

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS
SINU SAN JACINTO 2D 2005



UNIÓN TEMPORAL
ALBORADA

INFORME FINAL

GRUPO SP-337

Diciembre de 2006

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| INTRODUCCION..... | 5 |
| 1. GENERALIDADES DEL PROYECTO SISMICO..... | 7 |
| 1.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO..... | 7 |
| 1.2. MARCO GEOLOGICO..... | 10 |
| 1.3. TABLA DE PARAMETROS POR LINEA A PROCESAR..... | 12 |
| 1.4. PARAMETROS DE ADQUISICIÓN..... | 12 |
| 2. PROCESAMIENTO..... | 14 |
| 2.1. PRUEBAS REALIZADAS..... | 14 |
| 2.1.1 Recuperación de Amplitudes..... | 16 |
| 2.1.2. Deconvolución..... | 20 |
| 2.1.3. Estáticas de Refracción..... | 24 |
| 2.1.4. Balanceo Espectral (TVSW)..... | 27 |
| 2.1.5. Velocidades (CVS)..... | 31 |
| 2.1.6. Migración Post-Apilado en Tiempo..... | 38 |
| 2.1.7. Filtros..... | 43 |
| 2.2 SECUENCIA DE PROCESAMIENTO..... | 48 |
| 2.2.1 Pre-Apilado..... | 48 |
| 2.2.2 Post-Apilado..... | 61 |
| 2.3 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESAMIENTO..... | 62 |
| 2.4 LISTADO DE CRUCES DEL PROYECTO..... | 63 |
| 2.5 PROGRAMAS PRINCIPALES..... | 64 |
| 2.5.1 Recuperación de Amplitudes..... | 64 |
| 2.5.2. Atenuación de Ruido (Despike)..... | 64 |
| 2.5.3. Deconvolución..... | 65 |
| 2.5.4. Estáticas por Refracción..... | 66 |
| 2.5.5. Estáticas Residuales..... | 71 |
| 2.5.6. Migración..... | 71 |
| 2.5.7. Deconvolución Espacial y Temporal (F-X DECON)..... | 73 |
| 2.6 PRODUCTOS FINALES..... | 74 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Cluster de Producción PGS..... | 5 |
| Figura 1.1. Ubicación Geográfica del Proyecto SINU-SAN JACINTO 2D. | 7 |
| Figura 1.2. Localización de Líneas Bloque Sur. SINU-SAN JACINTO 2D. | 8 |
| Figura 1.3. Localización de Líneas Bloque Norte. SINU-SAN JACINTO 2D. | 9 |
| Figura 1.4. Geología Superficial Bloque SINU-SAN JACINTO 2D. | 11 |
| Figura 2.1. Registro Crudo. | 14 |
| Figura 2.2. Espectro de Frecuencias. Registro Crudo..... | 15 |
| Figura 2.3. Apilado con Corrección por Divergencia Esférica = $1/tv^{1.5}$ | 16 |
| Figura 2.4. Apilado con Corrección por Divergencia Esférica = $1/tv^2$ | 17 |
| Figura 2.5. Apilado con Corrección por Divergencia Esférica = $1/tv^{2.5}$ | 18 |
| Figura 2.6. Apilado sin Recuperación de Amplitudes. | 19 |
| Figura 2.7. Apilado con Recuperación de Amplitudes. Div. Esf= $1/tv^2 + 1$ dB/seg. | 20 |
| Figura 2.8. Apilado con Deconvolución. Long. Op. 220 mseg, Dist. de Pred. 8 ms)..... | 21 |
| Figura 2.9. Apilado con Deconvolución. Long. Op. 220 mseg, Dist. de Pred. 16 ms)..... | 22 |
| Figura 2.10. Apilado con Deconvolución / Long Op. 220, Long. Op. 24 mseg | 22 |
| Figura 2.11. Apilado con Deconvolución. Long. Op. 220 mseg, Dist. de Pred. 32 ms)..... | 22 |
| Figura 2.12. Apilado sin Deconvolución. | 24 |
| Figura 2.13. Distribución de primeros arribos..... | 25 |
| Figura 2.14. Modelo de velocidades de la primera capa de refracción. | 25 |
| Figura 2.15. Apilado con Estáticas de Elevación..... | 26 |
| Figura 2.16. Apilado con Estáticas de Refracción. | 27 |
| Figura 2.17. Apilado con Deconvolución y sin TVSW | 28 |
| Figura 2.18. Apilado con TVSW 6-70 Hz..... | 29 |
| Figura 2.19. Apilado con TVSW 6-80 Hz..... | 29 |
| Figura 2.20. Apilado con TVSW 12-70 Hz..... | 30 |
| Figura 2.21. Apilado Residuales 1er. Paso. CVS 2000 m/seg. | 31 |
| Figura 2.22. Apilado Residuales 1er. Paso. CVS 2800 m/seg. | 32 |
| Figura 2.23. Apilado Residuales 1er. Paso. CVS 3200 m/seg. | 33 |
| Figura 2.24. Apilado Residuales 1er. Paso. CVS 3600 m/seg. | 34 |
| Figura 2.25. Apilado Residuales 1er. Paso. CVS 4000 m/seg. | 35 |
| Figura 2.26. Apilado Residuales 1er. Paso. CVS 4400 m/seg. | 36 |
| Figura 2.27. Apilado Residuales 1er. Paso. CVS 4800 m/seg. | 37 |
| Figura 2.28. Apilado Residuales 1er. Paso. | 38 |
| Figura 2.29. Migración. Velocidad 80 %. | 39 |
| Figura 2.30. Migración. Velocidad 90 %. | 40 |
| Figura 2.31. Migración. Velocidad 100 %. | 41 |
| Figura 2.32. Migración. Velocidad 110 %. | 42 |
| Figura 2.33. Migración. Filtro 10 -20 Hz. | 43 |
| Figura 2.34. Migración. Filtro 20 -30 Hz. | 44 |
| Figura 2.35. Migración. Filtro 30 -40 Hz. | 45 |
| Figura 2.36. Migración. Filtro 40 -50 Hz. | 46 |
| Figura 2.37. Migración. Filtro 50 -60 Hz. | 47 |
| Figura 2.38. Registro Crudo convertido a Formato CM..... | 48 |
| Figura 2.39. Distribución de Líneas del Bloque Sur. Proyecto Sinu-San Jacinto 2D. | 49 |
| Figura 2.40. Registro con Divergencia Esférica y Ganancia Logarítmica. | 50 |
| Figura 2.41. Apilado Estáticas de Refracción..... | 51 |
| Figura 2.42. Registro con Atenuación de Ruido. Despike..... | 52 |

| | |
|--|----|
| Figura 2.43. Registro con Atenuación de Ruido. FK. | 53 |
| Figura 2.44. Registro con Deconvolución..... | 54 |
| Figura 2.45. Registro con Deconvolución y Balanceo Espectral. | 55 |
| Figura 2.46. Apilado Estáticas de Refracción. Velocidades 1. | 56 |
| Figura 2.47. Apilado Estáticas Residuales 1. Velocidades 1..... | 57 |
| Figura 2.48. Análisis de Velocidades 2..... | 58 |
| Figura 2.49. Apilado Estáticas Residuales 2. Velocidades 2..... | 59 |
| Figura 2.50. Migración..... | 60 |
| Figura 2.51. Elevaciones Proyecto Sinu-San Jacinto 2D. | 68 |
| Figura 2.52. Tiempos de Retraso. Proyecto Sinu-San Jacinto 2D. | 69 |
| Figura 2.53. Velocidades del Refractor. Proyecto Sinu-San Jacinto 2D. | 69 |
| Figura 2.54. Elevaciones del Refractor. Proyecto Sinu-San Jacinto 2D..... | 70 |
| Figura 2.55. Estáticas de Refracción. Proyecto Sinu-San Jacinto 2D..... | 70 |
| Figura 2.56. Velocidades de Apilamiento. Línea ANH-SS-2005-08. | 72 |
| Figura 2.57. Velocidades de Migracion. Línea ANH-SS-2005-08. | 73 |

INTRODUCCION

PGS tiene centros de proceso de datos establecidos estratégicamente alrededor del mundo y ofrece la flexibilidad de entregar servicios de proceso de datos en posiciones remotas y en todos los grupos sísmicos de PGS. Ofrecemos servicios de procesamiento de alta calidad para datos terrestres, marinos y de transición. Nuestras ventajas en los servicios de procesamiento son: gente, tecnología, entrega, proceso, calidad y capacidad.

Los servicios de proceso de datos de PGS utilizan recursos de un centro global de computo (Mega Centro de Proceso) el cual consiste en tres centros excelentes de computo situados en Houston, Londres, y Perth. La gran capacidad de conectividad entre los tres centros, ofrece a PGS la capacidad de utilizar eficientemente la capacidad mundial para todos nuestros servicios de proceso. Nuestra tecnología del sistema de computo se basa en la moderna tecnología de PC cluster.

PGS ha sido responsable de muchas innovaciones en el campo del procesado sísmico 3D, siendo un pionero durante el crecimiento de la exploración sísmica 3D. Nos centramos en proyección de imagen sísmica mejorada y realizada, y en entregar soluciones geofísicas. Cube Manager™ es el sistema de proceso sísmico, propiedad de PGS; funciona en plataformas Linux, aprovechándose la de tecnología de proceso en paralelo (MPP) y PC clusters.



Figura 1. Cluster de Producción PGS.

El proceso del Estudio **SINU – SAN JACINTO 2D** fue realizado en el Centro de Proceso de **PGS**, en Houston, TX. El procesado involucro un total de 16930 SP, dividido en 10 líneas, con una extensión de 886.0 Km. Las 10 líneas procesadas son las siguientes:

| LINEA |
|----------------|
| ANH-SS-2005-01 |
| ANH-SS-2005-02 |
| ANH-SS-2005-03 |
| ANH-SS-2005-04 |
| ANH-SS-2005-05 |
| ANH-SS-2005-06 |
| ANH-SS-2005-07 |
| ANH-SS-2005-08 |
| ANH-SS-2005-10 |
| ANH-SS-2005-12 |

Cada uno de los procesos aplicados y sus parámetros fueron definidos a partir de los resultados obtenidos de las pruebas realizadas para la selección de los parámetros óptimos de proceso. La calidad de los resultados obtenidos refleja la complejidad del área, afortunadamente se contó con el apoyo de intérpretes de la ANH, lo cual permitió enfocar el procesado desde un punto de vista geológico y geofísico.

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO SISMICO.

El programa sísmico SINU SAN JACINTO se realizó entre los días 22 de mayo y 2 de diciembre de 2006 para la AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS y comprendió 886.0 Km. de topografía, 16130 pozos de perforación más 800 pozos adicionales y 16930 registros de pozos desarrollándose en los departamentos de Córdoba, Sucre, Bolívar, Atlántico y Magdalena.

1.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO.

El programa sísmico SINU SAN JACINTO 2D 2005 esta localizado al Norte del país sobre la Cuenca Caribe Colombiana y contiene líneas que inician en la zonas costeras del mar Caribe. La Figura 1.1 muestra la ubicación geográfica del Proyecto.

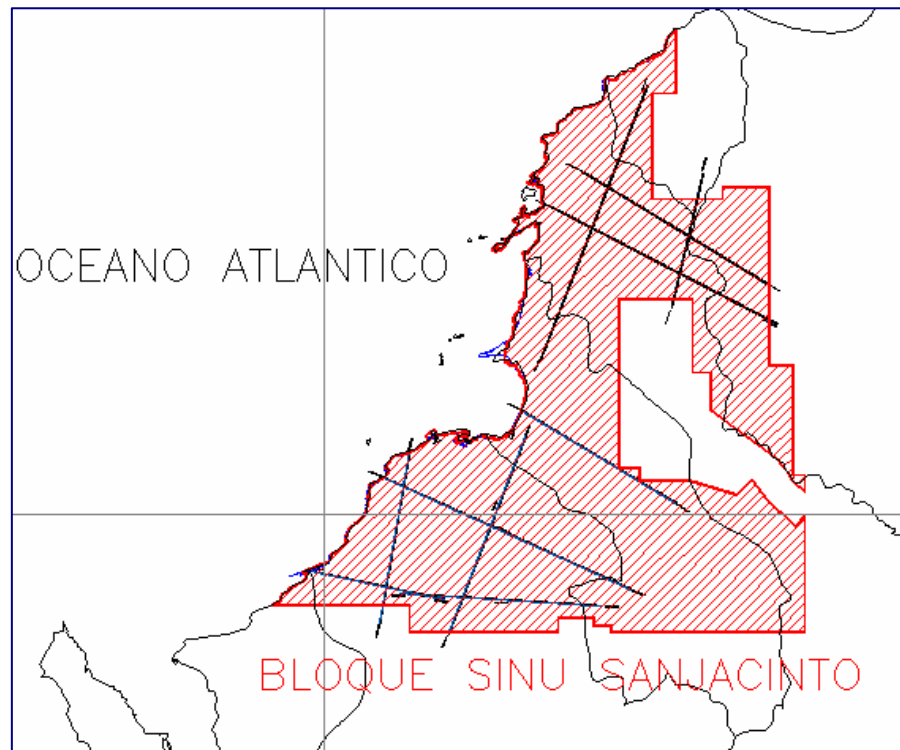


Figura 1.1. Ubicación Geográfica del Proyecto SINU-SAN JACINTO 2D.

Para el procesamiento de la información se considero conveniente dividir el Proyecto en dos bloques, Norte y Sur. En la Figura 1.1, se puede apreciar que no hay continuidad o cruces de líneas.

La separación en bloque nos permitirá obtener una solución de Estáticas de Refracción, única para cada uno de los bloques, siguiendo la metodología de PGS, evitando de esta manera, posibles “time-shift” en los cruces entre líneas. En las Figuras 1.2 y 1.3, se muestra los bloques, Norte y Sur, en los cual fue dividido el Proyecto para su procesamiento.

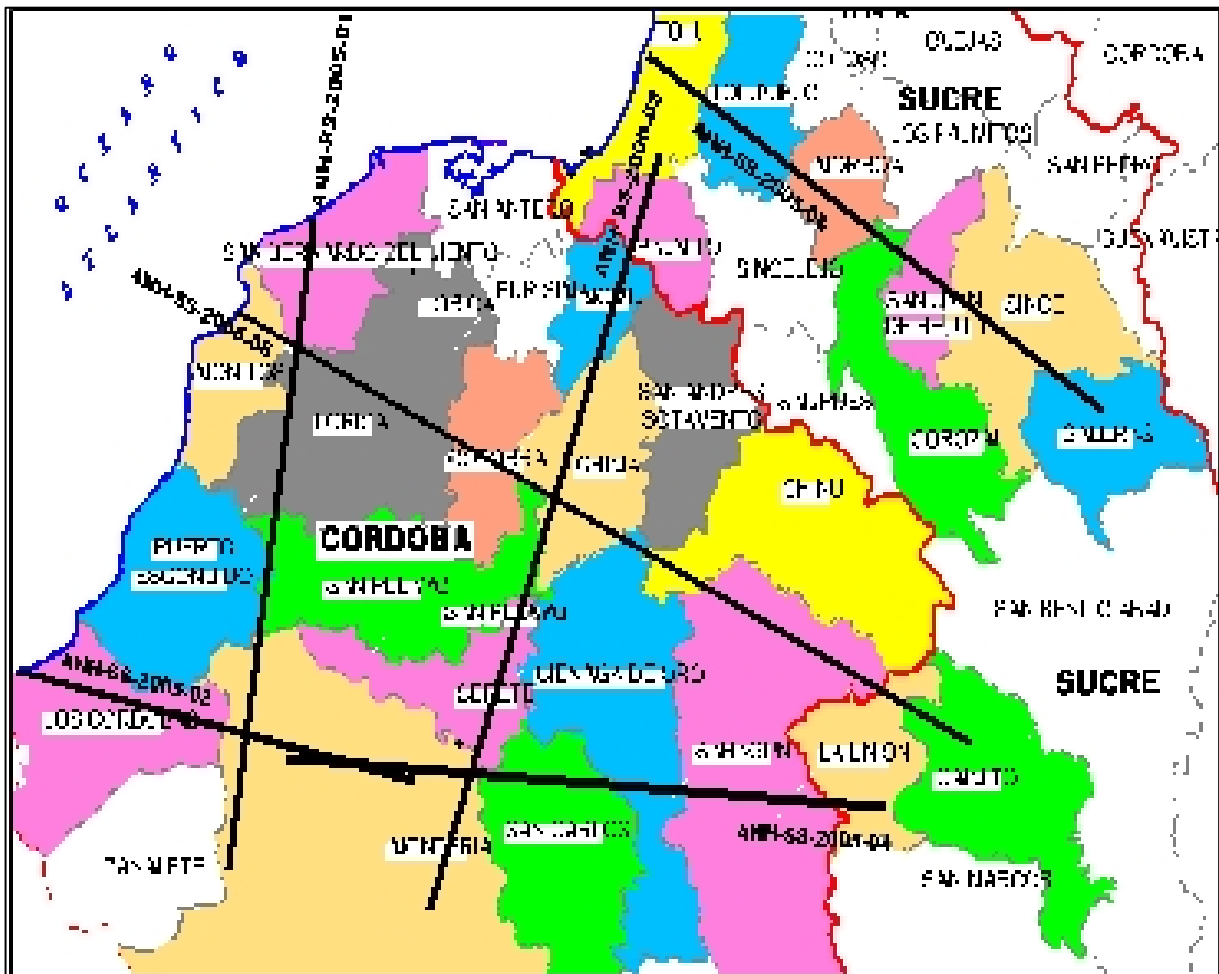


Figura 1.2. Localización de Líneas Bloque Sur. SINU-SAN JACINTO 2D.

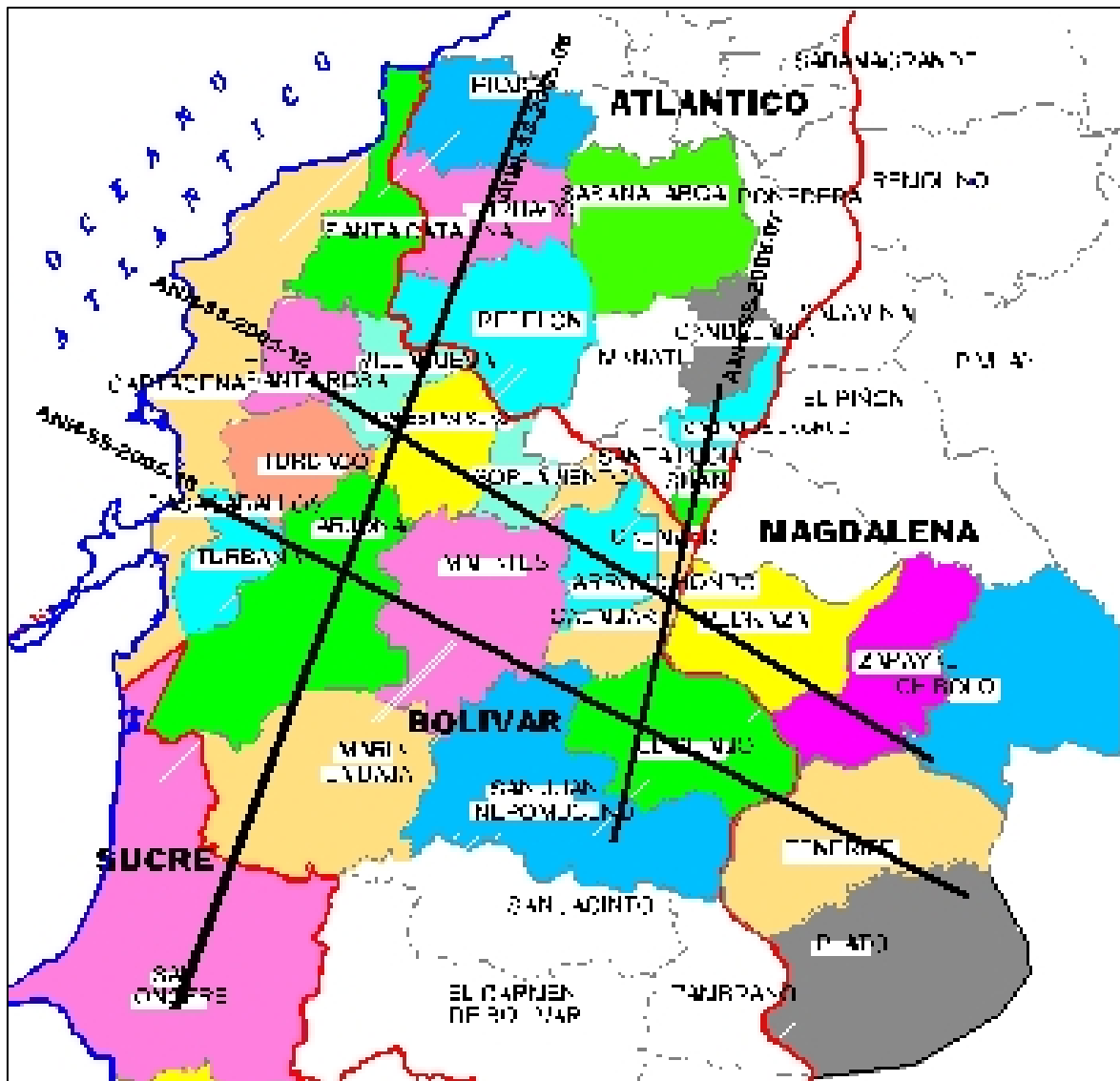


Figura 1.3. Localización de Líneas Bloque Norte. SINU-SAN JACINTO 2D.

1.2. MARCO GEOLOGICO

- El área del Programa Sísmico Sinú-San Jacinto 2D 2005, como parte integral del borde occidental de la Cuenca del VIM y de los Cinturones de San Jacinto y del Sinú, debe ser tenida en cuenta como un área con potencial para acumulación de reservas de hidrocarburos, más aún si se tiene en cuenta que allí se ha encontrado hidrocarburo en trampas estructurales asociadas a pliegues anticlinales, altos de paleo-basamento, monoclinales fallados y trampas combinadas estructurales-estratigráficas. En la Figura 1.4 se muestra un mapa de Geología Superficial.

- De lo anterior se podría deducir que en esta área se conjugan condiciones favorables para la carga de petróleo. Es decir, la mayor parte, sino la totalidad, de los hidrocarburos encontrados deben ser crudos expulsados desde arcillolitas ricas en materia orgánica y calizas de la Fm. Cansona.

- Las rocas con potencial para ser consideradas reservorio pertenecen a unidades paleógenas y neógenas. Estas unidades corresponden a depósitos turbidíticos (Fm. San Cayetano del Paleoceno tardío-Eoceno temprano), depósitos deltáicos (Fm. San Jacinto del Eoceno tardío – Oligoceno temprano y Fm. Ciénaga de Oro del Oligoceno-Mioceno temprano), depósitos de abanicos submarinos (Mb. Arenisca del Oso de la Fm. El Carmen del Oligoceno temprano-Mioceno temprano y Fm. Porquera del Mioceno temprano), depósitos fluviales (Fm. Mucacal del Mioceno medio) y depósitos arenosos de plataforma (Fm. Hibácharo del Mioceno medio). Las calizas de la Fm. Toluviejo (del Eoceno medio), de la Fm. Chengue (del Eoceno medio) y de la Fm San Cayetano, serían potenciales reservorios secundarios. Como es evidente, todas estas rocas reservorio pertenecen al Cinturón de San Jacinto. Arenitas conglomeráticas y conglomerados arenosos de la Fm. Manatíal (unidad no observada en este estudio) son consideradas como las rocas con más alto potencial petrolífero en el Cinturón del Sinú (Ingeominas-Geotec, 2003).

- Las Formaciones El Carmen (del Oligoceno temprano-Mioceno temprano), San Onofre (del Mioceno medio), Jesús del Monte (del Mioceno medio) y El Cerrito (del

Mioceno tardío), poseen intervalos arcillosos y lodosos importantes que podrían actuar como excelentes rocas sello de hidrocarburos.

• Resumiendo, las zonas dentro del área del Programa Sísmico Sinú-San Jacinto 2D 2005 con mayores posibilidades para el hallazgo de hidrocarburos, se ubican en el Cinturón de San Jacinto. En la región del Cinturón del Sinú, las zonas con potencial para la producción de hidrocarburos, están relacionadas a sistemas de diapiros de lodo. La búsqueda de hidrocarburos en el Cinturón de San Jacinto, debe enfocarse en posibles trampas estructurales asociadas principalmente a los pliegues:

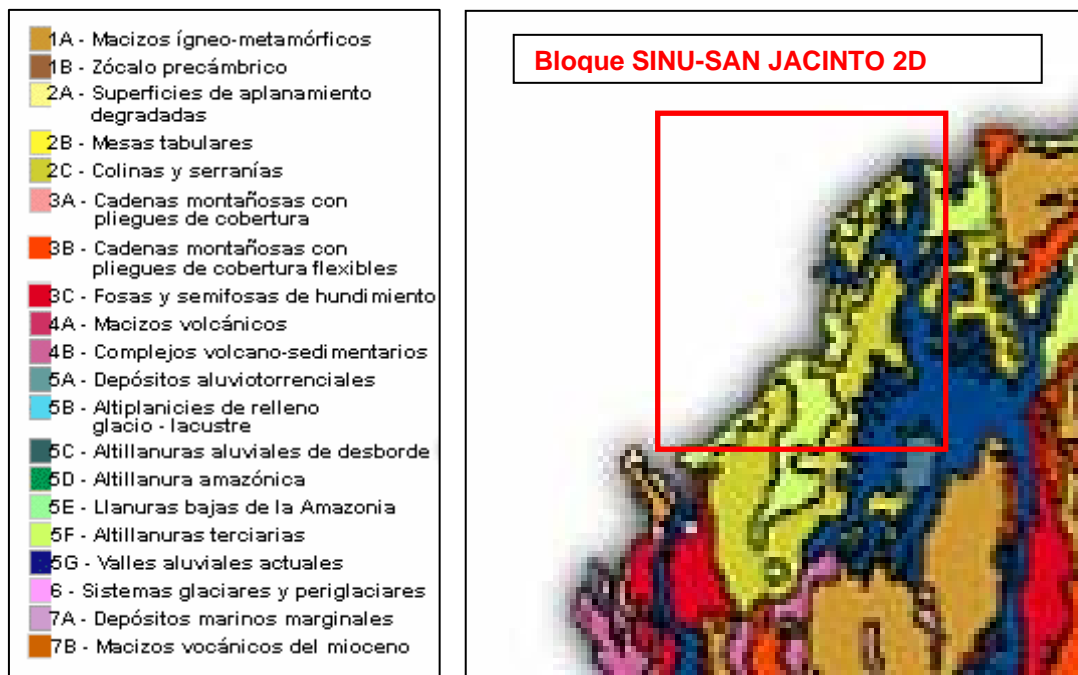


Figura 1.4. Geología Superficial Bloque SINU-SAN JACINTO 2D.

1.3. TABLA DE PARAMETROS POR LINEA A PROCESAR

| No. | LINEA | INT./SP (m) | INT./RE C (m) | RANGO SP'S | No. SP'S | LONG. (Km) |
|-----|----------------|-------------|---------------|------------|----------|------------|
| 1 | ANH-SS-2005-01 | 50 | 20 | 841-3785 | 1313 | 73.60 |
| 2 | ANH-SS-2005-02 | 50 | 20 | 841-3183 | 1012 | 58.50 |
| 3 | ANH-SS-2005-03 | 50 | 20 | 841-4459 | 1650 | 90.45 |
| 4 | ANH-SS-2005-04 | 50 | 20 | 841-4295 | 1568 | 86.35 |
| 5 | ANH-SS-2005-05 | 50 | 20 | 841-5811 | 2326 | 124.50 |
| 6 | ANH-SS-2005-06 | 50 | 20 | 841-5473 | 2157 | 115.80 |
| 7 | ANH-SS-2005-07 | 50 | 20 | 841-3203 | 1022 | 59.50 |
| 8 | ANH-SS-2005-08 | 50 | 20 | 841-3879 | 1360 | 75.95 |
| 9 | ANH-SS-2005-10 | 50 | 20 | 841-5203 | 2022 | 109.05 |
| 10 | ANH-SS-2005-12 | 50 | 20 | 841-4479 | 1700 | 92.95 |

1.4. PARAMETROS DE ADQUISICIÓN

| Receptores y fuentes | |
|----------------------------------|-------|
| Número de líneas | 10 |
| Intervalo de grupo (m) | 20 |
| Número de receptores programados | 32250 |
| Número de receptores de cola | 3200 |
| Total receptores | 35450 |
| Intervalo de fuente (m) | 50 |
| Número de fuentes programadas | 16130 |
| Número de fuentes de cola | 800 |
| Total de fuentes | 16930 |

| Arreglo de Geometría | |
|-------------------------------|--------------------------|
| Tipo de tendido | Simétrico (split spread) |
| Total número de Canales vivos | 640 |
| Cubrimiento Nominal (Fold) | 160 |
| Mínimo Offset (m) | 12.5 |
| Maximum Offset (m) | 7987.5 |

| Registro | | |
|------------------------------|---|---|
| Sistema de Registro | SERCEL SN 408UL | SERCEL SN 408XL |
| Filtro de corte bajo | No Aplicado | No Aplicado |
| Filtro Anti Alias | 0.8 N. Fase Mínima (200 Hz, 370 Db/octava) | 0.8 N. Fase Mínima (200 Hz, 370 Db/octava) |
| Filtro Notch | No Aplicado | No Aplicado |
| Ganancia de Preamplificación | 12 dB | 12 dB |
| Intervalo de muestreo | 2 ms | 2 ms |
| Longitud de registro | 12 s. | 12 s. |
| Formato de registro | SEG D 8058 IEEE | SEG D 8058 IEEE |
| Cintas | 3490 E | 3490 E |
| Densidad | 72340 BPI | 72340 BPI |
| Canales auxiliares | 2 | 2 |
| Auxiliar 1 | Digital: Encoder (TB) | Digital: Encoder (TB) |
| Auxiliar 2 | Decoder TB + Confirmation Time Break(CTB)+analogue Uht | Decoder TB + Confirmation Time Break(CTB)+analogue Uht |
| Sistema de Disparo | PELTON SHOTPRO II | SGD-S |

| Geófonos | | |
|-------------------------|------------------------|---------------------|
| Modelo | SM24 | SG-10 |
| Configuración | 6 geófonos en serie | 6 geófonos en serie |
| Natural Frequency | 10 Hz +/- 2 % | 10 Hz +/- 2.5 % |
| Open Circuit Damping | 0.25 | 0.68 +/- 5 % |
| Damping with 1339 | 0.6 more 5/-0 % | |
| Sensitivity | 28.8 V/m/sec | 22.8 V/m/sec |
| Distorsión | 0.105 or less | 0.075 % or less |
| Coil Resistance | 375 Ohm | 350 Ohm +/-2.5 % |
| Resist. Amortiguamiento | 1000 Ohm | N/A |

2. PROCESAMIENTO

En términos generales la información sísmica es de buena calidad, considerando la complejidad geológica del área. Se aprecia con claridad la presencia de rasgos geológico-estructurales interesantes.

2.1. PRUEBAS REALIZADAS

La primer Línea del Proyecto recibida fue la ANH-SSP-2005-08, por tanto fue la que se considero para la realización de las pruebas de parámetros de proceso, en la Figura 2.1, se muestra un registro característico de esta Línea, y en la Figura 2.2. el Espectro de Frecuencias del mismo.

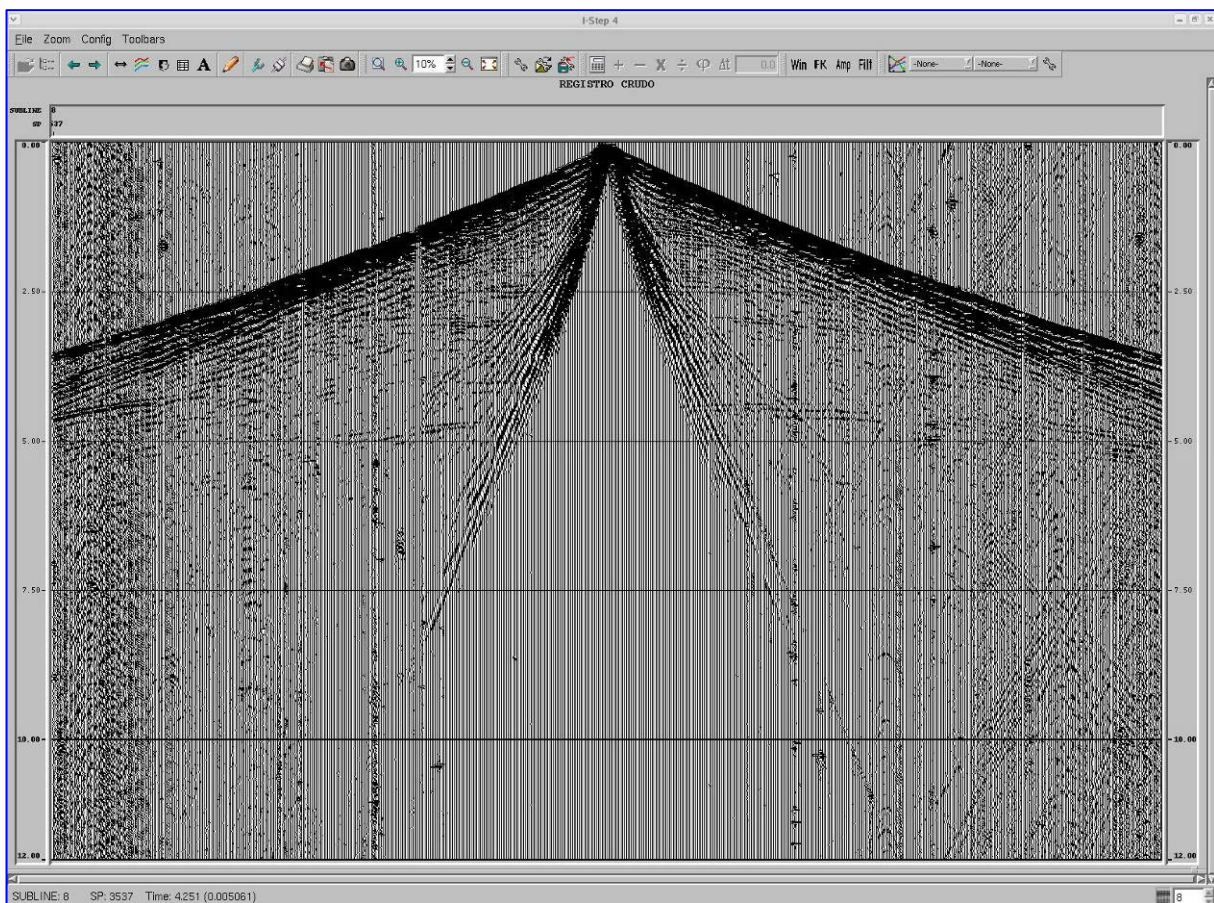


Figura 2.1. Registro Crudo.

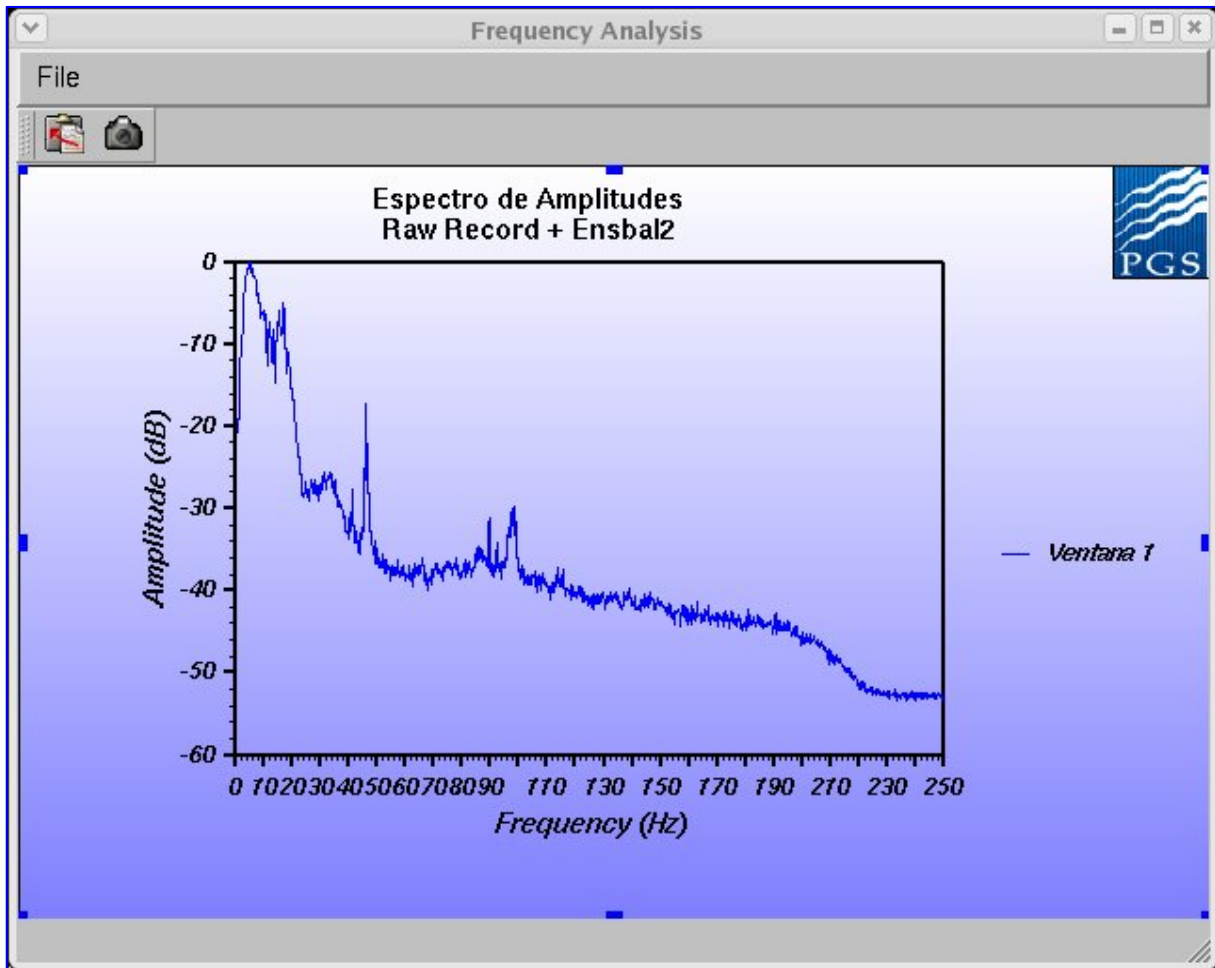


Figura 2.2. Espectro de Frecuencias. Registro Crudo.

Las pruebas realizadas incluyeron los siguientes procesos:
Recuperación de Amplitudes, Deconvolución, Blanqueo Espectral (TVSW), Estáticas de Refracción, Migración y Filtros.

2.1.1 Recuperación de Amplitudes

Se realizaron pruebas de recuperación de amplitudes utilizando diferentes funciones de compensación, tales como corrección por divergencia esférica ($1/\text{dist}$, $1/t^m v^n$), ganancia logarítmica en dB/s (1 a 6), Ganancia exponencial (coef=1.5, 2, y 2.5) y combinación de las mismas. Las Figuras 2.3, 2.4 y 2.5, corresponden a algunas de las pruebas realizadas

El mejor resultado se obtuvo al combinar la corrección por divergencia esférica del tipo $1/t^m v^n$, donde $m=1$ y $n=2$, y ganancia logarítmica de 1 dB/s de 0 a 12 segundos. Las Figuras 2.6 y 2.7 muestran los apilados sin y con recuperación de amplitudes, los cuales fueron graficados sin ningún tipo de ganancia para apreciar el efecto de balanceo de amplitudes.

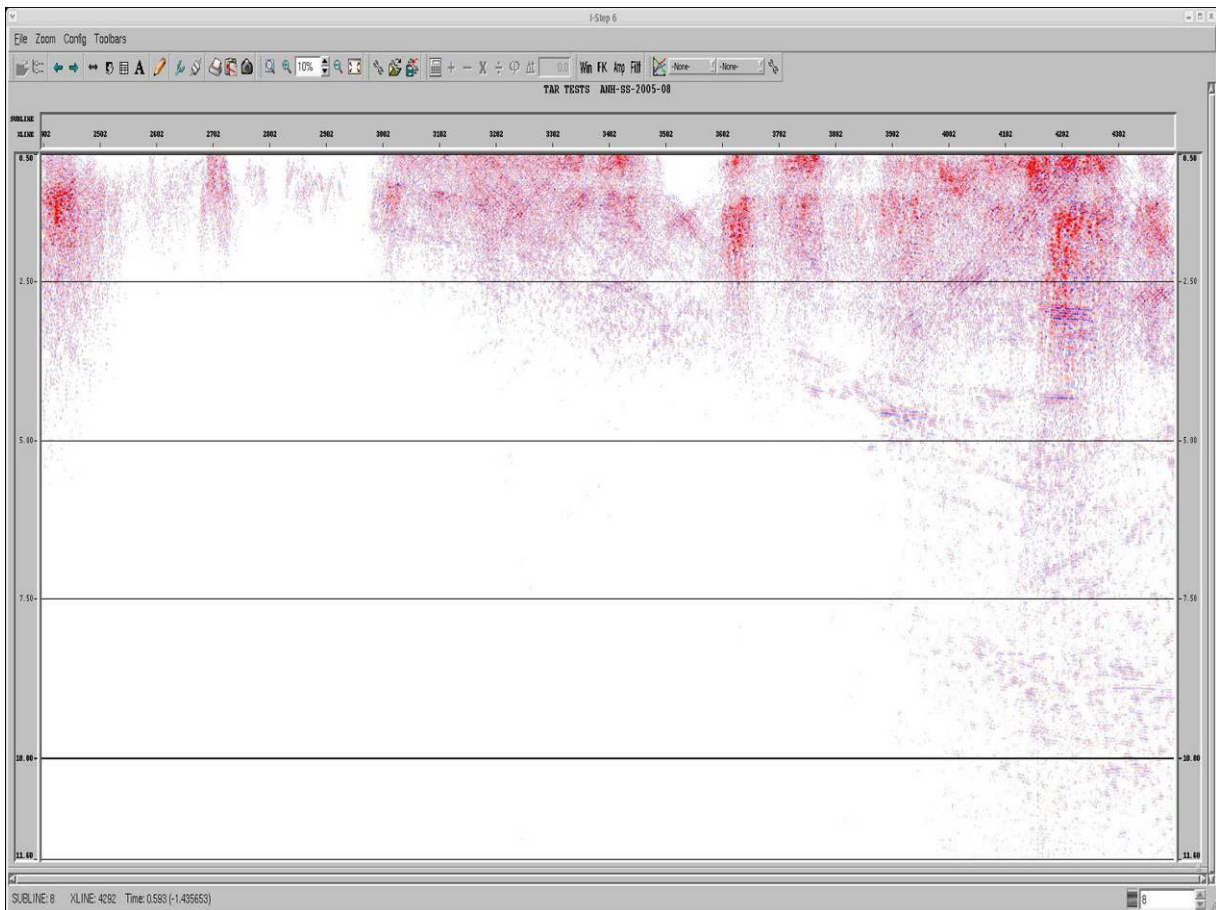


Figura 2.3. Apilado con Corrección por Divergencia Esférica = $1/tv^{1.5}$

Figura 2.4. Apilado con Corrección por Divergencia Esférica = $1/t^2$

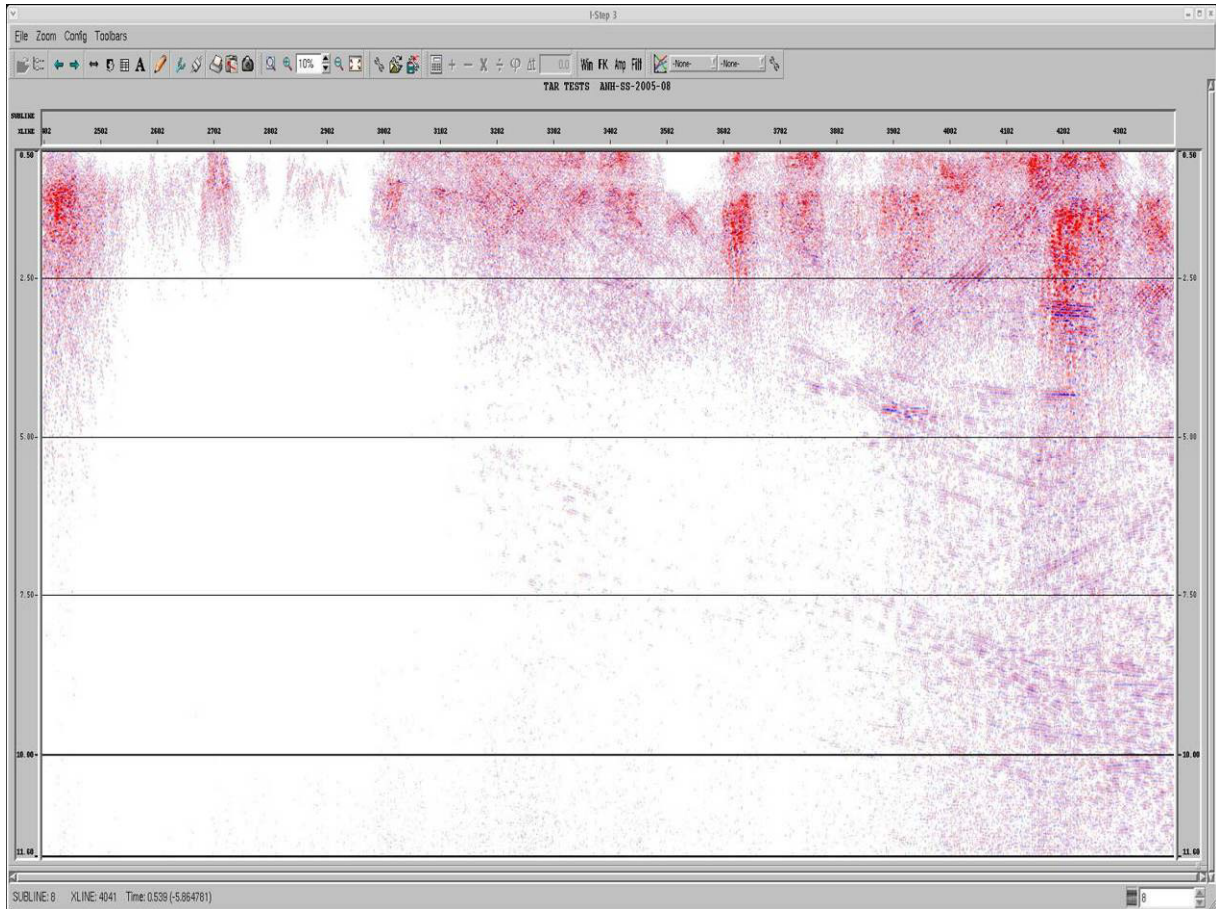


Figura 2.5. Apilado con Corrección por Divergencia Esférica = $1/tv^{2.5}$

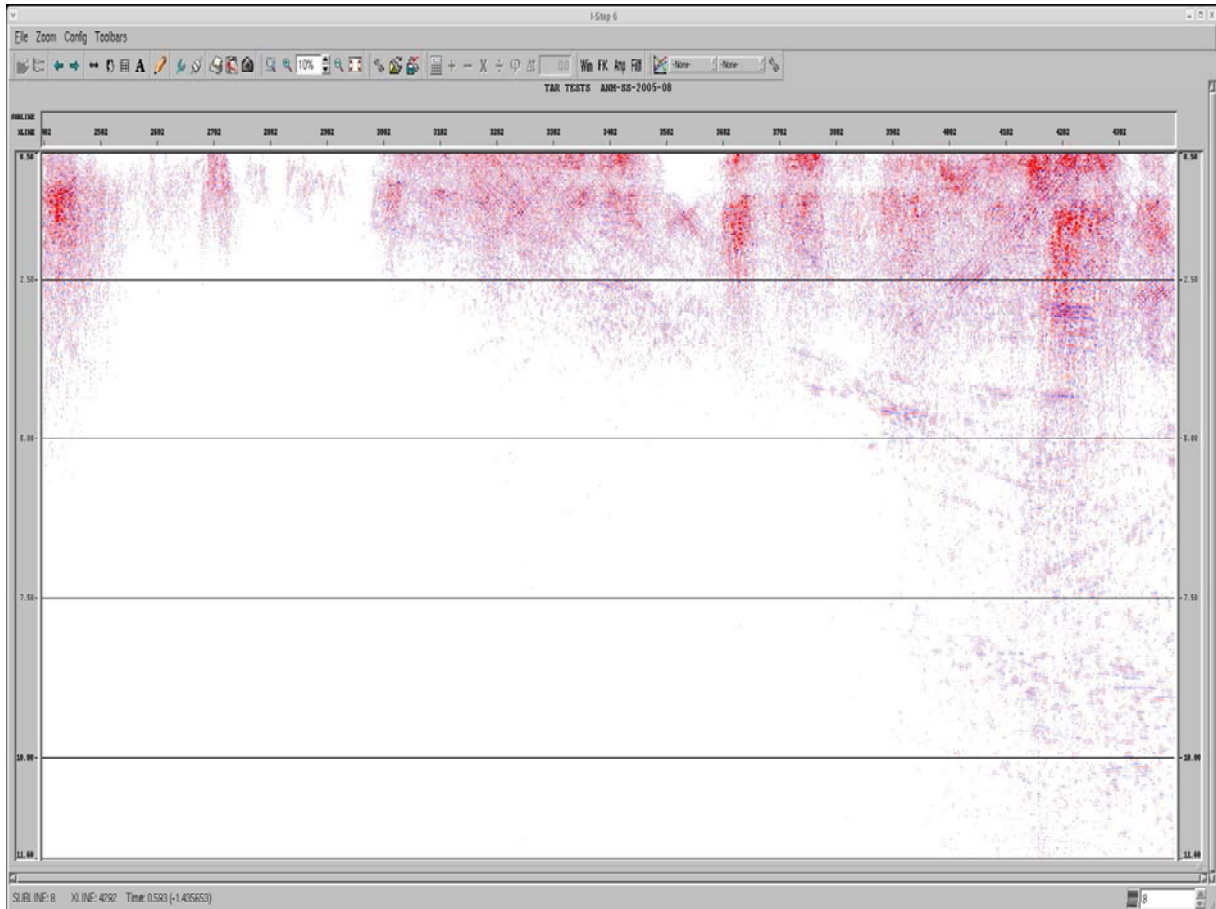


Figura 2.6. Apilado sin Recuperación de Amplitudes.

Obsérvese que balanceo de amplitudes es muy pobre ya que solo se aprecia información en la parte muy somera.

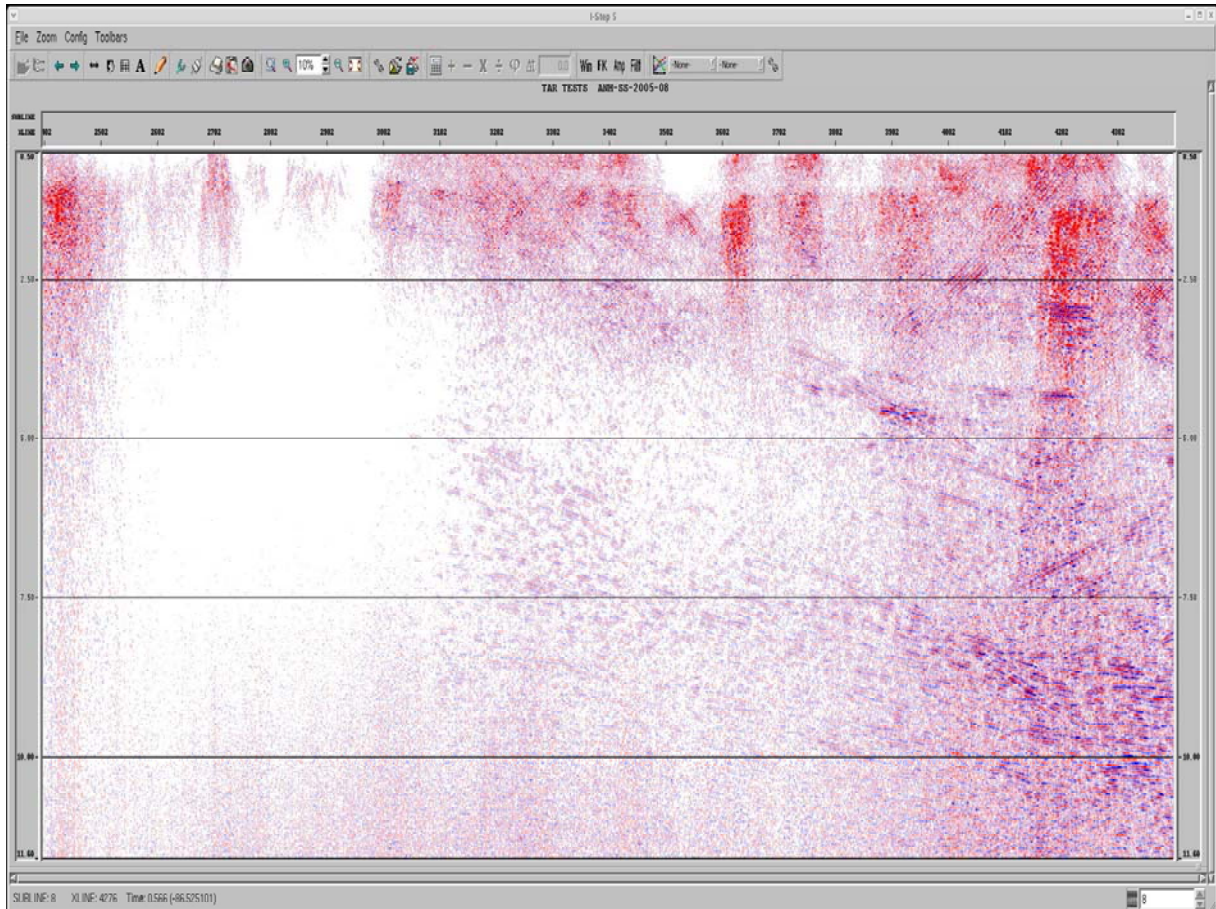


Figura 2.7. Apilado con Recuperación de Amplitudes. Div. Esf= $1/tv^2 + 1$ dB/seg.

Obsérvese que gracias a la mejor distribución de amplitudes se pueden apreciar eventos hasta 10 segundos.

En los datos sin recuperación de amplitud (Figura 2.6) se aprecia que los datos no muestran un buen balance de amplitudes, lo cual es normal en datos crudos, mientras que en los datos con Recuperación de Amplitud (Figura 2.7), es notable un mejor balance de amplitudes. Se observa información coherente a tiempos mayores a 10 segundos.

2.1.2. Deconvolución

Se generaron autocorrelaciones de los registros, para determinar las distancias de predicción a ser aplicadas en la etapa de pruebas. Se utilizaron diferentes distancias de predicción y longitud de operador. La longitud de operador probada fue de 220, msec. Para La longitud de predicción los valores probados fueron 8 msec, 16 msec, 24 msec. Y 32 msec. La Figura 2.8 muestra el apilado con deconvolución predictiva con Long. de Predicción de 8 msec, la Figura 2.9 muestra el apilado con deconvolución predictiva con Long. de Predicción de 16 msec, en la Figura 2.10 se presenta el apilado con deconvolución predictiva con Long. de Predicción de 24 msec, y finalmente en la Figura 2.11, se presenta el apilado con deconvolución predictiva con Long. de Predicción de 32 msec.

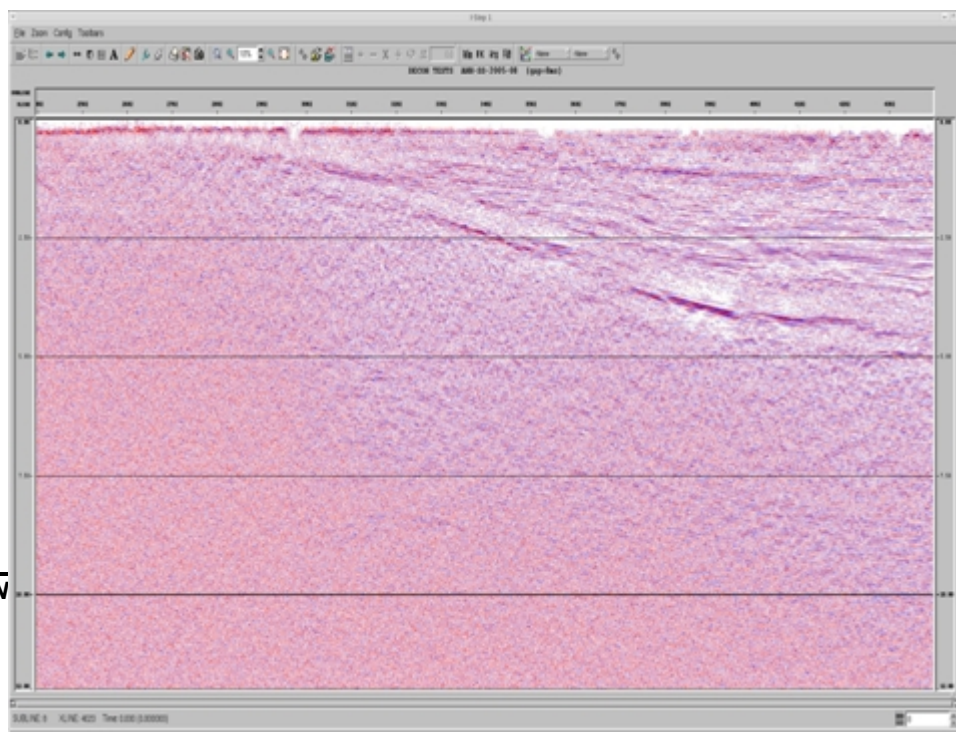
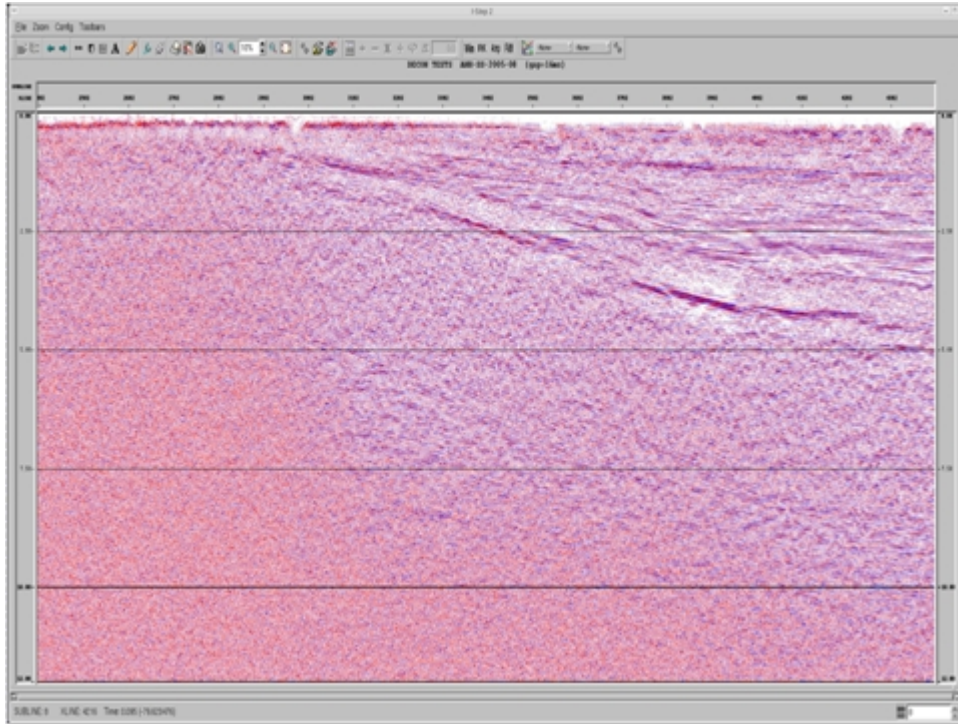


Figura
Apilado



2.8.
con

Deconvolución. Long. Op. 220 mseg, Dist. de Pred. 8 ms).

Figura 2.9. Apilado con Deconvolución. Long. Op. 220 mseg, Dist. de Pred. 16 ms).

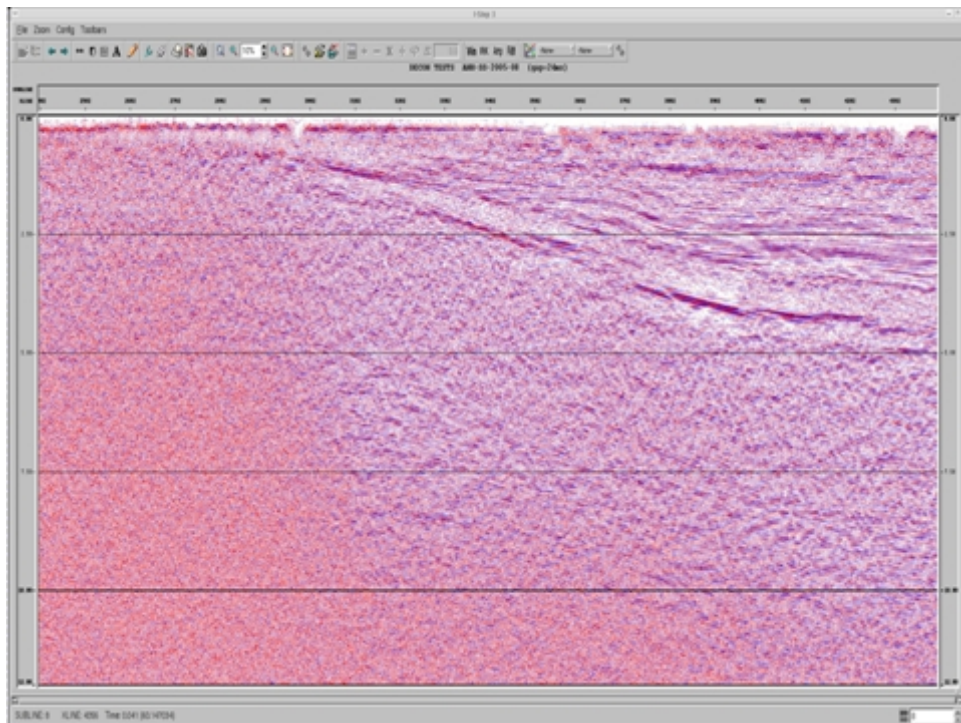


Figura 2.10. Apilado con Deconvolución / Long Op. 220, Long. Op. 24 mseg.

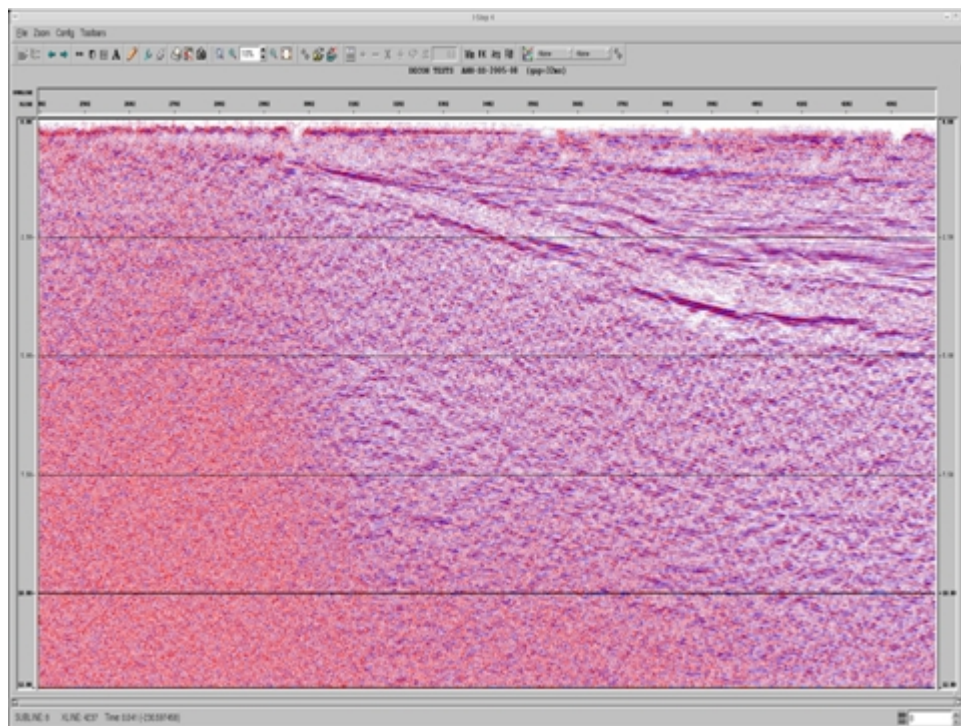


Figura 2.11. Apilado con Deconvolución. Long. Op. 220 mseg, Dist. de Pred. 32 ms).

La deconvolución seleccionada fue aquella que presento mejor resolución temporal y espacial de los eventos a nivel de apilado, los parámetros que definen la deconvolución son:

- Tipo: Predictiva consistente con superficie
- Longitud del operador: 220 ms.
- Longitud de predicción: 24 ms

En la Figura 2.10, se observa el beneficio de la aplicación de la deconvolución (con los parámetros seleccionados) se aprecia la atenuación del ruido de ground-roll residual, así como un aumento en el contenido de frecuencias altas y una mejora en la resolución temporal de los eventos. En la Figura 2.12 se muestra el Apilado sin Deconvolución el cual puede ser comparado con el Apilado con deconvolución de la Figura 2.10.

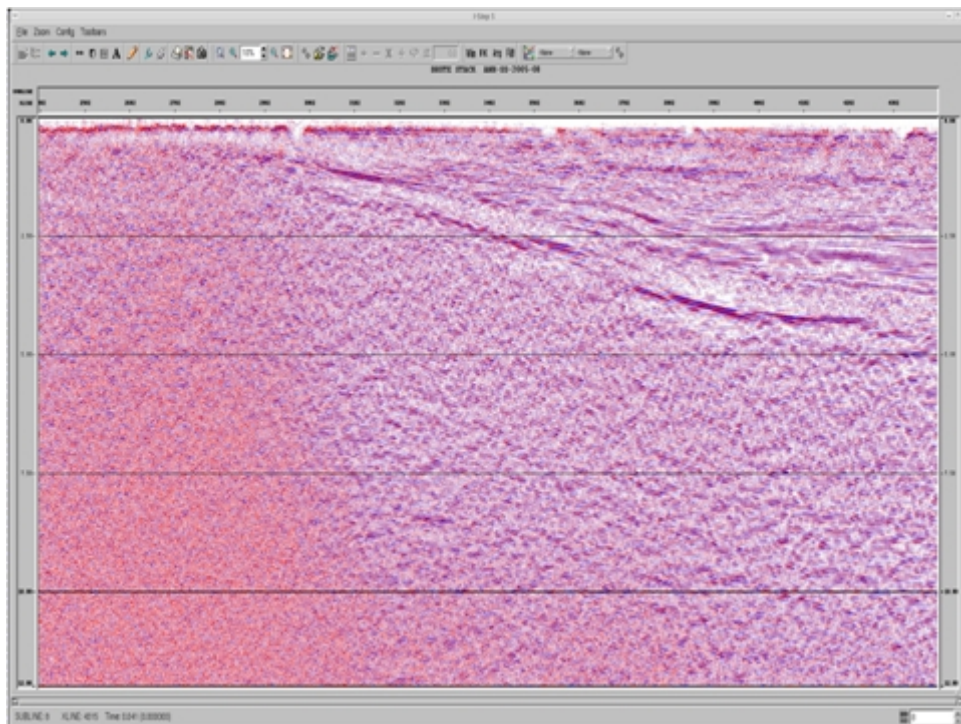


Figura 2.12. Apilado sin Deconvolución.

2.1.3. Estáticas de Refracción

El método utilizado para el cálculo de estáticas es el de tiempos de retardo (DLT). Una vez picados los primeros arribos (Figura 2.13), se realizaron pruebas con diferentes rangos de offset, y diferentes velocidades para la capa de meteorización, posteriormente se generó un modelo de velocidades de la primera capa de refracción utilizando los tiempos de trayectoria de la señal de refracción (Figura 2.14). Este modelo de velocidades es utilizado tanto para hacer el cálculo de la estática como para seleccionar la velocidad de reemplazamiento más adecuada para el proyecto.

El rango de “offset” utilizado corresponde a aquel, en el cual el refractor escogido presenta más consistencia y una estadística necesaria para el programa. Se realizaron pruebas con diferentes rangos de “offset”.

Para la velocidad de la capa de meteorización se utilizaron velocidades constantes de 1000 m/s, 1500 m/s, y velocidad variable calculada a partir de los tiempos y profundidades de pozo.

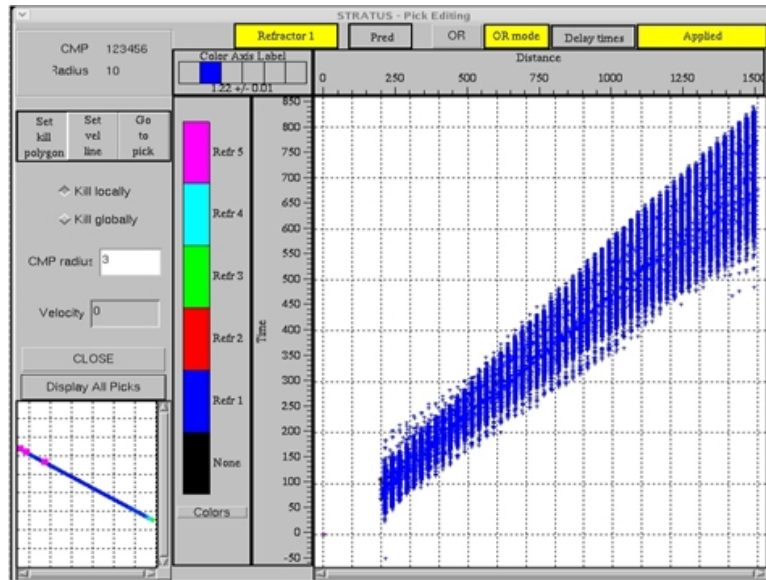


Figura 2.13. Distribución de primeros arribos.
 Obsérvese que la dispersión de puntos aumentar el offset.



Figura 2.14. Modelo de velocidades de la primera capa de refracción.

Las velocidades varían de 1.800 m/s hasta 2.450 m/s. con una velocidad promedio de 2.000 m/s.

En resumen, los parámetros seleccionados para el cálculo de la estática de refracción, son los siguientes:

$V_0 = 1500$ m/seg (Velocidad de la capa meteorizada).

$V_1 =$ Variable (Velocidad de la primer capa de refracción, Calculada por el programa a partir de los primeros arribos picados)

$V_R = 2000$ m/seg (Velocidad de Remplazamiento)

Rango de Offset del Refractor: 200 a 1500 m.

Plano de referencia: 300 m.s.n.m. (Datum)

La solución de las estáticas de refracción arrojó buenos resultados, como se puede apreciar al comparar los Apilados con Estáticas de Elevación y Refracción, Figura 2.15 y Figura 2.16, respectivamente.

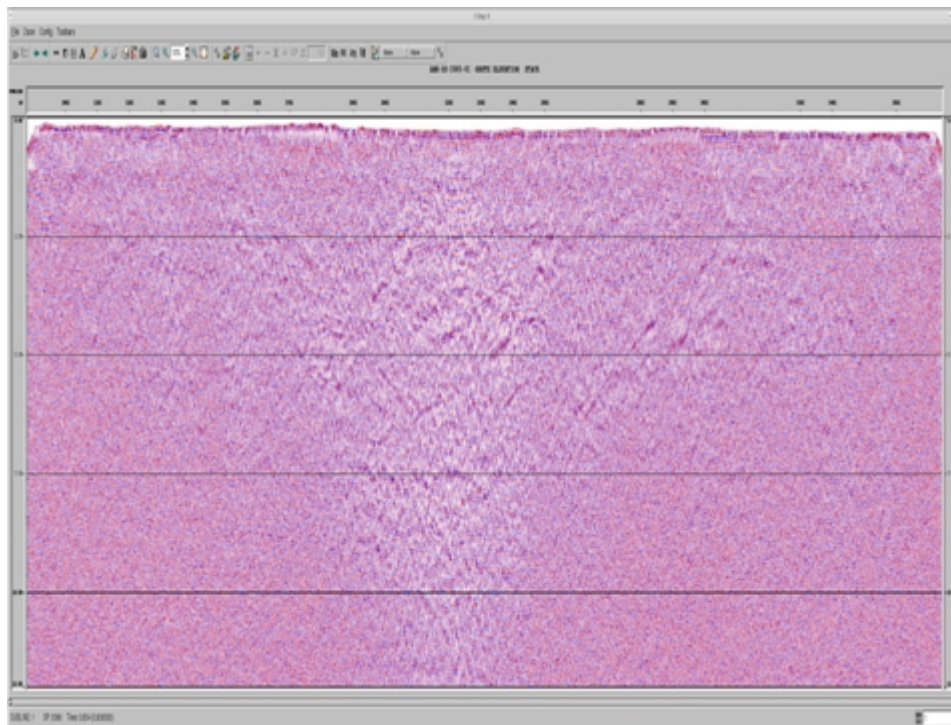


Figura 2.15. Apilado con Estáticas de Elevación.

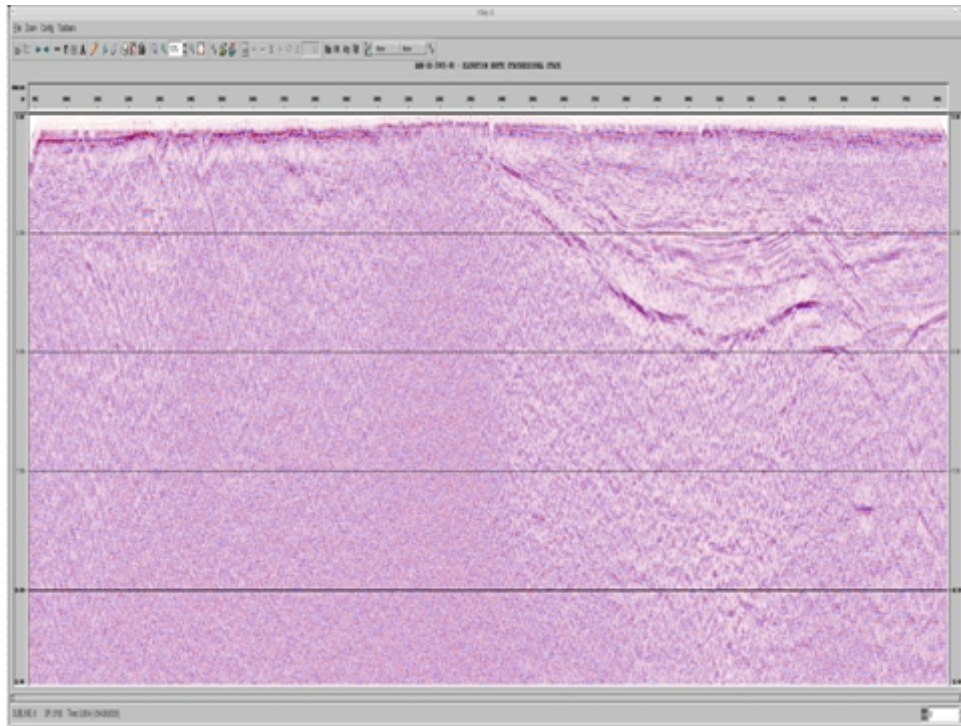


Figura 2.16. Apilado con Estáticas de Refracción.

Obsérvese la muy buena resolución de los eventos comparada con el Apilado con elevación.

2.1.4. Balanceo Espectral (TVSW).

Basándose en el contenido de frecuencias observable en los datos se realizaron pruebas de balanceo del espectro con diferentes rangos de frecuencias tales como: 6-70 Hz, 6-80 Hz, 12-70 Hz. La Figura 2.17. corresponde al Apilado con Deconvolución y sin TVSW, las figuras 2.18, 2.19 y 2.20, corresponden a las pruebas mencionadas anteriormente.

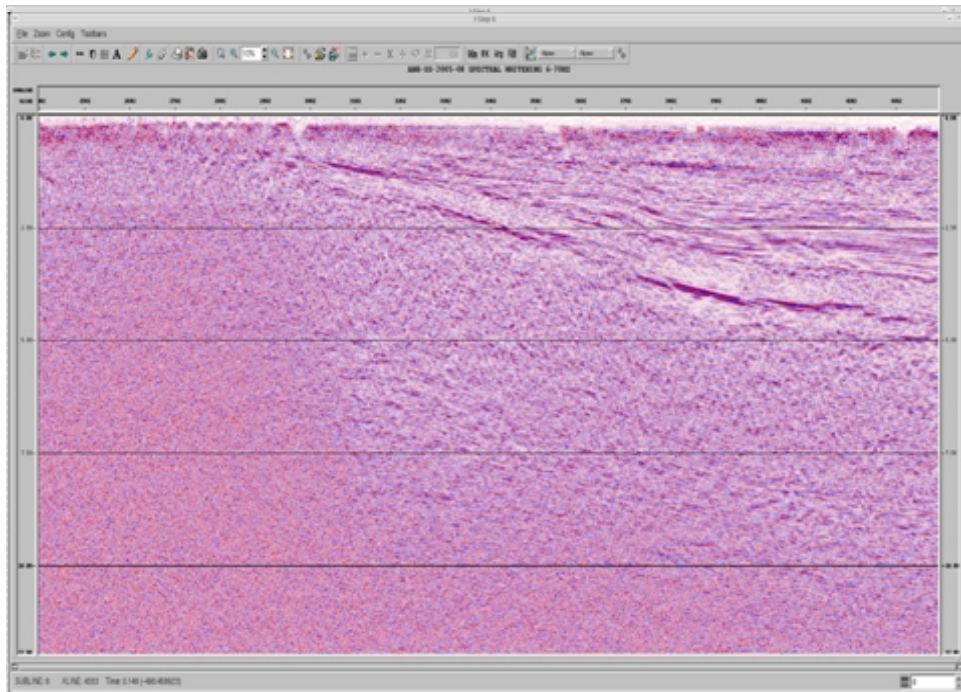


Figura 2.17. Apilado con Deconvolución y sin TVSW

Figura 2.18. Apilado con TVSW 6-70 Hz.
Obsérvese que hay un aumento de ruido de baja frecuencia.

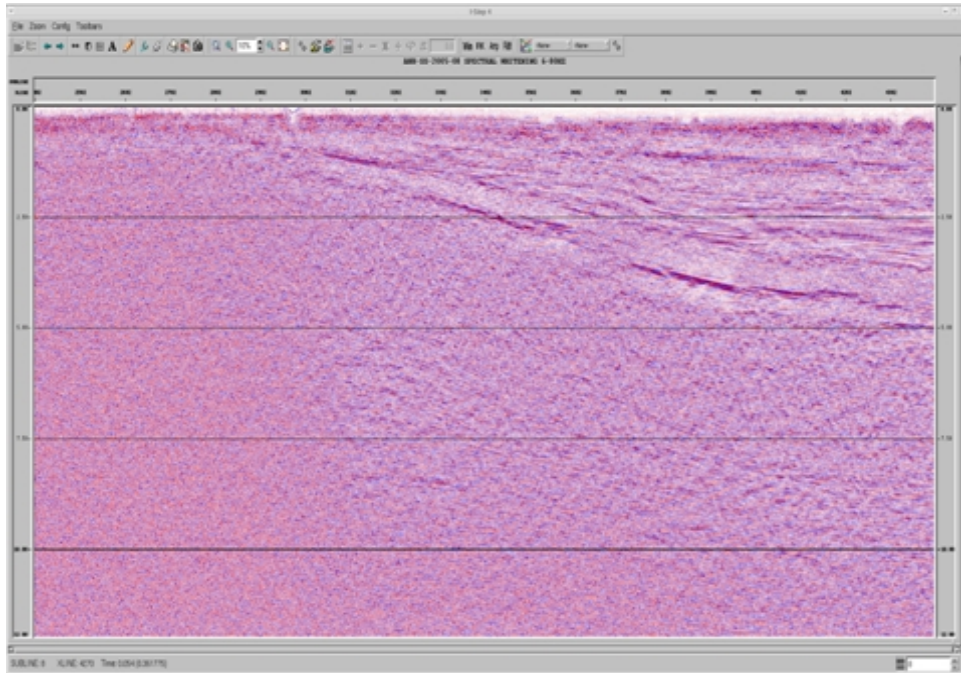


Figura 2.19. Apilado con TVSW 6-80 Hz.
Obsérvese que hay una mejor resolución temporal y espacial de los eventos, aunque hay un aumento de ruido de alta frecuencia este puede ser atenuado posteriormente con un filtro pasa banda.

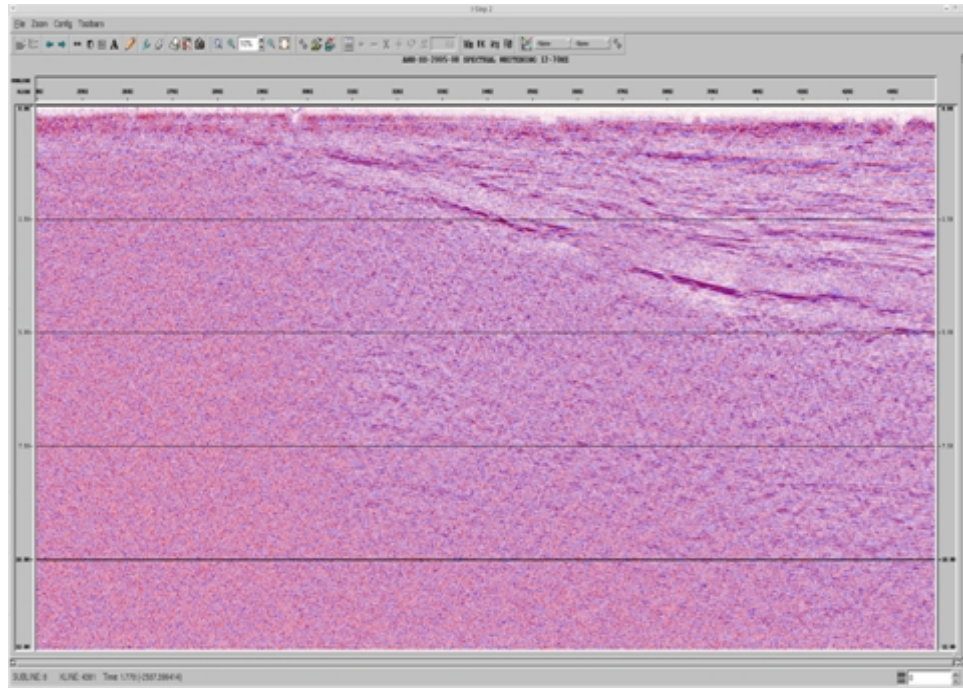


Figura 2.20. Apilado con TVSW 12-70 Hz.

Obsérvese que el ruido de baja frecuencia esta atenuado en comparación con la Figura 2.19, pero hay un aumento de ruido de alta frecuencia.

Después de comparar las diferentes pruebas realizadas con el Apilado sin TVSW se determino que el balanceo de frecuencias de 6 a 80 hz. realza considerablemente el espectro mejorando la resolución temporal y espacial de los eventos, como se puede apreciar en la Figura 2.19, en comparación con la Figura 2.17.

2.1.5. Velocidades (CVS).

El primer paso de Velocidades se realizó después de deconvolución y aplicación de las Estáticas por Refracción. Se calcularon Estáticas Residuales 1er. Paso (preliminares) y se generaron CVS con los siguientes rangos de velocidad: de 2000 a 3200 m/seg con incrementos de 400 m/seg, y de 3200 a 5800 m/seg con incrementos de 200 m/seg. El objetivo de estas pruebas era determinar el rango de velocidades en el que se encuentra la información sísmica del Proyecto, con la finalidad de obtener una mejor calidad de datos. En las siguientes Figuras (2.21, 2.22, 2.23, 2.24, 2.25, 2.26 y 2.27) se muestran algunos Apilados con velocidad constante, representativos de estas pruebas.

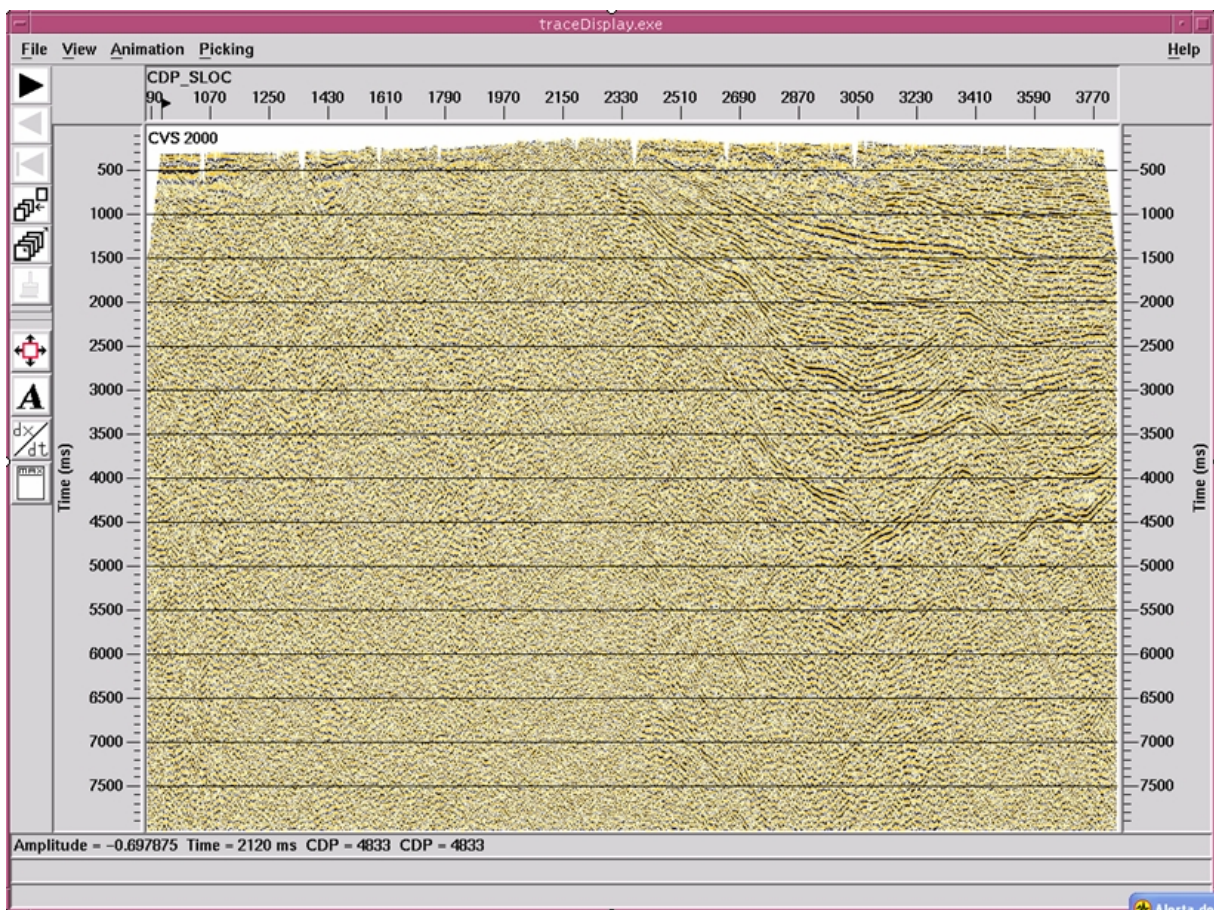


Figura 2.21. Apilado Residuales 1er. Paso. CVS 2000 m/seg.

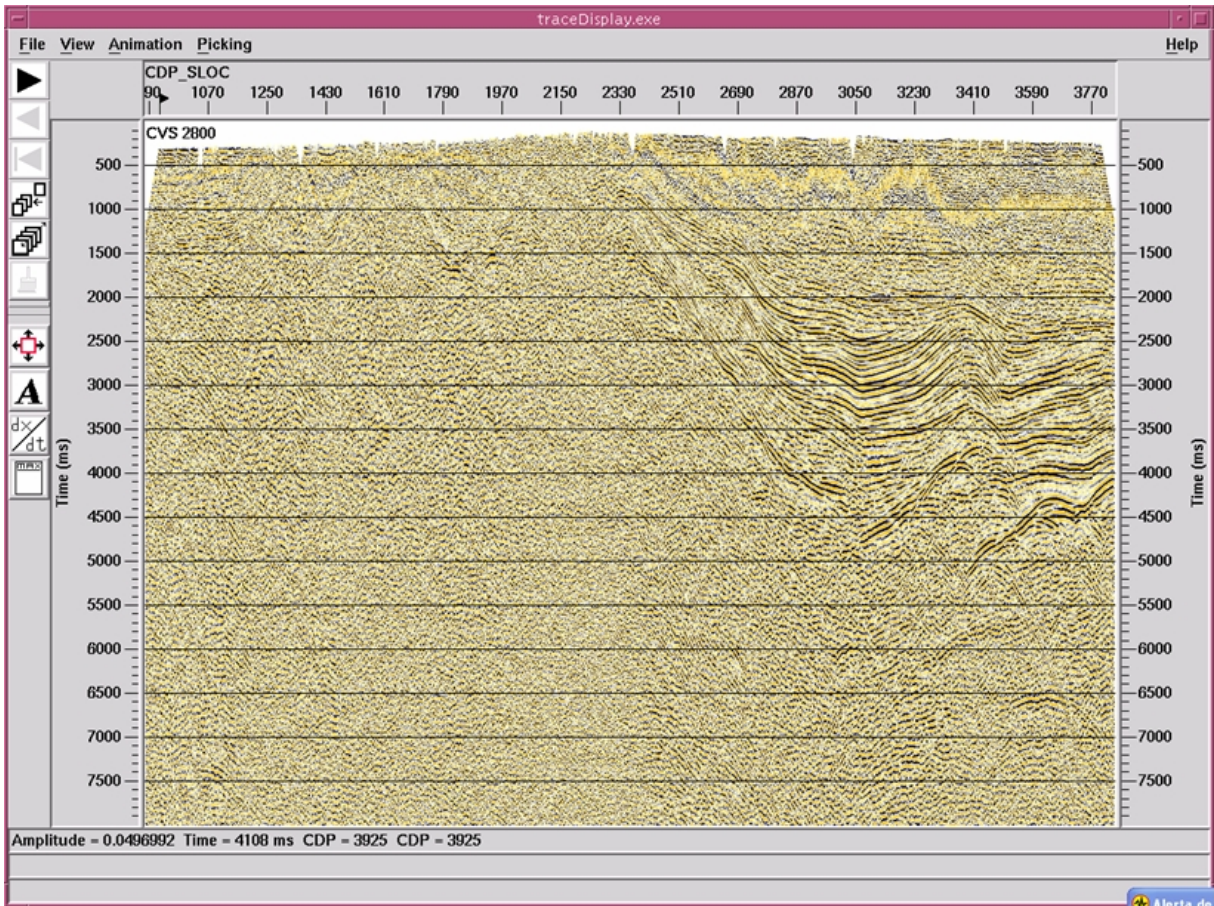


Figura 2.22. Apilado Residuales 1er. Paso. CVS 2800 m/seg.

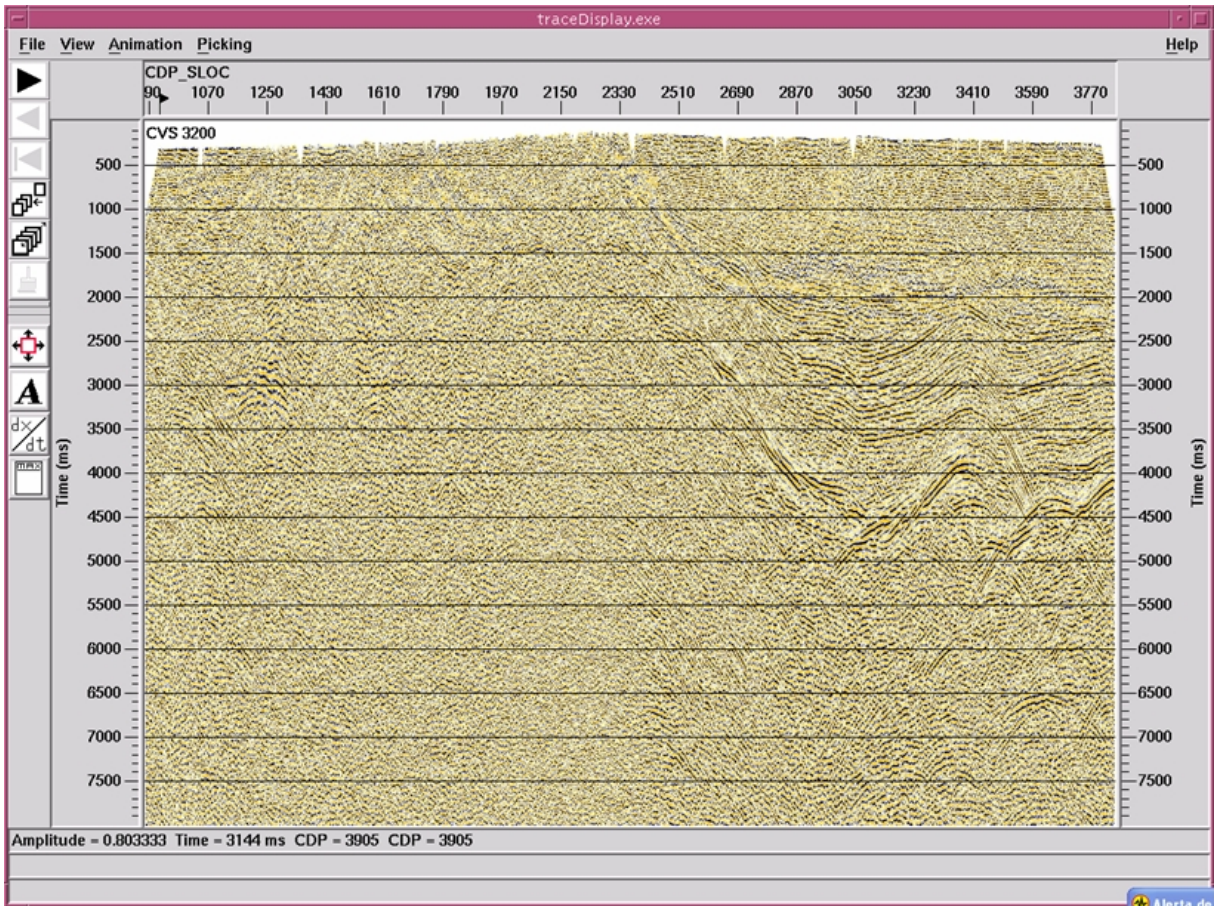


Figura 2.23. Apilado Residuales 1er. Paso. CVS 3200 m/seg.

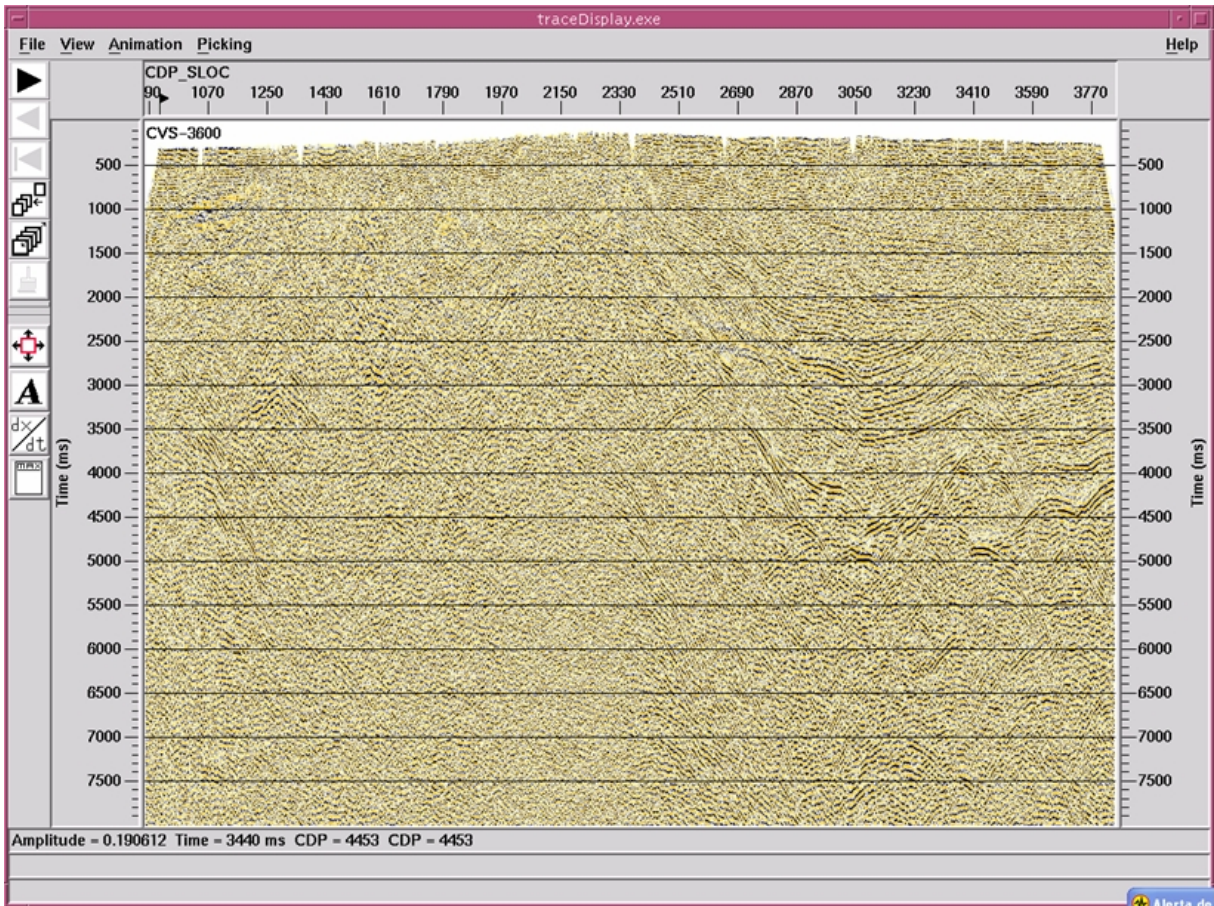


Figura 2.24. Apilado Residuales 1er. Paso. CVS 3600 m/seg.

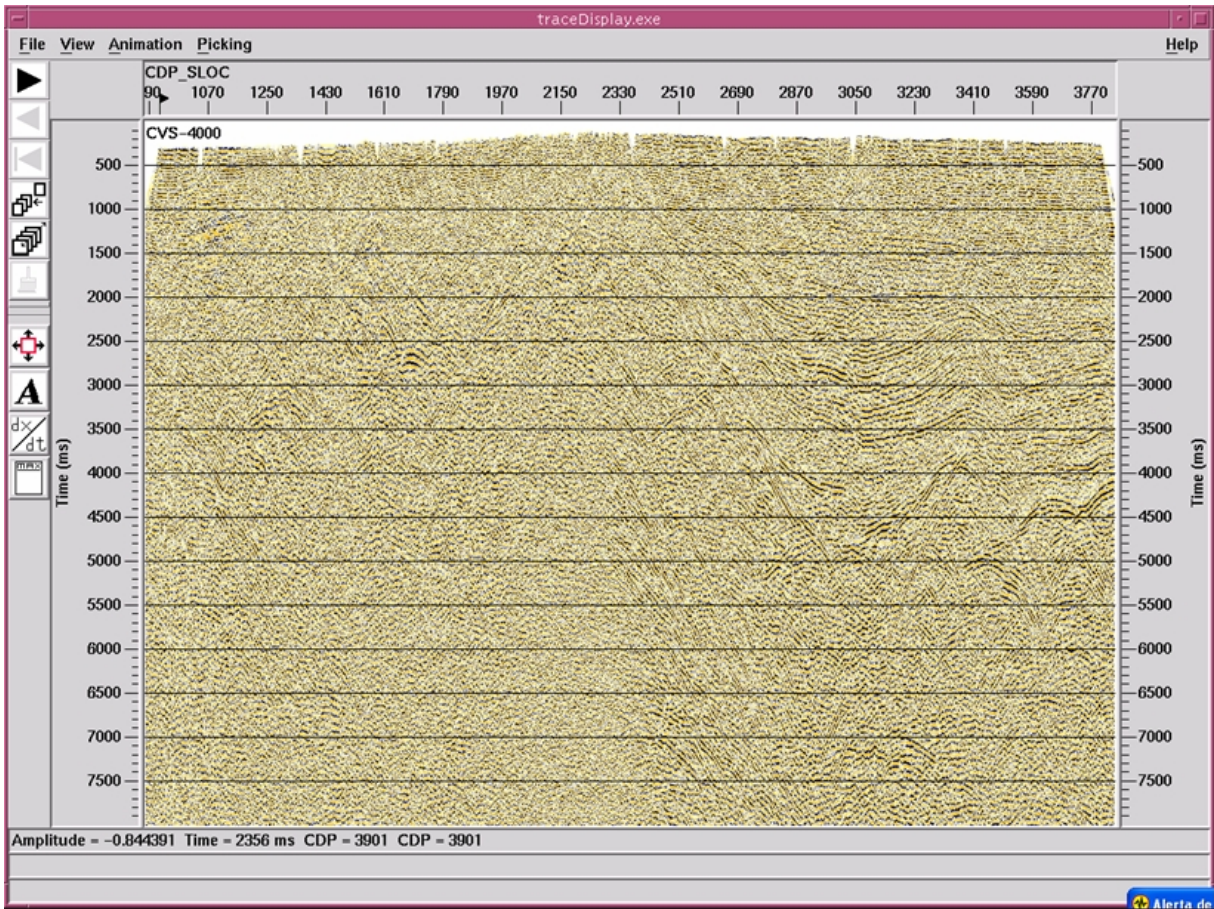


Figura 2.25. Apilado Residuales 1er. Paso. CVS 4000 m/seg.

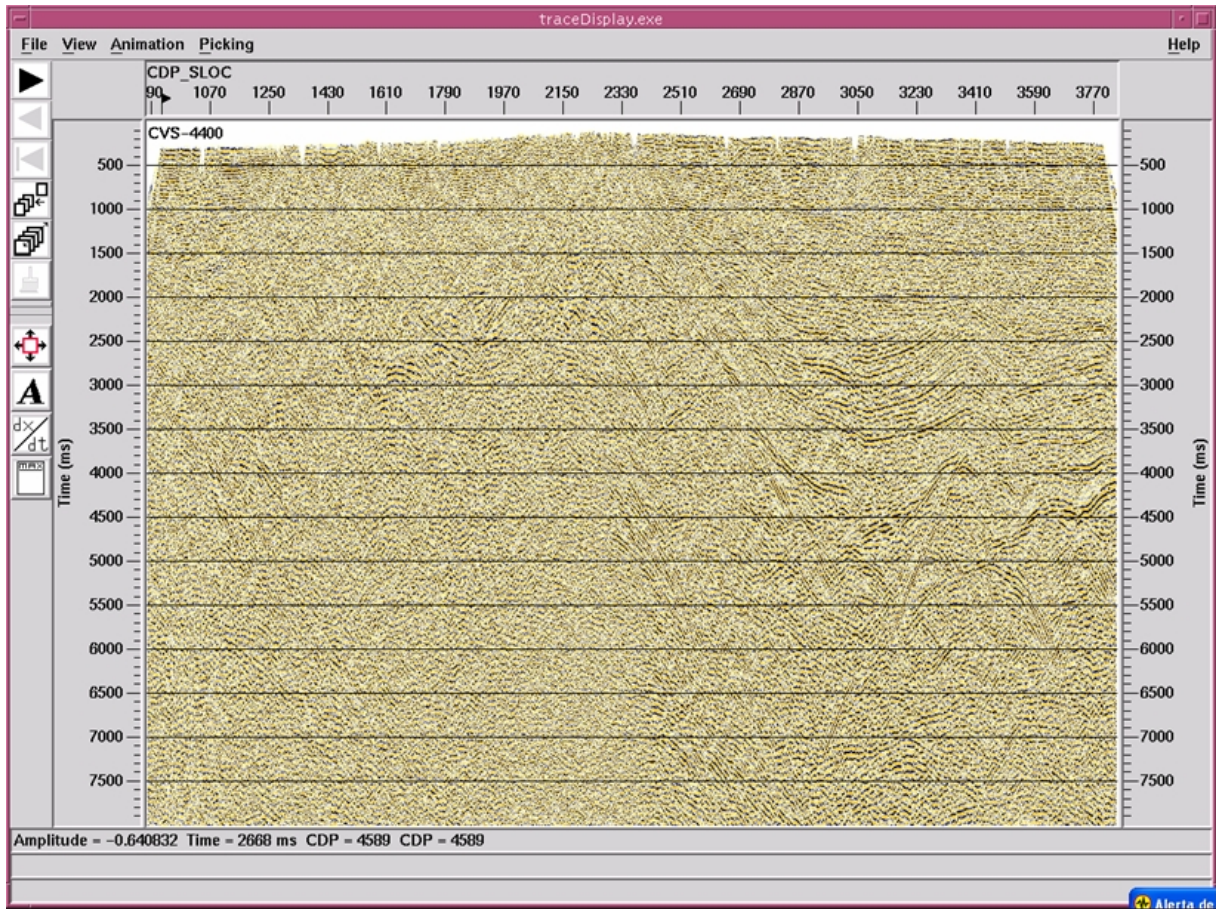


Figura 2.26. Apilado Residuales 1er. Paso. CVS 4400 m/seg.

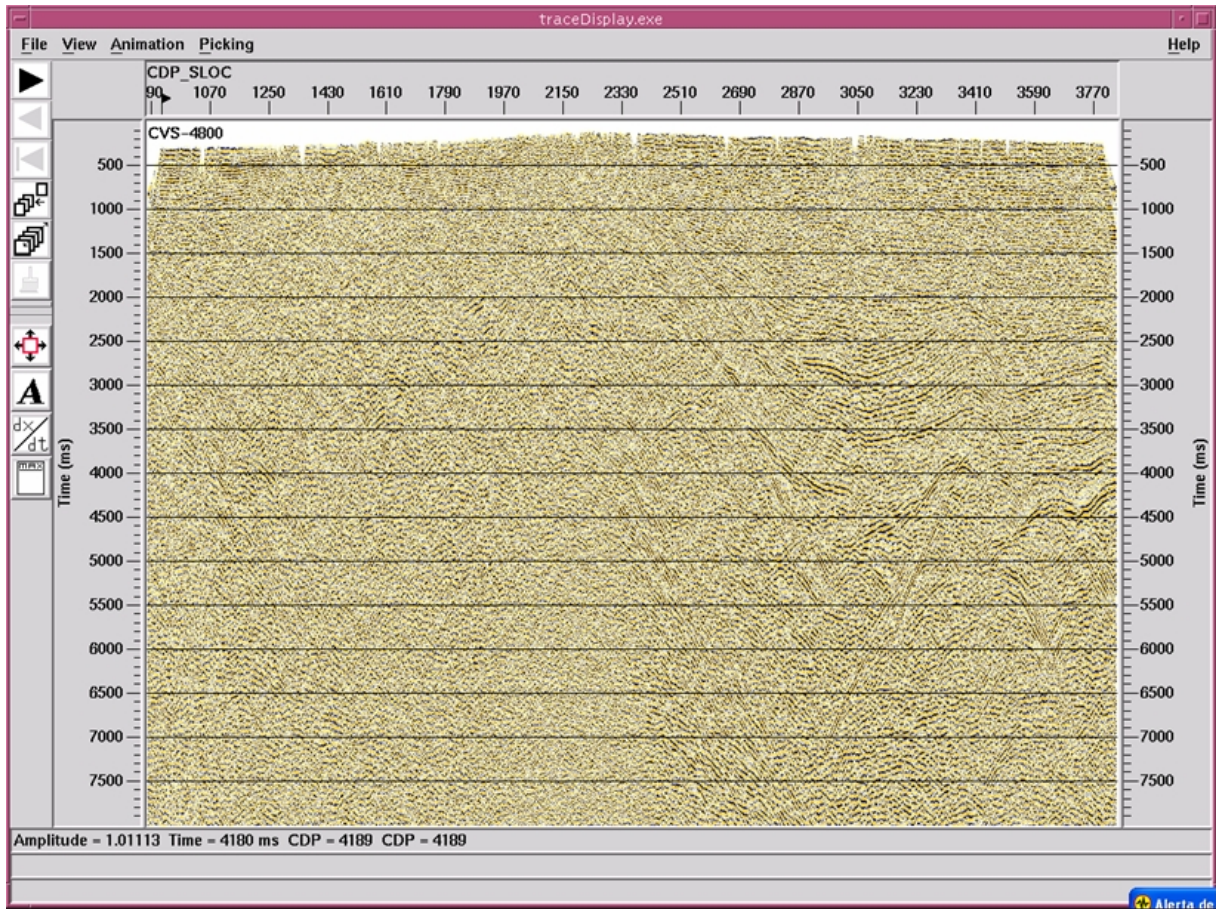


Figura 2.27. Apilado Residuales 1er. Paso. CVS 4800 m/seg.

2.1.6. Migración Post-Apilado en Tiempo

A partir del apilado se probaron diferentes algoritmos y parámetros de migración.

- Tipo de algoritmo: Migración FK Stolt, Migración Kirchoff, Migración Fase Mínima, y Migración por Diferencias Finitas (FD).
- Velocidades: porcentajes de 60%, 70%, 80%, 90%, 100%, 110%.

Los mejores resultados se obtuvieron aplicando Diferencias Finitas, y con porcentajes de velocidad variable. En el caso de la Línea ANH-SS-2005-08, se aplicó un 80% de 0 a 6 seg., y el 70% de 6 a 12 seg. Los porcentajes de velocidad variaron para cada línea.

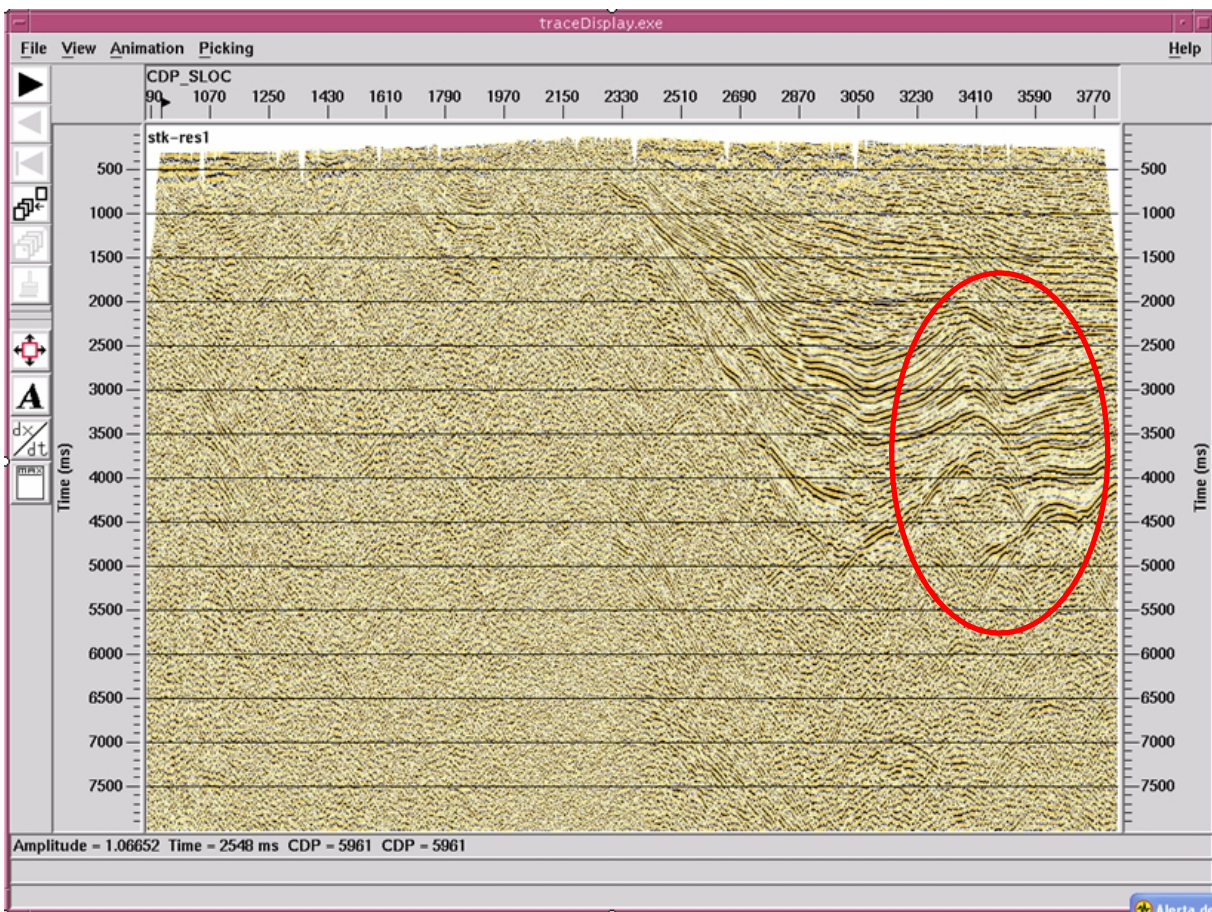


Figura 2.28. Apilado Residuales 1er. Paso.

En la Figura 2.28, se muestra el Apilado de la Línea ANH-SS-2005-08, en el área enmarcada se pueden apreciar difracciones que deberán colapsarse con el proceso de migración. Las subsecuentes Figuras 2.29, 2.30, 2.31 y 2.32, muestran las migraciones con porcentajes de velocidad de: 80%, 90 %, 100 % y 110%, respectivamente.

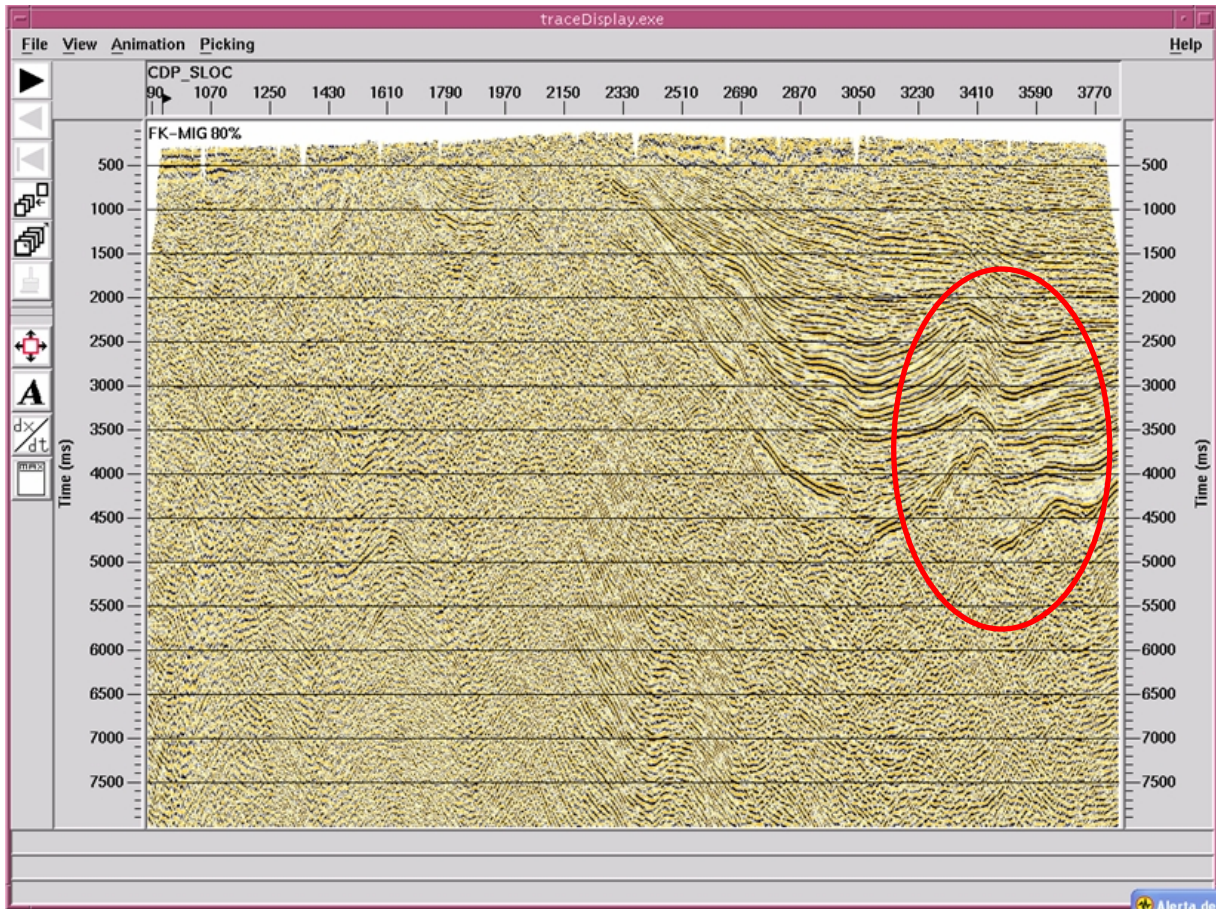


Figura 2.29. Migración. Velocidad 80 %.

Se puede apreciar un buen colapsamiento de las difracciones, dando una buena continuidad de los reflectores y una buena definición estructural.

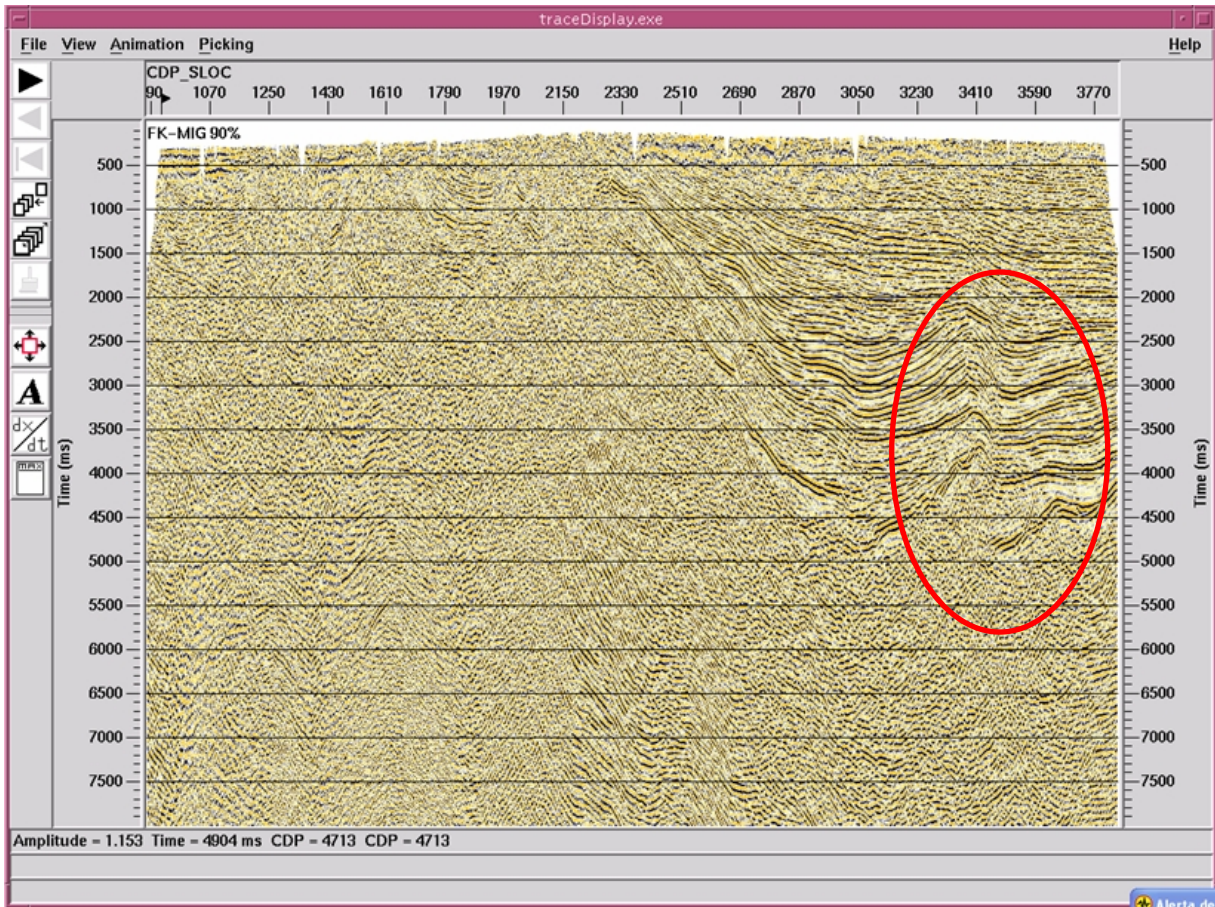


Figura 2.30. Migración. Velocidad 90 %.

Al igual que para un porcentaje de velocidades del 80 %, se puede apreciar un buen colapsamiento de las difracciones y una buena definición estructural.

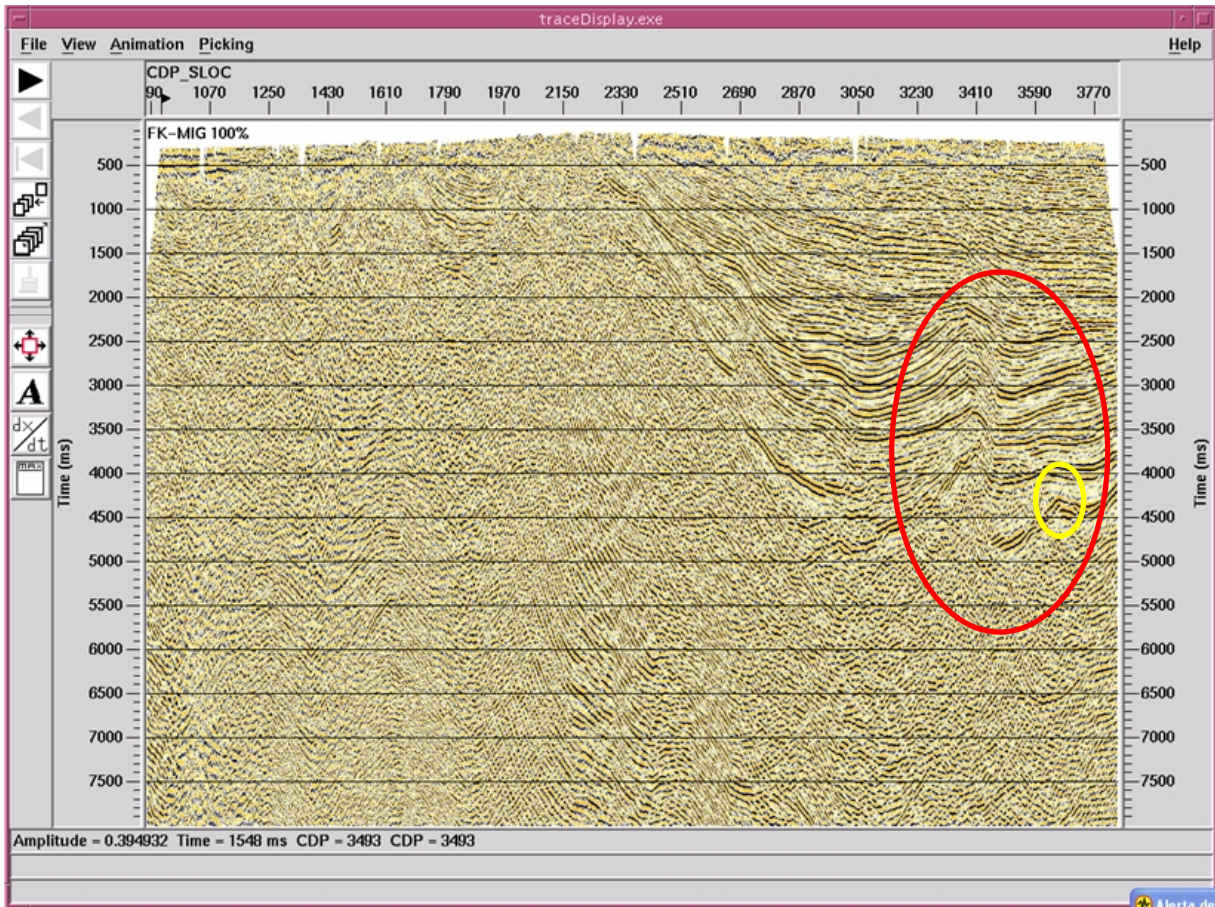


Figura 2.31. Migración. Velocidad 100 %.

Se aprecia un buen colapsamiento de las difracciones y una buena definición estructural, si embargo los datos empiezan a sufrir sobrmigración, obsérvese el área señalada en color amarillo y compárese con las imágenes anteriores,

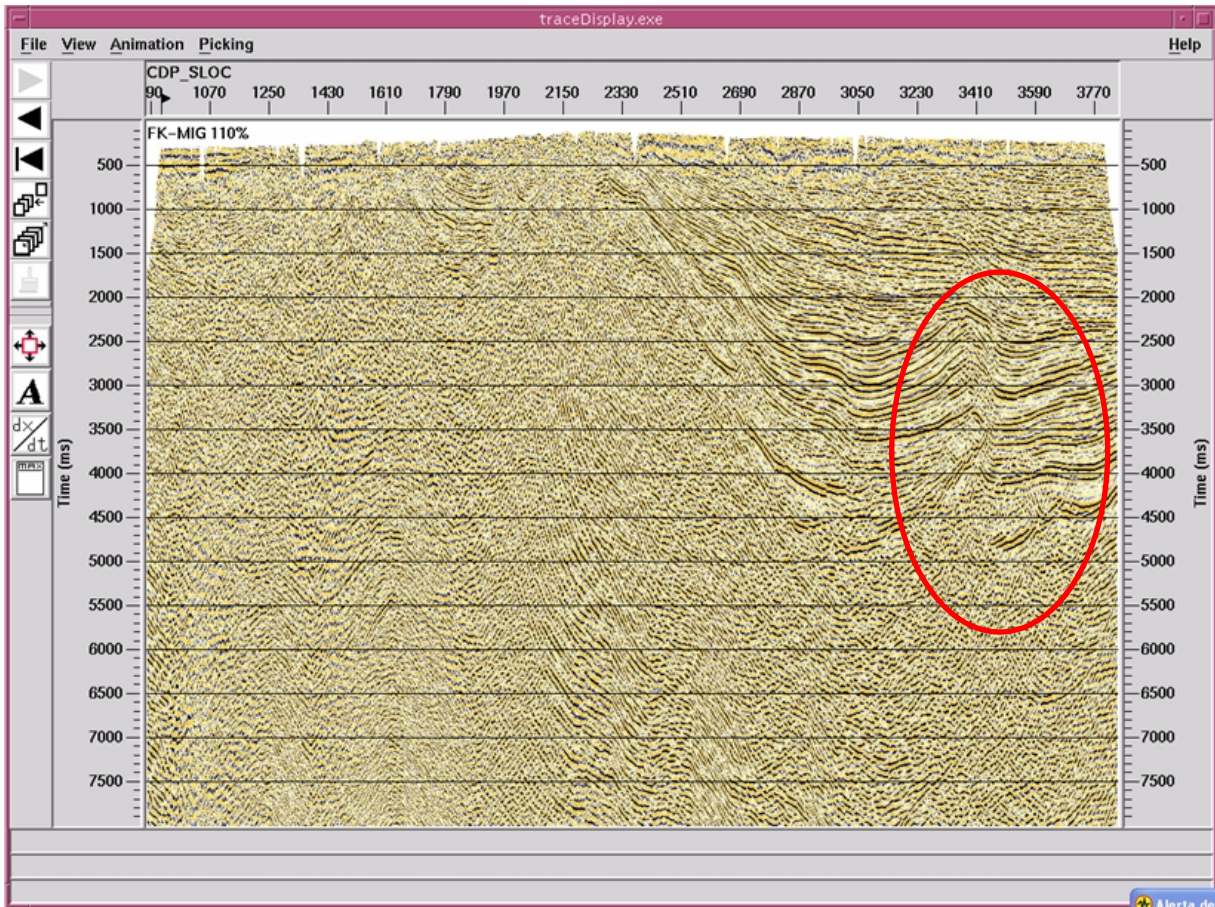


Figura 2.32. Migración. Velocidad 110 %.

Con este porcentaje de velocidades de migración aprecia sobre migración de los datos.

2.1.7. Filtros

Se realizaron diferentes pruebas de filtros como: rango de frecuencias altas, rango de frecuencias bajas y frecuencias dominantes contenidas en los datos. Una vez evaluadas las pruebas se seleccionó el filtro de 6/8 -60/70 Hz para el graficado de los datos. La Figuras 2.33, 2.34, 2.35, 2.36 y 2.37, corresponde a la aplicación de filtros pasabanda sobre la Migración (100%) de la Línea ANH-SS-2005-08.

El rango de frecuencias escogido corresponde a aquel que deja pasar el mayor rango de frecuencias sísmicas útiles, eliminando a su vez la mayor cantidad de componentes de frecuencias de los ruidos presentes en la información.

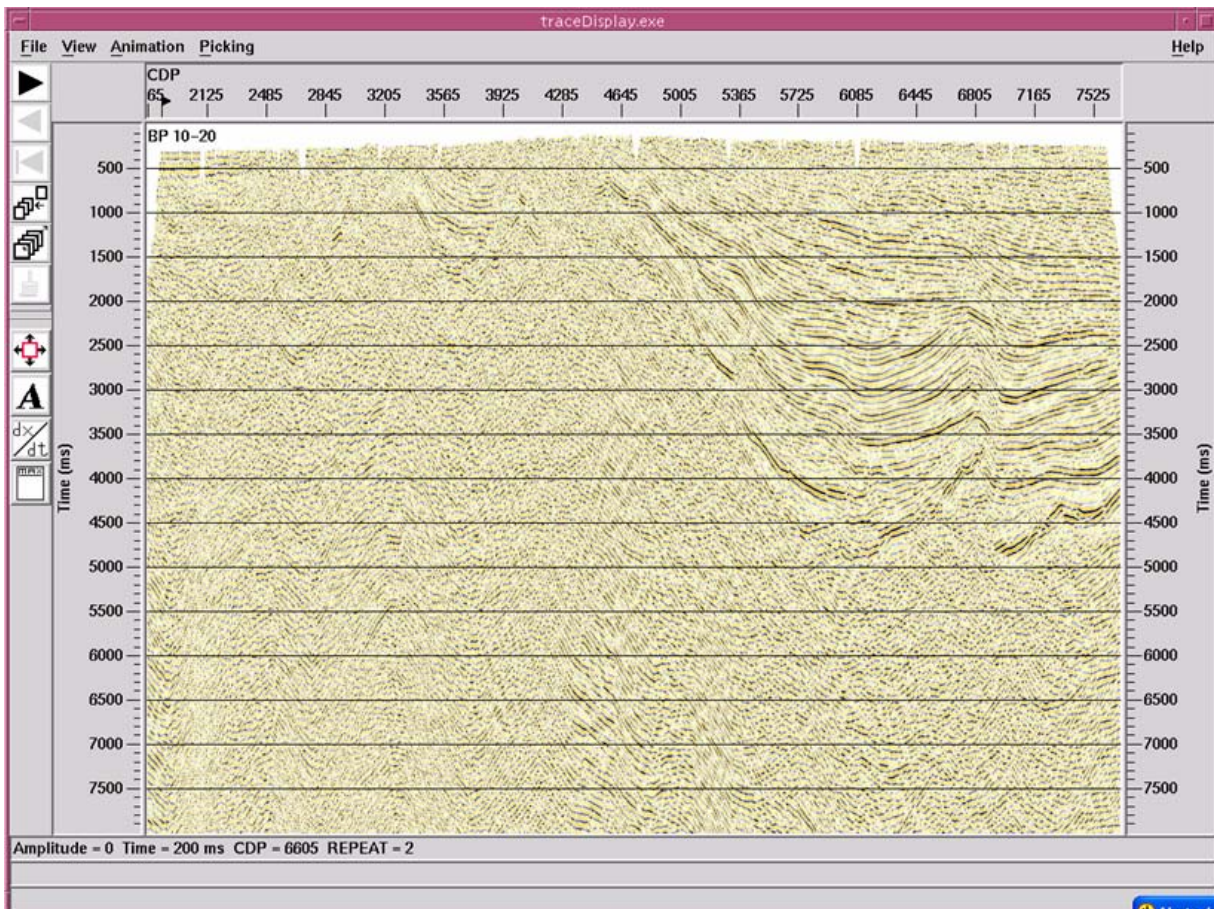


Figura 2.33. Migración. Filtro 10 -20 Hz.

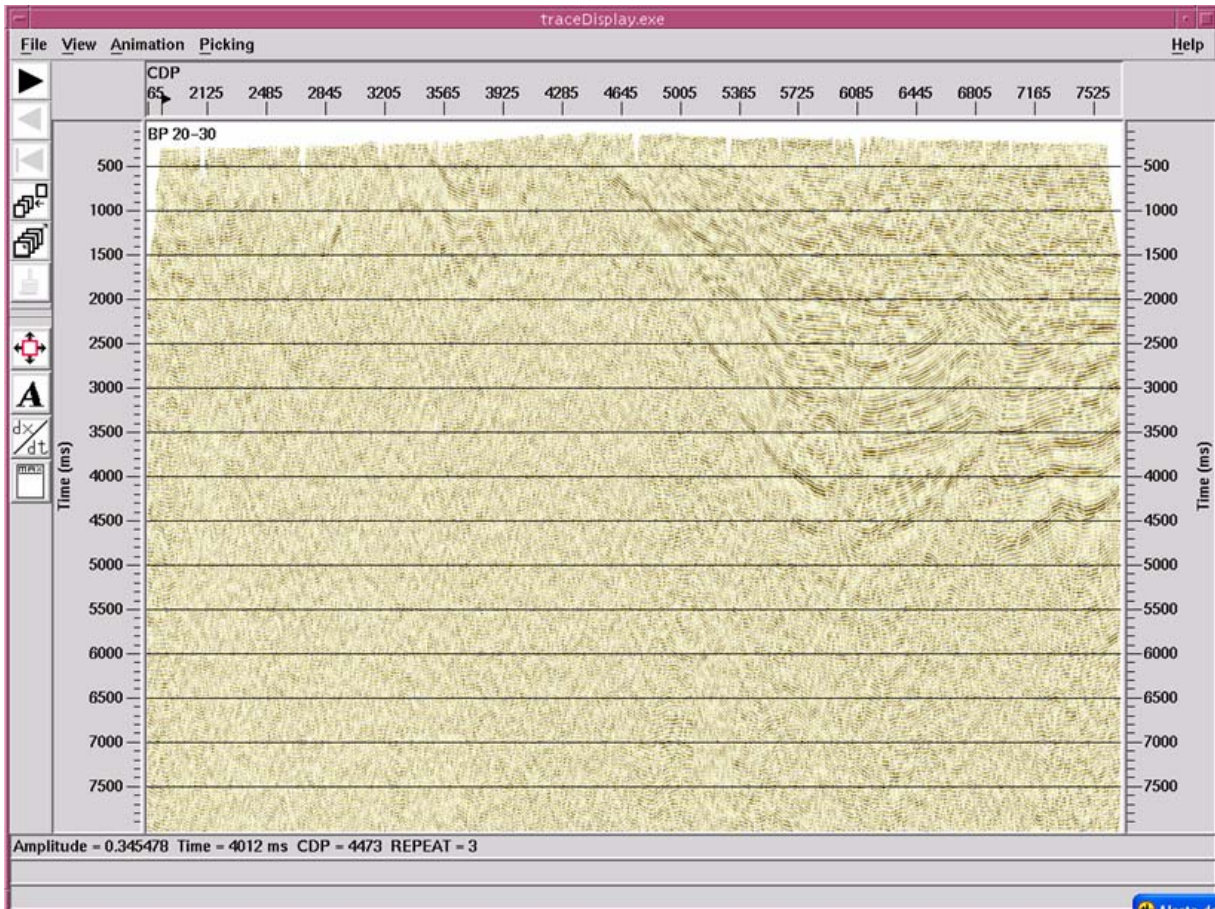


Figura 2.34. Migración. Filtro 20 -30 Hz.

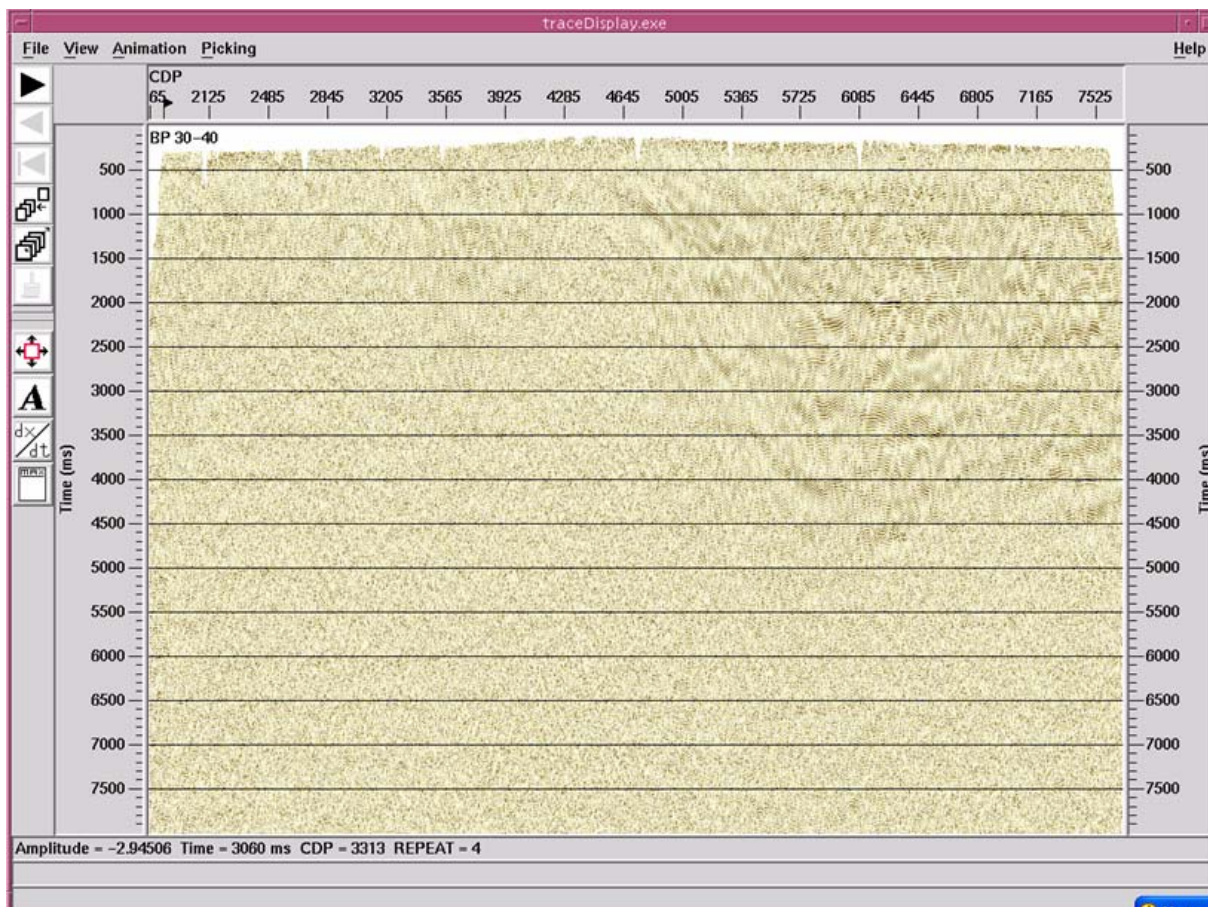


Figura 2.35. Migración. Filtro 30 -40 Hz.

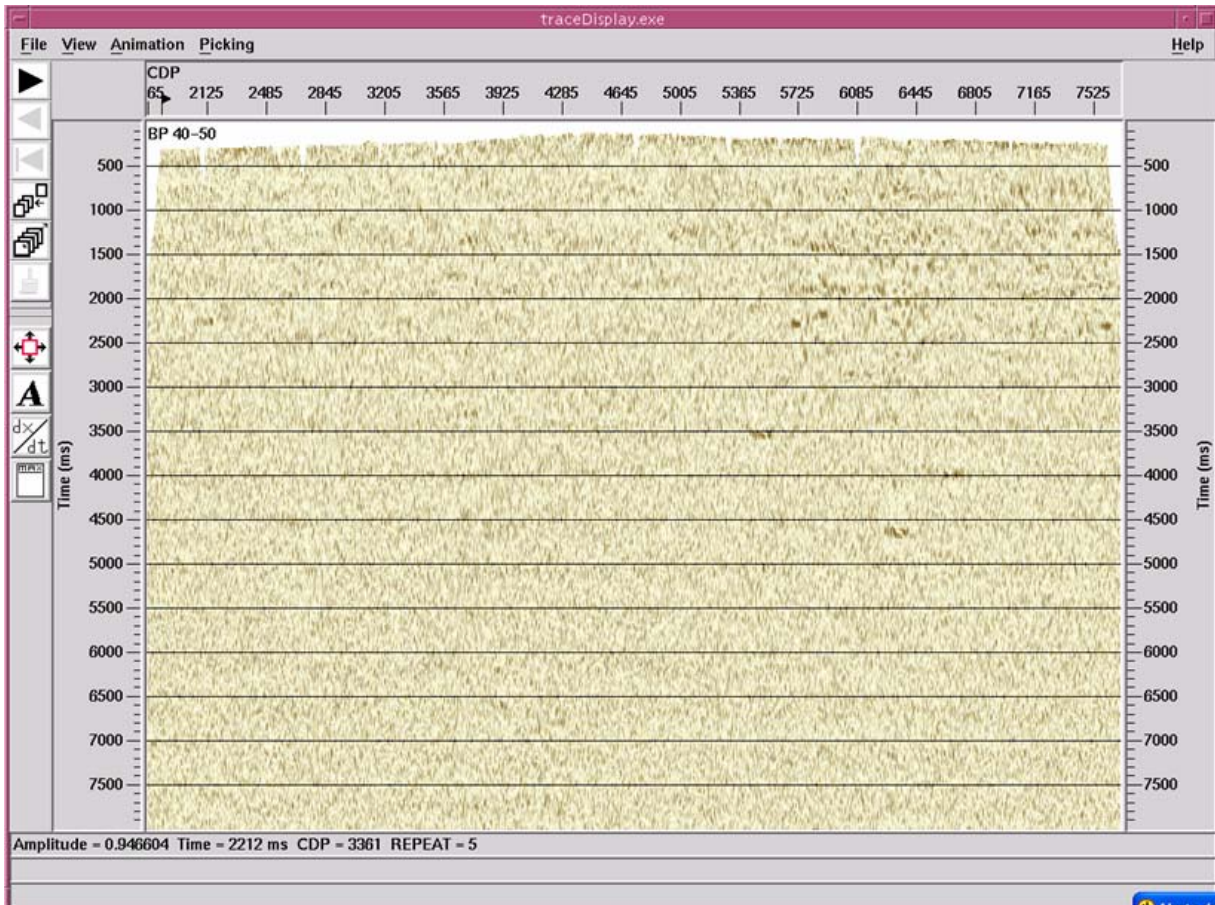


Figura 2.36. Migración. Filtro 40 -50 Hz.

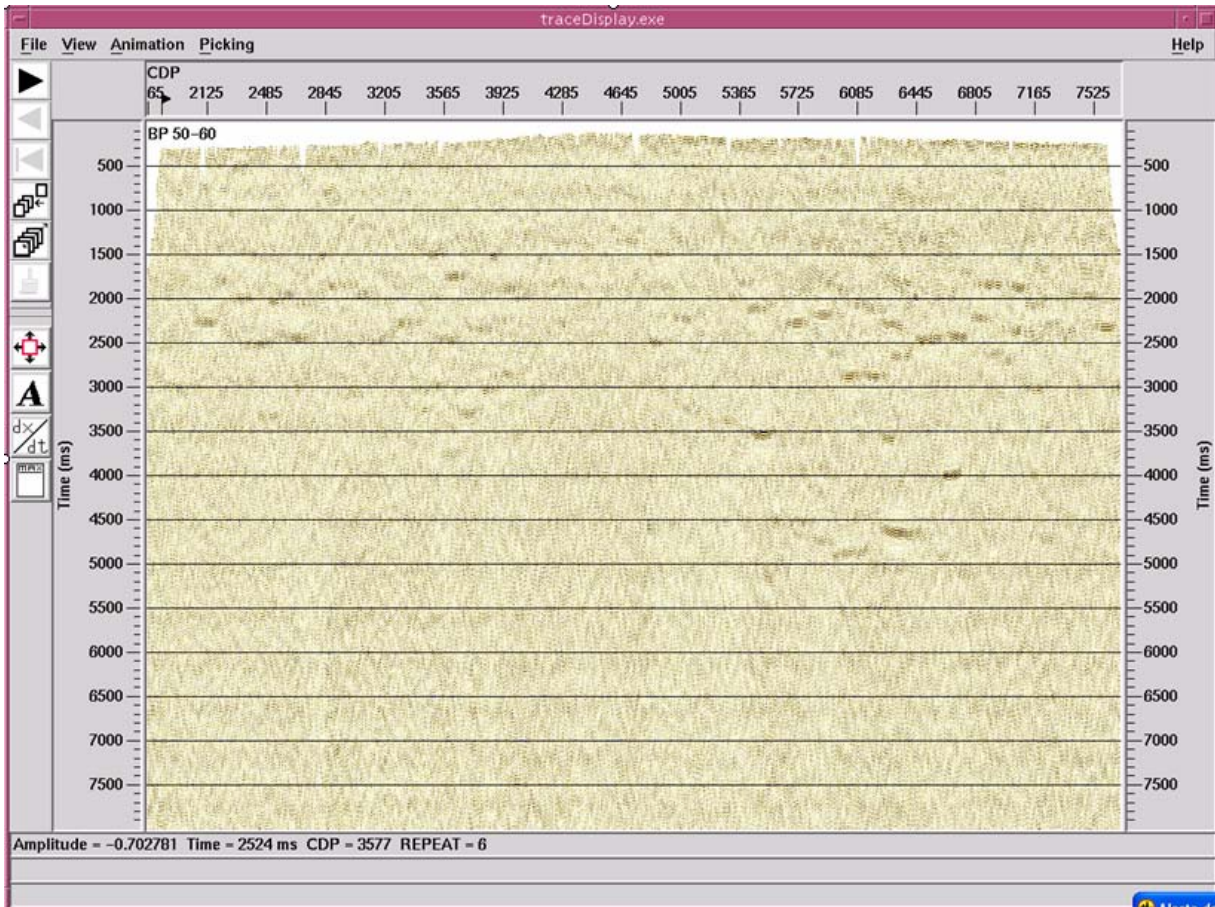


Figura 2.37. Migración. Filtro 50 -60 Hz.

2.2 SECUENCIA DE PROCESAMIENTO

2.2.1 Pre-Apilado

1. Conversión de formato Seg-D- a formato Interno **CM (Cube Manager)**

La siguiente Figura (2.38) muestra un registro crudo, desplegado en el Sistema CM

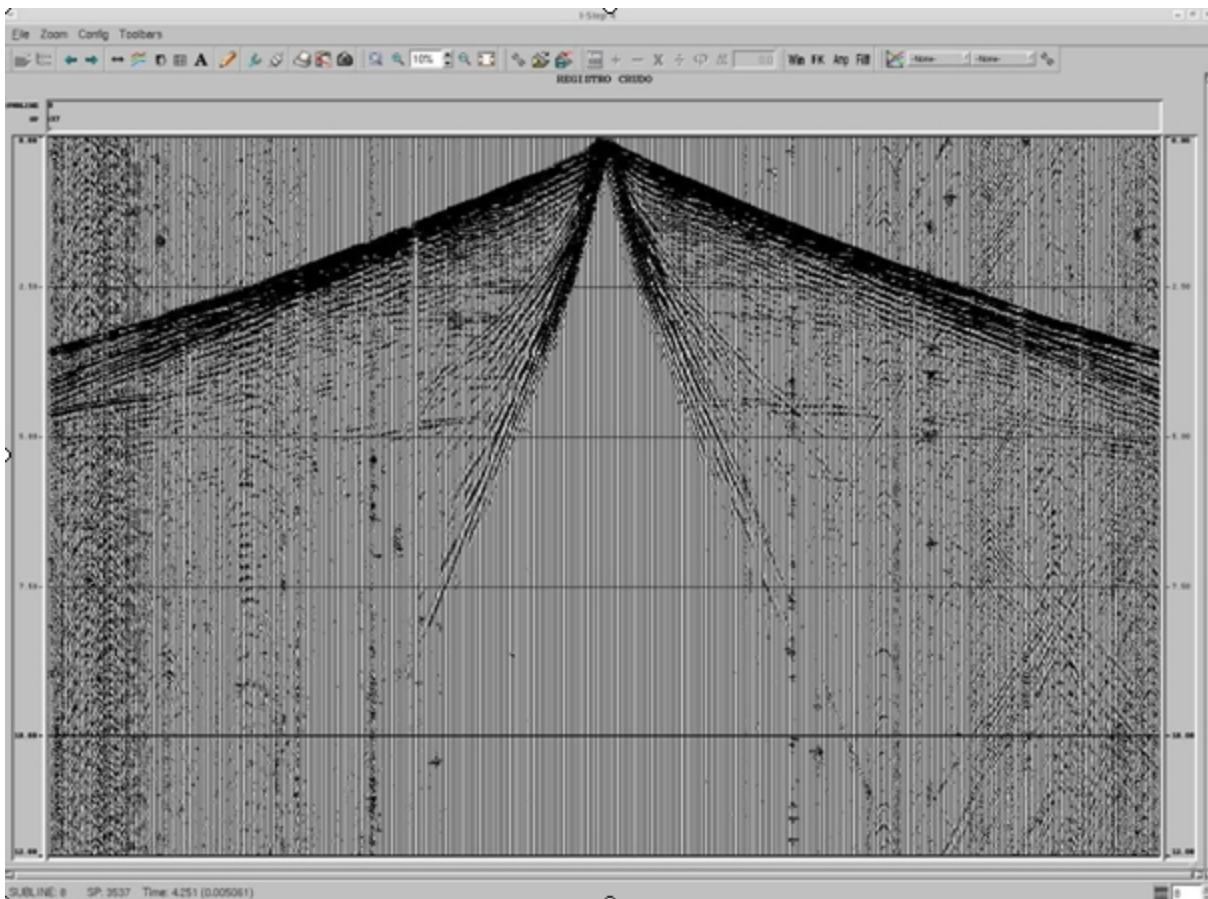


Figura 2.38. Registro Crudo convertido a Formato CM.

2. Asignación de Geometría.

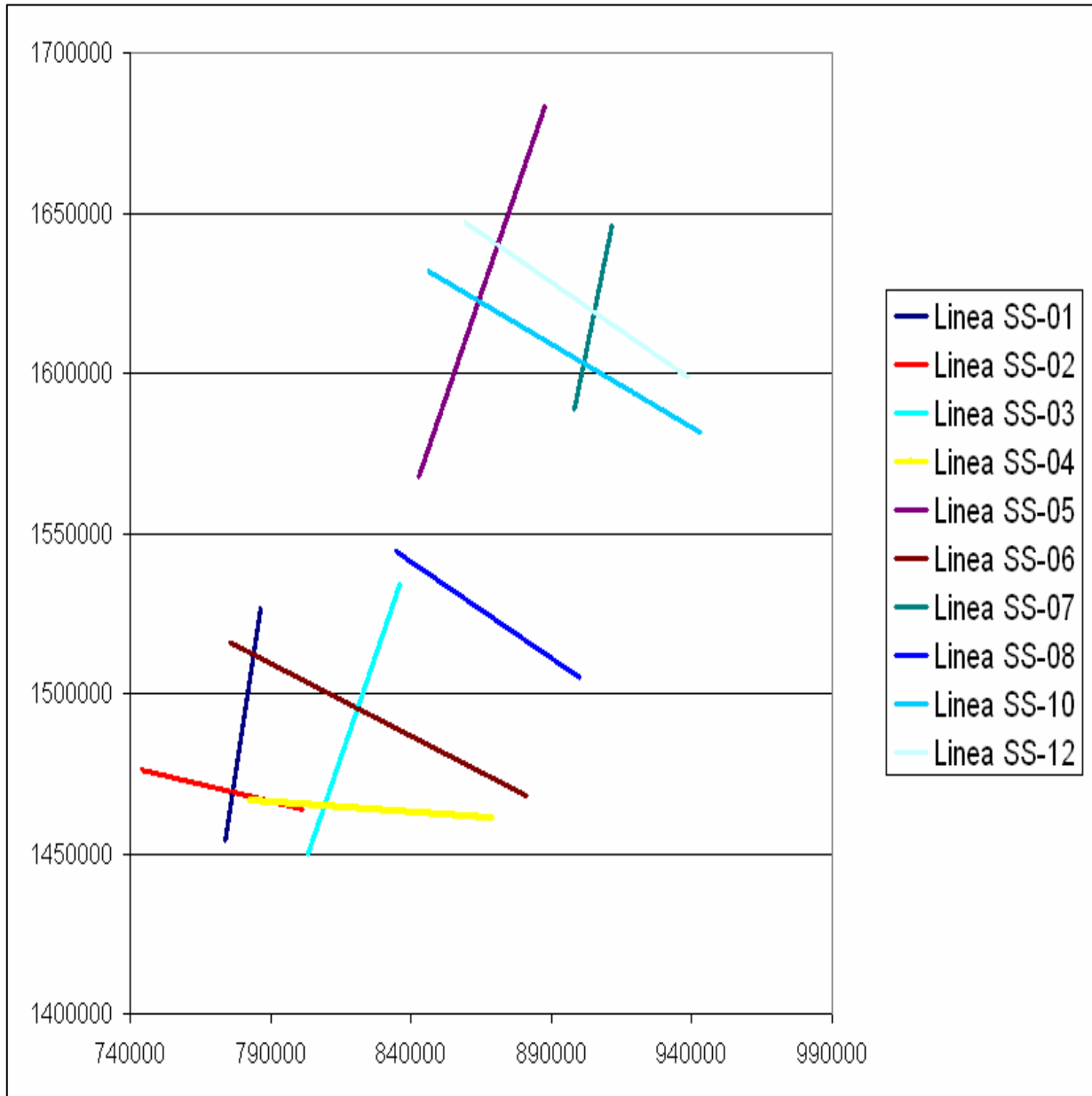


Figura 2.39. Distribución de Líneas Proyecto Sinú-San Jacinto 2D.

3. Editado de trazas ruidosas.

4. Recuperación de Amplitud

Corrección por divergencia esférica: $1/v^2t$

Ganancia logarítmica: 1 dB/seg.

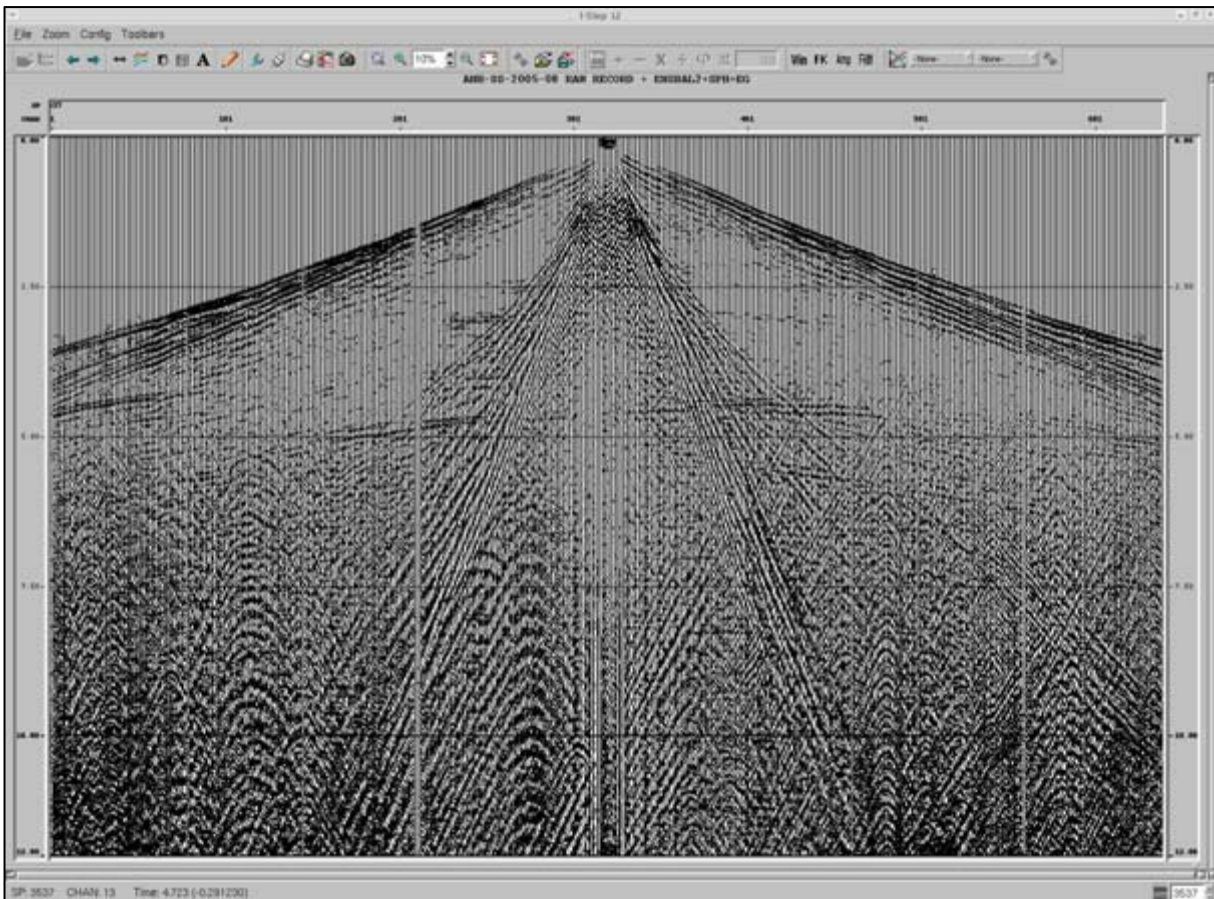


Figura 2.40. Registro con Divergencia Esférica y Ganancia Logarítmica.

5. Estáticas por Refracción

Datum: 300 m.s.n.m.

Velocidad de Remplazamiento: 2000 m/seg.

Rango de Offsets: 200-1500 m.

$V_0 = 1500$ m/seg.

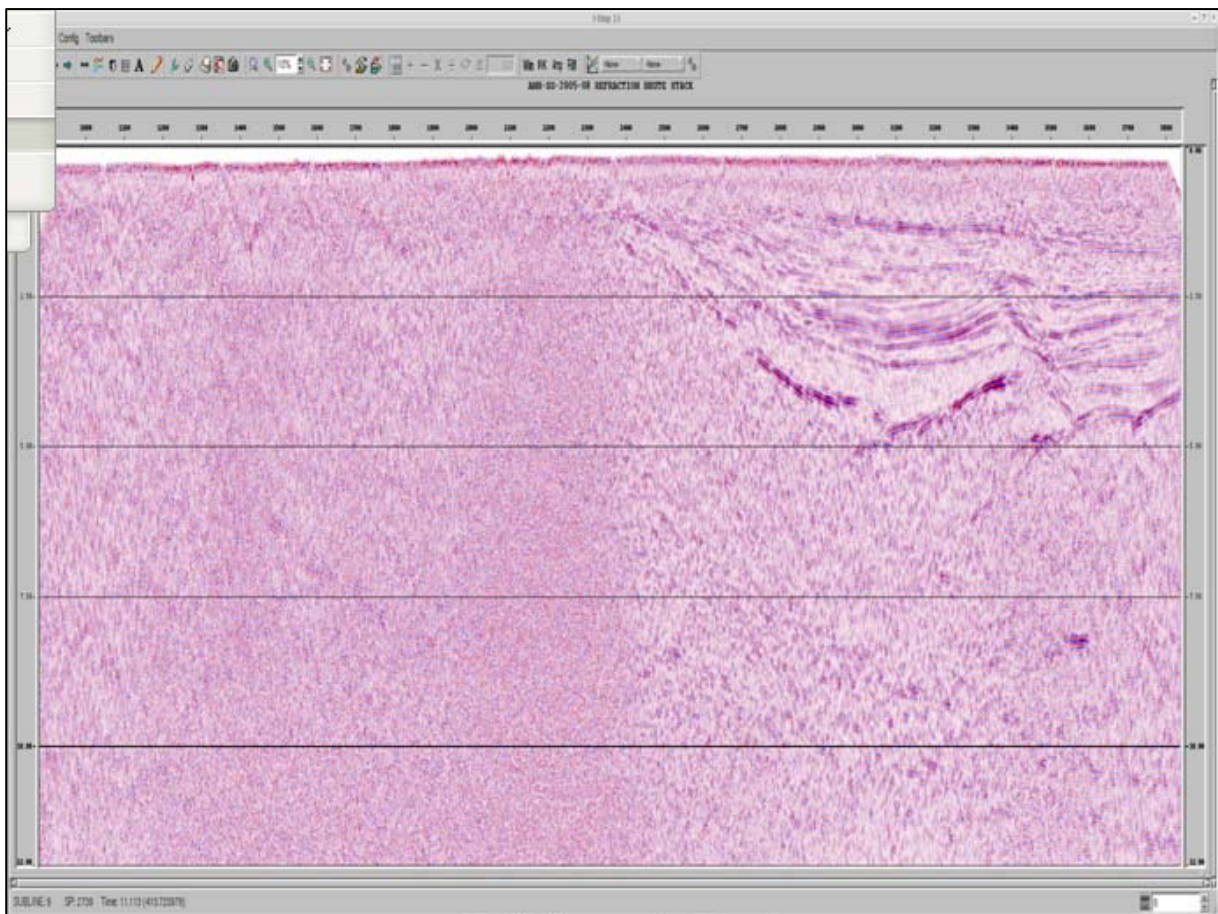


Figura 2.41. Apilado Estáticas de Refracción.

6. Atenuación de Ruido. Despike (*Ensbal*)

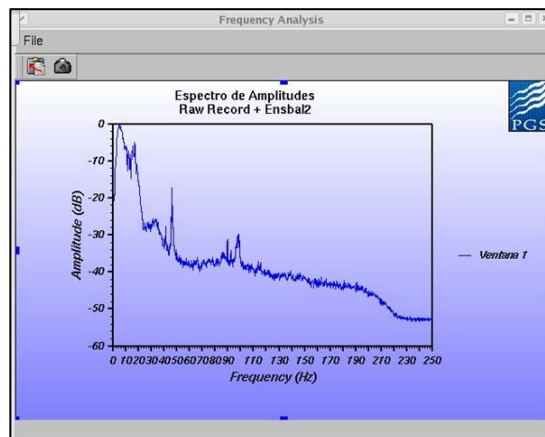
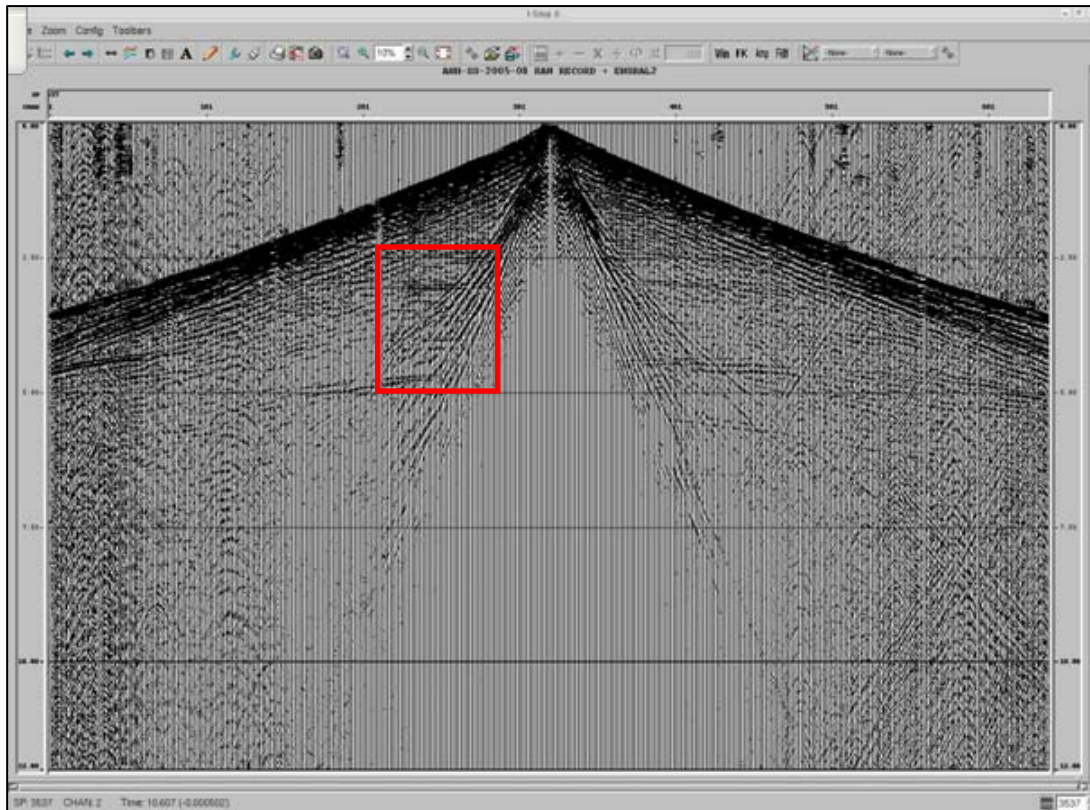


Figura 2.42. Registro con Atenuación de Ruido. Despike.
Con su correspondiente Espectro de Frecuencias.

7. Atenuación de Ruido. FK.

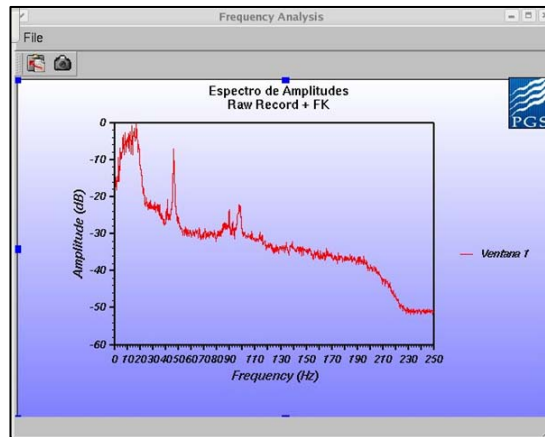
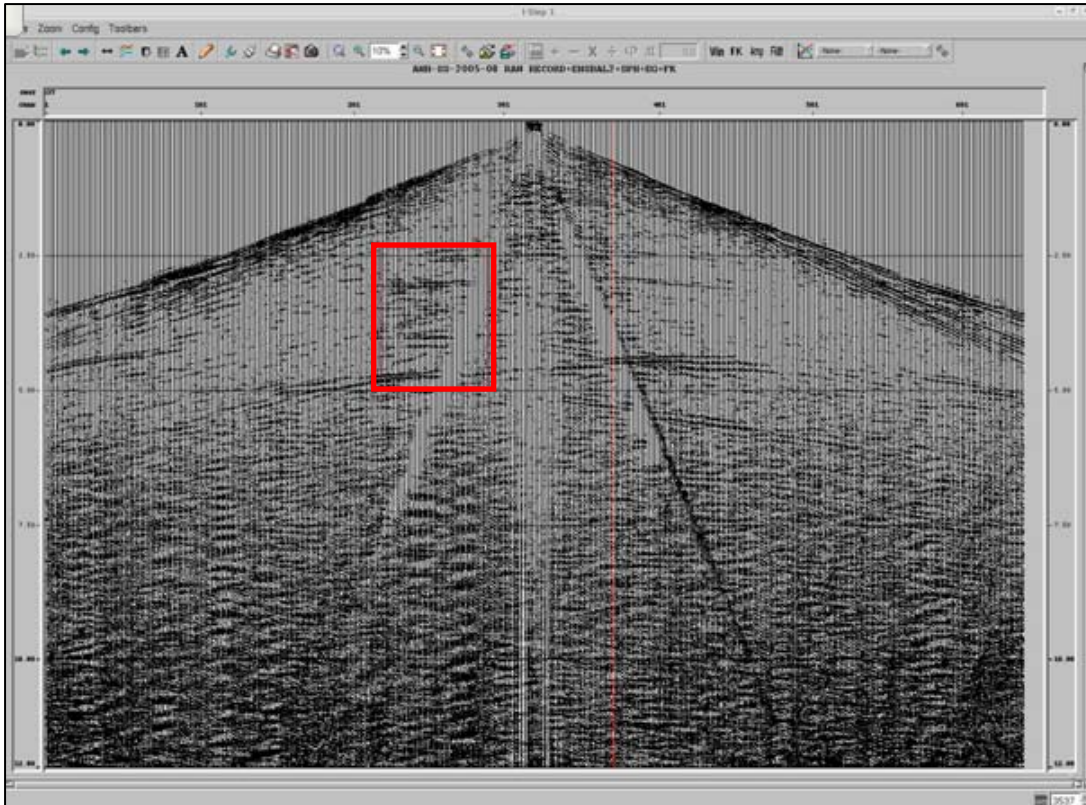


Figura 2.43. Registro con Atenuación de Ruido. FK.
Con su correspondiente Espectro de Frecuencias.

8. Ordenamiento en CDP's
9. Ganancia. AGC = 2000 mseg.
10. Deconvolución consistente en superficie
Longitud del operador: 220 mseg.
Longitud de predicción: 24 mseg.

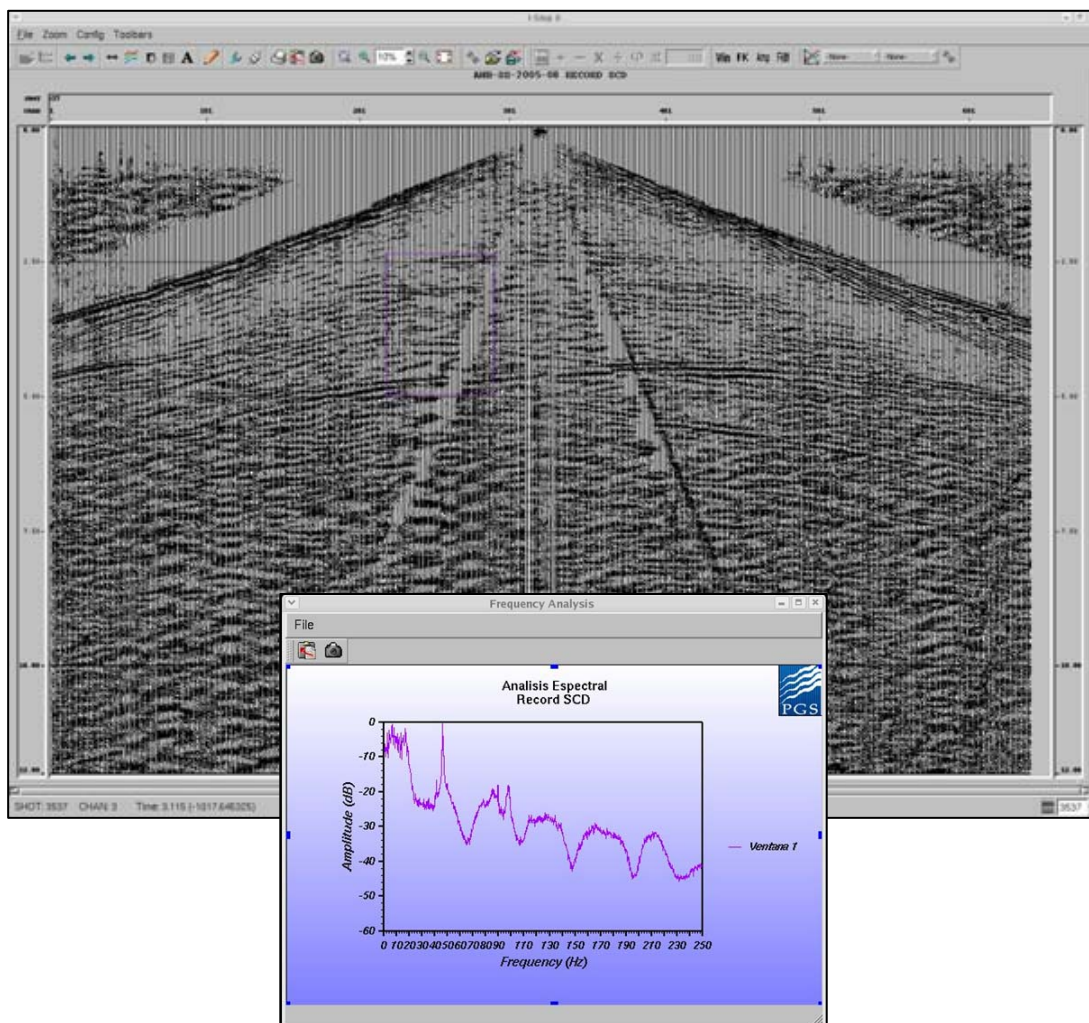


Figura 2.44. Registro con Deconvolución.
Con su correspondiente Espectro de Frecuencias.

11. Balanceo Espectral.

Frecuencias 6 – 80 Hz.

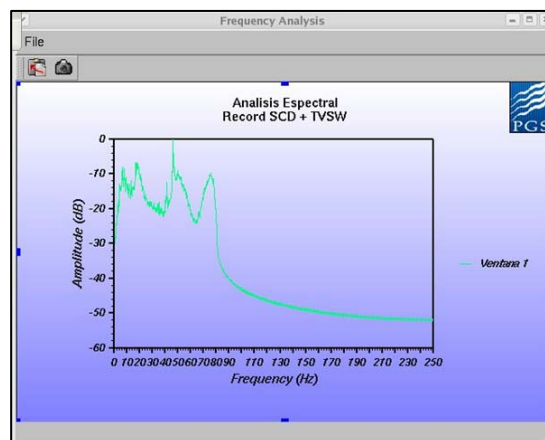
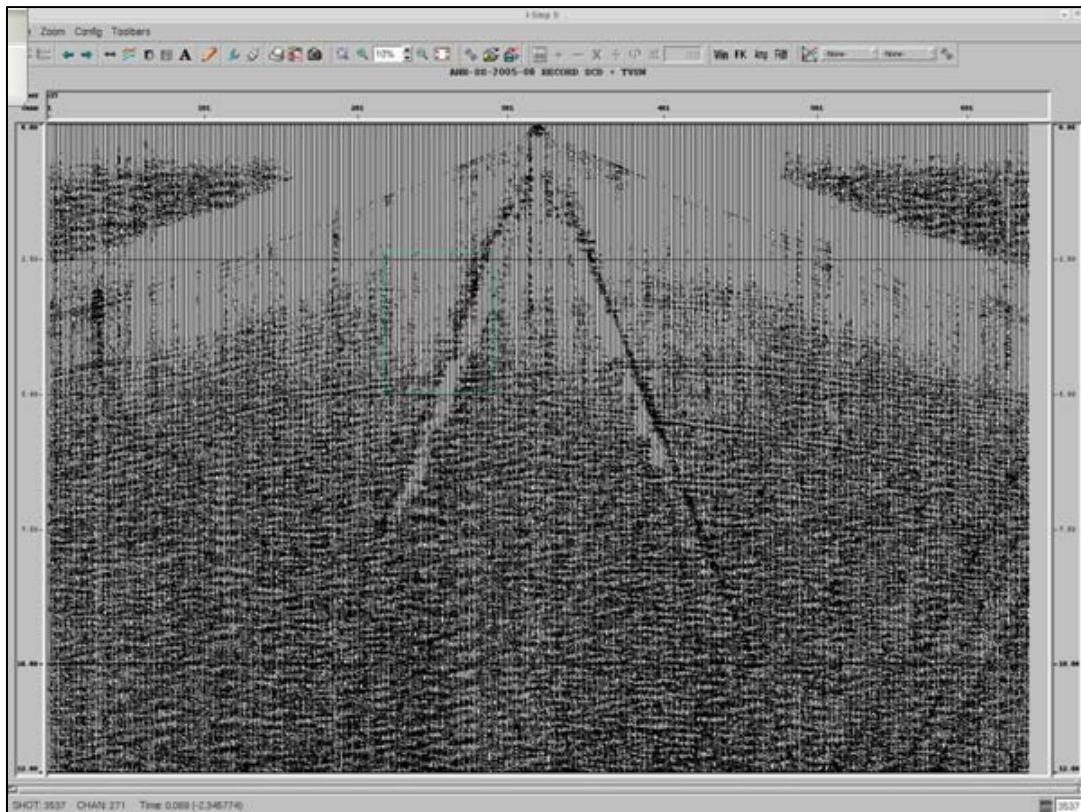


Figura 2.45. Registro con Deconvolución y Balanceo Espectral.

Con su correspondiente Espectro de Frecuencias.

12. Análisis de Velocidades 1.

Intervalo: cada 1.0 km

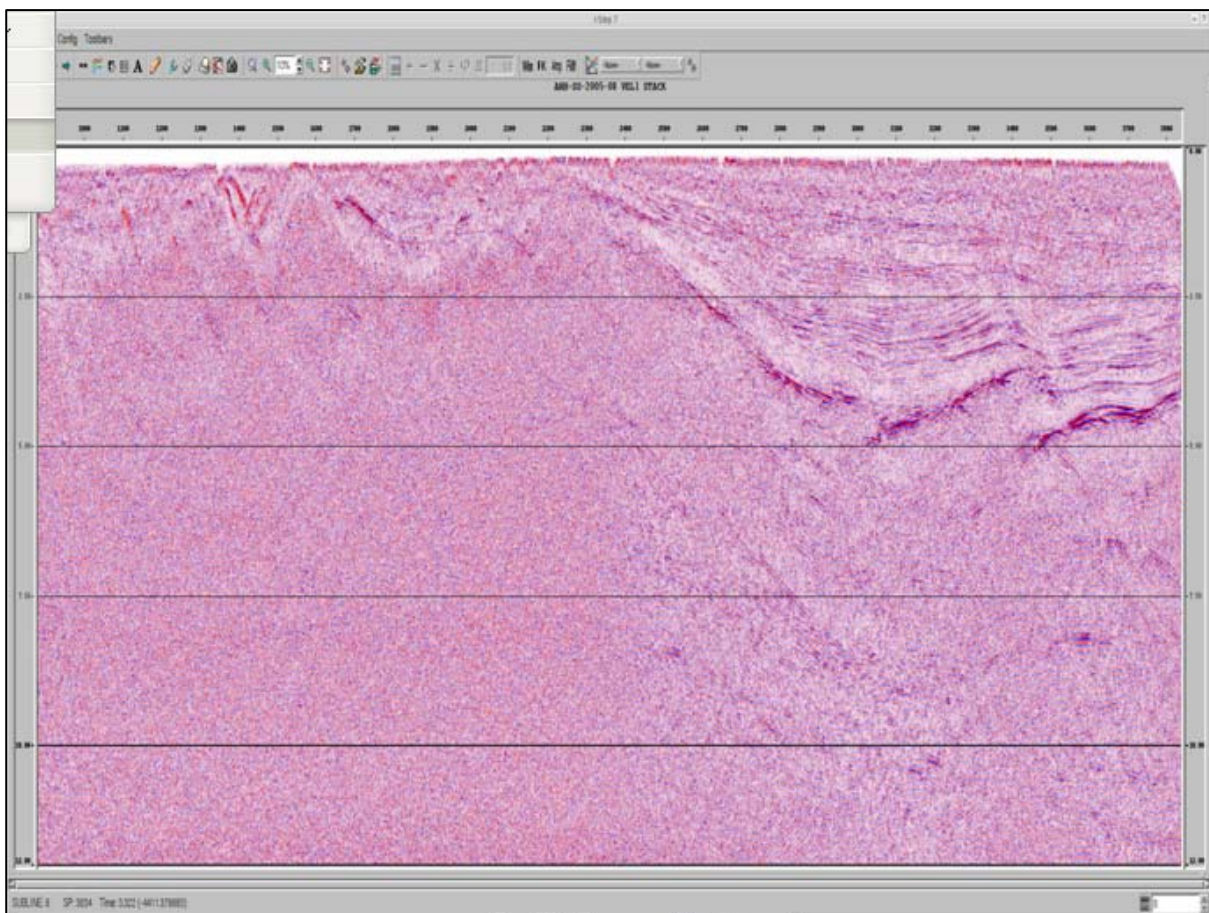


Figura 2.46. Apilado Estáticas de Refracción. Velocidades 1.

13. Estáticas Residuales Primer paso

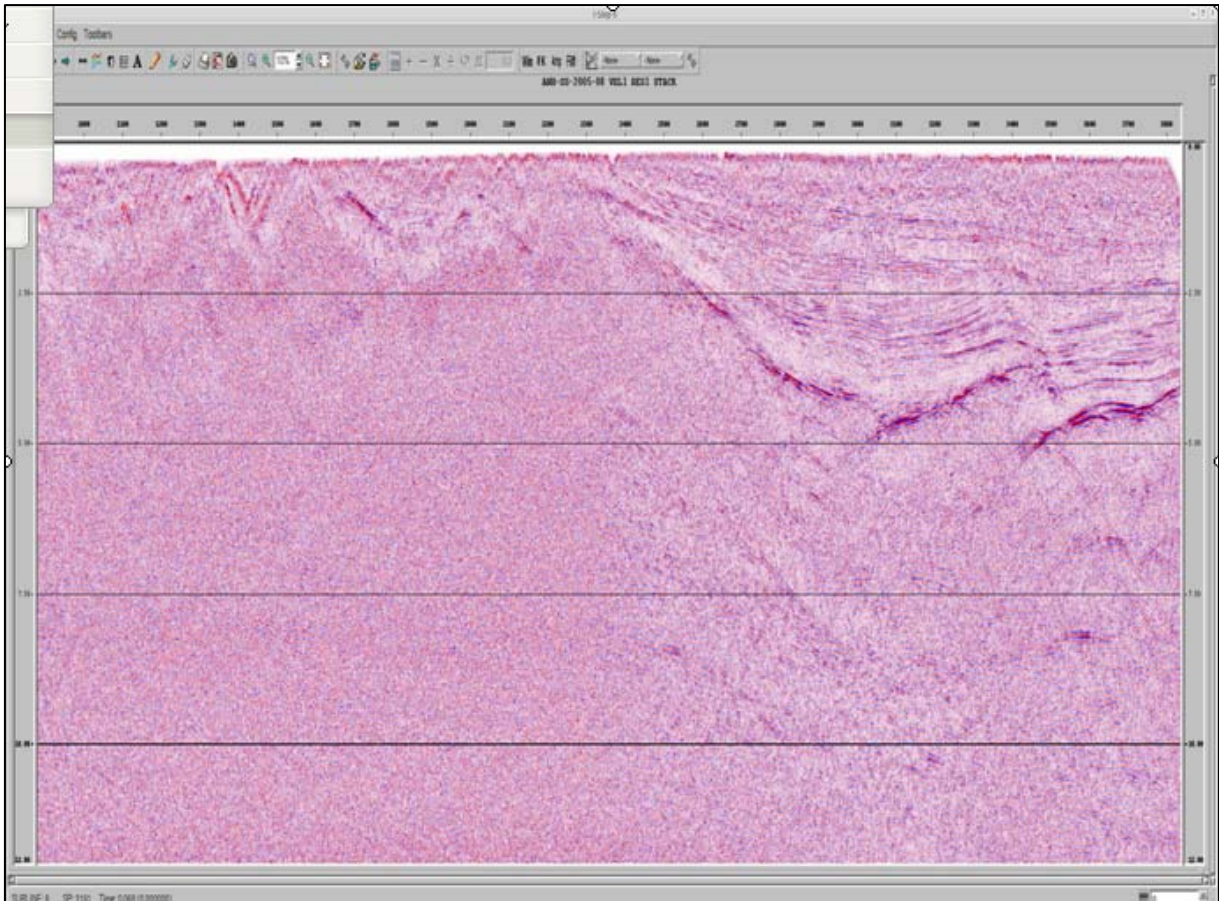


Figura 2.47. Apilado Estáticas Residuales 1. Velocidades 1.

14. Análisis de Velocidades 2.

Intervalo: cada 1.0 km

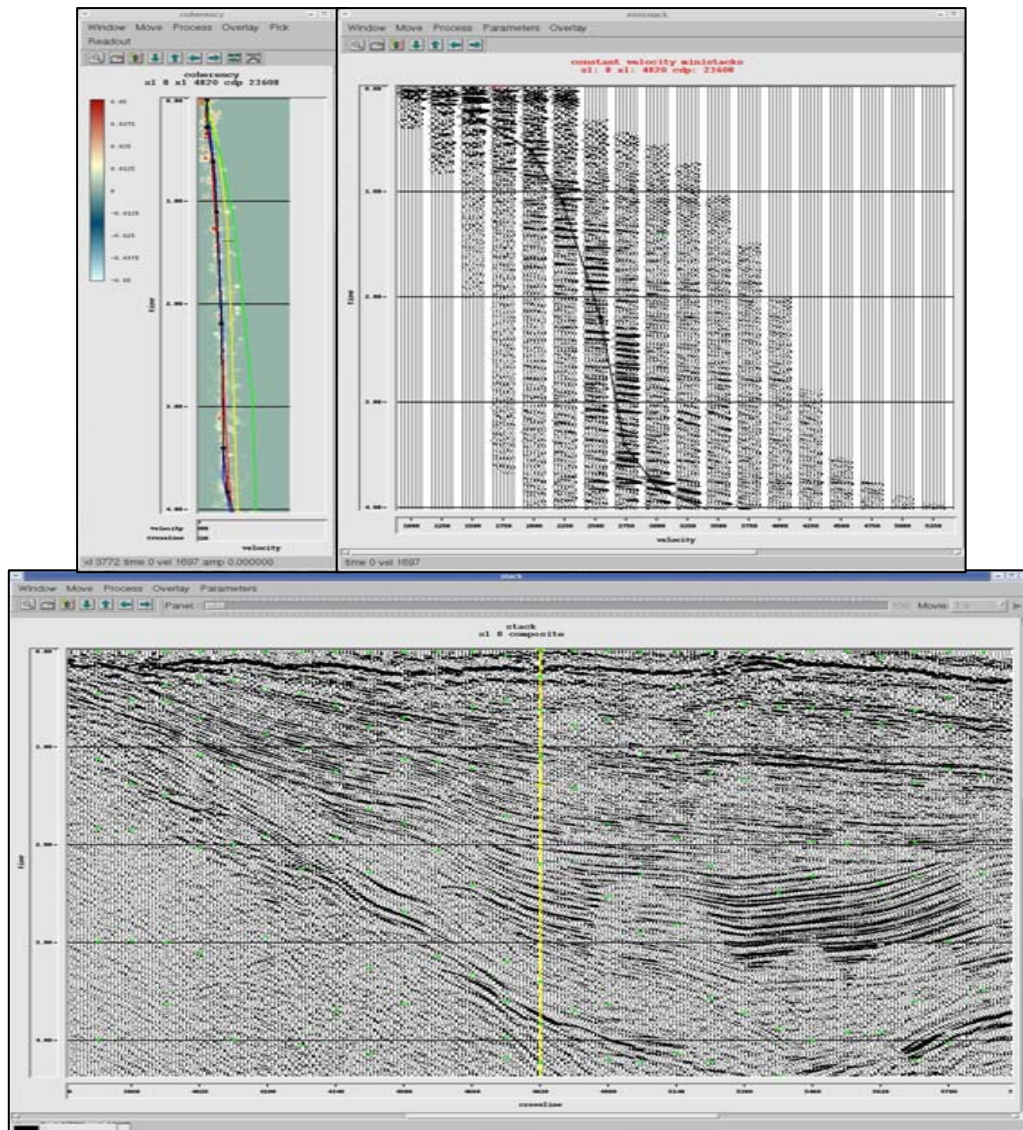


Figura 2.48. Análisis de Velocidades 2.
Semblanza, MVF & Composite Stack.

15. Estáticas Residuales Segundo Paso

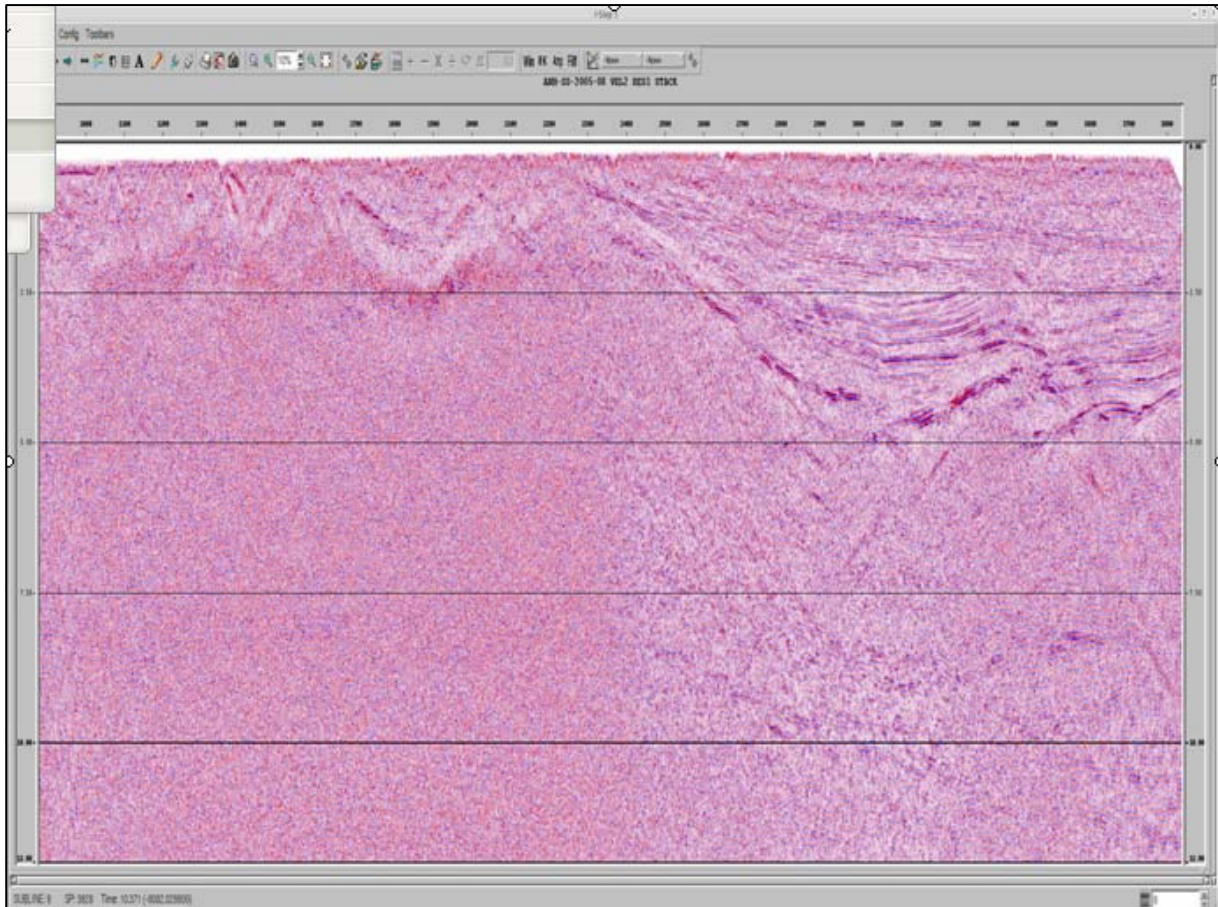


Figura 2.49. Apilado Estáticas Residuales 2. Velocidades 2.

16. NMO, Mute, Apilado.

17. Filtrado: 6/8 – 60/40 Hz.

18. Ganancia. AGC 1000 mseg.

19. Migración. Diferencias Finitas.

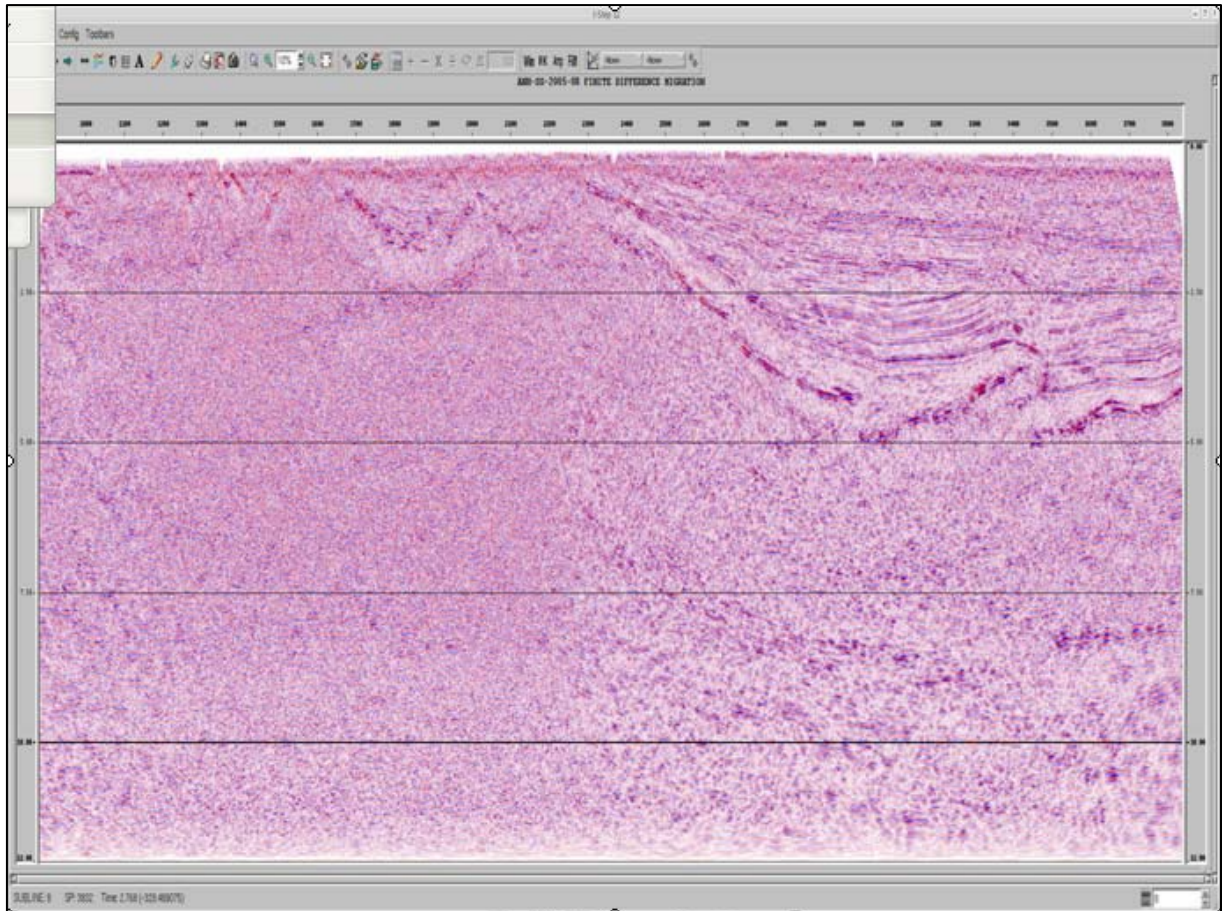


Figura 2.50. Migración

2.2.2 Post-Apilado

20. Atenuación de Ruido: FX-Decon.

21. Filtrado Variable en el Tiempo.

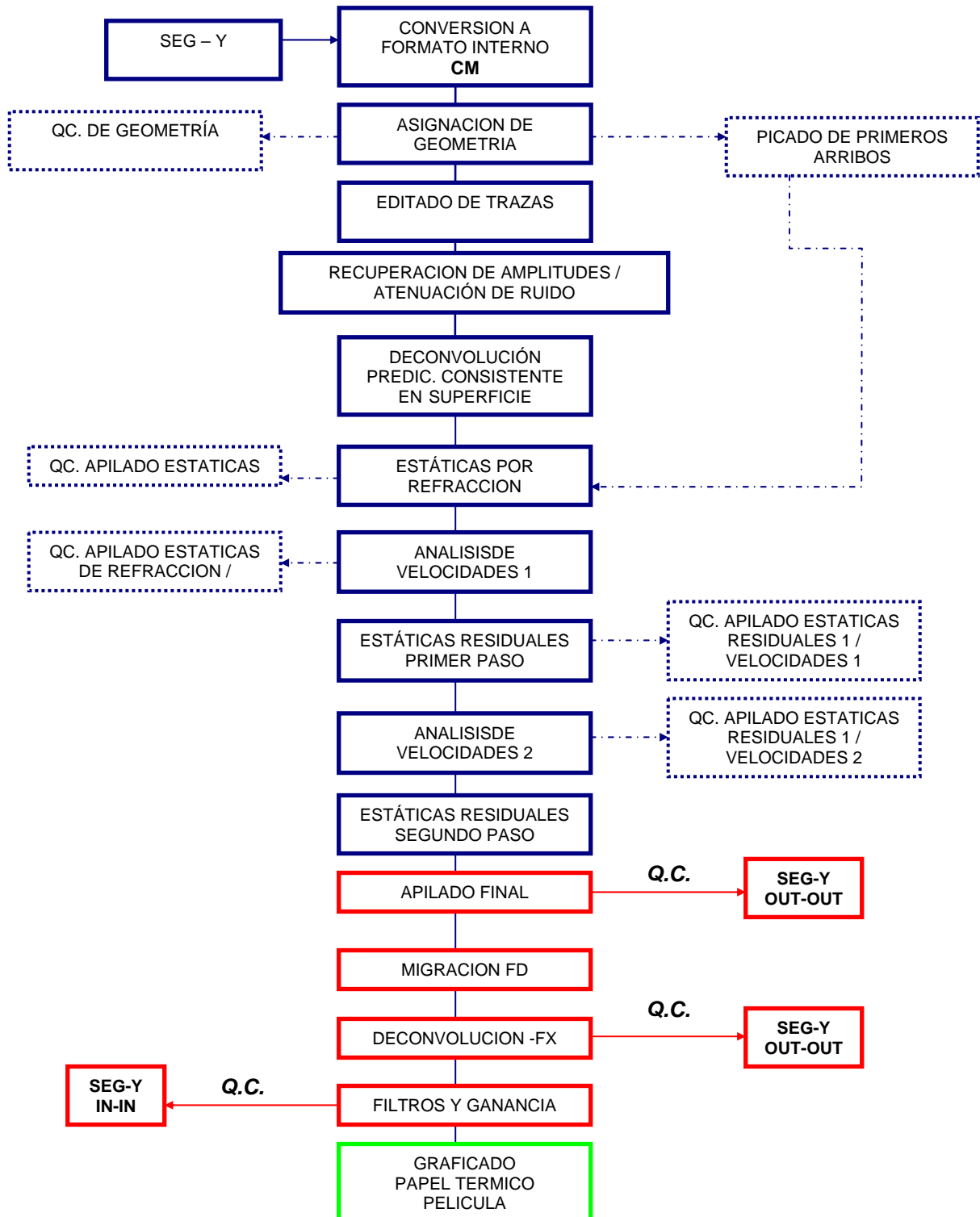
22. Ganancia. AGC 1000 mseg.

23. Graficado

Escala horizontal: 62 trazas por pulgada

Escala vertical:

2.3 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESAMIENTO



2.4 LISTADO DE CRUCES DEL PROYECTO

| LINEA | STN | CDP | LINEA | STN | CDP |
|----------------|------|-------|----------------|------|-------|
| ANH-SS-2005-01 | 1458 | 20301 | ANH-SS-2005-02 | 2175 | 18107 |
| ANH-SS-2005-01 | 3201 | 23787 | ANH-SS-2005-06 | 1212 | 29914 |
| ANH-SS-2005-02 | 2808 | 19373 | ANH-SS-2005-04 | 1214 | 22870 |
| ANH-SS-2005-03 | 1497 | 24424 | ANH-SS-2005-04 | 1902 | 24246 |
| ANH-SS-2005-03 | 2805 | 27040 | ANH-SS-2005-06 | 2841 | 33172 |
| ANH-SS-2005-05 | 3208 | 35955 | ANH-SS-2005-10 | 1647 | 29188 |
| ANH-SS-2005-05 | 3959 | 37457 | ANH-SS-2005-12 | 1382 | 24791 |
| ANH-SS-2005-07 | 1439 | 16769 | ANH-SS-2005-10 | 3334 | 32562 |
| ANH-SS-2005-07 | 2097 | 18086 | ANH-SS-2005-12 | 2991 | 28009 |

2.5 PROGRAMAS PRINCIPALES

2.5.1 Recuperación de Amplitudes

Toda señal sísmica que se propaga en un medio estratificado sufre una pérdida de energía, debido a factores físicos, tales como la divergencia esférica y la absorción de energía del medio.

La divergencia esférica se puede interpretar como la pérdida de energía causada por la propagación del frente de onda de la señal y se define como el inverso del cuadrado de la distancia recorrida por esta a través del medio. Para compensar esta pérdida de energía se aplicó una ganancia a partir de la ecuación $1/(tv^2)$ donde para la velocidad "v", se utilizó una velocidad promedio suavizada del área.

2.5.2. Atenuación de Ruido (Despike).

En el editado automático se utilizó el programa "*ensbal*", el cual discrimina trazas en base a la detección de amplitudes anómalas dentro de ventanas variantes con el tiempo. Para este estudio se utilizaron los siguientes parámetros para el análisis en cada una de las trazas: 78 ventanas de 200 mseg., con un traslape del 50% entre ellas, y un filtro espacial de 9 trazas.

El programa usó un método sumatorio deslizable (running sum method) sobre la longitud del filtro y calcula la amplitud promedio dentro de la ventana usando la media absoluta (la cual identifica las amplitudes anómalas o spikes), donde un escalar es calculado para el punto medio de la ventana basado en la amplitud promedio de la traza índice (working trace) y sus trazas vecinas. Los escalares aplicados para cada una de las muestras entre los puntos medios de las ventanas son derivados de una interpolación lineal entre cada uno de los puntos medios. Este proceso es repetido en tiempo y distancia "n" veces donde:

“n”= numero de ventanas * numero de trazas en el gather

2.5.3. Deconvolución

La señal sísmica puede ser considerada como la convolución de la señal de la fuente con los instrumentos, los detectores y la respuesta de la tierra. La respuesta de la tierra incluye algunos efectos no deseados tales como reverberación, atenuación, múltiples y fantasmas. El objetivo de la Deconvolución es estimar estos efectos como un filtro lineal y diseñar y aplicar filtros inversos. Deconvolución se puede definir como un proceso que la mejora la resolución temporal de la señal comprimiendo la Ondícula sísmica básica.

El algoritmo de Deconvolución Consistente con la Superficie utiliza el siguiente modelo convolucional de cuatro componentes de la Ondícula sísmica.

$$w(t) = s(t)*g(t)*h(t)*m(t)$$

**w(t): Ondícula sísmica, s(t): Ondícula del tiro, g(t): Ondícula del receptor,
h(t): Ondícula del offset, m(t): Ondícula del prc**

Después de transformar esta ecuación al dominio de la frecuencia y tomado el logaritmo a ambos términos de la ecuación esta se puede describir como:

$$\ln(A(f)) - \ln(AVG(f)) = \ln(S(f)) + \ln(G(f)) + \ln(H(f)) + \ln(M(f))$$

Donde **f** es la frecuencia temporal, **S,G,H** y **M** son espectros residuales de Tiros, Receptores, Offset y PRC comunes y **AVG** es el espectro promedio de todo el proyecto.

La **SCD** consta de 3 etapas: Calculo, Análisis y Aplicación; esta basada en el concepto de que una ondícula sísmica puede ser simplificada en cada una de sus componentes: fuente, receptor, offset y CMP.

Cálculo (*sdccl*). En esta etapa se generan espectros de potencia a partir de la autocorrelación de cada una de las trazas y lo compara con el espectro de potencia promedio de todo el levantamiento.

Análisis (*sdcana*). La diferencia obtenida es descompuesta para cada frecuencia, mediante un procedimiento consistente con la superficie, para las componentes fuente, receptor, offset y cdp.

Aplicación (*sdccon*). Los operadores son calculados y aplicados a los datos. Este proceso preserva las amplitudes.

2.5.4. Estáticas por Refracción

La presencia de capas poco consolidadas o de baja velocidad produce anomalías de estáticas de periodos corto y largo, estas con longitudes de onda en muchos casos mayores a un tendido, las cuales pueden introducir estructuras falsas en los datos.

El método mas efectivo para corregir estas anomalías son las estáticas por refracción, las cuales nos permiten derivar estimaciones de espesor y velocidad de las capas superficiales analizando los primeros arribos en los registros de campo, a partir de las cuales se pueden calcular las estáticas.

Se utilizo el programa *STRATUS* para el cálculo de estáticas de refracción. *STRATUS* utiliza los tiempos del refractor obtenidos de los datos sísmicos (primeros arribos) para construir y actualizar, iterativamente, un modelo de velocidades del subsuelo.

PGS ha desarrollado una metodología que le permite obtener una solución estática confiable, evitando la presencia de “time shift”, en los cruces de líneas 2D. El procedimiento, en términos generales es el siguiente:

- Los primeros arribos son picados para todas las líneas del Proyecto.

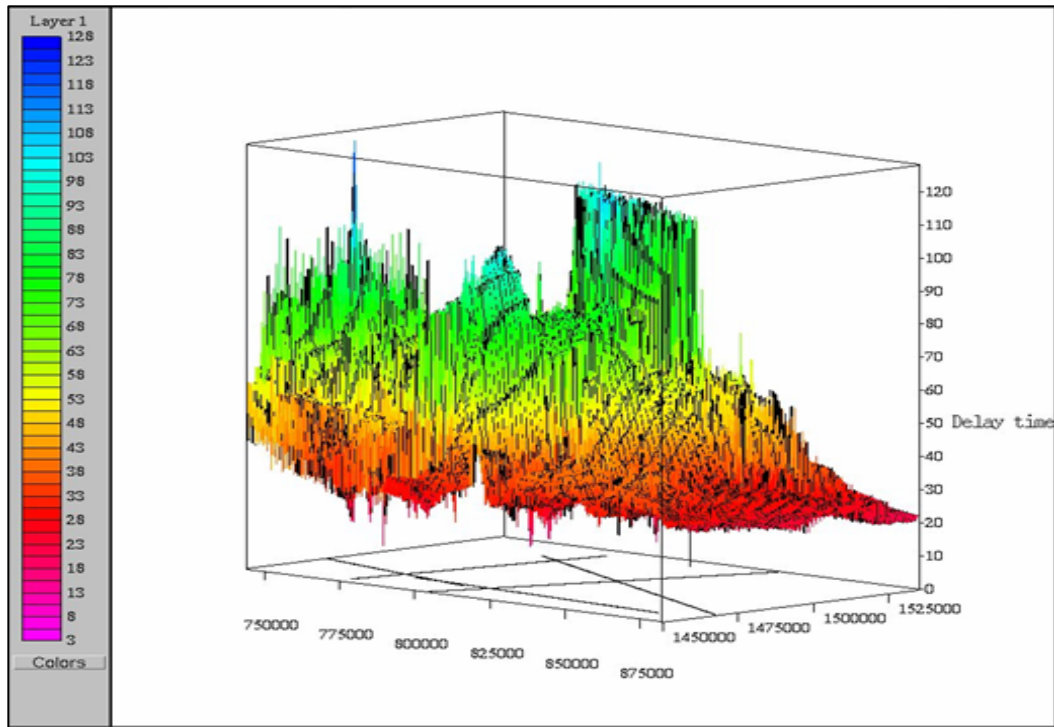


Figura 2.51. Elevaciones Proyecto Sinu-San Jacinto 2D.

Figura 2.52. Tiempos de Retraso. Proyecto Sinu-San Jacinto 2D.

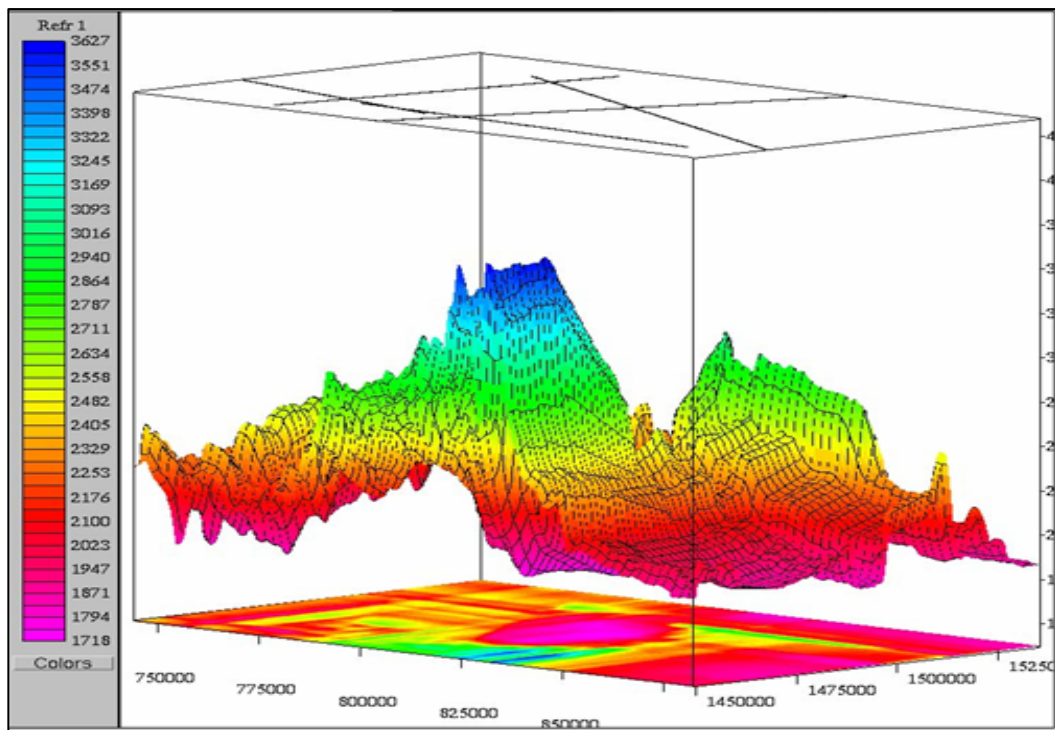


Figura 2.53. Velocidades del Refractor. Proyecto Sinu-San Jacinto 2D.

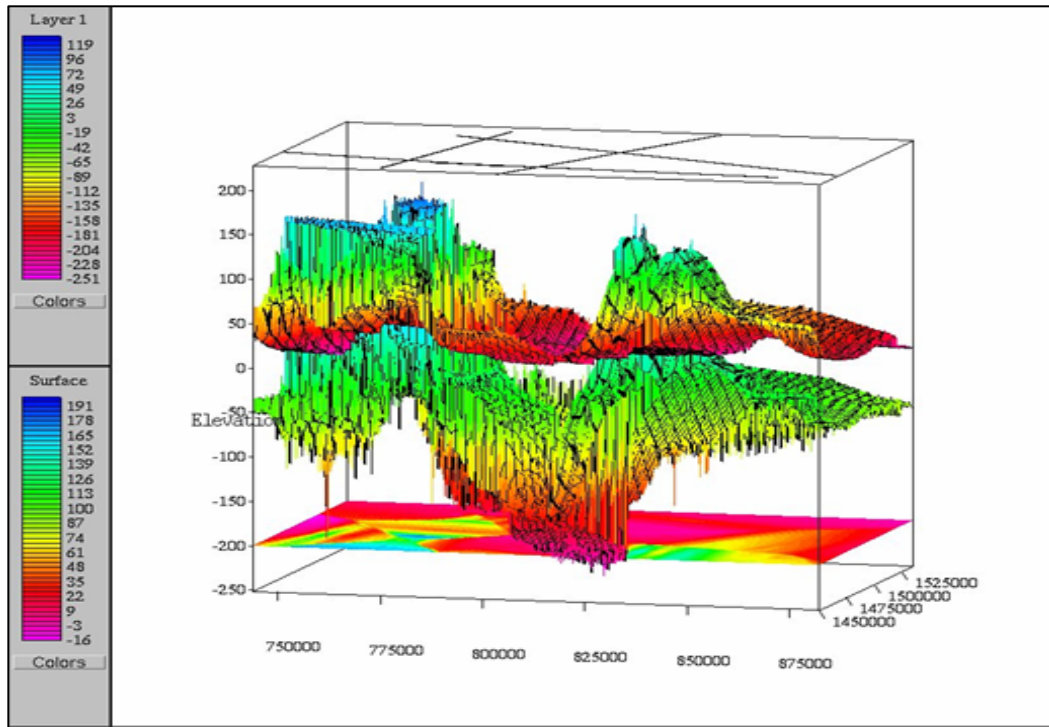


Figura 2.54. Elevaciones del Refractor. Proyecto Sinu-San Jacinto 2D.

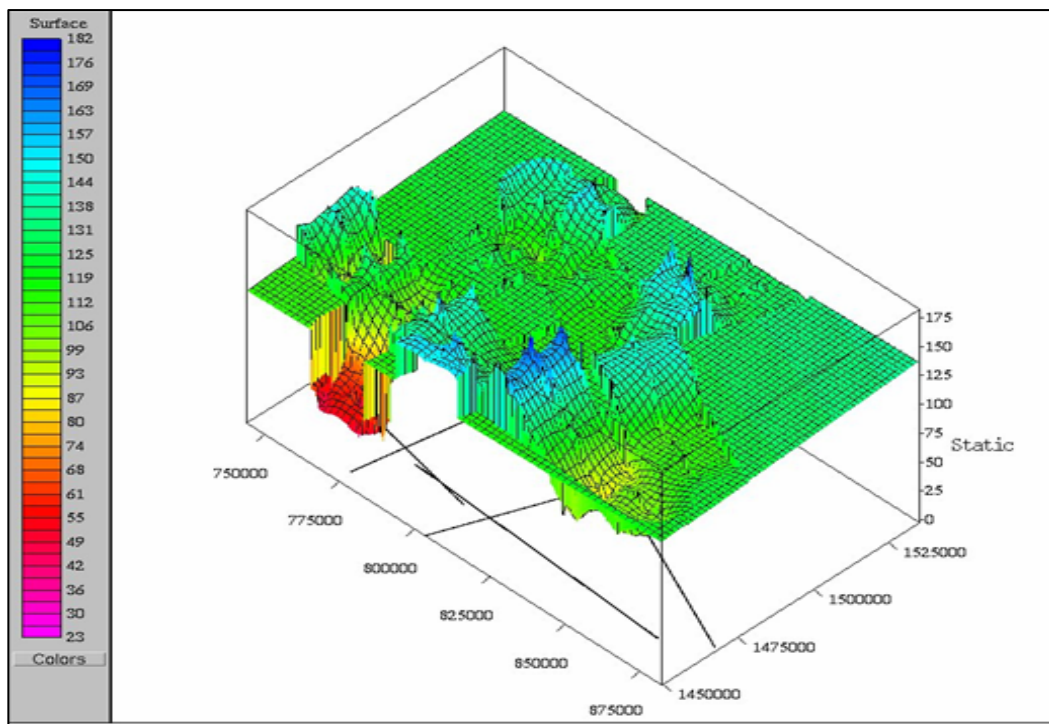


Figura 2.55. Estáticas de Refracción. Proyecto Sinu-San Jacinto 2D.

2.5.5. Estáticas Residuales

En la práctica los métodos de estáticas por refracción no resuelven totalmente las estáticas de periodo corto o de alta frecuencias, ya que estas no alcanzan a corregir los cambios rápidos en elevación y velocidad en las capas superficiales.

La mayoría de las técnicas de estáticas residuales están basadas en el concepto de que los tiempos en cada traza consisten de una estática de tiro, una estática de receptor, una estática del PRC y NMO residual. Estas asumen que la longitud de onda de las anomalías residuales es lo suficientemente corta para ser contenida en registro de PRC.

El paquete utilizado fue *CM MASTT*, el cual se compone de tres etapas de proceso. La primera *MASTTSAVE* ejecuta las cross-correlaciones para estimar las diferencias en tiempo entre trazas consecutivas dentro del PRC. La segunda *MASTTSOLVE* calcula los errores de estáticas residuales en una manera consistente con la superficie y deriva valores de estáticas para tiros, receptor, PRC y NMO residual. La tercera etapa es la aplicación de las estáticas residuales de tiro y receptor a los datos.

2.5.6. Migración

El proceso de migración por diferencias finitas es aplicado en dos pasos: extrapolación y “imaging” del campo de onda.

El paso de extrapolación consiste en continuar hacia abajo el campo de ondas registrado en la superficie, usando la ecuación escalar de onda, en una forma correspondiente a un reposicionamiento del plano de grabación de los datos. El paso de “imaging” consiste en calcular el campo de onda correspondiente al $t=0$ (tiempo de viaje 0) del plano de grabación reposicionado. Los datos son recursivamente migrados usando la salida de una extrapolación como entrada para la siguiente.

Para la solución de la ecuación diferencial, las condiciones iniciales y de borde son necesarias. La condición inicial es satisfecha con el campo de onda en la superficie $z=0$, la condición de borde es satisfecha asumiendo que el campo es igual a cero después de un tiempo máximo de observación, típicamente el tiempo máximo de grabación de las trazas. Yilmaz, O., 1987; Seismic Data Processing, pp. 241-353.

Dado que estas migraciones son sensibles a sufrir cambios laterales de velocidad, se utilizo un programa de extensión y compresión de velocidades basado en el concepto de Stolt, para minimizar este efecto.

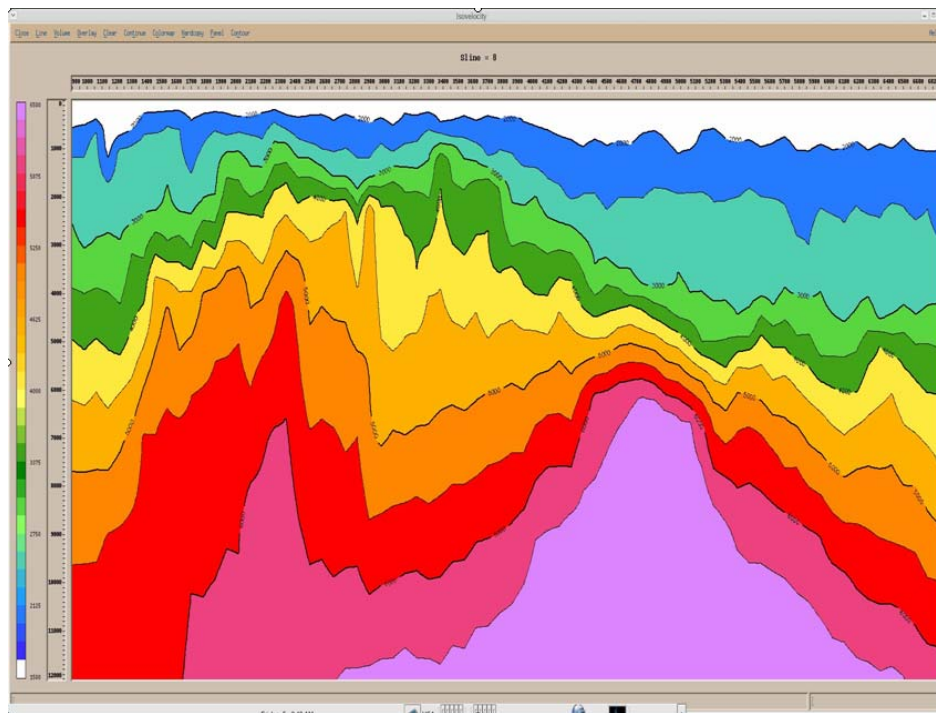


Figura 2.56. Velocidades de Apilamiento. Línea ANH-SS-2005-08.

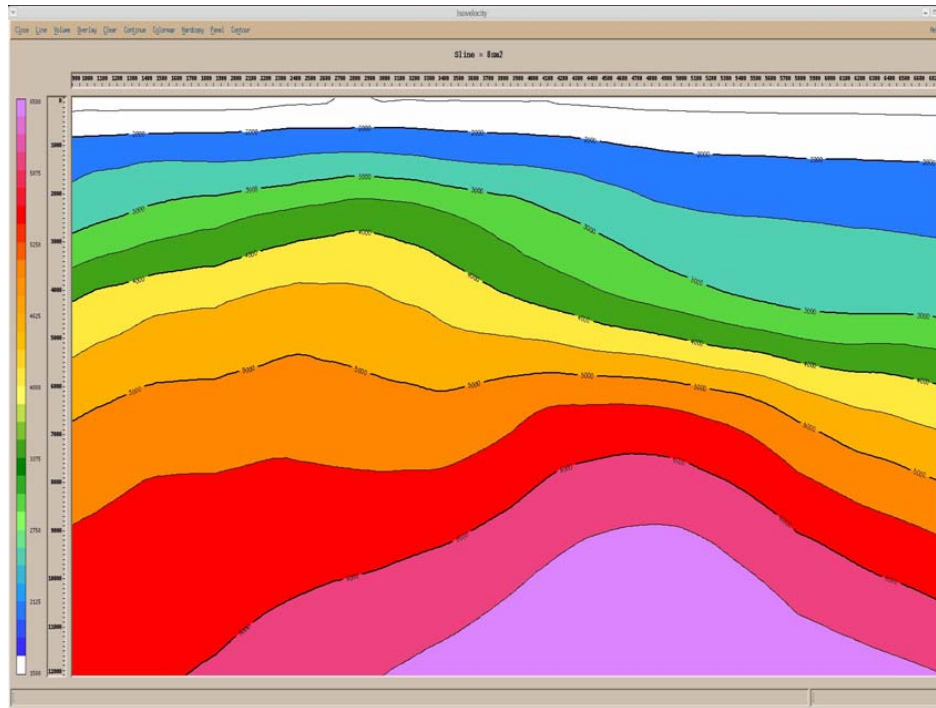


Figura 2.57. Velocidades de Migracion. Línea ANH-SS-2005-08.

2.5.7. Deconvolución Espacial y Temporal (F-X DECON)

La atenuación de ruido aleatorio (*FX-Decon*) aumenta la coherencia de eventos lineales (mas estrictamente, coherencia en eventos planos) sobre el ruido aleatorio usando una técnica de filtrado f-x que automáticamente selecciona el rango de echados a aumentar basados en los echados de los datos. El proceso opera en ventanas bidimensionales tomando los ejes de tiempo (t), ancho de la ventana inline (X_i). Cada ventana de datos $t-X_i$ es transformada por Fourier del tiempo a la frecuencia, produciendo una ventana de datos f- X_i . Operando separadamente en cada frecuencia, un filtro bidimensional de predicción de error Wiener (el cual predice la señal en el punto central de una ventana X_i) es calculado y aplicado a los datos en el plano X_i . El proceso asume que la energía pronosticada en el plano X_i es señal y la energía sobrante es ruido aleatorio (cualquier diferencia entre le valor predicho y el valor real se clasifica como ruido) el cual es desechado a la salida. Ventanas adyacentes de datos son mezcladas espacialmente antes de la transformada inversa y temporalmente después de la transformada inversa para llegar a la salida final.

2.6 PRODUCTOS FINALES

Productos entregados a la ANH

- Información en formato digital

| No. ARCHIVOS | DESCRIPCION | MEDIA DE ALMACENAMIENTO | FORMATO |
|--------------|------------------------------|-------------------------|---------|
| 20 | Apilado OUT / IN | DVD / EXABYTE | Seg-Y |
| 20 | Migración OUT / IN | | Seg-Y |
| 10 | Función de Velocidades | | ASCII |
| 10 | Coordenadas CDP | | ASCII |
| 10 | Apilado IN | DVD | CGM |
| 10 | Migración IN | | CGM |
| 10 | Función de Velocidades | | ASCII |
| 10 | Coordenadas CDP | | ASCII |
| 1 | Informe Proceso | | DOC |
| 1 | Informe Proceso | | PDF |
| 20 | Apilado y Migración IN-IN | | TIFF |
| 1 | Mapa de Fuentes y Receptores | | DWG |

- Secciones en Papel (1) Copia.

Apilado finales IN-IN..... (10)

Migraciones IN-IN.....(10)

- Secciones en Film (1) Copia.

Apilado finales IN-IN..... (10)

Migraciones IN-IN.....(10)

Todas las secciones fueron graficadas en la siguiente escala:

Escala Horizontal: 1:25.000

Escala Vertical: 3.75 pulgadas / segundo

Productos entregados al EPIS (Banco de Información Petrolera)

- Información en formato digital

| No. ARCHIVOS | DESCRIPCION | MEDIA DE ALMACENAMIENTO | FORMATO |
|--------------|------------------------------|-------------------------|---------|
| 20 | Apilado OUT / IN | EXABYTE | Seg-Y |
| 20 | Migración OUT / IN | | Seg-Y |
| 10 | Función de Velocidades | | ASCII |
| 10 | Coordenadas CDP | | ASCII |
| 10 | Apilado IN | DVD | CGM |
| 10 | Migración IN | | CGM |
| 10 | Función de Velocidades | | ASCII |
| 10 | Coordenadas CDP | | ASCII |
| 1 | Informe Proceso | | DOC |
| 1 | Informe Proceso | | PDF |
| 20 | Apilado y Migración IN-IN | | TIFF |
| 1 | Mapa de Fuentes y Receptores | | DWG |