geofísico.

Caracas, 2010

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ANÁLISIS DE DIFERENTES ALGORITMOS DE MIGRACIÓN POST-APILAMIENTO SOBRE DATOS SÍSMICOS BIDIMENSIONALES AL OESTE DEL ESTADO BARINAS.

TUTOR ACADÉMICO: Ing. José M. Cavada.

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Aristides Meléndez.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Vásquez, Jhonny Alexis
para optar al Título
de Ingeniero Geofísico.

Caracas, 2010

Caracas, Mayo 2010

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 Jhonny Alexis Vásquez, titulado:

**“ANÁLISIS DE DIFERENTES ALGORITMOS DE MIGRACIÓN
POST-APILAMIENTO SOBRE DATOS SÍSMICOS BIDIMENSIONALES AL
OESTE DEL ESTADO BARINAS.”**

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. Vincenzo De Lisa
Jurado

Prof. Jesús González
Jurado

Prof. José Manuel Cavada
Tutor Académico

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Central de Venezuela.

Al Ing. José Manuel Cavada por su paciencia y guía en este trabajo.

Al Ing. Arístides Meléndez por la oportunidad de aprender y realizar mi trabajo especial de grado en esta empresa, y también por la confianza depositada en mí.

Un especial agradecimiento a mi familia Daisy Margarita Vásquez Hernández, Margarita Vásquez, María Margarita Rodríguez Vásquez y Gabriela Margarita Rodríguez Vásquez.

A Richard Haisinger y su familia. A la Sra. Elda Coppola y su familia.

A la Lic. Maria de Armas, Lic. Luisa Maria Rios, Lic Diana Cova Godoy, Ing. Inirida Rodríguez Millán, Ing. Aleida Arévalo, Prof. Vincenzo De Lisa, Prof. Jesús González, Msc. Juan José Infante, Ing. Verónica Morales, Prof. Creli Padron, Ing. Yormar Caballero, y la Prof. Yaraixa Pérez.

Al equipo de CGG Veritas por el apoyo durante la realización de este trabajo, Ing. Salvador Manzoni, Ing. Osvaldo Ríos, Ing. Pablo Naranjos, Ing. Alexander Saavedra, Juvencio Ochoa, Jenny Pena. Y un especial agradecimiento a la Ing. Lisbeth Velásquez y al Ing. Hernando Aponte por su guía en este trabajo.

También quisiera agradecer a los miembros de la biblioteca de la escuela de Geología, Geofísica y Minas, en especial a la Lic. Morella Mikaly de Castillo y el Br. Aquiles Salazar por su paciencia y disponibilidad para ayudar en el acceso del material bibliográfico.

Vásquez. Jhonny. A

**ANÁLISIS DE DIFERENTES ALGORITMOS DE MIGRACIÓN
POST-APILAMIENTO SOBRE DATOS SÍSMICOS
BIDIMENSIONALES AL OESTE DEL ESTADO BARINAS.**

**Tutor Académico: Prof. José M. Cavada. Tutor Industrial: Ing. Arístides
Meléndez. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología,
Minas y Geofísica. 2010, 125 p.**

Palabras Claves: procesamiento, migración, algoritmos de diferencias finitas, algoritmo de Diferencias finitas omega-x algoritmo de Kirchhoff, algoritmo de cambio de fase.

Resumen: En el presente trabajo se procesa una línea sísmica 2D y se realiza un análisis de cuatro diferentes algoritmos de migración post-apilamiento (Algoritmo diferencias finitas, Kirchhoff, diferencias finitas omega-x y cambio de fase), con el objetivo de determinar cuál produce mejores resultados.

Los datos de este estudio fueron obtenidos al este del estado Barinas. El objetivo geológico o de dicho estudio se encuentra a 3 s, donde se observan difracciones productos de fallas geológicas.

La metodología utilizada para lograr el objetivo propuesto, fue evaluar cada algoritmo de migración por separado, buscando los parámetros óptimos de cada uno de ellos a través de pruebas con diferentes valores. Luego fueron comparados los algoritmos entre si, con el objeto de determinar el mejor para dicha línea. Además se realizó una evaluación visual por parte de expertos en interpretación y procesamiento sísmico con el objeto de obtener una respuesta mas precisa.

Los resultados fueron, secciones migradas muy semejantes entre si, con pequeñas diferencias que solo fueron capaces de determinar los expertos en interpretación sísmica.

Se concluyó que el mejor algoritmo para migrar esta línea sísmica es el algoritmo de Kirchhoff. Sin embargo, no se debe descartar los otros resultados, por su semejanza.

Cabe destacar que un factor importante para determinar el apilado mejor migrado, fue el atractivo o agrado visual del intérprete hacia la imagen producto de la buena relación-señal ruido que representaba el apilado final.

INDICE

	Página
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABLAS	xiii
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
OBJETIVOS	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
JUSTIFICACIÓN	4
LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	5
CAPÍTULO II	6
MARCO TEÓRICO.....	6
1.- GENERALIDADES	6
2.- SECUENCIA DE PROCESAMIENTO DE DATOS SÍSMICOS	8
2.1.- Demultiplexado.....	8
2.2.-Remuestreo	9
2.3.-Geometría.....	9
2.3.1-Control de calidad de la geometría.....	10
2.4.-Edición de trazas.....	11
2.5.-Corrección de estáticas de campo o estáticas de elevación	12
2.6.- Divergencia geométrica	13
2.7.-Convolución, Correlación, Autocorrelación, Autocorrelogramas y	
Deconvolución	15
2.7.1 Modelo convolucional de la tierra.....	15
2.7.2 Correlación.....	17
2.7.3 Autocorrelación.....	18
2.7.4 Autocorrelogramas.....	19
2.7.5 Deconvolución:	19

	Página
2.7.5.1-Tipos de deconvolución	21
2.7.5.1.1-Deconvolución predictiva.....	21
2.7.5.1.2-Deconvolución impulsiva	21
2.7.5.1.3-Deconvolución consistente con superficie.....	21
2.8.-Ordenamiento por CMP y CDP	24
2.9.-Calculo de estáticas de refracción.....	25
2.9.1.-Tipos de estáticas de refracción	28
2.9.1.1-Estáticas de corto periodo.....	28
2.9.1.2-Estáticas de largo periodo.....	28
2.10.-Análisis de velocidades.....	28
2.10.1-Tipos de análisis de velocidades	30
2.10.1.1-Apilado de velocidad constante (CVS).....	30
2.10.1.2-Apilado de distancia fuente-receptor común (COFF).....	31
2.10.2.-Tipos de velocidades.....	31
2.10.3.-Semblanza	33
2.11.- Supresión	33
2.12.- Estáticas residuales consistentes con la superficie	33
2.13.-Estáticas residuales no consistentes con la superficie	34
2.14.-Apilado	35
2.15.-Corrección dinámica dependiente del buzamiento (DMO)	35
2.16.-Migración.....	37
2.16.1.-Principios de migración	40
2.16.2.-Algoritmos de migración	43
2.16.2.1.-Continuación hacia abajo.....	44
2.16.2.2.-Migración por diferencias finitas	45
2.16.2.3.-Migración OMEGA-X (ωX).....	48
2.16.2.4.-Migración Cambio de fase.....	49
2.16.2.5.-Migración de Kirchhoff.....	52

	Página
CAPITULO III.....	55
MARCO GEOLÓGICO.....	55
CAPÍTULO IV.....	59
METODOLOGÍA.....	59
1.-Trascripción a formato interno	61
2.-Edición manual de trazas	61
3.-Construcción de la geometría	63
4.-Recuperación de amplitudes debido a la divergencia geométrica	65
5.-Deconvolución consistente con la superficie, deconvolución predictiva, deconvolución fase cero, filtro monocromático para eliminar ruidos de 60 Hz. .	66
6.-Ordenamiento de los datos a CDP	68
7.-Corrección de estáticas de refracción estimadas a partir de las primeras llegadas.....	69
8.-Análisis de velocidades.....	70
9.-Cálculo de estáticas residuales consistentes con superficie.....	71
10.-Segundo pase de estáticas residuales consistente con superficie.....	71
11.-Estáticas residuales no consistentes con superficie	72
12.-DMO	72
13.-Prueba de cuatro algoritmos de migración post-apilamiento en tiempo.....	73
13.1.-Migración por diferencias finitas hasta un ángulo de buzamiento de 45°.....	74
13.1.1.-Incremento vertical de continuación hacia abajo.....	74
13.1.2.-Porcentaje de velocidad	75
13.2.-Migración por diferencias finitas hasta 65° ω -X.....	76
13.2.1.-Mínima frecuencia	76
13.2.2.-Pares de tiempo frecuencia	76
13.2.3.-Incremento vertical de la continuación hacia abajo.....	77
13.2.4.-Multiplicador	77

	Página
13.3.-Migración por cambio de fase	79
13.3.1.-Pares de tiempo-buzamiento.....	79
13.4.-Migración Kirchhoff.....	80
13.4.1.-Apertura media	81
13.4.2.-Buzamiento	83
13.4.3.-Frecuencia máxima	84
13.4.4.-Porcentaje de velocidad	84
14.-Evaluación de los resultados obtenidos en cada algoritmo de migración.....	84
CAPÍTULO V	86
RESULTADOS.....	86
CAPÍTULO VI.....	97
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS, CONCLUSIONES Y	
RECOMENDACIONES	97
CONCLUSIONES	101
RECOMENDACIONES	102
REFERENCIAS.....	103
APENDICES.....	105

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Mapa de ubicación, de la zona de estudio	5
Figura 2. Secuencia convencional de procesamiento de datos sísmicos.....	7
Figura 3. Representación de las trazas grabadas en campo antes y después de ser demultiplexadas.....	8
Figura 4. Proceso de elaboración de la geometría.....	10
Figura 5. Disparos de diferentes zonas del mundo	11
Figura 6. Estáticas de elevación o de campo	12
Figura 7. Datos crudos de campo de una adquisición terrestre.....	14
Figura 8. Datos de la figura 7 corregidos por divergencia geométrica.	14
Figura 9. El proceso de convolución.....	17
Figura 10. CDP gathers corregidos por NMO sin deconvolución	23
Figura 11. CDP gathers de la figura 8 corregidos por NMO con deconvolución.....	23
Figura 12. Ubicación del CMP y CDP para diferentes pares fuente-receptor	25
Figura 13. Representación de un modelo de correcciones estáticas cuando los disparos se encuentran debajo de la capa no consolidada.....	26
Figura 14. Representación de una geometría con primeros quiebres refractados con dromocrónica.....	28
Figura 15. CDP antes y después de la corrección con análisis de velocidad	30
Figura 16. Apilado CMP antes (16a) y después (16b) de la corrección de estáticas residuales.....	34
Figura 17. Apilado CMP	35
Figura 18. Diagrama de las diferentes trayectorias del frente de ondas generadas por la corrección dinámica dependiente del buzamiento.	37
Figura 19. Concepto de Migración	38
Figura 20. Apilado de CMP antes y después de la migración.	39
Figura 21. Reflector lk buzante antes y después de la migración	40
Figura 22. Cuantificación del proceso de migración.....	41
Figura 23. Geometría de la continuación hacia abajo o extrapolación	46
Figura 24. Cuencas de Venezuela	55
Figura 25. Correlación bioestratigráfica de las cuencas de Venezuela.....	58
Figura 26. Secuencia de procesamiento usada en este trabajo.....	60
Figura 27. Un registro de la línea donde se puede observar trazas con ruido.....	62
Figura 28. Un registro de la línea donde se puede observar trazas con ruido editada manualmente	62
Figura 29. Geometría con posible error.	64
Figura 30. Geometría correcta.....	64
Figura 31. Registro sísmico donde se puede observar en líneas rojas la ventana de deconvolución usada	67
Figura 32. Diagrama representativo de los diferentes parámetros evaluados.....	74
Figura 33. Diagrama representativo de los diferentes parámetros evaluados en el algoritmo de diferencia finita omega-x	76

Figura 34. Apilado DMO, donde se muestra la ventana escogida (rectángulo rojo) para realizar el análisis de amplitudes en los pares de tiempo-frecuencia	78
Figura 35. Espectro de amplitudes resultante en la ventana escogida en la figura 34	78
Figura 36. Diagrama de los parámetros evaluados en este trabajo	79
Figura 37. Diagrama representativo de los parámetros evaluados en el algoritmo de migración Kirchhoff.....	81
Figura 38. Apariencia de la encuesta realizada a intérpretes y analistas	85
Figura 39. Migración por diferencias finitas con parámetros finales.....	87
Figura 40. Migración por diferencias finitas OMEGA-X con parámetros finales.....	88
Figura 41. Migración por cambio de fase con parámetros finales.....	89
Figura 42. Migración Kirchhoff con parámetros finales.....	90
Figura 43. Histograma de frecuencia de la preferencia de los experto en cuanto a la resolución.	92
Figura 44. Histograma de frecuencia de la preferencia de los experto en cuanto a la reducción de difracciones.....	93
Figura 45. Histograma de frecuencia de la preferencia de los experto en cuanto a la	94
Figura 46. Histograma de frecuencia de la preferencia de los experto en cuanto a la rrelación señal-ruido.....	95
Figura 47. Histograma de frecuencia del promedio del tiempo de ejecución.....	96
Figura 48. Apilado DMO, con áreas de interés para el análisis.....	98
Figura 49. Interfaz gráfica de la geometría de la línea en estudio	105
Figura 50. Curva amplitud vs tiempo para el disparo 130	106
Figura 51. Curva amplitud vs tiempo para el disparo 130 con una función de ganancia del tipo ATN	106
Figura 52. Registro sísmico con amplitudes originales de la adquisición. y con una función de ganancia ATN.....	107
Figura 53. Registro sísmico antes y después aplicado procesos de deconvolución..	108
Figura 54. Vista de un CDP gather.	109
Figura 55. Apilamiento bruto.....	110
Figura 56. Apilamiento una vez aplicada las estáticas residuales no consistentes Con la superficie.....	111
Figura 57. Apilamiento con corrección dinámica dependiente del buzamiento.....	112

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Parámetros finales de las distintas deconvoluciones aplicadas.....	68
Tabla 2. Detalle de los diferentes valores de punto de aplicación y escalamiento probados para el incremento vertical de continuación hacia abajo.....	75
Tabla 3. Valores de porcentajes de velocidad evaluados.....	75
Tabla 4. Valores de pares tiempo buzamiento.....	80
Tabla 5. Valores para el parámetro APERTURA MEDIA evaluados.....	82
Tabla 6. Pruebas de los valores del parámetro BUZAMIENTO.....	83
Tabla 7. Valores finales de los parámetros de cada algoritmo.....	91
Tabla 8. Puntuaciones colocadas por los expertos para los diferentes apilados en cuanto a la resolución	92
Tabla 9. Puntuaciones colocadas por los expertos para los diferentes apilados en cuanto a la reducción de difracciones.....	93
Tabla 10. Puntuaciones colocadas por los expertos para los diferentes apilados en cuanto a la relación señal-ruido.....	94
Tabla 11. Puntuaciones colocadas por los expertos para los diferentes apilados en cuanto a la continuidad de los reflectores	95
Tabla 12. Tiempos de ejecución de las migraciones según el algoritmo aplicado	96
Tabla 13. Promedio de los diferentes tiempos de ejecución, de la máquina al migrar según el algoritmo aplicado.....	96

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La industria de hidrocarburos en Venezuela y en el mundo constituyen el impulso para el desarrollo de las poblaciones que las aloja, un ejemplo es la gasolina (derivado de los hidrocarburos) que es el combustible mas utilizado en el transporte, permitiendo en consecuencia, el intercambio y abastecimiento de diferentes productos necesarios para dicho desarrollo.

Para lograr ubicar yacimientos de hidrocarburos, entre otras herramientas del conocimiento se utiliza la Geofísica y particularmente los métodos sísmicos. Las principales etapas de estos métodos son la adquisición, procesamiento e interpretación de datos. En la etapa de procesamiento uno de los pasos más importantes para obtener un buen resultado y de esta manera lograr describir la geología en la zona lo más parecido a la realidad, es la migración sísmica.

En el año 2004 la empresa más importante en el país en cuanto a hidrocarburos se refiere, requirió el re-procesamiento de algunos levantamientos sísmicos realizados durante los años 1990 a 1994 en el Estado Barinas.

El objetivo fundamental del mencionado re-procesamiento fue la migración pre-apilamiento en profundidad, con la finalidad de obtener un conjunto de secciones sísmicas 2D migradas de mejor calidad a las producidas por el procesamiento convencional y en consecuencia, obtener una mejor aproximación del modelo estructural del área delineando con mayor exactitud los planos de fallas y los flancos estructurales de las formaciones bajo el área cubierta.

Actualmente, la empresa donde se desarrolló este trabajo posee diferentes algoritmos de migración post-apilamiento que pueden ser aplicados en las diferentes secuencias

de procesamiento. Sin embargo, dado el origen de cada uno de ellos y la naturaleza de los datos, estos pueden generar resultados de calidad variable.

Por tal razón, se requiere el análisis de los diferentes algoritmos de migración post-apilamiento que dispone la empresa, con el objetivo de determinar cuál es el más apropiado para obtener resultados óptimos. Estos estudios proporcionarán información más precisa, que se traducirá en una ventaja competitiva para la empresa, así como también en una contribución a trabajos futuros.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar el algoritmo adecuado para migrar de una manera óptima los datos sísmicos de la línea sísmica BAR-92A-11.

Objetivos específicos

1. Desarrollar una secuencia de procesamiento adecuada para la línea sísmica BAR-92A-11.
2. Evaluar al menos tres (3) algoritmos de migración post-apilamiento disponibles en la empresa donde se desarrolló este trabajo.
3. Comparar los resultados de las migraciones realizadas con los diferentes algoritmos disponibles en la empresa.
4. Analizar los resultados obtenidos al relacionar los diferentes algoritmos de migración.

JUSTIFICACIÓN

La realización de este estudio constituirá un aporte académico, ya que afianzará y ampliará los conocimientos en cuanto a la migración y la aplicación de los diferentes algoritmos existentes en la empresa, y de esta manera llegar a una mejor comprensión de la estructura geológica de la cuenca.

Por otra parte, el análisis de una de las etapas de la secuencia del procesamiento como lo es la migración, constituiría un gran aporte metodológico debido a que se tendrá mayor información al momento de establecer metodologías posteriores en una secuencia de procesamiento.

También, la prueba de los diferentes algoritmos de migración aportará mayor información para la empresa donde se realizó este trabajo ya que tendrá como resultado mayores ventajas para planificar las diferentes secuencias de procesamiento así como también resultados óptimos, que podrían traducirse posteriormente, en ventajas competitivas.

Finalmente, estos estudios podrían contribuir al desarrollo social en la zona donde se haya realizado el levantamiento sísmico. Si la compañía lograra incrementar la producción de hidrocarburos gracias a una migración óptima, esto se podría traducir en más puestos de trabajo, e indirectamente en una mayor demanda de servicios (hoteles, restaurantes, comercios, etc.) que podrían ser cubiertos por los pobladores de dicha zona.

LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se sitúa en la cuenca Barinas a 50 km al suroeste de Barinas, Estado Barinas. La línea sísmica BAR-92A-11 2D a procesar posee una longitud de 35,3 km.



Figura 1. Mapa de ubicación, de la zona de estudio (recuadro rojo).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

1.- GENERALIDADES

El procesamiento de datos sísmicos, corresponde a la segunda fase de un estudio sísmico de reflexión, y consiste en todas aquellas actividades que se realizan con el fin de lograr una mejor apariencia de los datos obtenidos en campo y en consecuencia una mejor interpretación.

En general el objetivo del procesamiento de datos es destacar la señal con respecto al ruido. También otro objetivo es la relocalización de elementos de datos para, de esta manera compensar las distorsiones espaciales como resultado de diferentes reflexiones provenientes de diferentes direcciones (Sheriff, 2002)

En el procesamiento de datos sísmicos, es común utilizar una secuencia de procesamiento como la que se muestra en la figura 2, que no es más que una serie de pasos o pruebas dependientes o no una de otras, que tienen como objetivo lograr una mejor apariencia de los datos. Cabe destacar que los pasos de esta secuencia pueden cambiar de orden o ser omitidos, dependiendo la naturaleza de los datos.

A medida que la tecnología se desarrolla y la exploración petrolera se hace más compleja, el procesamiento de datos sísmicos a realizarse en sistemas computarizados, de igual manera, evoluciona y se va haciendo cada vez más complejo en sus procesos. Por tal razón hoy en día el procesamiento constituye una fuente generadora de retos académicos, metodológicos y computacionales.

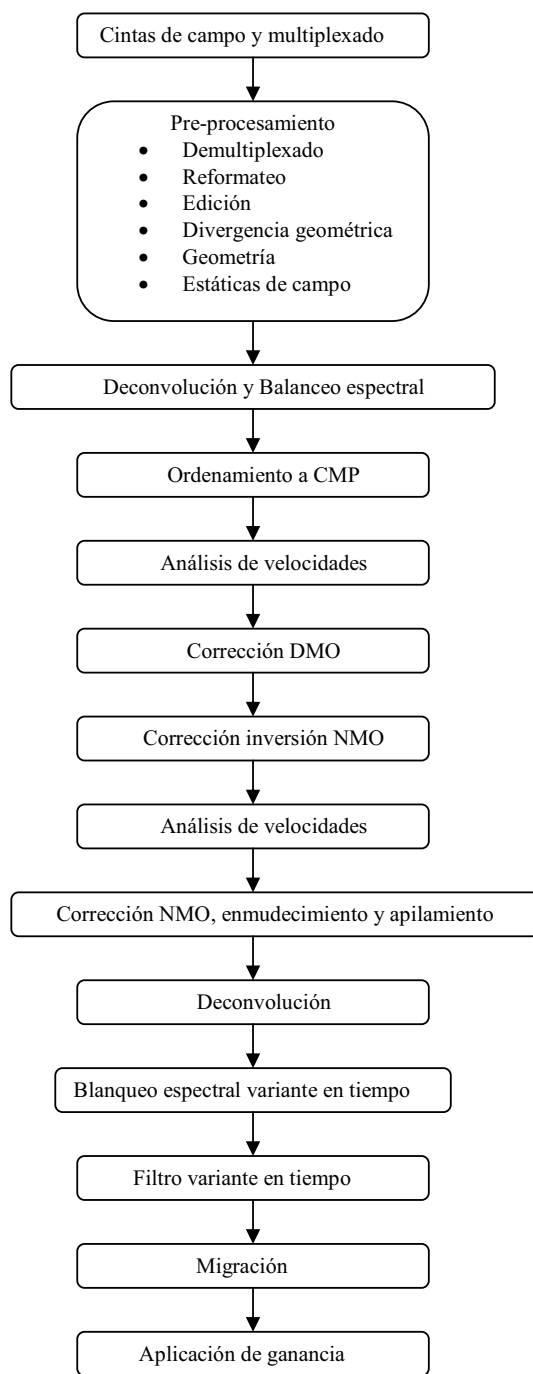


Figura 2. Secuencia convencional de procesamiento de datos sísmicos. Modificado de Yilmaz (1987).

2.- SECUENCIA DE PROCESAMIENTO DE DATOS SÍSMICOS

2.1.- Demultiplexado:

Manzoni (2001) Señala que es un proceso que consiste en reordenar la información de forma tal que todas las muestras de una misma traza estén de una manera secuencial. Este proceso se realiza con datos sísmicos multiplexados, porque los equipos de grabación estaban diseñados para grabar la información procedente de diferentes canales al mismo tiempo. Una vez que la cinta se haya demultiplexado se escribe en una cinta magnética.

Para comprender mejor el demultiplexado, se puede considerar la traza T_{ij} , donde el subíndice i se refiere al número de la traza y el subíndice j al número de muestra. Entonces, al observar la figura 3(a), correspondiente a un arreglo multiplexado, se observa que los datos provenientes de campo se encuentran ordenados según el número de muestra, o sea para cada traza un número de muestra igual. Sin embargo, se requiere para el procesamiento que las muestras estén arregladas de forma secuencial para una misma traza (figura 3b). El proceso de un arreglo a otro se llama demultiplexado. (ob.cit.)

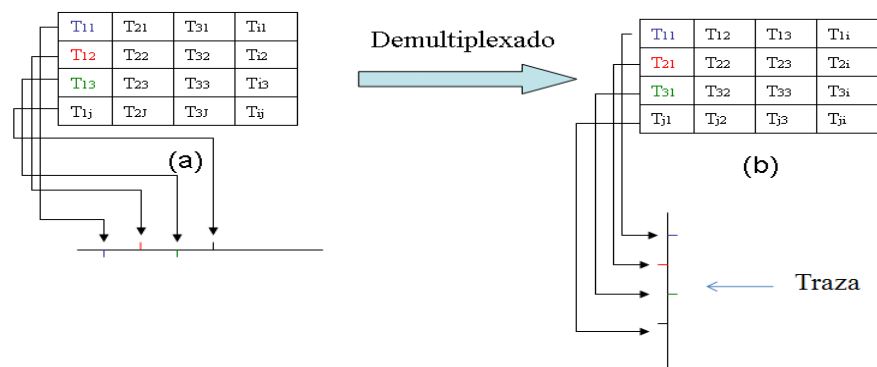


Figura 3. Representación de las trazas grabadas en campo antes y después de ser demultiplexadas.

2.2.-Remuestreo:

Es el cambio de la frecuencia de muestreo de la señal sísmica. De esta manera se puede incrementar o disminuir el número de muestras (Sheriff, 2002). En este caso se cambió el intervalo de muestreo de 2 ms a 4ms.

2.3.-Geometría:

Es el proceso de incorporar y/o juntar la información proveniente del trabajo de campo, donde se puede especificar el arreglo en superficie de la línea sísmica, el posicionamiento de las fuentes y receptores en coordenadas X e Y, además de las elevaciones o cotas (Manzoni, 2001).

Esta información se traduce básicamente en los registros de campo que fueron grabados en cintas y la información contenida en el reporte del observador, el cual relaciona los registros secuenciales grabados en la cinta, las estaciones receptoras y fuentes según la secuencia de disparo, además de las observaciones realizadas a través de la adquisición.

La incorporación o mezcla de información se realiza a través de programas computacionales que se encargaran de calcular y añadir información como, coordenada X e Y de cada disparo y cada receptor, distancia entre disparos y cada estación receptora, puntos común en profundidad (CDP) y número de trazas que componen un CDP (cobertura).

El producto o resultado final de esta etapa de la secuencia de procesamiento es una interfaz gráfica, que describe toda la información introducida y descrita anteriormente. Allí se pueden observar, los puntos de disparo, estaciones receptoras, entre otras características de los datos sísmicos. En la figura 4 se puede observar y entender mejor el proceso de elaboración de la geometría.

2.3.1.-Control de calidad de la geometría:

Este paso se realiza con el objetivo de evitar problemas futuros en la secuencia de procesamiento como resultado de la incorrecta incorporación de los datos de apoyo en los encabezados de las trazas. Consiste en un minucioso control de calidad, para obtener ciertos listados y gráficos, con el fin de confirmar la exactitud de las características geométricas de las líneas y de esta manera afirmar que los disparos como los grupos de receptores se han definido de acuerdo al reporte del observador.

Se puede realizar el control de calidad de la geometría de diferentes formas. Una de estas es el método gráfico en el cual se pueden ubicar registros con apariencia irregular respecto a los demás.

Otro, consiste en graficar el perfil de velocidades para cada disparo, añadido sobre donde se esperan las primeras llegadas. Relacionando en consecuencia, los datos y la geometría definida para cada uno de los registros sísmicos. Si la geometría es correcta, habrá una correspondencia entre las primeras llegadas y la curva de velocidad sobrepuesta.

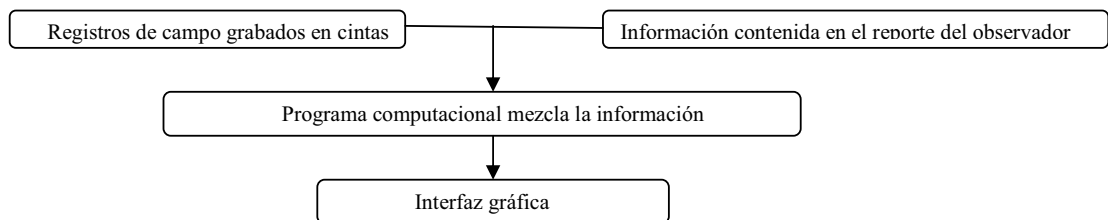


Figura 4. Proceso de elaboración de la geometría.

2.4.-Edición de trazas:

Consiste en corregir las trazas de polaridad invertida (figura 5c) o eliminar todas aquellas trazas en mal estado o de mala calidad producto de ruidos (figura 5b), geófonos dañados, en monofrecuencia (figura 5a) o desactivados, con el objetivo de obtener una señal de mejor calidad y de esta manera lograr resultados óptimos (Yilmaz, 1987).

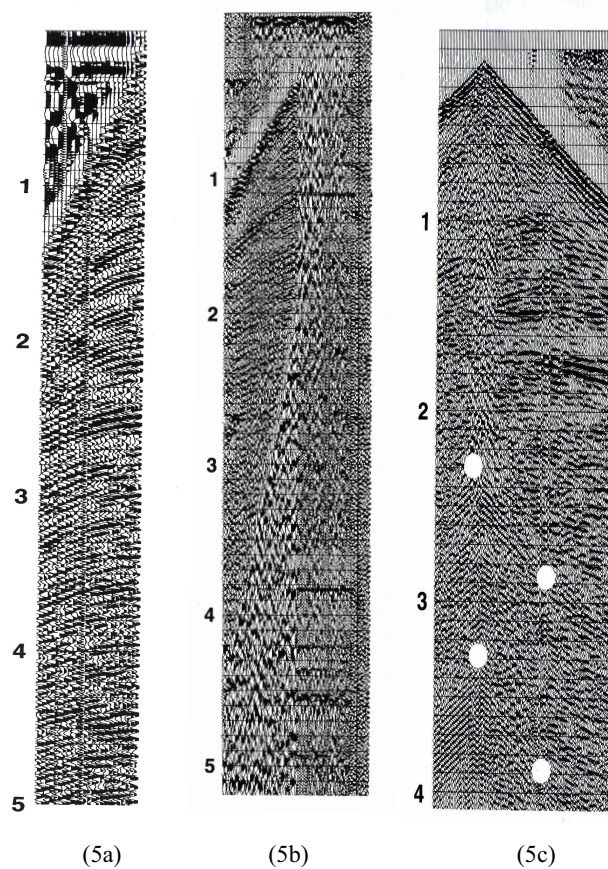


Figura 5. Disparos de adquisiciones de diferentes zonas del mundo. Modificado de Yilmaz (1987).

2.5.-Corrección de estáticas de campo o estáticas de elevación:

Las estáticas son aquellas diferencias en cuanto al tiempo del viaje de la onda sísmica ocasionada por: el espesor de la capa meteorizada, la variación en la elevación de los puntos de disparo y sus receptores, y la velocidad de viaje de la señal sísmica. Por lo tanto, la corrección de estáticas no es más que la compensación de los efectos debido a los factores anteriores utilizando un *datum* fijo o flotante (Sheriff, 2002).

En particular, en las estáticas de campo o estáticas de elevación se, calcula los tiempos de grabación respecto a un nivel imaginario o de referencia, comúnmente llamado *datum* fijo, a un plano de referencia de una altura variable llamado *datum* flotante. Este último es el resultado de un suavizado de la superficie topográfica de la zona de estudio (Velásquez, 2008).

La estática de elevación total será una suma de una componente llamada de largo periodo (Elp) que comprende la distancia en tiempo del *datum* flotante al *datum* fijo y una componente de corto periodo (Ecp) calculada desde la fuente y/o receptor hasta el *datum* flotante, como se observa en la figura 6 (ob.cit.).

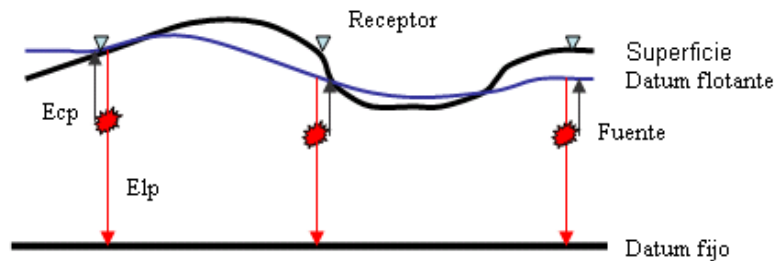


Figura 6. Estáticas de elevación o de campo. Modificado de Velásquez, 2008.

2.6.- Divergencia geométrica:

Es la pérdida o decrecimiento de la amplitud del frente de onda sísmica como consecuencia de su propagación al viajar por la Tierra. Entonces se puede observar que la señal decae a mayor tiempo transcurrido, como se muestra en la figura 7. Para corregir la divergencia geométrica se debe aplicar una función de ganancia que permita la recuperación de amplitudes debido a este fenómeno (figura 8) (Yilmaz, 2001).

La corrección por divergencia esférica tiene como objetivo recuperar la amplitud debido a la pérdida de energía que experimenta el frente de ondas al viajar por las capas de la tierra. Esta recuperación se puede lograr a través de una función inversa a la función exponencial que describe dicho decaimiento (ecuaciones 1, 2, 3 y 4). (ob.cit.).

Para realizar la corrección por divergencia geométrica se utilizan diferentes funciones de ganancia dependientes del tiempo:

$$D = At^N \quad (1)$$

$$D = At^{Nt} \quad (2)$$

$$D = Ate^{Nt} \quad (3)$$

$$D = tV^2 \quad (4)$$

Donde A es la amplitud, N el factor exponencial, t el tiempo en segundos, e es el número de Euler (2,71828182846) y $V(t)$ es la función de la velocidad RMS.

Para determinar el mejor factor exponencial, se grafica la función tomando un N de prueba constante con A y $V(t)$ igualmente constante, variando solo el tiempo. Se

grafican curvas para diferentes N y se escoge aquella que refleje la mejor ganancia acorde con la realidad.

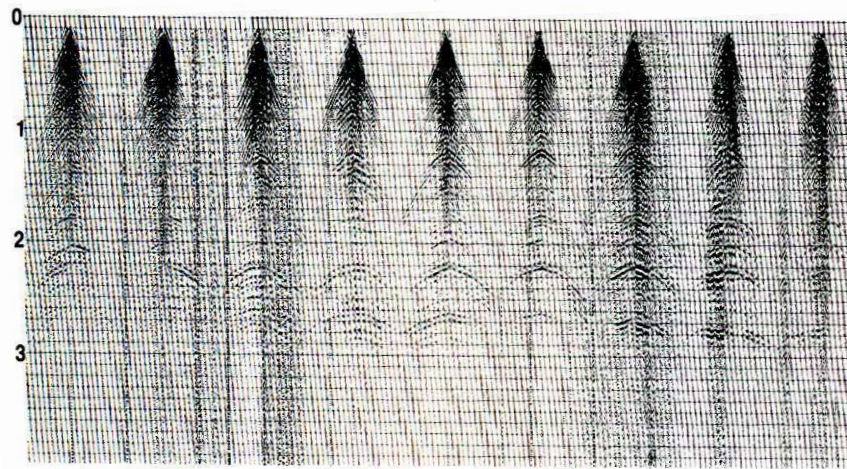


Figura 7. Datos crudos de campo de una adquisición terrestre. Tomado de Yilmaz ,2001.

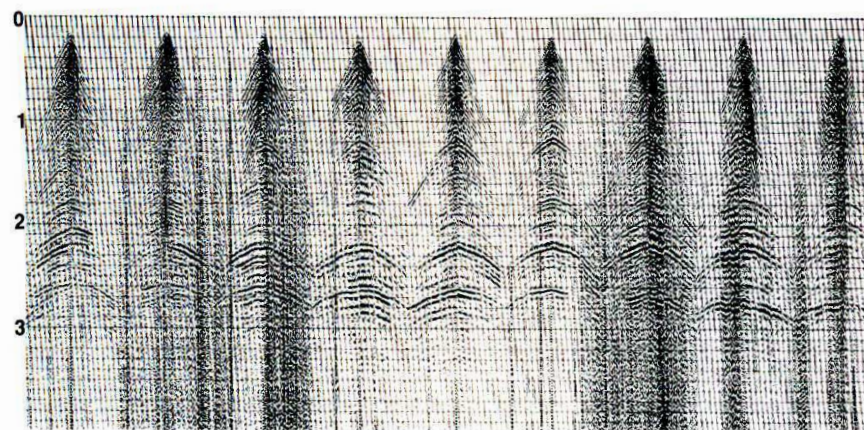


Figura 8. Datos de la figura 7 corregidos por divergencia geométrica.

Tomado de Yilmaz ,2001

2.7.-Convolución, Correlación, Autocorrelación, Autocorrelogramas y Deconvolución:

2.7.1 Modelo convolucional de la Tierra:

Como se sabe, la Tierra se compone por capas de rocas de diferentes litologías y propiedades físicas. En la sismica, estas capas de rocas se caracterizan por las densidades y las velocidades con las cuales las ondas sísmicas se propagan en ellas. El producto entre esta densidad y la velocidad se le llama impedancia acústica. El contraste de impedancia entre capas de rocas contiguas causan las reflexiones que son grabadas a través de toda la superficie. El sismograma grabado puede ser modelado como una convolución de la respuesta al impulso de la Tierra (impedancia acústica) con la ondícula sísmica. Esta ondícula tiene varios componentes, incluyendo la marca de la fuente, los filtros de grabación, las reflexiones superficiales, y la respuesta de la selección del patrón o arreglo de receptores (Yilmaz, 2001)

La convolución en términos matemáticos, es un operador que transforma dos funciones f y g en una tercera función h que representa la magnitud en la que se superponen f y una versión trasladada e invertida de g .

En el procesamiento digital de señales, se utiliza la convolución discreta, ya que solo se tiene valores en instantes discretos de tiempo. La convolución se puede definir de la siguiente manera:

$$f(t) = f_1(t) * f_2(t) = \int_0^t f_1(x) f_2(t-x) dx \quad (5)$$

El signo (*) significa convolución. Entonces de la ecuación anterior se puede concluir que $f(t)$ es el resultado de la convolución de $f_1(t)$ y $f_2(t)$. En otras palabras, $f(t)$ es la suma finita de 0 a un tiempo t del producto de las dos funciones

$f_1(t)$ y $f_2(t)$, donde $f_2(t)$ está invertida y con un desplazamiento en tiempo (Hsu, 1973).

Para el procesamiento digital de señales, solo se dispone de valores en instantes discretos de tiempo. Por lo tanto la expresión de la convolución es:

$$f_t * g_t = \sum_{k=0}^{\infty} f_k g_{t-k} \quad (6)$$

La respuesta al impulso de la Tierra es lo que podría ser grabado si la ondícula fuera solo un impulso. La respuesta al impulso comprende reflexiones primarias (serie de reflectividad) y todos los posibles múltiples (Yilmaz, 2001)

El sismograma obtenido (figura 9) en una adquisición sísmica puede ser modelado como la convolución de la respuesta impulsiva de la Tierra $e(t)$, con la ondícula sísmica $W(t)$ (ob.cit.).

La ecuación se puede escribir como:

$$X(t) = W(t) * e(t) + n(t) \quad (7)$$

Donde:

$X(t)$: sismograma grabado

$W(t)$: ondícula de la fuente

$e(t)$: respuesta de impulso de la tierra

$n(t)$: ruido ambiental

$(*)$: signo de convolución

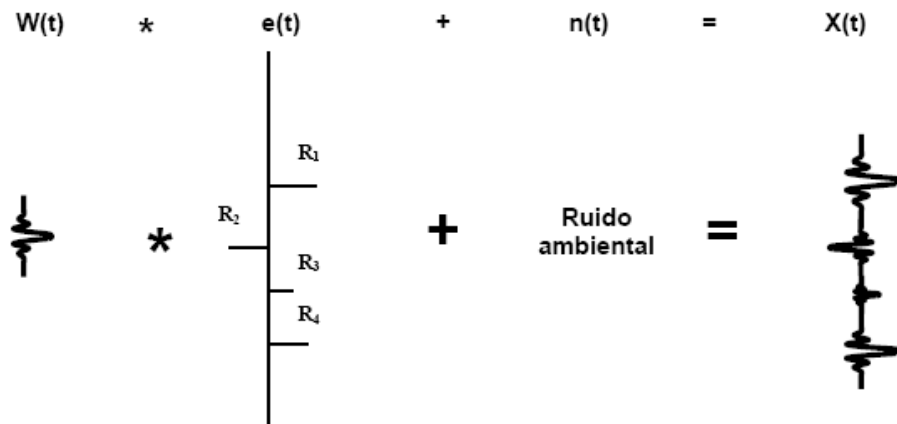


Figura 9. El proceso de convolución. Tomado de Velásquez ,2008.

2.7.2 Correlación:

La correlación es una operación matemática en el dominio del tiempo, entre dos o más funciones, para evaluar el grado de similitud entre dos o más señales (Yilmaz, 2001).

Su expresión analítica viene dada por:

$$\rho_{12}(\tau) \equiv \int_{-\infty}^{\infty} f_1(t) f_2(\tau + t) dt \quad (8)$$

Cabe destacar que:

- La correlación de dos señales solo contiene las frecuencias comunes a ambas señales.
- La correlación de una señal 1 con una señal 2 es igual a la convolución de la señal 1 invertida en tiempo con la señal 2.
- La fase de correlación es igual a la fase de la señal menos la fase del operador, denominándose por operador, a la señal que se desplaza.

La correlación de dos señales $g(t)$ y $h(t)$ para datos digitales viene dada por:

$$C(g, h)_j \equiv \sum_{k=0}^{N-1} g_{j+k} h_k \quad (9)$$

2.7.3 Autocorrelación:

Es la correlación de una función consigo misma. Mediante la autocorrelación de una función, se obtiene la medida de cómo los valores futuros de esa función pueden ser predichos de valores pasados, sí y solo sí el proceso es estacionario (Yilmaz, 2001).

Su expresión analítica viene dada por:

$$\rho_{11}(\tau) \equiv \int_{-\infty}^{\infty} f_1(t) f_1(\tau + t) dt \quad (10)$$

La autocorrelación de una señal $g(t)$ para datos digitales viene dada por:

$$C(g, g)_j \equiv \sum_{k=0}^{N-1} g_{j+k} g_k \quad (11)$$

La autocorrelación es parte indispensable en el algoritmo de deconvolución. Esta función contiene toda la información de amplitud de las funciones autocorrelacionadas. También la autocorrelación permite conocer como la ondícula sísmica cambia de reflexión en reflexión (ob.cit.).

Se sabe que el contenido de altas frecuencias en las reflexiones más profundas es menor que en las reflexiones someras, entonces para definir un operador promedio se necesita obtener una estimación promedio de las ondículas contenidas en una traza sísmica. Un buen método para efectuar esto es seleccionar una ventana en tiempo

sobre una traza sísmica y autocorrelacionarla consigo misma, dentro de la ventana seleccionada (ob.cit.).

2.7.4 Autocorrelogramas:

Un autocorrelograma es la representación gráfica de una autocorrelación sobre un grupo de trazas sísmicas y es uno de los análisis que se requieren aplicar a los datos sísmicos con el objeto de seleccionar los parámetros más convenientes para aplicarlos en la deconvolución (Yilmaz, 2001)

El autocorrelograma es una buena herramienta o medida para detectar tanto las reverberaciones como los múltiples asociados en una traza sísmica (ob.cit.).

Se debe esperar que después de la aplicación del operador de deconvolución, el autocorrelograma de una traza sísmica aparezca como un impulso (ob.cit.).

2.7.5 Deconvolución:

Es una operación matemática que tiene como objetivo atenuar la reverberaciones y múltiples de las ondas reflejadas en cada interfase del subsuelo. También, permite balancear el espectro de amplitud de la traza sísmica e intenta llevar la forma de la ondícula a un impulso, permitiendo mejorar la solución temporal de los datos sísmicos (Di Giulio, 1999).

Por lo antes expuesto la deconvolución es una de las etapas más importantes del procesamiento de datos sísmicos. En las figuras 10 y 11 se puede observar su efecto al ser aplicados a puntos comunes en profundidad apilados y con corrección NMO (Yilmaz, 2001)

Idealmente, la deconvolución destaca solo la reflectividad de la tierra en la traza sísmica. La compresión de la ondícula mencionada anteriormente puede ser realizada a través de un filtro inverso como un operador de convolución, que puede convertirla a un impulso (ob.cit.).

Suponiendo que el impulso de la tierra $e(t)$ es igual a la convolución al filtro inverso con el sismograma grabado, y sustituyendo en la ecuación 7, se obtiene:

$$x(t) = w(t) * f(t) * x(t) \quad (12)$$

Simplificando, la ecuación 12 se obtiene:

$$\delta(t) = w(t) * f(t) \quad (13)$$

Donde:

$$\delta(t) = \begin{cases} 1, & t=0 \\ 0, & t \neq 0 \end{cases}$$

Finalmente el filtro inverso se expresa como:

$$f(t) = \delta(t) * \frac{1}{w(t)} \quad (14)$$

2.7.5.1-Tipos de deconvolución:

2.7.5.1.1-Deconvolución predictiva: consiste en tomar la información de la primera parte de una traza sísmica con el fin de predecir y deconvolucionar la parte posterior de la traza; intentando preservar la primera parte de la señal reflejada y deconvolucionando la parte final de la misma (Di Giulio, 1999).

2.7.5.1.2-Deconvolución impulsiva: trata de convertir cada reflexión primaria en un impulso con una longitud de una muestra de duración determinada. Por lo tanto trata de nivelar a la misma intensidad todas las frecuencias. Supone que la señal reflejada en cada interfase es de fase mínima (ob.cit.).

2.7.5.1.3-Deconvolución consistente con superficie: Según Taner and Koehler (1981), puede ser expresada como una descomposición de las diferentes frecuencias que componen la señal. En cada expresión, la traza sísmica es descompuesta dentro de un efecto convolucional de la fuente, receptor y offset. La suposición de este tipo de deconvolución establece que la forma de la onda básica depende solo de la localización de la fuente y receptores y no del frente de ondas.

Según Di Giulio (1999) los parámetros de la deconvolución son:

Ventana de diseño: se refiere al área visual generalmente de forma rectangular y expresada en ms, en la cual se calculará la autocorrelación de las trazas; luego de aplicada esta función se obtiene un autocorrelograma el cual es empleado para elegir los parámetros más apropiados a ser utilizados en la deconvolución (específicamente para decidir el operador más adecuado).

Ventana de aplicación: es el área visual expresada en tiempo, en la cual se aplicará la deconvolución.

Operador de deconvolución: indica que porción representa la autocorrelación de la ondícula, en otras palabras, indica el límite de similitud en la ondícula a medida que se compara consigo misma; las ondas directas y el ground roll no dependen del operador sólo las reflexiones.

Longitud del operador: es el intervalo expresado en ms a partir del origen del autocorrelograma, con el cual se define la longitud del operador de deconvolución. Su valor depende de los datos con los cuales se está trabajando.

Distancia predictiva: se refiere al tiempo en el cual la autocorrelación de la traza cruza por segunda vez el eje del tiempo. Este parámetro se define cuando la deconvolución es del tipo predictiva y debe ser escogido de manera que deje pasar la primera parte del autocorrelograma que representa la ondícula sísmica.

Ruido: es la adición de una señal aleatoria o ruido blanco (pre-blanqueo), de esta forma se preservan las diferencias relativas en el espectro de amplitud.

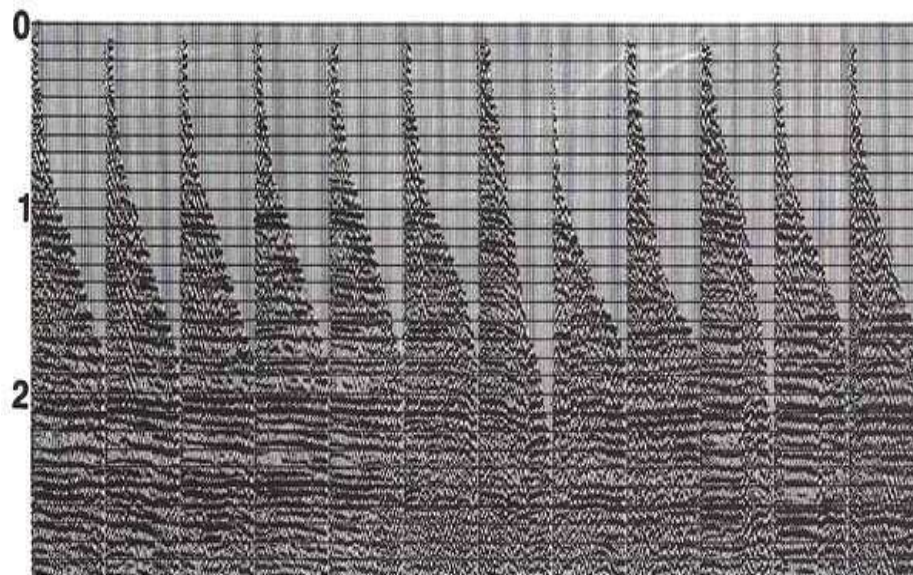


Figura 10. CDP gathers corregidos por NMO sin deconvolución. Tomado de Yilmaz ,2001.

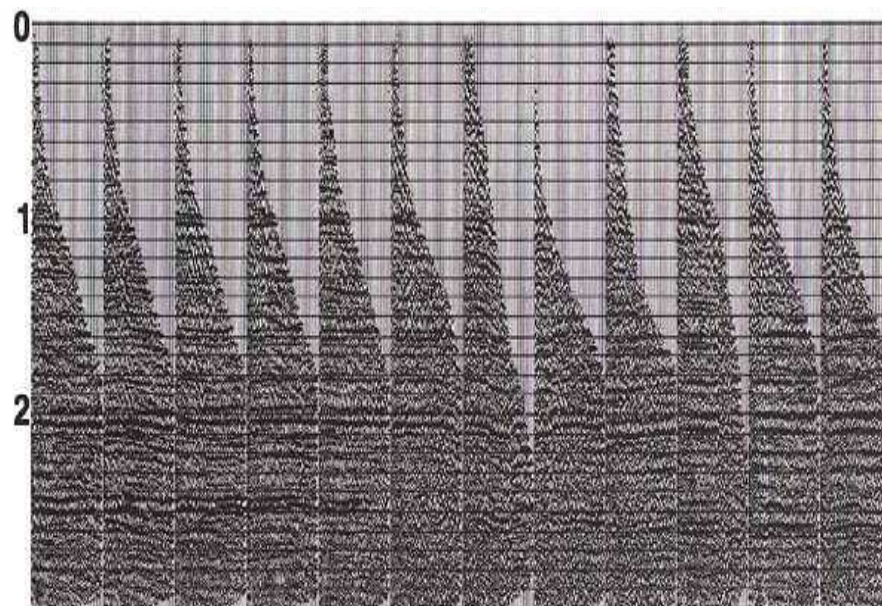


Figura 11. CDP gathers de la figura 8 corregidos por NMO con deconvolución. Tomado de Yilmaz, 2001

2.8.-Ordenamiento por CMP y CDP:

El ordenamiento por CMP, es la organización de los puntos medios comunes. Esto se realiza debido a que la adquisición de datos sísmicos se elabora en coordenadas fuente- receptor, como se puede observar en la figura 12a, (donde se denota el sistema de coordenadas fuente-receptor), mientras que en el procesamiento se hace a través de las coordenadas de los puntos medios comunes Yilmaz (2001).

La importancia del ordenamiento CMP radica, en que provee una redundancia moderada en la señal sísmica, haciéndola de mejor calidad (ob.cit.).

En este ordenamiento, se fijan las trazas individualmente en el punto medio de la distancia fuente-receptor asociado a cada traza. Luego se agrupan las trazas con igual punto medio común (ob.cit.).

El ordenamiento CDP es la organización de los puntos comunes de profundidad. En otras palabras son los pares fuente-receptor que provienen del mismo punto en profundidad. En la figura 12b, se puede observar el trazado de las ondas desde la fuente al receptor, de los diferentes pares fuente-receptor incluidos en un CMP, cabe destacar que el CMP y el CDP serán equivalentes cuando los reflectores son planos (ob.cit.).

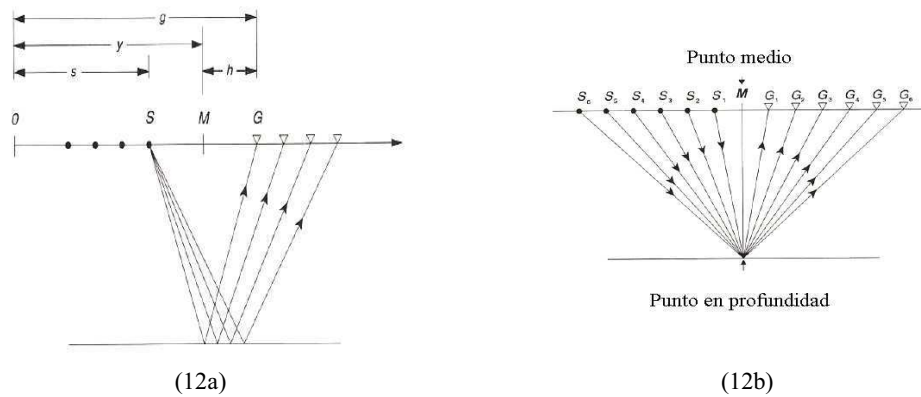


Figura 12. Ubicación del CMP y CDP para diferentes pares fuente-receptor. Tomado de Yilmaz, 2001.

2.9.-Cálculo de estáticas de refracción:

Sheriff (2002) señala que las correcciones estáticas son aplicadas a los datos para compensar los efectos de la variación en las elevaciones de los puntos de disparo y sus receptores, el espesor de la capa meteorizada y velocidad de viaje de la señal sísmica en la misma. De manera tal que se puedan ponderar los datos con respecto a un nivel de referencia o *datum*.

En lo que a capa meteorizada se refiere, la aplicación de estas correcciones tiene como propósito fundamental restar los tiempos de retardo ocasionados por el viaje de las ondas sísmicas a través de dicha capa (ob.cit.).

Se puede definir capa meteorizada como una capa de baja velocidad, no consolidada con velocidades entre 500 y 800 m/s con espesores que van desde algunos centímetros hasta valores cercanos a 50 m (ob.cit.).

La capa meteorizada presenta una alta tasa de atenuación de las ondas sísmicas y además variaciones laterales y verticales de espesor y velocidad (Yilmaz, 2001)

De esta manera, el objeto de la aplicación de las correcciones estáticas es determinar el tiempo de reflexión que hubiese sido observado si las medidas se hicieran sobre una superficie plana sin la presencia de la capa meteorizada (Sheriff, 2002).

De no corregir estos efectos se manifiesta en la presencia de estructuras aparentes en los reflectores profundos y en la falta de continuidad en los mismos; teóricamente, estos efectos son atribuidos a las estáticas de largo y corto período respectivamente (ob.cit.).

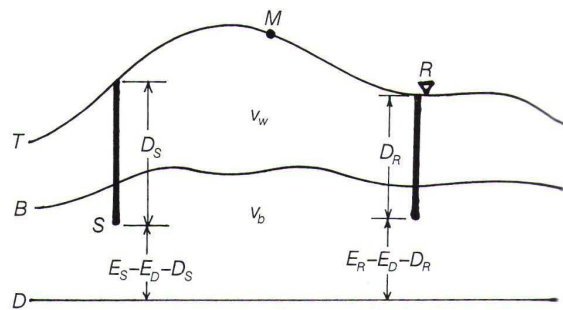


Figura 13. Representación de un modelo de correcciones estáticas cuando los disparos se encuentran debajo de la capa no consolidada. Tomado de Yilmaz, 2001.

Donde:

S: disparo.

Es: elevación de la estación de disparo con respecto al suelo.

R: receptor

ER: elevación del receptor con respecto al suelo.

T: topografía.

B: base de la capa meteorizada

D: *datum*

Ed: elevación del *datum*.

Vw: velocidad de la capa meteorizada.

Vb: velocidad de la roca sólida.

Ds: profundidad del hoyo bajo las estaciones de disparo.

tUH: tiempo que tarda la onda directa en recorrer la distancia Ds.

DR: profundidad del hoyo bajo las estaciones receptores.

En las primeras llegadas o primeros quiebres de un *shot gather* está contenida la energía refractada asociada con la capa meteorizada. Estos primeros quiebres son usados para el esquema de inversión para estimar los parámetros del modelo de la capa superficial (Yilmaz, 2001)

En la figura 13, el disparo está localizado debajo de la capa meteorizada, entonces la corrección estática total de la traza asociada al punto M es:

$$t_D = t_D + t_R$$

Donde t_D y t_R son las correcciones de estáticas (en unidades de tiempo) de los disparos y receptores respectivamente. De la geometría de la figura 14, la corrección de estáticas de campo puede ser calculada por:

$$t_D = \frac{2E_D - (E_S - D_S) - (E_R - D_R)}{v_b} - t_{UH} \quad (15)$$

En la figura 14, se observa como resultado del trazado de los primeros quiebres asociado a la onda directa, se calculan las velocidades de la capa meteorizada, el tiempo de intercepto t_i y el tiempo en $x=0$. Entonces la profundidad de la capa de roca dura viene dada por:

$$Z_w = \frac{v_b v_w t_i}{2(v_b^2 - v_w^2)^{1/2}} \quad (16)$$

Luego, si se supone que $v_b > v_w$, con el valor de Z_w , la corrección estática total con *datum* definido, viene dado por:

$$t_d = -\frac{2Z_w}{v_w} + \frac{2(E_D - E_S + Z_w)}{v_b} \quad (17)$$

Donde E_S es la superficie de elevación.

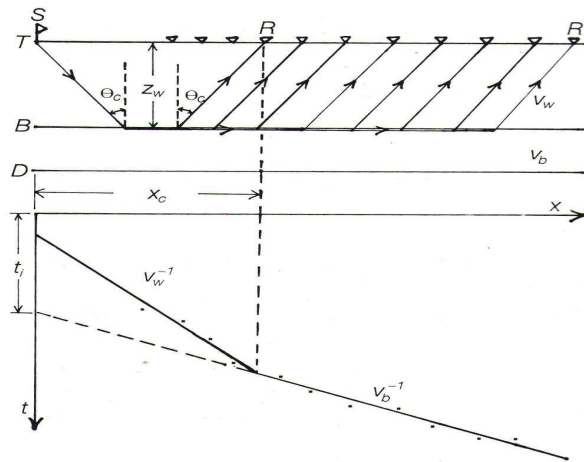


Figura 14. Representación de una geometría con primeros quiebres refractados con dromocrónica. Tomado de Yilmaz ,1987.

2.9.1.-Tipos de estáticas de refracción:

2.9.1.1-Estáticas de corto periodo: son causadas por rápidos cambios laterales que introducen variaciones de tiempo dentro de las trazas individuales en un punto común de profundidad.

2.9.1.2-Estáticas de largo periodo: a diferencias de las anteriores las estáticas de largo periodo son causadas por cambios laterales graduales y estos introducen estructuras aparentes en la sección sísmica.

2.10.-Análisis de velocidades:

De la exploración sísmológica se obtienen diferentes tipos de velocidades: intervállica, aparente, media, RMS (raíz cuadrada promedio), instantánea, de fase, de grupo, sobre tiempo normal (normal move out o NMO), de apilamiento, y de migración. Sin embargo, la velocidad que puede ser derivada sin fallar a partir de los datos sísmicos es aquella que produce el mejor apilamiento, (Yilmaz, 2001).

Según Sheriff (2002), el análisis de velocidades con apariencia como en la figura 15, es el cálculo de velocidad de apilamiento o a partir de mediciones de sobretiempo normal (NMO).

Al dispararse la carga, los geófonos o receptores recogerán la señal producida por las ondas que se generan y que han viajado por el subsuelo. El geófono más cercano al punto de disparo por consiguiente recogerá la señal más rápidamente que el más alejado, ya que, el frente de onda que recoge tarda menos en viajar que el frente que es recogido por el último. Como resultado de un disparo en la adquisición sísmica se obtendrá una serie de trazas con sus reflectores que en conjunto tendrán forma aproximada de hipérbola, donde la traza más cercana al punto de disparo tendrá una reflexión que será el vértice de dicha hipérbola (Yilmaz, 2001).

Por tal motivo es necesario llevar todas las reflexiones a los mismos tiempos; en otras palabras corregir el sobre tiempo normal (Normal Move Out NMO) que no es mas que la diferencia en tiempo entre la reflexión en la traza mas cercana al punto de disparo y la reflexión en las trazas en otros puntos (ob.cit.).

Para llegar a tal fin se requiere un estudio de velocidades, en otras palabras, una verificación de las funciones de velocidad NMO (ob.cit.).

El análisis de velocidades es realizado a un grupo de puntos medio en común (CMP). El resultado es una tabla de pares de números, tiempo de recorrido-velocidad o llamados también espectros de velocidad, que representan una medida de coherencia de la señal a lo largo de las trayectorias hiperbólicas gobernadas por la velocidad el offset y el tiempo de viaje. La representación gráfica del espectro de velocidad se puede observar, en tonalidades rojas y donde la máxima coherencia se refleja en color negro como se puede ver en la figura 15 (ob.cit.).

El eje vertical representa la profundidad medida en tiempo del apilado, mas hacia abajo representa mayor tiempo transcurrido y por lo tanto mayor velocidad. En particular en la figura de color rojo que representa el espectro de velocidad, el eje horizontal, expone las velocidades en m/s. El extremo izquierdo representa la mínima velocidad, mientras que el extremo derecho la máxima velocidad (ob.cit.).

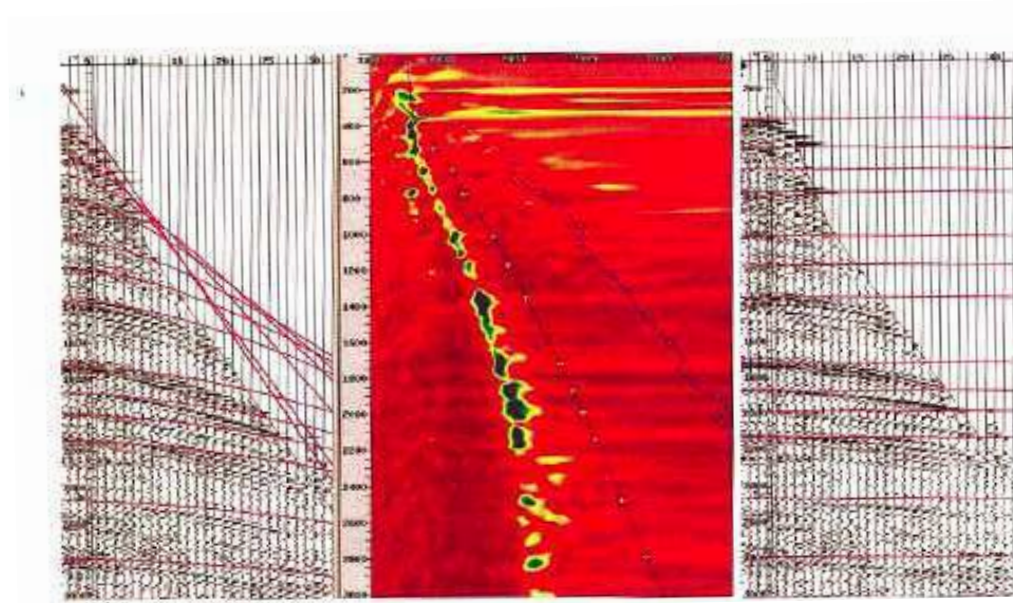


Figura 15.CDP antes y después de la corrección con análisis de velocidad. Tomado de Yilmaz, 2001.

2.10.1-Tipos de análisis de velocidades:

10.1.1-Análisis de velocidad constante (CVS): Este análisis se realiza en el apilado CDP asumiendo varias velocidades de prueba que son constantes en el tiempo y el espacio, hasta determinar las velocidades que producen los mejores resultados. (Sheriff, 2001)

2.10.1.2-Análisis de distancia fuente-receptor común (COFF): Corrección NMO (figura 15), realizado en puntos comunes en profundidad situados juntos o escogido por intervalos para un o unos acontecimientos de reflexión seleccionados. (ob.cit.).

2.10.2.-Tipos de velocidades:

Velocidad intervállica: es la velocidad media del intervalo entre dos reflexiones. A menudo usado para velocidad analizada por la formula de Dix. (ob.cit.).

Los factores que influyen en la velocidad intervállica dentro de una roca con una composición litológica son:

1. La forma de los poros.
2. Presión de los poros.
3. La saturación de fluidos en los poros.
4. Presión confinada
5. Temperatura.

Velocidad RMS: distancia vertical recorrida por una ondícula dividida por el tiempo que ha transcurrido. Se refiere a un frente de ondas específico asumiendo capas horizontales. (ob.cit.).

$$V = \left[\frac{\sum v_i^2 t_i}{\sum t_i} \right]^{1/2} \quad (18)$$

Velocidad aparente: se refiere a la rapidez aparente que toma una fase en una dirección determinada. Usualmente la dirección de la propagación del geófono a un ángulo θ a la dirección de la onda. (ob.cit.).

$$V_a = \frac{V}{\sin \theta} \quad (19)$$

Velocidad promedio: Es el radio de distancia a lo largo de un cierto trayecto de tiempo de ida y vuelta. (ob.cit.).

$$\bar{V} = \frac{\int_0^t V(t) dt}{\int_0^t dt} \quad (20)$$

Velocidad NMO: es la velocidad para la corrección NMO que reduce la distancia fuente-receptor lo más cercano a cero. Para capas horizontales isotropicas(ob.cit.):

$$V_{NMO} \approx V_{rms} \quad (21)$$

Velocidad de Dix: aproximación de velocidad intervállica para el viaje vertical entre reflectores horizontales. Donde V_n es la velocidad rms y t_n es el tiempo de arribo en distancia fuente-receptor igual a cero de la n -ésima reflexión. Esta ecuación arroja valores ficticios si ambos reflectores no son horizontales si estos tienen variaciones de velocidad entre o debajo de ellos o si el intervalo es largo. (ob.cit.).

$$V_i = \left[\frac{V_n^2 t_n - V_{n-1}^2 t_{n-1}}{t_n - t_{n-1}} \right]^{1/2} \quad (22)$$

Velocidad instantánea: rapidez del frente de onda en cualquier momento en dirección de la energía de propagación. (ob.cit.).

Velocidad de fase: rapidez aparente de una fase. (ob.cit.).

Velocidad grupo: rapidez aparente del centro de un paquete de energía de ondas. (ob.cit.).

Velocidad de apilamiento: es el valor de velocidad determinado por el análisis de velocidades. (ob.cit.).

2.10.3.-Semblanza:

Es una medida de coherencia de varios canales. La coherencia es la característica de dos trenes de ondas teniendo una bien definida relación de fases, (Sheriff, 2001).

Cordsen y Pierce (2000), señala que el análisis de semblanza es usado para determinar la máxima coherencia avanzando a través de la curva moveout, la cual define la función de la velocidad de apilamiento. Una de las suposiciones básicas en el análisis de semblanza es que la amplitud de la señal no varía con el offset.

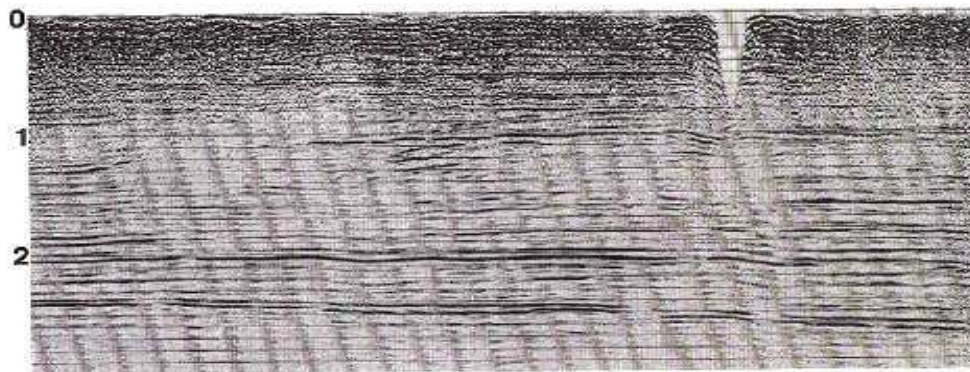
2.11.- Supresión:

Consiste en hacer cero o anular la porción de algunas trazas sísmicas que presentan estiramiento. Este estiramiento ocurre como consecuencia de la corrección dinámica que se incrementa de forma proporcional con la distancia fuente-receptor. En consecuencia, daña la información sísmica contenida en ellas, y es más pronunciado en los receptores más distantes (Yilmaz, 2001).

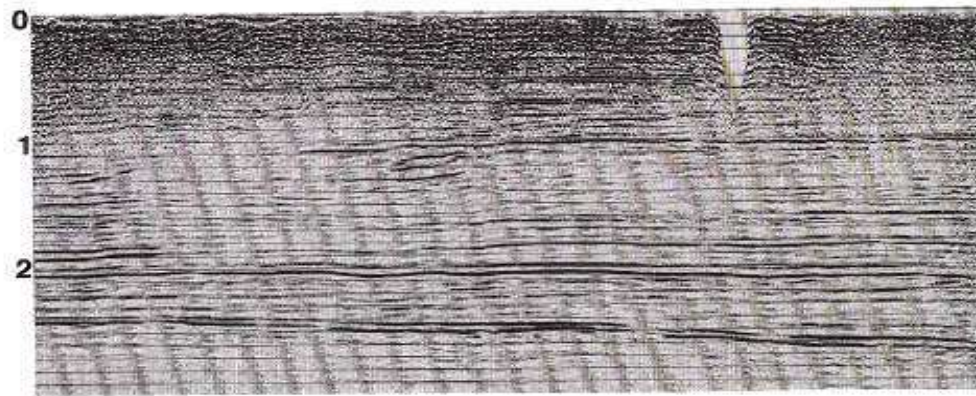
2.12.- Estáticas residuales consistentes con la superficie:

Como ya se expresó anteriormente, las estáticas son el retardo en tiempo que experimenta la señal sísmica debido a la variación topográfica, el espesor de la capa meteorizada y la velocidad.

Al aplicarse las estáticas de campo no se corrige totalmente los factores antes mencionados quedando residuos de estáticas (figura 16a). Por tal razón se emplean las estáticas residuales, para eliminar los problemas remanentes (figura 16b) y de allí que su principal objetivo es mejorar la calidad de interpretación de los datos sísmicos y de esta manera mantener la verdadera relación entre todas las estructuras geológicas presentes (Yilmaz, 2001).



(16a)



(16b)

Figura 16. Apilado CMP antes (16a) y después (16b) de la corrección de estáticas residuales. Tomado de Yilmaz ,2001.

2.13.-Estáticas residuales no consistentes con la superficie:

Según Sheriff (2002) son estáticas que se calculan mediante correlaciones con respecto a una ventana de tiempo de los mejores reflectores en una traza de referencia obtenida por apilamiento en cada CMP. No son consistentes con la superficie.

Según Velásquez (2008), son estáticas residuales de segundo orden que fueron diseñadas para mejorar el apilado en cada uno de los CMP.

2.14.-Apilado:

Es la reunión de un agrupamiento de trazas en un punto en profundidad, el resultado de este proceso es una sección como la figura 17. Con el apilado se puede suprimir considerablemente los ruidos no coherentes y reducir o atenuar los ruidos coherentes contenidos en los datos sísmicos. (Yilmaz, 2001).

El apilado representa una de las etapas más importante del procesamiento sísmico ya que es aquí donde se agrupan los datos adquiridos y se puede observar de una manera óptima la apariencia del subsuelo (ob.cit.).

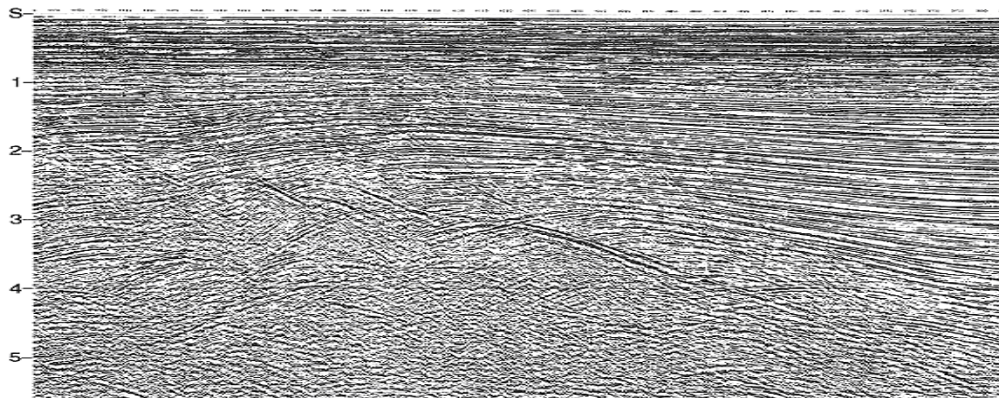


Figura 17. Apilado CMP. Tomado de Yilmaz ,2001.

2.15.-Corrección dinámica dependiente del buzamiento (DMO):

Anteriormente se definió el NMO, como un proceso que se aplica a los datos pre-apilados y que justamente remueve las distancias fuente-receptor de dichos datos. Sin embargo el proceso NMO supone que las reflexiones se producen por una interfase horizontal. Entonces, se debe resolver que hacer cuando las reflexiones ocurren en interfaces buzantes (Liner, 1999)

Para dar respuesta a la pregunta anterior, se debe introducir el concepto de la corrección dinámica dependiente del buzamiento (Dip Move Out o DMO) o también

llamada migración parcial pre-apilamiento. El DMO es una rectificación que se realiza en los reflectores y que tiene como objetivo, mover parcialmente los eventos a su posición correcta (Yilmaz, 2001).

El resultado de la corrección dinámica dependiente del buzamiento, arroja una sección apilada mejorada y mucho más cerca de una sección de offset cero. Permitiendo en consecuencia aplicar la teoría de migración en offset cero, con mucha más seguridad de un resultado óptimo (Yilmaz, 2001). Por tal razón si se desea obtener una sección realmente de distancia fuente-receptor igual a cero, se debe sumar a la corrección NMO, la corrección dinámica dependiente del buzamiento (Liner, 1999)

El origen corrección dinámica dependiente del buzamiento se debe, al tratar de resolver el problema de valores de velocidades de corrección dinámica mucho más altas en reflectores buzantes, que en los reflectores planos u horizontales (Manzoni, 2001)

El algoritmo del DMO realiza una conversión a las trazas que se encuentran en distancia fuente-receptor diferentes de cero, a trazas con distancia fuente receptor iguales a cero. Por consiguiente la energía reflejada es colocada parcialmente en su verdadera posición en el tiempo. Es importante resaltar que el DMO genera varias trazas a partir de una, tal y como se muestra en la figura 18 (Liner, 1999)

La limitación más importante de esta corrección radica en la imposibilidad de manejar grandes gradientes de velocidad. Estos pueden ser causados por estructuras geológicas con plegamientos o abruptas inclinaciones (Manzoni, 2001)

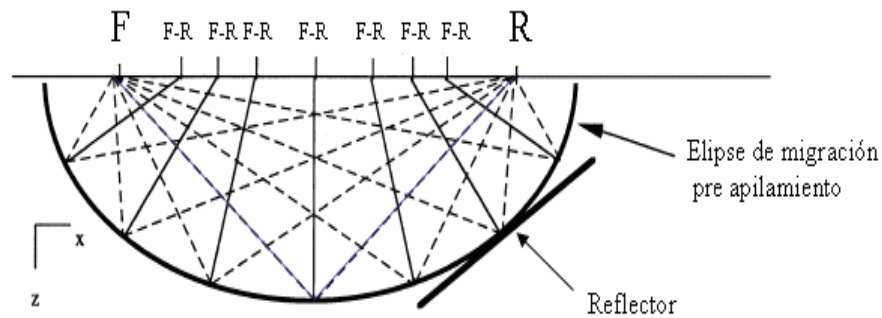


Figura 18. Diagrama de las diferentes trayectorias del frente de ondas generadas por la corrección dinámica dependiente del buzamiento. Modificado de Liner, 1999

2.16.-Migración:

Para explicar el concepto de migración se puede considerar un conjunto fuente-receptor ubicados en las posiciones (distancia fuente-receptor igual a cero). Al activar la fuente (puede ser por ejemplo detonando una carga explosiva) las ondas producidas serán recibidas por el receptor (una vez que chocan con un límite de estructura geológica donde se produce un cambio de impedancia acústica) que en principio puede ser horizontal (figura 11.a.1). Al producir una sección sísmica se observaría una imagen como en la figura 11.b.1, donde se pueden percibir reflectores igualmente horizontales. Sin embargo se debe dar respuesta a qué sucede cuando esa estructura geológica donde se produce el cambio de impedancia acústica posee buzamiento (figura 11.a.2)

Al producir la sección sísmica, los reflectores no quedan en la posición en su correcta ubicación debida a que el punto común de profundidad no es el mismo (figura 11.b.2) En consecuencia para colocar los reflectores a su correcta ubicación es necesario migrarlos. Es importante resaltar que de no tener estructuras buzantes, la migración no sería necesaria pues al migrar estructuras horizontales los reflectores quedarían ubicados en el mismo sitio como se puede observar en la figura 11.c.1. (Bancroft, 1998)

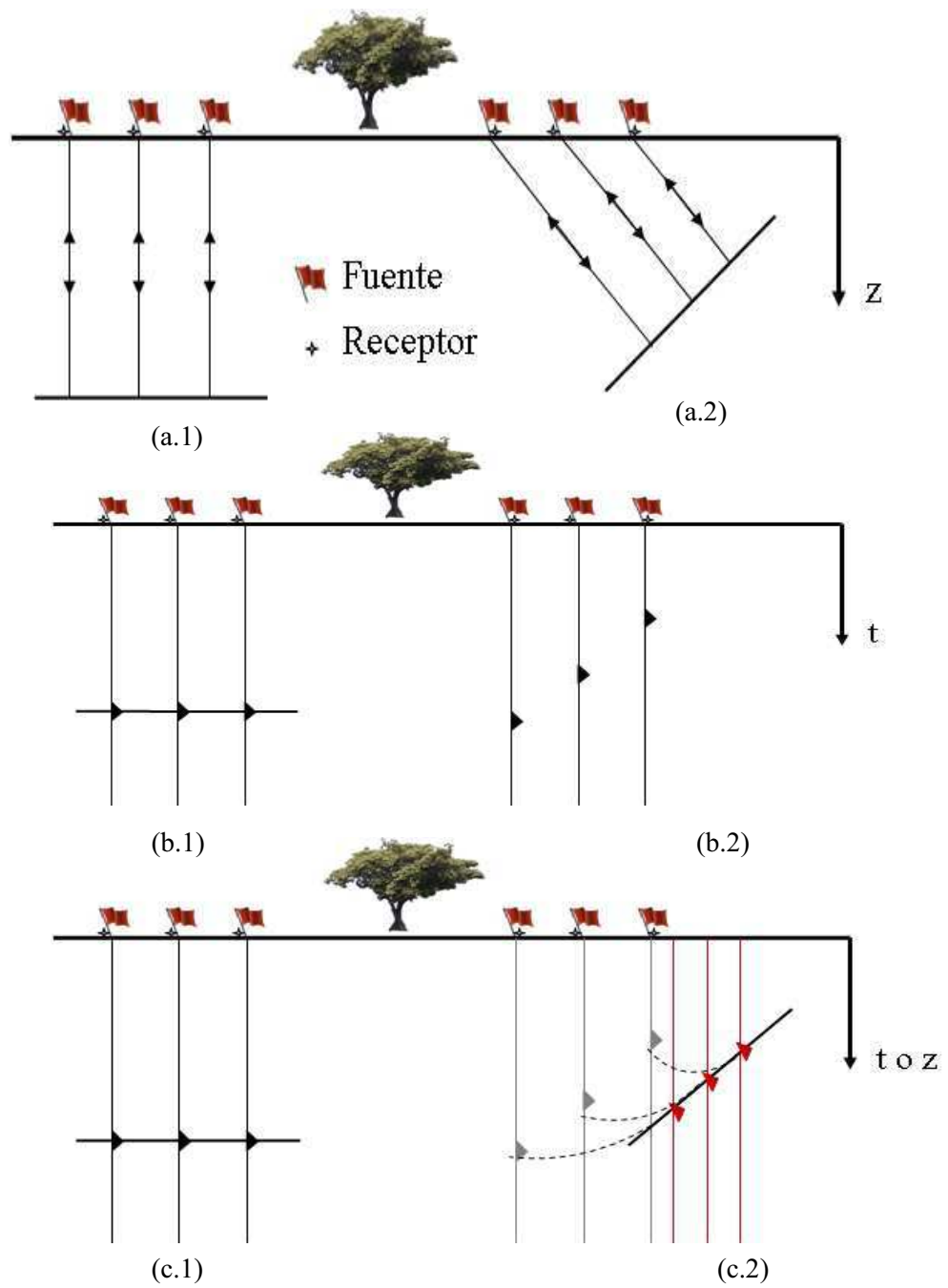


Figura 19. Concepto de Migración. Modificado de Bancroft 1998

Según Sheriff (2002) la migración consiste en reubicar elementos de datos para ajustar posiciones de los reflectores asociados o puntos donde las ondas sísmicas se dispersan o curvan a consecuencia de un obstáculo (puntos de difracción). Generalmente se basa en la premisa de que todos los elementos de datos representan ya sea reflexiones primarias o difracciones. La migración requiere el conocimiento de la distribución de la velocidad; los cambios laterales en la velocidad desvían las trayectorias de los rayos y por lo tanto afectan la migración, y da como resultado una sección o línea sísmica migrada de forma irreal.

El enfoque más sencillo para la migración es determinar la dirección del recorrido de la energía y rastrear hacia atrás la trayectoria del rayo al punto reflectante a la mitad del tiempo de viaje. Los métodos de computadora implican generalmente soluciones de la ecuación de onda.

La migración es un proceso definitivo para que una sección apilada como la figura 20a, tengan la apariencia real de una sección geológica como la figura 20b.

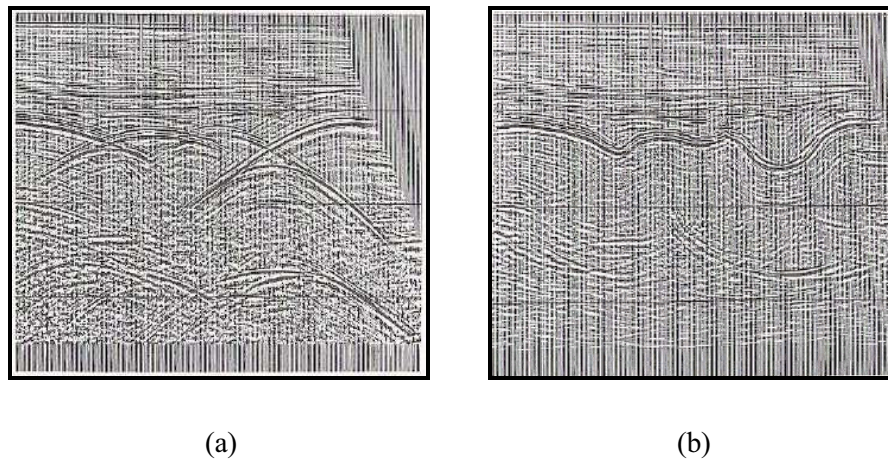


Figura 20. Apilado de CMP antes y después de la migración. Tomado de Yilmaz ,1987.

2.16.1.-Principios de migración:

Considere un reflector buzante lk de una sección geológica en profundidad, como se muestra en la figura 21a. Luego, se quiere obtener una sección de offset cero o también llamada de incidencia normal, de lo que se traduce una sección geológica donde el reflector lk no esté desplazado, entonces, se debe avanzar hacia la derecha en el perfil OX , de manera que coincida el punto m con l y n con k . El primer arribo de incidencia normal del reflector buzante lk es grabado en la locación m y el último en la locación n como se muestra en la figura 21b. Es importante resaltar que para esta demostración se usará velocidad media constante $V=1$, para de esta manera simplificar la explicación. También, cabe destacar que las difracciones fuera de la punta del reflector lk son excluidas con igual fin. La salida de la migración convencional es exhibida en tiempo (Yilmaz, 1987)

La verdadera posición geológica del reflector lk no es igual como el evento de reflexión en la posición $l'k'$ (como se puede observar en la figura 13b). Este efecto se puede corregir a través de la migración. (ob.cit.).

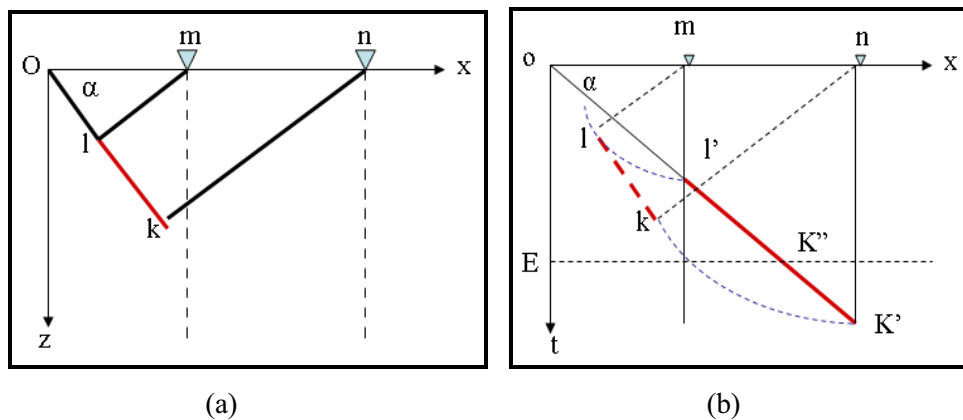


Figura 21. Reflector lk antes y después de la migracion. Modificado de Yilmaz ,1987.

De la construcción geométrica de las figuras 21a y 21b, se pueden hacer las siguientes observaciones:

- El ángulo de buzamiento del reflector de la sección geológica es mayor a la sección en tiempo.
- La longitud de los reflectores en la sección geológica es mas corta que en la sección en tiempo.
- La migración mueve reflectores en dirección buzamiento arriba.

Si se considera un segmento del reflector lk y se supone que lk esta migrada a $l'k'$ y que además el punto E' en $l'k'$ migrado al punto E en lk se puede realizar un análisis cuantitativo del proceso de migración, como lo refleja las figuras 22a y 22b. (ob.cit.).

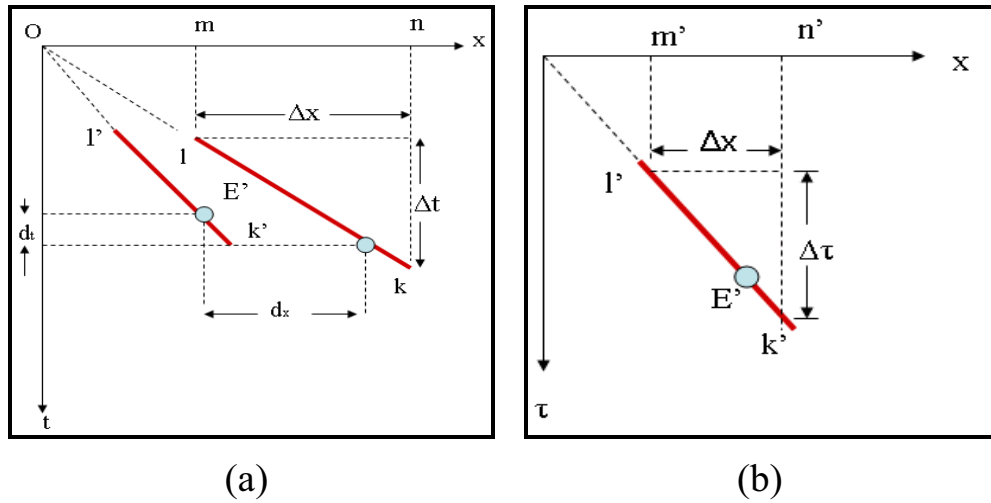


Figura 22. Cuantificación del proceso de migración Modificado de Yilmaz, 1987.

Los desplazamientos de la figura 22a y 22b, verticales (tiempo) y horizontales dt y dx respectivamente, y el buzamiento $\Delta t / \Delta x$, todo medido en la sección migrada en tiempo, puede ser expresados en términos de velocidad media V , tiempo de viaje t , y buzamiento aparente $\Delta t / \Delta x$ como medida en la sección no migrada en tiempo. (ob.cit.).

$$dx = \frac{V^2}{4} \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (23)$$

$$dt = \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{V \Delta t}{2 \Delta x} \right)^2} \right] \quad (24)$$

$$\frac{\Delta t}{\Delta x} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{V \Delta t}{2 \Delta x} \right)^2}} \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (25)$$

De las ecuaciones anteriores se puede concluir que:

- El tiempo de buzamiento $\Delta t / \Delta x$ en la sección migrada siempre es mayor al tiempo de buzamiento de la sección no migrada.
- El desplazamiento horizontal dx incrementa con el tiempo t del evento en la posición no migrada.
- El desplazamiento horizontal dx es una función de la velocidad al cuadrado. Si esto presenta un 20 por ciento de error, en la velocidad usada en migración, entonces el evento tendrá un 44 por ciento de error.
- El desplazamiento vertical dt solo incrementa con el tiempo y la velocidad.
- El evento mas inclinado en cuanto a buzamiento, genera más desplazamiento vertical y horizontal después de la migración. (ob.cit.).

Existen varios tipos de migración:

- Migración en tiempo toma en cuenta la variación de velocidad en la dirección vertical.
- Migración en profundidad emplea variaciones horizontales en la profundidad.

También según su apilamiento puede ser:

- Migración Post-apilamiento es migración realizada después del apilamiento, suponiendo una velocidad constante y donde solo se usa el tiempo de viaje de la onda.
- Migración Pre-apilamiento es migración realizada antes el apilamiento evitando el punto de reflexión contaminado con reflexiones buzante y acomoda fuertes gradientes de velocidades. Este método solo puede ser usado cuando el moveout hiperbólico colapsa.

2.16.2.-Algoritmos de migración:

La base para los algoritmos comunes de migración está constituida por la ecuación de onda en una dirección. Los algoritmos de migración pueden ser clasificados bajo tres categorías principales (Yilmaz ,2001):

- Aquellos que están basados en la solución integral de la ecuación de onda escalar.
- Aquellos que están basados en la solución en diferencias finitas.
- Por último, aquellos basados en la implementación de la frecuencia y número de onda.

Independiente del algoritmo este debería:

- Manejar grandes pendientes con suficiente exactitud.
- Manejar las variaciones verticales y laterales de velocidad.
- Ser eficiente en su implementación.

La ecuación de ondas de una, dos o tres variables se escribe de la siguiente manera:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial t^2} = c_0^2 \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} \quad (26)$$

$$\frac{\partial^2 P}{\partial t^2} = c_0^2 \left(\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} \right) \quad (27)$$

$$\frac{\partial^2 P}{\partial t^2} = c_0^2 \left(\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} \right) \quad (28)$$

Donde P es la presión y c_0 es la velocidad de propagación de la onda.

2.16.2.1.-Continuación hacia abajo:

Es una técnica usada para estimar el valor de un campo potencial o de un volumen de datos sísmicos, a través de la creación de secciones en tiempo que se van adicionando gradualmente a medida que se continúa hacia abajo. La primera sección se crea en la superficie de un cubo sísmico y calcula la siguiente capa a medida que se continúa hacia abajo hasta completar dicho cubo. Para cada profundidad se espera obtener una imagen de los reflectores suprayacentes. Entonces se conserva el fragmento de la imagen del registro continuado hacia abajo y se va compaginando con la porción superior de ésta, en consecuencia se obtiene la sección migrada. Este método puede presentar riesgo debido a que supone la continuidad del campo (Sheriff, 2002)

La continuación hacia abajo en tiempo hace el mismo efecto que si se trasladaran las fuentes y receptores hacia abajo a una nueva profundidad. Este volumen de información finalmente produce una estructura migrada donde $t=0$.

La migración usando la técnica de continuación hacia abajo del campo es un importante método que permite la migración en tiempo con complejas distribuciones

de velocidades. Comienza en el tope de la superficie de la sección ($x, z=0, t$); luego calcula en todo el volumen y por último extrae la estructura.

Existe diferentes algoritmos de migración que utilizan la técnica de continuación hacia abajo, a través de la ecuación de ondas entre los que se tienen: diferencias finitas, diferencias finitas Omega-X (ωX) y cambio de fase.

2.16.2.2.-Migración por diferencias finitas:

La ecuación de ondas es una herramienta que se utiliza para describir la propagación de una onda en el medio en el que viaja. Esta herramienta matemática esta expresada en derivadas parciales. Un procedimiento para calcular soluciones aproximadas a la ecuación de ondas es el método de diferencias finitas. Luego esta solución es transcrita a un algoritmo computacional, para de esta manera realizar la migración.

Es importante resaltar que este método usa la extrapolación para deducir las posiciones reales de los cambios de impedancia acústica.

La expresión de la ecuación de onda en derivadas parciales es:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} \quad (29)$$

Claerbout (1976), considera un plano vertical (x, τ), donde el eje de abscisas está en la superficie de la Tierra, y z es vertical y orientados hacia abajo x da a la distancia horizontal, y la z es la profundidad en términos de onda de doble dirección en tiempo de viaje de la superficie. Una onda de presión, que viaja en ese plano, es iniciada en (x, z) y es registrado en (x, z) después de la reflexión, como

$$P(x, z, t) \quad (30)$$

Entonces una sección con distancia fuente-receptor igual cero puede escrita como:

$$p(x, \tau = 0, t) \quad (31)$$

Suponiendo que las fuentes y los receptores están colocados en la superficie de la Tierra ($\tau = 0$). El proceso de migración consiste en el reconstruir, en los reflectores, las señales cuando son propagadas a la superficie. Esto se obtiene evaluando:

$$p(x, z, t = 0) \quad (32)$$

$$P_{sal}(k_x, z, w) = P_{ent}(k_x, z = 0, w) e^{-i \int_0^z k_z(z) dz} \quad (33)$$

Donde k_x y k_z son los números de ondas respecto a la superficie x y la profundidad z , y w .

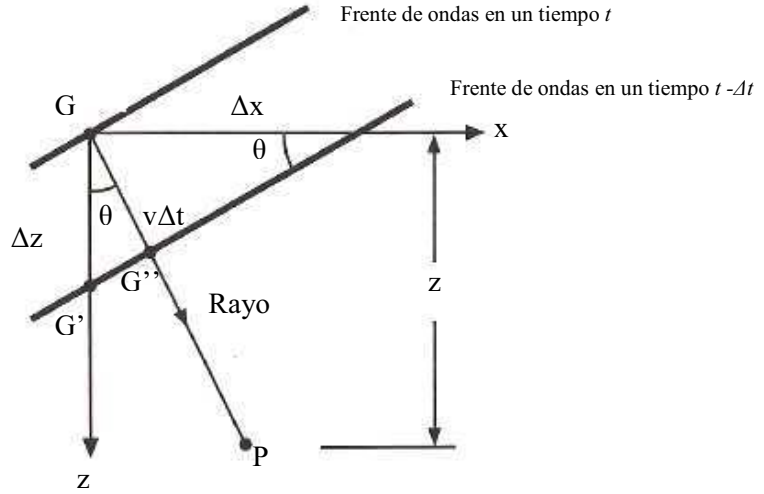


Figura 23. Geometría de la continuación hacia abajo o extrapolación. Modificado del Yilmaz, 2001.

Entonces de la figura 23 se observa que:

$$\cos(\theta) = \frac{v \Delta t}{\Delta z} \quad (34)$$

Luego:

$$\Delta t = \frac{\Delta z}{v} \cos(\theta) \quad (35)$$

Por otro lado, se sabe que:

$$\cos(\theta) = \sqrt{1 - \left(\frac{vk_x}{\omega}\right)^2} \quad (36)$$

Entonces, relacionando las ecuaciones (34) y (35) se obtiene:

$$\Delta t = \frac{\Delta z}{v} \sqrt{1 - \left(\frac{vk_x}{\omega}\right)^2} \quad (37)$$

Pero, si $\frac{vk_x}{\omega} < 1$ entonces la ecuación (36) puede desarrollarse en serie de potencias, como sigue:

$$\Delta t = \frac{\Delta z}{v} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{vk_x}{\omega}\right)^2 - \frac{1}{8} \left(\frac{vk_x}{\omega}\right)^4 - \frac{1}{32} \left(\frac{vk_x}{\omega}\right)^6 \dots \right] \quad (38)$$

Cuando el número de onda de la componente horizontal es casi vertical esta serie se puede truncar la serie de potencias anterior originando las siguientes aproximaciones:

$$\Delta t = \frac{\Delta z}{v} \quad \text{Aproximación de } 5^\circ \quad (39)$$

$$\Delta t = \frac{\Delta z}{v} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{vk_x}{\omega}\right)^2 \right] \quad \text{Aproximación de } 15^\circ \quad (40)$$

$$\Delta t = \frac{\Delta z}{v} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{vk_x}{\omega}\right)^2 - \frac{1}{8} \left(\frac{vk_x}{\omega}\right)^4 \right] \quad \text{Aproximación de } 45^\circ \quad (41)$$

$$\Delta t = \frac{\Delta z}{v} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{vk_x}{\omega}\right)^2 - \frac{1}{8} \left(\frac{vk_x}{\omega}\right)^4 - \frac{1}{32} \left(\frac{vk_x}{\omega}\right)^6 \dots \right] \quad \text{Aproximación de } 65^\circ \quad (42)$$

Los parámetros más importantes evaluados en este algoritmo son:

Incremento vertical: es la solución de la ecuación de migración colocado en incrementos verticales medidos en tiempo (ms). Es realizado por el algoritmo para incrementar la continuación hacia abajo del campo.

Porcentaje de velocidad: escalar que multiplica al valor de la velocidad con el objeto de dar una mejor aproximación a los valores reales de velocidad en el apilado.

2.16.2.3.-Migración OMEGA-X (ωX):

Realiza migración post apilamiento en tiempo. La migración ocurre en el dominio de espacio y el tiempo. Esta migración, al igual que el método anterior emplea las diferencias finitas para dar solución a la ecuación de ondas con la diferencia que es exacta hasta un máximo de 65 grados de buzamiento, usando la continuación hacia abajo del campo. Sin embargo este máximo depende del muestreo espacial y el contenido de frecuencia de los datos sísmicos.

Los parámetros más importantes evaluados en este algoritmo son:

Mínima frecuencia: mínima frecuencia a migrar (Hz). Por omisión no coloca valor alguno.

Pares de tiempo frecuencia: pares de tiempo y máxima frecuencia (ms/Hz). El rango de valores de tiempo manejados por este parámetro es de cero (0) a la longitud total de la traza. Por otra parte el la frecuencia se encuentra entre la mínima frecuencia y la frecuencia de Nyquist.

Incremento vertical: es el escalamiento medido en tiempo (ms) que realiza el algoritmo para incrementar la continuación hacia abajo del campo.

Multiplicador: se refiere al multiplicador del incremento vertical. Es un valor adimensional y puede ser mayor o igual a cero (0).

2.16.2.4.-Migración cambio de fase:

El algoritmo de cambio de fase (Gazdag, 1978) está basado en la solución en el dominio de la frecuencia, de la ecuación de ondas unidimensional. Las condiciones iniciales de esta ecuación diferencial parcial son las de una sección con distancia fuente-receptor igual a cero (Descrita y desarrollada por Claerbout, 1976).

En el trabajo de Claerbout (1976), se considera un plano vertical (x, τ), donde el eje de abscisas está en la superficie de la Tierra, y los τ -ejes son verticales y orientados hacia abajo. x da a la distancia horizontal, y la τ es la profundidad en términos de onda de doble dirección en tiempo de viaje de la superficie. Una onda de presión, que viaja en ese plano, es iniciada en (x, τ) y es registrado en (x, τ) después de la reflexión, como

$$p(x, \tau, t) \quad (43)$$

Donde la t es el tiempo de viajes de onda entre la fuente y el receptor. Entonces, $p(x, \tau, t)$ es gobernado por la ecuación de onda:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial t^2} = \left(\frac{v^2}{4} \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial \tau^2} \right) \quad (44)$$

Donde la velocidad de la onda v se supone como constante dentro de cada capa de la sección, y es permitida su variación de capa en capa. Bajo esas condiciones, la ecuación escrita en el dominio de las frecuencias se reduce a un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias independientes con valores iniciales que pueden ser resueltos analíticamente para cada capa.

Entonces una sección con distancia fuente-receptor igual cero puede escrita como:

$$p(x, \tau = 0, t) \quad (45)$$

Suponiendo que las fuentes y los receptores están colocados en la superficie de la tierra ($\tau = 0$). El proceso de migración consiste en el reconstruir, en los reflectores, las señales que producen la sección sísmica cuando son propagadas a la superficie. Esto se obtiene evaluando

$$p(x, \tau, t = 0) \quad (46)$$

Estos valores pueden ser obtenidos solucionando la ecuación (44), con valores iniciales (46), según (Gazdag and Dubrille, 1978).

Entonces $p(x, \tau, t)$ será representado por la serie Fourier:

$$p(x, \tau, t) = \sum_{\xi} \sum_{\omega} P(\xi, \tau, \omega) e^{(i\xi x + i\omega t)} \quad (47)$$

Donde ξ y la ω son los números de onda asociados con x y t .

Luego substituyendo en la ecuación de onda (44), resulta

$$\frac{\partial^2 P}{\partial \tau^2} = -\omega^2 \left(1 - \frac{v^2 \xi^2}{4\omega^2} \right) P \quad (48)$$

Que puede ser integrado directamente para dar

$$P(\xi, \tau, \omega) = P(\xi, \tau = 0, \omega) e^{(i\theta\tau)} \quad (49)$$

Donde

$$\theta = \omega \left(1 - \frac{v^2 \xi^2}{4\omega^2} \right)^{1/2} \quad (50)$$

Ya que sólo las ondas que propagan hacia abajo de la fuente son relevantes. La substitución de la ecuación (48) en la serie Fourier (47) y evaluando en la $t = 0$ proporciona la solución del problema de migración para la velocidad constante:

$$p(x, \tau, t = 0) = \sum_{\xi} \sum_{\omega} P(\xi, \tau = 0, \omega) e^{(i\xi x + i\theta\tau)} \quad (51)$$

En esta ecuación, las adiciones son restringidas a los verdaderos valores de θ , es decir:

$$|\omega| \triangleright 0.5|\xi x|$$

Finalmente la ecuación (51) también puede ser escrita como:

$$p(x, \tau + \Delta\tau, t = 0) = \sum_{\xi} \sum_{\omega} P(\xi, \tau, \omega) e^{(i\xi x + i\theta\Delta\tau)} \quad (52)$$

Este resultado para cualquier intervalo $(\tau, \tau + \Delta\tau)$ donde la velocidad es constante. Esta ecuación, de la cual un algoritmo numérico puede ser derivado directamente, es la base del método de cambio de fase, y es llamada la ecuación asintótica, cuya relación de dispersión es la misma que la de la ecuación de onda de propagación hacia abajo (Gazdag and Dubrille, 1978)

Las principales ventajas de este método son: la simplicidad, estabilidad y exactitud, desde la precisión de la aproximación de Fourier, que es limitada solo por las características granulométricas del apilado. (Gazdag and Dubrille, 1979)

Desde un punto de vista práctico de implementación computacional, el algoritmo de cambio de fase ofrece un gran trato de flexibilidad. Algunas exactitudes pueden ser negociadas por velocidad, excluyendo las ondas viajeras en un ángulo que excede el límite especificado, o ignorando frecuencias más altas en el espectro.

El rasgo más interesante del método puede residir en el hecho que los coeficientes Fourier de una sección sísmica pueden ser tratados el uno independientemente del otro. Esto tiene la importancia particular si el método es puesto en práctica para un procesador de serie. En este caso, cortes transversales de los datos de frecuencia pueden ser enviados al procesador de serie uno por uno para operaciones de cambio de fase en el coste de almacenaje mínimo.

Los parámetros más importantes evaluados en este algoritmo son:

Pares de tiempo y buzamiento: se refiere a pares de tiempo y buzamiento medidos en ms y grados (en un rango de 0° a 90°) respectivamente. La más pequeña pendiente puede hacer el cálculo un poco más rápido y la sección de salida menos ruidosa. Pero la pendiente no puede ser menos que el máximo real que cubre el ángulo.

Pares de tiempo frecuencia: pares de tiempo (ms) y frecuencia (Hz). Este parámetro define una frecuencia máxima en función de tiempo para la migración, a través de pares de tiempo-frecuencia de puntos de control de frecuencia máxima entre dos puntos de control tomados por interpolación lineal.

Porcentaje de velocidad: al igual que los algoritmos anteriores, es un escalar que multiplica al valor de la velocidad con el objeto de dar una mejor aproximación a los valores reales de velocidad en el apilado.

2.16.2.5.-Migración de Kirchhoff:

Este método se basa en la suma de las difracciones, y consiste en generar y colapsar hiperboloides de difracción de máxima convexidad y curvatura, dependiente de la velocidad (que suele ser la misma del apilamiento) al que se le añade un factor de escala y cambio de fase antes de la sumatoria.

Para lograr el objetivo, el algoritmo se basa en la solución integral de la ecuación de ondas escalar (Elcure, 1994):

$$P_{salida}(x, \tau, t) = \frac{1}{2\pi} \int \left[\frac{\cos \theta}{r^2} P_{entrada} \left(x_{entrada}, z=0, t - \frac{r}{v} \right) + \frac{\cos \theta}{vr} \frac{\partial}{\partial r} P_{entrada} \left(x_{entrada}, z=0, t - \frac{r}{v} \right) \right] dx$$

Donde $P_{salida}(x, \tau, t)$ se refiere al campo propagado para cualquier posición (x, τ) , donde x es la distancia horizontal en la superficie en unidades de longitud y τ es la distancia vertical o profundidad. $P_{entrada}(x_{entrada}, \tau=0, t)$ se refiere a la sección de incidencia normal, medida en superficie.

Entonces:

θ : Se refiere al ángulo de incidencia de la onda.

V : es la velocidad RMS en un punto (x, τ)

$$r = \left[(x_{entrada} - x)^2 + \tau^2 \right]^{1/2} \quad (54)$$

t es el tiempo de muestras por segundos, representado por los siguientes dos casos:

Si la sección esta apilada con distancia fuente-receptor igual a cero, entonces:

$$t = \left[t_0^2 + \left(\frac{x}{2v} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (55)$$

Si los datos están en CMP entonces:

$$t = \left[\left(\frac{t_0^2}{4} + \frac{x_s^2}{v^2} \right) + \left(\frac{t_0^2}{4} + \frac{x_r^2}{v^2} \right) \right]^{1/2}, \quad (56)$$

t_0 : es el tiempo donde se tomo la muestra en segundos en la sección distancia fuente-receptor igual a cero.

v : Velocidad de la muestra en la posición de distancia fuente-receptor igual a cero.

x_s : Distancia de la fuente a su posición en distancia fuente-receptor igual a cero.

x_r : Distancia del receptor a su posición en distancia fuente-receptor igual a cero.

Apertura media: Es el rango espacial medido en número de trazas en el cual los datos sísmicos pueden ser migrados. La apertura depende de variables como tiempo, velocidad y buzamiento. La apertura media se puede ver como el máximo radio de migración. A través de la apertura media expresada en cantidad de CDP y la distancia de cada uno de ellos es posible determinar el radio máximo de migración, multiplicando estas dos variables. Este parámetro está expresado en número de trazas en un rango mayor o igual a 1 (≥ 1)

Buzamiento: Define los buzamientos medidos en grados que se quiere preservar después de la migración. La elección de un buzamiento óptimo puede ser útil para suprimir el ruido coherente de los eventos con buzamientos bruscos. El buzamiento máximo indica que eventos con buzamientos mayores a este valor son suprimidos. La combinación de la longitud de apertura máxima y el buzamiento máximo determina la apertura afectiva a usar en la migración.

CAPITULO III

MARCO GEOLÓGICO

En la Geofísica y en particular en la sísmica, una información importante que permite correlacionar y verificar los resultados es la geología de la zona. Este trabajo se realizó con datos proveniente de la cuenca Barinas-Apure una de las cuencas mas importantes de Venezuela.

La Cuenca Barinas-Apure, se encuentra ubicada en la región sur occidental del país, limita al norte con la Serranía del interior Central. Al este con el levantamiento el Baúl y al sur por la cuenca de los llanos colombianos. La cuenca petrolífera Apure-Barinas, contribuye con un poco más del 2% de la producción nacional, en sus campos de Guafita, La Victoria, San Silvestre, Sinco, Las Lomas entre otras. (WORLD ENERGY COUNCIL, 1997)



Figura 24. Cuencas de Venezuela. Tomado de WEC, 1997

La cuenca Barinas-Apure se encuentra ubicada al sur-sureste del sistema montañoso de los Andes. La roca madre por excelencia es la Formación Navay cuya edad se encuentra en el Cretácico tardío y está constituida por lutitas silíceas, friables a no

friables, quebradizas, blandas a duras, de color amarillo claro a crema e incluso a blanco; también lutitas tripolíticas de mucha porosidad, pardo claro a gris claro, y algunas fñanitas no porosas, lenticulares, pardo claro, y lutitas calcáreas, carbonáticas, gris a gris oscuro. Por otra parte la formación se presenta areniscas lenticulares, calcáreas a silíceas de grano angular, pardo claro a gris claro. (ob.cit.).

La principales rocas yacimiento clásticas pertenecen a las Formaciones Escandalosa y Burguita pertenecientes al Cretácico, el Grupo Orocué perteneciente al Paleoceno y Mirador-Guafita del Miembro Arauca. (ob.cit.).

El yacimiento carbonático de mayor relevancia se encuentra en el Miembro Guayacán que pertenece a la Formación Escandalosa y lo constituye calizas con porosidad secundaria. En cuanto a los sellos regionales más importantes se encuentran los intervalos lutíticos de las Formaciones Burguita perteneciente al Cretácico Tardío, Pagüey del Eoceno y Guafita del Miembro Guardulio. (ob.cit.).

Por otra parte, sobre la estructura geológica de los sistemas petroleros, se han podido identificar dos eventos para la generación, migración y entrapamiento. El primer evento se relaciona con el sistema La Luna Burguita debido a la generación del petróleo en la cuenca de Maracaibo y su migración al sur-sureste. El segundo, se relaciona con el depocentro del flanco sur andino. (ob.cit.).

Según El Léxico estratigráfico de Venezuela (1997), La formación Gobernador se encuentra constituida por rocas clásticas basales, depositadas discordantemente sobre el Cretácico, por la transgresión marina que se inició en la cuenca de Barinas en el Eoceno medio. Esta Formación es descrita con 80% de areniscas cuarzosas, a veces cuarcíticas, friables a bien endurecidas, color gris claro a pardo, manchadas por óxido de hierro cuando están meteorizadas, localmente conglomeráticas. También presentan un 20% de intercalaciones de limolitas en colores claros, y laminaciones lutíticas carbonáceas gris oscuro a gris azulado.

De la Formación Gobernador se produce crudos de medianos a pesados, específicamente en los miembros “A” y “B” de edad Eoceno y crudo mediano proveniente de la Formación Escandalosa (miembro “P”) del Cretácico. (ob.cit.).

Quintero (1998) determinó tres ciclos en la etapa de sedimentación de la Formación Gobernador:

1. Ciclo que corresponde a una etapa de poca actividad en el avance del frente de corrimiento, y que propició el aporte de sedimentos con influencia de un Orógeno reciclado.
2. Pulsación en el frente de corrimiento que pudiese corresponder al avance de los terrenos de la cadena Caribe, que propició el aporte de sedimentos con influencia de Cratón Interior.
3. El último corresponde a un evento de poca actividad, que propicio aporte de sedimentos con influencia de Orógeno reciclado.

Por otra parte, la cuenca Barinas-Apure se define como una depresión estructural asimétrica y alargada con su flanco septentrional desviado suavemente al noreste mientras que su flanco meridional limita con los Andes Venezolanos.

Sin embargo Quintero (1998) logró caracterizar la Cuenca de Barinas como una cuenca tipo perisutural ubicada sobre la litosfera continental y asociada a la formación de mega suturas compresionales, cuenca tipo “foreland”.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

Antes de explicar los pasos correspondiente a la metodología de este trabajo, es importante tener en cuenta la información básica de este levantamiento 2D, así como la secuencia usada en el procesamiento (figura 26):

Nombre del levantamiento	Barinas 92A
Línea	BAR-92A-11
Instrumento	SN-368-E
Ganancia de pre-amplificador	42 dB
Filtros de adquisición	Corte bajo: 12 Hz -18 db/oct Corte alto: 178 Hz – 70 db/oct Notch: out
Duración del registro	6 s
Tasa de muestreo	2 ms
Offset mínimo	60 m
Offset máximo	3600 m
Formato	SEG-D
Fuente	Dinamita
Carga	1 kg
Fulminante	1 por pozo
Profundidad	6 m
Tipo de arreglo	centrado en la estaca
Intervalo entre estaciones	50 m
Intervalo entre puntos de disparo	50 m
Número de canales	120
Número de disparos	262
Cobertura nominal máxima	6000 %
Distancia entre CDPs	25 m
Tipo de tendido	split spread, roll on/roll off

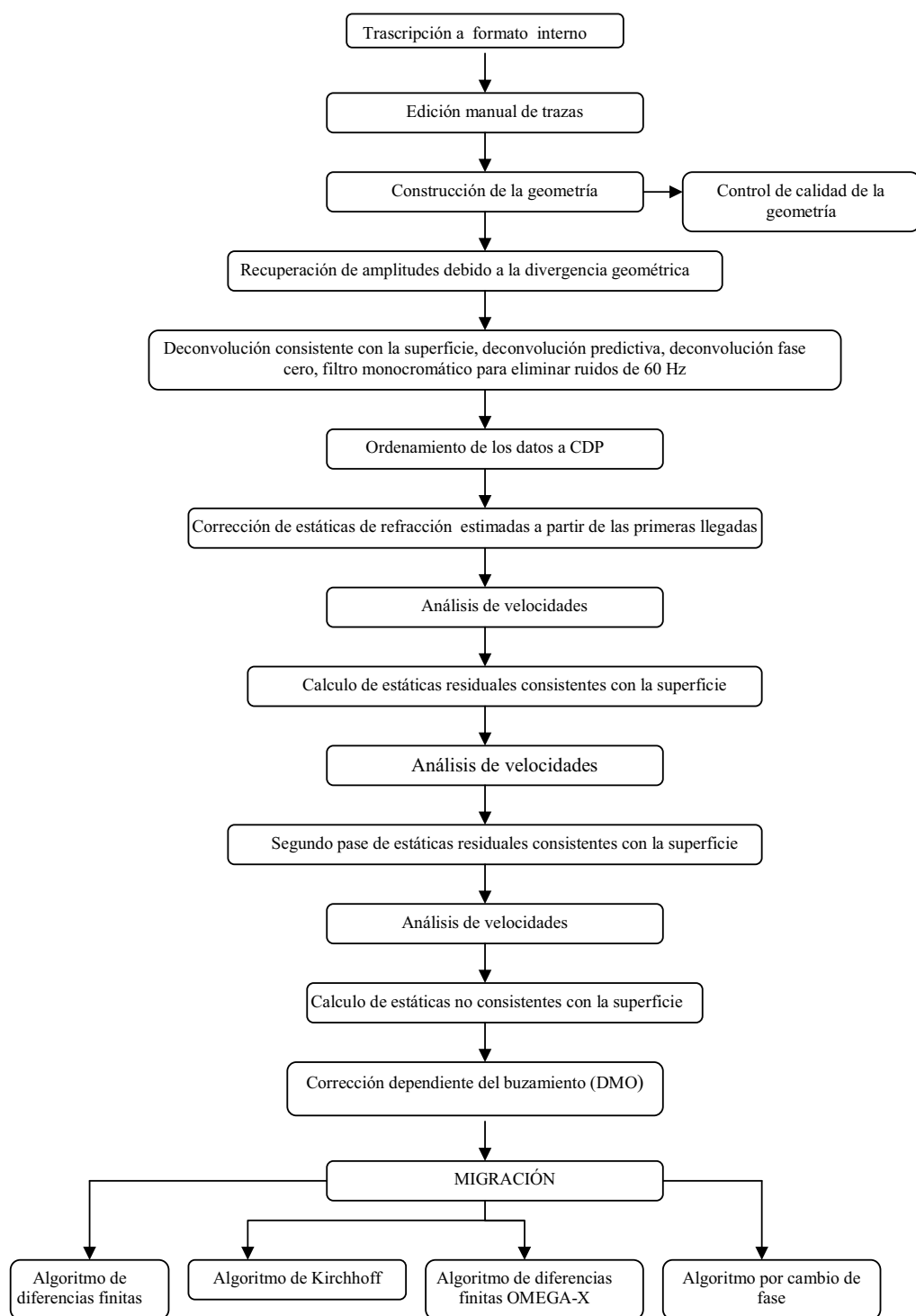


Figura 26. Secuencia de procesamiento usada en este trabajo.

1.-Trascripción a formato interno:

En esta etapa se descifró la información proveniente de la cinta, como el encabezado y se transcribió a formato propio de la empresa.

2.-Edición manual de trazas:

Consistió en eliminar todas aquellas trazas dañadas, sin señal o con mucho ruido (entre otras), producto de geófonos dañados, mal plantados o desactivados como se muestra en la figura 27. El método para llegar a tal fin se fundamentó en la inspección visual de los 262 disparos y posterior marcación (figura 28), a todas aquellas trazas con las características descritas anteriormente. La edición manual de trazas se realizó con el objetivo de eliminar lo más posible las fuente de errores de la señal, y de esta manera tener datos de mejor calidad.

Toda la información de cada una de las trazas eliminadas fue almacenada en un archivo, que posteriormente se incluyó en procesos subsiguientes para que de esta manera se excluyeran del estudio.

Se realizó la edición de trazas en los datos directos de campo y en la primera etapa de la fase de procesamiento, para que de esta manera todos los pasos del procesamiento sísmico quedaran con la menor cantidad de fuentes generadoras de errores.

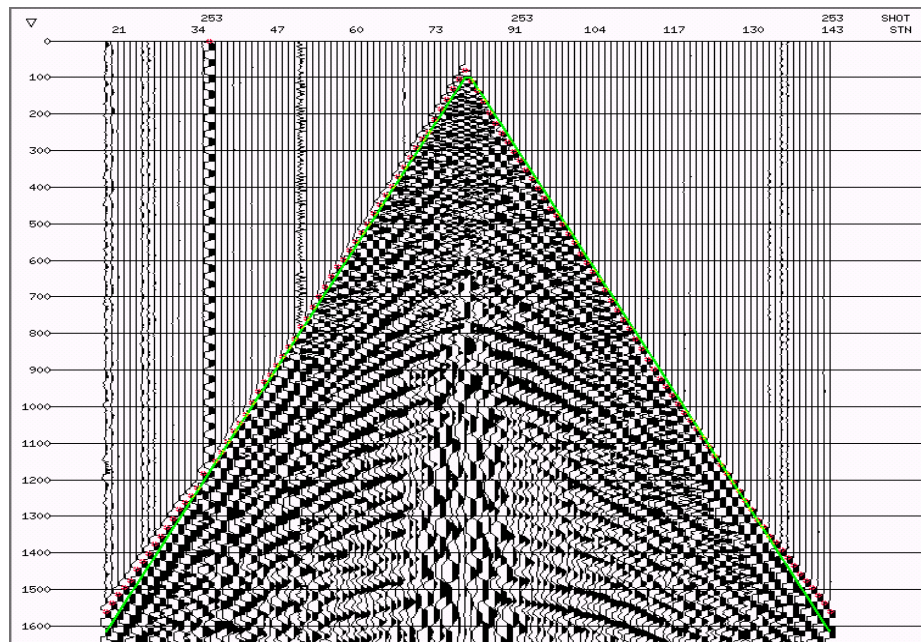


Figura 27. Un registro de la línea donde se puede observar trazas con ruido

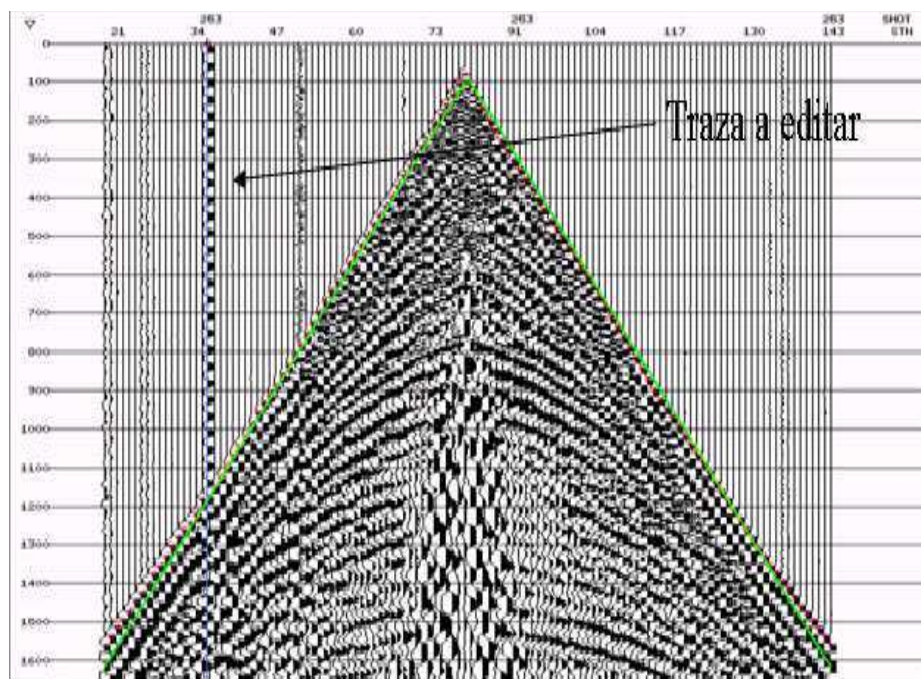


Figura 28. Un registro de la línea donde se puede observar trazas con ruido editada manualmente.

3.-Construcción de la geometría:

Posterior a la edición de trazas, y ya con datos con una menor cantidad de fuentes generadoras de errores, se construyó la geometría de la línea sísmica.

La construcción de la geometría fue un proceso que mezcló la información obtenida en campo, como son los datos originales grabados en campo y la información del reporte del observador. Allí se pudo observar la información de las trazas activas por cada disparo, las coordenadas UTM precisas de cada estación y cada disparo, así como también las elevaciones. La información del reporte del observador fue transcrita en archivos ASCII y se incluyeron de una manera progresiva, para lograr un ordenamiento de los datos en el dominio de los CDP.

La salida o el resultado de la construcción de la geometría fue una gráfica (figura 49) donde se pudo observar todas las estaciones y disparos, en su ubicación según esos datos.

La importancia de esta etapa en el procesamiento de datos sísmicos radica en la posibilidad de observar los datos tal y como fueron obtenidos en campo, de una manera sencilla a través de un gráfico. Esto representa una ventaja, ya que se pueden observar posibles errores evidentes en el ordenamiento de los datos y en la ubicación de los diferentes componentes de la línea sísmica.

Generalmente como segundo paso en esta etapa de la construcción de la geometría se realiza un control de calidad de la misma. Esto consiste en una o varias pruebas para determinar si las estaciones y disparos están en su correcta posición. Para este trabajo, se empleó la inspección visual de cada uno de los disparos graficados, conjuntamente con el perfil de velocidades o línea superpuesta que se posiciona en el lugar donde se esperan los primeros quiebres. La no coincidencia de este perfil de velocidades con

las primeras llegadas (figura 29), indicó posibles errores en la geometría. De lo contrario una geometría correcta (figura 30).

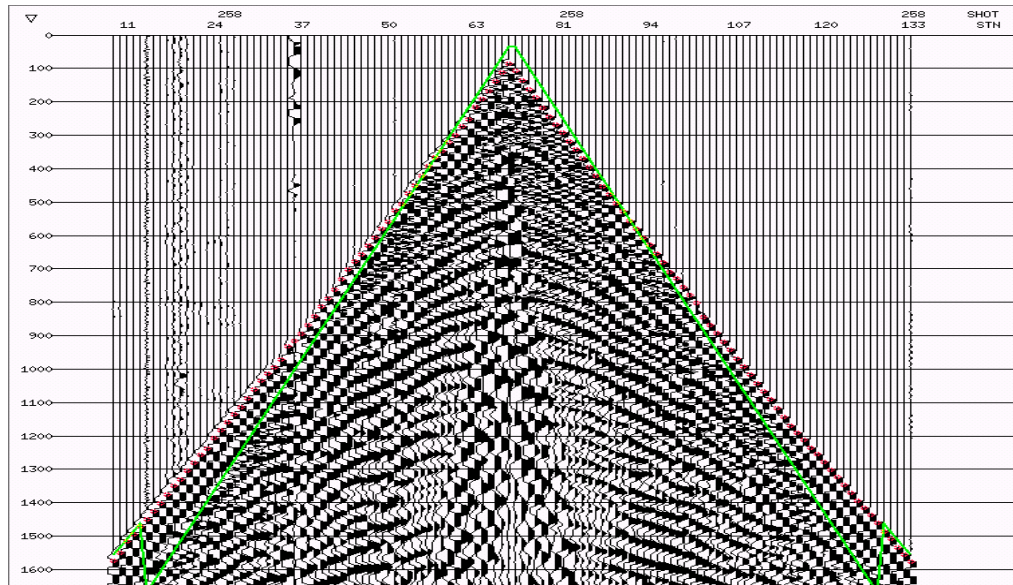


Figura 29. Geometría con posible error.

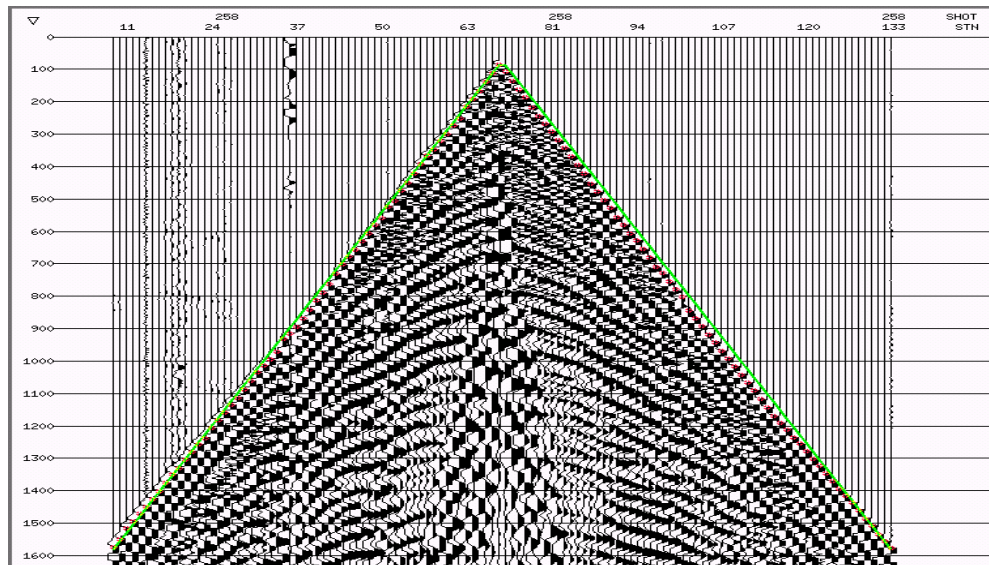


Figura 30. Geometría correcta.

4.-Recuperación de amplitudes debido a la divergencia geométrica:

Una vez verificados y observados la correcta posición de todos los disparos y estaciones se realizó la recuperación de amplitudes a través de la corrección por divergencia geométrica.

Para realizar la corrección por divergencia geométrica se tomaron los datos originales de la adquisición ya que, se quiso justamente recuperar las amplitudes originales obtenidas en la adquisición, es decir, sin ninguna modificación previa.

En particular, para este trabajo se multiplicó cada traza de los disparos por la función de ganancia (4) escrita anteriormente en el marco teórico, variando el valor adimensional N en intervalos de 0,25, entre los valores 0,25 y 2. Entonces, inspeccionando los disparos elegidos y su correspondiente curva de ganancia se seleccionó el valor de N más adecuado, atendiendo a una mayor ganancia en la resolución de las amplitudes y la mínima ganancia en el ruido especialmente en el *ground roll*. Otro factor importante que se tomó en cuenta para escoger los parámetros óptimos para la corrección de divergencia geométrica fue la curva amplitud vs tiempo (figura 50). Se escogió aquella donde la recuperación de la onda estuviera más cerca a la primera inflexión (figura 51).

Luego de realizar varias pruebas, finalmente se escogieron como parámetros finales una amplitud $A=1$ y un valor $N=1,5$. Los resultados se pueden observar en las figuras 52a y 52b.

5.-Deconvolución consistente con la superficie, deconvolución predictiva, deconvolución fase cero, filtro monocromático para eliminar ruidos de 60 Hz:

La deconvolución es un proceso que se aplica con la finalidad de mejorar la resolución vertical de los datos sísmicos, comprimiendo la ondícula para llevarla idealmente a un impulso. Luego de realizar pruebas variando los parámetros de procesos de deconvolución, se determinó que la imagen óptima se obtenía con una deconvolución consistente con superficie seguida de una deconvolución predictiva y por último una deconvolución fase cero.

En primer lugar se escogió la ventana de aplicación tomando un disparo con la mayor cantidad de datos y diseñando la ventana tomando la mayor cantidad de información útil posible como por ejemplo las reflexiones, cuidando no modificar las primeras llegadas, como se muestra en la figura 31. Luego se probó la ventana con diferentes disparos de la línea.

Con el objetivo de determinar el filtro que será aplicado posteriormente a cada una de las trazas, se aplicó el proceso de deconvolución consistente con la superficie. Se evaluaron parámetros que fueran dependientes solo de la localización de la línea, fuente y receptores.

Una vez la ondícula libre de perturbaciones causadas por las capas cercanas a la superficie se aplicó la deconvolución predictiva para controlar el grado de resolución de la misma.

Por último, se realizó una deconvolución fase cero, con valores iguales en cuanto a parámetros de la deconvolución anterior. Esto con el objeto de llevar a fase cero la ondícula.

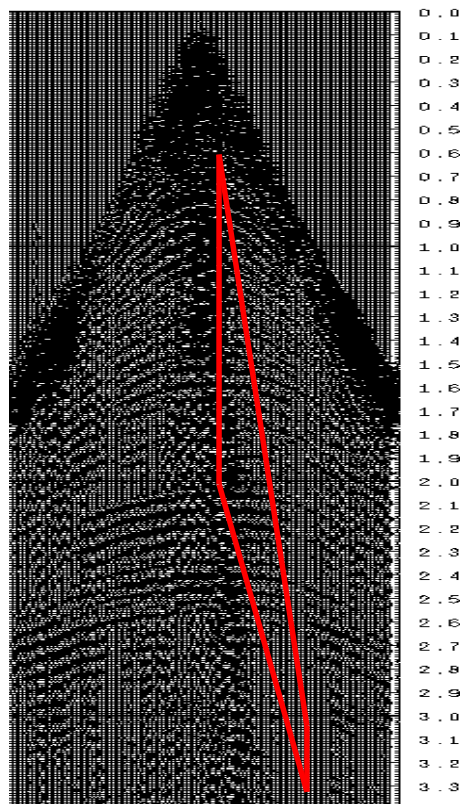


Figura 31. Registro sísmico donde se puede observar en líneas rojas la ventana de deconvolución usada.

Las pruebas se realizaron en el orden de los disparos y se evaluaron los parámetros de longitud del operador considerando valores de 80, 120, 160, 180, 200 y 220 ms; porcentaje de ruido blanco considerando valores de 0.001 %, 0,01%, 0,1%, 1% y 5%; ventanas en unidades de distancia y tiempo; y tiempo de retraso considerando valores de 8 y 16 ms. Los parámetros finales de cada una de las deconvoluciones realizadas se encuentran descritos en la tabla 1, así como los resultados de la deconvolución en un disparo (figura 53a y 53 b)

Tabla 1. Parámetros finales de las distintas deconvoluciones aplicadas

	Ventana de diseño	Longitud del operador	Porcentaje de ruido blanco	Predicción en el tiempo de retraso
Deconvolución consistente con la superficie	D1:125 m t11:450 ms t12:1800 ms D2: 307 m t21:3000 ms t22:3200 ms	220 ms		16 ms
Deconvolución predictiva	D1:125 m t11:450 ms t12:1800 ms D2: 3075 m t21:3000 ms t22:3200 ms	200 ms	0.1 %	
Deconvolución fase cero		200 ms		16 ms

6.-Ordenamiento de los datos a CDP:

Luego de las pruebas anteriores de pre-procesamiento se realizó el ordenamiento de los datos de acuerdo a los puntos comunes en profundidad. El objetivo fue el de trabajar los datos con mayor facilidad y evitar errores. Esta etapa no solamente reunió los datos por puntos comunes en profundidad, sino que también fueron aplicadas todas las pruebas anteriores con los parámetros finales respectivamente. El resultado final de esta etapa fue una serie de trazas reunidas por puntos comunes en profundidad con las deconvoluciones aplicadas, libres de trazas con ruido, y libres de amplitudes muy altas. Se puede observar el resultado de esta etapa en la figura 54.

7.-Corrección de estáticas de refracción estimadas a partir de las primeras llegadas:

Una vez obtenidos los CDP gathers, se realizó la corrección de estáticas de refracción. Para llegar a los parámetros óptimos se efectuaron pruebas de cada uno de los parámetros de este proceso, uno a la vez y comenzando siempre desde el modelo mas sencillo.

En primer lugar se analizó el modelo inicial de tiempo y velocidades, generado anteriormente al seleccionar los primeros quiebres de cada uno de los disparos. Este modelo inicial fue generado cada 20 disparos, por lo que se obtuvo trece pares de tiempo velocidad.

Para calcular las estáticas de refracción se utilizó el método de inversión lineal generalizada (GLI). Este método uso la técnica de Gauss-Newton, construyendo con un total de 5 interacciones y la información de los primeros quiebres un modelo de superficie cercana. Se supuso en este modelo que el terreno consistió en dos capas de baja velocidad, entonces a través de la técnica de trazado de rayos se calcularon los tiempos donde se esperaba ocurrieran los primeros quiebres obteniéndose unos quiebres modelados.

Luego, el programa calculó las diferencias de tiempo entre el modelo generado y los tiempos de llegada a partir de los registros, si la diferencia era poca se generaba el modelo, de lo contrario realizaba una nueva iteración.

Para generar el modelado de refracción se usó un método que calculó las estáticas por continuación hacia abajo usando las velocidades derivadas del mismo y luego se continuó hacia arriba utilizando la velocidad de reemplazo, desde la superficie hasta la base del modelo geológico. La velocidad de reemplazo utilizada fue de 2500 m/s (verificada posteriormente al revisar las velocidades de la primera capa generada en

las dromocrónicas) en un offset de 0 a 2500 m. El *datum* usado fue de 400 m sobre el nivel de mar, determinado a partir de la mayor elevación registrada en levantamiento.

8.-Análisis de velocidades.

Al dispararse la carga, los geófonos o receptores recogerán la señal producida por las ondas que se generan y que han viajado por el subsuelo. El geófono más cercano al punto de disparo por consiguiente registrará la señal más rápidamente que el más alejado, ya que, el frente de onda que registra tarda menos en viajar que el frente que es recogido por el último. Como resultado de un disparo en la adquisición sísmica se obtendrá una serie de trazas con sus reflectores que en conjunto tendrán forma aproximada de hipérbola, donde la traza más cercana al punto de disparo tendrá una reflexión que será el vértice de dicha hipérbola.

Por tal motivo es necesario llevar todas las reflexiones a los mismos tiempos; en otras palabras corregir el *normal move-out* (NMO) que no es mas que la diferencia en tiempo entre la reflexión en la traza mas cercana al punto de disparo y la reflexión en las trazas en otros puntos.

Para llegar a tal fin se requiere un estudio de velocidades, en otras palabras, una verificación de las funciones de velocidad NMO.

En este trabajo se realizaron análisis de velocidades de distancia fuente-receptor común (COFF), el cual consideró el apilamiento de las trazas que tienen igual CDP, localizadas dentro de una zona limitada de CDPs, además, suponiendo que el NMO no ha sido aplicado; y del tipo análisis de velocidad constante (CVS) el cual realizó análisis de velocidades constantes a un rango de velocidades constantes una por una a un limitado número de CDPs los cuales ya habían sido apilados.

Para el proceso COFF, se tomaron los datos unidos y ordenados por CDP, muestreados cada 40 unidades y se aplicó el proceso COFF. Se utilizó un rango de velocidades de 1000 a 6000 m/s para crear la semblanza.

9.-Cálculo de estáticas residuales consistentes con superficie:

A pesar de haber calculado estáticas de refracción y campo, todavía quedan ciertas anomalías producto de los cambios abruptos de elevación en la base de la capa meteorizada y su velocidad, afectando la coherencia lateral de las trazas. Por tal razón para mejorar la calidad de los datos se aplicó la corrección de estáticas residuales.

Esto es una corrección que determina el tiempo de retardo en la correlación a partir de una traza piloto. Para tal fin, se aplicó las estáticas de largo periodo tomando una ventana amplia de 0 a 3000 ms permitiendo mayor cantidad de datos en profundidad, recordando que solo se está calculando las estáticas en superficie. Así mismo, se usó un cambio máximo en la longitud de la correlación que puede variar hasta 24 ms, en un número de 60 correlaciones.

10.-Segunda iteración de estáticas residuales consistente con superficie:

Para generar la segunda iteración de estáticas residuales, primero se realizó una nueva iteración de velocidades y cálculo de semblanza, con el objeto de mejorar las velocidades ya calculadas en el primer pase. Para tal fin, se usó el proceso CVS analizando aquellas zonas del apilado donde el estudio pasado no se enfocó y también revisando las velocidades calculadas anteriormente para de esta manera, mejorar la sección sísmica.

Luego, se calculó la segunda iteración de estáticas residuales mediante el módulo MASTT, usando los mismos parámetros que la iteración anterior.

11.-Estáticas residuales no consistentes con superficie:

Son correcciones que se realizan tomando el tiempo de retardo y correlacionando una traza modelo con las trazas de un CMP. No corrige estáticas, solo alinea eventos dentro de un CMP para un apilado de mejor calidad. Estas correcciones estáticas no consideran los receptores ni fuentes, tampoco la profundidad del reflector.

De acuerdo a las pruebas realizadas, los parámetros finales fueron, una ventana de aplicación de 300, 350, 5950, 6000, ms, y un cambio máximo de 8 ms como parámetro final en una ventana de 300 a 4000 ms.

12.-DMO:

La etapa de la corrección dinámica dependiente del buzamiento ó Dip Moveout (DMO) se llevó a cabo en tres procesos. El primero, consistió en generar a través de la geometría y los CDP gathers usados hasta el momento, una nueva geometría y CDP gathers ideales para ser usada en el proceso de corrección dinámica dependiente del buzamiento.

Estos nuevos CDP gathers, tenían la diferencia de estar perfectamente distanciados uno del otro. Para de esta manera, no tener errores de distancia, ya que justamente esta corrección trata de ubicar de una manera parcial los eventos en su verdadera posición; y comenzando con posibles distancias inexactas, harían de igual manera inexacta la corrección.

A estos nuevos CDP gathers se le realizó la corrección DMO. Posteriormente, a estos CDP, se les realizó un análisis de velocidades mediante el COFF. Previamente se aplicó el proceso inverso al NMO para eliminarlo esta corrección que traía de procesos anteriores.

Luego para generar el apilado DMO, se tomaron nuevamente los CDP gathers originales, se realizó el suavizado de las velocidades con las nuevas velocidades DMO y se generó el apilado.

13.-Prueba de cuatro algoritmos de migración post-apilamiento en tiempo:

En este trabajo se realizaron pruebas para 4 algoritmos de migración post apilamiento a una línea sísmica. La metodología utilizada para tal fin fue construir cada algoritmo de migración por separado, definiendo los parámetros óptimos de cada uno de ellos a través de pruebas con diferentes valores. Luego fueron comparados los algoritmos entre si, con el objeto de determinar el óptimo para dicha línea.

La metodología para probar cada valor de cada uno de los parámetros en todos los algoritmos, consistió en:

- Probar un valor a la vez por cada parámetro, dejando fijos los demás.
- En caso de tener más de un valor el parámetro, probar igualmente uno a la vez dejando el otro fijo.
- Si el o los valores de los parámetros no eran los prefijados en el algoritmo, se tomaba el valor medio del rango, para tener un valor determinado. Esto, para aquellos parámetros con valores obligatorios en el algoritmo.

Por otra parte no hubo una metodología definida para determinar el número de pruebas, para cada parámetro se realizó un número diferente de pruebas, dependiendo del comportamiento del apilado.

En otras palabras, siempre se comenzaba con tres pruebas, la primera con el mínimo valor del rango, la segunda con el valor medio y la última con el valor más alto. Si el cambio visual era notable, se realizaban dos pruebas mas con valores medios entre los valores anteriores.

Las imágenes obtenidas de cada prueba de cada parámetro en los diferentes algoritmos, se encuentra en el apéndice de este trabajo.

13.1.-Migración por diferencias finitas hasta un ángulo de buzamiento de 45°:

Para la migración por diferencias finitas (MIGFD) se tomó la salida del apilado DMO. Se realizaron pruebas de puntos de tamaño de escalamiento y porcentaje de velocidad. Un esquema se puede observar en la figura 32.

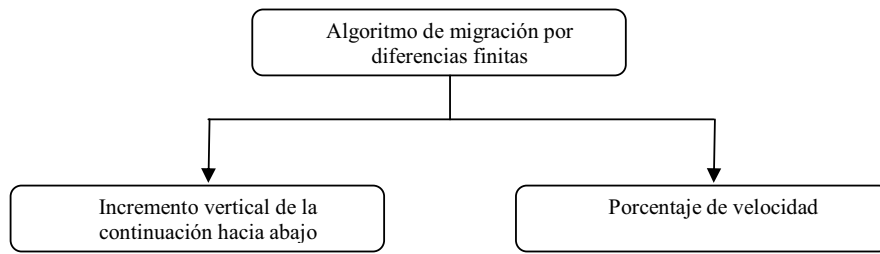


Figura 32. Diagrama representativo de los diferentes parámetros evaluados.

13.1.1.-Incremento vertical de continuación hacia abajo: Para determinar este parámetro expresado en ms, se realizaron diferentes pruebas sobre el apilado. Como este parámetro consta de dos valores numéricos, se realizaron pruebas variando un parámetro a la vez.

Para la primera prueba se fijó el escalamiento con un valor de 20 ms, variando el punto de aplicación también expresado en ms. Es importante resaltar que este parámetro ofrece la posibilidad de aplicar escalamientos en diferentes puntos de aplicaciones originando ventanas de aplicación.

Una vez determinado el mejor punto de aplicación, se realizaron pruebas de escalamiento para su posterior elección.

A continuación se muestra la tabla 2 con los diferentes valores usados en las pruebas.

Tabla 2. Detalle de los diferentes valores de punto de aplicación y escalamiento probados para el incremento vertical de continuación hacia abajo

Punto de aplicación (ms)	Escalamiento (ms)
0	0
0	20
0, 2000	20
6000	20
2000, 6000	20
0	4
0	20
0	80
0	120
0, 1400, 3800	4, 20, 40

El origen de la última prueba realizada tuvo como motivo la similitud de resultados en las pruebas anteriores con estos parámetros y la verificación del tiempo de máquina.

13.1.2.-Porcentaje de velocidad: Con este parámetro, que se refiere al porcentaje de velocidad para optimizar el modelo se realizaron las siguientes pruebas que se presentan en la tabla 3, por sugerencia de los expertos.

Tabla 3. Valores de porcentajes de velocidad evaluados

ESCALAR
0,8
0,9
0,95
1
1,05

13.2.-Migración por diferencias finitas hasta 65° ω -X:

Al igual que el algoritmo anterior, para éste, se tomó la salida del apilado DMO, (por ser éste el mejor modelo de apilamiento obtenido hasta entonces) en el orden de los CDP, en intervalos de 25. Se realizaron pruebas de mínima frecuencia, pares de tiempo- frecuencia, puntos de tamaño de escalamiento y multiplicador del parámetro de escalamiento. Un esquema se puede observar en la figura 33.

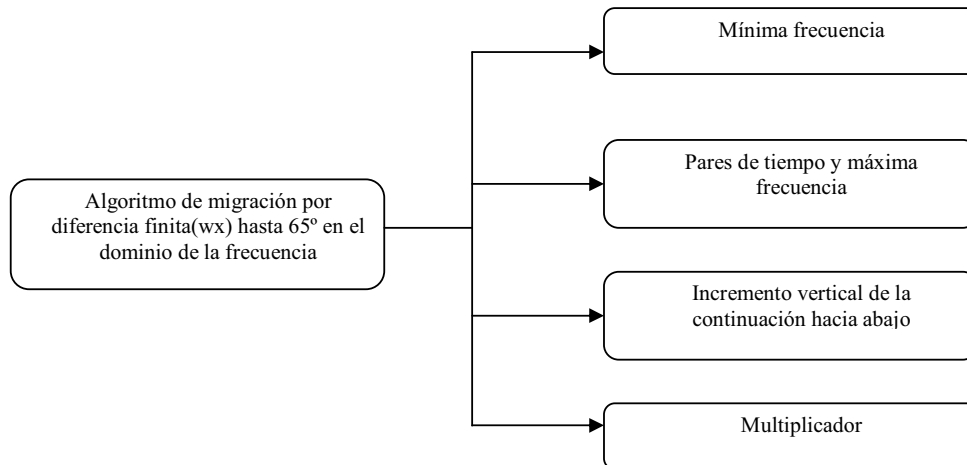


Figura 33. Diagrama representativo de los diferentes parámetros evaluados en el algoritmo de diferencia finita omega-x .

13.2.1.-Mínima frecuencia: Se escogió una frecuencia de 2 Hz, que representa un valor muy bajo, con respecto a la frecuencia mínima expresada en los parámetros de adquisición. Esto con el objetivo de dejar entrar al apilado la mayor cantidad de información posible, independientemente fuera señal o ruido. De esta manera no se corría el riesgo de perder señal con este parámetro que funcionó como un filtro de frecuencias bajas ya que la migración en si elimina frecuencias.

13.2.2.-Pares de tiempo frecuencia: este parámetro se refiere a la máxima frecuencia expresada en Hz, en escalones de tiempo a la que puede llegar la señal.

Para determinar este parámetro se escogió una ventana representativa del apilado DMO (figura 34) y se realizó un análisis de espectro de amplitudes (figura 35).

Del análisis espectral se extrajo el intervalo de frecuencia que maneja el apilado. Para elegir este parámetro el cual actúa como un filtro que deja pasar las máximas frecuencias, se intentó dejar la mayor cantidad de frecuencia posible manteniendo un equilibrio en la relación señal-ruido. Esto quiere decir sin perder la continuidad en los reflectores producto de eliminación de ruido.

13.2.3.-Incremento vertical de la continuación hacia abajo: Para este trabajo se realizaron diferentes pruebas. Es dependiente de la frecuencia y a diferencia del algoritmo MIGFD es constante a través de todo el apilado. En particular para tener un punto de comparación a los demás algoritmos se escogió un valor de 20 ms, que corresponde al valor de este parámetro en el algoritmo de diferencias finitas en la zona objetivo.

13.2.4.-Multiplicador: se tomó el valor de 1 para así de esta manera no distorsionar el valor de incremento vertical de continuación hacia abajo.

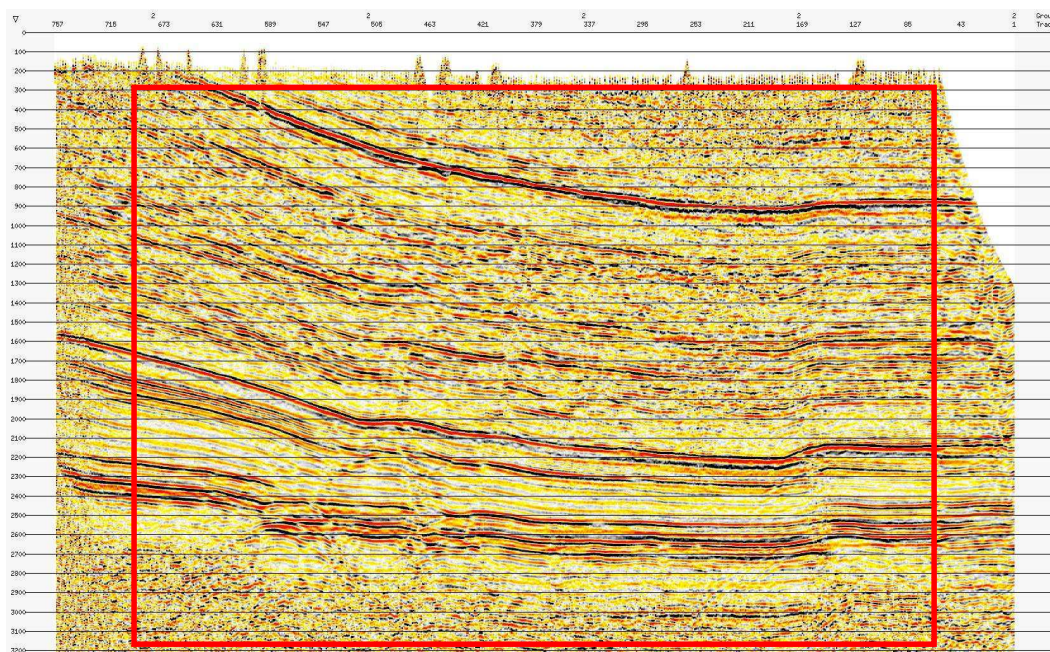


Figura 34. Apilado DMO, donde se muestra la ventana escogida (rectángulo rojo) para realizar el análisis de amplitudes en los pares de tiempo-frecuencia.

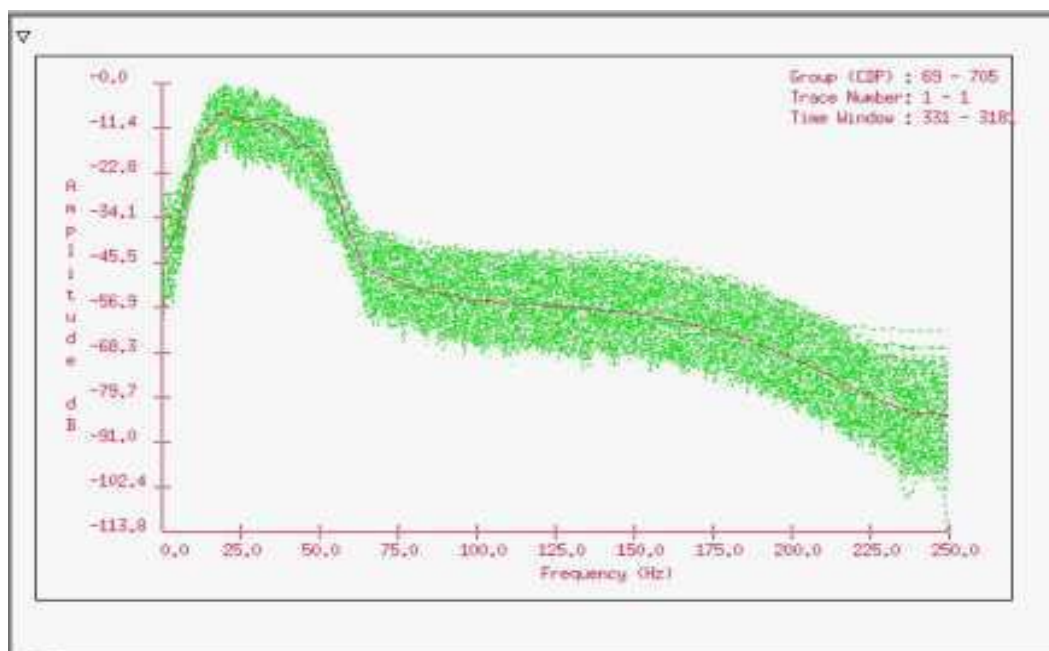


Figura 35. Espectro de amplitudes resultante en la ventana escogida en la figura 34.

13.3.- Migración por cambio de fase:

También para este algoritmo y al igual que los algoritmos anteriores, se tomó la salida del apilado DMO, (por ser este el mejor modelo de apilamiento obtenido hasta entonces) en el orden de los CDP, en intervalos de 25. En particular para este algoritmo solo se realizaron pruebas de pares de tiempo-buzamiento (TDIP), ya que los dos parámetros restantes ya se habían evaluado anteriormente. Un esquema se puede observar en la figura 36.

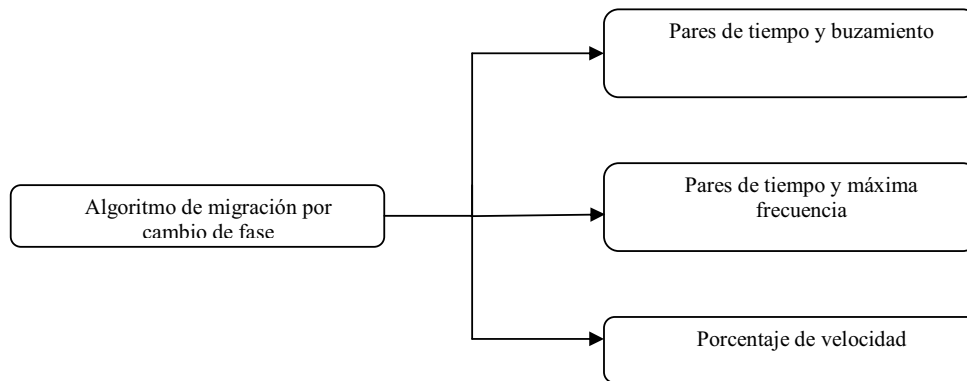


Figura 36. Diagrama de los parámetros evaluados en este trabajo.

13.3.1.-Pares de tiempo-buzamiento: Para hallar los pares de tiempo-buzamiento se realizaron pruebas con diferentes valores, tal y como se puede observar en la tabla 6.

Tabla 4. Valores de pares tiempo buzamiento usados para probar el comportamiento de este parámetro

Tiempo (ms)	Buzamiento(grados)
0	10
0	20
0	30
0	40
0	50
0	60
0	70
0	80
0	90
2000	90
6000	90

Para los parámetros pares de tiempo-frecuencia y multiplicador se tomaron los valores determinados en el algoritmo anterior por ser parámetros similares a los otros algoritmos y de este manera establecer relación al comparar los algoritmos.

13.4.-Migración Kirchhoff:

A diferencia de la metodología usada anteriormente para los algoritmos evaluados, en particular en este algoritmo, para realizar pruebas y posteriormente, determinar la apertura media y el grado de buzamiento se usó únicamente la traza central y de esta manera observar mejor el comportamiento de los parámetros.

Para los subsecuentes parámetros se realizaron las pruebas en el apilado y una vez determinado los parámetros anteriores. Un esquema se puede observar en la figura 37.

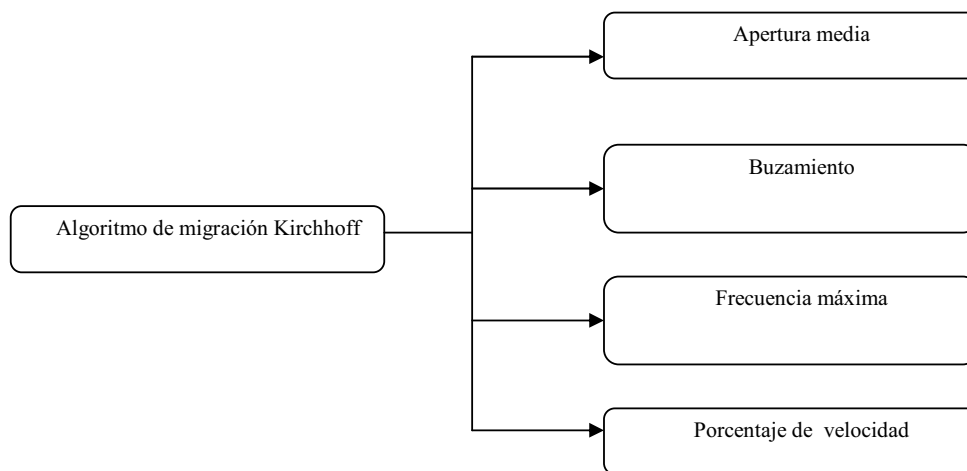


Figura 37. Diagrama representativo de los parámetros evaluados en el algoritmo de migración Kirchhoff.

13.4.1.-Apertura media: Para determinar la apertura media se eligió el CDP central a la línea (379), y se le aplicó “spikes” cada 500 ms. Se migró a través del método de Kirchhoff. Se realizaron pruebas con diferentes números de CDP tal y como se muestra en la tabla 5.

El criterio de selección consistió en observar las interfaces gráficas y fijar la máxima apertura del semicírculo en la profundidad final de migración. Esta profundidad fue prefijada anteriormente en 3000 ms y corresponde a la base del horizonte objetivo. La máxima apertura del semicírculo se puede notar al no cambiar al aumentar las trazas.

Una manera de comprobar si la elección de la media apertura de migración fue correcta consistió en una simple operación matemática, como se muestra en la ecuación 57:

$$n * m = c \quad (57)$$

Donde:

n : número de CDPs

m : distancia entre CDPs expresada en metros

c : media apertura de migración expresada en metros

Entonces, sustituyendo los valores 175 correspondiente al número de trazas escogido bajo la observación del cambio de la apertura de los semicírculos, 25 m correspondiente a la distancia entre trazas se obtiene:

$$175 * 25 \text{ m} = 4375 \text{ m} \quad (58)$$

La distancia resultante de 4375 m en la ecuación 58, corresponde a una media apertura de migración a partir de la traza 379 (que corresponde a la mitad del apilado). Por tanto el operador de migración tendrá un rango de acción de 8750 m a lo largo del apilado.

Entendiendo que el máximo offset del apilado es 3600 m, el rango de acción calculado anteriormente constituye más que suficiente para realizar la migración.

Tabla 5. Valores para el parámetro APERTURA MEDIA evaluados.

APERTURA MEDIA (número de trazas)
50
75
100
120
150
175
200

13.4.2.-Buzamiento: Para determinar el máximo buzamiento aceptable para eventos migrados se observó las pruebas previas correspondientes a la media abertura de migración. La máxima apertura seleccionada también evidenció el máximo ángulo aceptable para los eventos migrados. Dicho ángulo se midió directamente en la prueba y tomando como cero grados el eje vertical y este valor solo representó una aproximación al valor a escoger.

Este parámetro expresado en grados consta de dos valores el primero se refiere al ángulo mínimo permitido para el máximo buzamiento y el otro al máximo permitido. Normalmente se escogen los dos extremos para así asegurar la mayor cantidad de posibilidades en cuanto a buzamiento y no perder datos. Sin embargo se quiso realizar una prueba adicional.

Se varió el mínimo valor del máximo buzamiento permitido, dejando el máximo valor del máximo buzamiento permitido. El buzamiento máximo aparente escogido fue 60,89° grados. La tabla 6, registra los diferentes ángulos de buzamiento con los que se realizaron las pruebas.

Tabla 6. Pruebas de los valores del parámetro BUZAMIENTO.

BUZAMIENTO (grados)	BUZAMIENTO (grados)
0,45	15,89
0,60	30,89
0,89	60,89
45,45	80,89
45,60	
45,89	

13.4.3.-Frecuencia máxima: tomando la información de la figura 26 y 27, donde se puede ver claramente que la máxima frecuencia de la señal está en el intervalo de 55-65 Hz. Se realizaron pruebas adicionales sin el parámetro frecuencia máxima, con un valor igual a cero, y un valor de 70 Hz (tabla 9).

13.4.4.-Porcentaje de velocidad: se tomó el mismo valor de velocidad de los algoritmos anteriores con la finalidad de establecer un punto de comparación.

14.-Evaluación de los resultados obtenidos en cada algoritmo de migración:

Con el objetivo de realizar un análisis de los resultados mas completo, se efectuó un registro del tiempo de cómputo de cada uno de los algoritmos de migración usados, además de una evaluación de la calidad de los apilados.

En relación con la calidad de los apilados, se realizó una encuesta a 3 intérpretes sísmicos. El ejercicio consistió en una evaluación visual de los apilados obtenidos por cada algoritmo de migración usado, y luego colocar un puntaje escrito según el esquema de clasificación de la encuesta (figura 38). Cabe destacar que cada imagen de la sección migrada fue enumerada, sin especificar el tipo de algoritmo usado, para de esta manera lograr una mayor objetividad en la evaluación.

ENCUESTA

A continuación se presentan 4 imágenes de una sección sísmica que ha sido migrada con diferentes algoritmos. En base a sus conocimientos y al esquema de clasificación, ¿qué puntuación le daría a cada una de las características abajo enumeradas de los resultados presentados?

ESQUEMA DE CLASIFICACIÓN

Muy bueno

Bueno

Regular

Deficiente

Muy deficiente

4

3

2

1

0

Imagen	Resolución	Reducción de difracciones	Relación señal/ruido	Continuidad de los reflectores	Comentarios
1					
2					
3					
4					

¿A su criterio, cuál de las imágenes anteriores está mejor migrada y por qué?

Figura 38. Apariencia de la encuesta realizada a intérpretes y analistas

CAPÍTULO V

RESULTADOS

Los resultados obtenidos en este trabajo son un total de 4 secciones sísmicas en tiempo de longitud total 3200 ms, correspondientes a cada uno de los algoritmos de migración analizados.

En ellas, se puede observar además, una serie de reflectores continuos entre 100 ms y 2800 ms. La zona de interés de la adquisición se encuentra en el intervalo de 1700 ms a 2700 ms, y consiste en un paquete de reflectores que comienzan con un buzamiento de izquierda a derecha que se van horizontalizando a medida que van llegando a la extrema derecha del apilado. Además, se pueden identificar un total de tres posibles fallas en el intervalo comprendido de 2000 ms a 2700 ms. En las figuras 39, 40, 41 y 42 se muestran las secciones obtenidas.

Por otra parte, se presenta la tabla 8, en la cual se puede observar los parámetros óptimos de cada algoritmo de migración para la línea sísmica en estudio. La primera fila corresponde a los diferentes algoritmos de migración analizados, mientras que la primera columna los diferentes parámetros. Se puede observar, que algunos de estos parámetros son comunes para cada algoritmo así como también el valor.

Así mismo se muestran los resultados de las encuestas realizadas a los expertos geofísicos objeto ayudar a determinar el algoritmo de migración óptimo para la línea BAR-92A-11 (tablas 9, 10, 11 y 12). Así como los resultados finales de estas, fueron representadas en histogramas de frecuencias en las figuras 43, 44, 45 y 46.

Por ultimo se presenta en las tablas 13 y 14 los resultados en cuanto a tiempo de ejecución de la máquina al migrar para cada algoritmo de migración implementado, y el resultado final en el gráfico de barras de la figura 43.

MIGRACIÓN POR DIFERENCIAS FINITAS

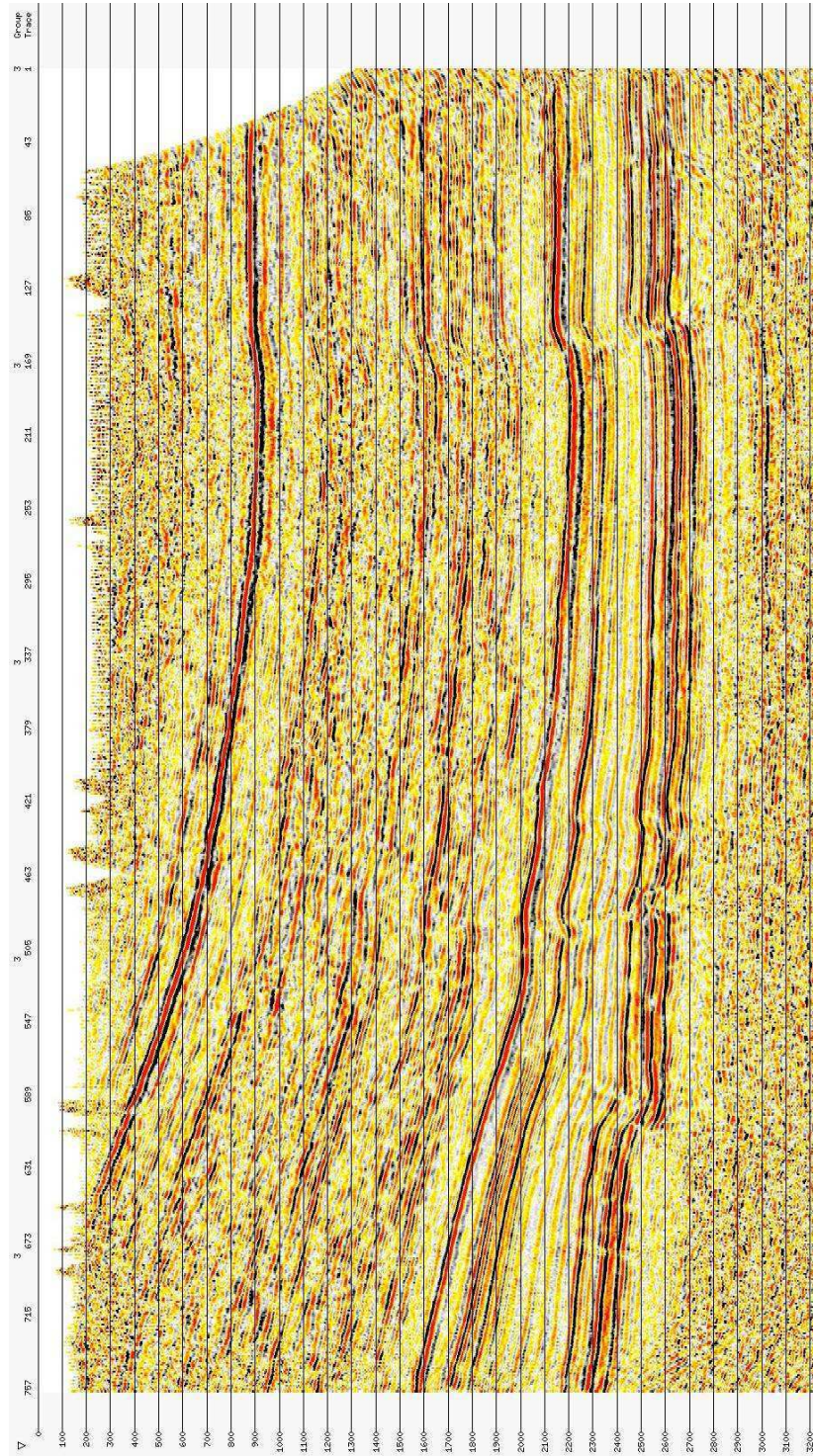


Figura 39. Migración por diferencias finitas con parámetros finales.

MIGRACIÓN POR DIFERENCIA FINITA OMEGA-X

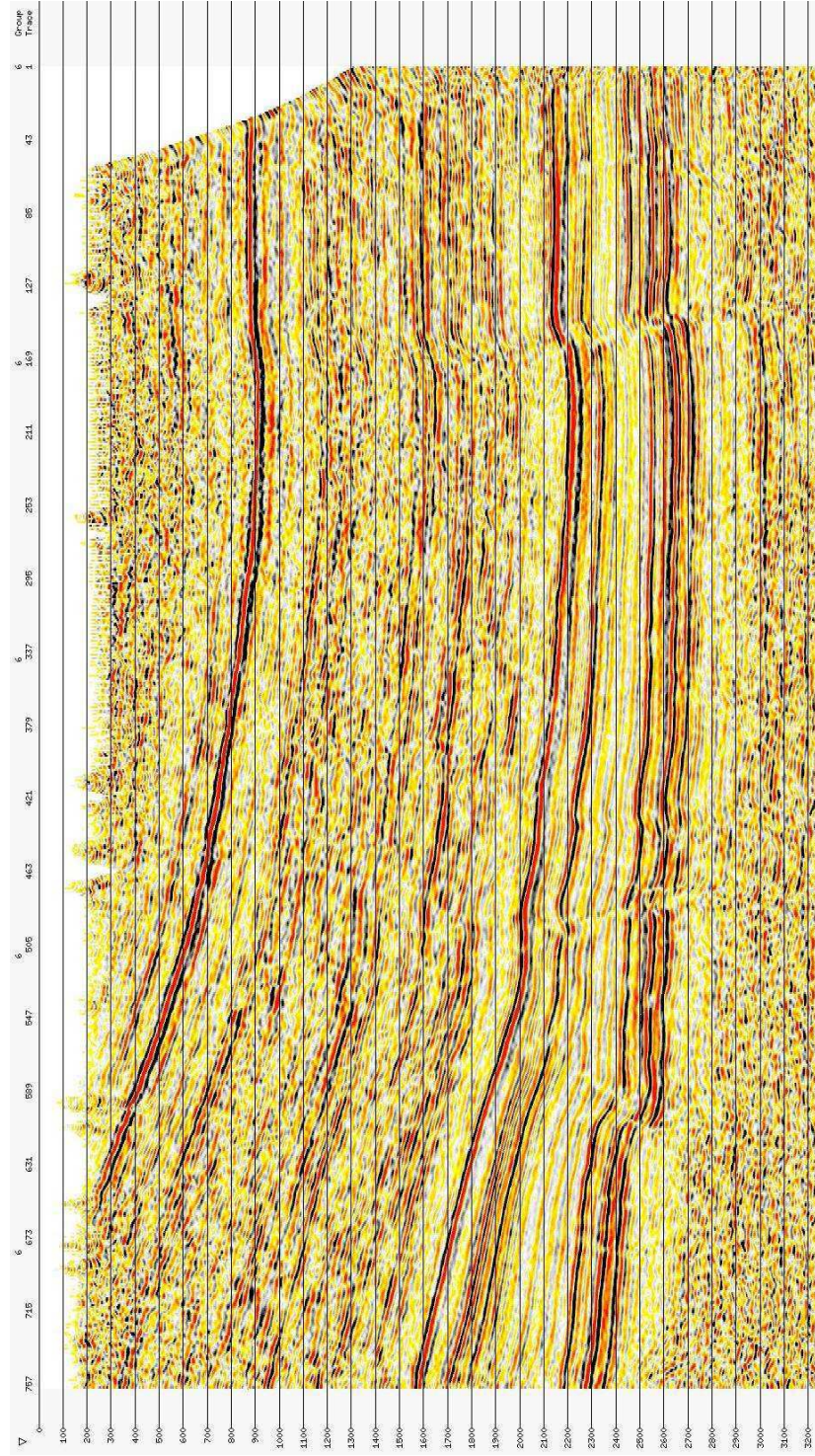


Figura 40. Migración por diferencias finitas OMEGA-X con parámetros finales.

MIGRACIÓN POR CAMBIO DE FASE

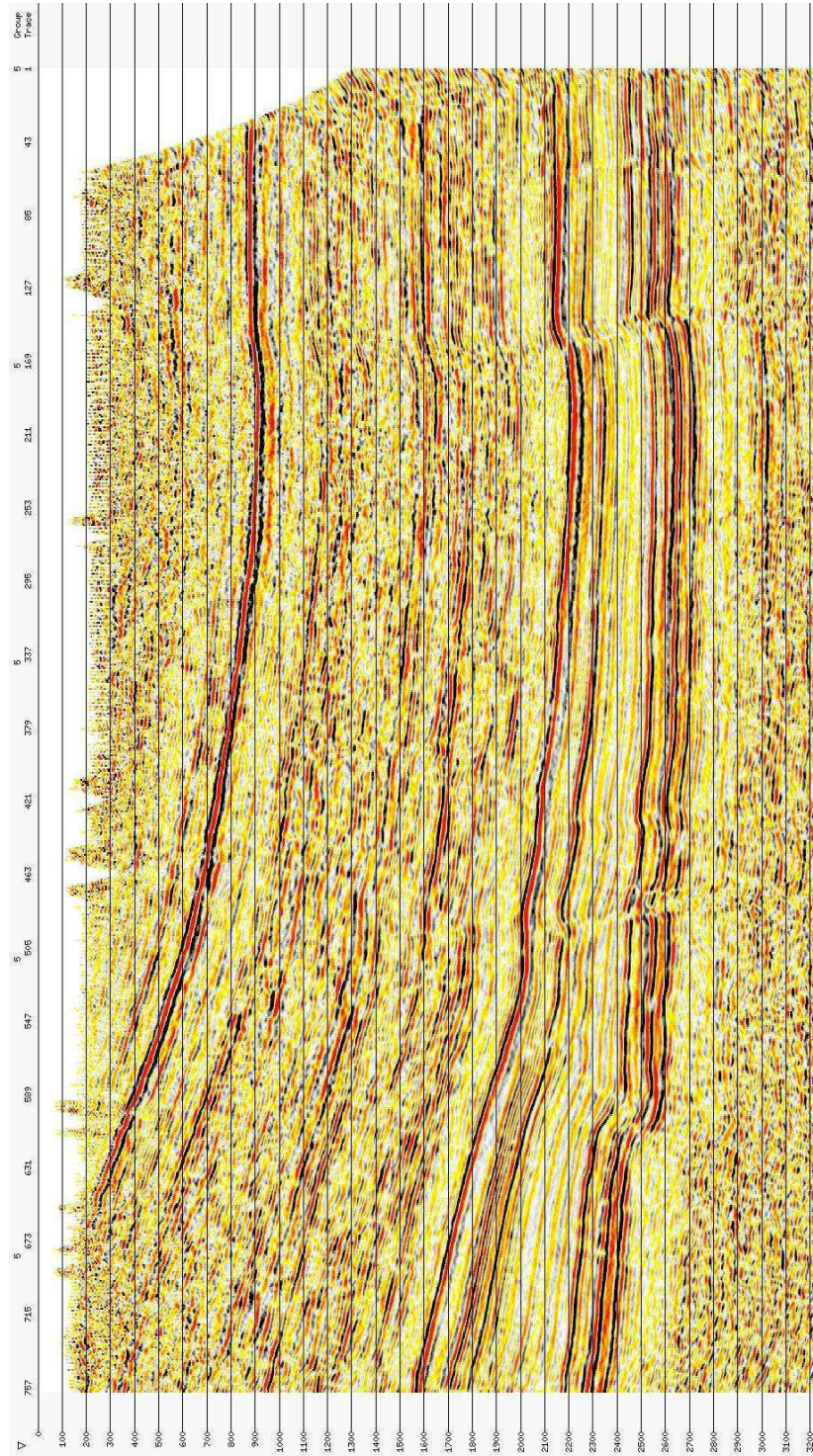


Figura 41. Migración por cambio de fase con parámetros finales.

MIGRACIÓN KIRCHHOFF

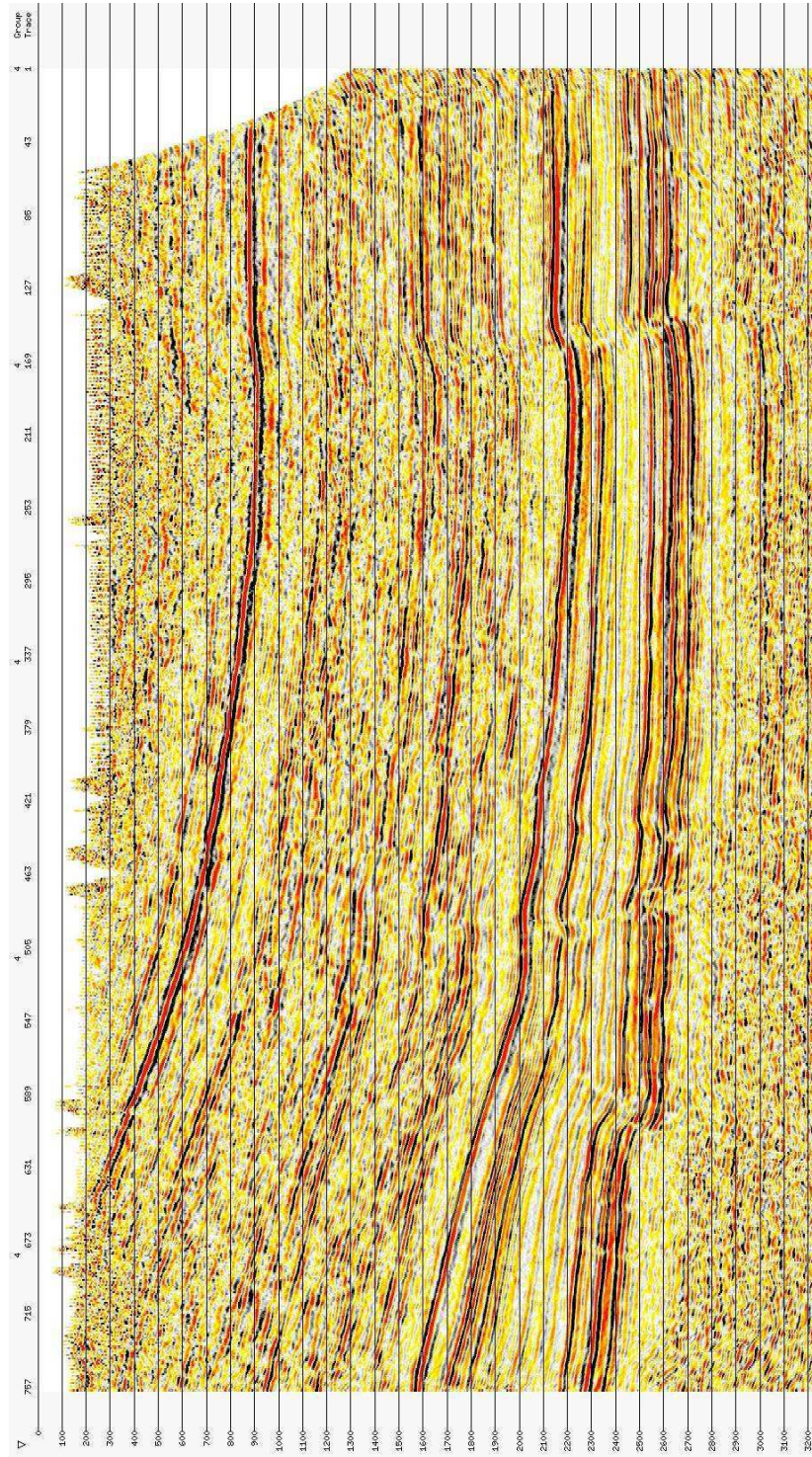


Figura 42. Migración Kirchhoff con parámetros finales.

Tabla 7. Valores finales de los parámetros de cada algoritmo

Parámetro	Migración usando el algoritmo de diferencias finitas	Migración usando el algoritmo de Kirchhoff	Migración usando el algoritmo de diferencias finitas OMEGA-X	Migración usando el algoritmo de cambio de fase
Incremento vertical de continuación hacia abajo (ms)	0,4 1400,20 3800,40		20	
Porcentaje de velocidad expresado en escalar	0.95	0.95	0.95	0.95
Apertura media expresada en número de trazas		120		
Angulo de buzamiento (grados)		60,89		0,80
Mínima frecuencia en Hz			2	
Pares de tiempo frecuencia (ms,Hz)			200,125 2000,70 6000,60	200,125 2000,70 6000,60
Multiplicador expresado en un escalar			1	

res

Tabla 8. Puntuaciones colocadas por los expertos para los diferentes apilados en cuanto a la resolución.

Resolución				
	Algoritmo de diferencias finitas	Algoritmo Kirchhoff	Algoritmo de diferencias finitas OMEGA-x	Algoritmo cambio de fase
Experto1	3	2	3	2
Experto 2	2	4	2	2
Experto 3	1	3	2	2

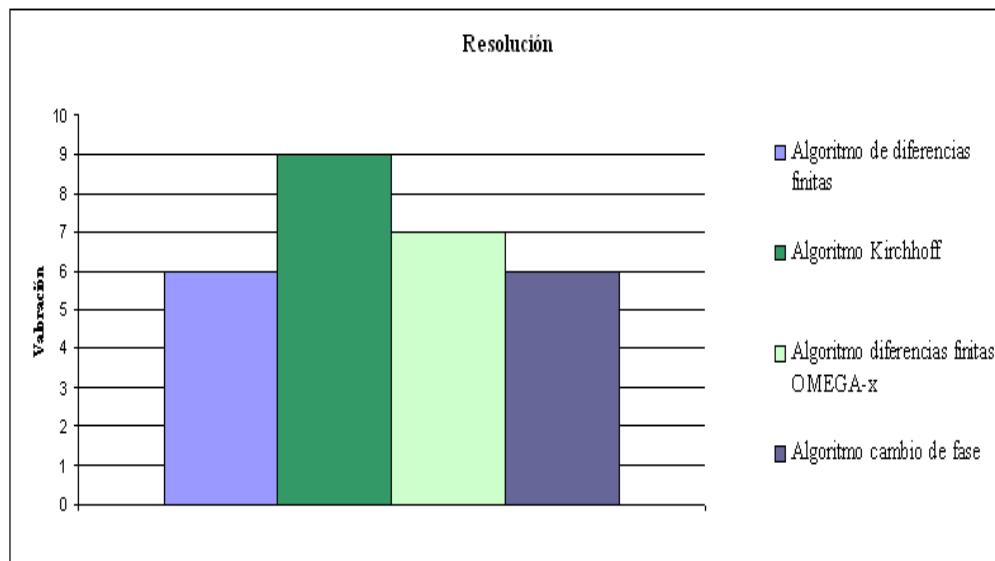


Figura 43. Histograma de frecuencia de la preferencia de los expertos en cuanto a la resolución.

Tabla 9. Puntuaciones colocadas por los expertos para los diferentes algoritmos en cuanto a la reducción de difracciones.

Reducción de difracciones				
	Algoritmo de diferencias finitas	Algoritmo Kirchhoff	Algoritmo de diferencias finitas OMEGA-x	Algoritmo cambio de fase
Experto 1	2	2	4	2
Experto 2	4	4	4	4
Experto 3	3	4	3	3

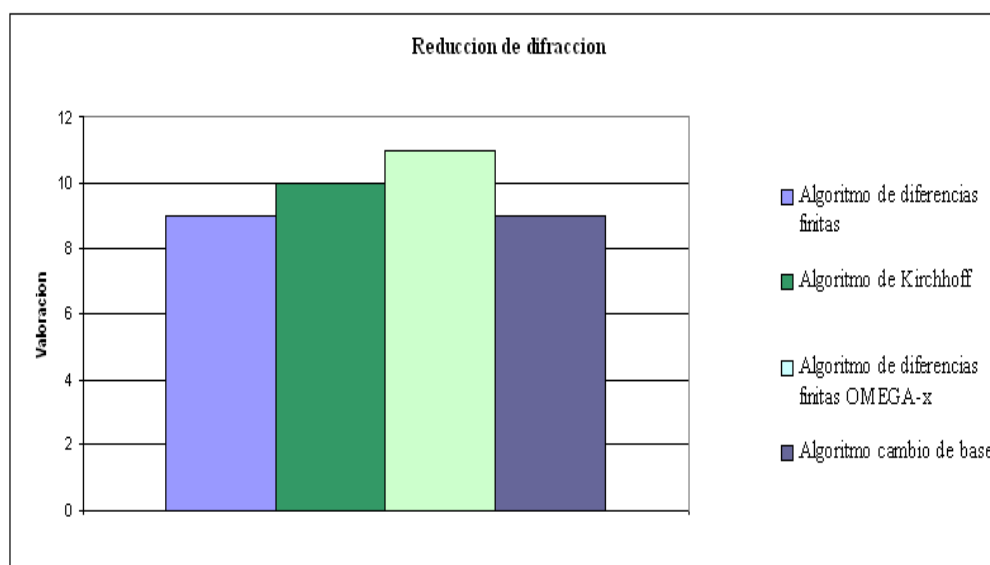


Figura 44. Histograma de frecuencia de la preferencia de los expertos en cuanto a la reducción de difracciones.

Tabla 10. Puntuaciones colocadas por los expertos para los diferentes algoritmos en cuanto a la relación señal-ruido.

Relación señal ruido				
	Algoritmo de diferencias finitas	Algoritmo Kirchhoff	Algoritmo de diferencias finitas OMEGA-x	Algoritmo cambio de fase
Experto1	1	3	2	3
Experto 2	2	4	3	3
Experto 3	2	4	2	3

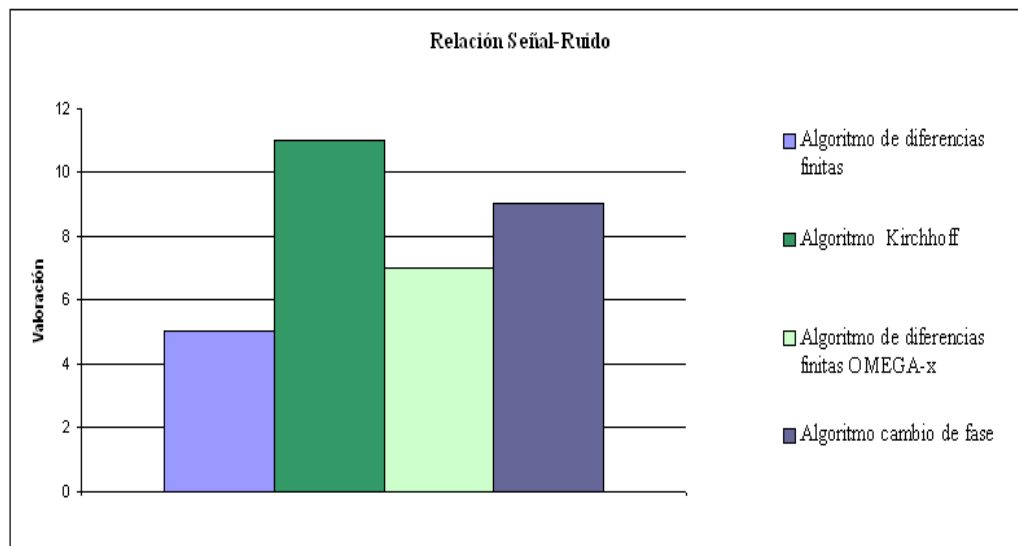


Figura 45. Histograma de frecuencia de la preferencia de los expertos en cuanto a la relación señal-ruido.

Tabla 11. Puntuaciones colocadas por los expertos para los diferentes apilados en cuanto a la continuidad de los reflectores.

Continuidad de los reflectores				
	Algoritmo de diferencias finitas	Algoritmo Kirchhoff	Algoritmo de diferencias finitas OMEGA-x	Algoritmo cambio de fase
Experto 1	1	2	3	3
Experto 2	2	4	3	3
Experto 3	2	4	3	3

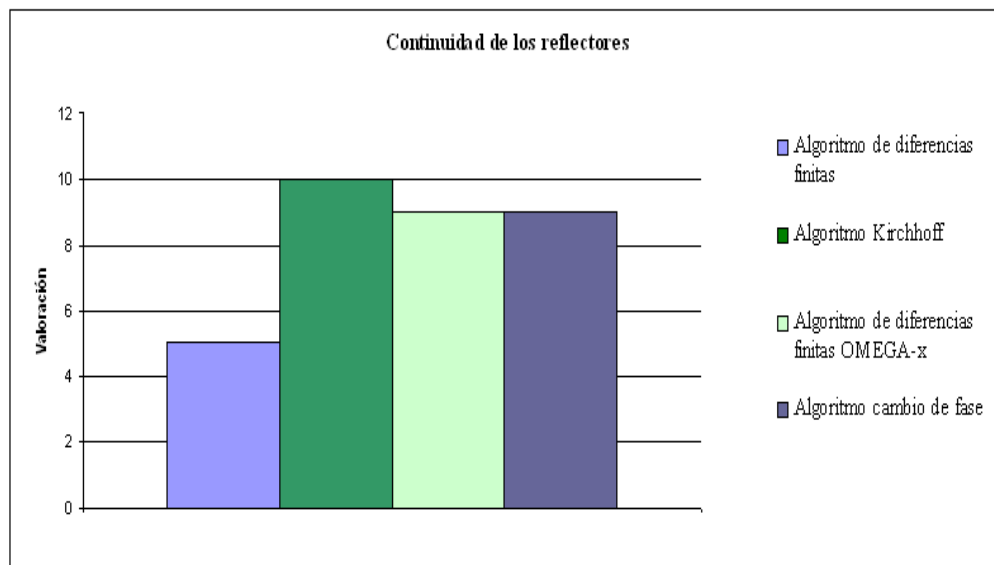


Figura 46. Histograma de frecuencia de la preferencia de los experto en cuanto a la continuidad de los reflectores.

Tabla 12. Tiempos de ejecución de las migraciones según el algoritmo aplicado.

Algoritmo de Diferencias finitas (h:m:s)	Algoritmo de Kirchhoff (h:m:s)	Algoritmo de diferencias finitas OMEGA- X(h:m:s)	Algoritmo por Cambio de fase (h:m:s)
00:02:40	00:04:50	00:06:23	00:04:51
00:02:29	00:04:15	00:06:15	00:04:38
00:02:54	00:04:33	00:05:52	00:04:45
00:02:32	00:04:26	00:05:58	00:04:52
00:02:47	00:04:39	00:06:11	00:04:40

Tabla 13. Promedio de los diferentes tiempos de ejecución),de la máquina al migrar según el algoritmo aplicado.

Algoritmo de migración	Tiempo promedio de ejecución(h:m:s)
Diferencias finitas	00:02:40
Kirchhoff	00:04:33
Diferencias finitas omega-x	00:06:08
Cambio de fase	00:04:45

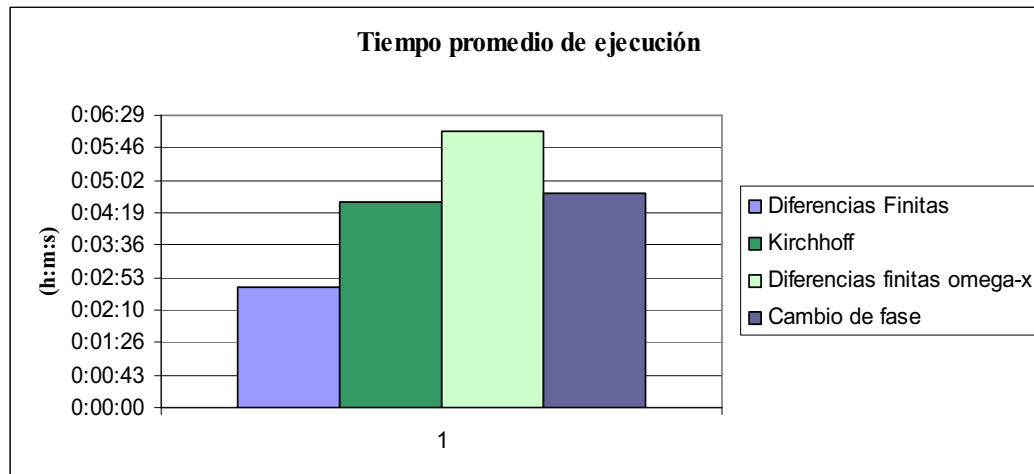


Figura 47. Histograma de frecuencia del promedio del tiempo de ejecución.

CAPÍTULO VI
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS, CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES
ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el apilado con estáticas residuales no consistentes con la superficie (figura 56), se observa en el horizonte objetivo (que está entre el intervalo de 1700 ms a 3100 ms aproximadamente), un total de 3 estructuras que podrían ser posibles fallas con difracciones (hacia la parte mas profunda) que no han sido colapsadas.

Al comparar el apilado anteriormente descrito, con el apilado con la corrección dependiente del buzamiento, se pudo observar que no hubo un cambio o una corrección importante en las difracciones antes comentadas. Posiblemente porque la corrección dinámica de buzamiento solo llevó el apilado a exactamente offset cero (requisito fundamental para una buena migración) y también por las características geológicas estructurales simples. Solo se observa que la sección está mas libre de altas frecuencias.

Posteriormente se tomó como entrada el apilado con la corrección dinámica dependiente del buzamiento, y se migró con cuatro diferentes algoritmos de migración (diferencias finitas, Kirchhoff, diferencias finitas omega-x y cambio de fase). Para determinar el algoritmo óptimo en la evaluación se fundamentó en los siguientes atributos:

1. Resolución del apilado final
2. Reducción de difracciones
3. Relación señal ruido
4. Continuidad de los reflectores
5. Tiempo de máquina.
6. Delineación de las estructuras.
7. Comentarios de expertos.

Para realizar un análisis mas detallado, se hizo un acercamiento a cada uno de los apilados con las diferentes migraciones, en la zona de objetivo como se muestra en la figura 48. Ya que es aquí donde se pudo evaluar los atributos de migración anteriormente nombrados., y determinar el algoritmo óptimo para migrar esta línea sísmica.

La resolución del apilado final migrado, se refiere a detalle o su calidad visual. Tener una mayor resolución se traduce en lograr una imagen con más detalle o calidad visual en la zona objetivo.

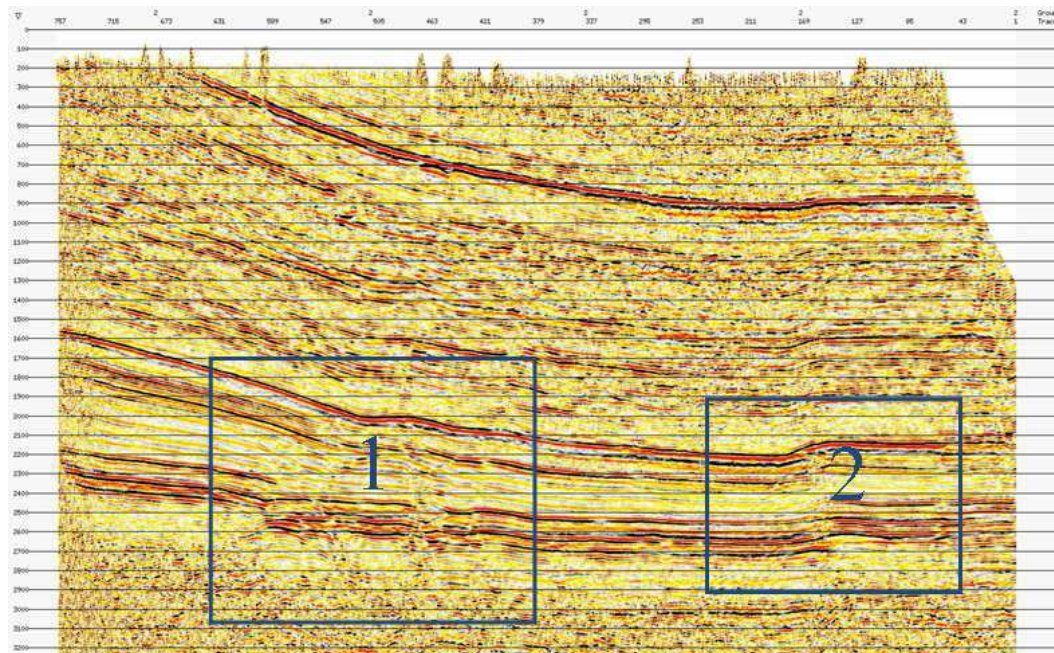


Figura 48. Apilado DMO, con áreas de interés para el análisis.

En cuanto al atributo de resolución las cuatro migraciones con diferentes algoritmos no resultaron con diferencias importantes. La preferencia de una sección migrada por cualquiera de los métodos por parte de algún intérprete y/o analista geofísico fue según su capacidad visual para el objetivo estructural.

La mayoría de los intérpretes señalaron al apilado Kirchhoff como el de mejor resolución. Sin embargo según uno de los intérpretes consultados, al comparar los resultados de Kirchhoff y omega x, determinó que el último pierde la resolución del objetivo.

Al comparar el apilado con la corrección dinámica dependiente del buzamiento, con cada uno de los apilados obtenidos con cada uno de los algoritmos de migración, se pudo observar un colapso de difracciones bastante eficiente por parte de cada una de las migraciones (figuras 39, 40, 41 y 42). Al colapsar dichas difracciones, comienza a observarse estructuras que posiblemente sean fallas, las cuales se observaron en el apilado DMO pero con menor resolución.

Según los resultados expresados en la figura 44, el algoritmo mas adecuado en opinión de los expertos fue diferencias finitas OMEGA-x. Los menos aceptados fueron el algoritmo cambio de fase y de diferencias finitas. Esta última presenta las fallas ligeramente desplazadas lateralmente con relación a las otras secciones.

En cuanto a la relación señal/ruido, el apilado migrado con el algoritmo de diferencias finitas presentó una apariencia un tanto artificial, es decir hubo eliminación de altas frecuencias con respecto a los demás apilados migrados. Por otra parte el apilado migrado con el algoritmo de migración Kirchhoff arrojó un resultado mas equilibrado en cuanto a la relación señal ruido, en otras palabras se observó mayor presencia de frecuencias altas que el apilado migrado por diferencias finitas. Así mismo el apilado migrado con el algoritmo de diferencia finita omega-x, se observó de igual manera una eliminación de altas frecuencias, pero en menor cantidad que el apilado migrado por diferencias finitas. Finalmente para el apilado migrado con el algoritmo de por cambio de fase hubo eliminación de altas frecuencias pero menor al apilado por diferencias finitas omega-x.

Sin embargo se debe resaltar que de los expertos consultados, uno en particular prefirió el algoritmo de diferencias finitas omega-x expresando que es la mejor imagen en general, a pesar de que en la relación señal/ruido no es la mejor. Todas las demás características son mejores que en los otros resultados.

En cuanto a la continuidad de los reflectores, todos los apilados migrados presentan unas respuestas óptimas y muy similares.

Al observar el tiempo de máquina en la tabla 14 (resultados) y figura 47, se observó que el menor tiempo en migrar la línea sísmica en estudio lo realizó el algoritmo de diferencias finitas, seguido con el algoritmo de migración Kirchhoff, y posteriormente los algoritmos cambio de fase y diferencias finitas omega-x.

De la opinión de los expertos se obtuvo según los resultados de la encuesta que la mayor resolución se logró con el algoritmo Kirchhoff, en segundo lugar el apilado migrado con el algoritmo de diferencias finitas omega-x, y por último los algoritmos cambio de fase y diferencias finitas tuvieron igual valoración en cuanto a resolución.

En cuanto a la reducción de difracciones, la preferencia la obtuvo el algoritmo de diferencias finitas omega-x, en segundo lugar el algoritmo Kirchhoff, y en tercer lugar con igual valoración los algoritmos de diferencias finitas y cambio de fase.

En cuanto a la relación señal-ruido, hubo una marcada preferencia al algoritmo Kirchhoff, seguido de cambio de fase, diferencias finitas omega-x por último diferencias finitas.

En lo referente a la continuidad de los reflectores, la preferencia la obtuvo el algoritmo Kirchhoff, segunda por los algoritmos diferencias finitas omega-x y cambio de fase en segundo lugar y por último diferencias finitas.

CONCLUSIONES

En total se aplicaron cuatro algoritmos de migración, evaluados y analizados. Cabe destacar que los resultados de las diferentes migraciones fueron muy similares. Dichos resultados únicamente presentaron pequeñas diferencias que solo fueron capaces de ser detectadas por expertos geofísicos en el área de la interpretación sísmica.

Un factor determinante para escoger el algoritmo de migración óptimo para la línea sísmica procesada fue el la relación/señal ruido, que en este caso se traduce en la aspecto visual de observar los eventos de la imagen del apilado resultante.

Esto se pudo comprobar con las opiniones de los expertos consultados. En primer lugar todos coincidieron en la gran semejanza de los resultados. Sin embargo dos prefirieron el algoritmo Kirchhoff y uno escogió el algoritmo de diferencias finitas omega-x.

Basado en el detallado estudio de los diferentes algoritmos de migración y las diferentes entrevistas a expertos en el área que fueron llevadas a cabo se concluye que el algoritmo de Kirchhoff es el método óptimo para migrar la línea sísmica procesada, ya que refleja una imagen mas equilibrada en cuanto al atributo señal-ruido comparada con las demás.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar una migración pre-apilamiento a la línea procesada para establecer una determinación más precisa de un algoritmo óptimo post-apilamiento para migrar dicha línea sísmica.

REFERENCIAS

1. Bancroft, J. C. (1998) A practical understanding of Pre- and Poststack Migrations. Volume II (Prestack). Course Notes Series, N° 7. Roger A. Young, series editor.
2. Bancroft, J. C. (1997) A practical understanding of Pre- and Poststack Migrations. Volume I (Poststack). Course Notes Series, N° 7. Roger A. Young, series editor.
3. Claerbout, J. F. (1985) Fundamentals of geophysical data processing; with applications to petroleum prospecting New York McGraw-Hill , ESTADOS UNIDOS
4. Claerbout, J. F. (1984) Imaging the Earth's interior. Stanford, California.
5. Cordsen, G. M. and Pierce, J. (2000) Planning Land 3-D Seismic Survey. Geophysical Developments series No.9. Society of Exploration Geophysicists.
6. Di Giulio, M. (1999) Curso de Procesamiento. Universidad Central de Venezuela. Inédito. Caracas.
7. Elcure, M. C. (1994) Evaluación de algoritmos de migración pre y post apilamiento, en tiempo y en profundidad. Trabajo especial de grado. Universidad Simón Bolívar. Caracas.
8. Gazdag, J. and Dubrulle, A. (1978) Wave equation migration with the phase-shift method. Society of Exploration. Geophysicists. Geophysics. Volume 43, No.7, p. 1342-1351.
9. Gazdag, J. y Dubrulle, A (1979) Migration by phase-shift-An algorithmic description for array processors. Society of Exploration. Geophysicists. Geophysics. Volume 44, No.10, p. 1661-1666.
10. Hsu, H. (1973.) Análisis de Fourier. México, DF. Fondo educativo interamericano S.A. 269 p.
11. Liner, C. (1999) Concepts of normal and dip moveout. Society of Exploration. Geophysicists. Geophysics .Volume 64, No.5, p. 1637-1647

12. Manzoni, S. (2001) Secuencia básica de procesamiento de data sísmica para obtener datos finales, orientada a estudiantes de Ingeniería Geofísica: Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Caracas.
13. Ministerio de energía y minas.(1997). Léxico estratigráfico de Venezuela. Tomo I. Caracas, Venezuela.
14. Quintero, J. (1998) Significado tectónico y procedencia mineralógica de las rocas clásticas de la formación Gobernador, flanco sur andino, Barinas tradicional. Trabajo de grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.
15. Sheriff, R. (2002) Encyclopedic Dictionary of Applied Geophysics. Society of Exploration Geophysicists, fourth edition.
16. Taner, T. and Koehler, F. (1981) Surface consistent corrections. Society of Exploration Geophysicists Geophysics Volume 46, No. 1, p. 17-22.
17. Velasquez, L. (2008) Análisis de métodos de corrección de estáticas por refracción en el levantamiento sísmico Junín 2D, CAMPO Junín, faja petrolífera del Orinoco, Venezuela. Tesis de grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas. Venezuela
18. World energy council (WEC) VENEZUELA. (1997) Evaluación de pozos. Caracas. Schlumberger.
19. Yilmaz, Ö. (1987) Seismic Data Processing, Society of Exploration Geophysicists, v. 1.
20. Yilmaz, Ö. (2001) Seismic Data Analysis: Processing, Inversion and Interpretation of Seismic Data. Society of Exploration Geophysicists, v. 1.

APENDICES

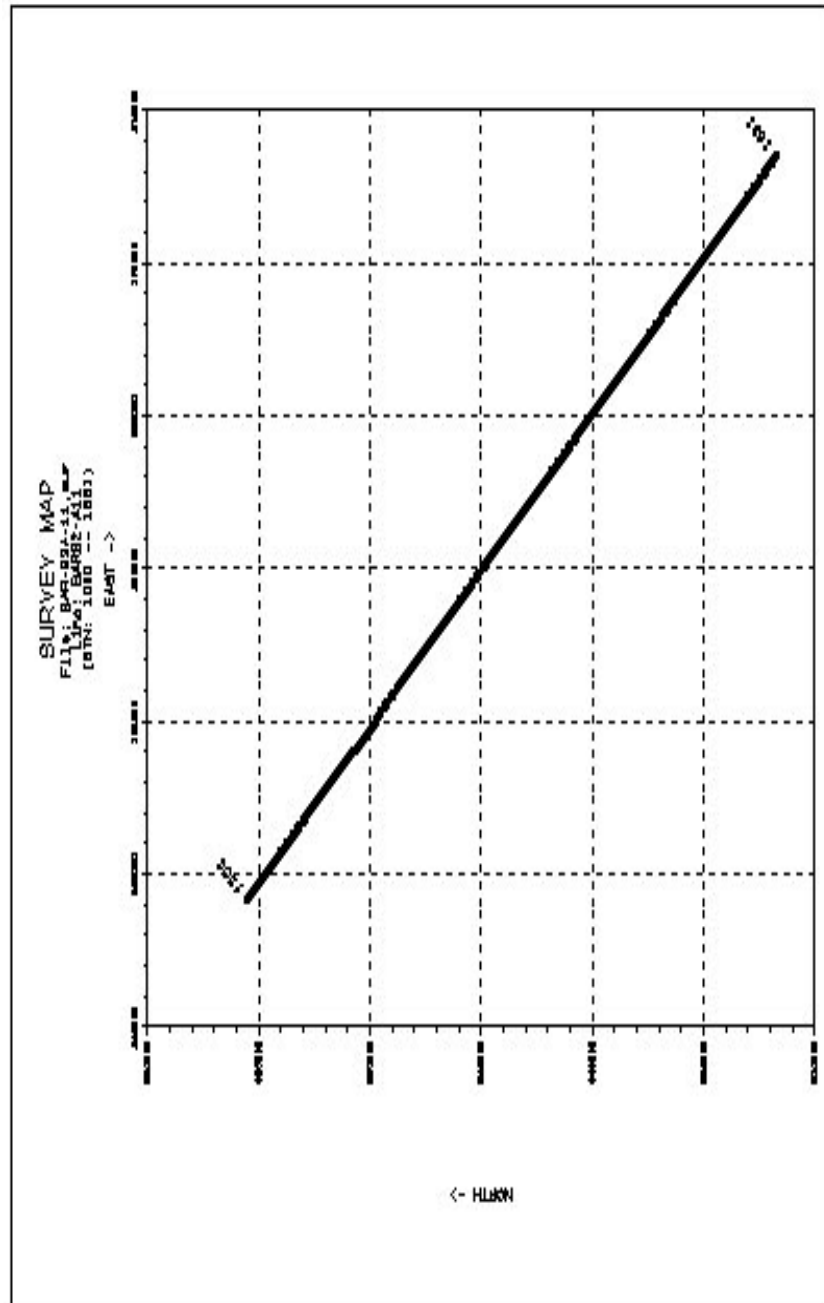


Figura 49. Interfaz grafica de la geometria de la linea en estudio

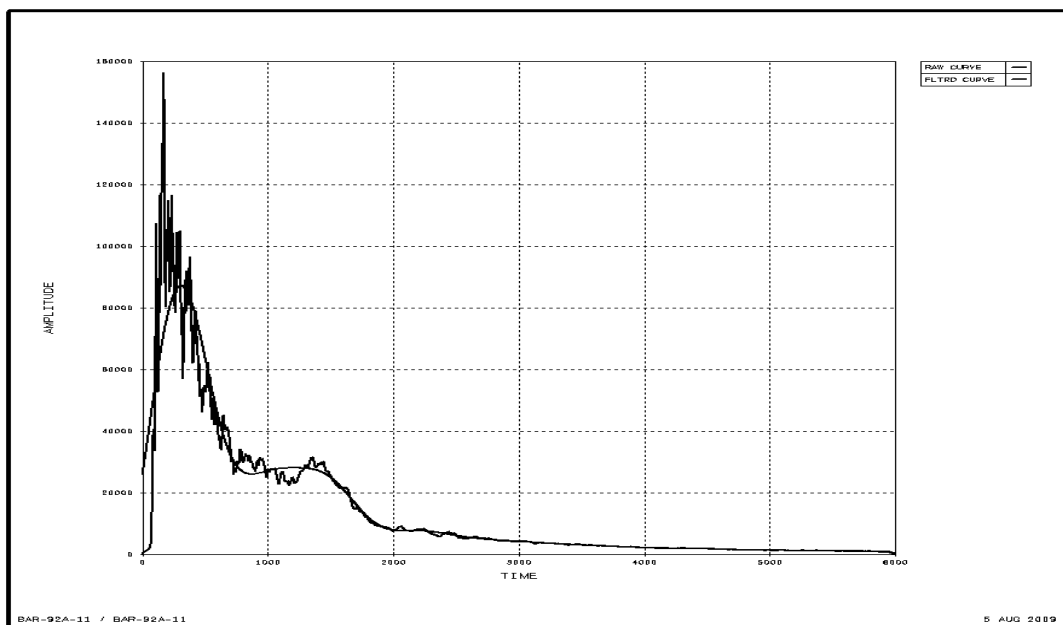


Figura 50. Curva amplitud vs tiempo para el disparo 130.

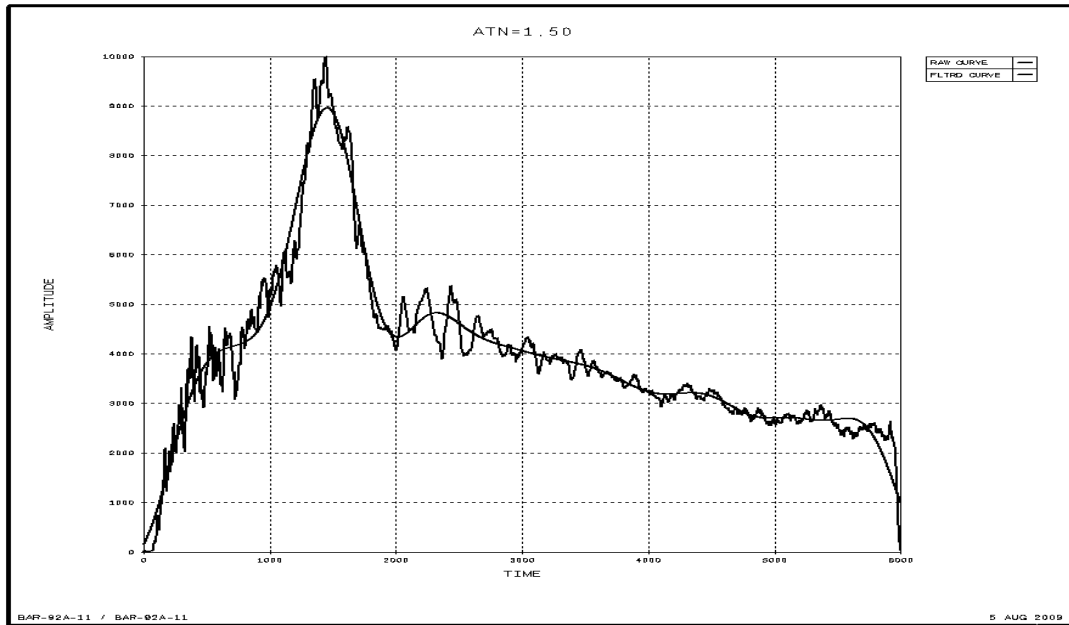


Figura 51. Curva amplitud vs tiempo para el disparo 130 con una función de ganancia del tipo ATN.

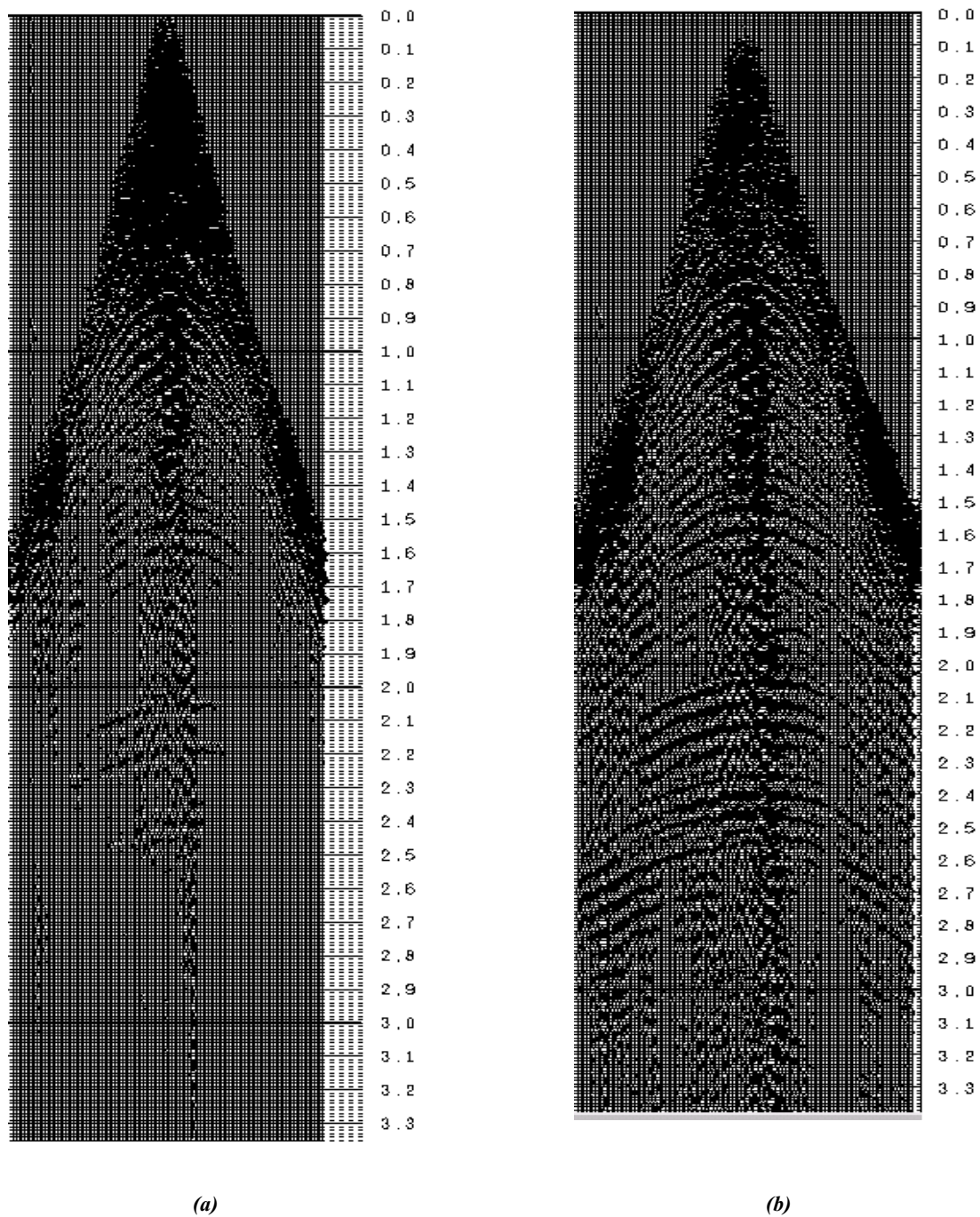
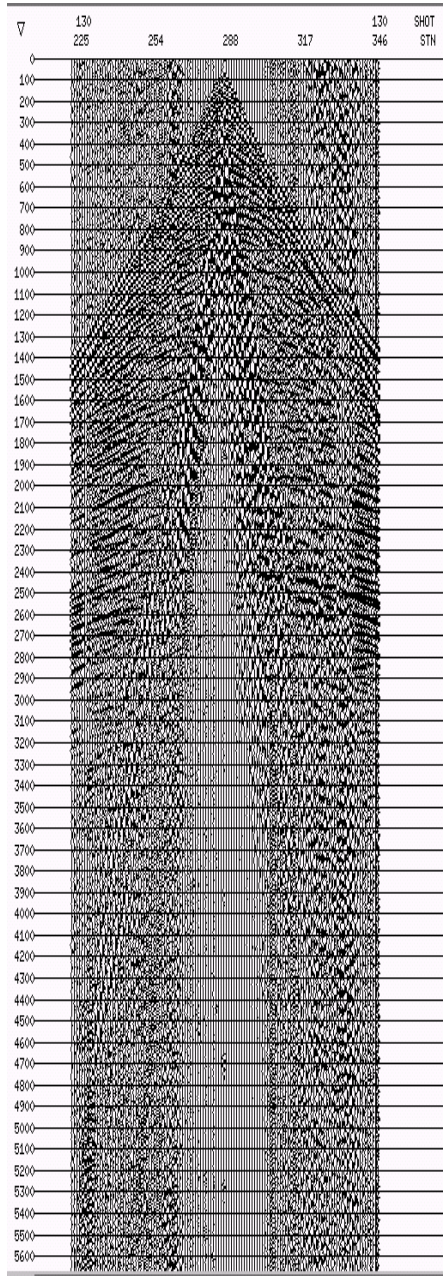
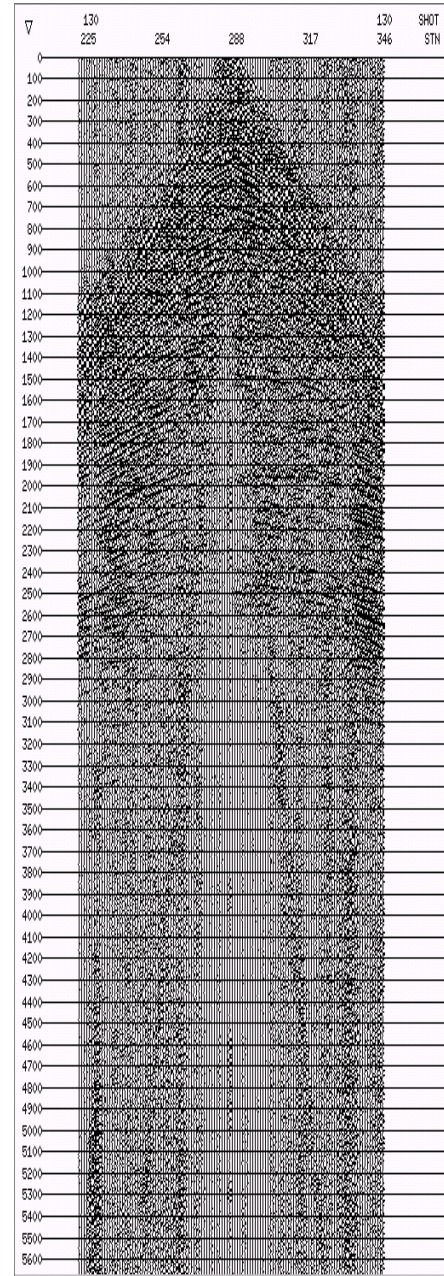


Figura 52. (a) Registro sísmico con amplitudes originales de la adquisición. (b) El mismo registro con una función de ganancia ATN.



(a)



(b)

Figura 53. (a) Registro sísmico crudo. (b) El mismo registro una vez aplicado procesos de deconvolución.

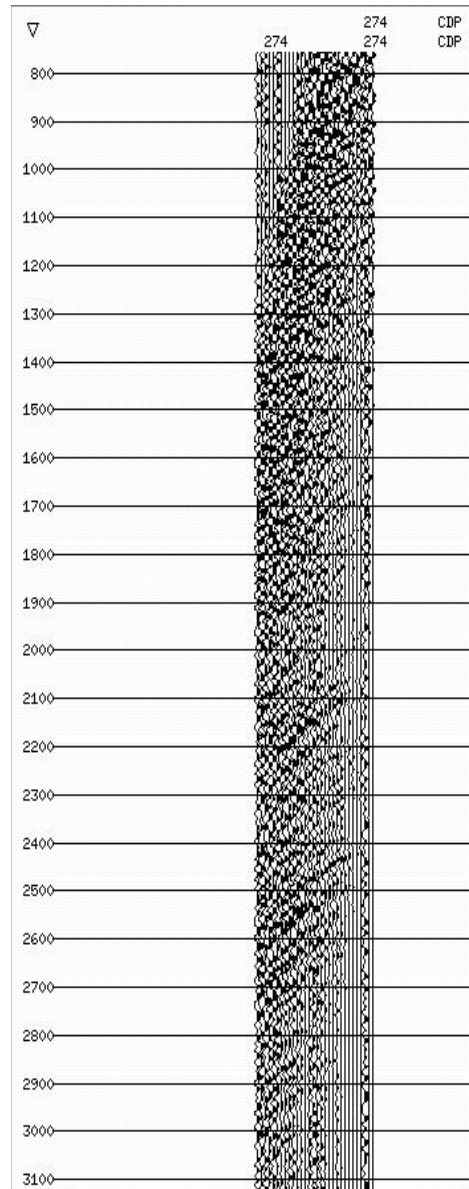


Figura 54. Vista de un CDP gather.

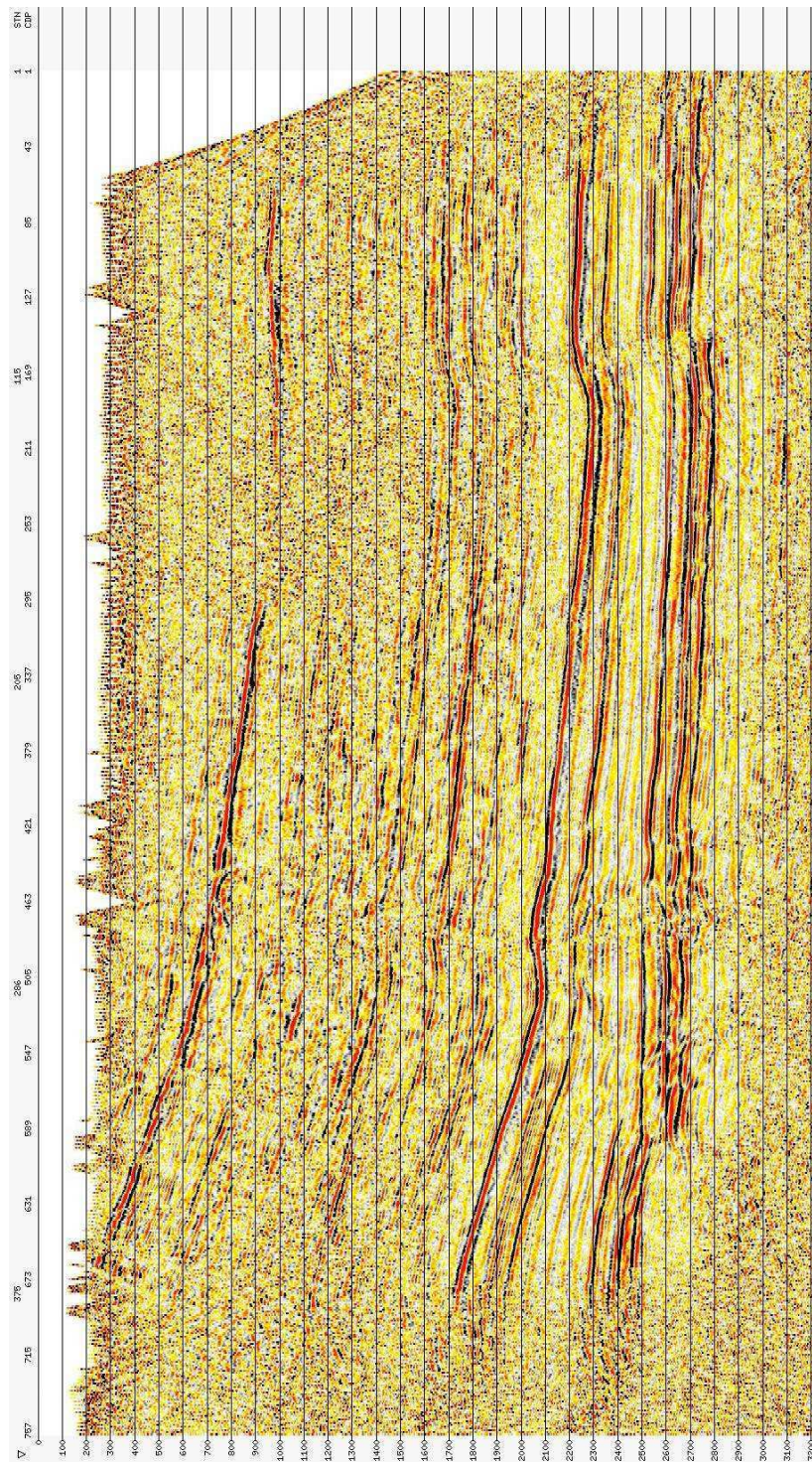


Figura 55. Apilamiento bruto.

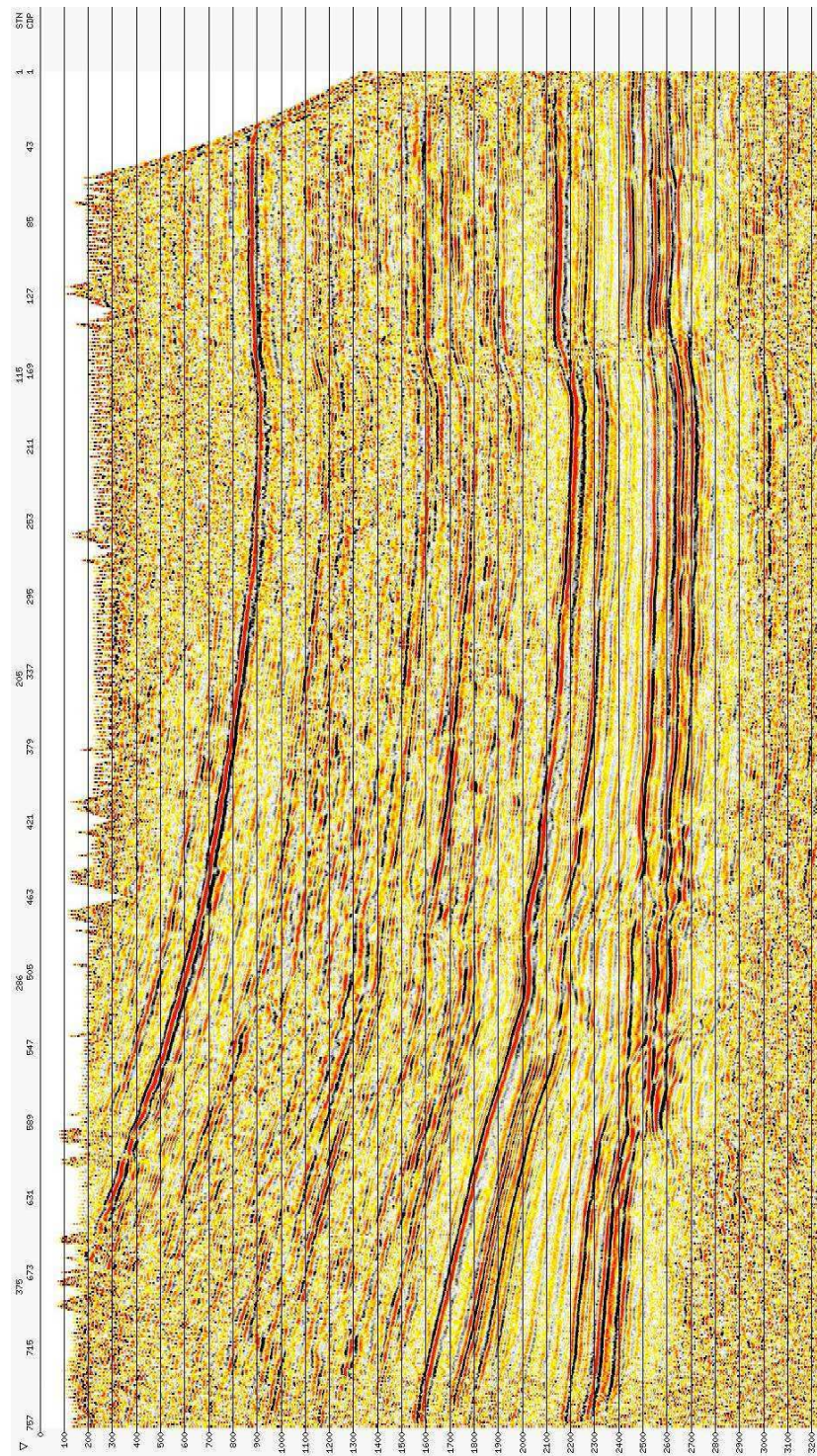


Figura 56. Apilamiento una vez aplicada las estáticas residuales no consistentes con la superficie.

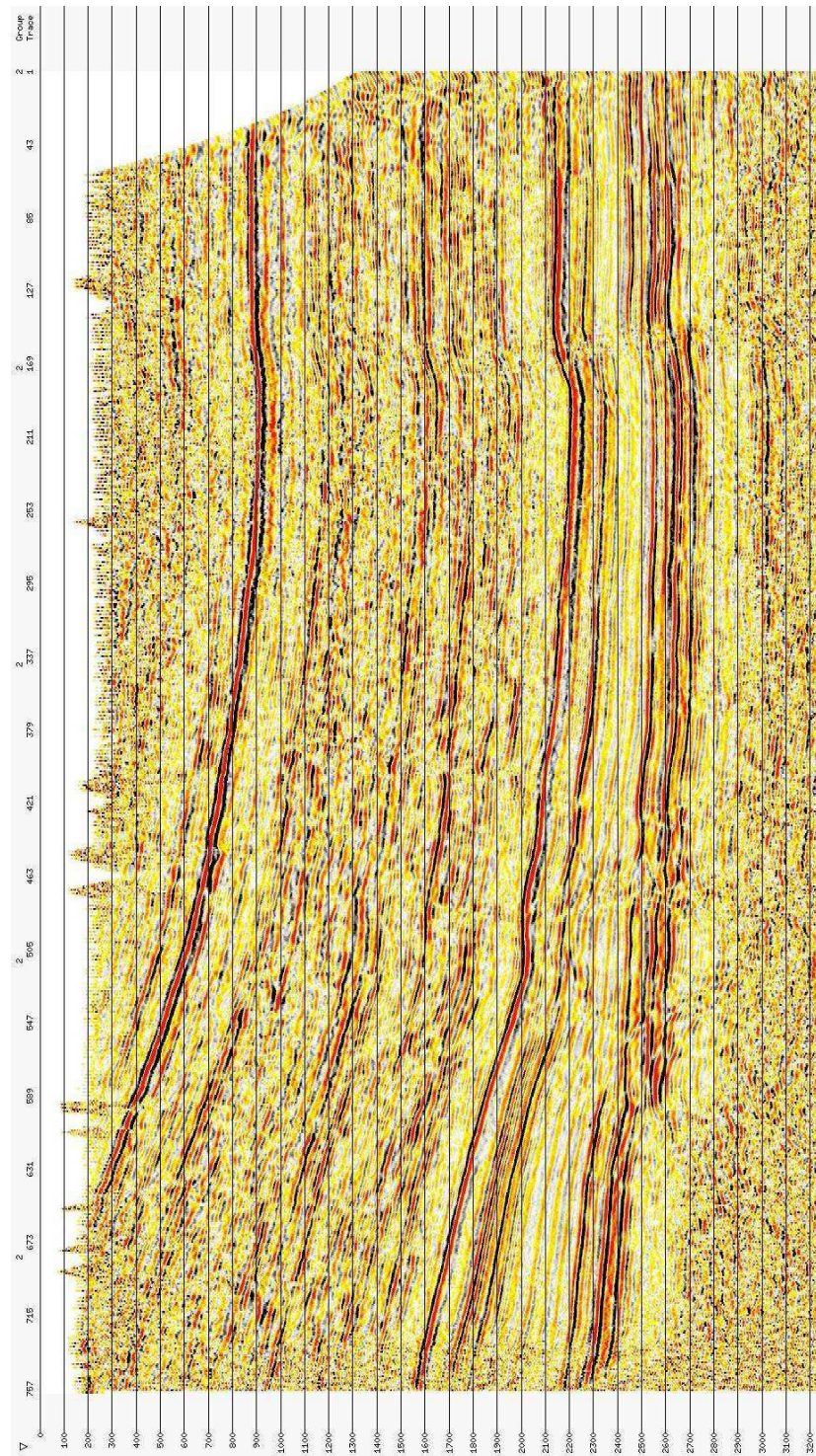


Figura 57. Apilamiento con corrección dinámica dependiente del buzamiento.