

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

# **APLICACIÓN DE NUEVAS TÉCNICAS DE INTERPRETACIÓN Y EVALUACIÓN DE INCERTIDUMBRE EN EL MODELO GEOLÓGICO-ESTRUCTURAL 3D DEL CAMPO ORMEN LANGE DEL ÁREA SOLSIKKE EN NORUEGA**

Trabajo Especial de Grado  
Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por el Br. Betancourt Cerrada, Douglas José  
para optar al título de Ingeniero Geofísico

Caracas, Julio 2006

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

# **APLICACIÓN DE NUEVAS TÉCNICAS DE INTERPRETACIÓN Y EVALUACIÓN DE INCERTIDUMBRE EN EL MODELO GEOLÓGICO-ESTRUCTURAL 3D DEL CAMPO ORMEN LANGE DEL ÁREA SOLSIKKE EN NORUEGA.**

Tutor académico: José Cavada  
Tutor industrial: Roberto Lambertini  
Cotutor industrial: Mauricio Herrera

Trabajo Especial de Grado  
Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por el Br. Betancourt Cerrada, Douglas José  
para optar al título de Ingeniero Geofísico

Caracas, Julio 2006

**Betancourt C., Douglas J.**

**APLICACIÓN DE NUEVAS TÉCNICAS DE INTERPRETACIÓN  
Y EVALUACIÓN DE INCERTIDUMBRE EN EL MODELO  
GEOLÓGICO-ESTRUCTURAL 3D DEL CAMPO ORMEN  
LANGE DEL ÁREA SOLSIKKE EN NORUEGA.**

**Tutor Académico: Ing. José Cavada Tutor Industrial: Ing. Roberto Lambertini**

**Cotutor Industrial: Mauricio Herrera**

**Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería.**

**Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Año 2006, p.**

**Palabras claves: Interpretación sísmica, Extracción de planos de fallas, Incertidumbre, Noruega.**

**Resumen.** En este trabajo de grado se presenta nuevas técnicas de interpretación de datos sísmicos, ubicados en costa afuera en Noruega (Mar del Norte) con la finalidad de generar un modelo geológico-estructural en tres dimensiones a partir de la interpretación sísmica utilizando el método de extracción automática de fallas del campo Ormen Lange del área Solsikke en Noruega, de aproximadamente de 750 km<sup>2</sup>.

La metodología utilizada para este trabajo muestra los nuevos avances técnicos de interpretación sísmica. Dicha técnica utilizada es el algoritmo de “Ant tracking”, el cual se basa en el comportamiento inteligente de las hormigas para la búsqueda y visualización de discontinuidades estructurales obteniendo como resultado un atributo sísmico para la extracción automática y/o manual de los planos de fallas.

Para la obtención del volumen sísmico de “Ant tracking”, se realizaron numerosas pruebas con diferentes parámetros del atributo con la finalidad de obtener el mejor resultado para la extracción de los planos de fallas. Estos parámetros utilizados fueron las hormigas agresivas, dando alto nivel de detalle: Contorno inicial de las hormigas = 4, Trayectoria de desviación de las hormigas = 2, Tamaño de paso de las hormigas = 3, Pasos ilegales = 1, Pasos legales = 1, Criterios de parada = 5.

Igualmente se realizaron numerosas pruebas con la finalidad de extraer los planos de superficies. Los parámetros seleccionados para la extracción manual de los planos de superficie utilizados son: Distancia de extracción de muestreo = 15, Umbral de extracción de muestreo = 30, Umbral de extracción de fondo = 60, Desviación de un plano = 11, Limitación de conectividad = 1, Mínimo tamaño de plano = 100, Muestreo de planos = 8. La metodología de “Ant Tracking” se considera muy

eficiente para la extracción de superficies de fallas a partir de volúmenes sísmicos. La selección de la extracción y su posterior edición está sujeta a la geología estructural del área.

Es importante resaltar que esta extracción de los planos de superficie, es una nueva técnica de interpretación sísmica utilizada y ha generado resultados muchos más confiables y en menor tiempo. Además se concluyó que los elementos estructurales interpretados representan un sistema complejo de fallas normales principales de orientación NE-SO y N-S, esto corresponde con la literatura y da indicios de que la cuenca sufrió subsidencia termal y posteriormente una inversión reflejada por la presencia de domos terciarios.

A partir de esta extracción, se continúa con la conexión de los planos de superficies y edición de los mismos con la finalidad de convertir los planos fallados al modelado de fallas. Este conjunto complejo de fallas asociadas al marco tectónico son 25 fallas, interpretadas a partir del cubo sísmico 3D, el cual los movimientos de las fallas son de tipo normal, inverso y transcurrentes. Este modelado de fallas, elemento importante para la realización de nuestro modelo geológico-estructural en tres dimensiones, fue trabajado haciendo constantemente controles de calidad con respecto a las interpretaciones y la sísmica original. Así como también se observó en los horizontes interpretados, la estructura observada es un anticlinal de buzamiento SE, y que los horizontes más profundos tienen poca discontinuidad en los reflectores sísmicos; a partir de estas interpretaciones fueron generadas superficies con controles de calidad para la construcción de nuestro modelo geológico-estructural en Petrel, y posteriormente fueron realizados los horizontes, con el proceso "Make Horizons".

Una vez concluida la construcción del modelo geológico-estructural 3D, se procedió a calcular el error de superficie, asociado a los tres horizontes sísmicos, haciendo uso de la aplicación de Petrel, en el proceso de incertidumbre. Se programaron bajo el lenguaje de la aplicación dos metodologías para hacer el cálculo.

Finalmente esta técnica de interpretación podría ser aplicada en futuros estudios, para la estimación de posibles trampas estructurales y estratigráficas de yacimientos de ambientes marinos en Venezuela.

Este trabajo lo dedico a mis padres,  
pilares fundamentales para el éxito de mi carrera y de mi vida,  
A mis hermanos que me han dado el ejemplo de ser profesional.  
A las memorias de mis abuelos.  
A mi novia por ser parte importante de mi éxito.  
Al Cura, gran formador espiritual.

*“Hemos sido creados para realizar nuestros sueños. Si vivimos por ellos, si intentamos alcanzarlos, si ponemos la vida y estamos seguros de que podemos, lo lograremos. Si dudamos, quizá necesitemos hacer un alto en el camino y experimentar un cambio radical en nuestras vidas”*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecer a mi casa de estudio, Universidad Central de Venezuela, en especial a dos facultades que me formaron; la Facultad de Ciencias, Escuela de Física y la Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Geofísica y Minas. Orgulloso de pertenecer al primer centro de formación de profesionales de la ingeniería y uno de los principales generadores de conocimiento científico-tecnológico del país.

A Roberto Lambertini por permitir la oportunidad de ser parte de esta familia Schlumberger VTT, tener la disposición de ayudarme en todo lo necesario para la realización de este trabajo y confiar en mi.

A Clara Rodríguez y Mauricio Herrera por ser mi guía, enseñarme toda su experiencia profesional y compartirlo para la organización del trabajo.

Al grupo DCS-Caracas “Data & Consulting Services” encabezado por Claudio de la Cerda, Helena Gomero, las mejores geólogos, y a todos los profesionales de área de la geociencia, por estar siempre pendiente de mis pasos y avances del proyecto y ser amigos. Al grupo SIS “Schlumberger Information Solutions” buenos maestros de enseñanza de los paquetes tecnológicos, y los mejores profesionales del área de computación, importantes amigos que me ayudaron en el proyecto, en especial a Eric Banks.

Mis profesores universitarios por su formación académica, que con paciencia lograron enseñar sus experiencias técnicas en mi carrera, en especial a Marco Figueroa.

Finalmente a todos mis amigos Luis Cara, Antonio Di Teodoro y Giovanni Glaffo. Mis amigos Mario Díaz y Juan Rodríguez. Y a todos mis demás compañeros que compartimos grandes momentos. También a Francisco Bloise.

## ÍNDICE GENERAL

| DESCRIPCIÓN                                       | Pág. |
|---|------|
| 1 INTRODUCCIÓN                                    | 1    |
| 1.1- Objetivos                                    | 3    |
| 1.1.1- Objetivo general                           | 3    |
| 1.1.2- Objetivos específicos                      | 3    |
| 1.2- Ubicación del área en estudio                | 4    |
| 1.3- Trabajos previos                             | 5    |
| 1.4- Metodología                                  | 6    |
| 2 GEOLOGÍA  | 8    |
| 2.1- Cuenca “Moere” y “Vøring”                    | 8    |
| 2.2- Estratigrafía de la cuenca “Moere”           | 11   |
| 2.3- Composición del sedimento                    | 13   |
| 3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS                            | 15   |
| 3.1- Interpretación sísmica                       | 15   |
| 3.1.1- Recopilación de información                | 15   |
| 3.1.2- Carga de datos                             | 16   |
| 3.1.3- Selección de pozos claves                  | 16   |
| 3.1.4- Calibración de pozos                       | 16   |
| 3.1.5- Interpretación de horizontes               | 17   |
| 3.1.6- Interpretación de fallas                   | 18   |
| 3.1.7- Mapas estructurales en tiempo              | 18   |
| 3.1.8- Conversión tiempo-profundidad              | 18   |
| 3.1.9- Mapas estructurales en profundidad         | 19   |
| 3.2- Atributos sísmicos                           | 19   |
| 3.2.1- Atributos estructurales                    | 22   |
| 3.2.2- “Ant Tracking”                             | 25   |
| 3.2.3- Extracción de los planos de superficies 3D | 25   |
| 4 GENERALIDADES                                   | 27   |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 4.1     | Incertidumbre                                     | 27 |
| 4.1.1   | Comprensión de la incertidumbre                   | 27 |
| 4.1.2   | La probabilidad de error                          | 27 |
| 4.1.3   | Geoposicionamiento con incertidumbre              | 29 |
| 4.1.4   | Determinación de la incertidumbre en la formación | 29 |
| 4.1.5   | Estructural incertidumbre                         | 30 |
| 4.1.6   | Caracterización de yacimientos                    | 31 |
| 5       | PROCEDIMIENTO                                     | 32 |
| 5.1     | Esquema de trabajo                                | 32 |
| 5.2     | Cadena de interpretación de los datos sísmicos    | 33 |
| 5.3     | GigaViz 3.1                                       | 34 |
| 5.3.1   | Conversión del formato SEG Y a ZGY                | 37 |
| 5.3.2   | Visualización de la sísmica                       | 37 |
| 5.3.2.1 | Atributos sísmicos                                | 38 |
| 5.3.3   | Selección del área                                | 40 |
| 5.3.3.1 | Sub-volumen                                       | 40 |
| 5.4     | Módulo de Geofísica Petrel 2005                   | 41 |
| 5.4.1   | Interpretación de fallas                          | 42 |
| 5.4.1.1 | “Ant Tracking”                                    | 43 |
| 5.4.2   | Interpretación de horizontes                      | 47 |
| 5.4.2.1 | Edición   | 48 |
| 5.4.3   | Interpretación estructural automatizada           | 50 |
| 5.4.4   | Extracción de planos de superficies 3D            | 54 |
| 5.4.5   | Sismograma sintético                              | 57 |
| 5.5     | Módulo de Geología Petrel 2005                    | 58 |
| 5.5.1   | Definición del modelo                             | 58 |
| 5.5.2   | Modelado de fallas                                | 59 |
| 5.5.3   | Mallado de pilares “Pillar Gridding”              | 62 |
| 5.5.4   | Crear horizontes “Make Horizons”                  | 64 |

|   |    |
|---|----|
| 5.6 Incertidumbre estructural                           | 65 |
| 5.6.1 Incertidumbre de horizontes                       | 66 |
| 6 ANALISIS DE RESULTADOS                                | 67 |
| 6.1 Módulo de Geofísica Petrel 2005                     | 67 |
| 6.1.1 “Ant Tracking”                                    | 67 |
| 6.1.2 Extracción de planos de superficie 3D             | 69 |
| 6.1.3 Interpretación de fallas                          | 70 |
| 6.1.4 Interpretación de horizontes                      | 75 |
| 6.1.5 Mapa estructural en tiempo                        | 78 |
| 6.2 Módulo de Geología Petrel 2005                      | 81 |
| 6.2.1 Modelo geológico-estructural 3D                   | 81 |
| 6.2.2 Visualización del modelo geológico-estructural 3D | 82 |
| 6.3 Incertidumbre estructural                           | 83 |
| 6.3.1 Incertidumbre de horizontes                       | 83 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES                          | 86 |
| BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS CITADAS                      | 89 |
| APÉNDICES   | 93 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| DESCRIPCIÓN   | Pág. |
|---|------|
| Figura 1. Mapa de ubicación   | 4    |
| Figura 2. Mapa del área Solsikke  | 5    |
| Figura 3. Mapa tectónico de la Cuenca Moere (tomado Blystad et al., 1995) | 8    |
| Figura 4. Cuenca Moere: aguas profundas (tomado de Fugelli et al., 2005)  | 11   |
| Figura 5. Columna estratigráfica  | 12   |
| Figura 6. Catalogación de errores   | 28   |
| Figura 7. Incertidumbre estructural                                       | 30   |
| Figura 8. Esquema de trabajo  | 32   |
| Figura 9. Esquema de interpretación sísmica                               | 33   |
| Figura 10. GigaServer: conexión con el servidor                           | 34   |
| Figura 11. GigaMonitor: visualización de conexión con el servidor         | 35   |
| Figura 12. GigaOrganizer visualización del formato SEGY                   | 35   |
| Figura 13. Visualización del arrastre del archivo al nuevo proyecto       | 36   |
| Figura 14. Visualización de la sísmica cargada en la estación de trabajo  | 37   |
| Figura 15. Atributos sísmicos: suavizado estructural                      | 38   |
| Figura 16. Atributo sísmico: varianza                                     | 39   |
| Figura 17. Atributo sísmico: caos   | 39   |
| Figura 18. Sub volumen sísmico  | 40   |
| Figura 19. Metodología “Ant tracking”                                     | 41   |
| Figura 20. Atributo: suavizado estructural en Petrel                      | 43   |
| Figura 21. Atributo sísmico: varianza con suavizado vertical de 34 ms     | 44   |
| Figura 22. Atributo sísmico: varianza con suavizado vertical de 65 ms     | 44   |
| Figura 23. Atributo sísmico: varianza con suavizado vertical de 120 ms    | 45   |
| Figura 24. Generación de atributos varianza                               | 46   |
| Figura 25. Generación de “Ant Tracking”                                   | 46   |
| Figura 26. Interpretación de horizontes                                   | 48   |
| Figura 27. Edición de horizontes  | 49   |

|  |    |
|--|----|
| Figura 28. Contorno inicial de las hormigas                                    | 50 |
| Figura 29. Trayectoria de desviación de las hormigas                           | 51 |
| Figura 30. Tamaño de paso de las hormigas                                      | 51 |
| Figura 31. Pasos ilegales  | 52 |
| Figura 32. Pasos legales   | 52 |
| Figura 33. Criterios de parada   | 53 |
| Figura 34. Parámetros seleccionados para la extracción                         | 56 |
| Figura 35. Extracción de superficies de fallas                                 | 56 |
| Figura 36. Curva tiempo-profundidad del registro “check shot” del pozo         | 57 |
| Figura 37. Definición de modelo  | 58 |
| Figura 38. Modelado de fallas  | 59 |
| Figura 39. Movimiento de pilar de falla  | 60 |
| Figura 40. Conexión de fallas  | 61 |
| Figura 41. Generación del mallado de pilares                                   | 62 |
| Figura 42. Tendencia de los pilares  | 63 |
| Figura 43. “Make horizons” generado a partir de superficies                    | 64 |
| Figura 44. Generación de incertidumbre estructural                             | 65 |
| Figura 45. Extracción de horizontes  | 66 |
| Figura 46. “Ant Tracking” mostrando en azul las discontinuidades estructurales | 68 |
| Figura 47. Extracción de los planos de superficies de las fallas 3D            | 69 |
| Figura 48. Visualización de la sísmica 3D e interpretación de la fallas        | 70 |
| Figura 49. Conjunto de fallas interpretadas del área                           | 72 |
| Figura 50. Sección sísmica “Inline 3778”                                       | 74 |
| Figura 51. Interpretación de los horizontes tope, intermedio y base            | 75 |
| Figura 52. Sismograma sintético obtenido del pozo, amarre sísmica/pozo         | 76 |
| Figura 53. Interpretación de horizontes 3D                                     | 77 |
| Figura 54. Mapa estructural en tiempo del horizonte denominado “tope”          | 79 |
| Figura 55. Mapa estructural en tiempo del horizonte denominado “intermedio”    | 80 |
| Figura 56. Mapa estructural en tiempo del horizonte denominado “base”          | 81 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 57. Modelo geológico estructural 3D                   | 82 |
| Figura 58. Visualización del modelo geológico-estructural 3D | 83 |
| Figura 59. Incertidumbre de horizontes                       | 85 |

## ÍNDICE DE TABLAS

| DESCRIPCIÓN   | Pág. |
|---|------|
| Tabla 1. Esquema de bordes de Sobel                           | 24   |
| Tabla 2. Morfología y orientación de las fallas interpretadas | 72   |

# CAPÍTULO 1

## 1 INTRODUCCIÓN

A través de los años se ha hecho un esfuerzo en integrar las disciplinas de la geociencia para llegar a entender el potencial de un área. En los años 1980, los geofísicos especializados en el área de la interpretación de datos sísmicos 2D, utilizaron los registros sobre las secciones sísmicas de profundidad a tiempo y además generalizaron curvas para determinar, qué acontecimientos representaron marcadores en los registros. Los geólogos interpretaron secciones representativas dibujando líneas rectas entre los pozos para representar sus correlaciones (Latimer, 2005).

En la industria del petróleo y el gas de nuestros días, la dirección prevaleciente del cambio está dada por la conjunción del conocimiento de muchos con el poder concentrado en uno solo. Cuando se combinan las operaciones integradas con las secuencias de tareas en ambientes de colaboración y las tecnologías simples e integradas, se logra ser eficiente, manejar los datos de un modo más fluido y lograr procesos simplificados.

En este Trabajo Especial de Grado, se busca desarrollar la generación de un modelo geológico-estructural en tres dimensiones a partir de la interpretación sísmica utilizando el método de extracción automática de fallas del campo Ormen Lange del área Solsikke en Noruega, con la aplicación de Petrel, nueva herramienta de Schlumberger para la industria petrolera para la interpretación sísmica integrada.

De esta manera se propone en éste proyecto, aplicar estas nuevas técnicas de interpretación sísmicas en un conjunto de datos en campos petrolíferos y/o gasíferos venezolanos, dando así un importante aporte a la exploración y desarrollo en el país.

Adicionalmente, el proyecto aportará conocimiento relevante acerca del uso de herramientas con nuevas tecnologías de integración a las disciplinas de la geociencia que permitirá la evaluación de riesgo petrolero, información que servirá para formular planes de prevención orientados a las perforaciones futuras en Venezuela.

## **1.1-Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo general.**

Generar a partir de la interpretación estructural de los datos sísmicos 3D y de pozos un modelo geológico-estructural 3D del campo Solsikke en Noruega, utilizando los métodos de extracción de fallas y evaluación de incertidumbre asociadas a las superficies con nuevas tecnologías de uso con la aplicación Petrel de Schlumberger.

### **1.1.2 Objetivos específicos.**

1. Seleccionar el cubo sísmico a partir de las visualizaciones 3D con la información de sísmica y pozos disponibles.
2. Interpretar y extraer sistema de fallas existentes a grande y pequeña escala.
3. Interpretar los horizontes sísmicos correspondientes a los marcadores geológicos de interés del campo Ormen Lange del área Solsikke.
4. Elaboración del modelo geológico-estructural 3D y análisis de velocidades para la transformación a profundidad, mediante el uso del software Petrel Schlumberger.
5. Evaluación de incertidumbre asociada a la superficie del campo Ormen Lange del área Solsikke.

## 1.2-Ubicación del área en estudio

Noruega está situada al norte de Europa, limitada por el Mar del Norte y el Mar de Noruega, y Suecia al este.



Figura 1. Mapa de ubicación

Solsikke está ubicado en Mar del Norte, a unos 200 kilómetros de la costa del noroeste de Noruega con una profundidad cercana a 1.800 metros, bajo el nivel del mar.

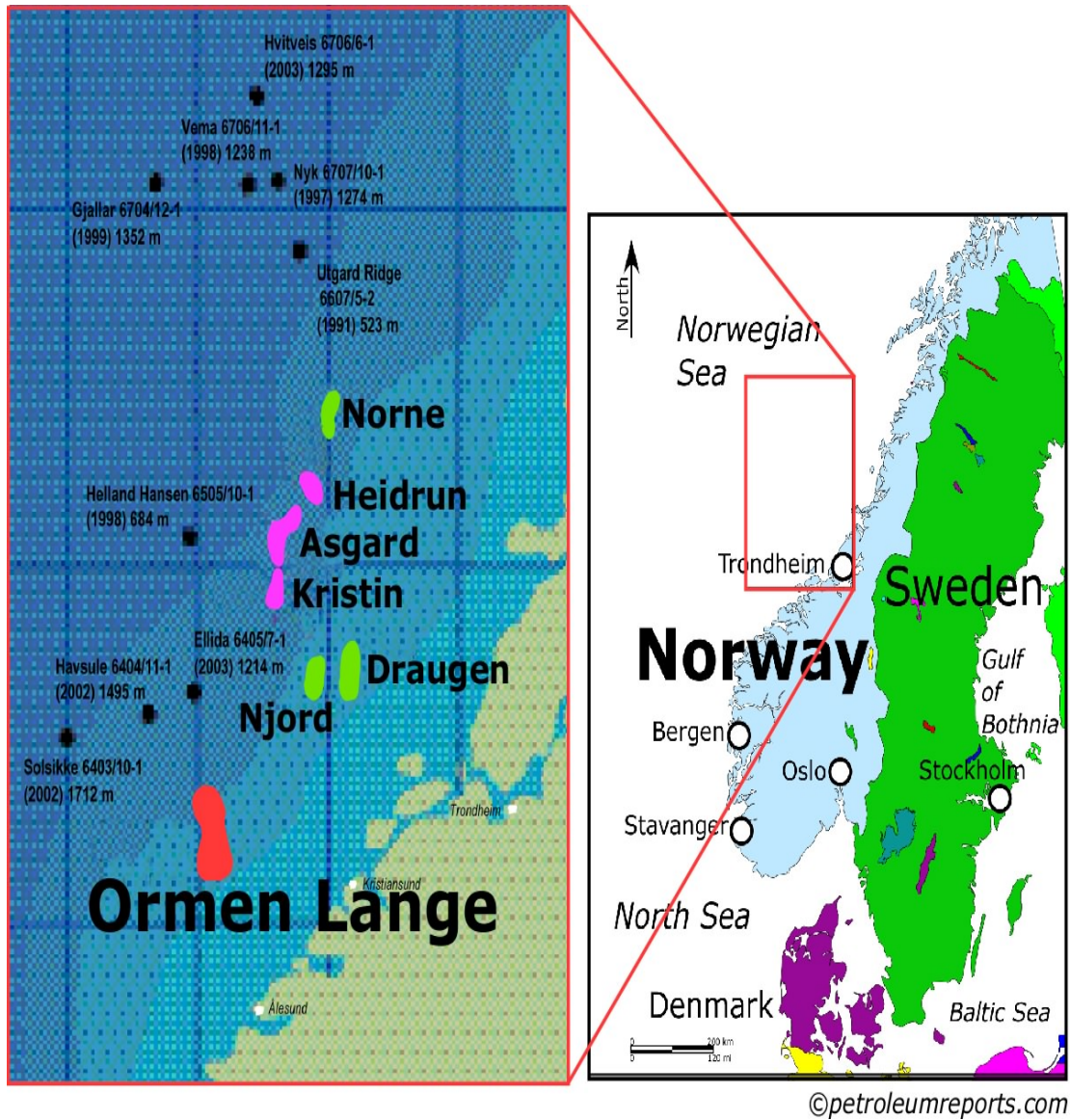


Figura 2. Mapa del área Solsikke

### 1.3-Trabajos previos

En marzo de 2005, el equipo de trabajo realizó un reporte final sobre la interpretación sísmica y evaluación de vida del proyecto, localizada en el campo

Solsikke, realizado en trabajo en equipo de Schlumberger (Schlumberger Information Solutions) de Paris y Stavanger.

#### **1.4- Metodología**

La metodología a desarrollar para la elaboración de este proyecto es la siguiente:

1. - Recopilación de información teórica acerca del proceso de interpretación y todas las variables involucradas en dicho proceso. Así como también, la información estructural y estratigráfica del área de estudio.
2. - Carga de los datos sísmicos en la estación de trabajo. A partir del inventario de la información existente del área: pozos, registros de pozos (densidad, sísmico, checkshot, etc.), así como también de los marcadores geológicos y cualquier otra información de ésta índole.
3. - Visualización y selección del cubo sísmico utilizando como herramienta de software, el programa GigaViz.
4. - Utilización del “Ant Tracking” del módulo de geofísica de Petrel, para aplicar las metodologías de interpretación de fallas. Las técnicas a trabajar son “Structural Smoothing” para las zonas falladas, “Varianza/Chaos” para visualizar las fallas y el algoritmo de “Ant Tracking” para el reconocimiento de fallas. Extracción e interpretación de fallas a grande y pequeña escala, evaluando los diferentes parámetros de extracción. Se utilizaran funciones de filtrado “Stereonets” para el rumbo y buzamiento de la estructura.

5. - Interpretación de horizontes, de los intervalos de interés con el módulo de interpretación sísmica de Petrel.
  
6. - Construcción del modelo estructural, bajo la aplicación Petrel que servirá de base, para la creación de un modelo de velocidad donde se realizará la conversión tiempo-profundidad y la elaboración de mapas estructurales en profundidad.
  
7. - Evaluación del módulo de análisis de incertidumbre, donde se aplicarán al modelo de velocidades y estructuras asociadas al campo Solsikke.
  
8. - Análisis de incertidumbre para visualizar las principales estructuras y posibles trampas estratigráficas que se encuentren en el área de estudio.
  
9. - Finalmente se generará un modelo geológico-estructural, donde se procederá a realizar un análisis interpretativo, con el fin de generar conclusiones y recomendaciones respecto al marco geo-estructural del campo Solsikke.

## CAPÍTULO 2

### 2 Geología

#### 2.1 Cuenca “Moere” y “Vøring”

Las cuencas “Moere” y “Vøring” están localizadas en la plataforma continental noruega entre 62° y 70° N en el Mar de Noruega. Estas cuencas costafuera son de características de ambiente marino profundo de sistemas turbidíticos con aproximadamente extensiones de áreas: “Moere” > 110.000 km<sup>2</sup> y “Vøring” > 180.000 km<sup>2</sup>.

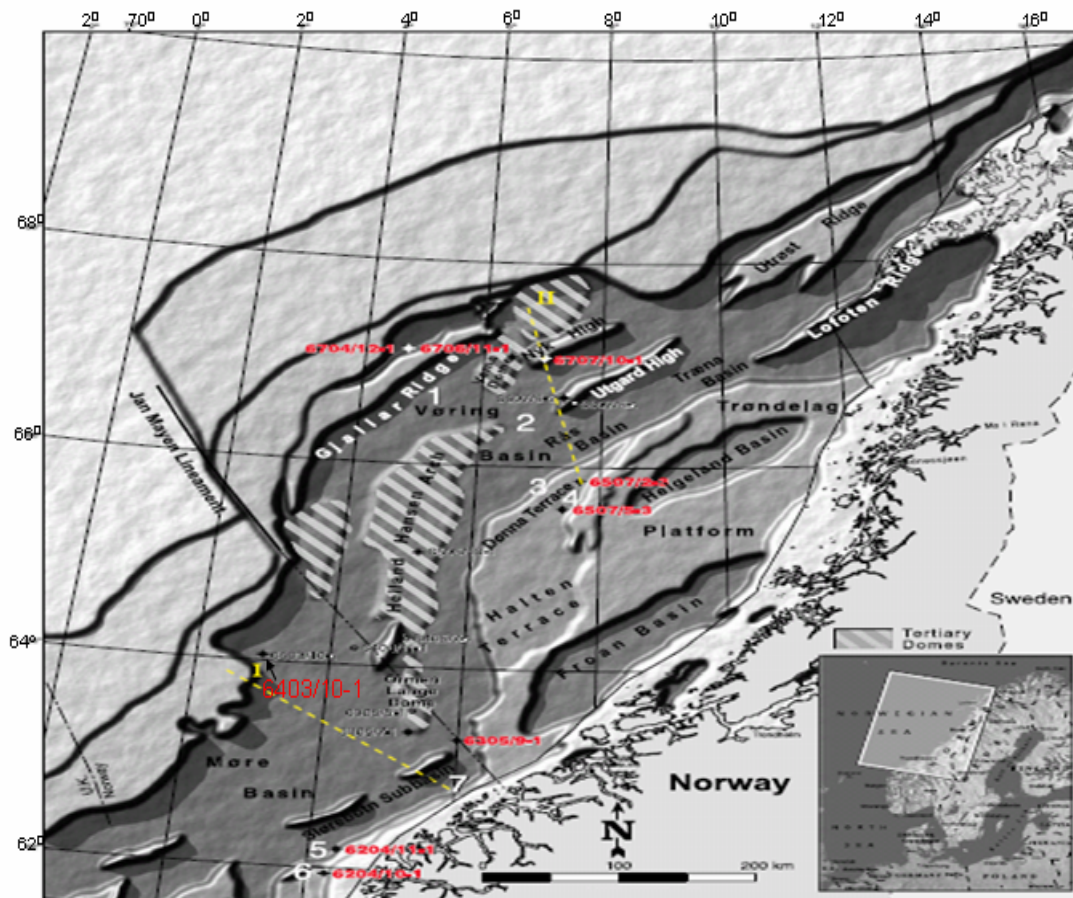


Figura 3. Mapa tectónico de la Cuenca Moere (tomado Blystad et al., 1995)

Estas áreas tienen una historia estructural compleja que implica dos fases extensionales que comprenden “rift” durante el Jurásico y el “post-rift” en la edad del Cretácico, y una fase compresional en la edad del Terciario (temprano). En la figura anterior se presentó un mapa tectónico de la Cuenca “Moere” y “Vøring” (Blystad et al., 1995)

Durante el Jurásico se desarrollaron estructuras tipo “horst” y “graben” que posteriormente durante el Cretácico fueron modificadas por subsidencia tectónica. Durante el Terciario, ocurrió una fase compresional dando origen a grandes estructuras de tipo anticlinal en donde se reactivaron las fallas normales a inversas. Esto se refleja en el Domo estructural Terciario, mientras que el continente noruego era levantado dando como resultado la erosión del margen al este de las cuencas.

Las cuencas “Moere” y “Vøring” se generaron durante regímenes extensionales y de subsidencia tectónica. Posteriormente por fuerzas tectónicas compresivas, se indujeron plegamientos dando a lugar a la sedimentación de edad Cretácico y el Paleoceno (Fugelli et al., 2005)

La margen oeste de dichas cuencas está limitada por fallas de orientación NE-SO. Estas cuencas fueron posteriormente rellenadas por sedimentos de aguas profundas de edad Cretácico y Paleoceno.

El desarrollo estructural del área se puede relacionar con los movimientos tectónicos a lo largo del complejo de fallas de la cuenca de “Moere” y la plataforma “Trøndelag”. La cuenca se originó durante el mismo acontecimiento extensional en las edades Cretácicas y Jurásicas-temprano.

El sistema de fallas presentes en las cuenca “Moere” y plataforma “Trøndelag” presenta orientación ENE-WSW llamadas “Moere Trøndelag Fault Complex” (MTFC) y la falla de orientación N-S llamada “Klakk Fault Complex” (KFC) (Brekke et al., 1987).

Con el tiempo, los regímenes tectónicos han cambiado en varias ocasiones y se han sugerido los movimientos de fallas de tipo normal, inverso y transcurrentes (Gabrielsen et al., 1999). El MTFC sigue siendo tectónicamente activo, a escala muy pequeña, sugerido por los mecanismos focales de los terremotos.

La plataforma continental noruega se puede dividir en tres provincias principales de petróleo; el Mar del Norte, el Mar de Noruega y el Mar de “Barents”. El Mar del Norte es el más maduro, teniendo una estructura bien desarrollada para la generación y migración de hidrocarburos. Hacia el Mar de Noruega se ubican varios campos de producción, y las áreas profundas se encuentran en las áreas de exploración de la frontera.

## 2.2 Estratigrafía

Las formaciones del área de interés comprenden las formaciones “Lysing” y “Tang” de edades Cretácico tardío y Paleoceno respectivamente. Estas formaciones están constituidas por sedimentos de origen turbidíticos.

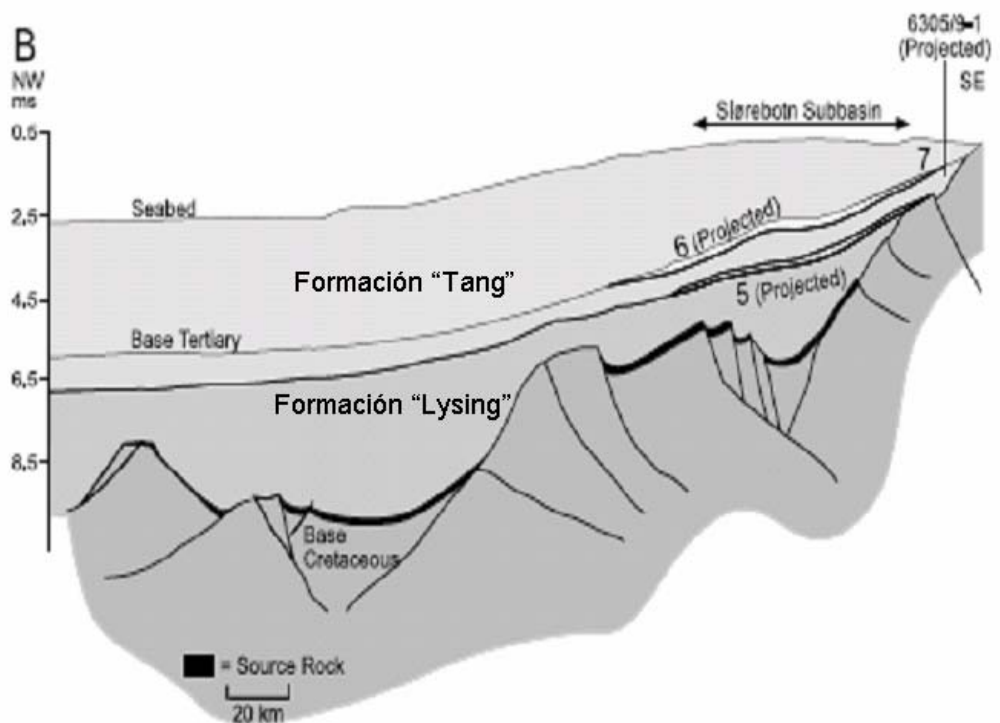


Figura 4. Cuenca Moere: aguas profundas (tomado de Fugelli et al., 2005)

La Formación “Tang” de edad Cretácico Tardío- Paleoceno Temprano, se interpreta como depósito de cañón de relleno submarino “Canyon-fill”, constituidas por sedimentos de origen turbidíticos, ubicados en el talud superior “Moere” (Fugelli et al., 2005).

La Formación “Lysing” de edad Cretácico Tardío (“Turonian-Coniacian”), está constituida por sedimentos de origen turbidítico de ambientes en aguas profundas (Fugelli et al., 2005).

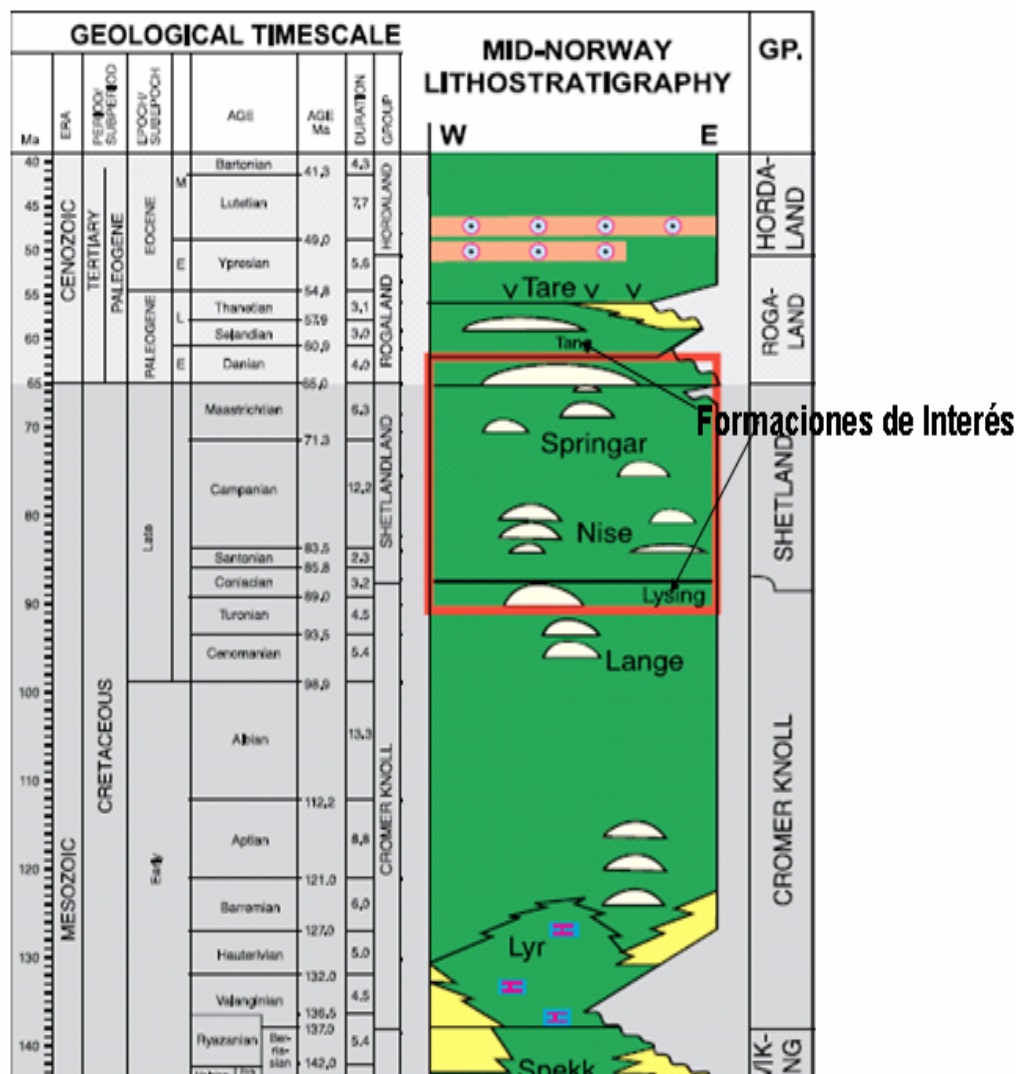


Figura 5. Columna estratigráfica

## 2.3 Composición del sedimento

Los sedimentos de cuencas marinas relativamente profunda consiste de tres componentes principales:

- Fuente clástica de los sedimentos, incluyendo la arcilla fina de la corriente distal turbidítica.
- Sedimentos pelágicos o hemipelágicos (biológicos, materiales orgánicos) que pueden ser de origen volcánico.
- Sedimentos de origen volcánico.

La depositación en el Mar de Noruega ocurrió a partir de los sedimento del este de Groenlandia y del continente noruego, las cuales tienen características específicas de procedencia (arenas y minerales de arcilla). Estas fuentes distribuyen sedimentos gruesos y finos, hacia las partes más profundas de la cuenca. El contenido de feldespato potásico y demás de minerales de arcilla pueden ayudar a distinguir entre las diversas fuentes de las rocas.

Thyberg et al (2000) han observado en el Mar del Norte, cambios regionales en la mineralogía de la arcilla lo cual refleja cambios estructurales y/o paleo climáticos en el margen de la cuenca en el Terciario.

Los sedimentos de origen volcánicos se caracterizan por el alto contenido de esmectita. Evidencias de sedimentos volcánicos podrían afectar la calidad de la respuesta sísmica y de la roca debido a los procesos diagenéticos. La capa de cenizas volcánicas podría ser un importante marcador estratigráfico.

Los procesos diagenéticos pueden inducir cambios de la fracción fina de la roca. Los procesos diagenéticos de las arcillas, afectan las características físicas de la roca y

además los valores de porosidad, densidad, impedancia acústica. Por lo tanto, todos estos cambios mineralógicos afectarían las características físicas de la roca.

Los procesos diagenéticos de las arcilla son dependientes de la temperatura. La esmectita, que ocurre normalmente entre 2 y 3 kilómetros de profundidad de soterramiento, puede ocurrir en profundidades mucho menor debido a los altos gradientes geotérmicos. Asimismo la reacción entre la caolinita y el feldespato-potásico para formar la illita, que ocurre normalmente a 3.5 y 4 kilómetros de profundidad, también ocurrirá en profundidades mucho más someras. El cambio actual de gradientes geotérmicos, particularmente durante el Terciario temprano, aportará reacciones diagenéticas a profundidades variables.

Los procesos diagenéticos de las areniscas deben ser reconocidos para predecir la calidad del yacimiento. La disolución del feldespato, las micas y la precipitación de la caolinita pueden afectar la porosidad de la roca y por ende la calidad del yacimiento.

## **CAPÍTULO 3**

### **3 Fundamentos teóricos**

#### **3.1 Interpretación sísmica**

La interpretación consiste en darle un significado geológico a toda la información para así definir un marco estructural, marco estratigráfico de posibles entrapamientos de hidrocarburos del área, ubicando la profundidad de los horizontes de interés, a partir de las secciones sísmicas. La integración de información sísmica, geológica, de yacimientos y petrofísica, tiene como objetivo principal analizar y establecer un modelo geológico estructural, estratigráfico, petrofísico del subsuelo, y esto se logra mediante la correlación de las secciones sísmicas junto a la información geológica disponible.

Son varias las etapas por las que atraviesa el trabajo de un interprete sísmico; todas y cada una de ellas son fundamentales para que los resultados de la interpretación sean los más satisfactorios para el estudio. El esquema de actividades del intérprete 3D en el ámbito de yacimiento es el siguiente:

##### **3.1.1 Recopilación de la información**

Para la recopilación de la información para el estudio de interpretación, debemos conocer acerca del área estudios realizados anteriormente como son los registros de pozos, entre ellos gamma ray, densidad, sísmico y resistividad, SP y check shot fundamentalmente.

### **3.1.2 Carga de datos**

El resultado de los datos procesados debe ser colocado dentro del sistema computarizado para interpretación. Los datos que van a ser cargados son sometidos a una revisión para verificar controles de calidad de los datos sísmicos. Estos datos pueden tener ciertas especificaciones (2D-3D); 32 bits para a detalles máxima amplitud, 16 bits para interpretación de estructuras y atributos, 8 bits para interpretación estructural.

### **3.1.3 Selección de pozos claves**

Los encargados de hacer las exploraciones recurren a este tipo de levantamientos de amplitud con relación al desplazamiento AVO y estudios de características petrofísicas.

Es importante que los registros de pozos, entre ellos gamma ray, densidad, sísmico y resistividad, SP y check shot fundamentalmente sean lo mejor posible para la ayuda del proceso de la interpretación.

### **3.1.4 Calibración sísmica-pozo**

Para realizar la calibración sísmica-pozo es necesario elaborar un sismograma sintético, ya que ésta es una herramienta fundamental para la integración de datos, porque permite al intérprete la correlación con detalle a profundidad.

Por los intérpretes sísmicos un sismograma sintético, comúnmente llamado un sintético, es un modelo unidimensional directo de la energía acústica que viaja con las capas de la Tierra.

Según Márquez (1999) el principal problema que presenta la generación del sismograma sintético es el de obtener la ondícula más adecuada, para que una vez convolucionada con los coeficientes de reflexión, permita obtener una respuesta similar a los datos sísmicos de cada levantamiento en particular.

Su limitación es que tienen que estar corridos a la misma profundidad.

### **3.1.5 Interpretación de horizontes**

Generado el sismograma sintético e identificados los reflectores que indican los topes geológicos de las formaciones se procede a la interpretación de horizontes, la cual consiste en realizar una correlación de los marcadores geológicos vs. reflectores sísmicos ya definidos.

Esta correlación de horizontes se lleva a cabo uniendo con una línea continua marcadores geológicos presentes en una sección sísmica. Cabe destacar que los marcadores geológicos son datos de adquisición por medio del método directo, es decir, de la perforación. A partir de la primera correlación se comienza a interpretar sistemáticamente en distintas direcciones, obteniéndose así un mallado.

### **3.1.6 Interpretación de fallas**

Ésta consiste en ubicar los planos de fallas en las diferentes secciones sísmicas. Aquí se debe observar la interrupción o cambio de continuidad de los horizontes, ya interpretados en cada línea y traza sísmica. Para disminuir el grado de incertidumbre de la localización exacta de la falla, también se verifica con una sección en tiempo o “time slices”. Esto es posible a partir de cubo de coherencia, atributos sísmicos y secciones sísmicas verticales.

### **3.1.7 Mapas estructurales en tiempo**

Una vez que los horizontes y las fallas han sido identificadas e interpretadas, se elaboran los mapas estructurales en tiempo para cada nivel geológico interpretado. La obtención de estos mapas se basa en la generación de una malla a partir de los valores de tiempo obtenidos al nivel de los reflectores de interés, y su posterior interpolación para la generación de contornos.

### **3.1.8 Conversión tiempo-profundidad**

Los métodos para convertir los datos sísmicos a profundidad son numerosos y dependen de la cantidad de información disponible en el área y su geología. Todos ellos necesitan conocer el campo de velocidades promedio hasta el evento de interés. Existen varios métodos para obtener estas velocidades. Uno es usando los tiros de verificación o “checkshot” y los sismogramas sintéticos, los cuales nos proporcionan la relación tiempo-profundidad, de donde podemos obtener las velocidades promedio hasta la zona de estudio. La información obtenida por este método es puntual, por lo que se pueden generar mapas de velocidades si contamos con una buena distribución areal de pozos con datos de velocidades

Otro método consiste en calcular velocidades interválicas, a partir de las velocidades de apilamiento y luego, calibrarla con los “checkshot”.

Y el último método es a partir de una buena distribución de registros en pozos con velocidades, crear un cubo de velocidades igual al volumen sísmico interpretado. Este método se lleva a cabo utilizando los “checkshot” y los sismogramas sintéticos disponibles, así como las velocidades de apilamiento, siempre y cuando dichas velocidades muestren la misma tendencia. Usando los horizontes y fallas en tiempo se crea un modelo de velocidades interválicas para así, pasar los horizontes y fallas de tiempo a profundidad.

### **3.1.9 Mapas estructurales en profundidad**

Ya finalizado el modelo de velocidades y obtenida la conversión tiempo-profundidad se procede a la calibración de los marcadores geológicos con la superficie con polígono de falla obtenido en profundidad para obtener un mapa estructural en profundidad calibrado.

## **3.2 Atributos sísmicos**

Los movimientos sísmicos provocados con explosivos producen ondas sísmicas, las cuales los expertos "leen" a través del análisis de ondas, para conocer las propiedades del interior de la Tierra. Al estudio de estas ondas le llaman "análisis de atributos sísmicos", que significa la descripción científica de las características físicas, químicas y geológicas de ciertas áreas del subsuelo, es decir, son estudios que indican las particularidades del área del subsuelo estudiada (Urrutia Fucugauchi, 2005). Con la finalidad de extraer las características estructurales y estratigráficas de

los datos sísmicos se hace uso de los atributos sísmicos. Estos son medidas específicas de características, geométricas, cinemáticas, dinámicas o estadísticas derivadas de los datos sísmicos (Chen and Sydney, 1997). Algunos son más sensibles que otros a propiedades específicas de yacimientos; otros son mejores revelando anomalías en el subsuelo que son difíciles de detectar y algunos han sido usados directamente, como indicadores de hidrocarburos. Según Chen and Sydney (1997) los atributos sísmicos pueden ser clasificados en instantáneos, interválicos y volumétricos. Esto depende de si son aplicados a un horizonte, una ventana definida entre dos horizontes o a un volumen de datos respectivamente.

Una vez extraídos, los atributos pueden ayudar al intérprete a seguir eventos débiles, delinear fallas, caracterizar yacimientos y predecir las propiedades del mismo entre pozo y pozo.

Según Taner (2001) existen dos grandes categorías en las que se pueden clasificar los atributos: geométricos, los cuales están calculados a partir de la continuidad de la reflexión y son empleados para interpretación estructural y estratigráfica; y los físicos, los cuales están determinados a partir de la información contenida en el frente de ondas propagante y su aplicación esta definida para extrapolar características litológicas.

Existen tres tipos de mapas de atributos generados con mayor frecuencia como son:

- Basados en Superficie: provienen de la data sísmica sobre un horizonte o dentro un rango de valores alrededor del mismo, representando variaciones a lo largo de una superficie en particular.
- Basados en Volumen: describen cambios dentro de un intervalo específico, bien sea entre dos o más horizontes o en una ventana de tiempo.

- Basados en el Grid: son producto de la interpretación sísmica de los reflectores asociados a eventos estructurales entre los que se incluyen: buzamiento (Dip), mapas de curvatura, rumbo (Azimut), intensificación de bordes (Edge enhancement) y de iluminación artificial.

A continuación se describen los atributos extraídos de la data sísmica, los cuales pueden ser generados sobre una superficie o un volumen:

### **Amplitud Sísmica**

La amplitud de la reflexión depende de los parámetros densidad y velocidad y por ende de la impedancia acústica, pudiéndose correlacionar con la geología. Estos parámetros dependen de la litología, porosidades, tipo de fluido, saturación, presión de poro, etc. (Landmark, 1999). Sin embargo existen otros factores que ocasionan cambios en la amplitud sin estar vinculados con las características de las rocas, entre los cuales se encuentran el grado de acoplamiento y potencia de la fuente, el arreglo y la sensibilidad de los reflectores, la divergencia esférica, la absorción y el ruido entre otros (Sheriff, 1977).

Este atributo registra el valor de la amplitud de la traza a un horizonte en tiempo, previamente interpretado, y su principal aplicación radica en la identificación de los puntos brillantes o Bright Spots.

### 3.2.1 Atributos estructurales

Para realizar un estudio de los sistemas de fallas menores es necesario hacer un análisis de un tipo de atributos sísmicos que ayudan a reconocer esas discontinuidades que algunas veces resultan un poco difíciles de interpretar. Estos atributos son calculados a partir de la configuración y continuidad del o de los reflectores interpretados, ellos están definidos como atributos estructurales. Como se dijo anteriormente, la extracción de estos atributos ayuda a revelar tendencias de fallas, alineaciones y de anomalías estructurales que no son fáciles de observar o no están bien definidas por los mapas estructurales en tiempo.

A continuación se describen los diferentes tipos de atributos que se utilizan para el análisis de mapas. Este tipo de atributos permite resaltar y visualizar rasgos estructurales, tendencias de fallas y alineaciones.

Buzamiento:

Un mapa de buzamiento muestra la magnitud del gradiente tiempo. Se construye comparando cada muestra del horizonte con dos muestras adyacentes en direcciones ortogonales. El algoritmo matemático utilizado para el cálculo de este tipo de mapa es el siguiente:

$$Dip = \sqrt{\left(\frac{dt}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dt}{dy}\right)^2}$$

donde  $\frac{dt}{dx}$  es el buzamiento en la dirección x y  $\frac{dt}{dy}$  es el buzamiento en la dirección de y (Landmark, 2006)

Rumbo:

Este atributo muestra la dirección de la máxima pendiente. El mapa de rumbo se construye comparando cada muestra del horizonte con dos muestras adyacentes en direcciones ortogonales. Para la construcción del mapa se usa el siguiente algoritmo:

$$Azimuth = \arctg \left( \frac{\left( \frac{dt}{dy} \right)}{\left( \frac{dt}{dx} \right)} \right)$$

donde  $\frac{dt}{dx}$  es el buzamiento en la dirección x y  $\frac{dt}{dy}$  es el buzamiento en la dirección de y (Landmark, 2006)

Segunda derivada (“Edge”):

La segunda derivada enfatiza las discontinuidades en una imagen, detecta los cambios de buzamiento en un horizonte, usando un algoritmo distinto al usado para calcular mapas de buzamiento. La segunda derivada implica la comparación de puntos alrededor de una sola muestra puntual, en una imagen original. Existe una extensa variedad de algoritmos desarrollados para realizar esta comparación. Uno de estos es el que compara muestras en ambos lados de cada muestra puntual, llamado detección de bordes Sobel. Esta técnica se ilustra en el siguiente esquema:

Tabla 1. Esquema de bordes de Sobel

|   |   |   |
|---|---|---|
| A | B | C |
| D | E | F |
| G | H | I |

En este esquema la muestra puntual está definida por la letra **E**, la diferencia entre las columnas es igual a  $X$  y las diferencias entre las filas es igual a  $Y$ . Las ecuaciones para calcular  $X$  e  $Y$  en la muestra puntual son las siguientes:

$$X=(C+2F+I)-(A+2D+G)$$

$$Y= (A+2B+C)-(G+2H+I)$$

$$\text{Edge}= X^2 + Y^2$$

El resultado de los cálculos de la segunda derivada es un plano que conecta los resultados de la matriz 3x3 en cada muestra del horizonte original (Landmark, 2006)

### **3.2.2 “Ant Tracking”**

“Ant Tracking” es un algoritmo basado en el comportamiento inteligente de las hormigas para la búsqueda y visualización de discontinuidades estructurales obteniendo como resultado un atributo sísmico para la extracción automática y/o manual de los planos de fallas.

### **3.2.3- Extracción de los planos de superficies 3D**

a.- **“Extraction sampling threshold”** (Umbral de extracción de muestreo): Este parámetro ajusta el rango máximo del valor de la amplitud según los horizontes sísmicos. Un valor de 10% utilizará los valores más altos de los datos, por lo tanto será más apropiado para buscar fallas más grandes. El aumento del rango del porcentaje permitirá que el algoritmo busque valores más bajos de la señal, es decir, fallas más pequeñas.

b.- **“Extraction Background threshold”** (Umbral de extracción de fondo): Este parámetro tendrá el efecto de la limpieza de ruido de las fallas pequeñas con respecto a las fallas principales. La reducción de este valor puede incluir rangos más altos y generará fallas principalmente fuertes.

c.- **“Deviation from a plane”** (Desviación de un plano): Controla el rango de valores alrededor de un punto de semilla que limita las localizaciones potenciales de fallas que puedan ser extraídas. Este parámetro controla cómo el plano de falla puede desviarse de una superficie plana. Los valores más bajos proporcionarán detalles más grandes.

d.- **“Connectivity constraint”** (Limitación de conectividad): Es un control de sensibilidad de la conexión. El valor mínimo “1” significa que por lo menos una cara del “voxel” debe tocar una posición previamente aceptada antes de la extensión del plano. El valor máximo de “3” requiere que cada punto de la superficie de falla haya estado conectado en tres lados del “voxel”. Al aumentar este valor a “2” o a “3” la extracción de fallas se realiza con una confianza más alta.

e.- **“Minimum patch size”** (Mínimo tamaño de plano): Define el número mínimo de los puntos para que un plano de falla sea incluido. Los planos con un número bajo de puntos se excluyen del sistema de fallas.

f.- **“Patch down sampling”** (Muestreo de planos): Controla la densidad de puntos para cada plano extraído de fallas.

## **CAPÍTULO 4**

### **4 Generalidades**

#### **4.1 Incertidumbre**

##### **4.1.1 Comprensión de la Incertidumbre**

La evaluación económica también ha mejorado. El modelado determinístico simple provee un valor único que puede incrementarse con ciertos análisis de sensibilidad. Un enfoque probabilístico, multidisciplinario, totalmente integrado, conocido como análisis de riesgos y toma de decisiones, incorpora muchos más parámetros básicos y propaga la incertidumbre (Coopersmith et al, 2001)

##### **4.1.2 La probabilidad de error**

Un factor fundamental para el análisis de riesgo constituye el nivel de incertidumbre que aun perdura en el momento de tomar decisión. Si se conociera toda la información con precisión, no habría ningún riesgo en la toma de decisiones; el resultado podría predecirse con certeza.

Existe un valor verdadero que describe una cantidad física en un punto específico del tiempo y el espacio. El análisis tiene que atenerse a estas distribuciones de probabilidad. No obstante, el mejoramiento estará limitado por el costo y por la tecnología existente en ese momento. Los errores sistemáticos conocidos pueden ser contemplados; muchas mediciones de registros contienen correcciones ambientales; tales como correcciones por el tamaño del pozo o por la salinidad del fluido del pozo.

Utilizadas en las mediciones de las herramientas de resistividad y de las herramientas nucleares.

Las variaciones naturales del subsuelo producen variaciones aleatorias en las cantidades de las medidas, tales como las reflexiones sísmicas provenientes de recorridos de ondas similares pero no idénticos, o los resultados de análisis de núcleos tomados de muestras adyacentes y aparentemente idénticas.

La figura 6 presenta la incertidumbre respecto al proceso de modelado del yacimiento.

|                        | Información                           | Modelo                              | Parámetros                        |
|------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Modelo estático</b> | Estructura (geofísica)                | Reflexión, migración                | Velocidad (registro, apilamiento) |
|                        | Distribución de facies (geología)     | Analogías depositacionales          | Ejemplos de campo                 |
|                        | Parámetros de las rocas (petrofísica) | Porosidad, permeabilidad            | Empírico, estadístico             |
|                        | Cálculo volumétrico                   | Distribución                        | Geoestadístico                    |
| <b>Modelo dinámico</b> | Presión, volumen                      | Darcy, desplazamiento               | Régimen de flujo                  |
|                        | Características de los fluidos        | Darcy                               | Mezcla de contenido, viscosidad   |
|                        | Relaciones entre las fases            | PVT (Presión, Volumen, Temperatura) | Físico, empírico                  |
|                        | Modelo de permeabilidad               | Yacimiento                          | Modelo estático, modelo de flujo  |
|                        | Balace de materiales*                 | Flujo                               | * Prueba de validación            |

**^ Incertidumbres respecto del proceso de modelado de yacimientos. Los modelos estáticos de yacimientos, que describen las propiedades geométricas del yacimiento, están sujetos a errores de interpretación en el modelo y a errores de datos en los parámetros. Los modelos dinámicos, que describen el flujo de fluido, tienen fuentes de errores similares pero el balance de materiales ofrece una prueba de validación.**

Figura 6. Catalogación de errores

### **4.1.3 Geoposicionamiento con incertidumbre**

La información del campo derivada de los registros de pozos permitió definir la media del espesor de cada capa. La combinación de todos estos valores permitió a su vez definir el vector medio del modelo. La incertidumbre respecto al espesor de las capas y la interrelación entre las incertidumbres asociadas con el espesor en diferentes localizaciones, definen la matriz de covarianza del modelo. El vector medio y la matriz de covarianza definen la distribución de probabilidad del modelo. Una distribución logarítmica normal de espesor evita que el espesor de una capa adopte valores negativos y describe la población de valores de espesor mejor que una distribución normal.

### **4.1.4 Determinación de la incertidumbre en la formación**

Para el problema de geoposicionamiento se utilizó un modelo de distribuciones normales de múltiples variables, o distribuciones gaussianas, que pueden resolverse analíticamente. En una simulación de Monte Carlo, los valores para los parámetros se seleccionan en forma aleatoria a partir de la población posible y luego se resuelve el escenario en cuestión. La interacción de una selección aleatoria, seguida por la inversión del modelo de repetidas veces, conduce a una distribución de resultados de dicho escenario (Bailey et al, 2001)

Durante el estudio se comparó el enfoque analítico que supone distribuciones normales y resulta sencillo desde el punto de vista computacional, con el Método de Monte Carlo que planea mayor complejidad.

#### 4.1.5 Incertidumbre Estructural

Algunas características de la incertidumbre en una superficie son esencialmente cero en los puntos de control (pozos) y que varía suavemente lejos de los pozos. La variación depende de la calidad de los datos y de la distancia de los pozos. La figura 7 muestra las distintas realizaciones para cada superficie interpretada, observando que en los puntos de control las curvas convergen.

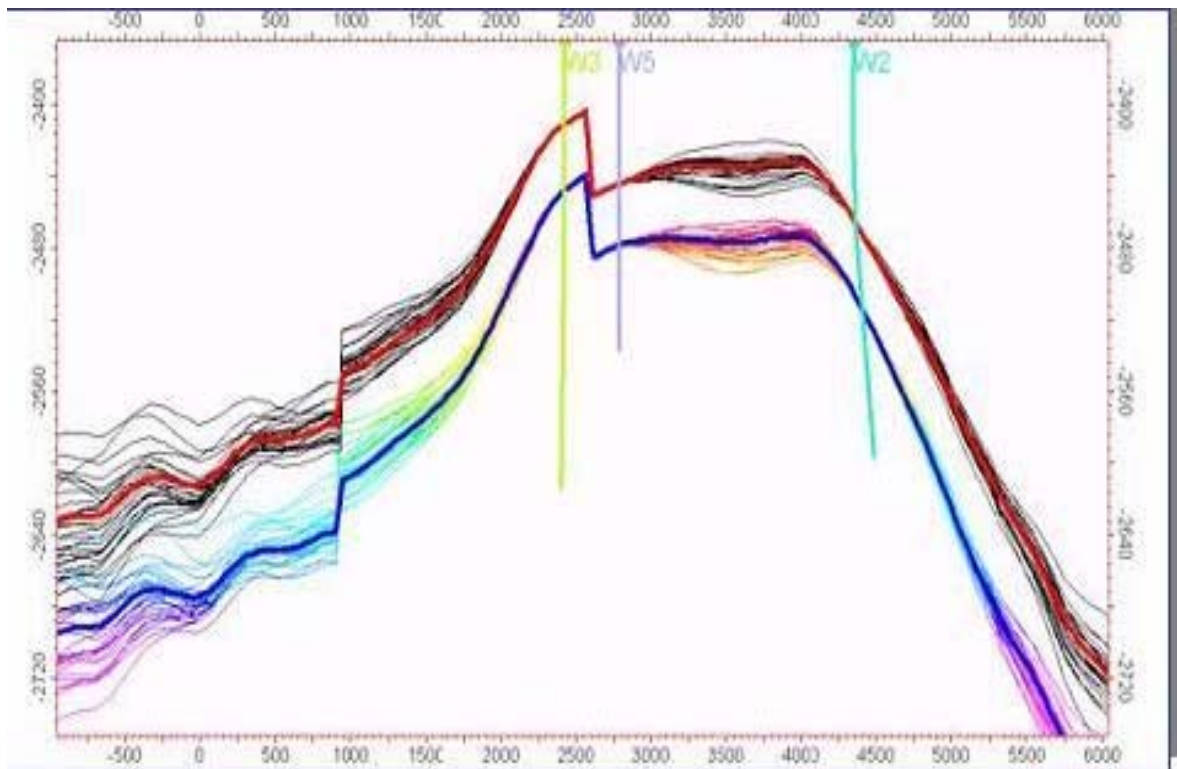


Figura 7. Incertidumbre estructural. (La figura muestra 30 realizaciones, que coinciden los mismos valores en las posiciones y varían suavemente lejos de los pozos. El color negro y el color del arco iris representan realizaciones del horizonte superior y más bajo respectivamente. La línea roja representa el horizonte superior del caso mientras que la línea azul representa el horizonte más bajo del caso).

#### **4.1.6 Caracterización de yacimientos**

La incertidumbre existe debido a una variedad de problemas durante la adquisición, tales como calibración o contaminación o los daños de las rocas antes de la medida. La incertidumbre es la causa de muchos problemas, que pueden ser superados de vez en cuando normalizando los datos.

## CAPÍTULO 5

### 5 PROCEDIMIENTO

#### 5.1 Esquema de trabajo

Para el desarrollo del proyecto se presenta la forma de flujo de trabajo a continuación (Fig. 8): Se comienza a partir de la conexión vía web con el servidor, se hace uso de la aplicación GigaViz, donde nos permite visualizar, aplicar atributos y finalmente se hace la selección del cubo sísmico 3D. Este cubo sísmico es cargado en Petrel, en donde se realizara las interpretaciones sísmicas, construcción del modelo geológico-estructural 3D y finalmente se realizará la evaluación de incertidumbre.

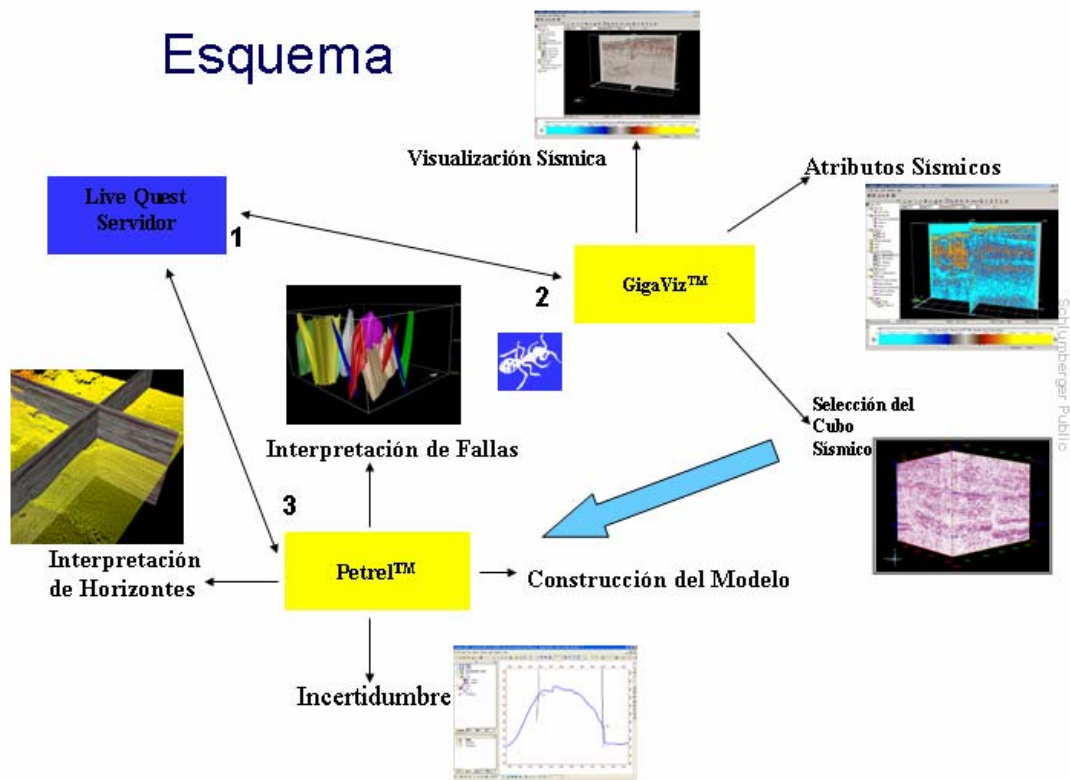


Figura 8. Esquema de trabajo

## 5.2 Cadena de interpretación de los datos sísmicos

A continuación se presenta el flujo de trabajo para la interpretación de los datos sísmicos (Fig. 9): A la sísmica original se le aplica un acondicionamiento para eliminar el ruido utilizando el atributo de suavizado estructural, seguidamente se aplica el atributo de varianza para resaltar las fallas y tener un control en el suavizado vertical, según la longitud en el tiempo. Aplicamos filtros “Ant-track”y obtenemos nuestros planos de fallas, posterior a su edición y finalmente se obtiene la interpretación de fallas.

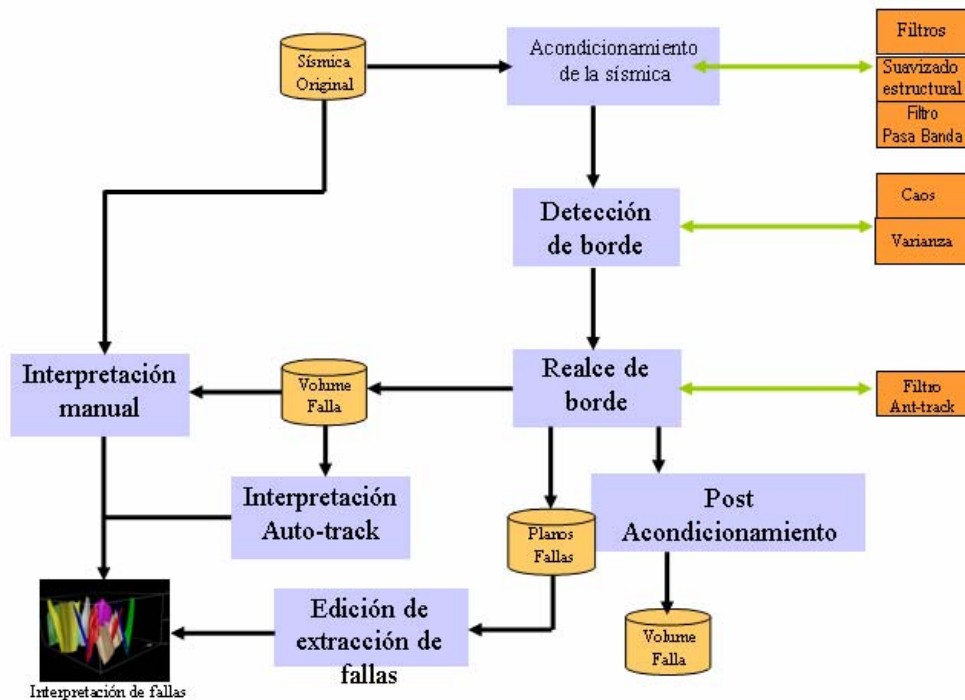


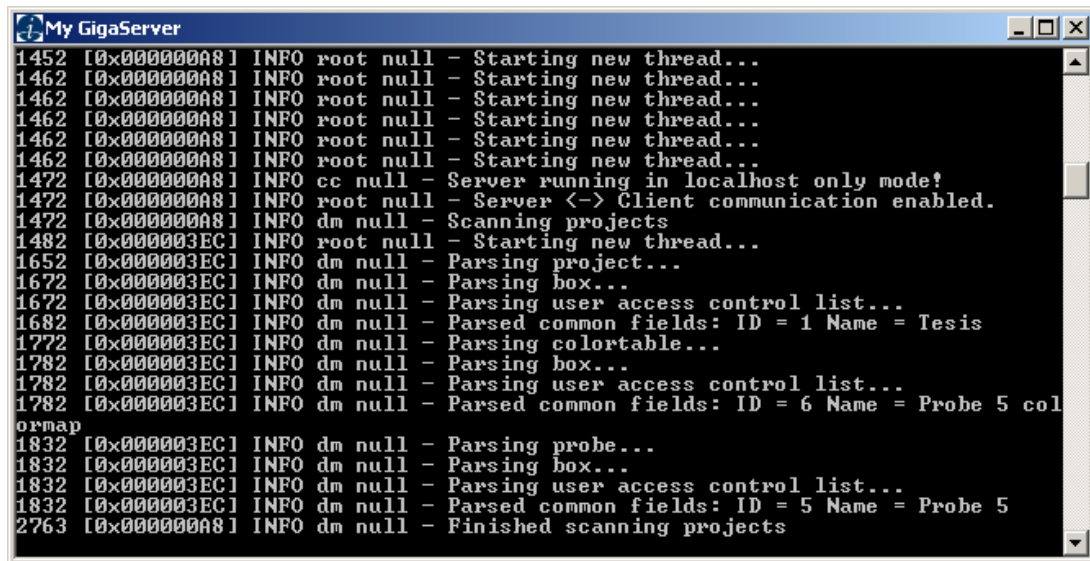
Figura 9. Esquema de interpretación sísmica

### 5.3 GigaViz 3.1

El programa GigaViz 3.1 es una aplicación exclusiva de Schlumberger que tiene como principal aplicación la visualización de grande y pequeña escala de la sísmica, interpretación y análisis de atributos utilizando “clusters” (nucleadores) para la rápida visualización e interpretación de volúmenes sísmicos gigantes, de formatos SEG Y.

GigaViz tiene cinco directorios principales, cada uno de ellos tiene funciones específicas de entrada.: [ “My GigaServer, GigaMonitor, GigaOrganizer, GigaZip, y GigaViz ”].

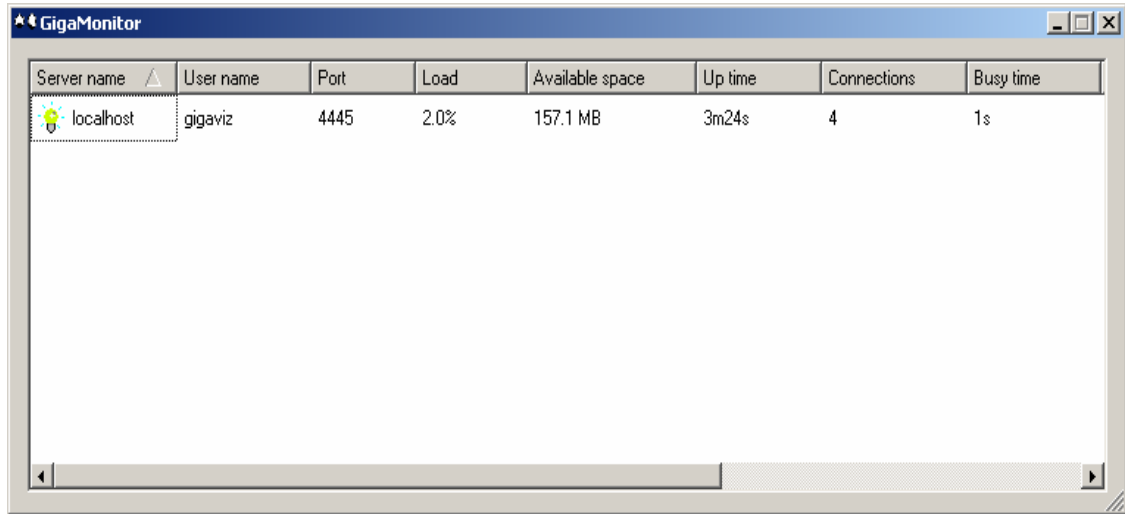
“My GigaServer”: para poder abrir la aplicación de GigaViz se debe como primer paso conectar al servidor (Fig. 10):



```
My GigaServer
1452 [0x000000A8] INFO root null - Starting new thread...
1462 [0x000000A8] INFO root null - Starting new thread...
1462 [0x000000A8] INFO root null - Starting new thread...
1462 [0x000000A8] INFO root null - Starting new thread...
1462 [0x000000A8] INFO root null - Starting new thread...
1472 [0x000000A8] INFO cc null - Server running in localhost only mode!
1472 [0x000000A8] INFO root null - Server <-> Client communication enabled.
1472 [0x000000A8] INFO dm null - Scanning projects
1482 [0x000003EC] INFO root null - Starting new thread...
1652 [0x000003EC] INFO dm null - Parsing project...
1672 [0x000003EC] INFO dm null - Parsing box...
1672 [0x000003EC] INFO dm null - Parsing user access control list...
1682 [0x000003EC] INFO dm null - Parsed common fields: ID = 1 Name = Tesis
1772 [0x000003EC] INFO dm null - Parsing colortable...
1782 [0x000003EC] INFO dm null - Parsing box...
1782 [0x000003EC] INFO dm null - Parsing user access control list...
1782 [0x000003EC] INFO dm null - Parsed common fields: ID = 6 Name = Probe 5 col
ormap
1832 [0x000003EC] INFO dm null - Parsing probe...
1832 [0x000003EC] INFO dm null - Parsing box...
1832 [0x000003EC] INFO dm null - Parsing user access control list...
1832 [0x000003EC] INFO dm null - Parsed common fields: ID = 5 Name = Probe 5
2763 [0x000000A8] INFO dm null - Finished scanning projects
```

Figura 10. GigaServer: conexión con el servidor

“GigaMonitor”: se encarga de monitorear la conexión con los servidores de red, donde se almacenan los datos sísmicos de campo (Fig. 11):



| Server name | User name | Port | Load | Available space | Up time | Connections | Busy time |
|-------------|-----------|------|------|-----------------|---------|-------------|-----------|
| localhost   | gigaviz   | 4445 | 2.0% | 157.1 MB        | 3m24s   | 4           | 1s        |

Figura 11. GigaMonitor: visualización de conexión con el servidor.

“GigaOrganizer”: es el encargado de conectarse a los servidores locales y estaciones de trabajo, se debe crear dos carpetas importantes como son: “External Directory” y “Working Directory”; en las cuales se almacenan los datos para exportarlos y cargarlos en la creación de un nuevo proyecto (Fig. 12):

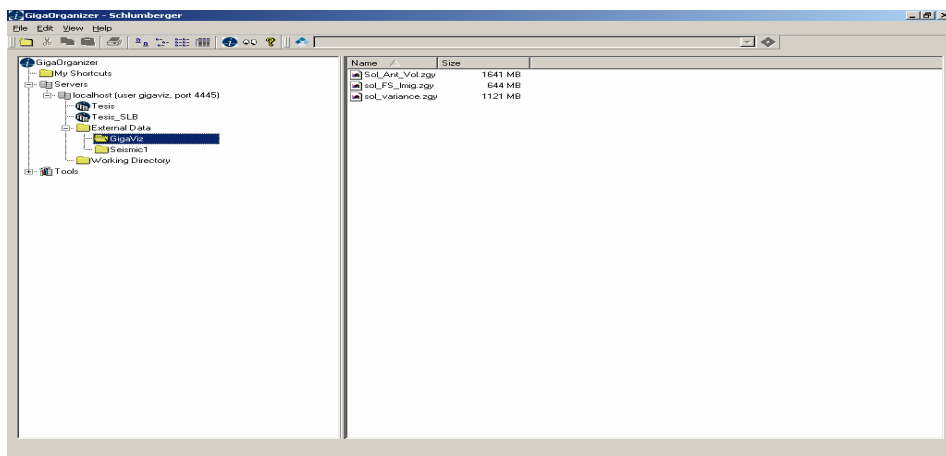


Figura 12. GigaOrganizer visualización del formato SEG Y

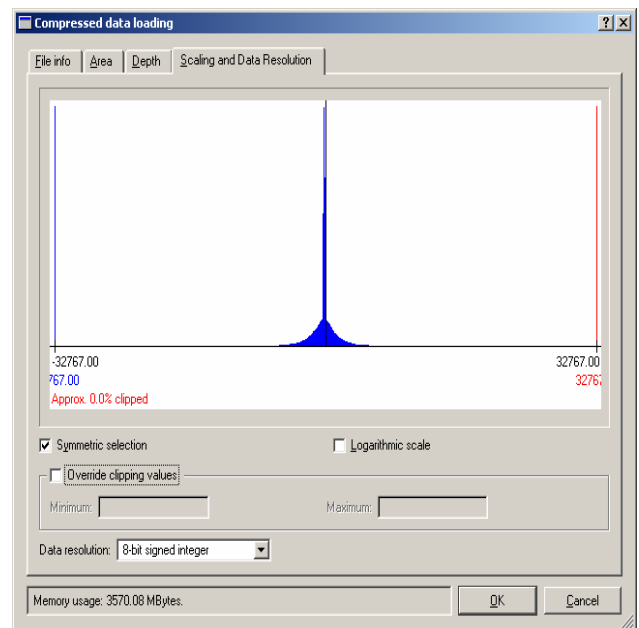
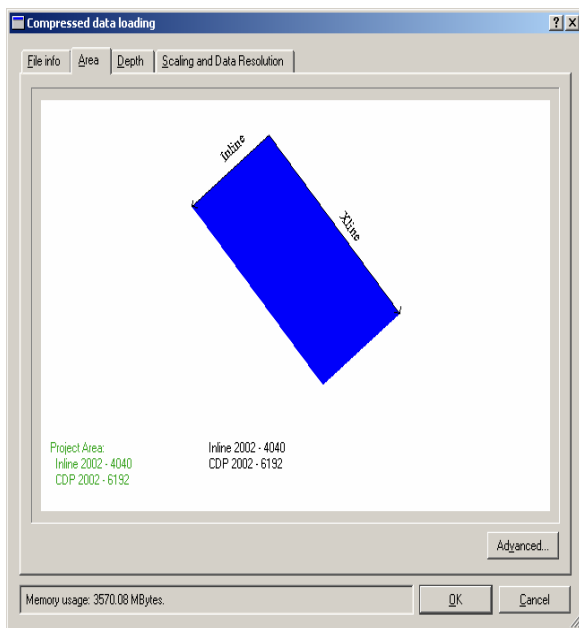
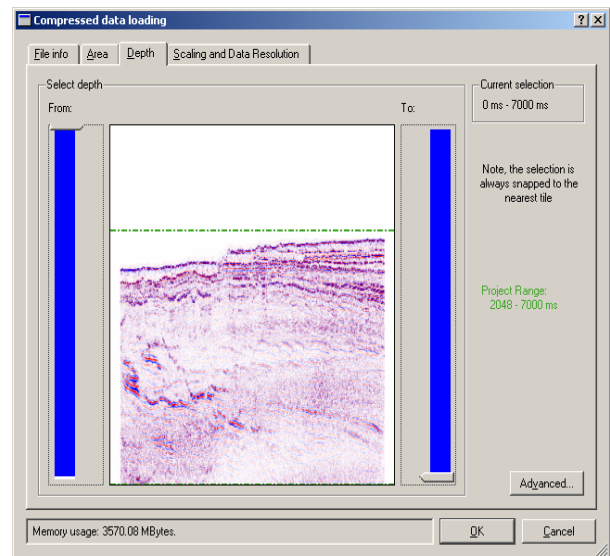
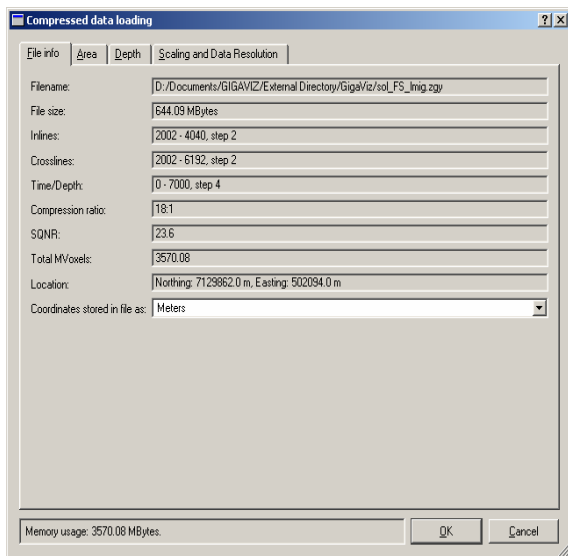


Figura 13. Visualización del arrastre del archivo al nuevo proyecto

“GigaZip”: es el encargado de comprimir los formatos SEG Y a ZGY.

### 5.3.1 Conversión del formato SEG-Y a ZGY

Para esta conversión se utiliza GigaZip, donde se necesita crear ciertos pasos previos para la conversión como es la creación de archivos “SEG-Y Templates” y el “SEG-Y Description” que son archivos de texto para la visualización de los datos de origen, así como el tipo de la sísmica 2D y 3D.

### 5.3.2 Visualización de la sísmica

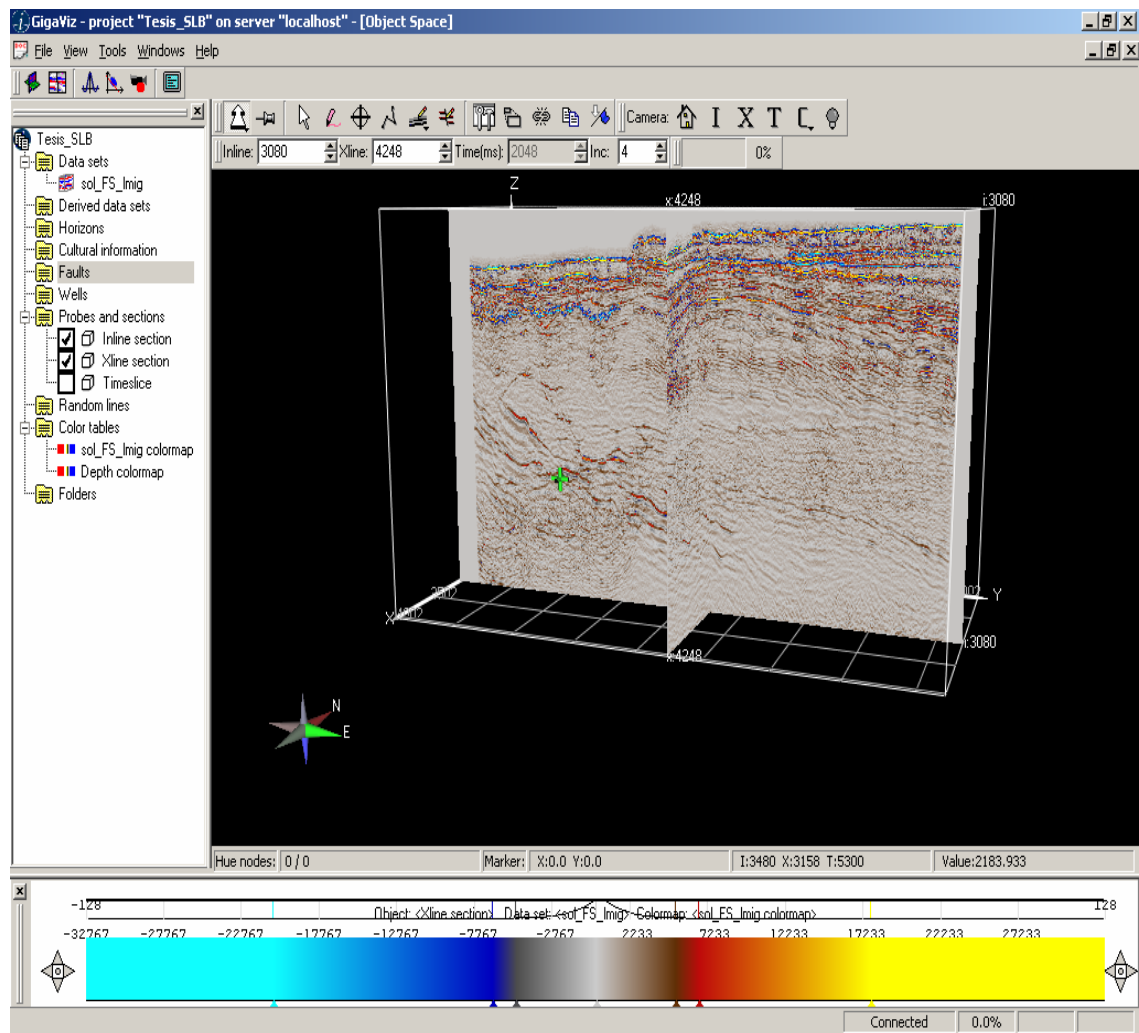


Figura 14. Visualización de la sísmica cargada en la estación de trabajo

### 5.3.2.1 Atributos sísmicos

Para determinar los atributos sísmicos, se utilizó el módulo de atributos con el propósito de extraer las características estructurales y estratigráficas de los datos sísmicos. Se aplicó el atributo de suavizado estructural a la sísmica original con la finalidad de extraer el ruido y resaltar las zonas falladas de la sísmica. Los atributos de varianza y caos se utilizan para visualizar mejor las fallas. Se presenta a continuación el suavizado estructural que realiza la aplicación GigaViz (Fig. 15-17):

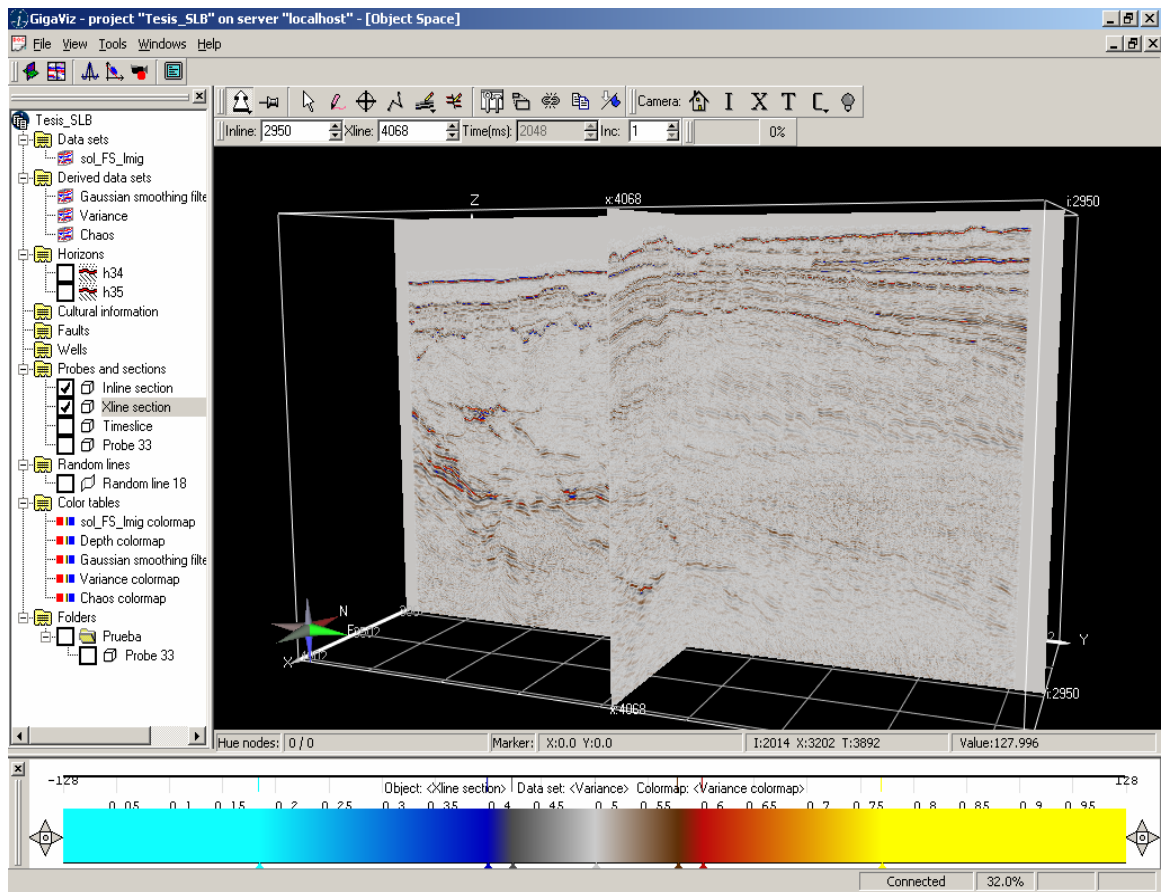


Figura 15. Atributos sísmicos: suavizado estructural

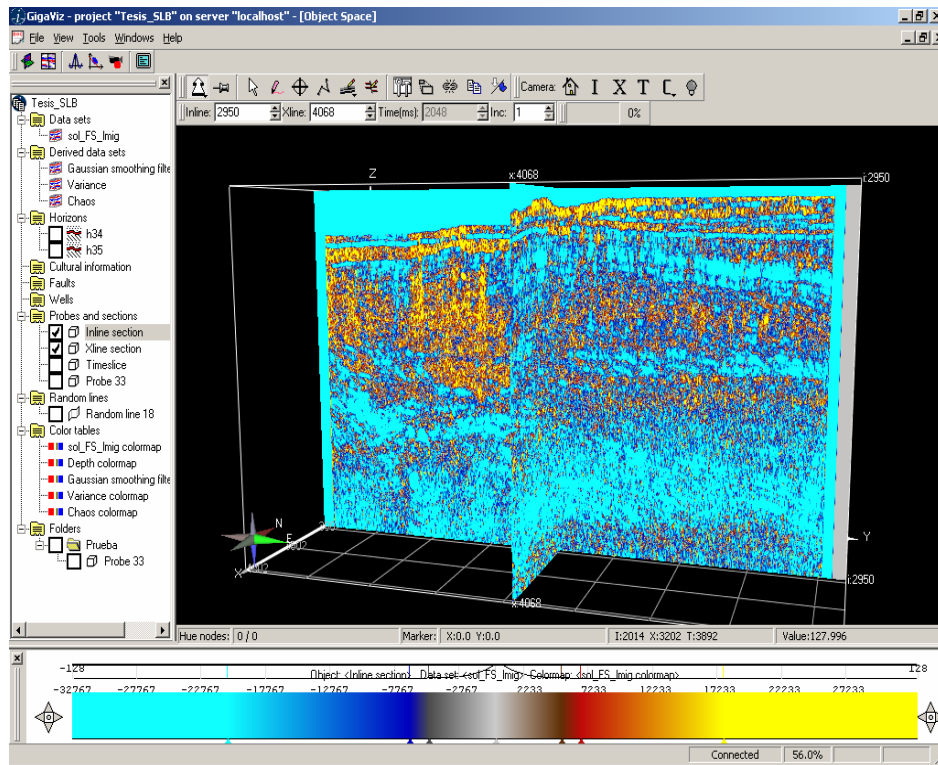


Figura 16. Atributo sísmico: varianza

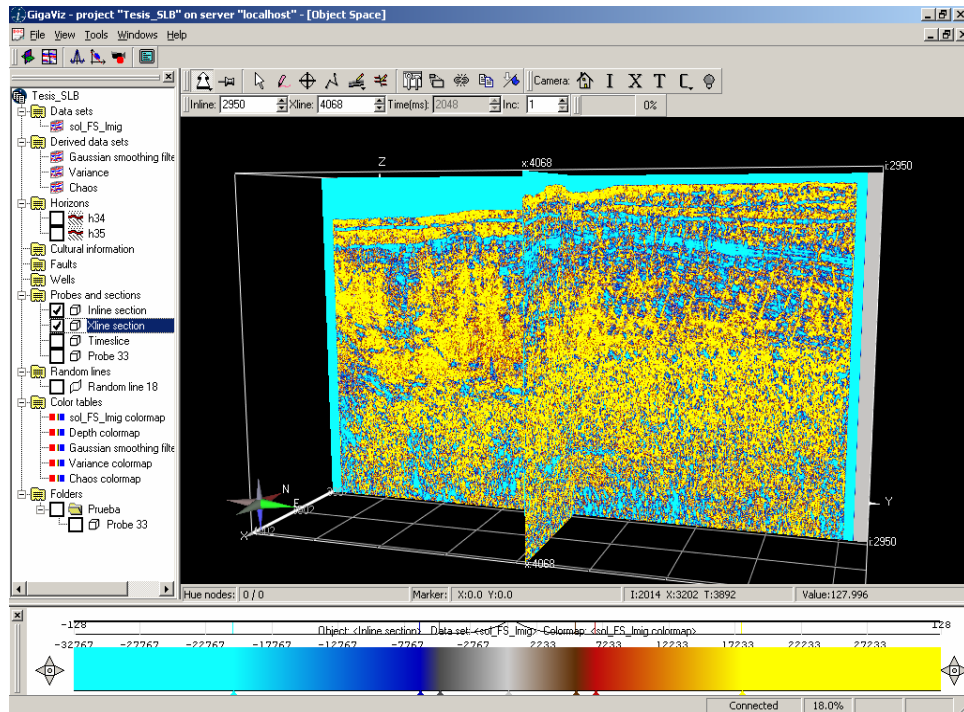


Figura 17. Atributo sísmico: caos

### 5.3.3 Selección del área

Para esta selección del área, se procederá a visualizar los “inline” y “crossline” cada 10 líneas, para así tener mejor características del cubo sísmico, entre ellas: zonas falladas, estructuras geológicas y estratigráficas más resaltantes. El área a trabajar es de 745 km<sup>2</sup>.

#### 5.3.3.1 Sub-Volumen

Se presenta a continuación el sub-volumen sísmico, que será manipulado para el desarrollo del proyecto. Es un área de 745 km<sup>2</sup> (Fig 18):

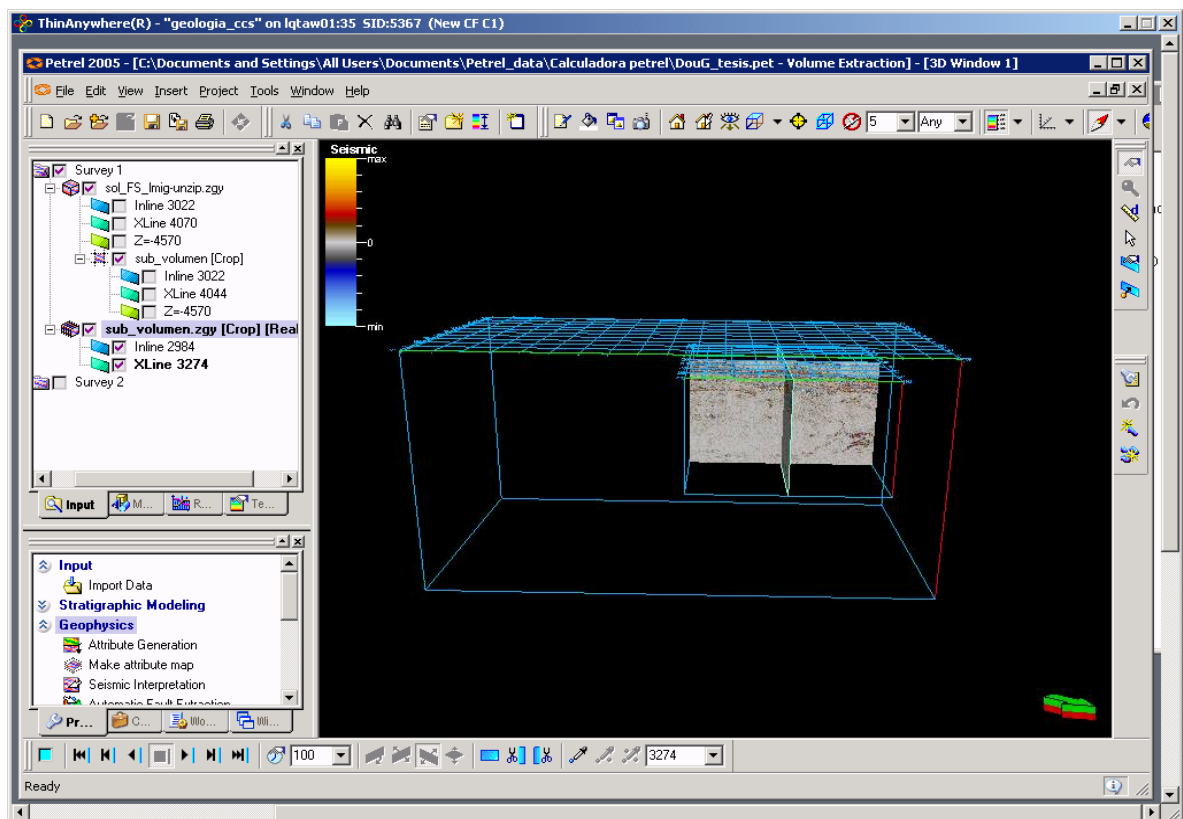


Figura 18. Sub volumen sísmico

## 5.4 Módulo de Geofísica Petrel 2005

Este módulo provee las herramientas para ejecutar todas las tareas de interpretación sísmica tradicionales y nuevas técnicas como es “Ant tracking” que forman parte de las secuencias de tareas de análisis del subsuelo 2D/3D/4D.

### 5.4.1 Interpretación de fallas

Con el objetivo de establecer un modelo geológico-estructural para la búsqueda de trampas estructurales/estratigráficas, la interpretación estructural a partir de las secciones sísmicas; se realizó la interpretación de las fallas a través del volumen generado del atributo de “Ant tracking”, usando la siguiente metodología (Fig 19):

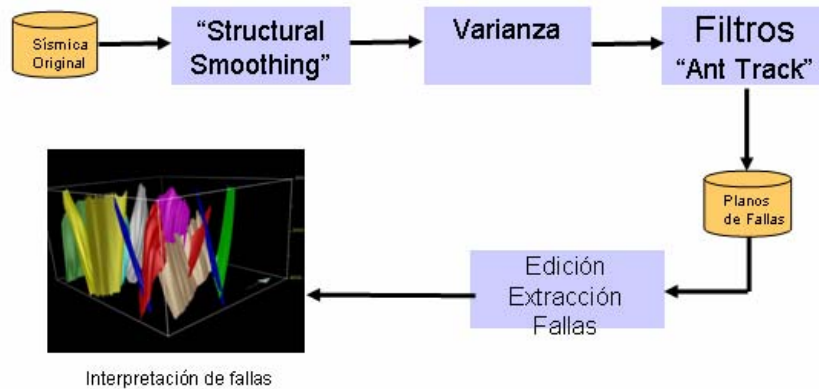


Figura 19. Metodología “Ant tracking”

La aplicación Petrel permite la visualización de los movimientos de los ejes del cubo en distintas direcciones, así como también las secciones sísmicas (“Inline” “Crossline”).

Luego se procedió a la extracción automática de fallas a partir de la opción “Seeded 3D fault auto tracking”, utilizando la sección horizontal en tiempo. Este proceso se realizó cada 10 líneas de la sección. Una vez obtenidos todos los planos de fallas se realizó la conexión, se convierten a fallas interpretadas con la opción “Fault interpretation” y de esta manera se obtienen las fallas interpretadas del volumen sísmico.

### 5.4.1.2 “Ant Tracking”

Para el proceso de generación del volumen sísmico de “Ant tracking” se debe aplicar pasos previos necesarios para sus resultados finales. Así como también las pruebas necesarias para la mejor extracción de fallas de dicho volumen. Estos pasos comprenden la aplicación de los atributos sísmicos recomendados por el “Ant tracking” tales como: suavizado estructural, y seguidamente varianza (Fig. 20):

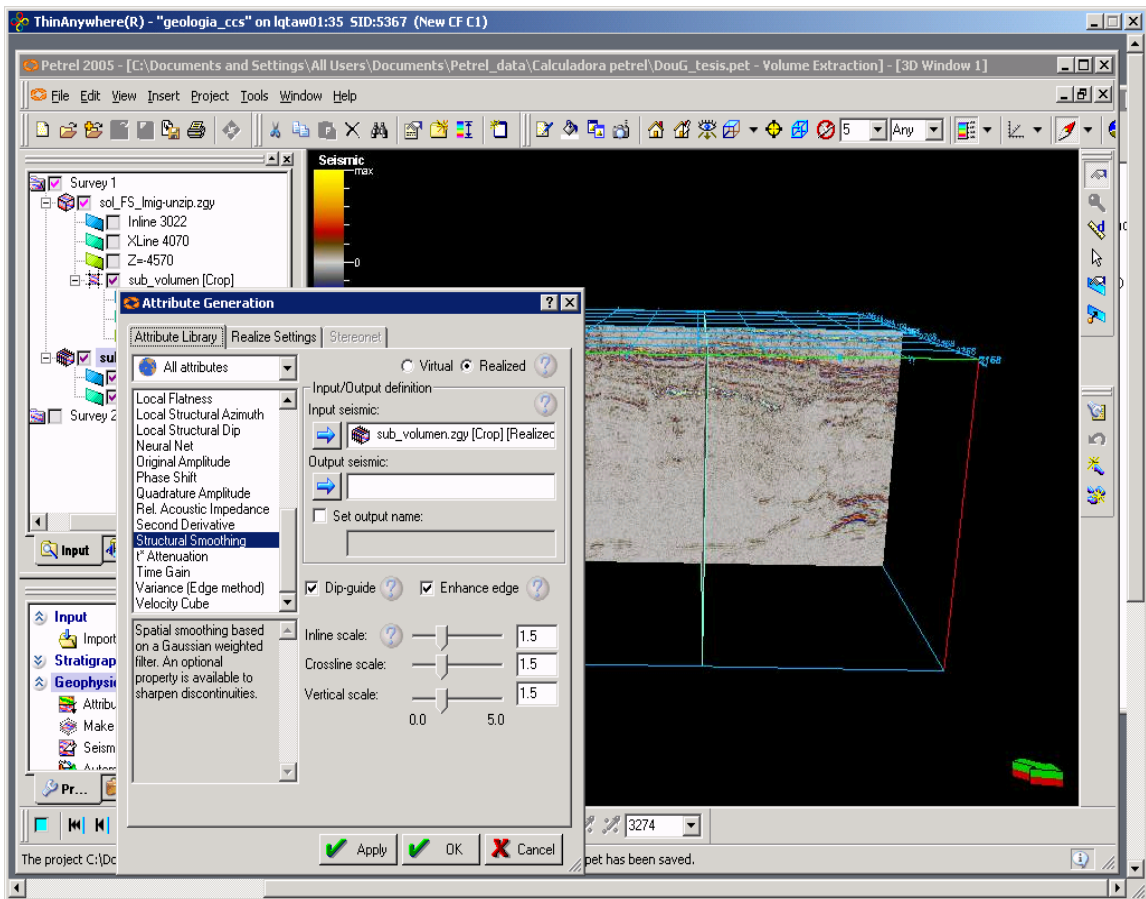


Figura 20. Atributo: suavizado estructural en Petrel

Seguidamente al suavizado estructural se le aplica el atributo de varianza. A continuación se presentará el atributo de varianza, con diferente tipos de resolución vertical, estos tipos de resolución permiten visualizar los rasgos importantes contenidos en el volumen sísmico. Este cubo de varianza se genera a partir del cubo de suavizado estructural (Fig. 21-23):

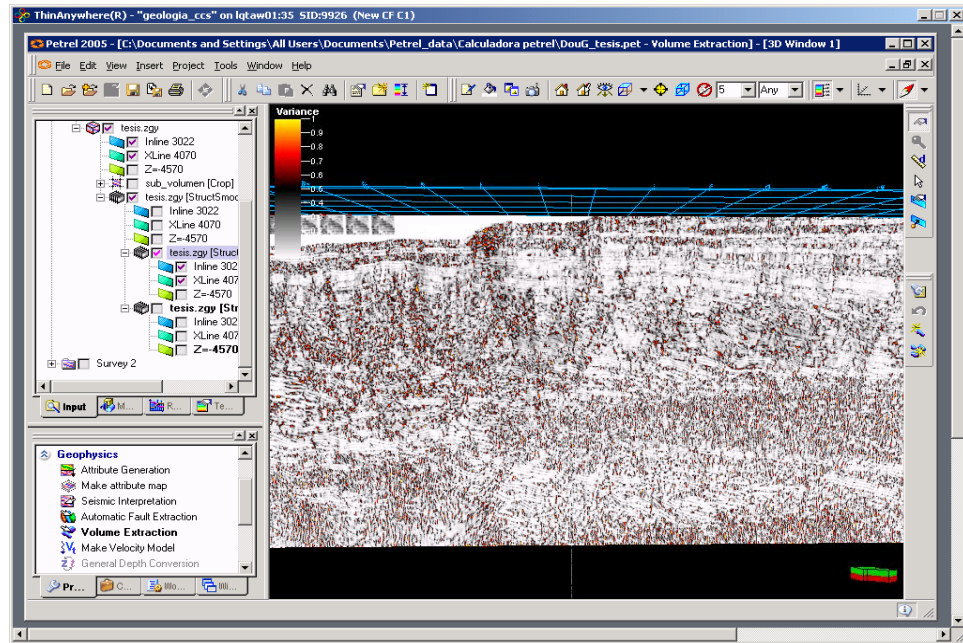


Figura 21. Atributo sísmico: varianza con suavizado vertical de 34 ms

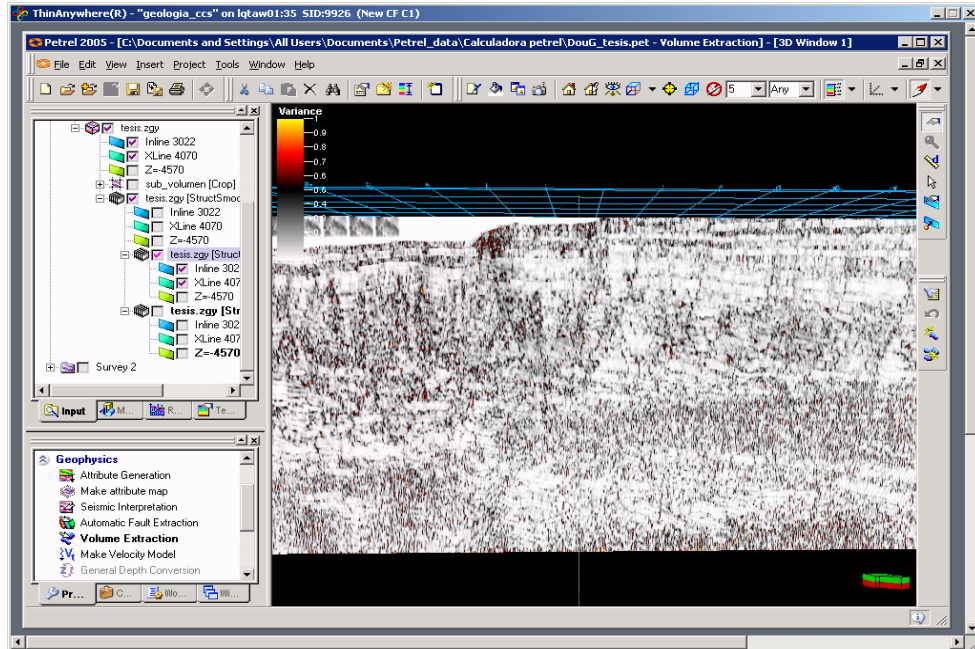


Figura 22. Atributo sísmico: varianza con suavizado vertical de 65 ms

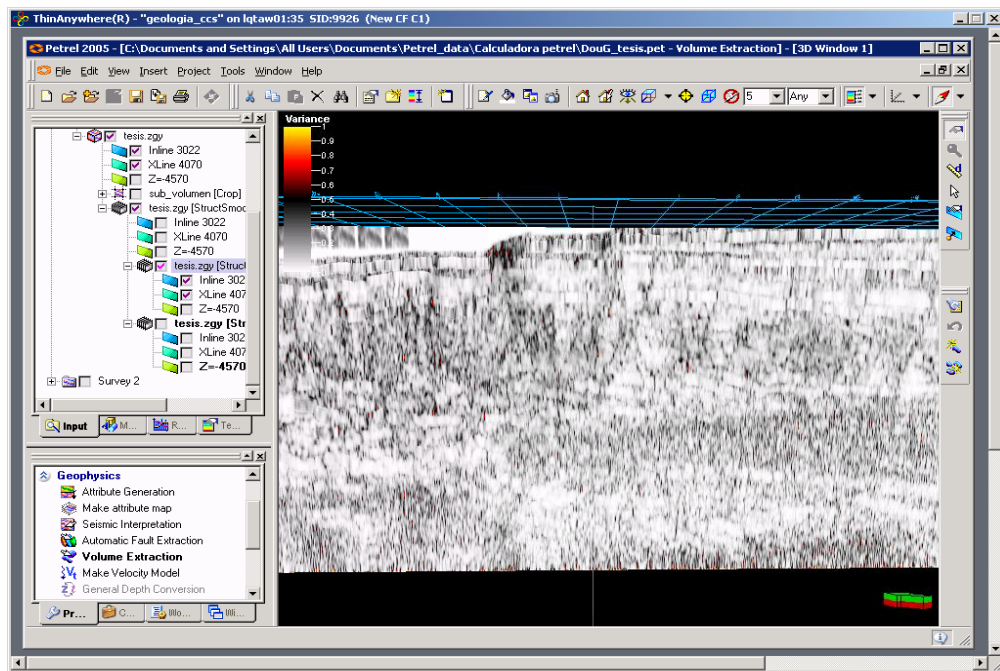


Figura 23. Atributo sísmico: varianza con suavizado vertical de 120 ms

Finalizado la generación del cubo de varianza (Fig. 24) y seleccionando la resolución vertical a la cual se va a trabajar se procede a importar éste cubo para generar el volumen “Ant tracking” (Fig. 25), donde realizarán distintas pruebas de tal forma de obtener mejores visualizaciones de los rasgos estructurales más significativo. Para el “Ant tracking” se generarán volúmenes de alta y baja calidad de resolución, a esto se les llaman “passive” y “agressive” donde se pueda observar mejores resultados y tiempos de ejecución. A continuación se presenta la metodología utilizada para el “Ant tracking”:

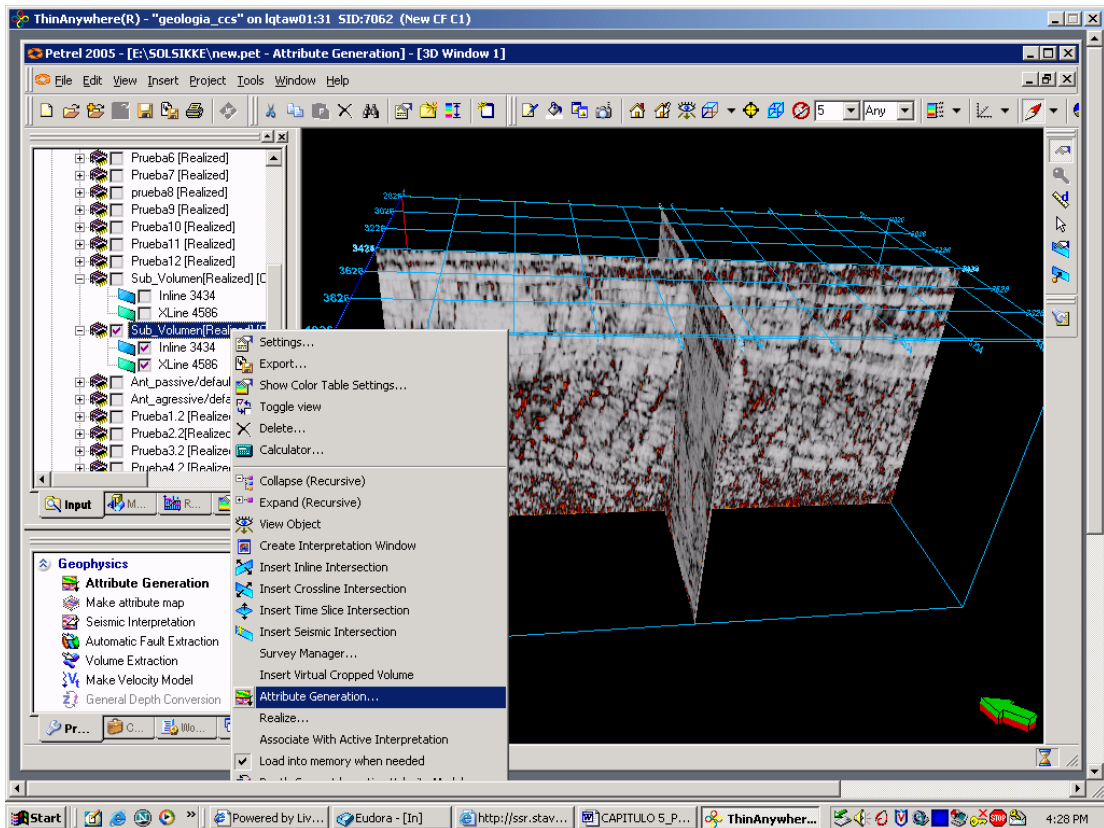


Figura 24. Generación de atributos varianza

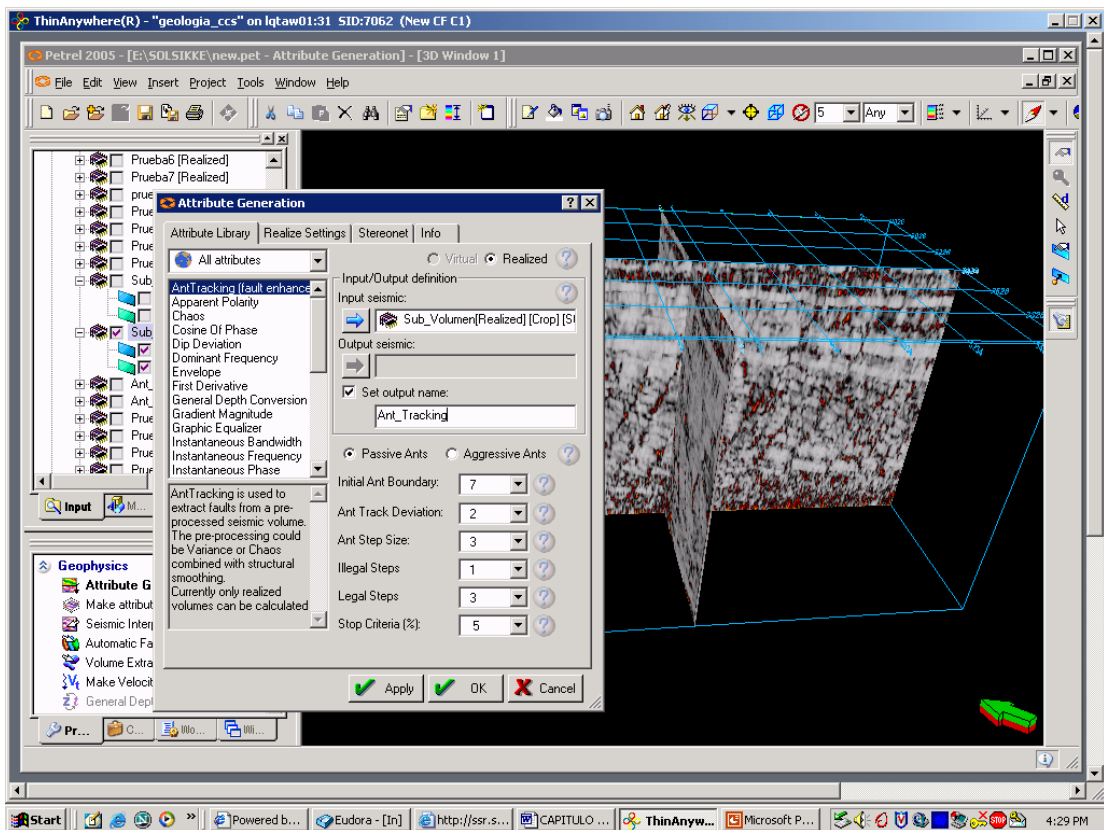


Figura 25. Generación de “Ant Tracking”

#### 5.4.2 Interpretación de horizontes

Una vez calibrada la información sísmica con la información de pozo, a través de los sismogramas sintéticos. Se procedió a la identificación de los horizontes sísmicos y el marcador geológico al cual corresponde, teniendo como garantía la continuidad del horizonte a lo largo del área de estudio. Fueron interpretados tres horizontes llamados: tope, intermedio y base.

Para la interpretación de los horizontes se procede a abrir una ventana 2D, se visualiza la sísmica y existen opciones dentro de la barra de herramientas para la interpretación. Luego las herramientas para la interpretación de horizontes son cuatro

(4) “Guide Autotracking”, dadas dos semillas realiza la interpretación del “inline, crossline o time slice”. “Seeded 2D Autotracking”, consiste en dada una semilla, realiza la interpretación a partir de dicha semilla en una línea sísmica. “Seeded 3D Autotracking”, consiste en dada una semilla, realiza la interpretación de un reflector en un cubo sísmico. Por último “Manual interpretation”, ésta realiza la interpretación siguiendo totalmente el criterio del intérprete, sin seguir ningún valor de amplitud dado (semilla), observando la continuidad lateral de un reflector de interés dado un valor de amplitud representativo, en un volumen sísmico 3D.

Esta interpretación se realizó por la opción “Manual interpretation” y evaluando la continuidad de los horizontes cada 10 líneas en las direcciones “Inline” y “Crossline”.

Se presenta a continuación la visualización de la interpretación de horizonte (Fig.26):

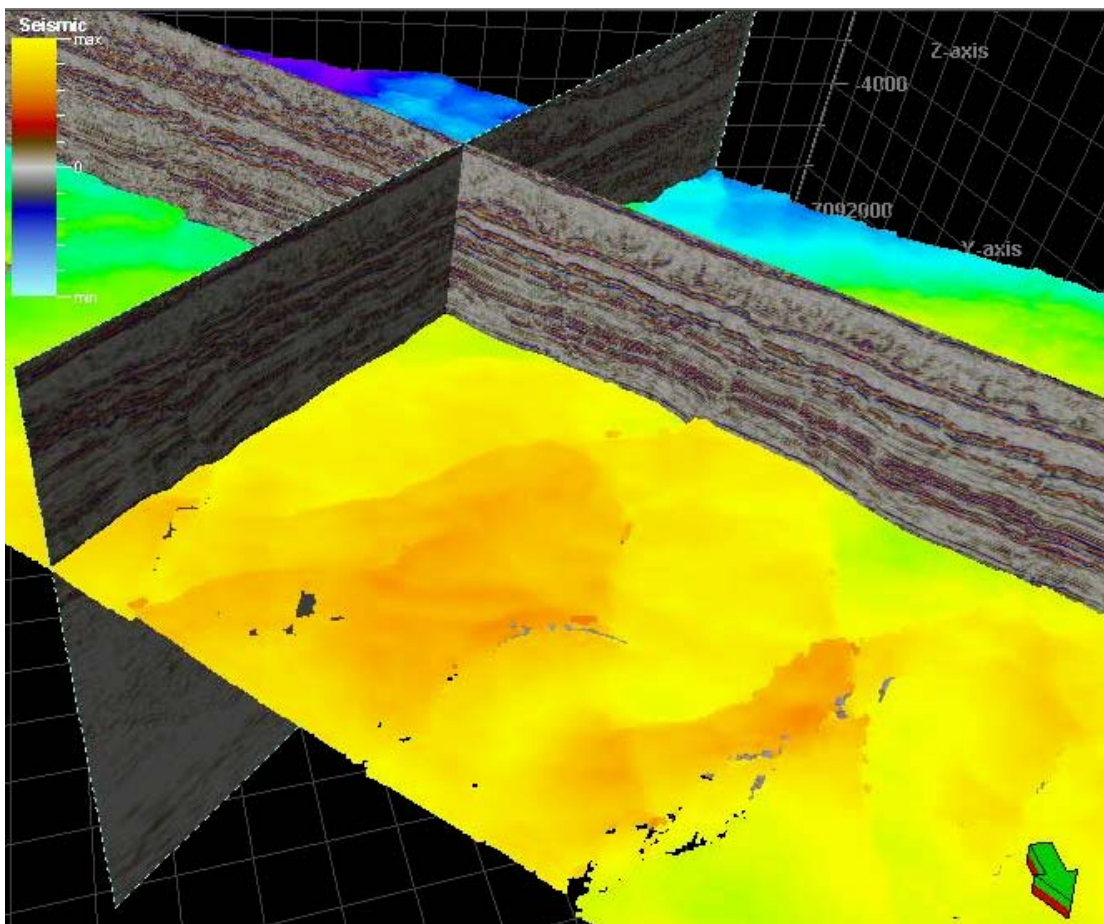


Figura 26. Interpretación de horizonte

### 5.4.2.1 Edición

Para la edición de los horizontes se procede a verificar en conjunto a la sísmica, utilizando el “Inline” y “Crossline” haciendo un control de calidad de la interpretación, cada 10 líneas con respecto a la sísmica original. Para ello nos muestran las funciones de edición y se utilizan según el caso, procedemos a borrar y construir manualmente la continuidad del horizonte. En la figura 27 se presenta la edición utilizada para los horizontes sísmicos.

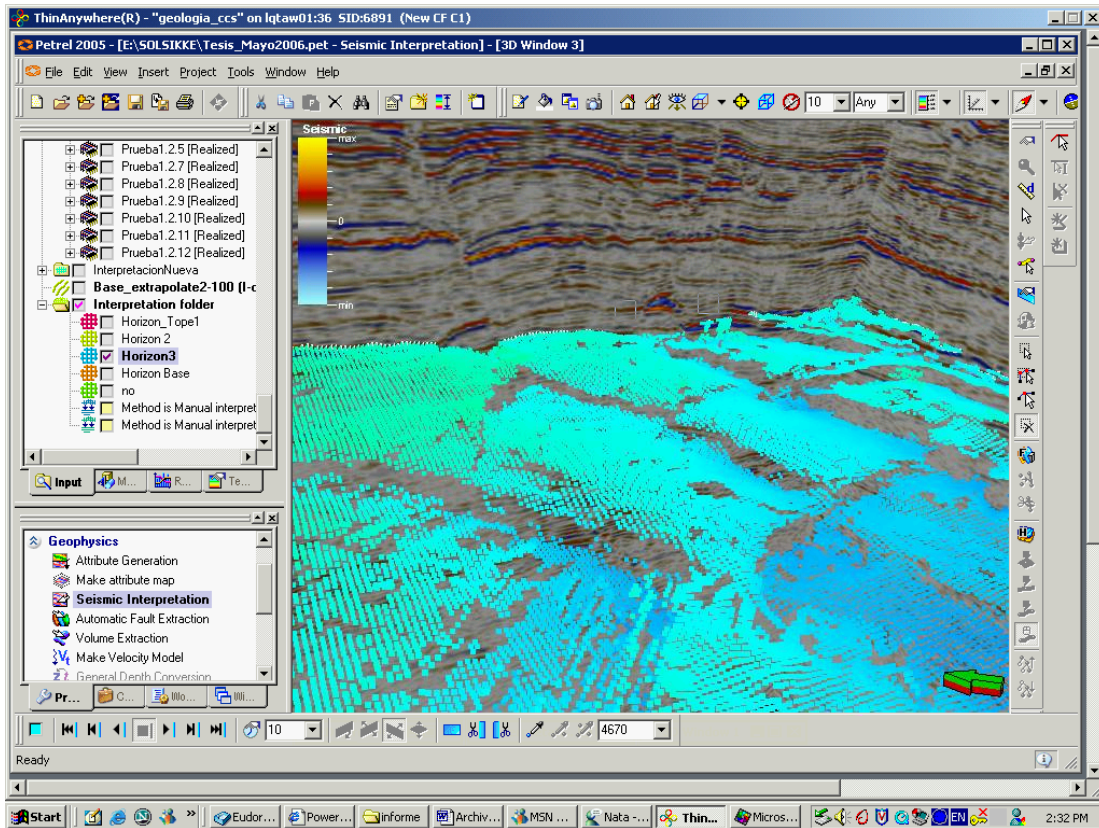


Figura 27. Edición de horizontes

### 5.4.3 Interpretación estructural automatizada

La función de la interpretación estructural automatizado de Petrel utiliza un algoritmo avanzado llamado “Ant Tracking”, el cual acelera significativamente el ejercicio de interpretación de fallas. Esta técnica permite generar un volumen 3D que presenta una delineación superior de las fallas y se utiliza para extraer automáticamente las superficies de fallas mediante la utilización de algoritmos de búsqueda inteligentes, visualizaciones 3D y herramientas de análisis de datos. A continuación presentamos los parámetros que se utilizan para la generación del volumen 3D (Fig. 28-33):

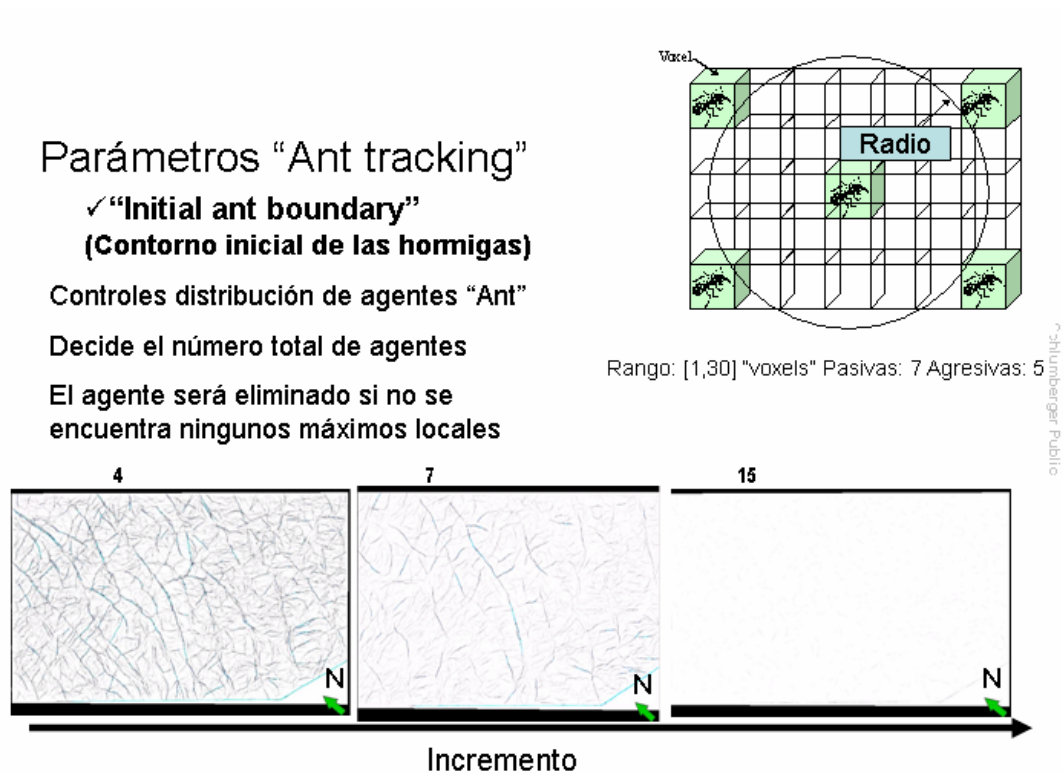


Figura 28. Contorno inicial de las hormigas

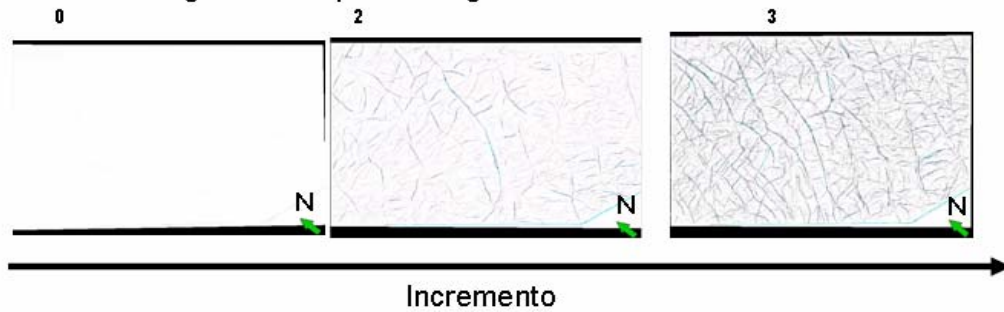
## Parámetros "Ant tracking"

### ✓ "Ant track deviation" (Trayectoria de desviación de las hormigas)

Permite que el agente se desvíe de máximos locales y continúe trabajando

Rango: [0,3] "voxels" Pasivas: 2 Agresivas: 2

Mantiene al agente de su posición legal



Sci-Tech-berger Public

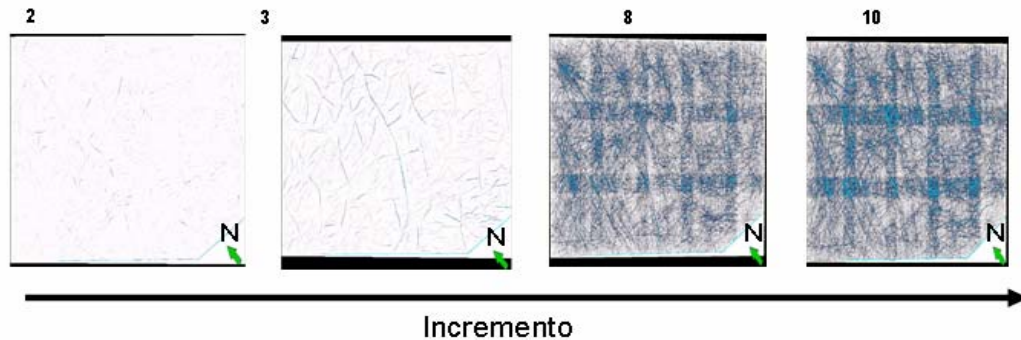
Figura 29. Trayectoria de desviación de las hormigas

## Parámetros "Ant tracking"

### ✓ "Ant step size" (Tamaño de paso de las hormigas)

Decide cómo un agente puede buscar lejos para encontrar máximos locales en un solo paso

Rango: [2,10] "voxels" Pasivas: 3 Agresivas: 3



Sci-Tech-berger Public

Figura 30. Tamaño de paso de las hormigas

## Parámetros "Ant tracking"

### ✓ "Illegal steps" (Pasos ilegales)

Cuántos pasos un agente puede continuar sin encontrar máximos locales

Rango: [0,3] "voxels" Pasivas: 1 Agresivas: 2

Schlumberger Public

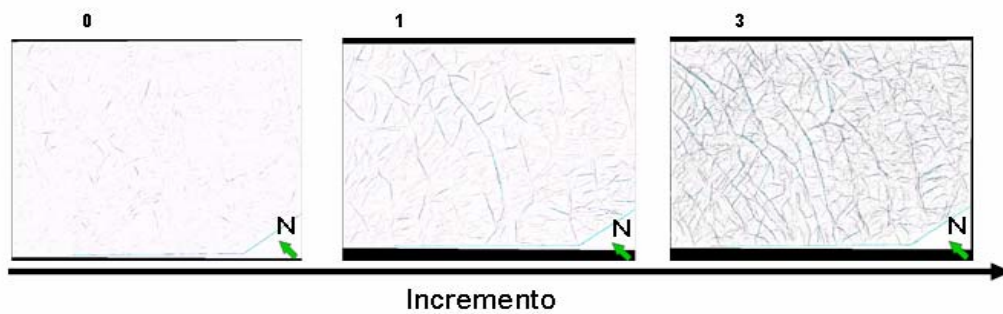


Figura 31. Pasos ilegales

## Parámetros "Ant tracking"

### ✓ "Legal steps" (Pasos legales)

Número de pasos que contiene un valor de borde para que el agente continúe

Rango: [0,3] "voxels" Pasivas: 3 Agresivas: 2

Schlumberger Public

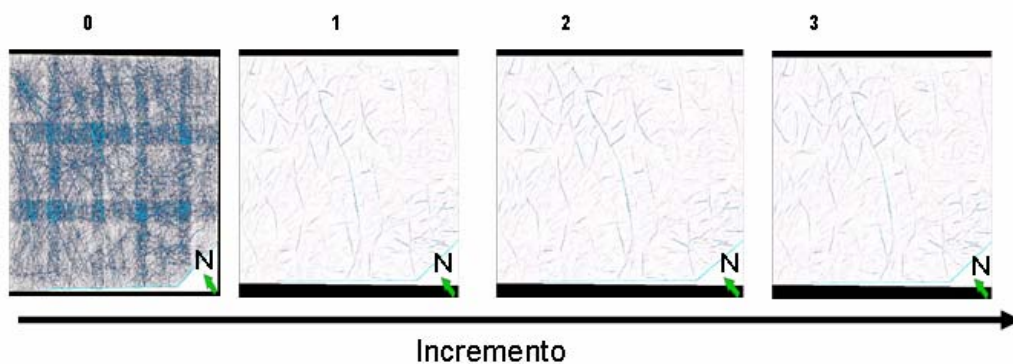


Figura 32. Pasos legales

## Parámetros "Ant tracking"

### ✓ "Stop Criteria" (Criterios de parada)

El porcentaje total de pasos ilegales que permitió a los agentes activos

Rango: [0,50]% "voxels" Pasivas: 5% Agresivas: 10%

Termina la búsqueda si los criterios se excedieron

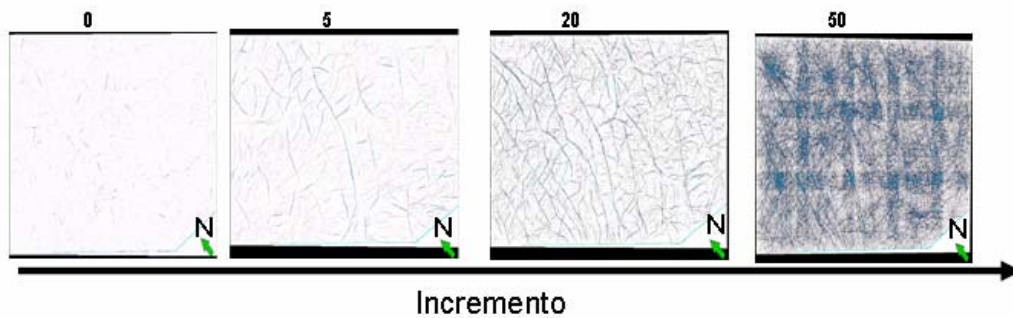


Figura 33. Criterios de parada

### 5.4.4 Extracción de superficies de fallas.

Esta función dentro del módulo de geofísica permite extraer automáticamente o manualmente las superficies de los planos de fallas. El uso de los parámetros para la extracción, dependerá la mejor visualización de los planos al aplicar ciertos filtros de orientación de las superficies.

Los parámetros de la extracción de superficies son los siguientes:

a.- **“Extraction sampling threshold”** (Umbral de extracción de muestreo): Este parámetro ajusta el rango máximo del valor de la amplitud según los horizontes sísmicos. Un valor de 10% utilizará los valores más altos de los datos, por lo tanto será más apropiado para buscar fallas más grandes. El aumento del rango del porcentaje permitirá que el algoritmo busque valores más bajos de la señal, es decir, fallas más pequeñas.

b.- **“Extraction Background threshold”** (Umbral de extracción de fondo): Este parámetro tendrá el efecto de la limpieza de ruido de las fallas pequeñas con respecto a las fallas principales. La reducción de este valor puede incluir rangos más altos y generará fallas principalmente fuertes.

c.- **“Deviation from a plane”** (Desviación de un plano): Controla el rango de valores alrededor de un punto de semilla que limita las localizaciones potenciales de fallas que puedan ser extraídas. Este parámetro controla cómo el plano de falla puede desviarse de una superficie plana. Los valores más bajos proporcionarán detalles más grandes.

d.- **“Connectivity constraint”** (Limitación de conectividad): Es un control de sensibilidad de la conexión. El valor mínimo “1” significa que por lo menos una cara del “voxel” debe tocar una posición previamente aceptada antes de la extensión del plano. El valor máximo de “3” requiere que cada punto de la superficie de falla haya estado conectado en tres lados del “voxel”. Al aumentar este valor a “2” o a “3” la extracción de fallas se realiza con una confianza más alta.

e.- **“Minimum patch size”** (Mínimo tamaño de plano): Define el número mínimo de los puntos para que un plano de falla sea incluido. Los planos con un número bajo de puntos se excluyen del sistema de fallas.

f.- **“Patch down sampling”** (Muestreo de planos): Controla la densidad de puntos para cada plano extraído de fallas.

A continuación se presenta la siguiente figura que representa los valores de los parámetros utilizados para la extracción de superficies y visualización en la sección sísmica horizontal (Fig. 34-35):

## Parámetros seleccionados para la extracción de los planos de superficies 3D

- ✓“Extraction Sampling Distance”: 15
- ✓“Extraction sampling threshold”: 30
- ✓“Extraction Background threshold”: 60
- ✓“Deviation from a plane”: 11
- ✓“Connectivity constraint”: 1
- ✓“Minimum patch size”: 100
- ✓“Patch down sampling”: 8

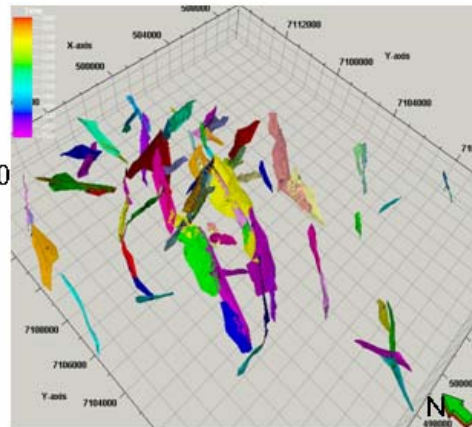


Figura 34. Parámetros seleccionados para la extracción

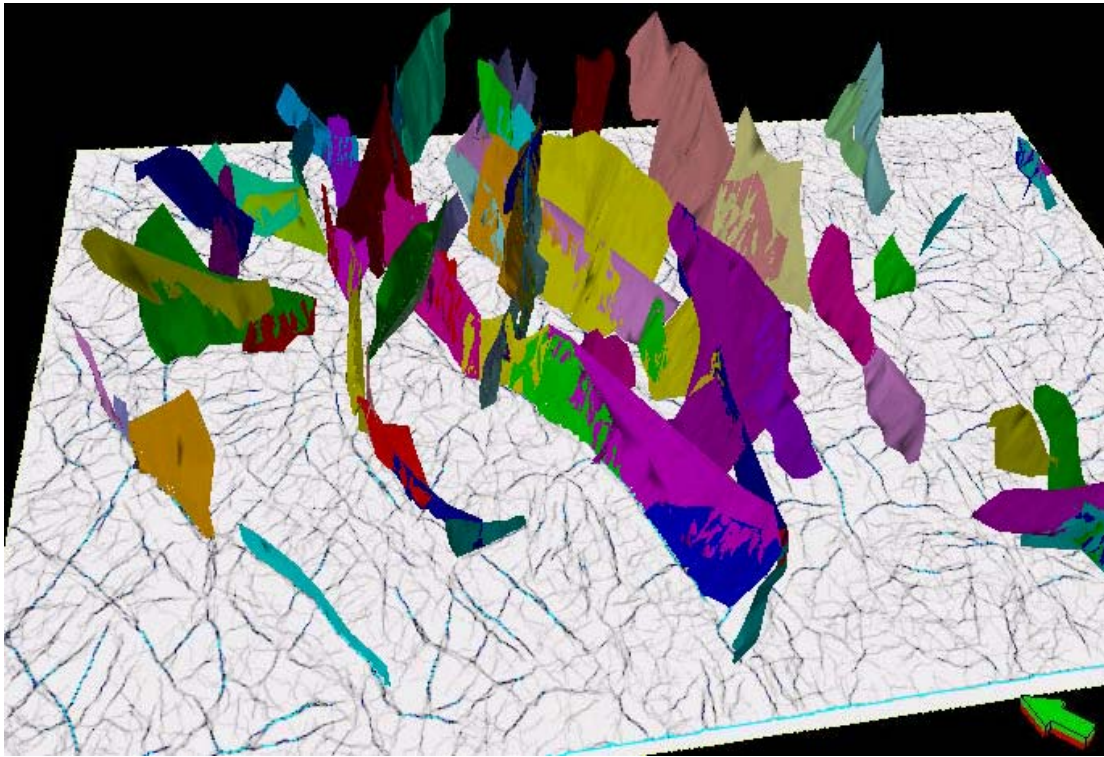


Figura 35. Extracción de superficies de fallas

#### 5.4.6 Sismograma Sintético

Con el objetivo de representar la información necesaria para la calibración, ajustar una sección sísmica, hacer la conversión T-Z, mostrado en la figura 36 y ubicar los primarios y múltiples en la correlación sísmica se genera un sismograma sintético.

Para el área de estudio se contó principalmente con datos de registros “check shot” y densidad del pozo 6403\_10-1. A partir del registro de densidad se genera el registro sísmico para el cálculo de impedancia acústica. Seguidamente se realiza cálculos para la generación del coeficiente de correlación, el cual se convolucionaba con una ondicula de fase cero para producir la traza sintética.

Finalmente obtenida la traza sintética, los registros de pozo y la dirección del mismo se generan el sismograma sintético. Se realizó una comparación con los datos sísmicos 3D previos, la misma confirma la ubicación correcta del marcador “intermedio” a 3180ms y la identificación de los reflectores sísmicos. La parte inferior del sintético no concuerda bien con los datos sísmicos 3D, lo cual se infiere de los valores anómalos en el registro DT a esos niveles.

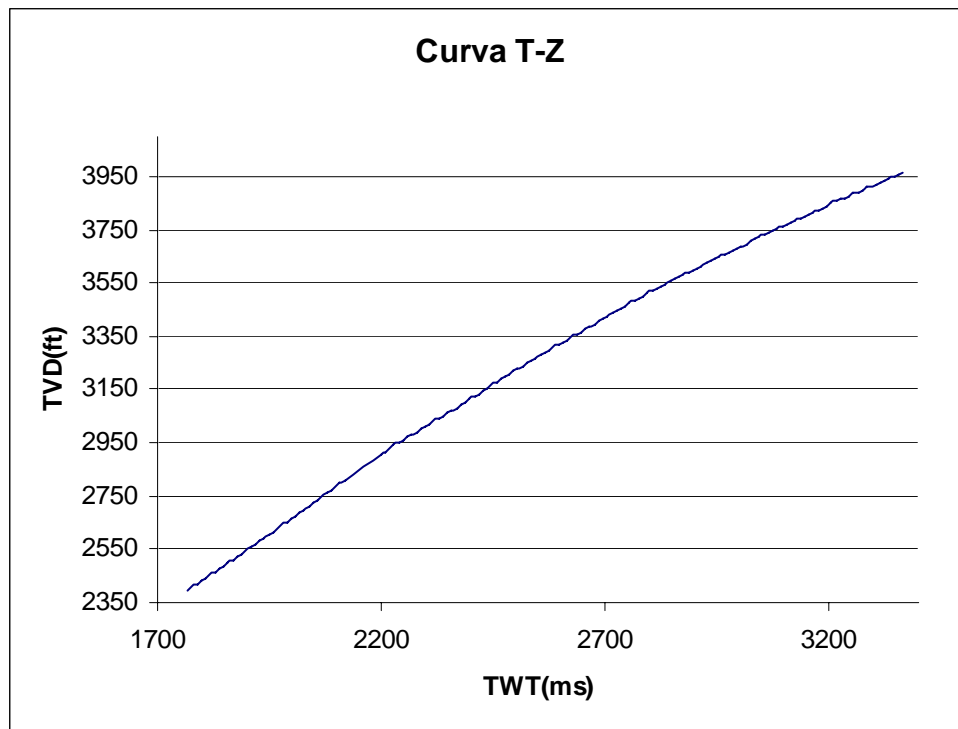


Figura 36. Curva tiempo-profundidad del registro “check shot” del pozo

### 5.5 Módulo de Geología Petrel 2005

El módulo Petrel ofrece una gama completa de herramientas para el geólogo que incluyen las profundidades de marcadores, la correlación de pozos, las aplicaciones de cartografiado y graficación, además del modelado 3D.

### 5.5.1 Definición del modelo

Para la definición del modelo estructural se procede a abrir la ventana del explorador, modelaje estructural y se define el modelo colocando un nombre para su identificación. A continuación se muestra la ventana del uso de definición del modelo (Fig. 37):

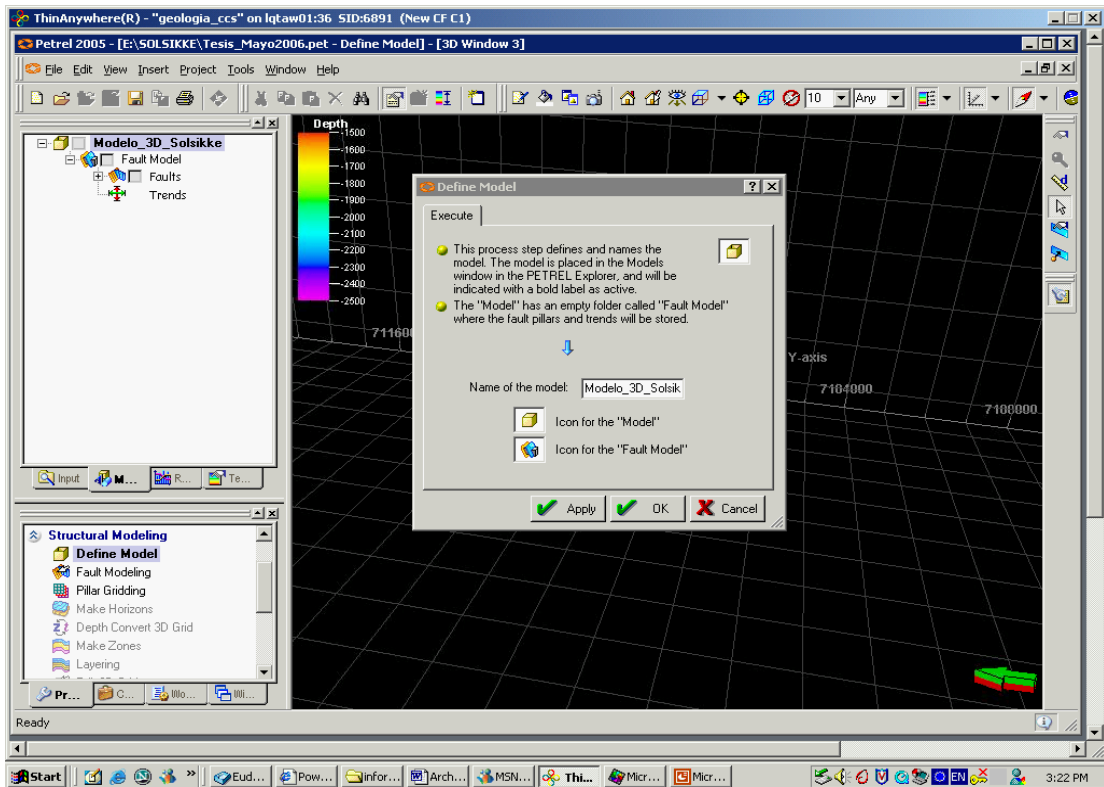


Figura 37. Definición de modelo

### 5.5.2 Modelado de fallas

El modelado de fallas se genera a partir de los planos de superficies de fallas provenientes de las interpretaciones de las fallas, donde se realizó la conversión a modelado, con la diferencia que permite visualizar los pilares de las fallas. En la barra de herramientas a la derecha, existen varias funciones como son: los tipos de fallas y su geometría, donde es utilizada para el modelado, con el propósito de definir la

forma y el tamaño de cada una de las fallas que van hacer modeladas. Las funciones mas comunes y utilizadas son las conexiones de las fallas, así como el movimiento de los pilares (Fig. 38):

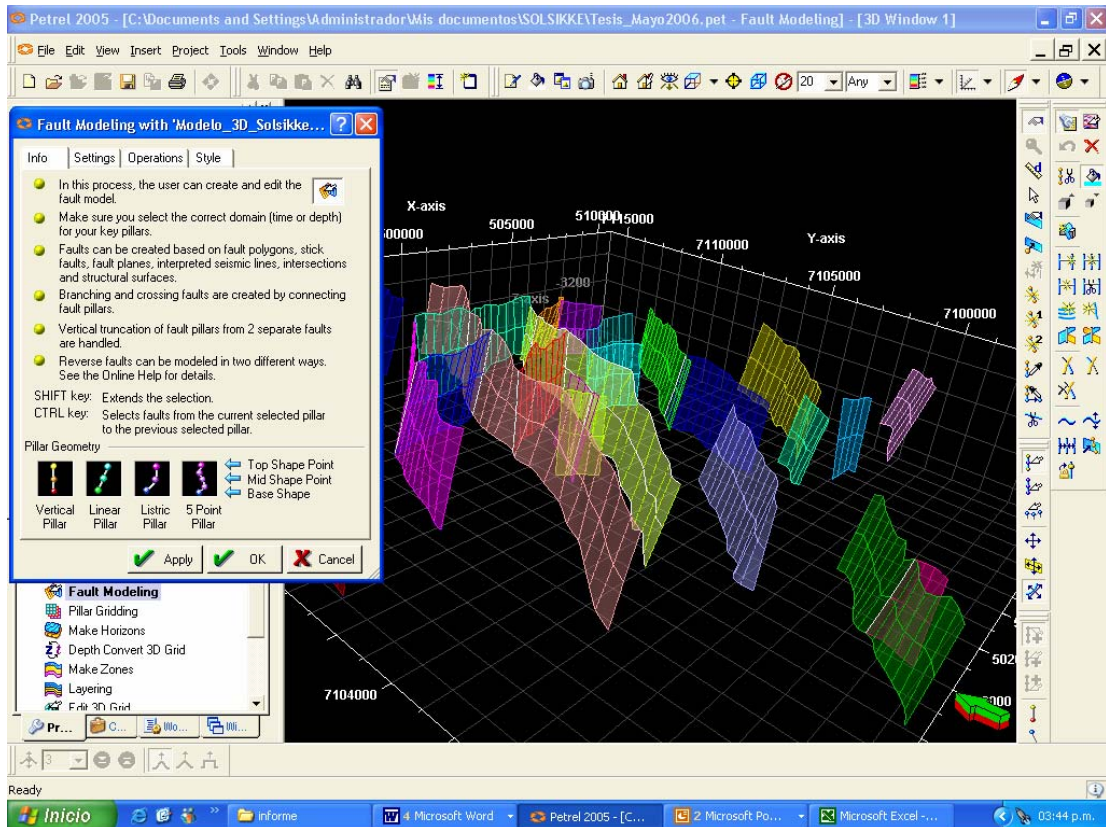


Figura 38. Modelado de fallas

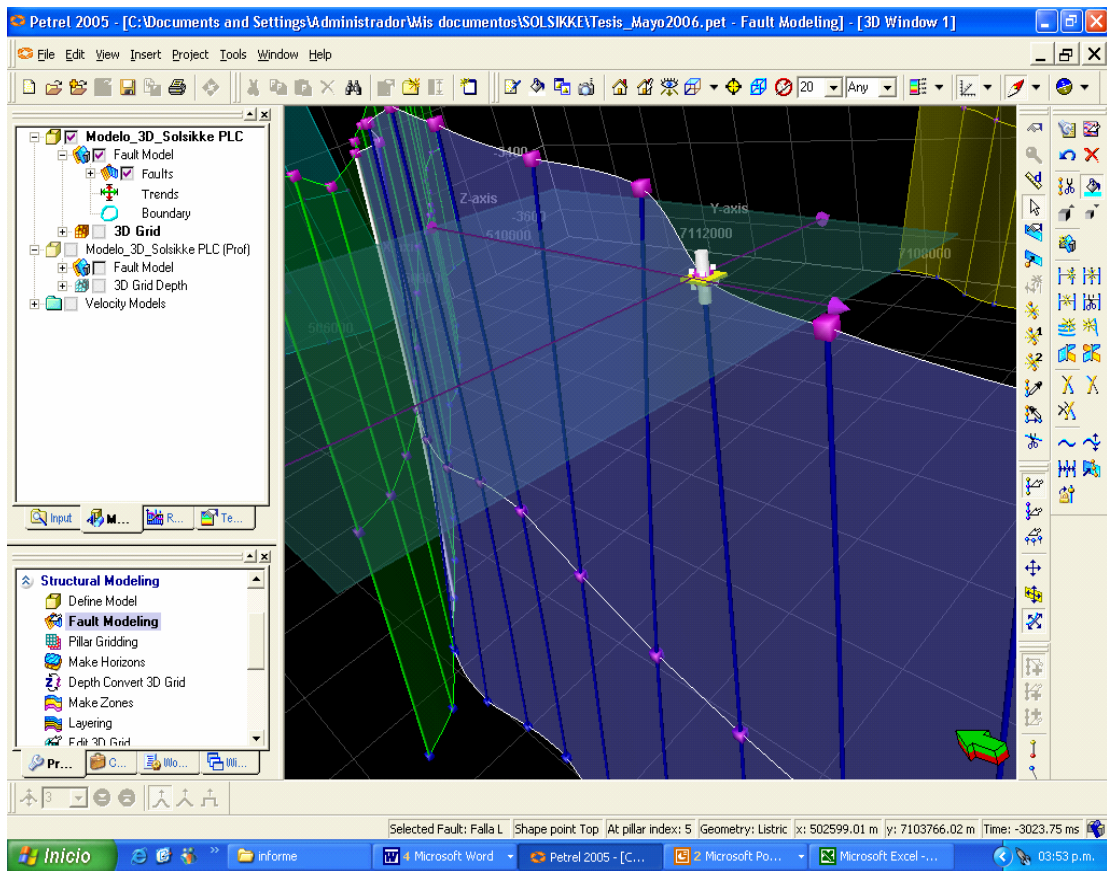


Figura 39. Movimiento de pilar de falla

Señalando el pilar como se observa en la figura, se pueden hacer los movimientos en distintas direcciones, así como también movimientos verticales. Estos movimientos están orientados siguiendo las interpretaciones de las fallas (Fig. 39)

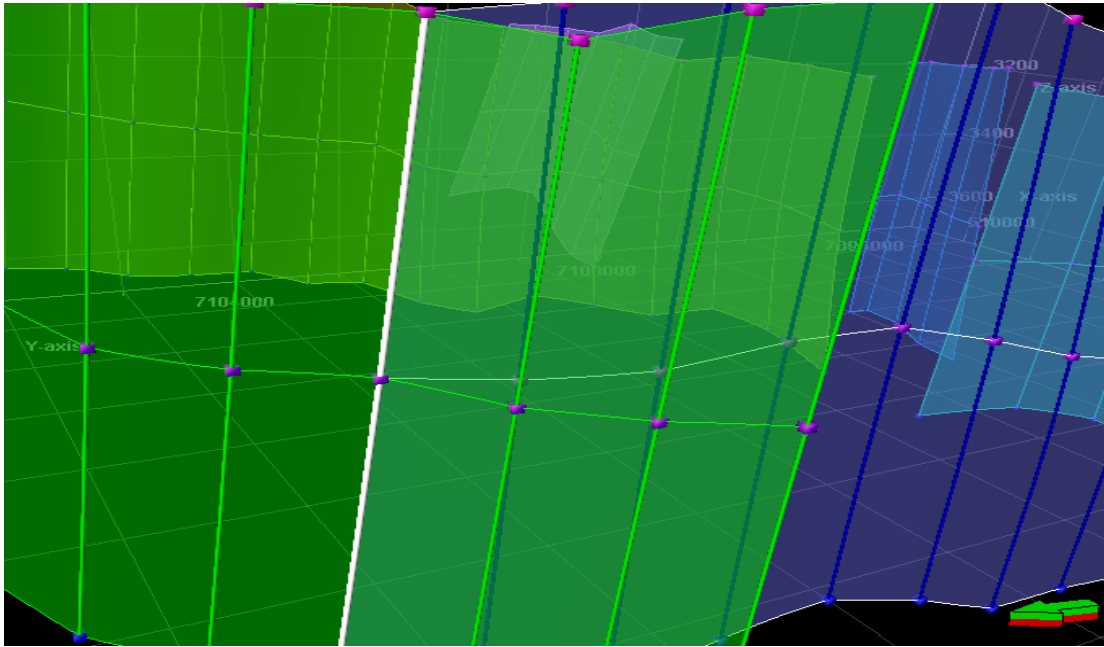


Figura 40. Conexión de fallas

Para la conexión de las fallas, se coloca frente a frente los pilares y utilizando las opciones disponible de extensión de falla o crear una nueva falla y finalmente se presiona el clic. La conexión con el pilar se muestra en la figura 40 donde el pilar de color blanco representa la conexión. Estas conexiones se realizan a partir de las secciones sísmicas, visualizando cada 10 líneas la trayectoria de la falla.

### 5.5.3 Mallado de pilares “Pillar Gridding”

El proceso de “pillar gridding”, consiste en definir el tamaño, forma y orientación de las celdas del modelado, dando como resultado un mallado definido por todas las fallas y pilares.

En la barra de herramientas en la derecha, se construye un borde a lo largo de toda el área de estudio, y se observa en la figura 41 con el color azul. En la configuración del mallado de pilares se coloca las opciones de tamaño de la celda, así como también las direcciones con tendencias en i, j o arbitrarias de las fallas, correspondiente a ángulos menores de 22,5 grados.

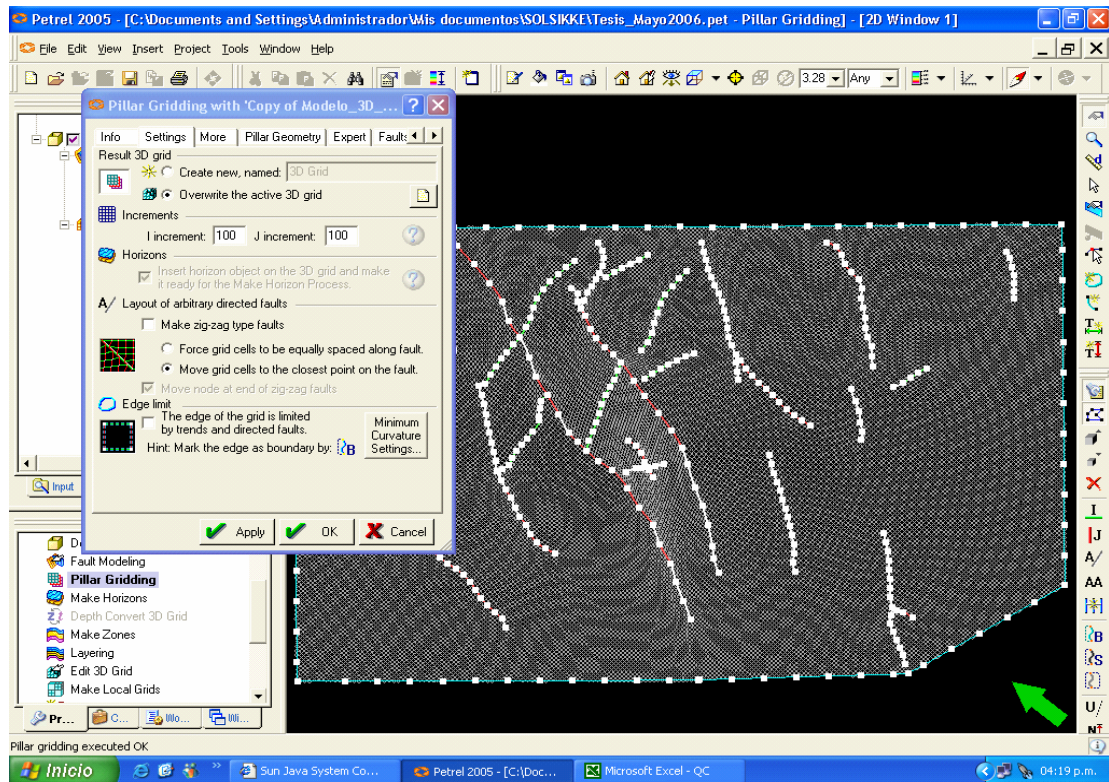


Figura 41. Generación del mallado de pilares

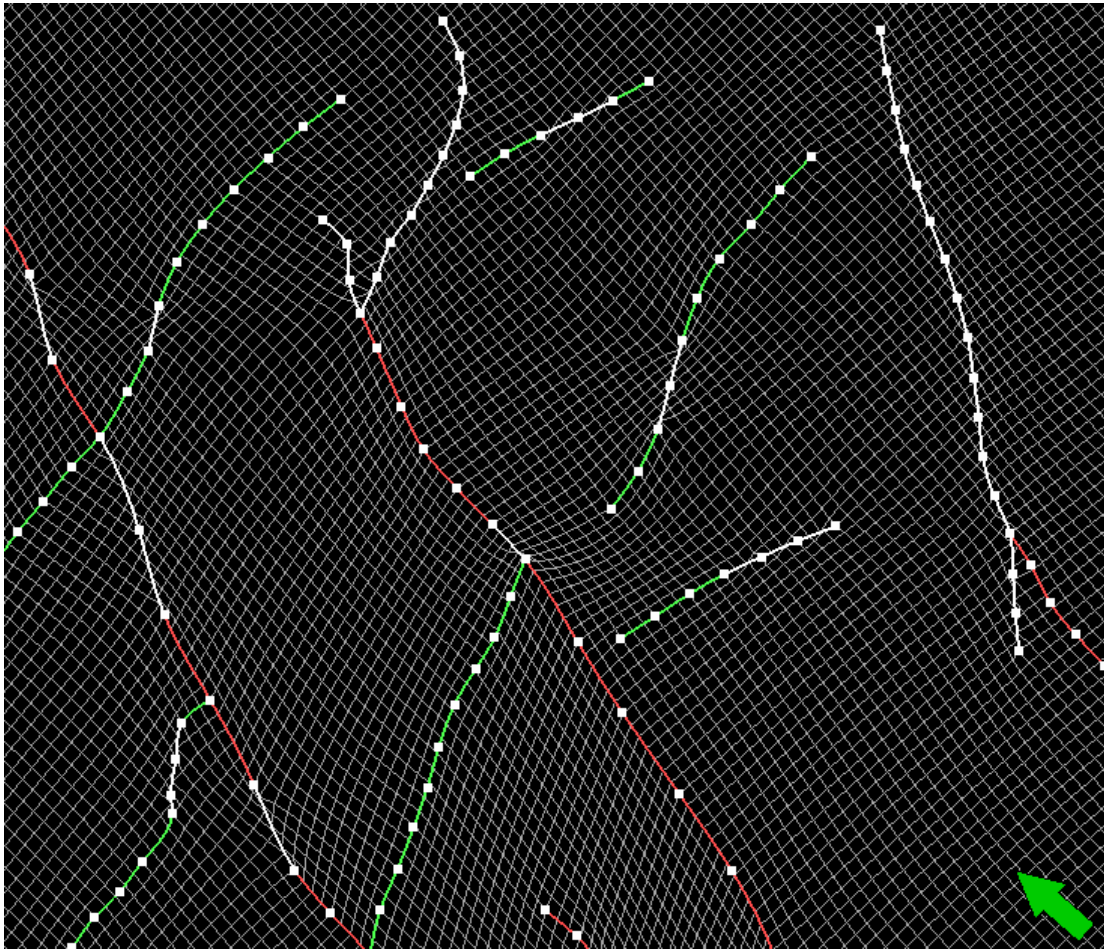


Figura 42. Tendencia de los pilares

Se muestra las tendencias en  $i$  de las fallas con el color verde, las tendencias en dirección  $j$  con el color rojo y las tendencias arbitrarias corresponden al color gris (Fig. 42).

#### 5.5.4 Crear horizontes “Make Horizons”

El proceso de “Make horizons” consiste en insertar datos de entrada como son las superficie a partir de la sísmica interpretada, marcadores geológicos, así como también el salto de falla. Dentro de la configuración del proceso, se procedió a activar y desactivar la falla según la intersección de las fallas con respecto a las diferentes superficies interpretadas, mostradas en el apéndice, la tabla de control de calidad de todas las fallas, y se colocó el desplazamiento de cada una de las fallas, con la finalidad de representar los saltos de fallas con sus intersecciones entre el tope, intermedio y la base (Fig. 43):

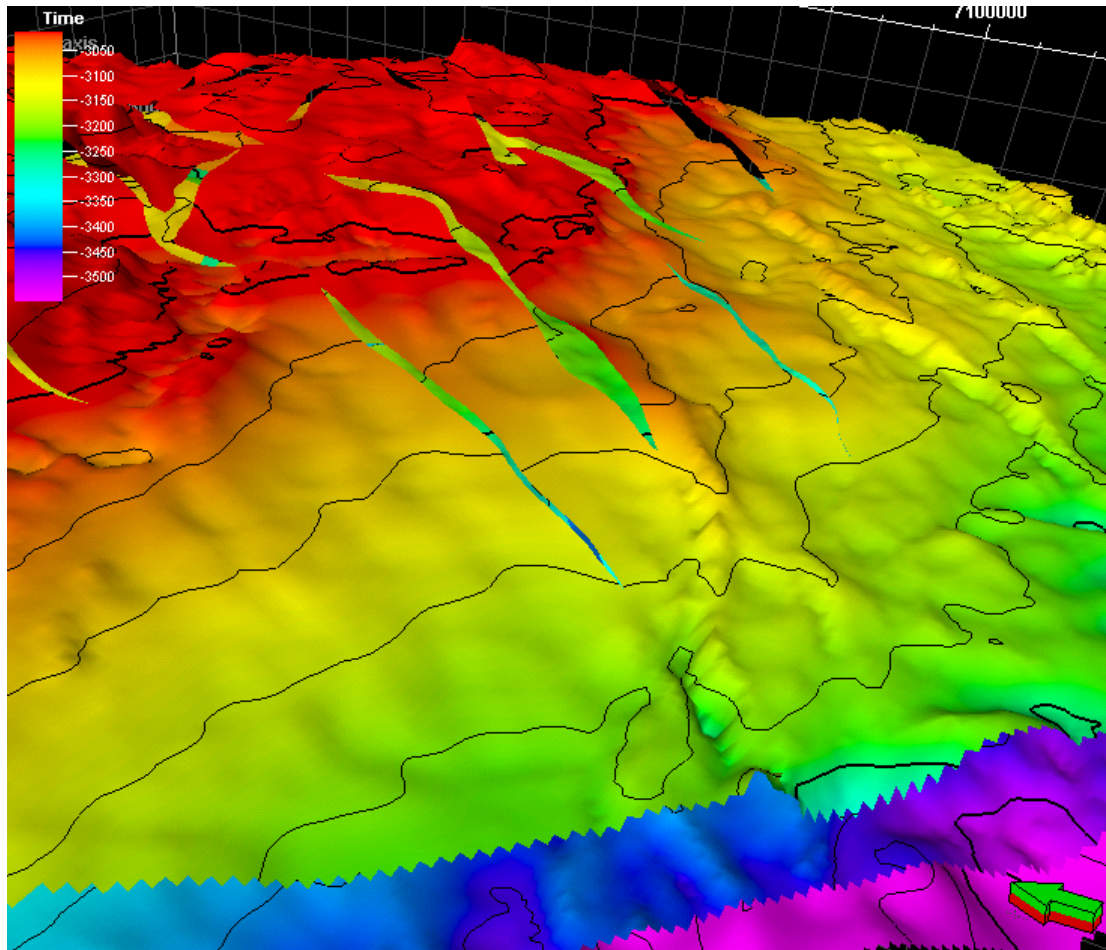


Figura 43. “Make horizons” generado a partir de superficies

## 5.5 Incertidumbre estructural

Se utiliza el proceso de incertidumbre en la barra de proceso ubicado en la parte inferior del proyecto. Se crea en un lenguaje de programación dentro de Petrel, llamado incertidumbre en el cual consiste en generar todas las superficies posibles dentro de un rango de realizaciones anteriormente programado. Se inserta una nueva carpeta donde se almacenarán las distintas realizaciones para las tres superficies. Además en la ventana de utilidad se insertó “Loop Variable”, con la finalidad hacer el número de pruebas. “Move” “Get name” con la finalidad de organizar en carpetas las pruebas a realizar. Seguidamente “Run” donde se inserta la extracción de los horizontes. Y por último “End Loop” para terminar con el ciclo de repeticiones (Fig. 44):

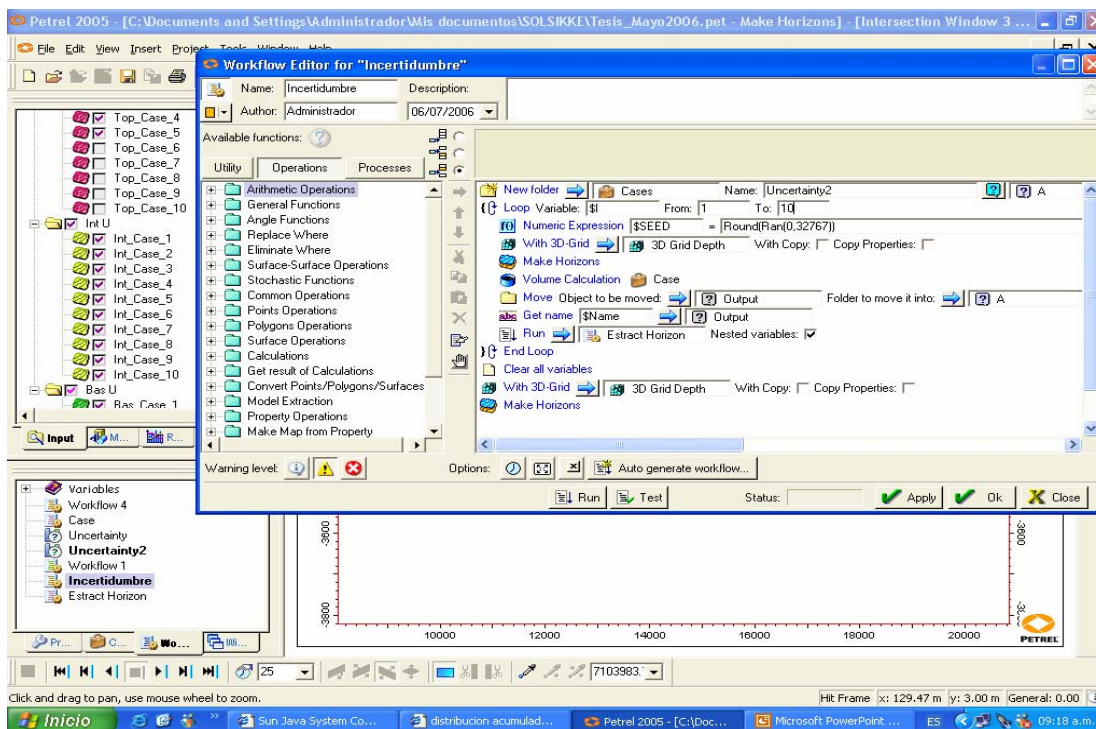


Figura 44. Generación de incertidumbre estructural

## 5.6.1 Incertidumbre de horizontes

Se utiliza el proceso de incertidumbre en la barra de proceso ubicado en la parte inferior del proyecto. Se crea en un lenguaje de programación dentro de Petrel, llamado extracción de los horizontes en el cual consiste en convertir los horizontes en superficies. Se inserta el mallado 3D en profundidad y se define un caso, estos casos estarán acompañados de las distintas realizaciones generadas por el número de repeticiones para cada superficie del tope, intermedio y base. Para la conversión de horizontes a superficies se utilizó en la ventana de operaciones la función “Convert to surface” y se insertó el horizonte. Además en la ventana de utilidad se insertó “Set reference” “Set name” “Move”, con la finalidad de organizar en carpetas las pruebas a realizar (Fig. 45)

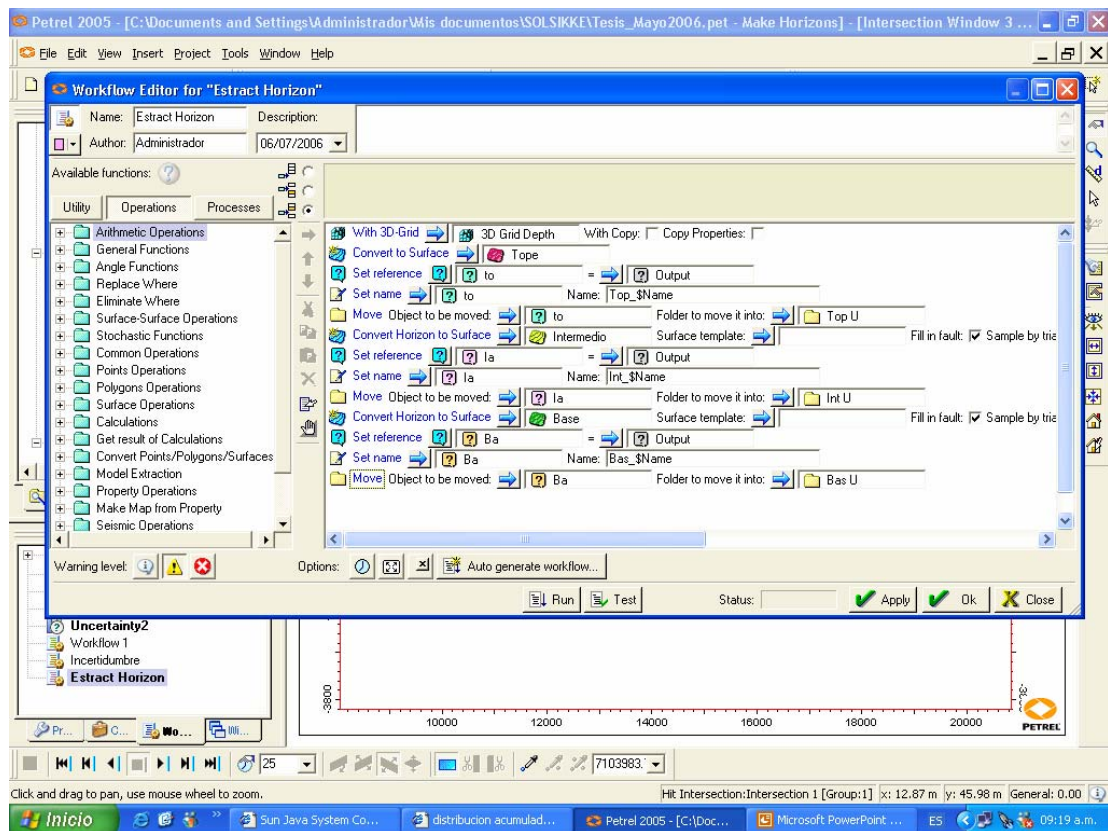


Figura 45. Extracción de horizontes

## CAPÍTULO 6

### 6 Análisis de resultados

#### 6.1 Módulo de Geofísica Petrel 2005

##### 6.1.1 “Ant Tracking”

“Ant Tracking” es un algoritmo basado en el comportamiento inteligente de las hormigas para la búsqueda y visualización de discontinuidades estructurales obteniendo como resultado un atributo sísmico para la extracción automática y/o manual de los planos de fallas. Para la obtención del volumen sísmico de “Ant tracking”, se realizaron numerosas pruebas con diferentes parámetros, obteniendo el mejor resultado las hormigas agresivas, dando alto nivel de detalle.

Los parámetros utilizados, previamente explicados en el capítulo 5, son los siguientes:

Contorno inicial de las hormigas = 4,

Trayectoria de desviación de las hormigas = 2,

Tamaño de paso de las hormigas = 3,

Pasos ilegales = 1 ,

Pasos legales = 1,

Criterios de parada = 5.

La figura 46 muestra un ejemplo de las discontinuidades estructurales dadas por la aplicación del atributo “Ant Tracking” en el área de estudio. Dichas discontinuidades pueden ser apreciadas por el color azul.

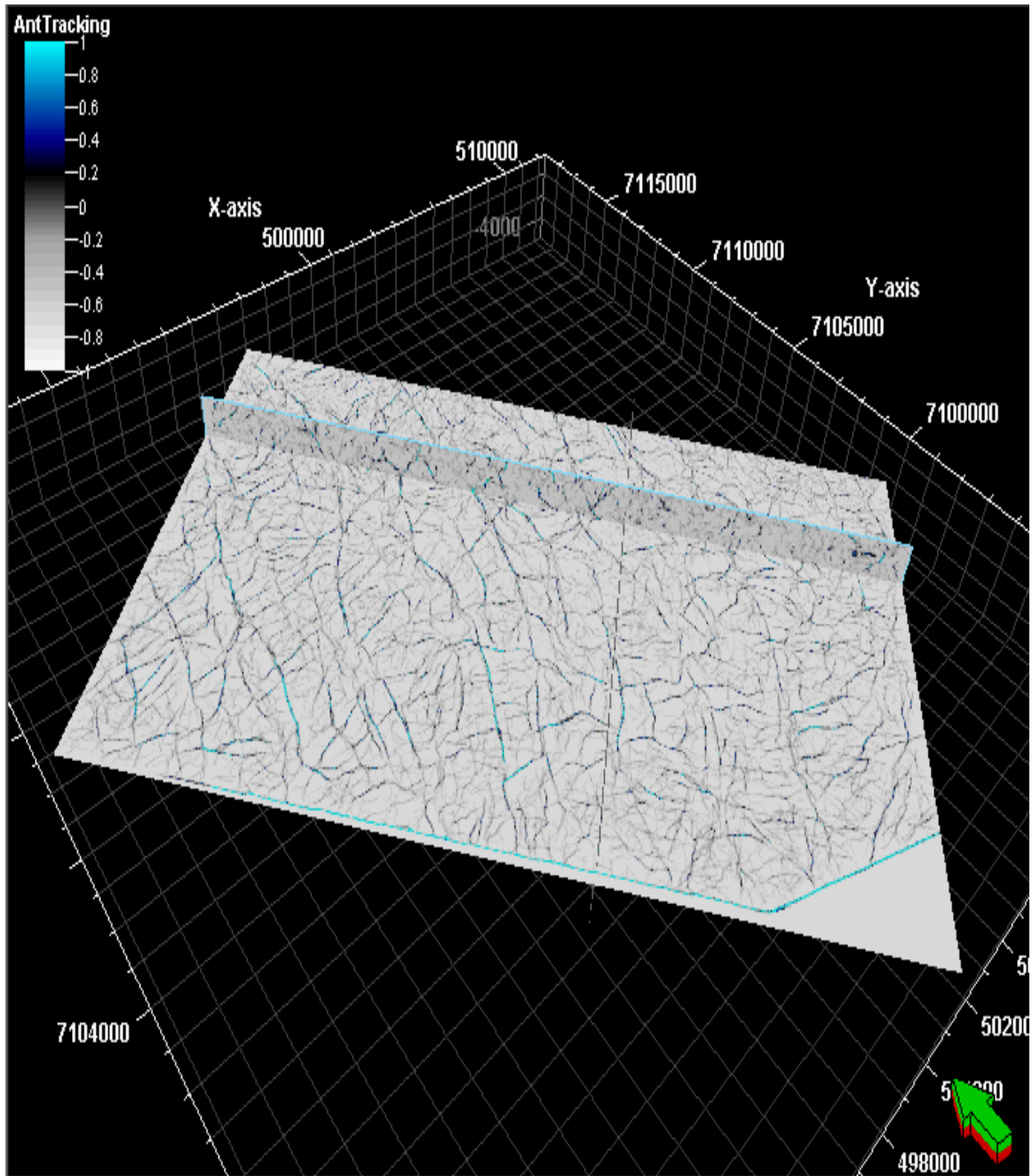


Figura 46. "Ant Tracking" mostrando en azul las discontinuidades estructurales

### 6.1.2 Extracción de planos de superficies de fallas 3D

A partir del volumen sísmico generado del atributo “Ant Tracking”, igualmente se realizaron numerosas pruebas con la finalidad de extraer los planos de fallas. Estos parámetros seleccionados para la extracción manual de los planos de superficie, previamente explicados en el capítulo 2, fueron los siguientes: Distancia de extracción de muestreo = 15, Umbral de extracción de muestreo = 30, Umbral de extracción de fondo = 60, Desviación de un plano = 11, Limitación de conectividad = 1, Mínimo tamaño de plano = 100, Muestreo de planos = 8.

La figura 47 muestra los diferentes planos de extracción de superficies de fallas, en donde se aprecia las diferentes tendencias preferenciales de los planos de fallas. Además muestra la composición de los diferentes planos de fallas, así como también el tamaño del mismo.

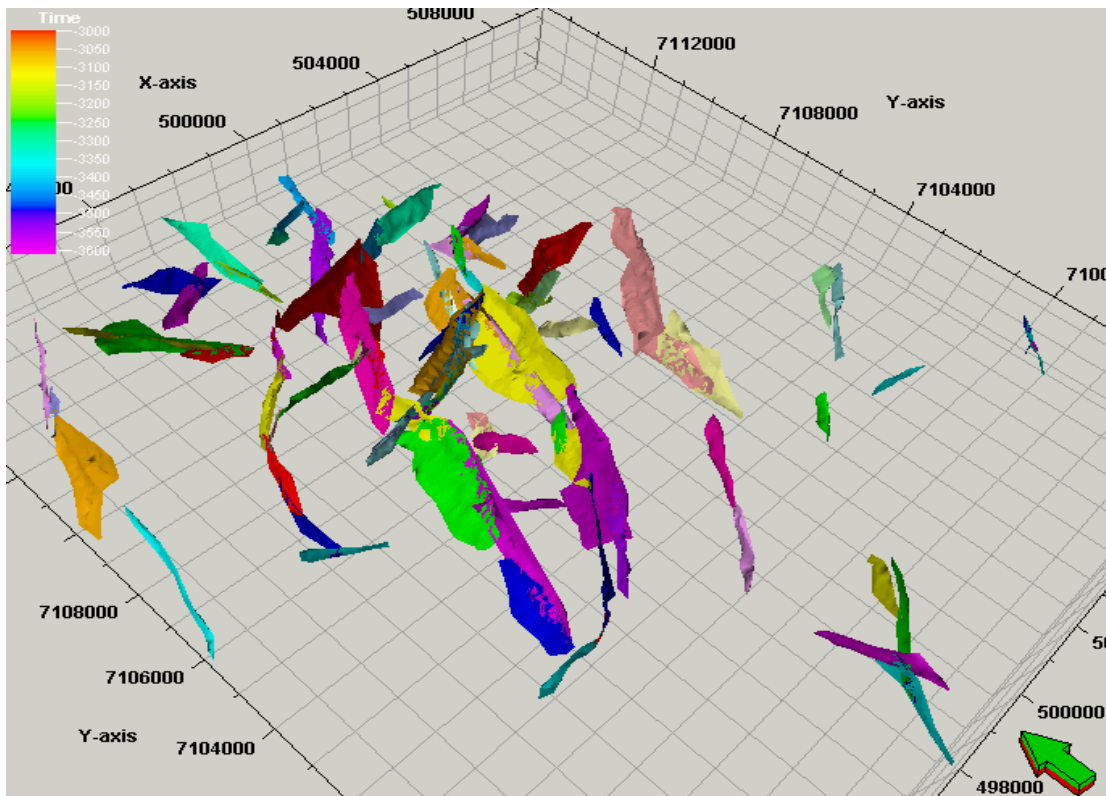


Figura 47. Extracción de los planos de fallas 3D

### 6.1.3 Interpretación de fallas

Se generaron varios cubos sísmicos “Ant Tracking”, los cuales permiten identificar con mejor precisión el tren de fallas característico en el área de estudio. El cubo sísmico seleccionado ofreció evidencias idóneas de las fallas principales y sirve de base para la identificación de las tendencias preferenciales de las fallas. Se identificaron un total de 25 fallas; entre las 25 fallas identificadas se identificaron cuatro tendencias principales de fallamiento.

La figura 48 muestra un ejemplo de tres planos de fallas, interceptando la sección sísmica original (Inline 3778), y los horizontes denominados “tope” y “base”. Además, en la figura se puede apreciar la buena continuidad del reflector “intermedio”.

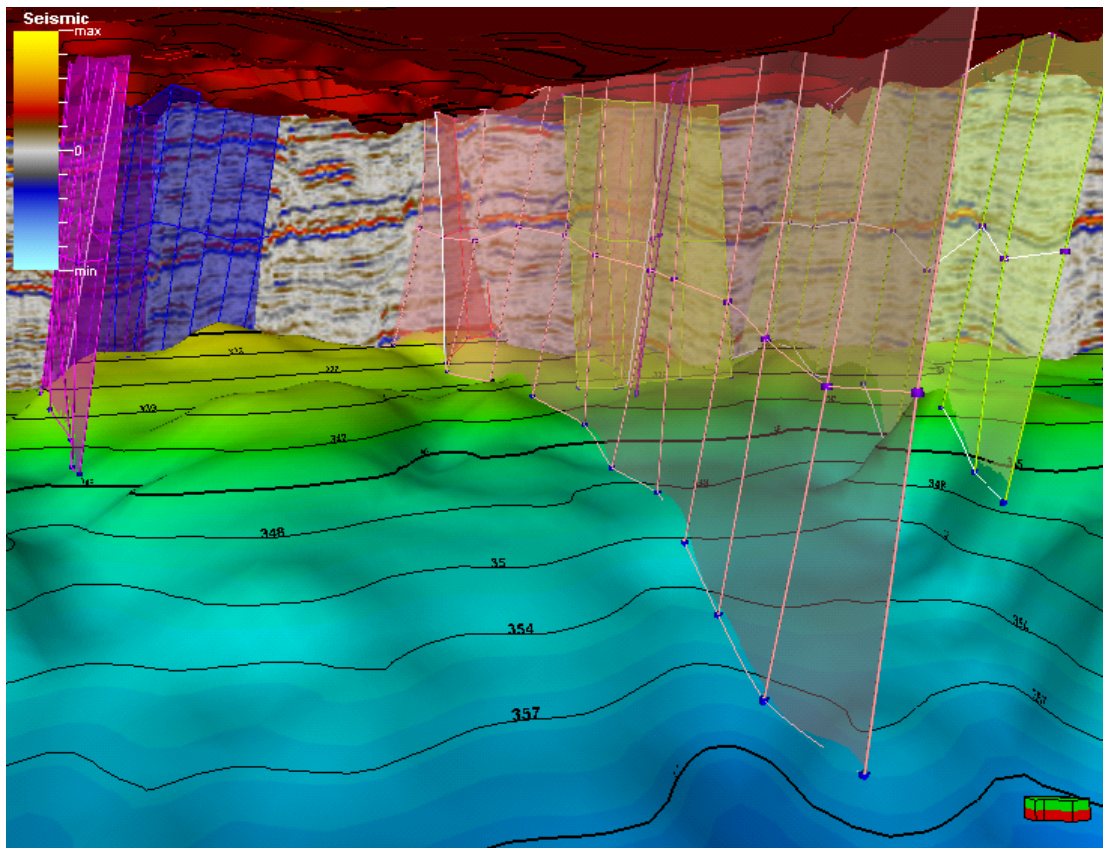


Figura 48. Visualización de la sísmica 3D e interpretación de la fallas

El control de calidad realizado para cada una de las fallas identificadas, consistió en colocar cada falla junto con la sísmica original e ir observando en detalle el plano de falla en la dirección de buzamiento sobre la sísmica, cada 10 líneas del “Inline y Crossline”

A los diferentes planos de fallas identificados utilizando la extracción de planos de superficies de fallas 3D, fueron posteriormente sometidos a un control de calidad, con la finalidad de poder clasificar las fallas como tipo normal e inversas utilizando la sísmica 3D. En la figura 49, se puede observar un conjunto de fallas de menor y mayor escala, de tipos normales e inversas, representativos de un sistema de fallas regionales. De acuerdo con autor Brekke et al., 1987, existen dos sistemas de fallas presentes en la cuenca “Moere”, presentan orientación ENE-OSO llamadas “Moere Trøndelag Fault Complex” (MTFC) y la falla de orientación N-S llamada “Klakk Fault Complex” (KFC) descritas en el capítulo 2.

Según Fugelli et al., 2005, en la cuenca “Moere”, se identificaron varias fases de actividad tectónica, que implica la extensión durante el Jurasico que comprenden “ritf”, el “post-ritf” en la edad del Cretácico y la compresión de edad Terciario temprano.

Con el propósito de tener una mejor comprensión del marco de fallas dentro del área de estudio, se decidió analizar más detenidamente la distribución de las fallas y la influencia de las fallas principales con respecto a la sísmica original, evidenciando claramente un sistema tectónico extensional.

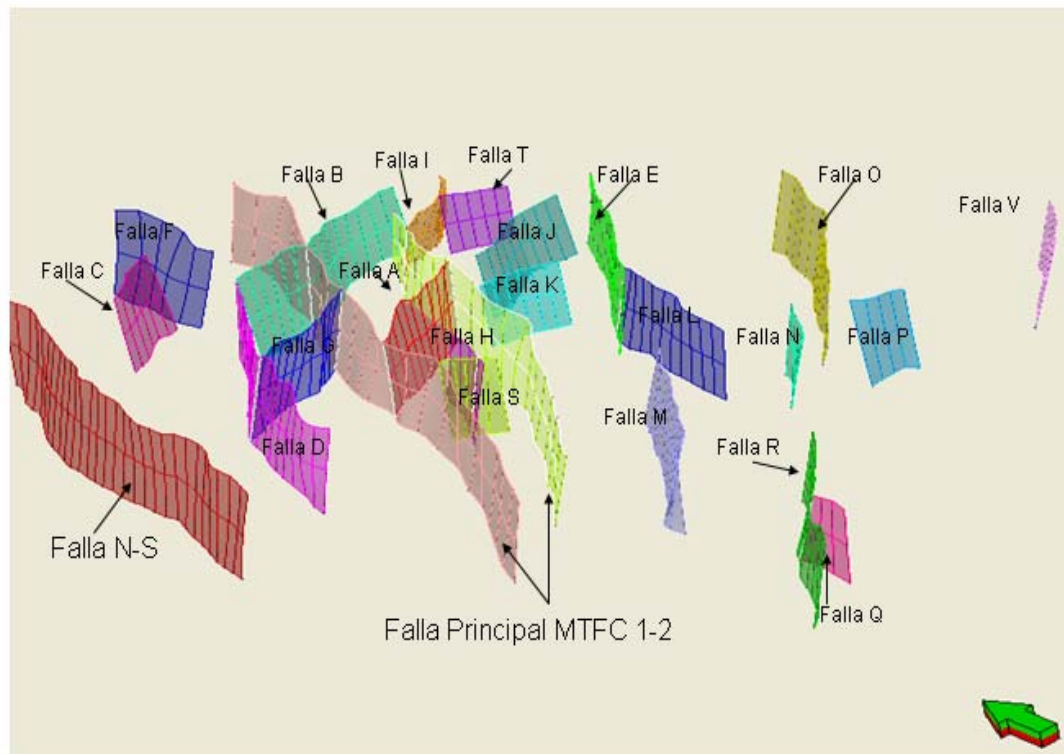


Figura 49. Conjunto de 25 fallas interpretadas del área

En base a las interpretaciones realizadas, partiendo de la extracción de los planos de fallas, se clasificaron los tipos de fallas. Estos tipos de fallas encontrados durante la visualización de la sísmica original son del tipo normal e inversa, donde se evidenció el movimiento de los bloques, del sistema de fallas normal dentro de un régimen extensivo y seguidamente también se evidencia los movimientos de los bloques, del sistema de falla inverso dentro de un régimen compresional. Este conjunto de fallas asociadas al marco tectónico resultó ser un total de 25 fallas, interpretadas a partir de “Inline y Crossline” del cubo sísmico 3D, para el cual se describen sus características geológicas en la siguiente tabla a continuación:

Tabla 2. Morfología y orientación de las fallas interpretadas

| <b>Fallas</b>          | <b>Tipo</b> | <b>Rumbo</b> | <b>Buzamiento</b> |
|------------------------|-------------|--------------|-------------------|
| Falla Principal MTFC 1 | Normal      | NNE-SSO      | SE                |
| Falla Principal MTFC 2 | Normal      | NNE-SSO      | SE                |
| Falla N-S              | Normal      | N-S          | E                 |
| Falla A                | Inversa     | NE-SO        | SE                |
| Falla B                | Inversa     | E-O          | S                 |
| Falla C                | Inversa     | NE-SO        | SE                |
| Falla D                | Normal      | NNE-SSO      | SE                |
| Falla E                | Normal      | NNE-SSO      | SE                |
| Falla F                | Normal      | NNE-SSO      | SE                |
| Falla G                | Inversa     | E-O          | S                 |
| Falla H                | Normal      | NNE-SSO      | SE                |
| Falla I                | Inversa     | NNE-SSO      | SE                |
| Falla J                | Inversa     | E-O          | S                 |
| Falla K                | Inversa     | NO-SE        | SO                |
| Falla L                | Normal      | NNE-SSO      | SE                |
| Falla M                | Normal      | NNE-SSO      | SE                |
| Falla N                | Normal      | NNE-SSO      | SE                |
| Falla O                | Normal      | NNE-SSO      | SE                |
| Falla P                | Inversa     | E-O          | S                 |
| Falla Q                | Normal      | NNE-SSO      | SE                |
| Falla R                | Normal      | NNE-SSO      | SE                |
| Falla S                | Inversa     | NO-SE        | SO                |
| Falla T                | Inversa     | NO-SE        | SO                |
| Falla U                | Normal      | NNE-SSO      | SE                |
| Falla V                | Normal      | NNE-SSO      | SE                |

La tabla además muestra un conjunto de fallas y sus orientaciones asociadas a los regímenes tectónicos que han cambiado en varias ocasiones y han sido evidenciados por la geología regional así como también por la sísmica original. Los movimientos de fallas de tipo normal, inverso y transcurrentes. El MTFC sigue siendo tectónicamente activo, a escala muy pequeña.

La figura 50 muestra una sección sísmica “Inline 3778” donde se identifican las fallas normales principales MTFC 1-2, la falla normal M y la falla inversa A. A partir de la línea sísmica 3D se observó en detalle el movimiento de los bloques para los distintos tipos de fallas.

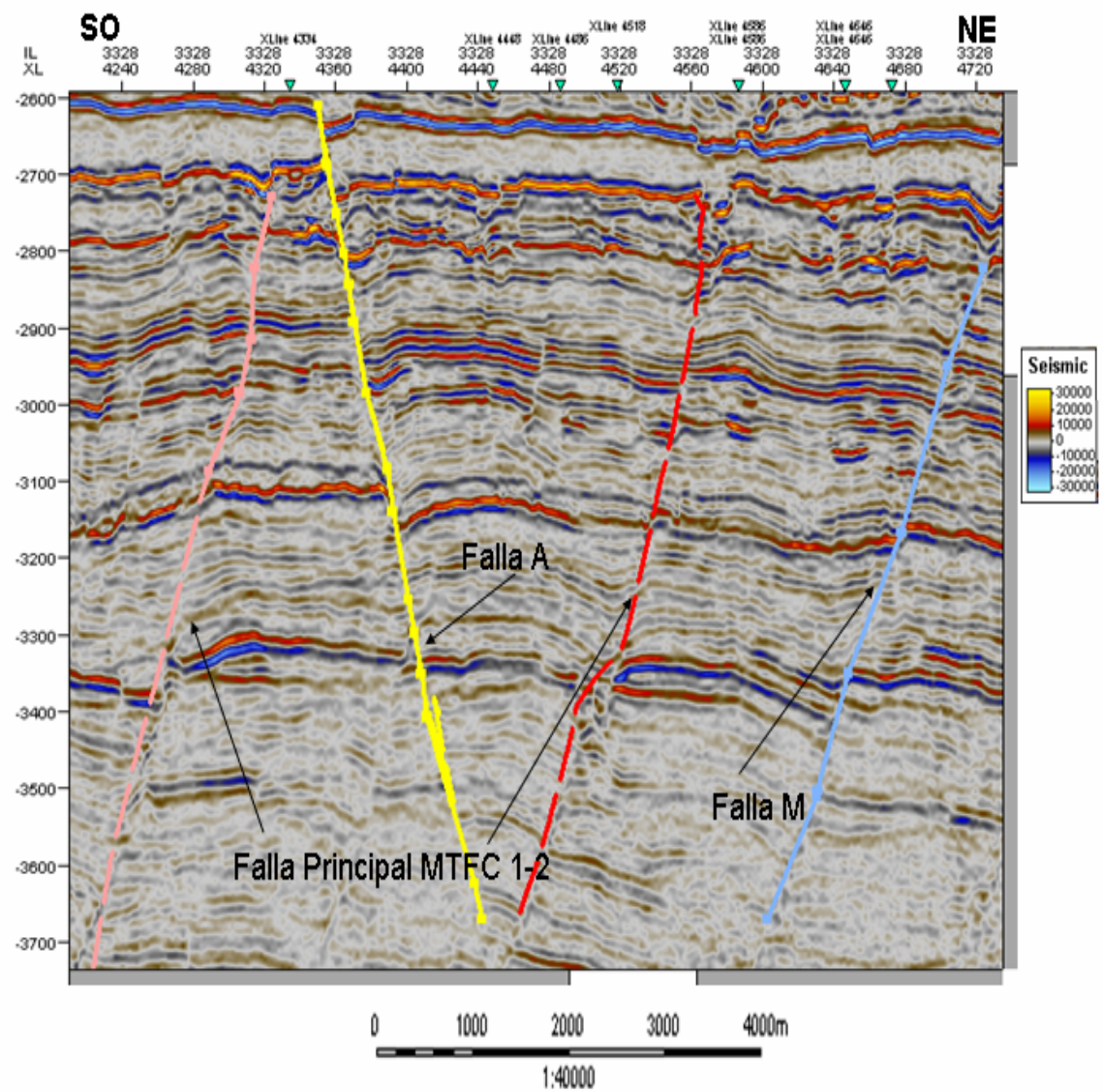


Figura 50. Sección sísmica “Inline 3778”

### 6.1.4 Interpretación de horizontes

Para la interpretación de los horizontes, como primer paso a seguir fue la identificación de los reflectores sísmicos de mayor continuidad lateral. Posteriormente se construyó el sismograma sintético y el amarre sísmico/pozo, garantizando la continuidad de los horizontes sísmicos a lo largo del área de estudio. Finalmente se procedió a realizar la interpretación cada 10 líneas en los “Inline y Crossline”, de los tres horizontes identificados por la sísmica, utilizando herramientas manuales y automáticas 3D.

El horizonte denominado “tope”, fue fácilmente identificado por presentar buena continuidad y fuertes amplitud de las reflexiones, características observadas en todas las secciones sísmicas interpretadas.

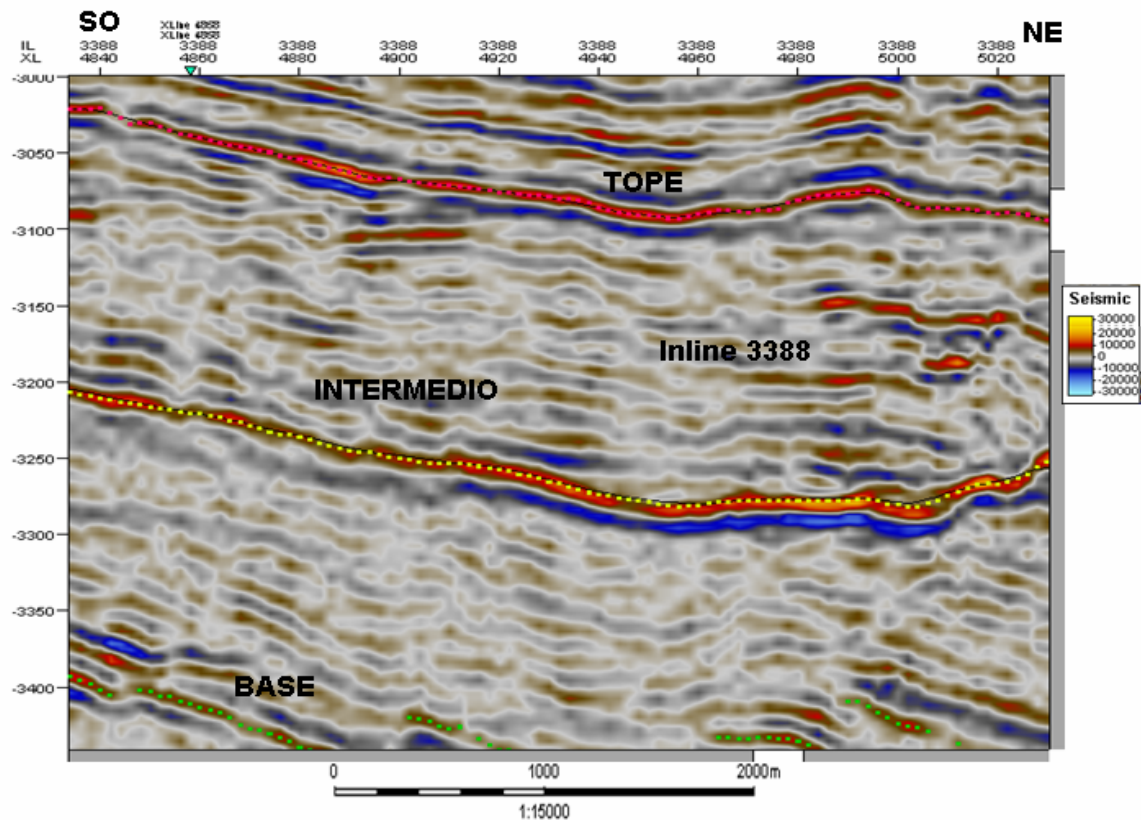


Figura 51. Interpretación de los horizontes tope, intermedio y base

El horizonte denominado “Intermedio”, presentó características de marcador de muy buena continuidad y fuerte amplitud. Este marcador fue identificado en el sismograma sintético y en el registro de densidad del pozo 6403\_10-1 a una profundidad aproximada de 2490 pies, en donde se evidenció una disminución importante en el valor de la densidad en el registro mostrado en la figura 52.

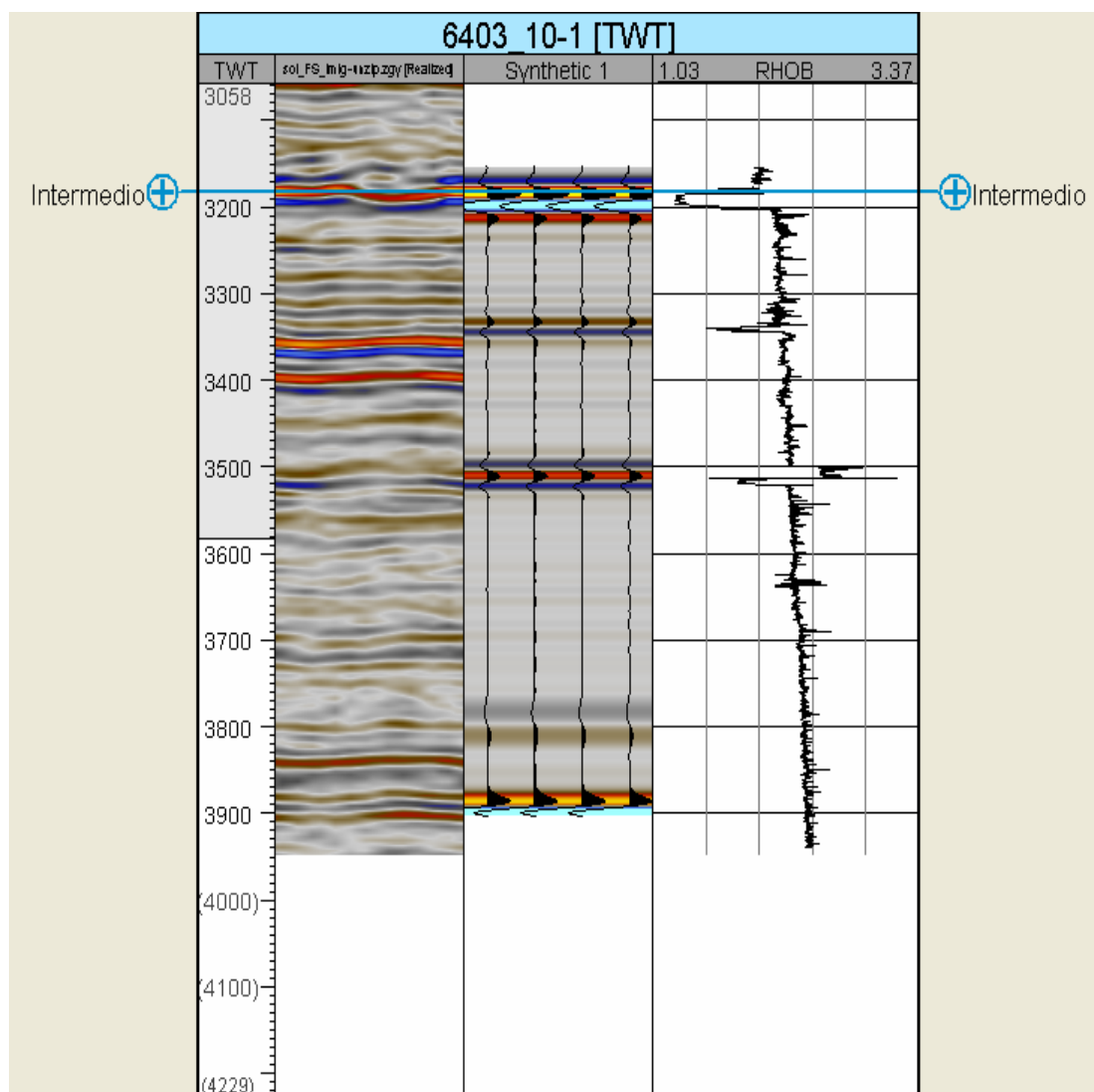


Figura 52. Sismograma sintético obtenido del pozo, amarre sísmica/pozo

El horizonte denominado “base”, no fue de fácil identificación por presentar pobre continuidad en los reflectores sísmicos y bajas amplitudes de las reflexiones, características que no se pudieron ser reconocidas en varias de las secciones sísmicas interpretadas.

A continuación se muestra la interpretación de los horizontes 3D y una sección sísmica (Inline 3778).

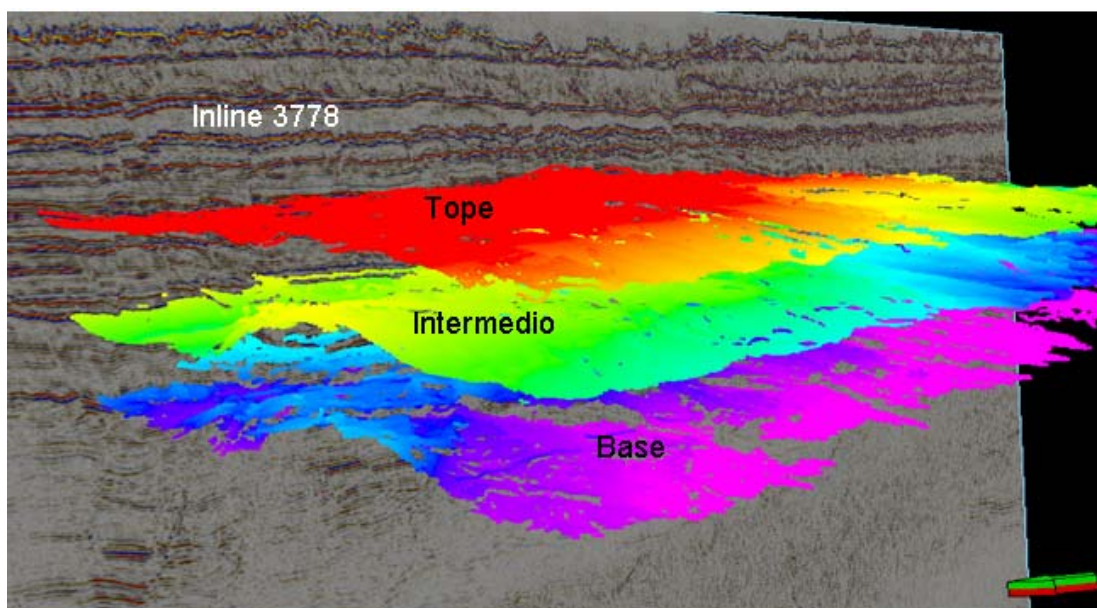


Figura 53. Interpretación de horizontes 3D

El control de calidad realizado para cada uno de los horizontes consistió en colocar los mismos junto a la sísmica original y con espaciamentos de cada 2 líneas en los “Inline y Crossline”, se observó que cada interpretación mostraba la dirección de buzamiento sobre la sísmica.

### **6.1.5 Mapa estructural en tiempo**

Se realizaron los mapas en tiempo correspondientes a los tres horizontes interpretados. Todos los mapas estructurales en tiempo presentados a continuación están enmarcados por las fallas que limitan el área de estudio. Este conjunto de fallas de tipo normal e inversas, interceptan en su mayoría todos los horizontes interpretados. En el apéndice 2 se muestran las fallas y sus intercepciones con los horizontes interpretados.

El mapa estructural en tiempo del horizonte “tope” (figura 54), presenta una estructural de tipo anticlinal de rumbo NE-SO y buzamiento SE obtenido de la interpretación del cubo sísmico para el horizonte denominado “tope”. Presenta su valor máximo en tiempo de -2790ms en la zona noroeste y hacia el sur alcanza un valor mínimo de -3280ms.

Estos mapas presentan el conjunto de fallas principales MTFC 1-2 normales, las fallas normales e inversas (regionales) y fallas locales. La orientación preferencial de las fallas principales es NE-SO las cuales limitan el área bajo estudio.

Los altos estructurales con cierres estructurales en los tres mapas, presentan una dirección hacia el ONO-ESE. La figura 54, el color rojo corresponde a los contornos estructurales de mayor valor, mientras que las curvas de color amarillo representan los contornos estructurales de menor valor.

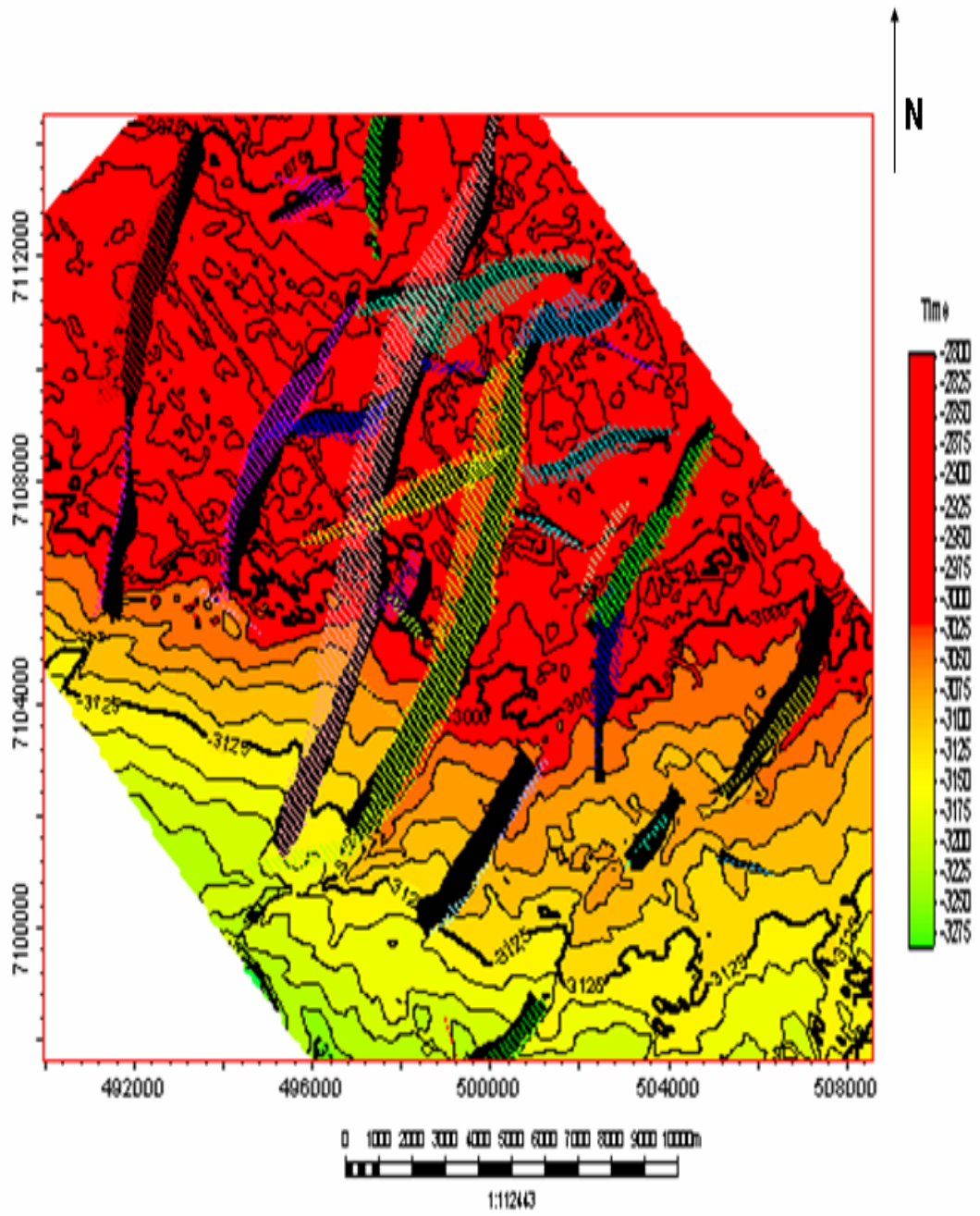


Figura 54. Mapa estructural en tiempo del horizonte denominado "tope"

El mapa estructural en tiempo del horizonte “intermedio” mostrado en la figura 55, presenta una estructural de tipo anticlinal de rumbo NE-SO y buzamiento SE obtenido de la interpretación del cubo sísmico para el horizonte denominado “intermedio”. Presenta su valor máximo en tiempo de -3010ms en la zona noroeste y hacia el sur alcanza un valor mínimo de -3540ms.

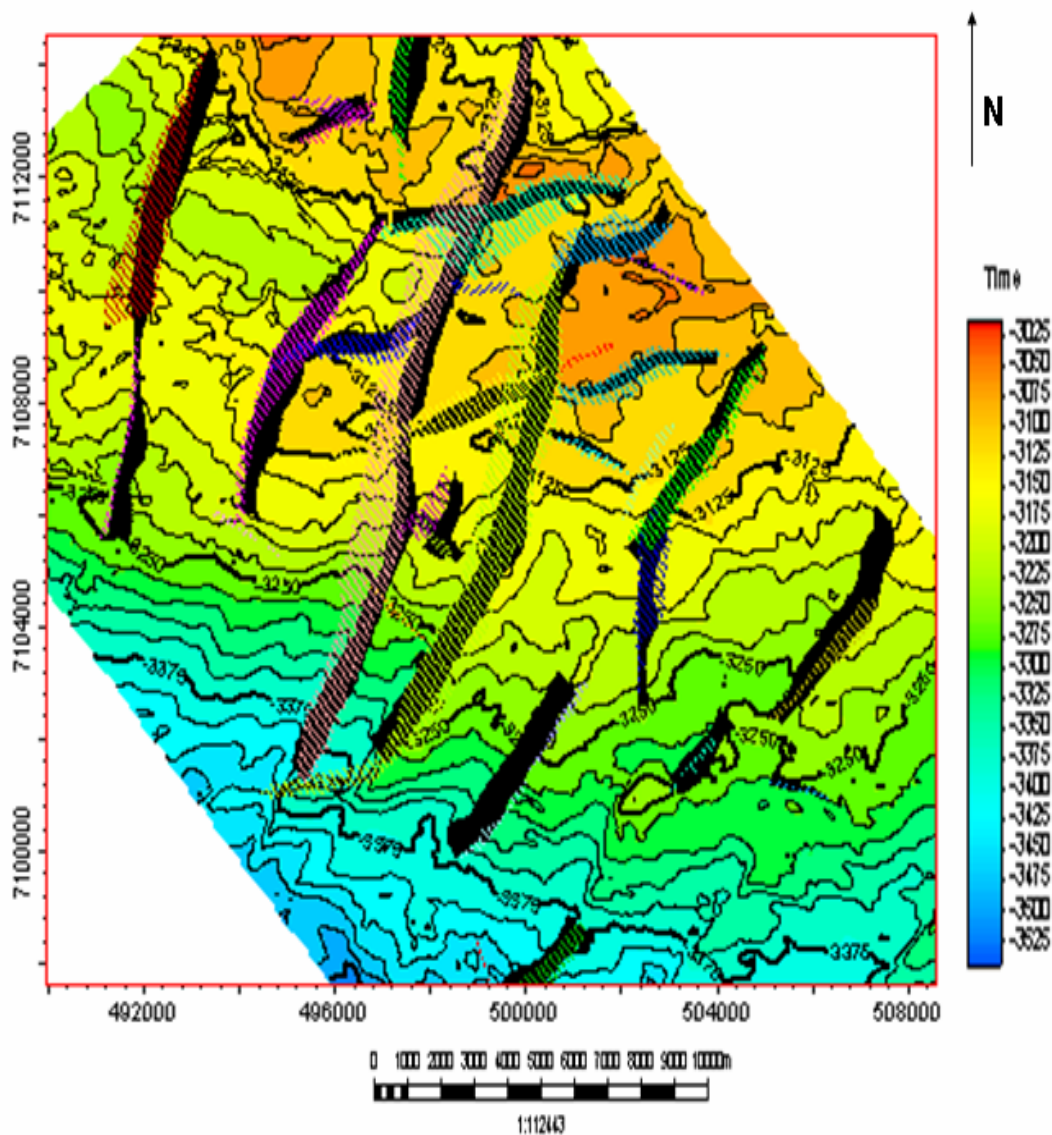


Figura 55. Mapa estructural en tiempo del horizonte denominado “intermedio”

El mapa estructural en tiempo del horizonte denominado “base” mostrado en la figura 56, presenta una estructural de tipo anticlinal de rumbo NE-SO y buzamiento SE obtenido de la interpretación del cubo sísmico para el horizonte denominado “base”, dada por lo interpretado para la base. Presenta su valor máximo en tiempo de -3190ms en la zona noroeste y hacia el sur alcanza un valor mínimo de -3760ms.

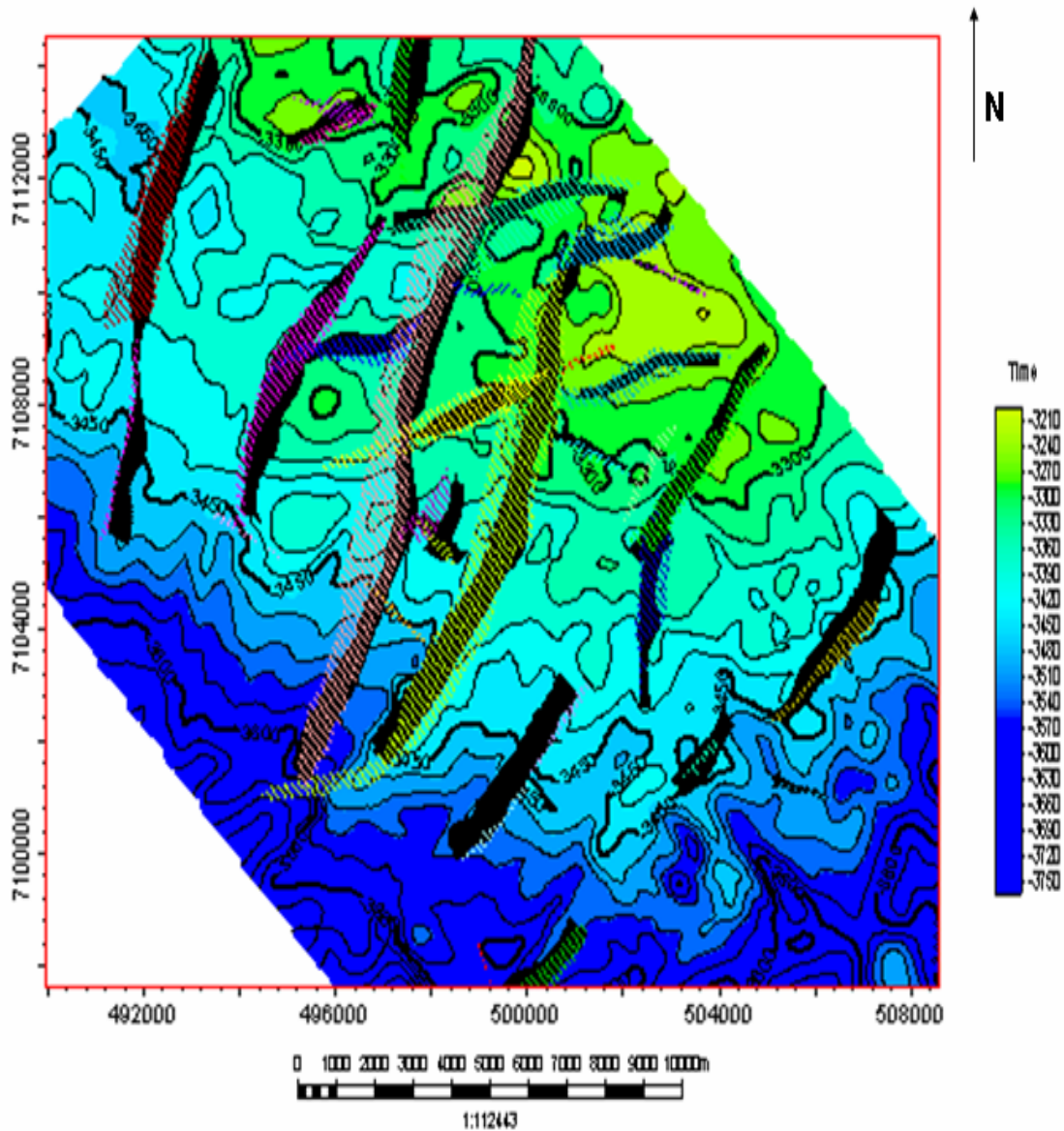


Figura 56. Mapa estructural en tiempo del horizonte denominado “base”

## 6.2 Módulo de Geología Petrel 2005

### 6.2.1 Modelo geológico estructural 3D

El modelo estático 3D fue construido utilizando la aplicación Petrel. Previamente a la construcción del modelo 3D, se generó los planos de fallas y se construyó el modelo de fallas.

La figura 57 muestra el modelo geológico-estructural 3D, en el cuál se cargó un total 25 fallas, interpretadas a partir del cubo sísmico 3D, en donde se definieron las fallas principales y secundarias del área. Se observa además las interpretaciones de los tres horizontes sísmicos.

Se observa el mallado de pilares generado para cada horizonte, donde cada mallado muestra celdas regulares sin deformaciones.

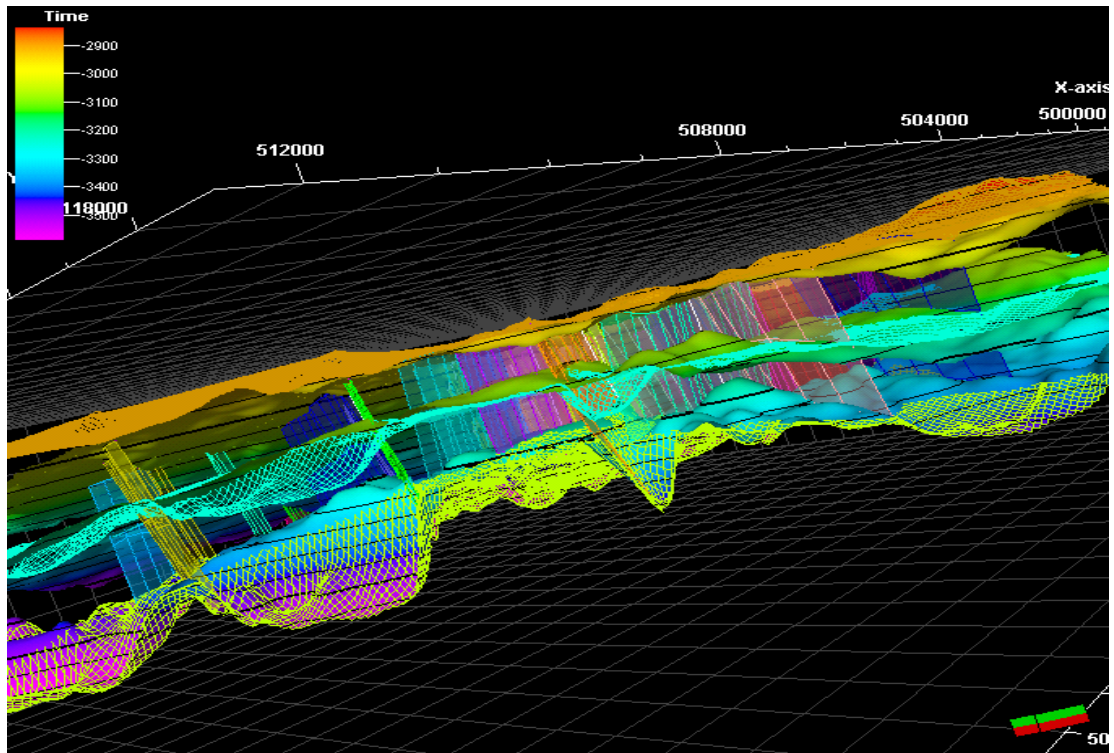


Figura 57. Modelo geológico-estructural 3D

### 6.2.2 Visualización del modelo geológico estructural 3D

La figura 58 muestra la visualización del modelo geológico-estructural 3D, así como también los horizontes interpretados, el conjunto de fallas y además el pozo 6403\_10-1 representado por el color rojo. Los colores azul y verde representan las diferentes zonas, divididas por el horizonte “intermedio”, representado por una línea continua de color negro.

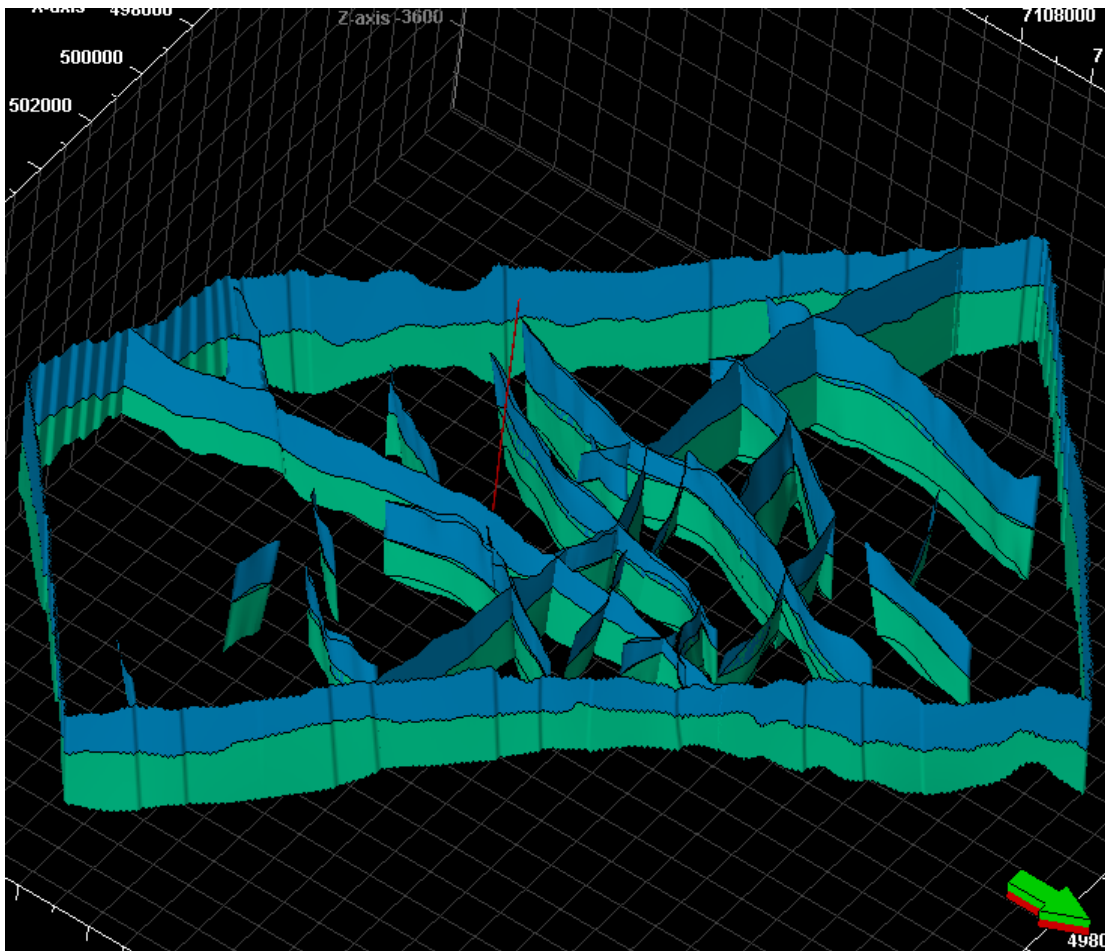


Figura 58. Visualización del modelo geológico-estructural 3D

## **6.3 Incertidumbre estructural**

### **6.3.1 Incertidumbre de horizontes**

La figura 59 muestra la incertidumbre asociada a los reflectores interpretados, el color rojo representa el horizonte “tope”, el color amarillo el horizonte “intermedio” y el color verde el horizonte “base”.

Se observa el punto de control graficado (pozo 6403\_10-1) atraviesa los horizontes “tope” y el “intermedio”. También se observa que para el horizonte “intermedio” por tener este datos de marcador geológico, amarre sísmica/pozo; todas las curvas representadas por los horizonte “intermedio” convergen en el mismo punto.

Se observan los saltos de las fallas, en cada unos de los reflectores. Para el horizonte “tope” el mayor salto es de 53 ms, para el horizonte “intermedio” el mayor salto es de 87 ms y para el horizonte “base” el mayor salto es de 119 ms.

Los valores máximos obtenidos entre la profundidad de separación de los reflectores interpretados y la superficie de error calculada fueron los siguientes: para el horizonte “tope” 38 pies, para el horizonte “intermedio” 49pies y para el horizonte “base” 37pies.

SO

NE

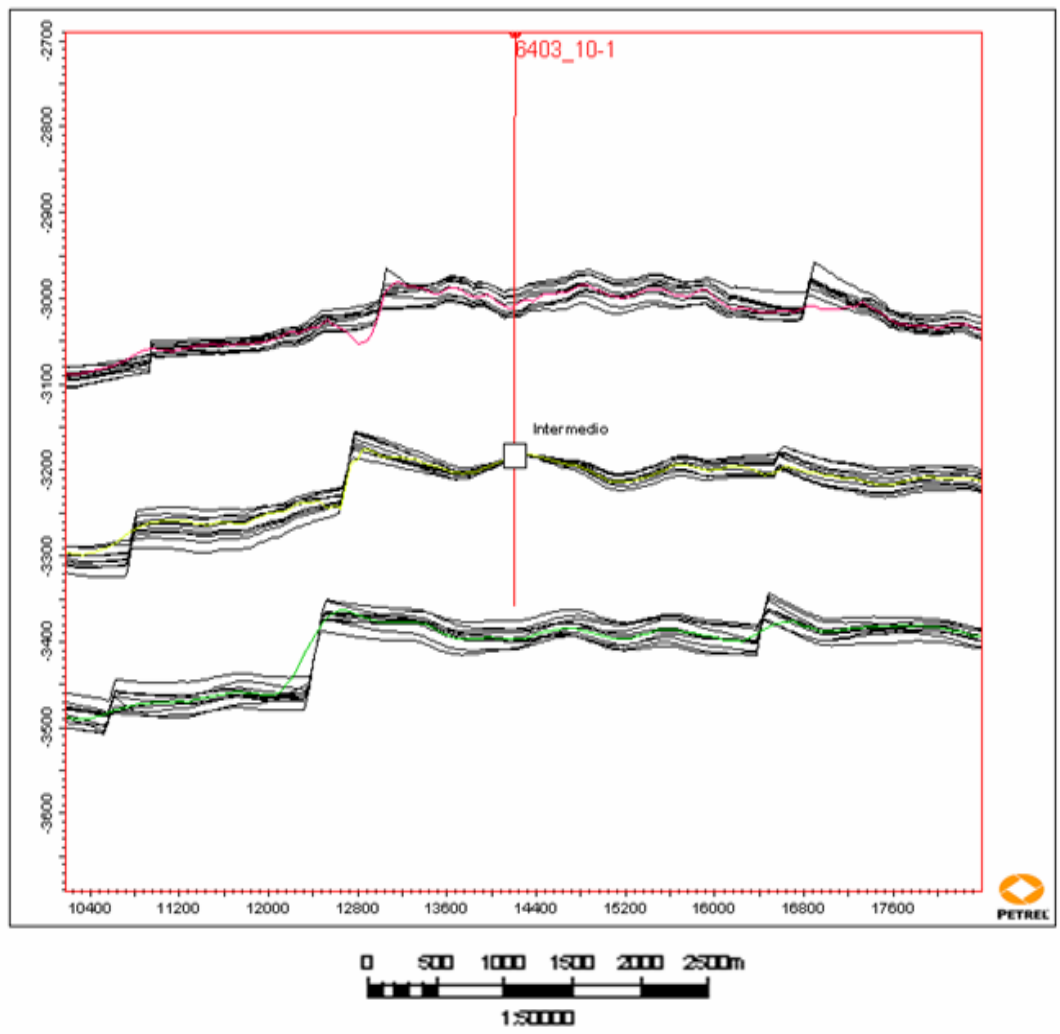


Figura 59. Incertidumbre de horizontes

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De conformidad con lo expuesto en los resultados, en la interpretación realizada se pueden concluir lo siguiente:

1. Esta nueva técnica de interpretación sísmica “Ant-Tracking” utilizada ha dado resultados muchos más confiables y en menor tiempo.
2. Los elementos estructurales interpretados representan un sistema complejo de fallas normales principales de orientaciones NE-SO y N-S. Esto corresponde con la literatura y da indicio de que la cuenca sufrió subsidencia tectónica y posteriormente una inversión reflejada por la presencia de domos terciarios.
3. La metodología de “Ant Tracking” se considera muy eficiente para la extracción de superficies de fallas a partir de volúmenes sísmicos. La selección de la extracción y su posterior edición esta sujeta a la geología estructural del área.
4. El conocimiento de la geología estructural del área es de vital importancia para la comprensión de los diferentes patrones de fallas existentes y las edades de las mismas, dado por los resultados obtenidos por la extracción de superficies de fallas 3D.
5. En los horizontes interpretados la estructura observada es un anticlinal de buzamiento SE, observando que los eventos más profundos tienen poca discontinuidad en los reflectores sísmicos.
6. El análisis de incertidumbre a partir de los horizontes interpretados. Para el horizonte denominado “intermedio”, el cual dispone de información geológica (marcador geológico), y amarre sísmica/pozo. Las curvas representadas de los horizontes, convergen en el mismo punto de control (pozo 6403\_10-1). Los valores

máximos de saltos de fallas obtenidos son: 55 ms para el horizonte denominado “tope”; 88 ms para el horizonte denominado “intermedio”, y 108 ms para el horizonte denominado “base”.

7. Los valores máximos obtenidos de separación para la profundidad entre los reflectores interpretados de las superficies de error calculado son: Para el horizonte denominado “tope” 16 pies, 34 pies para el horizonte denominado “intermedio”, y finalmente, 19 pies para el horizonte denominado “base”.

De conformidad con lo expuesto en los resultados, en la interpretación realizada se pueden hacer las siguientes recomendaciones:

1. Esta técnica de interpretación podría ser aplicada en futuros estudios, para la estimación de posibles trampas estructurales y estratigráficas de yacimientos marinos en Venezuela, siempre y cuando las condiciones de adquisición y de geología sean similares.
2. Obtener tiros de verificación sísmica (“check-shot”), registros sísmicos y de densidad en las futuras localizaciones para mejorar el proceso de amarre sísmica/pozo.
3. Con la finalidad de estimar la probabilidad para clasificar las pruebas realizadas de los horizontes en tiempo, es necesario hacer la conversión a profundidad, utilizando métodos de graficación de la distribución de frecuencia acumulada.
4. A futuro se recomienda la generación del modelo de facies y distribución de propiedades petrofísicas aplicando metodología estocástica para la estimación de posibles trampas de hidrocarburos.

5. Comparar la interpretación convencional (manual), con esta nueva técnica de interpretación sísmica.

## **Bibliografía y referencias citadas**

Bailey W, Couet B, Lamb F, Simpson G y Rose P. **Risk Measure**, Oilfield Review 12 (3) : 22-37

Blystad, P., H. Brekke, R. B. Faerseth, B. T. Larsen, J. Skogseid, and B. Torudbakken (1995), **Structural elements of the Norwegian continental shelf: Part II** Norwegian Petroleum Directorate Bulletin, v. 8, 45 p.

Brekke, H., y Riis, F. (1987), **Tectonics and basin evolution of the Norwegian shelf between** Norsk Geologisk Tidsskrift, v.67, 295p.

Brown, A. (1996). **AAPG Memoir 42. Interpretation of three-dimensional seismic data**". Fourth edition, Tulsa-Oklahoma: American Association of Petroleum Geologists. 424 p.

Coopersmith E, Dean G, McVean J y Storaune E. (2001) **La toma de decisiones en la industria del petróleo y el gas** Oilfield Review 12 (4): 2-9.

Chen, Q. and S. Sydney (1997). **Advances in Seismic Attribute Technology**. 67<sup>th</sup> Ann. Internat. Mtg. SEG, Expanded Abstracts: INT 7.5

Fugelli M.G. and Tina R. Olsen (2005) **Screening for deep-marine reservoirs in frontier basins: Part 1 – Examples from offshore mid-Norway** AAPG Bulletin 89 (7): 853-882.

Fugelli M.G. and Tina R. Olsen (2005) **Screening for deep-marine reservoirs in frontier basins: Part 2 – Examples from offshore mid-Norway** AAPG Bulletin 89 (7): 883-896.

Gabrielsen, R., Odiasen, T., and Grunnaleite, I. (1999). **Structuring of the northern Viking Graben and the Moere Basin; the influence of basement structural grain, and the particular role of the Moere-Trondelang Fault Complex** Marine and Petroleum Geology v.16, 443p.

Martínez, A. (2000). **Cronología del petróleo venezolano**. Octava Edición. Fondo Editorial del CIED.

Sheriff, R. (1994). **Encyclopedic dictionary of exploration geophysics**. 3rd ed. Tulsa, Okla.: Society of Exploration Geophysicists. 376 p.

Schlumberger Oilfield Services (2004). **Petrel Introduction course**. Caracas: Schlumberger Oilfield Services. 216 p.

Yoris F. y M. Ostos (1997) **Petroleum Geology of Venezuela**, Schlumberger Surencó C.A., Caracas-Venezuela, páginas 1:4

Fucugauchi. Jaime Urrutia. **El atributo sísmico Heterogeneidad-Fuerza de Reflexión** <http://www.invdes.com.mx/anteriores/Abril2001/htm/petro.html> [consulta: 2005, noviembre 4]

Latimer R. **Uses, abuses, and examples of seismic-derived acoustic impedance data: What does the interpreter need to know?**

<http://www.seg.org/services/ce/dl/fall2005/latimerabstract.shtml> [Consulta: 2005, Octubre 27]

Thyberg, B., Jordá, H., Bjorlykke, K., & Faleide, J. I., (2000) **Relationship between sequence stratigraphy, mineralogic and geochemistry in Cenozoic sediments of the northern North Sea** Dynamics of the Norwegian Margin. Geol. Soc. Spec. Public., (167) : 245-272.

**Solsikke drilling delayed due to strike.**

[http://www.hydro.com/en/press\\_room/news/archive/2002\\_08/solsikke\\_en.html](http://www.hydro.com/en/press_room/news/archive/2002_08/solsikke_en.html)

[Consulta: 2006, Febrero 22] Campo solsikke.

**Map and Image Results** [http://www.rigzone.com/news/image\\_results.asp?r\\_id=2](http://www.rigzone.com/news/image_results.asp?r_id=2)

[Consulta: 2006, Marzo 01] Mapa Noruega.

**Comprensión de la Incertidumbre**

[http://www.slb.com/media/services/resources/oilfieldreview/spanish02/win02/p2\\_17.pdf](http://www.slb.com/media/services/resources/oilfieldreview/spanish02/win02/p2_17.pdf) [Consulta: 2006, Marzo 01]

**Norgewian Petroleum Directorate**

<http://www.npd.no/engelsk/cwi/pbl/en/well/all/4109.htm> [Consulta: 2006, Marzo 12]

### **Upper Cretaceous Plays - Norwegian Sea**

[http://www.npd.no/English/Emner/Ressursforvaltning/Undersokelse\\_og\\_leting/letemodeller/NH-upper-cretaceous.htm](http://www.npd.no/English/Emner/Ressursforvaltning/Undersokelse_og_leting/letemodeller/NH-upper-cretaceous.htm) [Consulta: 2006, Marzo 15]

### **Geodynamic modeling of the tertiary development of the Faroes-Shetland Basin:**

**A failed continental breakup basin?** <http://www.ingv.it/erice2005/PDF/fletcher.pdf>

[Consulta: 2006, Marzo 24]

### **Landmark Structural Atributte**

<http://www.lgc.com/landmark/integrated+solutions/geophysicaltechnologies/poststackfamily/features.htm> [Consulta: 2006, Abril 5]

## **Apéndice 1**

### **Descripción del software Petrel 2005**

Petrel es un software para Windows-PC que permite solucionar todos los desafíos de superficies por medio de la integración de las diferentes disciplinas de la geociencia. Petrel elimina los problemas de comunicación que existen entre diversos paquetes de software y las disciplinas técnicas asociadas. Todos los procesos de trabajos en Petrel contribuyen a desarrollar y a refinar el modelo volumétrico de la tierra, estático a dinámico. Ahora se puede integrar fácilmente los nuevos datos, poniendo al día rápidamente modelos de la Tierra y bajando su riesgo total de Exploración y Producción.

### **Modulo Geofísica Petrel 2005**

El programa Petrel provee las herramientas para ejecutar todas las tareas de interpretación sísmica tradicionales que forman parte de las secuencias de tareas de análisis del subsuelo 2D/3D/4D. Sin salir jamás de la sencilla interfaz de la aplicación, el geofísico puede interpretar horizontes y fallas, generar sismogramas sintéticos, analizar y corregir desajustes entre líneas 2D, realizar conversiones de tiempo a profundidad, crear mapas y recolectar la información requerida para brindar soporte a la perforación de los siguientes pozos propuestos. Totalmente integrados con las herramientas de geología e ingeniería de yacimientos, las interpretaciones sísmicas y los modelos estructurales pueden someterse a simples conversiones de dominio, para combinarse con los datos expresados en escala de profundidad. El programa Petrel provee una serie de atributos sísmicos que, combinados con las herramientas de análisis de datos y creación de gráficas de interrelación, ayudan a los equipos a cargo

de los activos de las compañías operadoras a comprender cómo estos atributos se relacionan con las propiedades de los yacimientos.

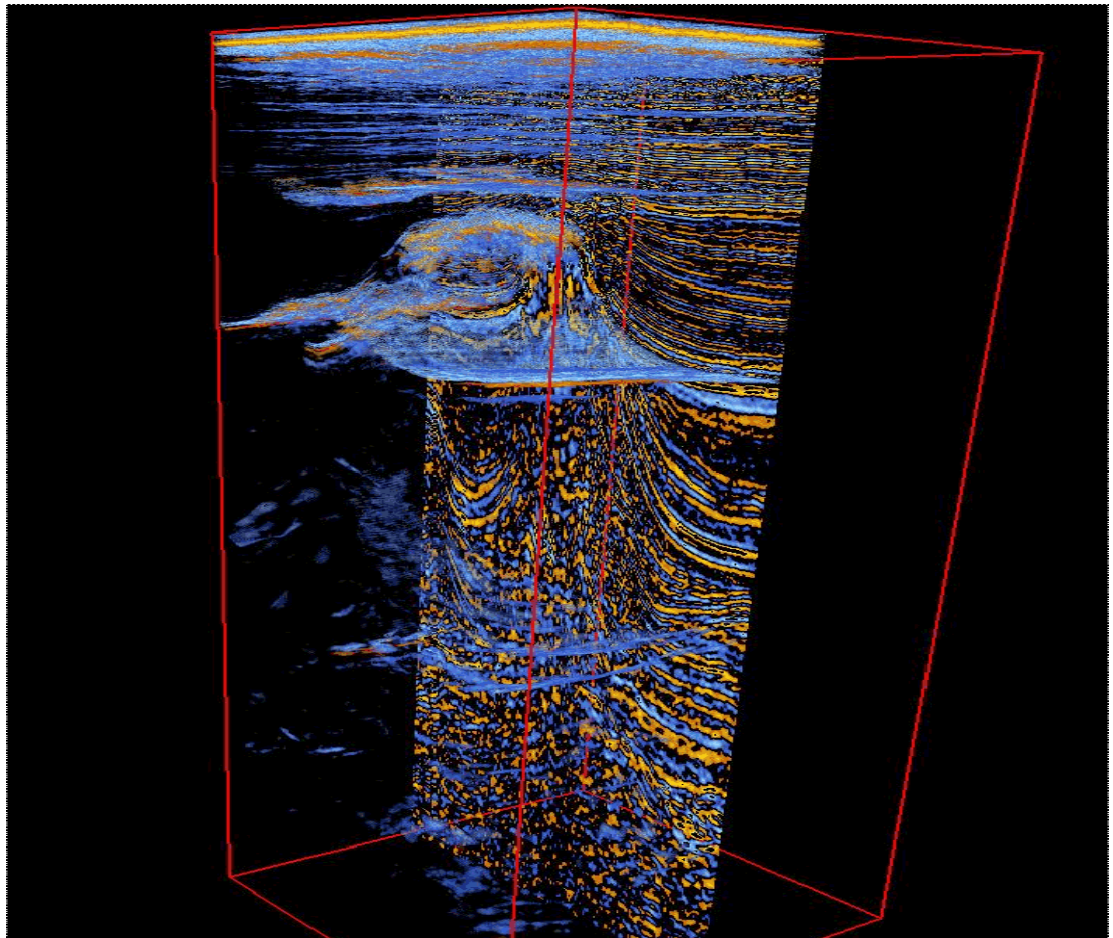


Figura 1. Visualización de la sísmica en Petrel

### **Modulo Geología Petrel 2005**

El modulo Petrel ofrece una gama completa de herramientas para el geólogo que incluyen el tradicional picado de marcadores, la correlación de pozos, las aplicaciones de mapeo y graficación, además del modelado geocelular 3D. Las capacidades geológicas del programa Petrel, fácilmente unificadas con las

herramientas de geofísica e ingeniería de yacimientos, posibilitan una descripción estática precisa de los yacimientos para el estudio integrado. Además constituye la solución ideal para los geólogos que desean ocupar su tiempo en cuestiones geológicas, en lugar de resolviendo problemas computacionales. Las visualizaciones vinculadas entre sí y las capacidades de actualización automática, ayudan a evaluar y comprender el subsuelo en forma efectiva. (Petrel, 2004)

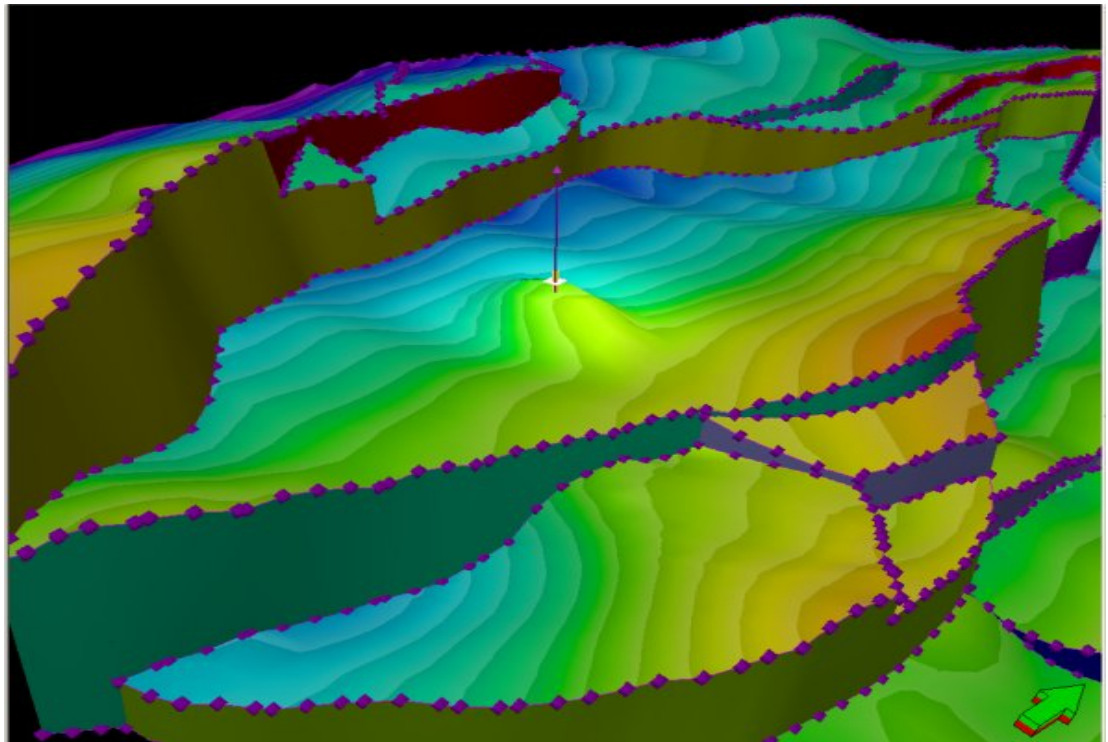


Figura 2. Edición del modelo estructural 3D en Petrel

### **Interpretación Estructural Automatizada Petrel 2005**

La precisión de la interpretación estructural es crucial a lo largo de todo el ciclo de exploración y producción (E&P). La compartimentalización por fallas es fundamental para efectuar pronósticos de producción de los yacimientos y planear la perforación de pozos.

Durante muchos años ha sido posible interpretar las reflexiones de los horizontes espacialmente; sin embargo, la interpretación de las fallas siempre fue más subjetiva.

El módulo estructural automatizado Petrel utiliza un algoritmo avanzado “Ant Tracking” acelera significativamente el ejercicio de interpretación de fallas. Esta técnica permite generar un volumen 3D que presenta una delineación superior de las fallas y se utiliza para extraer automáticamente las superficies de fallas mediante la utilización de algoritmos de búsqueda inteligentes, visualizaciones 3D y herramientas de análisis de datos. Además, permite que los intérpretes empleen su tiempo en comprender tendencias de fallas y fracturas, y efectúen correlaciones de porciones de fallas extraídas en forma automática, en lugar de crear superficies de fallas individualmente. La velocidad de precisión de la interpretación combinada de horizontes y fallas reducirá el tiempo de ciclo, la incertidumbre y el riesgo del proyecto.

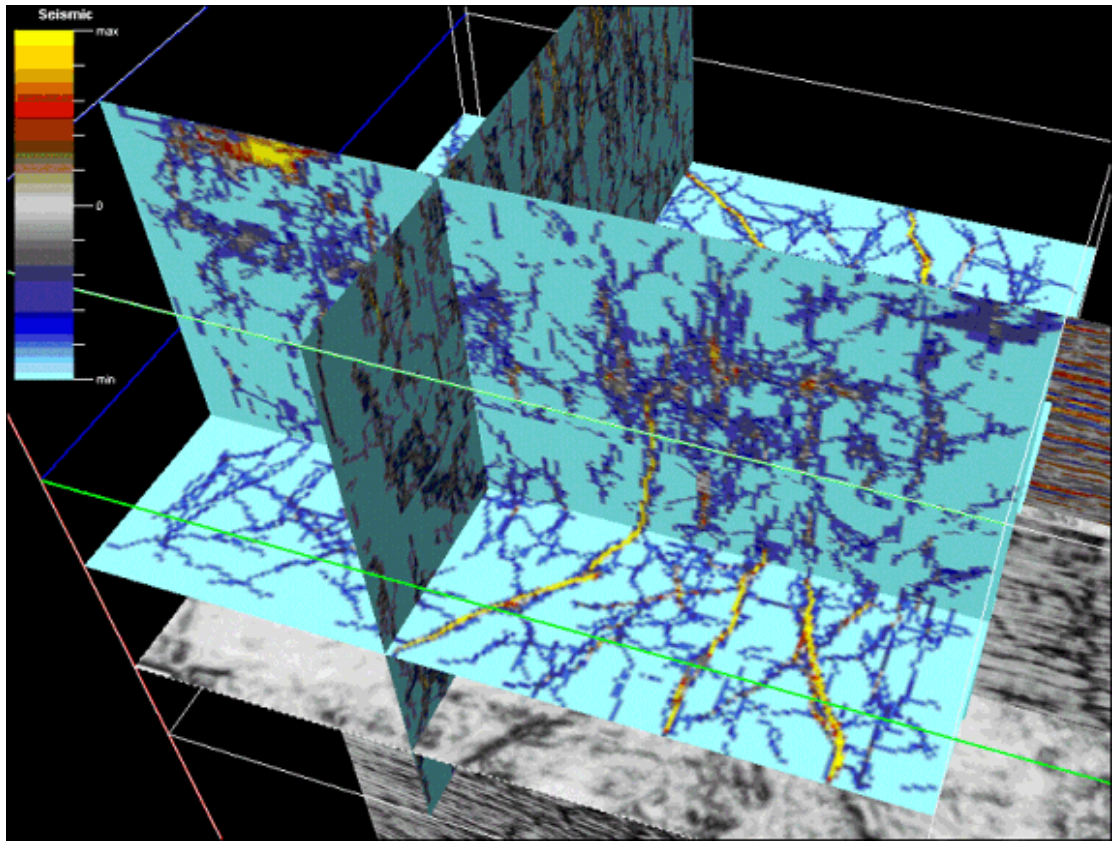


Figura 3. “Ant Tracking” de Petrel

### **Ventajas del Software.**

Todas las herramientas de la interpretación sísmica a la simulación se integran en un uso. Las altas capacidades de la visualización le dan control de calidad (QC) inmediato de todos los datos en 3D. Los modelos pueden ser puestos al día inmediatamente cuando llegan los nuevos datos, para tomar decisiones más rápidas y más confiables. Todos los resultados se pueden copiar y pegar a cualquier uso de Windows que los hace rápidos y fáciles de divulgar y presentar los resultados. Integración de todas las actividades de sísmica a la simulación incluyendo la interpretación geofísica y geológica.

Visualiza, evalúa, traza y asiste a todos los datos encontrados en un proyecto de Petrel. El usuario proporciona el acceso fácil para ver bien la interpretación del depósito y los resultados de la simulación. El usuario proporciona el acceso a todos los artículos de datos de Petrel encontrados en un proyecto. La alternativa del bajo costo para las interpretaciones de Petrel de la visión y los resultados de la simulación proporciona la capacidad de visualizar resultados de la simulación recíprocamente en 2D, 3D. Se diseña para el usuario de la interpretación y simulación del yacimiento. Proporciona una solución ideal de colaboración entre el ingeniero que perfora y el ingeniero de yacimiento.

El módulo sísmico de la interpretación combina la simplicidad de interpretar en 2D con las ventajas de controles de calidad (QC) que solamente el modelado 3D puede traer. Ventajas únicas del trabajo en un ambiente que modela, mientras que interpreta rápidamente datos sísmicos y compara los resultados con el resto de los datos que residen en su proyecto.

## **Apéndice 2 Intercepciones de las fallas con respecto a los horizontes**

| <b>Fallas</b>          | <b>QC Fault</b> | <b>QC Horizon</b> | <b>Interseccio TOP</b> | <b>Interseccio INT</b> | <b>Interseccio BASE</b> |
|------------------------|-----------------|-------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| Falla Principal MTFC 1 | OK              | OK                | YES                    | YES                    | YES                     |
| Falla Principal MTFC 2 | OK              | OK                | YES                    | YES                    | YES                     |
| Falla N_S              | OK              | OK                | NO                     | YES                    | YES                     |
| Falla A                | OK              | OK                | YES                    | YES                    | YES                     |
| Falla B                | OK              | OK                | NO                     | YES                    | YES                     |
| Falla C                | OK              | OK                | NO                     | YES                    | YES                     |
| Falla D                | OK              | OK                | YES                    | YES                    | YES                     |
| Falla E                | OK              | OK                | YES                    | YES                    | YES                     |
| Falla F                | OK              | OK                | NO                     | YES                    | YES                     |
| Falla G                | OK              | OK                | YES                    | YES                    | NO                      |
| Falla H                | OK              | OK                | NO                     | NO                     | YES                     |
| Falla I                | OK              | OK                | YES                    | YES                    | YES                     |
| Falla J                | OK              | OK                | YES                    | YES                    | YES                     |
| Falla K                | OK              | OK                | NO                     | YES                    | YES                     |

|         |    |    |     |     |     |
|---------|----|----|-----|-----|-----|
| Falla L | OK | OK | YES | YES | YES |
| Falla M | OK | OK | YES | NO  | NO  |
| Falla N | OK | OK | NO  | YES | NO  |
| Falla O | OK | OK | YES | YES | NO  |
| Falla P | OK | OK | NO  | YES | NO  |
| Falla Q | OK | OK | YES | YES | NO  |
| Falla R | OK | OK | NO  | YES | NO  |
| Falla S | OK | OK | NO  | YES | YES |
| Falla T | OK | OK | YES | YES | YES |
| Falla U | OK | OK | NO  | YES | YES |
| Falla V | OK | OK | YES | YES | YES |