

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE ADQUISICIÓN SÍSMICA 3D POR MEDIO DEL MODELADO DE TRAZADO DE RAYOS.

Trabajo especial de grado
Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela para optar al
título de Ingeniero Geofísico
Por el Br.
Juan Francisco Piret Díaz.

Caracas Enero 2005.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE ADQUISICIÓN SÍSMICA 3D POR MEDIO DEL MODELADO DE TRAZADO DE RAYOS.

Tutor Académico: Prof. Raúl Torres
Tutor Industrial: Ing. Hugo Cerquone.

Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela para
optar al título de Ingeniero Geofísico
Por él Br.
Juan Francisco Piret Díaz.

Caracas Enero 2005.

Caracas 15 de marzo del 2005.

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Geofísica, para evaluar el Trabajo especial de Grado presentado por el Bachiller Juan F. Piret D.

**"OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE ADQUISICIÓN SÍSMICA 3D POR
MEDIO DEL MODELADO DE TRAZADO DE RAYOS"**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducentes al Título de Ingeniero Geofísico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaramos APROBADO.

Prof. José Cavada

Jurado

Prof. Juan Infantes

Jurado

Prof. Raúl Torres

Jurado y Tutor Académico

AGRADECIMIENTO

Me Encuentro extremadamente contento por el alto número de personas que colaboraron con migo, es seguro que no podré mencionarlos a todos y quiero pedirles disculpas de antemano, pero cada uno tiene mi más sincera gratitud.

Pienso que nadie podría agradecer lo suficiente a sus padres. La constancia y el estímulo continuos son solamente unos de los regalos más maravillosos que recibí de la mía. No menos importante mi hermana Mary. Sin su presencia y brillo no habría podido producir el mínimo de los sacrificios que han conducido a este trabajo.

El trabajo especial de grado no habría sido posible sin la ayuda y las contribuciones de los ingenieros: Cornelio Urbina, Hugo Cerquone, Pedro León Carlos Cheremos y el resto del personal de Exploración de PDVSA División Oriente que me concedió el acceso a sus instalaciones y amablemente me dieron toda la ayuda que necesite.

A la Gran Tenaza.

Por ultimo agradezco a todas aquellas personas que no creyeron en mi, las cuales me hicieron fuerte para demostrarles lo contrario.

Piret D. Juan F.

OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE ADQUISICIÓN SÍSMICA 3D POR MEDIO DEL MODELADO DE TRAZADO DE RAYOS.

Tutor Académico: Prof. Raúl Torres, Tutor Industrial: Ing. Hugo Cerquone.
Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y
Geofísica. 2005, n° paginas 129.

Palabras Claves: Diseño, Adquisición Sísmica, Modelado, Trazado de Rayos y Procesamiento.

Resumen: Los levantamientos sísmicos en tres dimensiones (**3-D**) es la herramienta más usada en la exploración de hidrocarburos. Los costos de la adquisición sísmica son controlados por la cantidad de fuentes y receptores en la unidad básica de grabación en un estudio 3-D (*patch*).

En el presente trabajo se propone la optimización del diseño de adquisición sísmica por medio del modelado por trazado de rayos, el cual permite analizar distintos casos en función de una planificación para la adquisición en un área de interés, con el objetivo de definir el *patch* y la geometría de adquisición que mejor ilumine el objetivo geológico. Con esto se logra optimizar los costos operacionales del levantamiento y asegurar el éxito del mismo.

Con el objetivo de calificar la calidad de iluminación a obtener en los horizontes de interés, se utilizó el diseñador de levantamientos sísmicos MESA, que permitió realizar los análisis convencionales de las geometrías de adquisición sísmica, para realizar los diagnósticos por trazado de rayos y generar los archivos SGY se utilizó el programa de trazado de rayos MESA GRIP y por último para el procesamiento de los datos se utilizó el programa FOCUS.

El modelado sísmico permite predecir las reflexiones generadas a partir de ciertos modelos geológicos y de su comparación con datos de la sísmica real se determina si este modelo propuesto es compatible con la realidad. Dicha comparación se facilitaría si poseemos los resultados de la simulación en el mismo formato en que se entregan los datos reales después del procesamiento de los datos sísmicos. Con esta idea se realizaron diversas simulaciones en tres dimensiones con un modelo geológico para luego aplicar un procesamiento simple que no removiera el ruido y los múltiples.

A partir de la metodología obtenida de estas simulaciones se pudo realizar otra simulación, pero esta vez con un modelo geológico complejo y comparar distintos cortes en dirección en el sentido de las líneas fuentes (*crossline*) y en el sentido de las líneas receptoras (*inline*) de los resultados obtenidos del procesamiento y el modelo geológico complejo utilizado para la simulación. De esta manera se obtiene un método más tangible que permite seleccionar una geometría de adquisición propuesta al poder seguir el objetivo en el área de interés.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN	v
LISTA DE TABLAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II	3
EL PROBLEMA	3
2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
2.2 OBJETIVOS GENERALES	5
2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
CAPÍTULO III	6
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	6
3.1 INTRODUCCIÓN	6
3.2 TÉRMINOS BÁSICOS	6
3.2.1 Acimut	6
3.2.2 Aliasing espacial y temporal	7
3.2.3 Apertura de migración	7
3.2.4 Apilamiento	7
3.2.5 Bin	7
3.2.6 Caja (box)	8
3.2.7 Cobertura (Fold)	8
3.2.8 Diagrama de rosa	8
3.2.9 Distribución de acimut	8
3.2.10 Distribución de offsets	9
3.2.11 El formato de Seg-y	9
3.2.12 Estructura Compleja	9
3.2.13 Estudio Sísmico	9
3.2.14 Histograma de offset	9
3.2.15 Líneas de Fuentes	10

3.2.16 Líneas de Receptores	10
3.2.17 Migración	10
3.2.18 Objetivo principal	10
3.2.19 Offset máximo (X_{max})	11
3.2.20 Offset mínimo (X_{min})	11
3.2.21 Patch	11
3.2.22 Perfiles Sísmicos Verticales (VSP)	12
3.2.23 Punto medio (Midpoint)	12
3.2.24 Punto medio común (Common midpoint o CMP)	12
3.2.25 Puntos fuentes	13
3.2.26 Puntos receptores	13
3.2.27 Relación señal ruido (S/N)	13
3.2.28 Shot gather	13
3.2.29 Subsuelo	14
3.2.30 Trazas sísmica (Traces)	14
3.2.31 Variaciones de la amplitud con el offset (AVO)	14
3.3 CÁLCULOS DE LOS PARÁMETROS EN UN ESTUDIO DE	
ADQUISICIÓN SÍSMICA 3-D	14
3.3.1 Cálculo de la cobertura	14
3.3.2 Cobertura Inline	17
3.3.3 Cobertura Crossline	17
3.3.4 Cobertura Total	18
3.4 DISEÑOS DE GEOMETRÍAS SOBRE EL PUNTO MEDIO EN COMÚN	
(CMP) EN SÍSMICA 3-D TERRESTRE	20
3.4.1 Geometría línea recta	21
3.4.2 Geometría Swath	21
3.4.3 Geometría Pared de Ladrillos	21
3.4.4 Geometría Patrón de botón (Button Patch)	22
3.4.5 No ortogonal (Diagonal)	22
3.4.6 Geometría Zig-zag	23
3.5 FACTORES A TOMAR EN CONSIDERACIÓN EN EL DISEÑO DE UN	

ESTUDIO SÍSMICO 3-D	23
3.5.1 Factores Geofísicos	23
3.5.1.1 Cobertura adecuada	23
3.5.1.2 Frecuencia de la señal en el objetivo	24
3.5.1.3 Resolución	24
3.5.1.4 Apertura de migración	24
3.5.1.5 Geometría espacial de la grabación	25
3.5.1.6 Multiplicidad de trayectorias de rayo	25
3.5.1.7 Offset adecuado (máximo y mínimo)	26
3.5.1.8 Factores físicos	26
3.5.2 Factores a tomar en consideración debido al procesamiento de los datos	27
3.5.2.1 Remoción del ruido (huellas de adquisición, múltiples)	27
3.5.3 Factores a tomar en consideración debido al costo del proyecto	27
3.6 TRAZADO DE RAYOS SÍSMICO	27
3.7 PROCESAMIENTO DE DATOS	29
3.7.1 Introducción	29
3.7.2 Etapas en el procesamiento de datos sísmicos	29
3.7.3 Procesamiento	29
3.7.4 Deconvolución	30
3.7.5 Ordenamiento de las trazas	31
3.7.6 Corrección NMO	31
3.7.7 Apilamiento	31
3.7.8 Análisis espectral y filtro	32
3.7.9 Migración	32
3.7.10 Resultado	32
CAPÍTULO IV	33
METODOLOGÍA	33
4.1 DISEÑO DE LA GEOMETRÍA DE ADQUISICIÓN SÍSMICA 3-D	33
4.1.1 Parámetros físicos	33
4.1.1.1 Tamaño del bin	33

4.1.1.2 Longitud de las líneas	33
4.1.1.3 Numero de elementos por línea	34
4.1.2 Cobertura	34
4.1.2.1 Cobertura Inline	34
4..12.2 Cobertura Crossline	35
4.2 SELECCIÓN DE LAS GEOMETRÍAS 3-D	35
4.3 ANÁLISIS DE ATRIBUTOS	37
4.4 ESTUDIO DE MÚLTIPLES Y HUELLAS DE ADQUISICIÓN	38
4.5 ELABORACIÓN DE LOS ARCHIVOS DE EXPORTACIÓN DE LA GEOMETRÍA	38
4.6 MODELADO 3-D POR TRAZADO DE RAYOS SÍSMICOS	39
4.7 PASOS PARA GENERAR LOS ARCHIVOS SEG-Y	40
4.7.1 Administrador de archivos	40
4.7.2 Importación de las geometrías de adquisición sísmica	40
4.7.3 Elaboración del modelo geológico	41
4.7.4 Trazado de rayo por frente de onda	41
4.7.5 Diagnósticos basados en el estudio del objetivo geológico	42
4.7.6 Generador de archivos de trazas sísmicas sintéticas	43
4.7.7 Elaboración de los archivos SEG-Y	43
4.8 PROCESAMIENTO DE DATOS SINTÉTICOS	44
4.8.1 Transformación de archivos en formato SEG-Y a formato focus	44
4.8.2 Carga de la geometría	45
4.8.3 Carga de la geometría a las trazas	46
4.8.4 Análisis de velocidades	46
4.8.5 Apilamiento	47
4.8.6 La proyección de imagen sísmica	49
4.9 INTERPRETACIÓN	49
4.10 MODELO GEOLÓGICO COMPLEJO	50
4.11 SIMULACIÓN CON EL MODELO GEOLÓGICO COMPLEJO	51
4.12 PROCESAMIENTO DE LA DATA OBTENIDA DE LA SIMULACIÓN CON EL MODELO GEOLÓGICO COMPLEJO	51

4.13 LA PROYECCIÓN DE IMAGEN SÍSMICA DE LOS DATOS OBTENIDOS CON EL MODELO COMPLEJO	51
CAPÍTULO V	52
RESULTADOS Y ANÁLISIS	52
5.1 DISEÑOS DE ADQUISICIÓN SÍSMICA 3-D	52
5.2 ESTUDIO DE LA COBERTURA	52
5.3 RELACIÓN DEL ASPECTO DEL PATCH	63
5.4 ESTUDIO DE OFFSET CERCANOS	63
5.5 ESTUDIO DE OFFSET MEDIANOS	68
5.6 ESTUDIO DE OFFSET LEJANOS	72
5.7 ESTUDIO DE VARIABILIDAD DE OFFSET	78
5.8 ESTUDIO DE ACIMUT POR MEDIO DEL DIAGRAMA DE PATAS DE ARAÑA	82
5.9 ESTUDIO DE LOS DIAGRAMAS DE ROSA	87
5.10 ARCHIVOS DE EXPORTACIÓN DE LA GEOMETRÍA (SPS)	92
5.10.1 Archivos rps	92
5.10.2 Archivos sps	93
5.10.3 Archivos xps	94
5.11 MODELADO POR TRAZADO DE RAYOS	95
5.11.1 Modelo geológico de capas planas	95
5.12 DIAGNÓSTICOS BASADOS EN EL ESTUDIO DEL OBJETIVO GEOLÓGICO	97
5.12.1 Diagnostico de la cobertura del CRP	97
5.12.2 Diagnostico del tiempo doble de viaje	98
5.13 GENERADOR DE ARCHIVOS DE TRAZAS SÍSMICAS SINTÉTICAS	99
5.14 VISUALIZACIÓN DE LOS DATOS SÍSMICOS SINTÉTICOS PROCESADOS	100
5.15 VISUALIZACIÓN POR MEDIO DEL CUBOS DE ESPECTRO DE AMPLITUDES	101
5.16 MODELO GEOLÓGICO COMPLEJO	114
5.17 COMPARACIÓN DE LOS CORTES DEL MODELO GEOLÓGICO	

CON LOS CORTES DE LOS DATOS DE LA SIMULACIÓN YA PROCESADOS	116
CAPÍTULO VI	123
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	123
BIBLIOGRAFÍA	126

LISTA DE CUADROS

5-1 Parámetros de los diseños con las geometrías ortogonales.....	53
5-2 Parámetros de los diseños con las geometrías no ortogonales.....	54
5-3 Características de los reflectores del modelo de capas planas.....	96
5-4 Tiempos mas representativos en cada capa para el diagnostico del doble.....	99

LISTA DE FIGURAS

4-1 Esquema de aplicación de los programas para cambio de formato de los datos.....	45
4-2 Esquema de aplicación de los programas para cargar la geometría a las trazas.....	46
4-3 Esquema de aplicación de los programas para el análisis de velocidades.....	47
4-4 Esquema de aplicación de los programas para el apilamiento.....	48
5-1 Patch de la geometría LRCuadrada.....	55
5-2 Patch de la geometría LRRectangular.....	55
5-3 Patch de la geometría SCuadrada.....	56
5-4 Patch de la geometría SRectangular.....	56
5-5 Patch de la geometría 45Cuadrada.....	57
5-6 Patch de la geometría 45Rectangular.....	57
5-7 Patch de la geometría S45Cuadrada.....	58
5-8 Patch de la geometría S45Rectangular.....	58
5-9 Mapa de cobertura de la geometría LRCuadrada.....	59
5-10 Mapa de cobertura de la geometría LRRectangular.....	59
5-11 Mapa de cobertura de la geometría SCuadrada.....	60
5-12 Mapa de cobertura de la geometría SRectangular.....	60
5-13 Mapa de cobertura de la geometría 45Cuadrada.....	61
5-14 Mapa de cobertura de la geometría 45Rectangular.....	61
5-15 Mapa de cobertura de la geometría S45Cuadrada.....	62
5-16 Mapa de cobertura de la geometría S45Rectangular.....	62
5-17 Histograma de offsets sobrepuesto sobre la distribución de offsets cercanos para la geometría LRCuadrada.....	64
5-18 Histograma de offsets sobrepuesto sobre la distribución de offsets cercanos de la geometría LRRectangular.....	64
5-19 Histograma de offsets sobrepuesto sobre la distribución de offsets cercanos de la geometría SCuadrada.....	65

5-20 Histograma de offsets sobrepuesto sobre la distribución de offsets cercanos de la geometría SRectangular.....	65
5-21 Histograma de offsets sobrepuesto sobre la distribución de offsets cercanos de la geometría 45Cuadrada.....	66
5-22 Histograma de offsets sobrepuesto sobre la distribución de offsets cercanos de la geometría 45Rectangular.....	66
5-23 Histograma de offsets sobrepuesto sobre la distribución de offsets cercanos de la geometría S45Cuadrada.....	67
5-24 Histograma de offsets sobrepuesto sobre la distribución de offsets cercanos de la geometría S45Rectangular.....	67
5-25 Histograma de offsets sobrepuesto sobre la distribución de offsets medianos de la geometría LRCuadrada.....	68
5-26 Histograma de offsets sobrepuesto sobre la distribución de offsets medianos de la geometría LRRectangular.....	69
5-27 Histograma de offsets sobrepuesto sobre la distribución de offsets medianos de la geometría SCuadrada.....	69
5-28 Histograma de offsets sobrepuesto sobre la distribución de offsets medianos de la geometría SRectangular.....	70
5-29 Histograma de offsets sobrepuesto sobre la distribución de offsets medianos de la geometría 45Cuadrada.....	70
5-30 Histograma de offsets sobrepuesto sobre la distribución de offsets medianos de la geometría 45Rectangular.....	71
5-31 Histograma de offsets sobrepuesto sobre la distribución de offsets medianos de la geometría S45Cuadrada.....	71
5-32 Histograma de offsets sobrepuesto sobre la distribución de offsets medianos de la geometría S45Rectangular.....	72
5-33 Histograma de offsets sobrepuesto sobre la distribución de offsets lejanos de la geometría LRCuadrada.....	74
5-34 Histograma de offsets sobrepuesto sobre la distribución de offsets lejanos de la geometría LRRectangular.....	74

5-35 Histograma de offsets sobrepuesto sobre la distribución de offsets lejanos de la geometría SCuadrada.....	75
5-36 Histograma de offsets sobrepuesto sobre la distribución de offsets lejanos de la geometría SRectangular.....	75
5-37 Histograma de offsets sobrepuesto sobre la distribución de offsets lejanos de la geometría 45Cuadrada.....	76
5-38 Histograma de offsets sobrepuesto sobre la distribución de offsets lejanos de la geometría 45Rectangular.....	76
5-39 Histograma de offsets sobrepuesto sobre la distribución de offsets lejanos de la geometría S45Cuadrada.....	77
5-40 Histograma de offsets sobrepuesto sobre la distribución de offsets lejanos de la geometría S45Rectangular.....	77
5-41 Histograma de offsets sobrepuesto sobre la variabilidad de offsets de la geometría LRCuadrada.....	78
5-42 Histograma de offsets sobrepuesto sobre la variabilidad de offsets lejanos de la geometría LRRectangular.....	79
5-43 Histograma de offsets sobrepuesto sobre la variabilidad de offsets de la geometría SCuadrada.....	79
5-44 Histograma de offsets sobrepuesto sobre la variabilidad de offsets de la geometría SRectangular.....	80
5-45 Histograma de offsets sobrepuesto sobre la variabilidad de offsets lejanos de la geometría 45Cuadrada.....	80
5-46 Histograma de offsets sobrepuesto sobre la variabilidad de offsets de la geometría 45Rectangular.....	81
5-47 Histograma de offsets sobrepuesto sobre la variabilidad de offsets de la geometría S45Cuadrada.....	81
5-48 Histograma de offsets sobrepuesto sobre la variabilidad de offsets de la geometría S45Rectangular.....	82
5-49 Diagrama patas de araña de la geometría LRCuadrada.....	83
5-50 Diagrama patas de araña de la geometría LRRectangular.....	84

5-51 Diagrama patas de araña de la geometría SCuadrada.....	84
5-52 Diagrama patas de araña de la geometría SRectangular.....	85
5-53 Diagrama patas de araña de la geometría 45Cuadrada.....	85
5-54 Diagrama patas de araña de la geometría 45Rectangular.....	86
5-55 Diagrama patas de araña de la geometría S45Cuadrada.....	86
5-56 Diagrama patas de araña de la geometría S45Rectangular.....	87
5-57 Diagrama de rosa de la geometría LRCuadrada.....	88
5-58 Diagrama de rosa de la geometría LRRectangular.....	89
5-59 Diagrama de rosa de la geometría SCuadrada.....	89
5-60 Diagrama de rosa de la geometría SRectangular.....	90
5-61 Diagrama de rosa de la geometría 45Cuadrada.....	90
5-62 Diagrama de rosa de la geometría 45Rectangular.....	91
5-63 Diagrama de rosa de la geometría S45Cuadrado.....	91
5-64 Diagrama de rosa de la geometría S45Rectangular.....	92
5-65 Parámetros básicos de los archivos rps para la geometría SCuadrada.....	93
5-66 Parámetros básicos de los archivos sps para la geometría SCuadrada.....	94
5-67 Parámetros básicos de los archivos sps para la geometría SCuadrada.....	95
5-68 Visualización 3-D del modelo geológico de capas planas.....	96
5-69 Imagen 3-D de la cobertura CRP para la geometría LRCuadrada.....	97
5-70 Grafico de barras para la geometría LRCuadrada en la última capa.....	98
5-71 Shot gather sintético.....	100
5-72 Imagen del visualizador de shot gather ordenado por CDP.	100
5-73 Cubos de espectro de amplitudes con corte en la primera capa para la geometría LRCuadrada.....	101
5-74 Cubos de espectro de amplitudes con corte en la primera capa para la geometría LRRectangular.....	102
5-75 Cubos de espectro de amplitudes con corte en la primera capa para la geometría SCuadrada.....	102
5-76 Cubos de espectro de amplitudes con corte en la primera capa para la geometría SRectangular.....	103

5-77 Cubos de espectro de amplitudes con corte en la primera capa para la geometría 45Cuadrada.....	103
5-78 Cubos de espectro de amplitudes con corte en la primera capa para la geometría 45Rectangular.....	104
5-79 Cubos de espectro de amplitudes con corte en la primera capa para la geometría S45Cuadrada.....	104
5-80 Cubos de espectro de amplitudes con corte en la primera capa para la geometría S45Rectangular.....	105
5-81 Cubos de espectro de amplitudes con corte en la segunda capa para la geometría LRCuadrada.....	106
5-82 Cubos de espectro de amplitudes con corte en la segunda capa para la geometría LRRectangular.....	106
5-83 Cubos de espectro de amplitudes con corte en la segunda capa para la geometría SCuadrada.....	107
5-84 Cubos de espectro de amplitudes con corte en la segunda capa para la geometría SRectangular.....	107
5-85 Cubos de espectro de amplitudes con corte en la segunda capa para la geometría 45Cuadrada.....	108
5-86 Cubos de espectro de amplitudes con corte en la segunda capa para la geometría 45Rectangular.....	108
5-87 Cubos de espectro de amplitudes con corte en la segunda capa para la geometría S45Cuadrada.....	109
5-88 Cubos de espectro de amplitudes con corte en la segunda capa para la geometría S45Rectangular.....	109
5-89 Cubos de espectro de amplitudes con corte en la tercera capa para la geometría LRCuadrada.....	110
5-90 Cubos de espectro de amplitudes con corte en la tercera capa para la geometría LRRectangular.....	111
5-91 Cubos de espectro de amplitudes con corte en la tercera capa para la geometría SCuadrada.....	111

5-92 Cubos de espectro de amplitudes con corte en la tercera capa para la geometría SRectangular.....	112
5-93 Cubos de espectro de amplitudes con corte en la tercera capa para la geometría 45Cuadrada.....	112
5-94 Cubos de espectro de amplitudes con corte en la tercera capa para la geometría 45Rectangular.....	113
5-95 Cubos de espectro de amplitudes con corte en la tercera capa para la geometría S45Cuadrado.....	113
5-96 Cubos de espectro de amplitudes con corte en la tercera capa para la geometría S45Rectangular.....	114
5-97 Visualización 3-D con frente en una línea inline del modelo geológico complejo.....	115
5-98 Visualización 3-D con frente en una línea crossline del modelo geológico complejo.....	115
5-99 Cortes crossline #61 de los datos ya procesados (a la izquierda) y el del modelo geológico (derecha).....	118
5-100 Cortes crossline #161 de los datos ya procesados (a la izquierda) y el del modelo geológico (derecha).....	119
5-101 Cortes crossline #241 de los datos ya procesados (a la izquierda) y el del modelo geológico (derecha).....	120
5-102 Cortes inline #158 de los datos ya procesados (a la izquierda) y el del modelo geológico (derecha).....	121
5-103 Cortes inline #197 de los datos ya procesados (a la izquierda) y el del modelo geológico (derecha).....	122

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El objetivo planteado al comenzar este trabajo era: ¿es posible optimizar el diseño de adquisición sísmica *3-D* por medio del modelado de trazado de rayos?. Evidentemente la respuesta era simple: si. Y es así de simple porque el tema no es nuevo y ha sido objeto de investigación durante los últimos años. ¿Donde esta la supuesta originalidad del trabajo? Una investigación sobre un tema siempre parte de unos estudios y unas ideas anteriores, y en este momento ya pierde parte de su originalidad. Este trabajo más que totalmente original en todos sus múltiples aspectos ha pretendido ser un trabajo riguroso con pequeños aportes originales en cada uno de los temas tratados.

La primera parte del trabajo ya se ha desarrollado en muchas ocasiones, pero la última parte, si es algo bastante nuevo en el diseño de adquisición sísmica. Es poco usual el procesar los datos obtenidos de una simulación *3-D*. Al iniciar este trabajo me sorprendió que la mayor parte de los levantamientos sísmicos en el mundo se han diseñado y aún se diseñan basándose en un conjunto de reglas prácticas de aceptación general, que con los equipos y técnicas modernas esto no debía seguir ocurriendo. Esto alentaba a la implementación de una posible técnica para mejorar el diseño de levantamientos sísmico *3-D*. No íbamos mal encaminados ya que en los últimos años se han aplicado simulaciones en el tema del diseño sísmico *3-D*.

Un estudio detallado de la adquisición sísmica *3-D* en un área de geología compleja es todo un desafío. Existen una gran cantidad de variables que el diseñador debe considerar. La utilización del trazado de rayos para explorar la iluminación de una estructura geológica de interés por un diseño *3-D* en particular ha estado en el interés de los geofísicos por más de dos décadas. En las áreas donde existe geologías complejas en subsuelo la calidad de los datos sísmicos no es la que los geofísicos desean, las interpretaciones geológicas en estas zonas están basadas en datos

proveniente de pozo y sísmica en dos dimensiones (**2-D**), en la actualidad las trampas de hidrocarburos que poseen un potencial petrolífero se encuentran en áreas de este tipo a gran profundidad, por estas razones son difíciles de localizar y es por esto que la sísmica *3-D* es actualmente la herramienta más usada en el mercado petrolífero.

Con la finalidad de cumplir con todos los objetivos del presente trabajo, fue necesario estructurarlo de la siguiente manera. En primer lugar se realiza un estudio de los fundamentos teóricos en los cuales se basa el diseño de la adquisición sísmica, el modelado sísmico por trazado de rayos y el procesamiento de datos sísmicos (Capítulo 3). Seguidamente se procede a aplicar una metodología del diseño de adquisición sísmica, del modelado sísmico por trazado de rayos y del procesamiento de datos sísmicos *3-D* (Capítulo 4). Para seguidamente dar a conocer los resultados y el análisis de estos (Capítulo 5) y finalmente las conclusiones y recomendaciones (Capítulo 6).

CAPITULO II

EL PROBLEMA

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos 25 años, los datos sísmicos han contribuido de forma significativa en el desarrollo y localización de los campos de hidrocarburos. Los datos analógicos de la década de 1960 tenían una resolución muy pobre y aunque a menudo ayudaron a la localización de estructuras geológicas productivas, carecían del detalle necesario para ser usados en el desarrollo del campo; con la llegada de la sísmica digital se logro un notable avance en el procesamiento de los datos y en la mejora de la imagen de la señal sísmica.

En los comienzos de la década de 1970 los adelantos tecnológicos permitieron identificar los reservorios en forma directa. En esta época la sísmica *2-D* fue muy valiosa, pero con el tiempo y con su uso sostenido comenzaron a aflorar sus limitaciones, como por ejemplo la inexactitud en el posicionamiento del reflector en un área de geología compleja y una cobertura del área inadecuada.

Aunque la propagación de la onda sísmica a través del subsuelo es un fenómeno tridimensional, el procesamiento de los datos y su despliegue en la sísmica *2-D*, asume que es un fenómeno bidimensional, que actúa solo a lo largo de la línea de adquisición. Mientras esto afecta muy poco a los resultados en áreas de geología simple, esto no ocurre en la mayoría de los campos de hidrocarburos, donde la energía que proviene de otros planos se superpone sobre las reflexiones sísmicas, entorpeciendo su visualización. Este punto débil fue reconocido hacia la mitad de la década del 1970 y condujo a la realización de los primeros experimentos con sísmica *3-D* (Fagin, 1992).

Hoy en día los estudios con sísmica *3-D*, están permitiendo obtener un mejor control del estilo estructural (particularmente en lo que se refiere a zonas falladas y a sus interrelaciones) así como también una mejora en la capacidad del mapeo estratigráfico en detalles. El primer paso en un estudio sísmico *3-D* es la adquisición

de los datos, que se ha convertido en una herramienta esencial en la exploración sísmica, como una manera de optimizar la inversión y de reducir al mínimo el riesgo. El examen sísmico *3-D* es un desarrollo reciente en la historia de la industria petrolera. Para esta etapa se usan en la práctica varias configuraciones geométricas, basándose en el objetivo a resaltar. Estos parámetros se diseñan con información proporcionada por pozos y datos sísmicos preexistentes.

Un estudio detallado de la adquisición sísmica *3-D* en un área de geología compleja es todo un desafío. La mayor parte de los levantamientos sísmicos se han diseñado y aún se diseñan basándose en un conjunto de reglas prácticas de aceptación general. La mayor parte de estas reglas se basan en fórmulas dependientes de velocidades promedio o interválicas constantes y máximos valores de profundidad y buzamiento. La utilización del trazado de rayos para explorar la iluminación de una estructura geológica de interés por un diseño *3-D* en particular ha estado en el interés de los geofísicos por más de dos décadas. Una gran cantidad de diagnósticos puede ser generada a partir de un trazado de rayos y la visualización de éstos sobre las estructuras geológicas provee mayores posibilidades de análisis de las consecuencias de la selección de muchos parámetros del levantamiento. May y Hron (1978) demostraron que incluso para las estructuras simples, los efectos de las geometrías de adquisición en los estudios sísmicos no pueden ser anticipar sin la ayuda del modelado.

De lo anteriormente expresado, se hace necesario el desarrollo de una simulación computarizada que permita estudiar diversas geometrías, que combine el modelado estructural *3-D* y la simulación con trazado de rayo *3-D* para un objetivo geológico específico, que proporcionaría una herramienta esencial para el diseño de la adquisición sísmica *3-D* en áreas que poseen una geología compleja. Con este procedimiento se podrán elegir los parámetros y el diseño que proporcione la proyección de imagen de los datos sísmicos que se puede entender mejor por análisis previo de un modelo, para asegurar que se registren las distancias fuentes receptores (*offsets*) adecuados y la orientación óptima del estudio.

OBJETIVOS GENERALES

El presente trabajo persigue el cumplimiento de los siguientes objetivos:

- Desarrollar una metodología de selección de geometrías y modelado sísmico que permita la obtención de datos sísmicos de alta calidad.
- Realizar un modelado sísmico en *3-D* por trazado de rayos con distintas geometrías, para proponer una para un modelo geológico de tres capas planas.
- Realizar un modelado sísmico en *3-D* con la geometría seleccionada pero con un modelo geológico complejo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un estudio de distintas geometrías de adquisición y su impacto en la calidad de las imágenes *3-D*.
- Analizar cual de las geometrías de adquisición sísmica *3-D* genera menor efecto de huella en la adquisición.
- Identificar la resolución de los topes de las formaciones de un modelo geológico complejo. Por medio de un conjunto de registros sísmicos sintéticos ordenados por fuentes (*shot gathers*).
- Analizar si con los datos procesados de un modelado sintético por trazado de rayos se puede identificar que reflector presenta una mejor imagen y una menor dispersión según un modelo geológico complejo.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

INTRODUCCIÓN

La adquisición es el primer paso y podría decirse que el más importante de un estudio sísmico 3-D. El diseño de la adquisición sísmica 3-D es un problema de optimización (Musser, Bremner, Crews y Henderson, 1989) que consolida, en el costo mínimo, los requisitos de la cobertura, acimut, y *offset* para un objetivo geológico en particular. El diseño óptimo 3-D se obtiene cuando se ha optimizado simultáneamente todos los parámetros mientras se obtiene la resolución necesaria del objetivo geológico (Musser, Bremner, Crews y Henderson, 1989).

El acceso y la topografía de la zona son también factores que se deben tomar en cuenta a la hora de la elaboración del diseño. Tantas variables como son posibles se incluyen en tomar una decisión para que el diseño de la adquisición sea el óptimo. La base del diseño es alcanzar una distribución regional de amplia gama de *offsets* y acimut, en el subsuelo (Galbraith, 1994).

TÉRMINOS BÁSICOS

Acimut

El acimut es el ángulo comprendido entre el norte geográfico y la línea imaginaria que une un par fuente receptor. Una buena distribución acimutal es considerada como indicativo de la recepción de la señal sísmica en todas las direcciones, radialmente posibles, y ésta debe garantizarse para cada área rectangular en la que la longitud del lado paralelo a la línea de receptores (*bin*), lo cual es favorable en los análisis de velocidades y los estudios AVO.

Aliasing espacial y temporal

La resolución es el nivel de detalle que se puede lograr en los eventos sísmicos y en ocasiones, existe distorsión en los eventos en el subsuelo, ocasionados por la selección de un muestreo inadecuado, esta distorsión se conoce con el nombre de aliasing. Es de suma importancia que en la etapa del diseño de adquisición sean seleccionados los parámetros para que no existan problemas mayores por el efecto de aliasing. Generalmente se usa un margen de seguridad en un rango de 30 a 50 por ciento sobre la frecuencia calculada, para tratar de evitar posibles errores en los valores.

Apertura de migración

El proceso de migración produce efectos de borde que distorsionan la imagen, por ello se debe incluir una zona alrededor de de la frontera del estudio para que estos efectos no deterioren la calidad de los datos sísmicos encima del área central prospectada. La zona ha agregar se conoce con el nombre de apertura de migración.

Apilamiento:

Es el proceso mediante el cual las reflexiones sísmicas se despliegan en su posición correcta. El apilamiento mejora la relación señal/ruido (S/N) al sumar los registros obtenidos a partir de la información de varios disparos que se reflejan en un mismo punto.

Bin

Un *bin* es un área rectangular en la que la longitud del lado paralelo a la línea de receptores, es igual a la mitad del intervalo entre los receptores y la longitud del lado paralelo a la línea de puntos de tiro es igual a la mitad del intervalo entre puntos de tiro.

Caja (box)

En un estudio sísmico 3-D se le llama caja al área limitada por dos líneas fuentes adyacentes y dos líneas receptoras adyacentes. La caja representa el área más pequeña que contiene las estadísticas completas del levantamiento. Por esta razón, la caja también es llamada celda unitaria.

Cobertura (Fold)

La cobertura es el número de trazas que contribuyen a un apilamiento, es decir, número de puntos medios que esta siendo sumados a un *bin*. Aunque usualmente se da un número promedio de cobertura para algún levantamiento, la cobertura de apilamiento varía de un *bin* a otro para diferentes *offsets*.

Diagrama de rosa

El diagrama de Rosa muestra un diagrama polar del *offset* contra acimut. Cada cuña en el diagrama representa el número de trazas en una gama dada de *offset* y del acimut. Cada círculo concéntrico representa una gama de *offsets*. Las gamas del acimut son marcadas por las líneas radiales, comenzando a partir de los 0 grados y incrementándose en sentido horario hasta 359 grados.

Distribución de acimut

Una distribución de Acimut es más afectada por la cobertura que la distribución de *offset*. Una mala distribución de Acimut podría producir problemas posteriores de estática. Un método de representación de los Acimut es el conocido como patas de araña (spaider leg) y cada recta representa por su tamaño al *offset* y su dirección la dirección fuente receptor. Una buena distribución de Acimut permite una mejor imagen.

Distribución de offsets

Cada traza de contribución en un *bin* posee un *offset* y un acimut desde la fuente al receptor. Una contribución de *offset* en un *bin* estará afectada por la cobertura. Una cobertura baja dará una distribución de *offset* muy baja, al incrementar la cobertura se mejorara la distribución de *offset*. Una distribución de *offset* inadecuada puede producir aliasing de la señal de un reflector buzante y ruidos que no se podrán suprimir los filtros en la etapa de procesamiento.

El formato de Seg-y

El formato de Seg-y es un estándar de grabación de datos en cinta desarrollado por la Sociedad de Exploración Geofísica (SEG) y es el formato más usado para exportar los datos sísmicos en exploración y producción. Sin embargo, fue creado en 1973 y actualmente existen diversas versiones de este estándar.

Estructura Compleja

Es una estructura gaso-petrolífera, petrolífera o gasífera que comprende varios yacimientos superpuestos.

Estudio Sísmico

Método geofísico que estudia el comportamiento de las ondas sísmicas generadas artificialmente y propagadas a través del subsuelo, empleado en la exploración de hidrocarburos para determinar las estructuras geológicas potenciales portadoras de hidrocarburos. En la ingeniería de yacimientos se utiliza en el contorno del yacimiento, en el cálculo de los parámetros físicos y de producción del mismo.

Histograma de offset

El *bin* por si mismo es usado como gráfico, donde el eje vertical muestra la medida del *offset* y el eje horizontal indica la posición de la traza en una escala de *offset*. En

otras palabras, ambas escalas son un valor de *offset*. Un triángulo perfecto indicaría la presencia de todos los *offsets* posibles.

Líneas de Fuentes:

Es una línea a lo largo de la cual las fuentes se presentan en intervalos regulares. La separación entre las fuentes en estas líneas es por lo general igual a dos veces la dimensión del *bin* en la dirección *crossline*. Esto asegura que los puntos medios asociados con cada fuente, caerán exactamente en un *midpoint*, fuera de aquellos asociados con la fuente previa sobre la línea. La distancia entre líneas fuentes es usualmente llamada intervalo entre líneas de disparo y determina la densidad de puntos fuente o cuantos puntos fuente hay por kilómetro cuadrado.

Líneas de Receptores:

Una línea a lo largo de la cual los receptores se presentan en intervalos regulares, que están usualmente separados dos veces la dimensión *inline* del bin. Normalmente los cables de grabación de campo son colocados a lo largo de esta línea. La distancia entre líneas receptoras es comúnmente llamada intervalo entre líneas receptoras.

Migración

Es el proceso mediante el cual las reflexiones sísmicas se despliegan a su posición correcta. La migración utiliza un modelo de velocidad para redistribuir la energía sísmica reflejada, desde la posición supuesta en el punto medio a su verdadera posición. Se pueden elegir distintos tipos de migración según la complejidad del objetivo y las estructuras de sobrecarga en cuestión.

Objetivo principal

Un estudio sísmico 3-D se debe diseñar para una zona de interés o objetivo principal. Esta zona determinará el costo del proyecto, afectando la selección de los parámetros

para la adquisición 3-D; cobertura, tamaño del bin, y la gama *offset* están relacionados con el objetivo principal. La dirección de las características geológicas importantes, tales como fallas o canales, puede influenciar la dirección de las líneas de receptores y las líneas de las fuentes. Las zonas secundarias u otros objetivos regionales también pueden tener un impacto significativo en el diseño de un estudio sísmico 3-D.

Offset máximo (X_{max})

Es el máximo *offset* continuo grabado, el cual depende del tamaño del *patch*. X_{max} es usualmente la distancia media diagonal del *patch*. Un gran X_{max} es necesario para grabar eventos profundos.

Offset mínimo (X_{min}):

El *bin* en el centro de una caja formada por dos líneas adyacentes del receptor y dos líneas adyacentes de fuentes tiene el X_{min} de cualquier *bin* dentro de la caja. El *offset* mínimo es por lo tanto la diagonal de esta caja. La distancia entre las líneas de las fuentes y de los receptores (SL y RL) son determinados por el valor de X_{min} . Las líneas de *offset* son desplazadas lo correspondiente al tamaño de un *bin* en sus puntos de la intersección entre fuentes receptores para reducir la duplicación de la trayectoria de rayos.

Patch

Un *patch* es considerado como la unidad básica de grabación en un estudio 3-D y se refiere a todos los receptores vivos para una o un conjunto de fuentes en un levantamiento. El *patch* usualmente tiene forma rectangular de varias líneas receptoras paralelas y se mueve alrededor del levantamiento hasta ocupar las diferentes posiciones del estudio.

Perfiles Sísmicos Verticales (VSP)

Es un tipo de registro sísmico en la cual una señal sísmica es emitida por una fuente en la superficie y es registrada por geófonos situados a diferentes profundidades a través de un pozo.

Punto medio (Midpoint)

Es el punto localizado exactamente en la mitad del camino entre una fuente sísmica y un receptor en la superficie terrestre. Si un *patch* presenta un tendido de 200 canales, cada punto creará 200 puntos medios. Los *midpoints* serán usualmente espaciados y a menudo pueden no formar una rejilla regular.

Punto medio común (Common midpoint o CMP)

En la adquisición sísmica multicanal, es el punto medio en superficie entre la fuente y el receptor, que es compartido por numerosos pares de fuentes receptores. Tal redundancia entre pares de fuentes receptores realza la calidad de datos sísmicos cuando son apilados en el procesamiento de los datos.

El punto medio común en ocasiones está verticalmente sobre el punto común en profundidad (*deep midpoint*), o el punto común de reflexión. Las trazas de diversos pares de fuentes receptores pueden ser corregidas durante el procesamiento de los datos, para quitar los efectos de diversos *offset*, después de correcciones de *NMO*, las trazas se pueden apilar para mejorar el cociente señal ruido. El punto medio común no es igual que el punto común en la profundidad, pero los términos a menudo se utilizan incorrectamente como sinónimos, por que cuando los reflectores son horizontales la proyección en superficie del *CDP* coincide con el *CMP*.

Puntos fuentes

Los puntos fuentes o puntos de disparos son las ubicaciones dadas a los lugares donde se generan las energías en un estudio sísmico. Las fuentes que se utilizan en la sísmica terrestre son explosivos (dinamita) y los vibraseis (camiones vibradores), mientras que en la adquisición marina se utilizan cañones de aire.

Puntos receptores

Los puntos receptores son las ubicaciones dadas a los lugares en donde se colocan los receptores en un estudio sísmico. Los receptores son dispositivos que transforman los movimientos mecánicos en señales eléctricas. En la adquisición sísmica terrestre reciben el nombre de geófonos y en la marina hidrófonos.

Relación señal ruido (S/N)

La relación de la energía de la señal sobre la energía del ruido. Usualmente abreviada como S/N. La suma de las trazas en condiciones determinadas mejora S/N. Esto es observable en el diseño de los arreglos emisivos y receptivos de campo y en algunos casos en la suma de trazas adyacentes. El proceso de apilamiento es otro caso donde la relación señal ruido errático es mejorada por un factor que es igual a la raíz cuadrada del número de trazas a sumar.

Shot gather

Uno de los productos de la etapa de campo de la sísmica son los shot gather, el cual es una sección sísmica resultado de combinar trazas de un sismograma que poseen una fuente en común. En este tipo de sección se observa el patrón hiperbólico de las curvas reflejadas, donde las múltiples hipérbolas existentes indican los pulsos de onda reflejados a partir de una sucesión de bordes de capas, los horizontes bufantes en un common shot gather se ven como hipérbolas agudas.

Subsuelo

Es totalidad de las rocas que se encuentran por debajo de la superficie del suelo y por lo general son más viejas que éste. Generalmente el subsuelo está representado por formaciones geológicas accesibles a los trabajos de investigación.

Trazas sísmica (Traces)

Son el resultado de la interacción entre los coeficientes de reflexión de la roca en el subsuelo y la señal emitida a través de estas por una fuente de energía. (Matemáticamente esta interacción se denomina convolución).

Variaciones de la amplitud con el offset (AVO)

La variaciones de las amplitudes de la reflexión en función del *offset* es una técnica de procesamiento de datos sísmicos que se basa en que el comportamiento de la amplitud depende del cociente de Poisson de las rocas en la interfaz y esta varía dependiendo de la distancia entre la fuente y los receptores..

CÁLCULOS DE LOS PARÁMETROS EN UN ESTUDIO DE ADQUISICIÓN SÍSMICA 3-D

El paso inicial en el diseño 3-D es determinar el *bin*, la profundidad del objetivo, de la mínima cobertura, cobertura *crossline*, cobertura *inline* y el *offset* máximo y mínimo, requeridos para el procesamiento. Estos parámetros son tomados de modelos geológicos o estudios sísmicos 3-D y 2-D realizados anteriormente en el área.

Cálculo de la cobertura

La Cobertura también se puede definir como el número de áreas traslapadas del punto medio. La cobertura controla el cociente señal ruido (S/N) de la muestra. Si se duplica la cobertura, el cociente señal ruido aumenta un 41%. El ruido se distribuye en forma de campana gaussiana. En los estudios sísmicos 3-D la cobertura se obtiene

de los estudios sísmicos 2-D y de los estudios sísmicos 3-D previos del área, con la evaluación del *offset* máximo y mínimo, recordando que la migración del DMO y la migración 3-D puede aumentar la cobertura. Krey (1987) demostró que el cociente de la cobertura del 3-D al 2-D depende de la frecuencia y varía según:

$$\text{Cobertura } 3-D = \text{Cobertura } 2-D \times f \times C \quad (\text{ecuación. 3.1})$$

Donde:

C es una constante arbitraria.

f es la frecuencia.

Muchos diseñadores recomiendan que la cobertura 3-D sea igual o menor a $\frac{1}{3}$ de la cobertura 2-D. Esta regla arroja resultados aceptables solamente si el área tiene una excelente relación *S/N* y si hay problemas menores con la estática. La continuidad en el volumen de los datos de un estudio 3-D permite una mejor correlación que las líneas de datos de los estudios 2-D, por lo tanto se puede aceptar una cobertura baja en un estudio 3-D.

Krey's (1987) completo la fórmula para el cálculo de la cobertura.

$$\text{Cobertura } 3-D = \frac{\text{Cobertura } 2-D \times (B)^2 \times f \times \pi \times 0.40}{\text{Espaciamiento del CPD} \times \text{Velocidad}} \quad (\text{ecuación. 3.2})$$

Donde:

B es la dimensión del *bin*.

Si el espaciamiento de la traza 2-D es mucho menor que el tamaño del *bin* 3-D, entonces la cobertura 3-D debe ser más alta para poder alcanzar resultados de la proyección de imagen comparables a las del 2-D. Sin embargo, hoy en día los estudios 2-D se pueden adquirir con un espaciamiento pequeño entre trazas y coberturas grandes. Por lo tanto muchos estudios 2-D son sobremuestrados y poseen

una cobertura mayor que la requerida. Esto se debe tener siempre presente al comparar coberturas de 2-D y 3-D, como ayuda a la hora de diseñar un estudio sísmico 3-D con una cobertura baja.

Existen distintas maneras de calcular la cobertura, el principio básico es que una fuente crea puntos medios mientras que está registrando en los receptores activos. Si todos los *offsets* están dentro de una gama aceptable de la grabación, entonces la ecuación básica de la cobertura es:

$$NF = NS \times NC \times B^2 \quad (\text{ecuación. 3.3})$$

Donde:

NF: cobertura nominal.

NS: número de fuentes por Km^2 .

NC: número de canales.

Derivando la ecuación 3.1

$$\text{Número de puntos medios} = \text{Número de puntos de disparo} \times NC \quad (\text{ecuación. 3.4})$$

$$SD = \frac{\text{Número de puntos de disparo}}{\text{Tamaño del estudio}} \quad (\text{ecuación. 3.5})$$

Donde:

SD: densidad de fuentes

Combinando las ecuaciones 3.2 y 3.3.

$$\frac{\text{Número de puntos medios}}{NC} = SD \times \text{Tamaño del estudio} \quad (\text{ecuación. 3.6})$$

$$\text{Tamaño del estudio} = \text{número de bins} \times B^2 \quad (\text{ecuación. 3.7})$$

Multiplicando la ecuación 3.4 y 3.5 queda:

$$\frac{\text{Números de puntos medios}}{\text{Números de bins}} = \text{NC} \times \text{NS} \times \text{B}^2 \quad (\text{ecuación. 3.8})$$

$$\text{Cobertura} = \text{NS} \times \text{NC} \times \text{B}^2 \quad (\text{ecuación. 3.9})$$

La fórmula 3.7 es una manera rápida de calcular la cobertura. Para determinar la cobertura de una manera más detallada, se necesita examinar los componentes de la cobertura.

Cobertura Inline

Para un examen ortogonal, la cobertura *inline* se define semejante a la cobertura de los estudios 2-D. La fórmula es la siguiente:

$$\text{Cobertura inline} = \frac{\text{\# de canales por línea receptora}}{2 \times \text{Avance por estación receptora}} \quad (\text{ecuación. 3.10})$$

Donde:

$$\text{Avance por estación receptora} = \frac{\text{RLI}}{\text{SI}} \quad (\text{ecuación. 3.11})$$

Cobertura Crossline

El cálculo de la cobertura *crossline* es similar al cálculo de la cobertura *inline* pero, esta se puede definir de forma más simple como: la mitad del número de líneas receptoras en la unidad básica de grabación (*patch*) (Suárez, 2002).

$$\text{Cobertura crossline} = \frac{\text{Número de fuentes por patch}}{2} \quad (\text{ecuación. 3.12})$$

Cobertura Total

La cobertura total 3-D es el producto de la cobertura *crossline* y la cobertura *inline*:

$$\text{Cobertura Total} = \text{Cobertura } inline \times \text{Cobertura } crossline \quad (\text{ecuación. 3.13})$$

Para que la cobertura sea uniforme, la cobertura total tiene que ser un número entero. La selección cuidadosa de las configuraciones geométricas de la unidad básica de grabación en un estudio 3-D (*patch*) es lo más significativos en el diseño 3-D. El tamaño del *patch* y la cobertura total se relacionan por la ecuación:

$$\text{Cobertura total} = \frac{\text{Tamaño del } patch}{4 \times \text{tamaño de la caja}} \quad (\text{ecuación. 3.14})$$

La ecuación (3.15) estima la cobertura para los *patch* de forma circulares. Se puede observar que esta ecuación es independiente de los espaciamientos de las estaciones; éstos definen simplemente el tamaño natural del *bin*.

$$\text{Cobertura circular} = \frac{\pi \times R^2}{4 \times \text{SLI} \times \text{RLI}} = \frac{\pi \times R^2}{4 \times \text{Tamaño de la caja}} \quad (\text{ecuación. 3.15})$$

Otro de los cálculos importantes es el número de disparos por kilómetro cuadrado (Stone, 1994) que se determina despejando la ecuación 3.1:

$$\text{NS} = \frac{\text{Cobertura}}{\text{NC} \times B^2} \quad (\text{ecuación. 3.16})$$

El parámetro del NS (número de disparos) es la base para otros de los parámetros. El parámetro siguiente es la distancia entre líneas de disparo (SL). El valor del SL permite que la mínima cobertura sea producida con la capacidad deseada del tamaño del *bin* (Stone, 1994):

$$\text{SLI} = \frac{1000}{2 \times B \text{ (Km)} \times \text{NS}} \quad (\text{ecuación. 3.17})$$

El *bin* en el centro de una caja formada por dos líneas adyacentes de receptores y dos líneas adyacentes de fuentes tiene el *offset* máximo mínimo (*Xmin*) de cualquier *bin* dentro de la caja. El *Xmin* por lo tanto es la diagonal de esta caja. La distancia entre las líneas de las fuentes y de los receptores (SLI y RLI) son

determinados por el valor de $Xmin$. En una geometría de adquisición ortogonal, el *offset* máximo mínimo se relaciona directamente con SLI y RLI y se calculan por la ecuación:

$$Xmin = (RLI^2 + SLI^2)^{1/2} \quad (\text{ecuación. 3.18})$$

Las líneas de *offset* son desplazadas lo correspondiente al tamaño de un *bin* en sus puntos de intersección entre fuentes y receptores para reducir la duplicación de la trayectoria de rayos. La fórmula para $Xmin$ cambia levemente como observa en la siguiente ecuación:

$$Xmin = [(RLI - \frac{1}{2} \times SI)^2 + (SLI - \frac{1}{2} \times RI)^2]^{1/2} \quad (\text{ecuación. 3.19})$$

El $Xmin$ dentro de un *bin* controla la línea de incremento del receptor (RL). El $Xmin$ debe ser menor que la profundidad del reflector más bajo que necesita ser registrado (Galbraith, 1994). Esto asegura una proyección adecuada de la imagen del reflector más profundo. RL se relaciona con SL y X por la ecuación:

$$RLI = ((Xmin)^2 - (SLI - (RI/2)^2)^{1/2} + SI/2 \quad (\text{ecuación. 3.20})$$

El área cubierta por los receptores vivos o activos, es conocida como el *patch* de la plantilla o simplemente *patch*, es determinada por RL y SL así como por el número de canales en el sistema de la grabación. En general, las dimensiones de la plantilla necesitan ser formadas de tal manera que excedan la profundidad máxima del objetivo (Stone, 1994). La hipotenusa de la plantilla del receptor debe exceder la profundidad máxima del objetivo. En el caso de que se requiera profundizar la estructura, una compensación adicional debe ser tomada en cuenta llamada apertura de la migración (Yilmaz, 1989) y es la grabación adicional compensada que debe ser incluida para profundizar la estructura y poder ser reflejada.

Una de las dimensiones de la plantilla se puede ampliar para registrar la apertura adicional de migración. La extensión de una plantilla de la grabación en una

dirección preferencial hará más angosta la distribución del acimut, con tal de que el mismo número de los canales de grabación sean utilizado (Lansley, 1994).

El *offset* adicional (*Xmig*) que debe ser incluido es:

$$Xmig = Z \tan \theta \quad (\text{ecuación. 3.21})$$

La forma de la plantilla y la posición de la fuente dentro de ella determinan el acimut fuente receptor dentro de cada *bin*. Una amplia gama de acimuts asegura el buen acoplador de estática. También se requieren para el análisis de *AVO*, la detección de la anisotropía acimutal y que sea retirado el ruido (Lansley, 1994). Una distribución amplia de *offset* previene la aliasing y asegura un mejor análisis de la velocidad (Galbraith, 1994).

El tamaño del *bin*, Δx y Δy , se calcula para satisfacer requisitos laterales de la resolución. Para un reflector plano, la longitud del *bin* Δx , puede ser el radio de la zona de Fresnel o más grande, para un reflector:

$$\Delta X = V_{rms} / (4 \times f_{max} \times \sin \theta) \quad (\text{ecuación. 3.22})$$

Donde V_{rms} es el promedio de velocidades del objetivo, f_{max} es la frecuencia máxima requerida para resolver el objetivo, y \square es la profundidad de la estructura. Normalmente $\Delta x = \Delta y$.

DISEÑOS DE GEOMETRIAS SOBRE EL PUNTO MEDIO EN COMÚN (CMP) EN SÍSMICA 3-D TERRESTRE

Galbraith (1994) describe geometrías de adquisición sísmica *3-D*. Cada geometría tiene sus ventajas y desventajas: la calidad de los datos obtenidos, distribución estructural, acimut y del *offset*. Estas se modifican continuamente para alcanzar la mejor proyección de imagen a un costo razonable. Las siguientes son geometrías que se han desarrollado en respuesta a un diseño óptimo sobre el *CMP*.

Geometría línea recta

La geometría línea recta tiene un patrón de rejilla ortogonal de las líneas fuentes y las líneas receptoras. Las fuentes activas en una línea fuente se encuentran ubicadas entre dos líneas receptoras y se encienden secuencialmente. El *patch* entonces se rueda hacia delante repitiéndose el proceso hasta terminar la línea fuente. La ventaja a este diseño es que permite movimientos sencillos y una logística de campo simple.

Geometría Swath

En la geometría Swath, los disparos activos se encuentran ubicados entre varias líneas receptoras. El *patch* entonces se rueda hacia adelante para que el proceso continúe. Esta técnica de adquisición presenta algunas ventajas sobre otras geometrías y también algunas limitaciones. Entre las ventajas podemos encontrar; cobertura uniforme, una distribución regular en los *offset* y una distribución regular del los acimut en cada *bin*.

Geometría Pared de Ladrillos

El patrón del ladrillo fue desarrollado como una tentativa para mejorar la distribución de *offset* de los métodos ortogonales. En esta geometría las líneas de los puntos de disparos no son continuas, los receptores adyacentes se colocan escalonados, dando por resultado un patrón en forma de ladrillo. Con esta geometría se logra una mayor uniformidad en la cobertura y se reduce el *Xmin*. El tener un valor bajo para el *Xmin* significa que los acontecimientos que se encuentran a baja profundidad se reflejan mejor, sin embargo, requiere una mayor facilidad de acceso al terreno para su colocación, que no es siempre posible especialmente en áreas montañosas.

Geometría Patrón de botón (Button Patch)

Este método fue desarrollado y patentado por ARCO y se ha utilizado en muchos estudios ARCO 3-D. Cada botón contiene un patrón de receptores, típicamente 6 x 6,

6 x 8, o 8 x 8. La geometría del botón es determinada en gran parte por consideración del equipo y las restricciones del cable de conexión de los receptores. Varios botones se combinan en un patrón de tablero de damas para formar el *patch*. Múltiples puntos de fuentes se encienden en el *patch* de una manera exacta. El *patch* entonces se rueda a su localización siguiente, entonces un patrón similar de puntos fuentes se enciende en el nuevo *patch*. El repetir los puntos de la fuente para diversos botones proporcionar una mejora en la estática, mientras que los puntos escalonados de la fuente entre las localizaciones anteriores ofrecen una mejor distribución del punto medio. Con frecuencia, los botones del receptor y las localizaciones de los puntos de las fuentes se distribuyen de una forma irregular debido a obstrucciones superficiales.

Es necesaria gran capacidad de canales para reducir al mínimo los movimientos de los receptores. Los equipos de disparo, o los vibradores, deben viajar alrededor del *patch* para cada nueva disposición de receptores. Si están disponibles un número suficiente de receptores, entonces en el uso de esta geometría se puede eliminar los movimientos innecesarios de los equipos de disparo o de los vibradores.

No ortogonal (Diagonal)

El patrón de disparo diagonal es a menudo realizado con un ángulo de 45 grados entre las líneas receptoras y las líneas de disparo. Este tipo de diseño es usado para obtener los beneficios de las distribuciones de *offset* del ladrillo sin algunas de sus desventajas, tales como las líneas fuentes no continuas y los movimientos de 90 grados, asimismo es operacionalmente atractivo debido al patrón de fuentes y receptores (Musser, Bremner, Crews y Henderson, 1989).

Las líneas fuentes pueden ser continuas permitiendo una fácil adquisición, pero la longitud total de las líneas de disparo y el intervalo de disparo entre las líneas de disparo, son mayores que para el patrón ladrillo y ortogonal. La ventaja que se logra con este tipo de patrón es la reducción del máximo *offset* cercano y el suavizado de la distribución de *offset* cercano. En muchos casos, el diseño diagonal permite al

diseñador reducir la densidad de puntos de disparo, mantener la distribución de *offset* y compararla con la de los otros diseños considerados (Corsen y Price, 1995).

Geometría Zig-zag

La geometría zigzag es una variación de la geometría del ladrillo. Las fuentes individuales se escalonan entre las líneas de receptores, dando por resultado los patrones angulosos de disparo. Las posiciones de los puntos fuentes se deben situar en una rejilla para crear puntos medios centrales. Como en la geometría de línea recta, esta geometría requiere movimientos eficientes del equipo, por consiguiente requiere un área de grabación con áreas donde el equipo se puede mover fácilmente en cualquier dirección por esa razón esta geometría es popular en áreas desérticas.

FACTORES A TOMAR EN CONSIDERACIÓN EN EL DISEÑO DE UN ESTUDIO SÍSMICO 3-D

Factores Geofísicos

Cobertura adecuada

Normalmente la relación señal ruido se puede especificar antes de un diseño 3-D. Esto se basa en las necesidades del intérprete de identificar los tiempos de la estructura y las anomalías en la amplitud, que pueden ayudar a identificar la presencia (o la ausencia) de hidrocarburos. Cuando no se sabe nada sobre el área, una regla útil es tomar $S/N = 4$ (Cordsen, 2004). Cualquier nivel inferior en un apilamiento migrado significará que el intérprete tendrá dificultades en identificar zonas potenciales. Cualquier nivel más alto se puede observar como anomalía agregada. La relación S/N da informaciones típicas del área y se puede establecer al principio de la adquisición.

Frecuencia de la señal en el objetivo

Si el *VSP* está disponible, pueden ser utilizados para determinar la atenuación (factor de *Q*). De lo contrario, una aproximación se debe hacer de los modelos geológicos por las características de las rocas. En zonas carbonatadas los valores de *Q* son de 300 o más. En áreas donde los sedimentos se depositaron rápidamente (golfo de México, partes de Indonesia), los valores de *Q* son alrededor 200 o menores.

Resolución

La resolución es una cualidad en el subsuelo. Depende básicamente de la velocidad y de la frecuencia. Una vez que la resolución disponible se calcule, el diseñador *3-D* tiene la opción: de hacer el *bin* igual a la resolución horizontal y por lo tanto hacer el estudio bajo la más alta resolución que sea posible o hacer que el *bin* sea menor que la resolución disponible y por lo tanto desechar la información en el campo de onda, que describe los detalles más finos de la superficie del objetivo. Seleccionar un tamaño más pequeño que el *bin* requerido no provee ninguna información adicional.

Apertura de migración

Cada disparo crea un campo de onda de los recorridos en el subsuelo y se reflejan hacia arriba para ser registrados en superficie. Cada traza se debe grabar con un intervalo de tiempo que permita capturar las reflexiones de interés en el subsuelo sin importar el *offset*. También, el estudio debe capturar todas las reflexiones de interés dentro del área (apertura de la migración). Para las áreas de geología complejas, este paso puede requerir un modelaje *3-D*. Por tales medios, puede ser determinado el grado de iluminación en cualquier objetivo elegido.

Geometría espacial de la grabación

Debido a que en la sísmica se miden los campos de onda en una manera espacial (creada en las posiciones del disparo y registrada en las posiciones del receptor), se

debe asegurar una continuidad espacial, ya que se desea reproducir estos campos de onda en toda su complejidad, para todas las longitudes de onda mayores que el Nyquist espacial (aliasig). Con esta condición de la continuidad espacial se satisface que el campo de onda será registrado correctamente y el mismo se puede utilizar para reconstruir los reflectores en el subsuelo, con un grado de exactitud igual a la longitud de onda de Nyquist. Esto significa que no importa que tan compleja sea la superficie. De calcular las medidas superficiales correctamente podemos reproducir cada arruga del objetivo en el subsuelo, siempre y cuando tengamos una continuidad espacial.

Los disparos y los receptores se presentan en una cierta forma de rejilla ortogonal. El intervalo de muestreo a lo largo la dirección de tiro y del receptor determina la longitud de onda espacial de Nyquist. Cualquier desviación del espaciado afecta la continuidad espacial. Así, por ejemplo, suprimir un tiro introduce una rotura en la continuidad espacial. Esto se manifestará en la sección migrada final como un efecto del "borde" que da lugar a ruido. Se debe prestar atención en preservar la continuidad espacial. Así donde se encuentran los obstáculos, las líneas (disparo o receptor) se deben mover suavemente alrededor de ellos. Cualquier cambio repentino en la dirección se convertirá en ruido agregado en la migración.

Multiplicidad de trayectorias de rayo

Los campos de la onda pueden viajar a través del subsuelo de maneras muy complejas. Es posible que algunas áreas del subsuelo se iluminen solamente por las porciones de los campos de la onda que viajan grandes distancias desde la fuente al receptor. Por esto algunas zonas del subsuelo no pueden ser iluminadas correctamente como otras. Para resolver este problema el diseñador 3-D debe procurar que cada zona de interés en el subsuelo reciba la mejor iluminación posible.

Algunas trayectorias de rayos en áreas de geología complejas pueden ser molestas y no se pueden tratar por ninguna rutina de procesamiento sísmico normal

(NMO, PSTM, PSDM, etc.). No obstante el gather sísmico contendrá tal energía reflejada que aparecerá como ruido después del procesamiento.

Offset adecuado (máximo y mínimo)

La distribución regular de las distancias fuentes receptores en cada *bin* implica que se dispone en un caso ideal de un rango de distancias cortas y largas en una distribución idealmente lineal y uniforme. Los rastros del *offset* se utilizan con dos propósitos fundamentales, primero, para ayudar en la determinación de las velocidades en el subsuelo, esto debido a que la energía de un *offset* grande tiene una trayectoria más larga que la de un *offset* cercano. Se puede examinar las imágenes migradas apiladas (PSTM o PSDM) que se han creado usando diversas velocidades. La imagen que mejor se enfoque indicara que las velocidades que se están tomando son las correctas y en segundo lugar se puede realizar un mejor análisis de AVO.

Factores físicos

El diseñador de un estudio sísmico 3-D hace el mejor trabajo posible para evitar la introducción de cualquier discontinuidad espacial al diseño básico debido a las limitaciones impuestas por la topografía. Las limitaciones físicas impondrán claramente efectos en la continuidad espacial. Los impactos de esos factores deben ser reducidos al mínimo para que sea entregada la mejor imagen posible.

Factores a tomar en consideración debido al procesamiento de los datos

Remoción del ruido (huellas de adquisición, múltiples)

Los retrasos en tiempo de los recorridos causados por anomalías superficiales cercanas pueden ser una fuente del ruido. Una regla útil es que el tiempo de grabación debe ser lo suficientemente grande para superar cualquier anomalía estática prevista. Si una anomalía estática superficial cercana es más grande que el tiempo de la grabación será virtualmente imposible quitarlo con procesos convencionales

Factores a tomar en consideración debido al costo del proyecto:

El factor económico desempeña un papel importante en un estudio 3-D. El equipo explorador debe probar a la gerencia que un grid denso de datos geofísicos proporciona ventajas económicas significativas, trayendo como consecuencia la reducción del número de pozos secos. Hoy en día existe la tendencia de utilizar la tecnología 3-D, incluso en un ambiente puramente exploratorio.

Si los costos de un estudio sísmico 3-D son demasiado altos, los diseñadores pueden estar sobredimensionando el grado regional u otras especificaciones técnicas. Por el contrario si los costos son muy bajos debido a restricciones técnicas se puede obtener una resolución pobre y no lograr los objetivos propuestos. El potencial de una perspectiva y su riesgo asociado debe justificar el costo de un examen sísmico 3-D. Lo que hace a un estudio 3-D ser económico y que produzca resultados que sobrepasen las metas iniciales, es la selección de una geometría óptima para el objetivo seleccionado.

TRAZADO DE RAYOS SÍSMICO

El modelado se utiliza para simular la exploración sísmica del mundo verdadero en un ambiente del laboratorio (Rana y Sekharan, 1990). El método de modelado ha sido utilizado por muchos geofísicos para investigar la propagación acústica con una variedad de modelos geológicos (Zimmerman, 1991). La combinación del modelado estructural 3-D y de modelar una simulación con trazado de rayo 3-D proporciona una herramienta esencial para el diseño de la adquisición sísmica en áreas de geología compleja. Con este procedimiento se puede elegir el diseño que proporcione la proyección de imagen de los datos sísmicos que se puede entender mejor por análisis previo de un modelo, para asegurar que se registren *offset* adecuados y la orientación óptima del estudio.

El modelado 3-D se ha utilizado para estudiar situaciones geológicas donde es de importancia los cambios estratigráficos perpendiculares al perfil sísmico (Pant et al., 1988). Existen estudios de modelado sísmicos como los de Hilterman (1970), que investigó la reflexión y la difracción de las ondas sísmicas en anticlinales y fallas y French (1974) que examinó perfiles sísmicos de modelos 2-D y 3-D

El trazado de rayos sísmicos es una técnica de modelado usada para la simulación de la propagación de ondas sísmicas en los modelos tridimensionales del subsuelo, esta permite predecir o determinar los tiempos de llegada de las ondas a los receptores usando las trayectorias de los rayos. El trazado de rayo requiere un modelo de velocidades y asume que los rayos se comporten según la ley de Snell. El trazado de rayo proporciona los tiempos de viaje que se requieren para la aplicación de la migración de Kirchhoff.

Para realizar esta técnica es esencial utilizar los métodos numéricos convenientes, para la solución de ecuaciones diferenciales ordinarias. Entre las condiciones que influyen su eficacia están

- La complejidad del medio.
- El tipo de ecuaciones diferenciales a resolver.

El sistema de ecuaciones diferenciales considerado son las ecuaciones cinemáticas del rayo, donde los tres componentes de los vectores de posición y de la lentitud constituyen las variables dependientes. El tiempo del recorrido es seleccionado como la variable independiente. Las simulaciones de trazado de rayos fueron realizadas en modelos de reflectores horizontales 3-D isotrópicos. Un sistema para el análisis del error fue desarrollado, donde el error en la posición del rayo se puede obtener opcionalmente.

PROCESAMIENTO DE DATOS

Introducción

Los registros sísmicos obtenidos en el campo requieren ser procesados siguiendo ciertos modelos y criterios para poder utilizarlos en la interpretación. El procesamiento de datos sísmicos constituye un proceso complejo que involucra el reordenamiento de los datos, una serie de correlaciones filtros y correcciones. Se realiza en centros especiales de procesamiento mediante el uso de computadoras de gran capacidad de manejo de datos.

Etapas en el procesamiento de datos sísmicos

El procesamiento de datos no tiene una secuencia única que pueda aplicarse a todos los datos sísmicos en forma estándar. De manera general y simplificada, se puede decidir que las etapas de procesamiento son: preprocesamiento, deconvolución, ordenamiento de trazas, corrección normal move out (*NMO*), apilamiento, análisis espectral, filtros y migración.

Procesamiento

El preprocesamiento se divide en cuatro subetapas que son: reformato, edición, recuperación de amplitud (ganancia), blanqueo o muting, definición geométrica, ordenamiento y corrección estática.

- Reformato: El computador lee los datos grabados en cinta, bajo un formato de campo y los reordena para construir nuevamente cada traza.
- Edición: El analista de datos elimina aquellas trazas del registro de campo que presentan una respuesta incoherente o no aportan información.

- Recuperación de amplitud: La onda sísmica en su viaje por el interior del subsuelo, pierde energía por efecto de absorción de la tierra, fricción y amortiguamiento; esta energía debe ser devuelta a la traza durante el procesamiento.
- Blanqueo o muting: Una porción de las trazas (primeras llegadas, refracciones y ruido superficial) son blanqueadas, es decir, sus valores de amplitud son anulados.
- Definición geométrica: Los datos relacionados con la ejecución del levantamiento en campo se introducen en el computador, identificando las posiciones o coordenadas de los puntos de tiro y sus receptores, y su relación lógica.
- Corrección estática: Los cambios en el espesor, elevación y velocidad de propagación de la capa meteorizada causan cambios relativos en los tiempos de arribo de las reflexiones sísmicas. La corrección estática compensa estas variaciones mediante un desplazamiento en tiempo de las trazas sísmicas, ajustándolas a un mismo nivel de referencia.

Deconvolución.

Las señales que se registran en la exploración sísmica del subsuelo llevan información relativa a las distintas capas del perfil geológico de la zona en cuestión. Esta información está representada por la traza sísmica constituida por la señal de excitación o fuente superpuesta a versiones reflejadas de ella misma ("rebotes"), además de encontrarse a menudo sumergida en ruido. Para separar la información del perfil geológico se realiza la deconvolución de la traza sísmica, obteniéndose datos claros acerca de la distancia entre las capas que lo constituyen.

Ordenamiento de las trazas.

Los datos de campo se registran en función de los puntos de tiro y receptores; cada punto medido entre la fuente y el receptor está asociado con varios pares de fuentes y receptores. En el ordenamiento se identifican los pares fuentes y receptores que

conforman un punto común de reflexión (*CDP*) y se ordenan sus trazas en función de ese punto.

Corrección NMO

La corrección *NMO* consiste en quitar el efecto de la geometría del sistema de fuente y el receptor, es decir, transformar los datos del dominio del registro a otro donde se supone que "fuente – receptor y punto de reflexión" pertenecen a la misma vertical, tal como aproximadamente ocurre en un *VSP*. El efecto de la distancia entre la fuente y el receptor se genera en el conjunto de trazas que provienen del mismo *CDP*, con forma hiperbólica conocido como sobrecorrimiento normal. En el procesamiento de datos sísmicos se corrige el efecto *NMO* horizontalizando las reflexiones, mediante funciones de velocidad, que se rigen por la ecuación hiperbólica.

Apilamiento

El apilamiento consiste en sumar las trazas pertenecientes a un mismo punto común de reflexión, una vez corregido por *NMO*. Como resultado, se produce una sola traza denominada traza apilada, que mejora la relación señal/ruido, este proceso reduce el ruido en los datos. Para apilar los datos, primero se aplica la corrección por *NMO* para alinear la energía de las reflexiones. Luego las trazas se suman horizontalmente para producir una sola traza. La energía de la reflexión en el rastro apilado aproxima la energía de la reflexión que sería registrada si la fuente y el receptor estuviesen situados en el mismo punto en superficie. El proceso de apilamiento del *CDP* no es perfecto y una cierta energía perteneciente a los múltiples aparecerá en la traza apilada.

Análisis espectral y filtro

Consiste en analizar y discriminar la señal sísmica en sus componentes de frecuencia (transformada de Fourier), identificando lo que es señal y lo que es ruido con la finalidad de filtrar este último.

Migración

El proceso de migración corrige las difracciones producidas por las estructuras geológicas en la sección sísmica. Este proceso es el más complejo dentro de la cadena del procesamiento de datos sísmicos. La experiencia desarrollada en el procesamiento de datos ha permitido generar diferentes algoritmos de migración, cuya aplicación se decide teniendo en cuenta las características geológicas de la zona estudiada.

Resultado

El resultado final del procesamiento de datos sísmicos es una sección sísmica o volumen, donde se trate de presentar, con el menor grado de incertidumbre posible, la sección geológica estudiada. El procesamiento de datos sísmicos provenientes de un levantamiento *3-D* es más complejo y detallado que el *2-D*, debido al volumen de información involucrada y a los modelos inherentes a su procesamiento, por lo que el volumen sísmico *3-D* resultante es de mejor calidad y corrige parcialmente el efecto de reflexiones fuera del plano en áreas complejas. Adicionalmente, el procesamiento de los datos sísmicos *3-D* genera un volumen tridimensional de datos sísmicos con una alta densidad de información.

CAPITULO IV

METODOLOGÍA

DISEÑO DE LA GEOMETRÍA DE ADQUISICIÓN SÍSMICA 3-D

La meta de un levantamiento sísmico es iluminar las formaciones geológicas del subsuelo que pueden poseer acumulaciones de hidrocarburos. Los levantamientos convencionales cuentan con el supuesto de que una cobertura uniforme de puntos medios produce una iluminación uniforme en el mismo. Para la realización de los diseños y el posterior estudio de las geometrías de adquisición sísmica 3-D se cumplió con las etapas que se muestran a continuación:

Parámetros físicos

Las geometrías de adquisición sísmica 3-D se diseñaron para iluminar de forma óptima un objetivo geológico ubicado a 3.600 m. de profundidad. La información obtenida de las propiedades físicas fueron tomadas de los resultados de un estudio sísmico 3-D realizado anteriormente en una zona con geología compleja.

Tamaño del bin

En el proyecto sísmico mencionado anteriormente, se tomaron en cuenta los valores del buzamiento, la frecuencia máxima y las velocidades de los estratos y utilizando la ecuación 3.22 se seleccionó un *bin* de tamaño 25 m x 25 m, Galbraith (2002) utilizó un *bin* de las mismas dimensiones para un modelo geológico complejo con características similares. Es por estas razones que se seleccionó estas dimensiones para el diseño de las geometrías de adquisición sísmica 3-D a ser estudiadas.

Longitud de las líneas

La selección de las longitudes de las líneas receptoras y disparo dentro del *patch* para cada una de las geometrías de adquisición sísmica se establecieron tomando en cuenta

que las áreas totales de los *patches* fuesen iguales, para así obtener igual cobertura en cada uno de las geotermias propuestas y buscando que la diagonal del *patch* se acerque lo más posible a la profundidad del objetivo geológico.

Número de elementos por línea

Una vez establecida la longitud de las líneas receptoras para cada geometría de adquisición sísmica y las dimensiones del *bin*, se calcula el número de elementos por línea el cual varía dependiendo del número de líneas. El número de elementos por línea no es más que la dimensión de la línea dividido entre el doble de la dimensión del *bin*.

Cobertura

La relación *S/N* que se desea alcanzar para optimizar la etapa de procesamiento e interpretación condiciona la cobertura. Sin embargo, se tiene que tener en cuenta los factores económicos que condicionan el número de fuentes y de receptores, los cuales contribuyen con la cobertura. Para establecer el valor de la cobertura se toman como guía los requerimientos del departamento de procesamiento de datos y requerimientos típicos del departamento de exploración, que para el presente trabajo fue de una cobertura uniforme de 36.

Cobertura Inline

Para un diseño ortogonal, la cobertura *inline* se define por la fórmula 3.10, a continuación se describe el cálculo para el diseño con *patch* rectangular de la geometría Línea Recta:

Intervalo entre receptores = Intervalo entre fuentes = 50 m

Intervalo entre líneas receptoras = Intervalo entre líneas fuentes 400 m

Longitud de las líneas receptoras 7.200 m

Por la Ecuación 3.11

$$\text{Avance por estación receptora} = 144 \text{ m} / 50 \text{ m} = 9$$

Por la fórmula 3.10

$$\text{Cobertura inline} = \frac{\# \text{ de canales por línea receptora}}{2 \times \text{Avance por estación receptora}} = \frac{144}{2 \times 9} = 9$$

Cobertura Crossline

Este cálculo es semejante al de la cobertura *inline*, lo que cambia es que en vez de realizar los cálculos en la dirección de las líneas de receptores se realiza en la dirección de las líneas fuentes, una forma más simple este puede ser calculado por la Ecuación 3.12, a continuación se describe el cálculo para el diseño con *patch* rectangular de la geometría Línea Recta:

$$\text{Cobertura crossline} = \frac{\text{Número de fuentes por patch}}{2} = \frac{8}{2} = 4$$

SELECCIÓN DE LAS GEOMETRÍAS 3-D

Una vez evaluados los parámetros de adquisición se procede a construir los posibles diseños. Los diseños fueron realizados con ayuda de un programa de modelado de geometrías de adquisición sísmica MESA versión 8.12 desarrollado por la compañía Green Mountain Geophysics. Los programas de modelado de geometrías de adquisición sísmica tienen en la actualidad una contribución significativa ya que permite lograr una cobertura uniforme, así como una buena distribución de *offsets* y *acimuts*.

Las geometrías fueron diseñadas de la siguiente forma: primero fueron creado los *patches* y luego estos se distribuyeron de forma tal que las fuentes y receptores estuviesen contenidos en una superficie de 8.000 m por 5.000 m. Esta es una forma

de realizar los estudios en el programa MESA por el cual se evita simular los disparos del levantamiento.

Los diseños de las distintas geometrías poseen una dimensión aproximada de 40 Km² con el objetivo de facilitar la técnica de modelado por trazado de rayos y en la realización de estos se busco por un lado fuesen relativamente sencillos y económicos desde el punto de vista operacional y por otro lado se buscaron geometrías que produjeran una distribución áreal de acimut, es decir, una distribución amplia de acimut, atenuación de múltiples y un muestreo direccional mucho más uniforme en el subsuelo.

En el diseño de las distintas geometrías 3-D para el análisis, es importante el evitar sumar variables, así que los parámetros principales deben ser iguales o lo más parecidos posibles. En otras palabras las geometrías tendrán:

- Igual distancia entre líneas receptoras y líneas fuentes.
- *Patches* con igual área
- Igual cobertura máxima constante.
- *Offset* máximo similar.

La geometría del *patch* se debe seleccionar en función de los objetivos que se persiguen con el estudio sísmico, los *patches* rectangulares garantizan un muestreo regular de *offsets* y acimuts, lo que resulta beneficioso en el caso de existir variaciones laterales de velocidades, si se pretende realizar migración pre apilamiento o análisis de *AVO* en la etapa de procesamiento. Para el caso en el que el estudio busque conocer las direcciones de las estructuras se recomienda un *patch* cuadrado. Por otra parte los *patches* no ortogonales se utilizan para la atenuación de ruidos (Rivero, 2000).

ANÁLISIS DE ATRIBUTOS

Según Cordsen (2004) para obtener el resultado óptimo de un estudio sísmico 3-D es necesario realizar análisis de los histogramas de *offsets*, *offsets* mínimos, *offsets* medianos, *offsets* altos y del acimut por el diagrama de patas de araña. Considerar la distribución de estos atributos es de suma importancia para un estudio 3-D óptimo. La distribución de *offset* en un *bin* es afectado por la cobertura. Una baja cobertura dará una muy pobre distribución de *offset*, mientras que el incremento de la cobertura mejorara la distribución de los mismos. Se debe intentar obtener una distribución uniforme de *offset* cercanos, medios y lejanos, de manera de facilitar los cálculos de las velocidades para la corrección de *NMO* y para obtener un mejor apilamiento.

Según Galbraith 2002 la distribución de acimut y *offsets* de las trazas en un *CMP* desempeña un papel crítico para determinar la eficacia de la reducción de múltiples y otros ruidos. Así los componentes ruidosos de los datos registrados varían de un *bin* a otro, según su distribución del *offset*. El tener agujeros en la distribución de *offset* traerá como consecuencia la aparición de huellas de adquisición debido a que estas distribuciones no uniformes apilan ruidos lineales o múltiples.

En este caso se realizaran los estudios de análisis:

- Histogramas de *offset*: es un histograma en donde el eje x corresponde a la dirección *inline* del *bin*. La escala se extiende desde el *offset* cero que se ubica sobre el borde izquierdo del *bin* hasta contemplar el *offset* máximo en el borde derecho del *bin*. El eje y las líneas representan los *offset* entonces, las líneas más largas representan trazas con *offset* más largos. Los huecos en el histograma reflejan una distribución de *offsets* discontinua.
- Diagrama de patas de araña: es un diagrama que muestra a una araña en cada *bin*, en el cual cada punto medio es representado por una pata de la araña. La dirección de esta representa el acimut del punto medio de la fuente hacia el receptor.

Los acimut van desde 0 grados (en la parte superior de la pantalla) hasta 360 grados. La longitud relativa de las patas de la araña representa la distancia de *offset* en el punto medio.

- El diagrama de rosa: es un diagrama que muestra una grafica polar de los *offsets* contra acimuts. Cada cuadro en el diagrama representa el número de trazas en un *offset* dado y su variedad de acimuts. Cada círculo concéntrico representa una variedad de *offset*. La variedad de acimuts son marcadas por líneas radiales, avanzando desde 0 grados hasta 359 grados.

ESTUDIO DE MULTIPLES Y HUELLAS DE ADQUISICIÓN

Para investigar los efectos de los factores claves que pudiesen generar múltiples y ruido lineal. Se generan datos sintéticos con niveles de ruido de entrada conocidos, con lo cual se puede establecer el nivel del ruido de salida, para cada una de las geometrías 3-D. De ahí, puede ser adjudicada el nivel de atenuación de ruido a cada uno de los parámetros físicos que posee las geometrías 3-D estudiadas.

ELABORACIÓN DE LOS ARCHIVOS DE EXPORTACIÓN DE LA GEOMETRÍA

Las geometrías serán exportadas a través de archivos SPS (Shell Processing Support) opción que ofrece el MESA 8.12 como un medio exportar la información del diseño en formato ASCII, el programa genera tres archivos: Los archivos con información acerca de los receptores (*.rps), de las fuentes (*.sps) los cuales contienen las coordenadas geográficas de todos los puntos geofísicos (puntos o estaciones de receptores y puntos de fuentes), y los archivos de relación (*.xps) que muestran la relación entre los grupos de receptor y los puntos de fuentes.

Este formato es un estándar para la transferencia de datos sísmicos 3-D terrestre de los equipos de campo a los centros de procesamiento de datos sísmicos, este también puede usarse en los estudios sísmicos 2-D terrestres.

MODELADO 3-D POR TRAZADO DE RAYOS SÍSMICOS

Con el avance tecnológico de los últimos años se ha aumentado la capacidad y rapidez de las estaciones de trabajo y por consiguiente el modelado sísmico 3-D ha tomado importancia en la industria petrolera. Gracias a todos estos avances se ha logrado incrementar su utilidad en la comprensión de las estructuras geológicas complejas.

La principal desventaja del modelado sísmico 3-D es el tiempo de cómputo necesario para obtener los datos sintéticos, especialmente si se poseen estructuras geológicas complejas. Sin embargo Fagin (1992) expresa que este tipo de modelado permite resolver eficientemente problemas de estructuras complejas y de ahí la gran importancia del uso de esta herramienta.

Para realizar el trazado de rayos se utilizó el programa Mesa Grip versión 3.2 perteneciente a la compañía Green Mountain Geophysics. De esta manera se obtuvieron los *shot gather*, diagnóstico de cobertura de punto común de reflexión (*CRP*), diagnóstico de doble tiempo de viaje y los archivos SEG-Y, para las distintas geometrías de adquisición, utilizando un modelo simple de tres capas planas sin introducirle ningún tipo de ruido aleatorio o lineal.

La opción del programa empleado en este estudio es la del trazado de rayo de dos puntos (camino mínimo), el cual busca el mínimo recorrido del rayo entre la distancia fuente receptor. Este solo calcula el primer arribo por cada receptor, sin embargo existen otros algoritmos de trazado de rayos tal como el que calcula todos los arribos que llegan a un receptor dado, el cual simula de manera más exacta los datos sísmicos grabados. En el primer caso es subestimada la capacidad de iluminación de un levantamiento propuesto, mientras que en el segundo la contribución de los eventos en la imagen final migrada puede ser subestimada.

El tipo de trazado de rayos que fue empleado fue el de *offset* para las ondas primarias. Los resultados de su aplicación fueron empleados en la generación de los diagnósticos de adquisición sísmica por trazado de rayos. Los objetivos fueron los reflectores planos ubicados a una profundidad somera, media y profunda. La simulación de la energía de propagación para cada par fuente receptor para reflexiones de las ondas P, a partir de todos los horizontes presentes en un modelo geológico complejo requiere de cientos de miles de patrones de rayo.

PASOS PARA GENERAR LOS ARCHIVOS SEG-Y

El programa Mesa Grip esta compuesto de una serie de subrutinas las cuales se describen a continuación en el orden en que fueron aplicadas a cada una de las geometrías de adquisición, con el fin de generar los archivos que permitirán exportar los *shot gathers* sintéticos al programa de procesamiento de datos sísmicos:

Administrador de archivos

La subrutina de administrador de archivos controla todos los proyectos dentro del Mesa Grip, y guarda la pista de la ubicación de los archivos (incluso revisiones, modelos, etc.) que pertenecen a un proyecto. El Mesa Grip sólo trabaja dentro de un proyecto específico. Por lo tanto sólo los objetos que son adjudicados a un proyecto estarán disponibles durante una sesión en la cual el proyecto esta activo. Se generó un proyecto para cada geometría exportando el modelo en donde se almacena el modelo geológico en cada uno, esto debido a que los archivos generados ocupan mucha memoria en el disco fijo.

Importación de las geometrías de adquisición sísmica

La función principal de la subrutina Importador de Geometría es importar la geometría de adquisición sísmica *3-D* del programa MESA 8.12 a la base de datos del proyecto en MESA Grip 3.2, para su posterior análisis. Una limitación del programa

es que asume una superficie plana en superficie pero crear un modelo superficial para dar al usuario un mejor entendimiento de como la energía se propaga por el subsuelo.

Elaboración del modelo geológico

La subrutina Constructor de Modelo permite la construcción de un modelo geológico en 3-D. Para esto primero se define el espacio del modelo, luego se definen los cortes transversales dentro del espacio del modelo, en estos cortes transversales se deben definir los horizontes (o rasgos geológicos), una vez que estos son definidos, el modelo se amplía en toda el área a modelar, por último se le adjudican las velocidades a los horizontes. El modelo geológico utilizado en el presente estudio consiste en 3 capas planas distanciadas 1.200 m.

Trazado de rayo por frente de onda

Una vez fijadas las variables apropiadas, el trazador de rayo proporciona las opciones para abrir un proyecto y especificar el tipo de los rayos que se trazaran por horizonte o por blanco dentro de un modelo específico. El trazado de rayo se puede realizar con múltiples objetivos o un solo objetivo, en el presente trabajo el estudio esta limitado a las ondas no transformadas PP y el trazado de rayos se realizó objetivo por objetivo con la finalidad de generar los diagnósticos en cada una de las superficies en el modelo.

Dentro del módulo del trazado de rayo, los pasos básicos para realizar el trazado del rayo se pueden describir como sigue:

- Fijar los parámetros.
- Seleccionar el modelo geológico.
- Se define el objetivo geológico.
- Seleccionar el archivo de salida de la base de datos.

- Dar parámetros los parámetros del trazado de rayos.
- Seleccionar la interfase.
- Ejecutar el trazo de rayo.

Diagnósticos basados en el estudio del objetivo geológico

El propósito principal del módulo del diagnóstico es definir un blanco o múltiples blancos y asignar un diagnóstico a calcular. Este módulo requiere de varios pasos para realizar los diagnósticos y el uso posterior del visualizador. Dentro del módulo del diagnóstico, los pasos básicos para generar el diagnóstico para un modelo son:

- Seleccionar un proyecto
- Elegir el archivo creado por el trazador de rayos.
- Seleccionar del diagnóstico disponible o el diagnóstico a calcular.
- Seleccionar o crear una blanco geológico para.
- Generar el diagnóstico.
- Visualizar él diagnóstico.

Los diagnósticos seleccionados en el presente trabajo fueron tomados de la lista de diagnóstico disponible para las ondas no convertidas PP y se describen a continuación:

Tiempo del recorrido doble: El programa soluciona y exhibe la solución del tiempo mínimo del recorrido para cada *CMP bin*. Este diagnóstico permitirá obtener el tiempo de viaje más representativo para cada interfase.

Cobertura del *CRP*: también llamado mapa de iluminación es uno de los productos más importantes del análisis de trazado de rayos *3-D*, ya que resulta familiar el tratar con figuras con zonas sombreadas. Éste mapa toma en cuenta de todos los puntos de la reflexión del rayo sísmico en un *bin* ubicado en el objetivo geológico seleccionado (el número de impactos sobre el horizonte por unidad espacial equivalente al tamaño del *bin* en superficie), tomando también en cuenta los que menos energía reciben.

Generador de archivos de trazas sísmicas sintéticas

Una de las etapas dentro del flujo de trabajo empleado para el trazado de rayo, es la generación de registros sintéticos. Este módulo se usa después realizar el trazado de rayo; su principal utilidad es generar trazas sintéticas a partir de la base de datos del trazador de rayos, información del modelo y de la geometría para generar trazas sintéticas, prediciendo así la iluminación sobre el objetivo propuesto y las posibles respuestas del subsuelo. Los sintéticos en el presente trabajo son generados con eventos de reflexión como la onda de aire y freno de refracción (refraction break). Éste es un proceso esta compuesto por dos ventanas: una con el mapa donde se representa las fuentes, los receptores y las zonas de exclusión de la geometría del diseño, y otra ventana que exhibe los *shot gather* para una fuente seleccionada.

Elaboración de los archivos SEG-Y

El generador de traza sintética se utiliza también para generar un archivo de exportación de los *shot gathers* en formato SEG-Y. Una vez que el generador de traza sintético haya sido abierto y se encuentre en uso, se puede generar con esta información un archivo en formato SEG-Y. También existe la opción dentro de esta subrutina para visualizar los archivos SEG-Y y así realizar un control de calidad a estos archivos. Para generar estos archivos se tienen que especificar el rango de los disparos para cada archivo, por el formato del disco fijo (FAT 32) y el gran tamaño de estos, se dividieron en 6 sesiones de disparos, con el fin de que cada uno de ellos

no sobrepase 2 GB, que es la capacidad máxima de archivos permitido por el formato.

PROCESAMIENTO DE DATOS SINTÉTICOS

La meta más básica del procesamiento sísmico descrito de manera simple es el aumento del cociente S/N . El ruido es simplemente señal del subsuelo que no es de interés. Otra meta básica del procesamiento es el aumento de la resolución, que es la capacidad de reconocer el objetivo. En el presente trabajo la meta es la de no eliminar el ruido de los datos sintéticos generados en un modelo geológico y esencialmente, reconocer el ruido generado por las geometrías de adquisición sísmica y la imagen 3-D final.

El procesamiento de los datos sísmicos sintéticos se realizó con el software de procesamiento FOCUS perteneciente a la compañía Paradigm Geophysical Ltd. El cual es un sistema de procesamiento basado en estaciones de trabajo que se combinan interactivamente. Tomando en cuenta la cantidad de geometrías a estudiar, se utilizó una metodología bastante detallada con la finalidad de aplicar el mismo procesamiento con igualdad de parámetros a cada una de las geometrías y así no sumar variables al estudio, para obtener los mejores resultados posibles en las imágenes tridimensionales.

Transformación de archivos en formato SEG-Y a formato focus

El primer paso en el procesamiento de datos sísmicos es la transformación de los archivos del formato SEG-Y al formato en que trabaja el FOCUS. En el flujograma representado en la Figura 4-1 se puede observar de manera esquemática la aplicación de los programas para realizar el cambio de formato y estos se describen a continuación:

GIN es un programa cuyos datos de entrada son las trazas sísmicas. Este puede leer archivos almacenados en disco en formato SEG-Y y también cualquier

formato de cinta. El programa requiere que se le indique el formato de los datos de entrada y para otros formatos que no se encuentren preestablecidos, el usuario tendrá que suministrar una descripción detallada del formato.

El DSOUT copia las trazas sísmicas en el disco de datos de Paradigma en formato PDS (formato utilizado por los programas de FOCUS). La salida de los datos requiere que sean 3-D y ordenado por CDP. Este programa tiene que ser usado en cada rutina que genere un archivo de salida que se quiera guardar en el disco de base de datos para ser utilizado posteriormente.

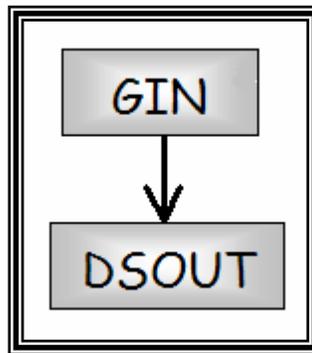


Figura 4-1: Esquema de aplicación de los programas para cambio de formato de los datos.

Carga de la geometría

Cada una de las geometrías propuesta tiene que ser cargada en FOCUS, estas geometrías fueron exportadas en archivos SPS generados en el programa MESA, la operación se realiza en rutina llamada SPREADSHEET, esta carga se realiza en un ambiente de hoja de cálculo, especificando en cada uno de los archivos las columnas en donde se encuentran los parámetros que necesita el programa. Este tiene la opción de mostrar gráficamente la geometría de adquisición y así realizar un control de calidad.

Carga de la geometría a las trazas.

Posterior a la carga de la geometría se tiene que asignar cada *shot gather* a la fuente que la género. En el flujograma representado en la Figura 4-2 se puede observar de manera esquemática la aplicación de los programas para realizar esta asignación. Posterior a la ejecución de esta rutina es de suma importancia hacer un control de calidad representando gráficamente los *shot gather* para observar si se realizo satisfactoriamente, una descripción simple de los programas se da a continuación:

El DSIN lee los datos del disco de Paradigma creados por el programa DSOUT. El PROSHOT es un programa que asigna la Geometría a los trace headers, este tiene acceso a la información de geometría almacenada en la base de datos y asigna esta información a cada uno de los disparos y receptores creando un archivo de salida.

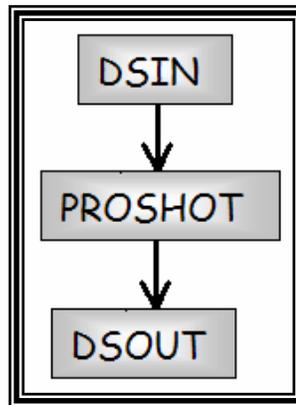


Figura 4-2: Esquema de aplicación de los programas para cargar la geometría a las trazas.

Análisis de velocidades

En el flujograma representado en la Figura 4-3 se puede observar de manera esquemática la aplicación de los programas para realizar esta el análisis de velocidades y estos se describen a continuación:

El control automático de ganancia (AGC, siglas en ingles) es un proceso en el cual la ganancia es ajustada automáticamente en función de un parámetro específico, como la amplitud media o el nivel de señal recibido. El AGC es comúnmente usado en el procesamiento sísmico para mejorar la visualización de los acontecimientos.

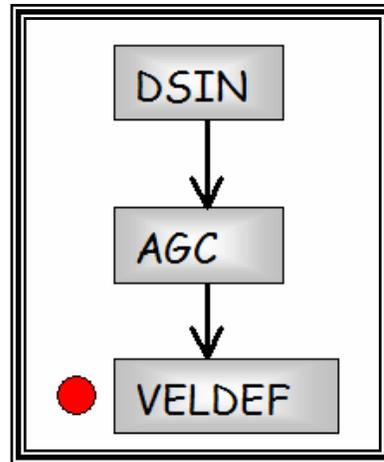


Figura 4-3: Esquema de aplicación de los programas para el análisis de velocidades.

Por su parte el VELDEF usa los datos del *CMP* con el fin de mejorar el procesamiento de los datos sísmicos. Existen procesos como la migración en tiempo o la migración de profundidad que requieren de un modelo de velocidades como datos de entrada y de aquí la importancia de tener un buen análisis de velocidades. El programa VELDEF permite generar un nuevo campo de velocidades o modificar uno existente. Al ser los datos sísmicos generados sintéticamente las velocidades son conocidas y es por esta razón que se le asignaron las velocidades del modelo con sus correspondientes profundidades a este programa como datos únicos.

Apilamiento

En el flujograma representado en la Figura 4-4 se puede observar de manera esquemática la aplicación de los programas para realizar el apilamiento y estos se describen a continuación:

ON3D es una directiva de interpolación tridimensional y se usa para activar el uso del modulo de interpolación tridimensional. *NMO* es el programa que realiza la corrección por moveout en un conjunto de rastros sísmicos, este programa requiere del cálculo de velocidades. Antes del correr el *NMO*, el usuario debe definir las funciones de velocidades, en tiempo dobles y velocidad rms y almacenarlos en la base de datos. El OFF3D es una directiva de interpolación tridimensional y se usa para desactivar el uso del modulo de interpolación tridimensional.

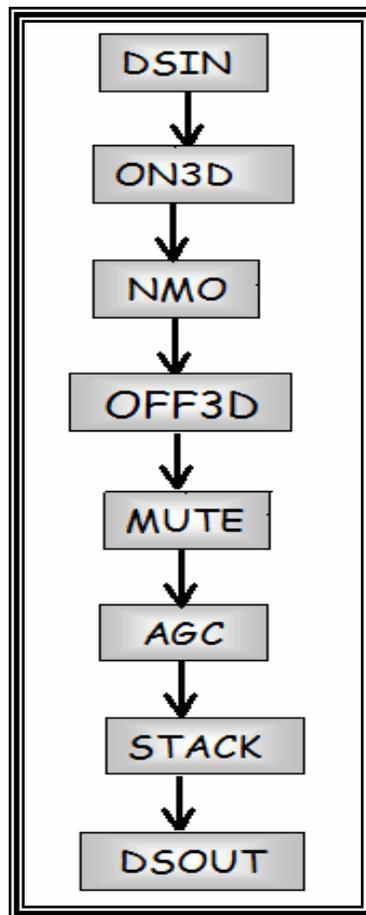


Figura 4-4: Esquema de aplicación de los programas para el apilamiento.

El MUTE realiza un corte sobre las trazas sísmicas, eliminando todas aquellas amplitudes cercanas a la superficie, la llegada de las ondas hertziana o los registros inaceptablemente ruidosos. Esto se realiza para asegurar que las partes inutilizables de cualquier traza sísmica dada no sean añadidas en el apilamiento. En nuestro caso él MUTE es usado principalmente para eliminar las primeras llegadas y las ondas de aire añadidos a los datos sintéticos. El STACK suma las trazas sísmicas algebraicamente, este es el método más eficaz de mejorar la relación S/N de la grabación de datos sísmica multicanal.

La proyección de imagen sísmica

La proyección de imagen sísmica es el método en donde se obtienen las imágenes usando los sismogramas como datos de entradas. Las imágenes son las representaciones bien definidas del subsuelo. Para elaborar los cubos 3-D se utilizó el programa Volumen Viewer de la familia FOCUS. El cual permite la representación en cubos con cortes transversales y horizontales en distintos modos gráficos de la suma de las amplitudes en cada estrato.

Para realizar los cortes en las superficies horizontales del cubo, se tomaron los tiempos obtenidos en él diagnóstico de tiempo de viaje descrito anteriormente y así estos serán los más representativos para cada horizonte.

INTERPRETACIÓN

La interpretación se realizo comparando los cortes horizontales generados en la sección anterior en el objetivo somero, intermedio y profundo con la finalidad de observar cual es la geometría es la que genera menor cantidad de ruido y una mejor imagen en el objetivo profundo que es para el cual se diseñaron los parámetros del diseño de adquisición.

MODELO GEOLOGICO COMPLEJO

El modelo geológico complejo fue suministrado por el departamento de exploración de PDVSA división Oriente, Por motivos de seguridad de la compañía no es posible exponer mayor detalle acerca del mismo, pero este sirve a cabalidad para los propósitos de este trabajo, por estar ubicado en una zona que posee estructuras complejas, zonas donde no existen constaste de velocidad e inversiones de las mismas.

De modo simplificado la elaboración del modelo geológico se desarrollo de la siguiente manera:

Primero se determinó el área de estudio, debido a que el modelo era bastante extenso y para la realización de la simulación del modelado *3-D* iba a resultar en un costo computacional exorbitante. De esta manera, se tomo como referencia los datos de los pozos que se encontraban dentro de estudios *2-D*, y se determinó un área de 40 Km² para utilizar la geometría seleccionada del estudio con el modelo de capas planas.

Para generar el modelo *3-D* se utilizó el constructor de modelos MIMIC⁺, el cual es una aplicación de SIERRA este es un componente de Landmark que provee al usuario una cantidad de opciones en cuanto a modelado directo e inverso; el mismo permite realizar modelado sísmico de pozos, velocidades, conversión a profundidad, entre otros.

MIMIC⁺ es una poderosa herramienta utilizada para la construcción de manera práctica y eficiente de modelos estructurales complejos en *3-D*. Esta es la limitación más grande del programa MESA Grip 3.2, ya que es realmente complicada la elaboración de modelos *3-D* con estructuras complejas.

La construcción del modelo se dividió en tres partes: la primera consistió en la construcción de las capas, La segunda en la construcción del modelo a partir de las

capas previamente definidas y la tercera en la importación del modelo al programa MESA Grip. De esta manera se construyó el modelo complejo, el cual consta de 12 superficies no todas con propiedades físicas diferentes.

SIMULACIÓN CON EL MODELO GEOLÓGICO COMPLEJO

En la simulación con el modelo geológico complejo se utilizó la metodología lograda de la simulación con el modelo geológico de capas planas, hasta lograr la exportación de la misma en múltiples archivos en formato SEG-Y.

PROCESAMIENTO DE LA DATA OBTENIDA DE LA SIMULACIÓN CON EL MODELO GEOLÓGICO COMPLEJO

Para el procesamiento de la data obtenida de la simulación con el modelo geológico complejo se utilizó la metodología lograda en el procesamiento de la data obtenida con el modelo geológico de capas planas, con la única diferencia que para realizar el modelo de velocidades se tubo que asignar los valores en una cierta cantidad de trazas *crossline* e *inline* (lo que los procesadores llaman pickin de velocidades).

LA PROYECCIÓN DE IMAGEN SÍSMICA DE LOS DATOS OBTENIDOS CON EL MODELO COMPLEJO

Para realizar la comparación de los datos obtenidos del la simulación con el modelo geológico complejo con el modelo tomado para la simulación se tomaron distintos cortes *inline* y *crossline* exactamente en las mismas coordenadas y con la misma dirección, esto permitió un método simple de seguir las capas y así identificar los lugares donde se tiene una mejor imagen, en donde se pierde las misma y en donde se tienen múltiples o huellas de adquisición.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y ANÁLISIS

DISEÑOS DE ADQUISICIÓN SÍSMICA 3-D

Las características de los parámetros para el diseño de una geometría óptima, permitió la elaboración de 4 diseños ortogonales y 4 no ortogonales. De los 8 estudios, 4 poseerán *patches* cuadrados y 4 *patches* rectangulares. Los diseños se nombraron por las iniciales de la geometría y la forma del *patch*, los parámetros de los diseños ortogonales se describen en la Tabla 5-1 y los parámetros de los diseños no ortogonales se describen en la Tabla 5-2. Muchas de las geometrías adquiridas hoy en día se ubican dentro de estas 4 categorías.

La forma de los *patches* la podemos observar en las Figuras 5-1 a la 5-8. En estas se puede observar que todos los *patches* cuadrados poseen el mismo arreglo de receptores variando él número de fuentes y el ángulo de la línea fuente, este patrón que se repite para los *patches* rectangulares. Una vez que se tenían el área cubierta con los distintos diseños, se procedió a los estudios convencionales de la cobertura *CMP*, histogramas de *offsets* (cercanos, medianos, lejanos y variabilidad), del acimut por el diagrama de patas de araña y diagrama de rosa. Los resultados obtenidos se describen a continuación:

ESTUDIO DE LA COBERTURA

La disminución de la zona de máxima cobertura se debe a que la distribución de los *patches* se limitó al área de estudio y no fueron agregadas ni fuentes ni receptores a los lados del mismo, esta característica la observaremos en todas las geometrías. La distribución de la cobertura para cada uno de los diseños se puede observar en las Figuras 5-9 a la 5-16. En ellas se puede observar que todos los diseños poseen una cobertura máxima de 36 y la forma del área de máxima cobertura posee la forma inversa del *patch* que la generan (*patch* cuadrado forma rectangular y viceversa).

Tabla 5-1: Parámetros de los diseños con las geometrías ortogonales.

Información sobre el estudio	LRCuadrado	LRRectangular	SCuadrado	SRectangular
Mínimo de canales activos	294	292	294	292
Máximo de canales activos	1.152	1.152	1.152	1.152
Número de líneas Receptoras	13	12	13	13
Número de fuentes entre líneas receptoras	8	8	16	16
Total de receptores	2.093	1.932	2.080	2.080
Espaciamiento entre receptores (m)	50	50	50	50
Espaciamiento entre líneas receptoras	400	400	400	400
Longitud total de líneas receptoras (Km)	104	104	103,35	103,35
Densidad de receptores	52,59	52,59	52	52
Número de líneas de fuentes	20	20	21	21
Número total de fuentes	2.121	2.020	2.121	2.020
Espaciamiento entre fuentes (m)	50	50	50	50
Espaciamiento entre líneas (m)	400	400	400	400
Longitud Total de líneas fuentes (Km)	100	100	105	105
Densidad de fuentes (sq/Km)	50,25	50,50	53,02	53,02

Tabla 5-2: Parámetros de los diseños con las geometrías no ortogonales.

Información sobre el estudio	45Cuadrado	45Rectangular	S45Cuadrado	S45Rectangular
Mínimo de canales activos	240	240	240	240
Máximo de canales activos	1.152	1.152	1.152	1.152
Número de líneas Receptoras	12	12	12	12
Número de fuentes entre líneas receptoras	8	8	16	16
Total de receptores	1.932	1.932	1.932	1.932
Espaciamiento entre receptores (m)	50	50	50	50
Espaciamiento entre líneas receptoras	400	400	400	400
Longitud total de líneas receptoras (Km)	96	96	96	96
Densidad de receptores	48,3	48,3	48,3	48,3
Número de líneas de fuentes	161	161	161	161
Número total de fuentes	2.033	2.033	2.033	2.033
Espaciamiento entre fuentes (m)	50	50	50	50
Espaciamiento entre líneas (m)	400	400	400	400
Longitud Total de líneas fuentes (Km)	748,8	748.8	748,8	748,8
Densidad de fuentes (sq/Km)	50,83	50.83	50,83	50,83

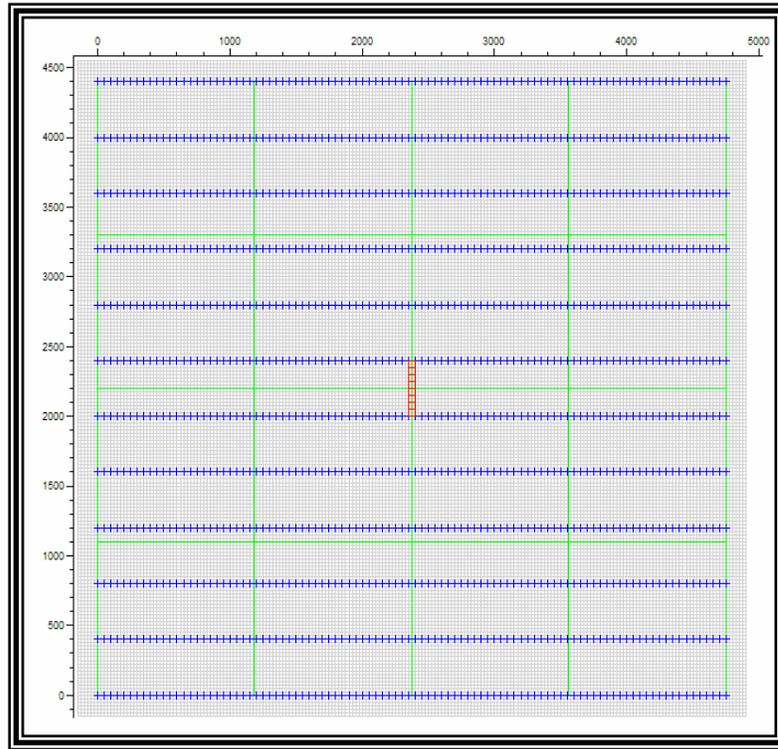


Figura 5-1: *Patch* de la geometría LRCuadrada.

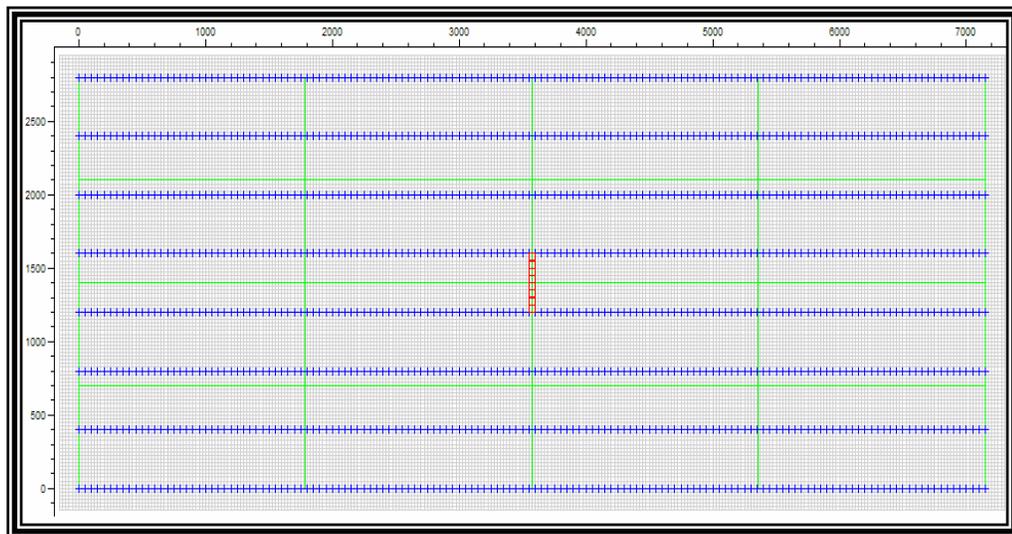


Figura 5-2: *Patch* de la geometría LRRectangular.

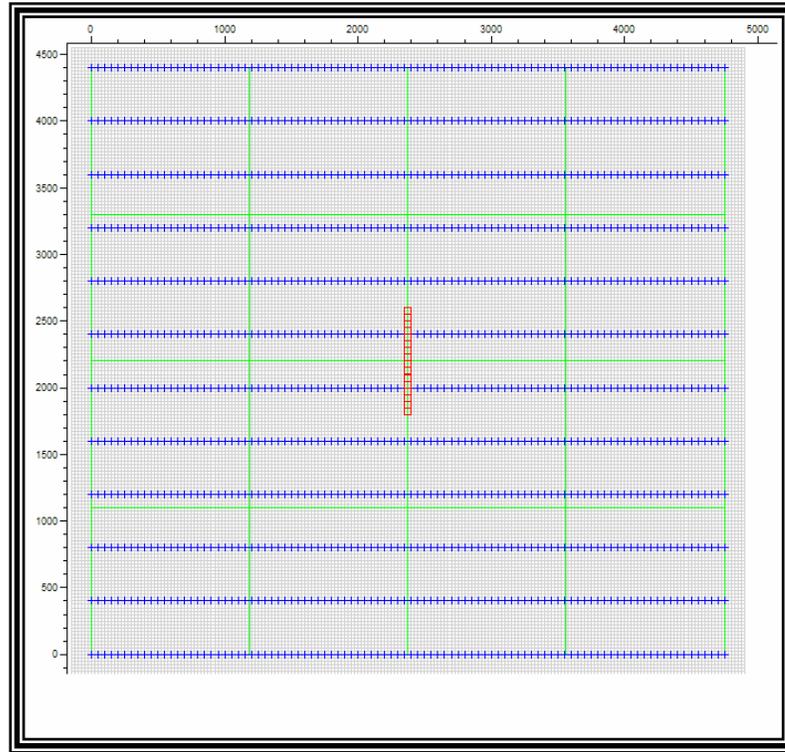


Figura 5-3: *Patch* de la geometría SCuadrada.

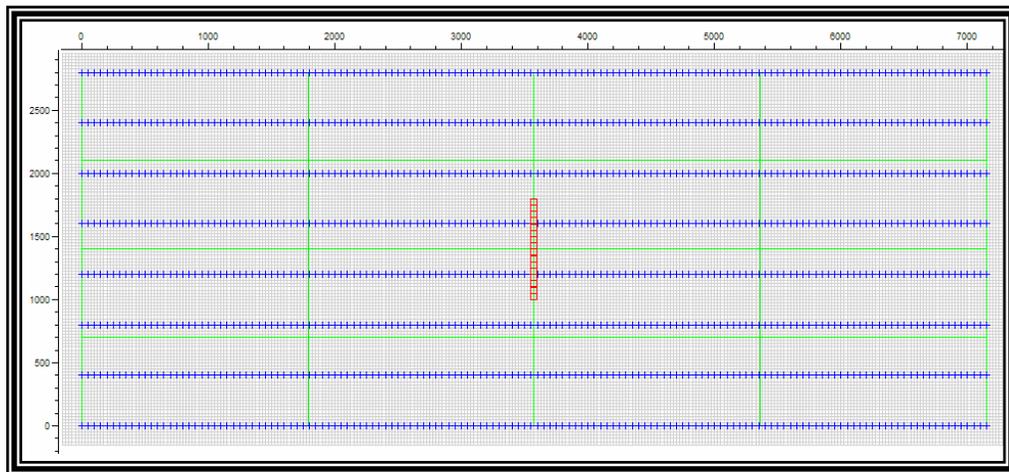


Figura 5-4: *Patch* de la geometría SRectangular.

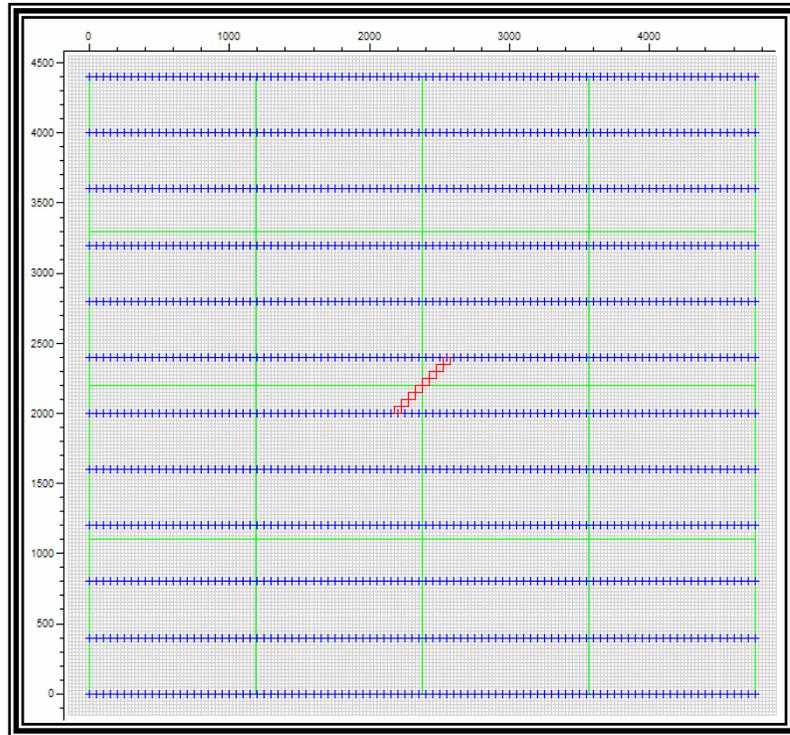


Figura 5-5: Patch de la geometría 45Cuadrada.

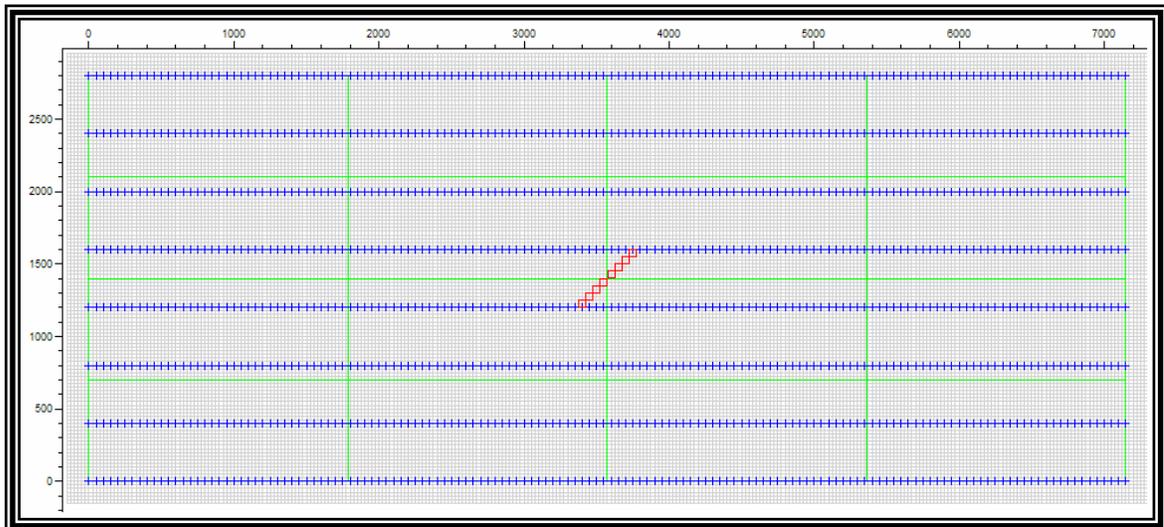


Figura 5-6: Patch de la geometría 45Rectangular.

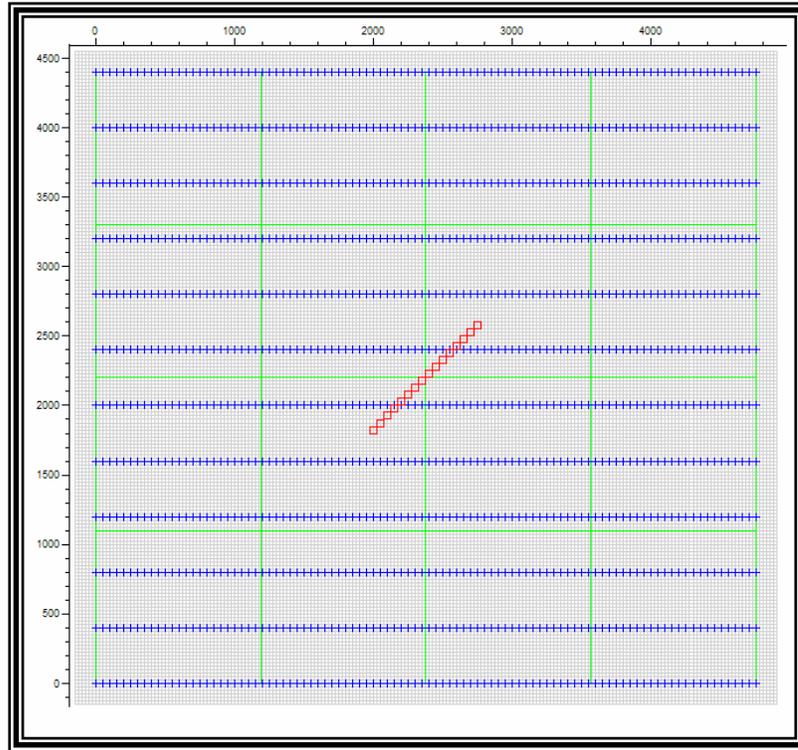


Figura 5-7: Patch de la geometría S45Cuadrada.

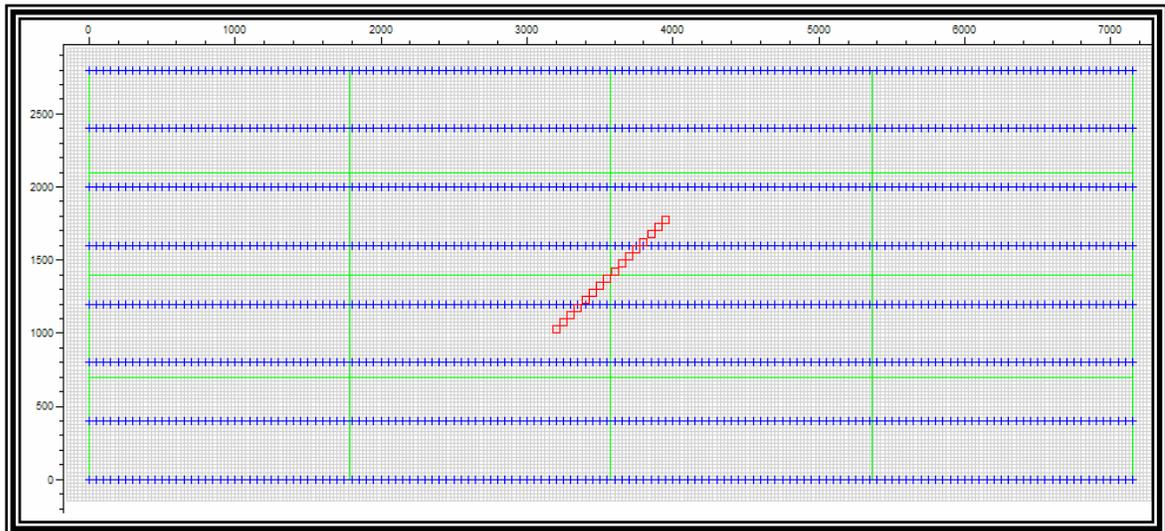


Figura 5-8: Patch de la geometría S45Rectangular.

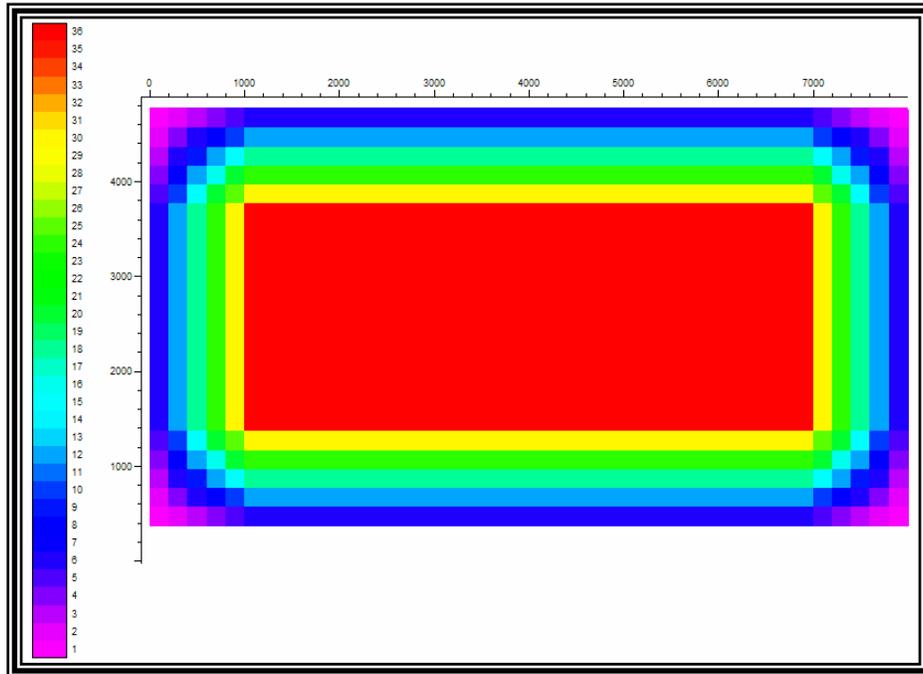


Figura 5-9: Mapa de cobertura de la geometría LRCuadrada.

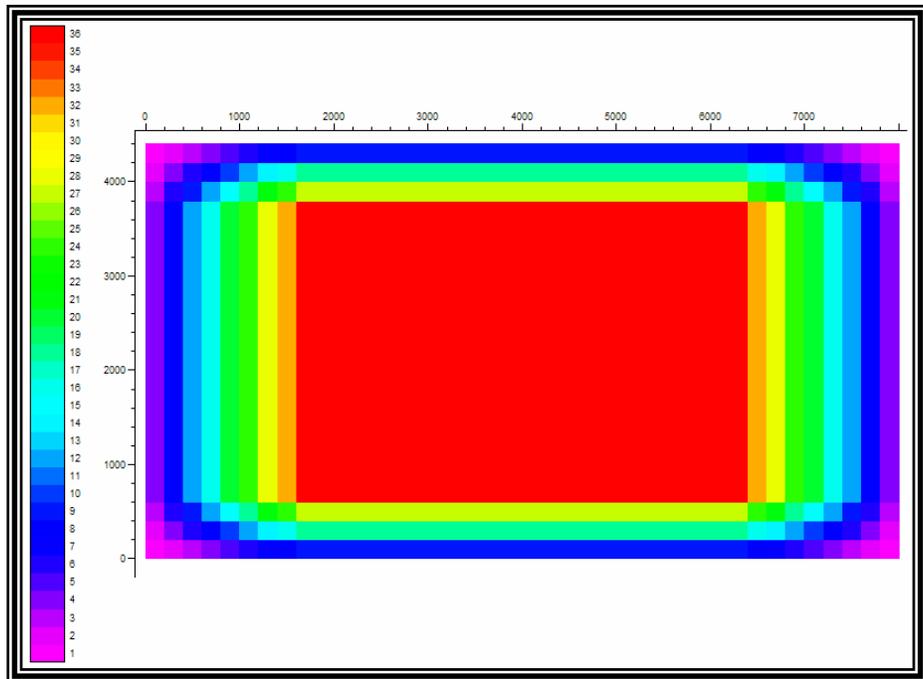


Figura 5-10: Mapa de cobertura de la geometría LRRectangular.

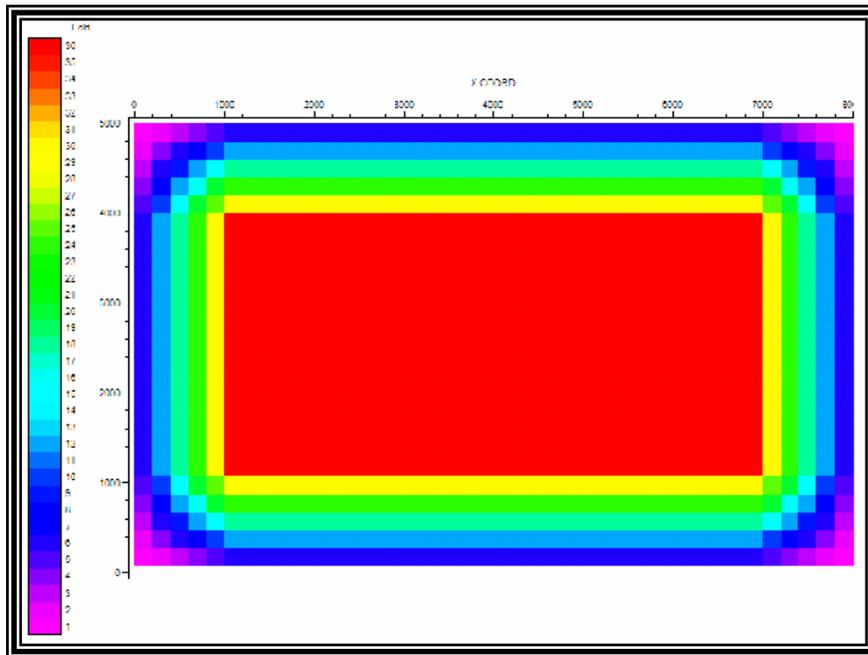


Figura 5-11: Mapa de cobertura de la geometría SCuadrada.

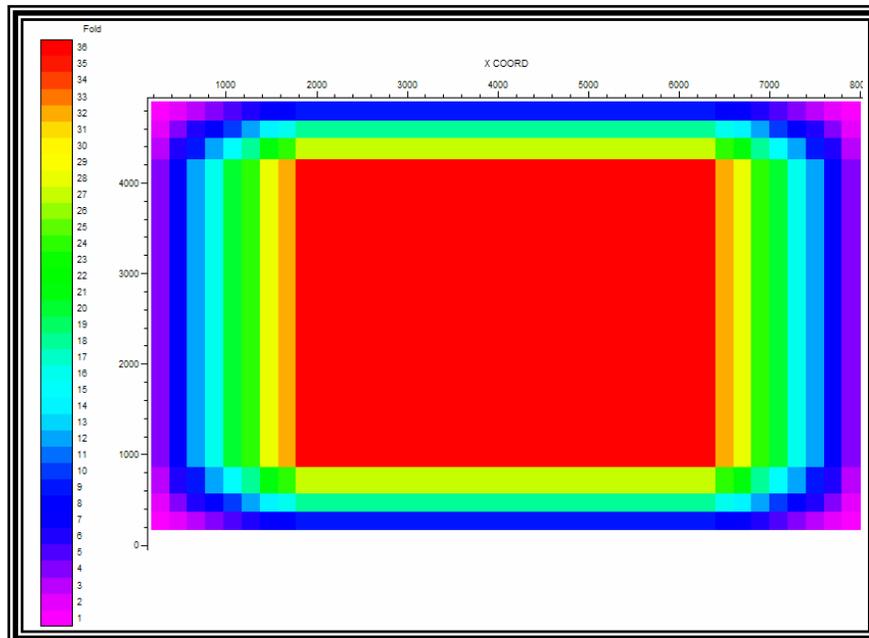


Figura 5-12: Mapa de cobertura de la geometría SRectangular.

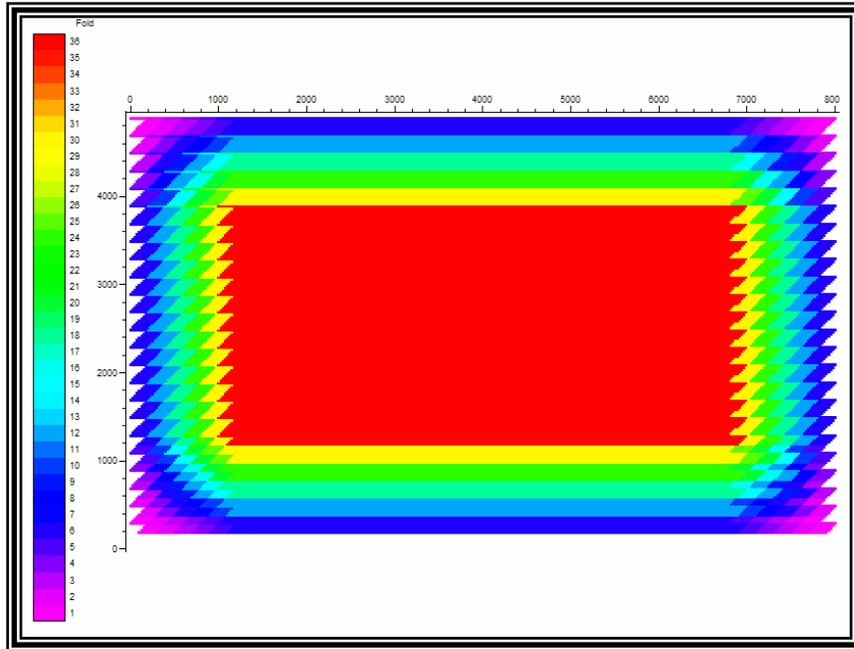


Figura 5-13: Mapa de cobertura de la geometría 45Cuadrada.

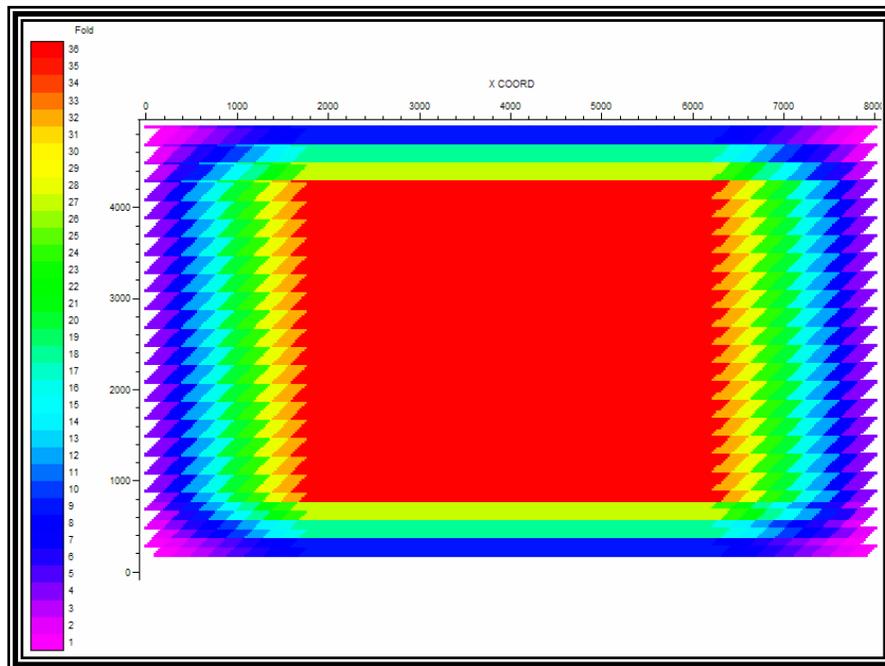


Figura 5-14: Mapa de cobertura de la geometría 45Rectangular.

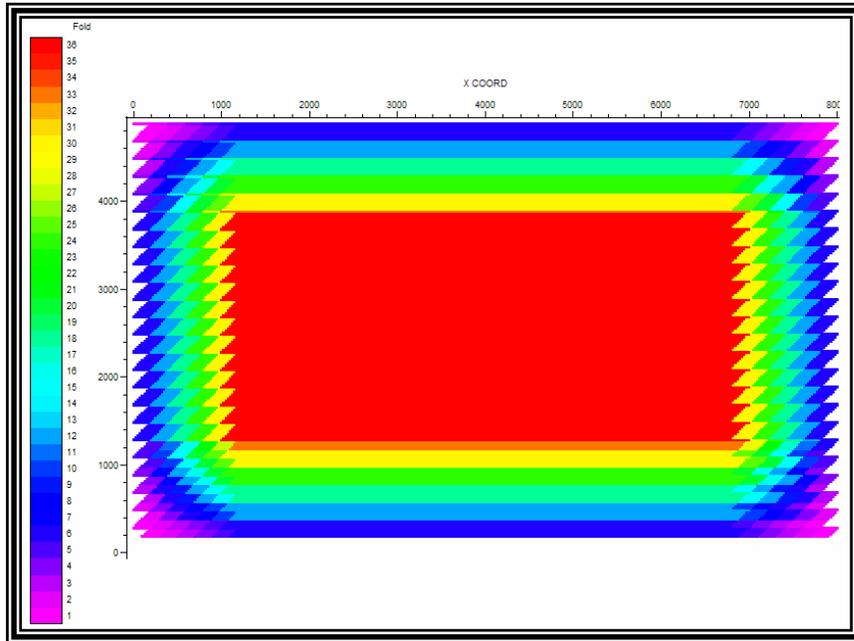


Figura 5-15: Mapa de cobertura de la geometría S45Cuadrada.

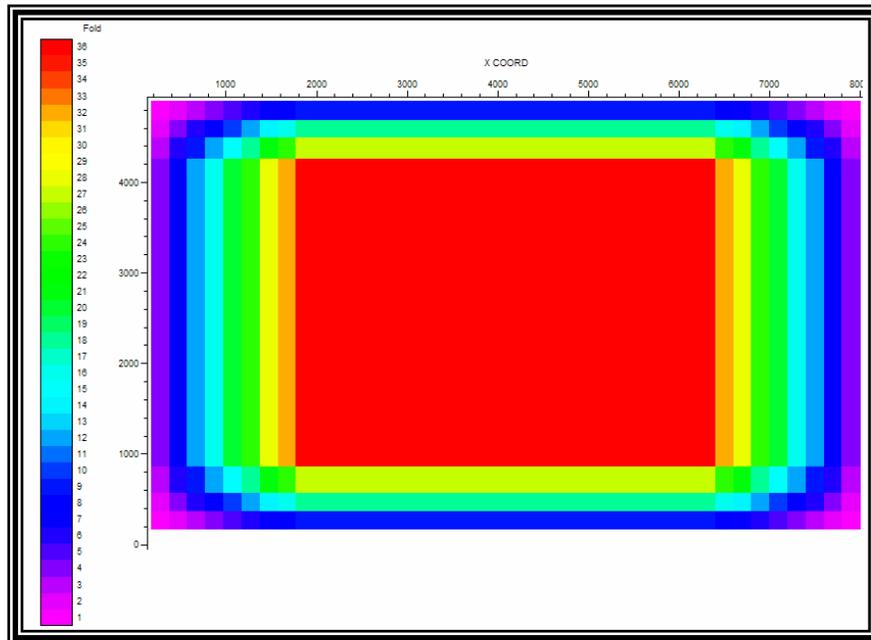


Figura 5-16: Mapa de cobertura de la geometría S45Rectangular.

RELACIÓN DEL ASPECTO DEL PATCH

La relación del aspecto del *patch* usado en los levantamientos es de 1 para los estudios con *patch* cuadrados (o de acimut ancho con una relación mayor que 0.5), lo que indica que su distribución de acimuts es amplia, al tener una distribución amplia y densa se asegura que la información proveniente de todos los ángulos de los *bines* son incluidos en el apilamiento. La relación del aspecto del *patch* para los estudios rectangulares (o de acimut estrecho con una relación menor que 0.5) es de 0,44 al tener una distribución de este tipo no se asegura que la información proveniente de todos los ángulos son incluidos en el apilamiento.

ESTUDIO DE OFFSET CERCANOS

Las Figuras 5-17 a la 5-24 muestran los histogramas de *offsets* (triángulos en negro) sobrepuesto sobre la distribución de *offsets* cercanos (fondo en colores) en los *bines* que se encuentran entre dos líneas receptoras y dos líneas fuentes, en la zona de máxima cobertura.

En las geometrías ortogonales se puede observar que los *offsets* cercanos en los cuatro *bines* vecinos a las intersecciones entre líneas fuentes y receptoras (box) son los de menor valor (valores no superiores a 55.90 m) y los *offsets* de los cuatro *bines* ubicados en el centro del área son los de mayor valor de los *offsets* cercanos.

Para las geometrías no ortogonales se comportan de forma similar a los anteriores, los *offset* mínimos cercanos se encuentran ubicados en los *bines* vecinos a las intersecciones entre líneas fuentes y receptoras pero los *offset* máximos cercanos los observamos en el medio de las líneas fuentes, también se puede observar que varia el número de *bins*, pero tenemos que tomar en cuenta que el área es de estudio mayor para estas geometrías.

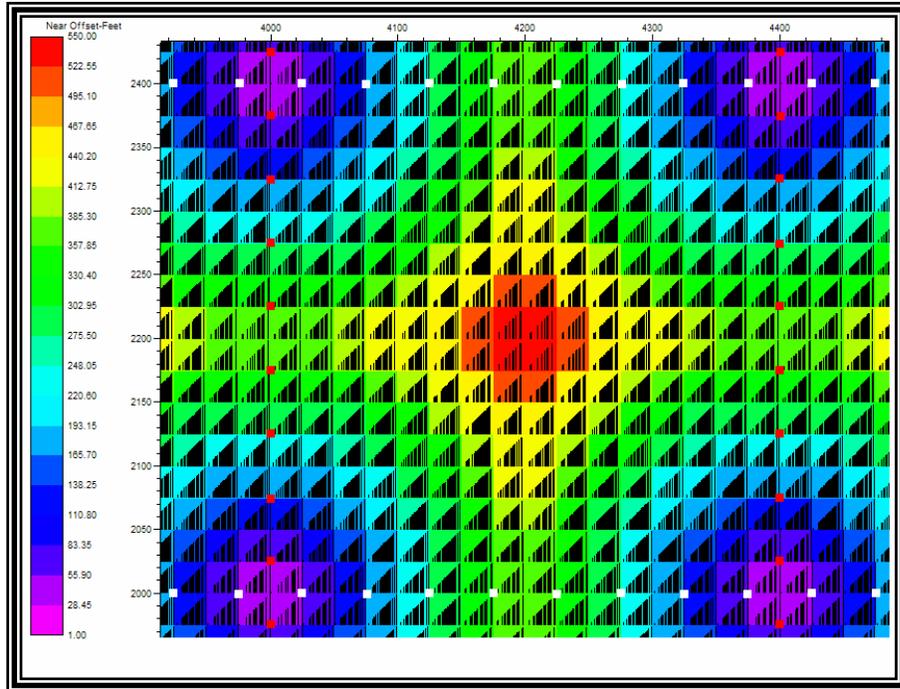


Figura 5-17: Histograma de *offsets* sobrepuesto sobre la distribución de *offsets* cercanos para la geometría LRCuadrada.

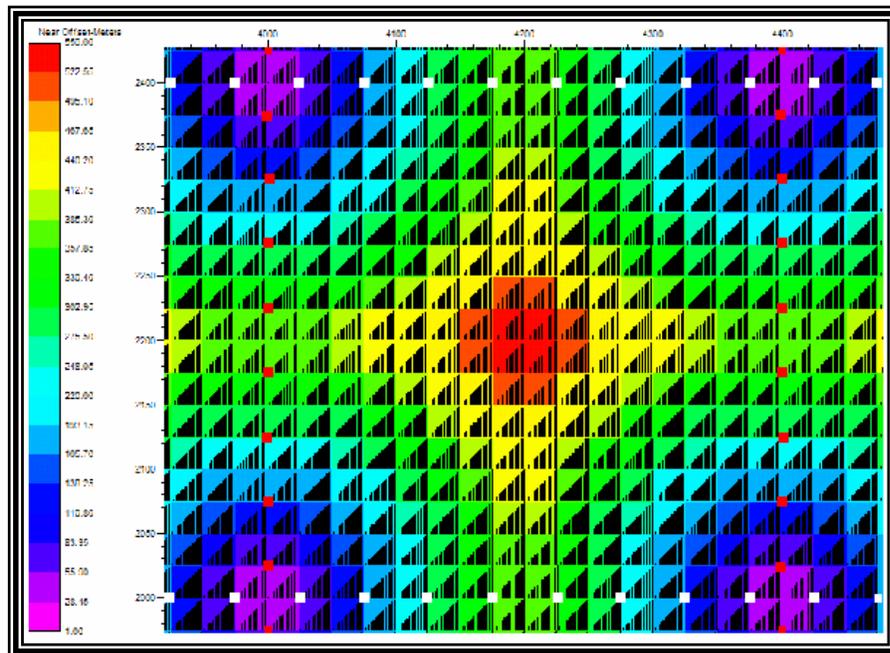


Figura 5-18: Histograma de *offsets* sobrepuesto sobre la distribución de *offsets* cercanos de la geometría LRRectangular.

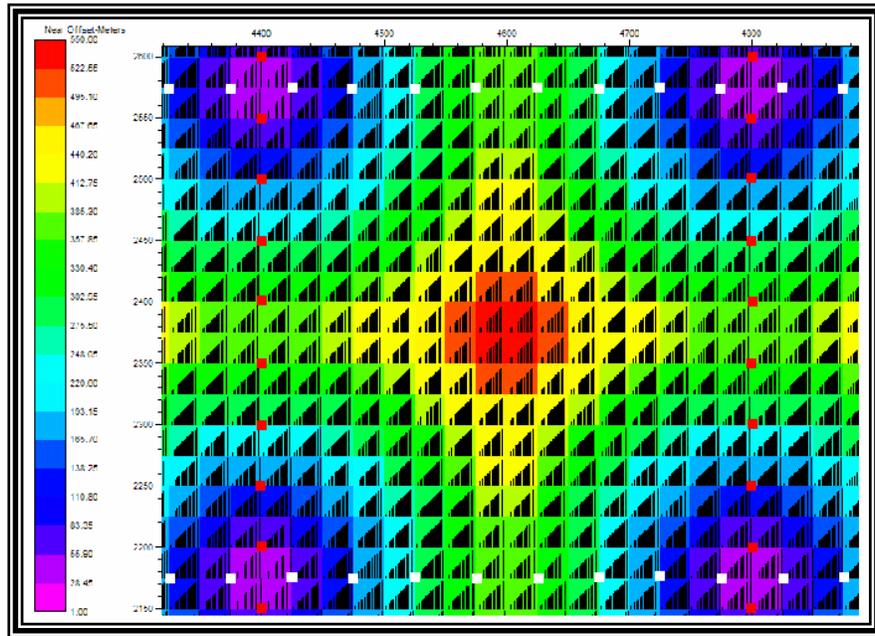


Figura 5-19: Histograma de *offsets* sobrepuesto sobre la distribución de *offsets* cercanos de la geometría SCuadrada.

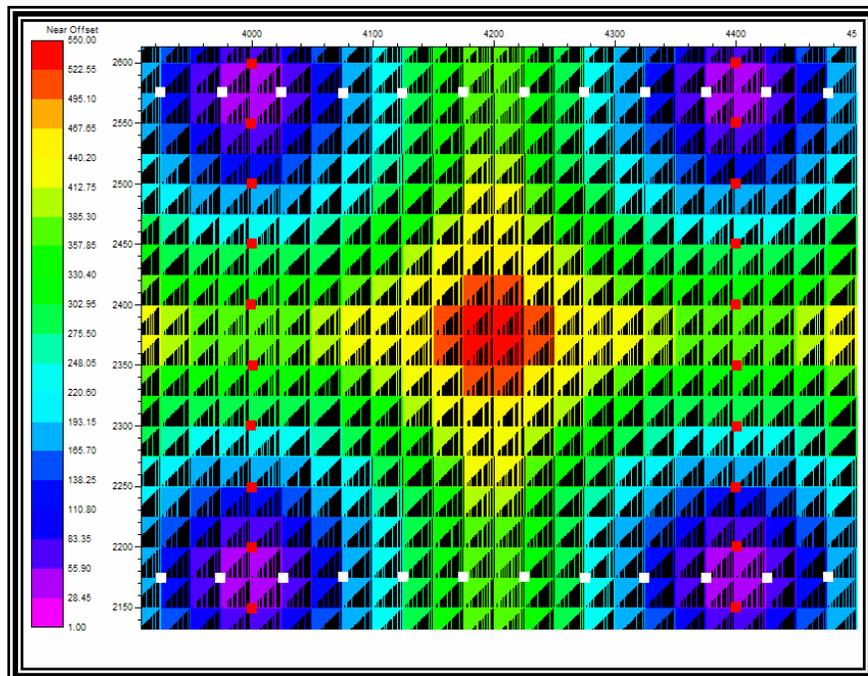


Figura 5-20: Histograma de *offsets* sobrepuesto sobre la distribución de *offsets* cercanos de la geometría SRectangular.

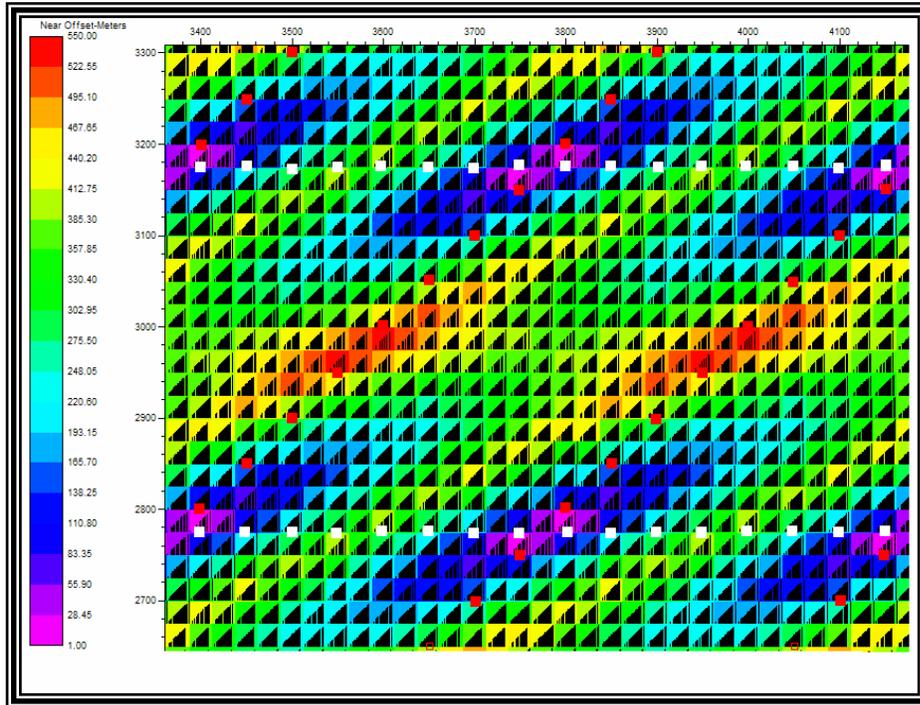


Figura 5-21: Histograma de *offsets* sobrepuesto sobre la distribución de *offsets* cercanos de la geometría 45Cuadrada.

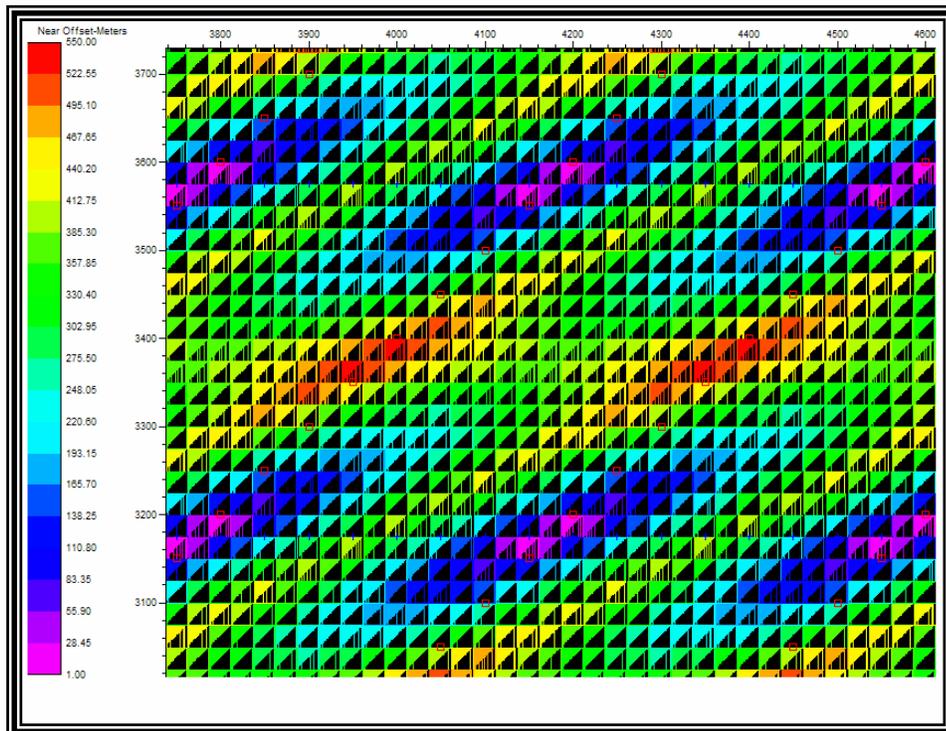


Figura 5-22: Histograma de *offsets* sobrepuesto sobre la distribución de *offsets* cercanos de la geometría 45Rectangular.

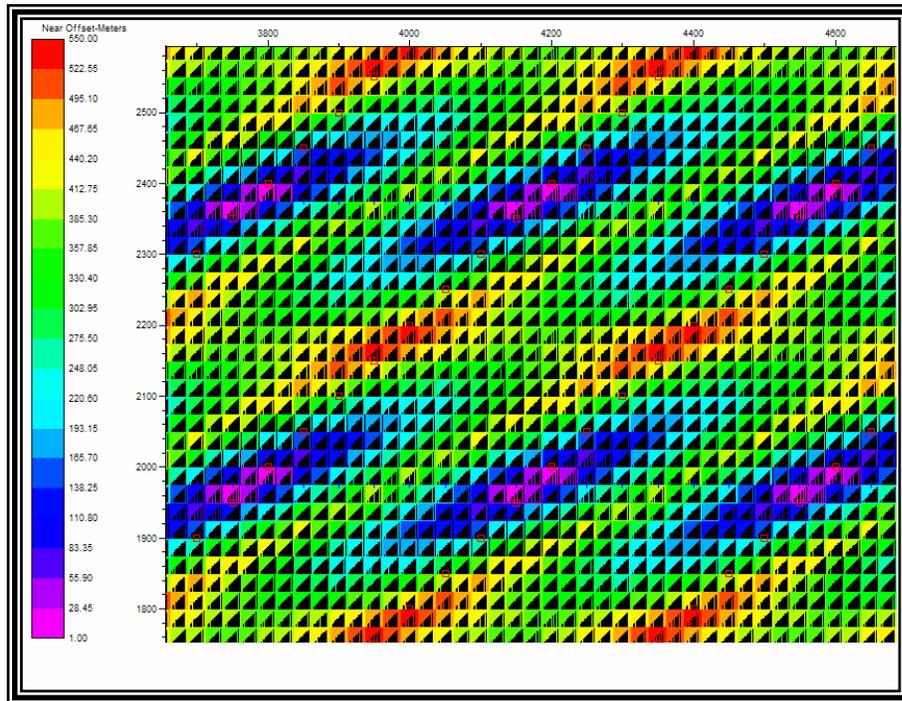


Figura 5-23: Histograma de *offsets* sobrepuesto sobre la distribución de *offsets* cercanos de la geometría S45Cuadrada.

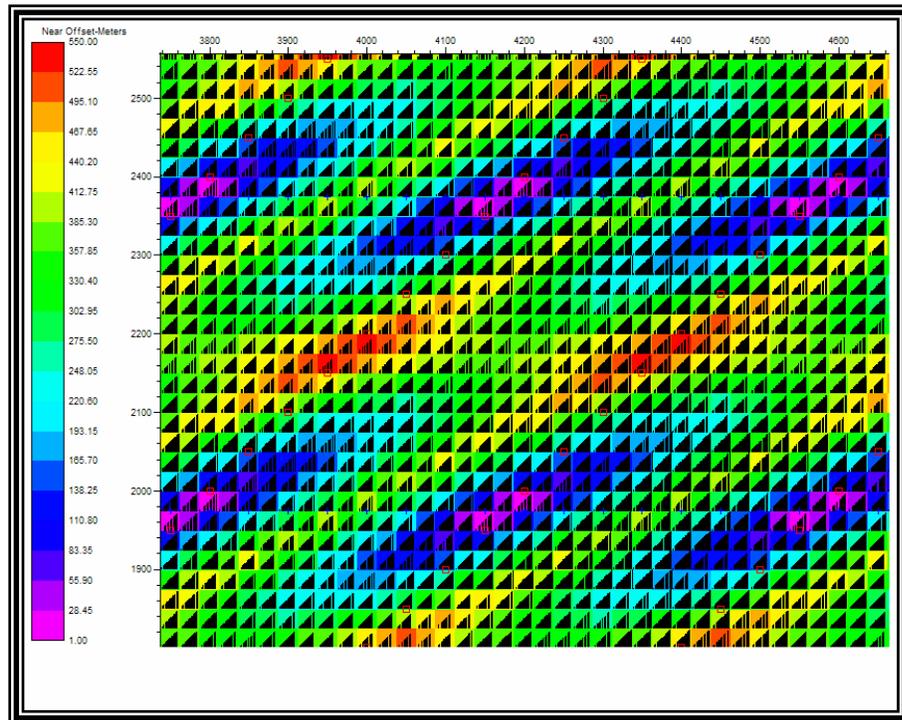


Figura 5-24: Histograma de *offsets* sobrepuesto sobre la distribución de *offsets* cercanos de la geometría S45Rectangular.

ESTUDIO DE OFFSET MEDIANOS

Por su parte los *offsets* medianos poseen una distribución uniforme en toda el área para los diseños Línea Recta, Swath y no ortogonales, que poseen los receptores entre 2 líneas receptoras, como se pueden apreciar en las Figuras 5-25 a la 5-30, por su parte las geometrías no ortogonales que poseen los receptores entre 4 líneas receptoras (Figuras 5-31 y 5-32) muestran una distribución con tendencia hacia las líneas fuentes

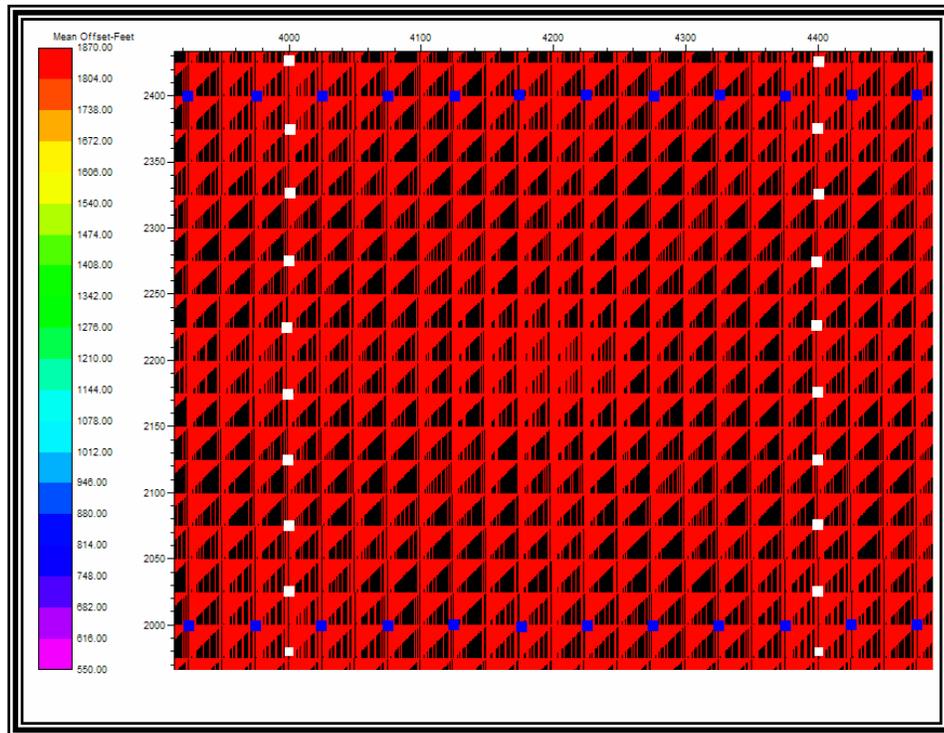


Figura 5-25: Histograma de *offsets* sobrepuesto sobre la distribución de *offsets* medianos de la geometría LRCuadrada.

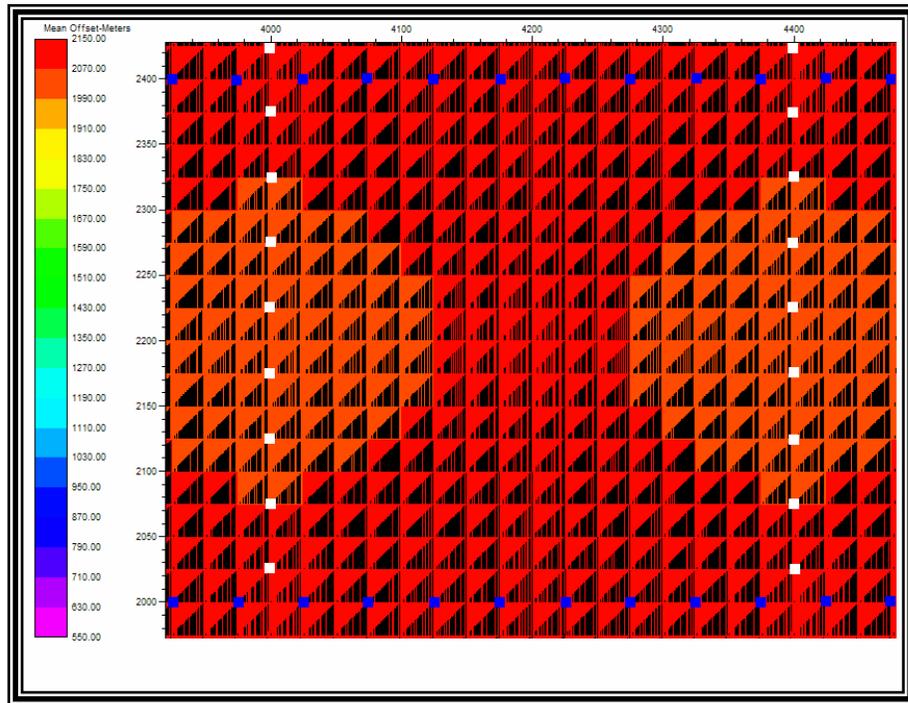


Figura 5-26: Histograma de *offsets* sobrepuesto sobre la distribución de *offsets* medianos de la geometría LRRectangular.

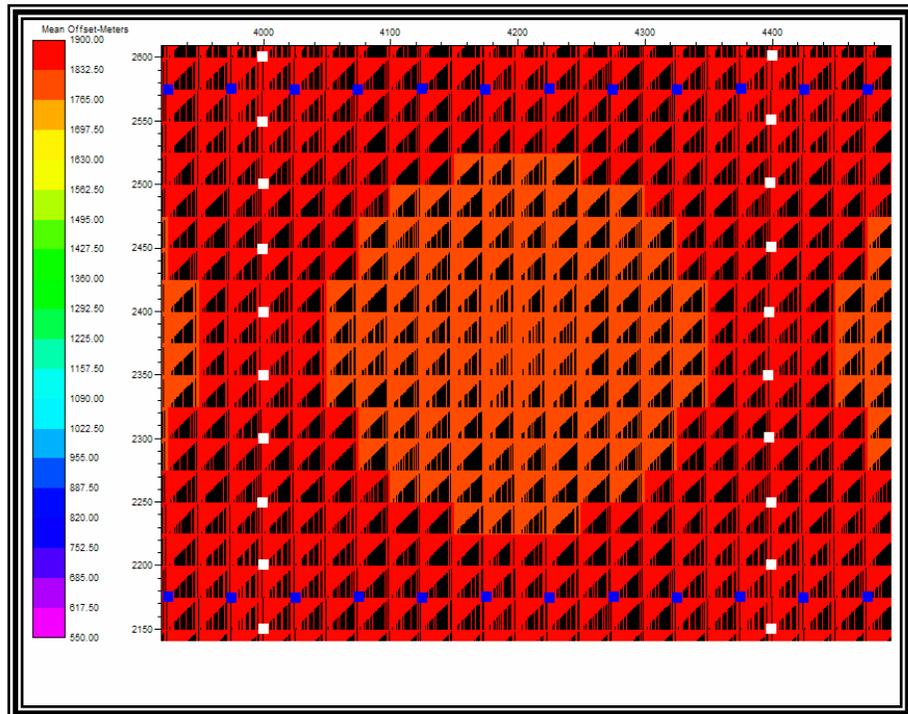


Figura 5-27: Histograma de *offsets* sobrepuesto sobre la distribución de *offsets* medianos de la geometría SCuadrada.

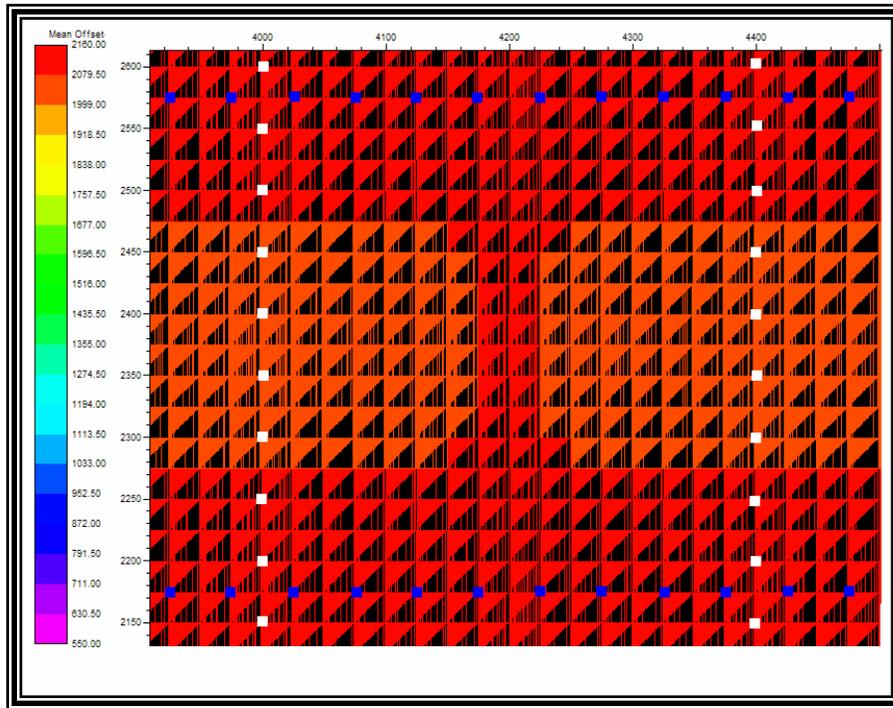


Figura 5-28: Histograma de *offsets* sobrepuesto sobre la distribución de *offsets* medianos de la geometría SRectangular.

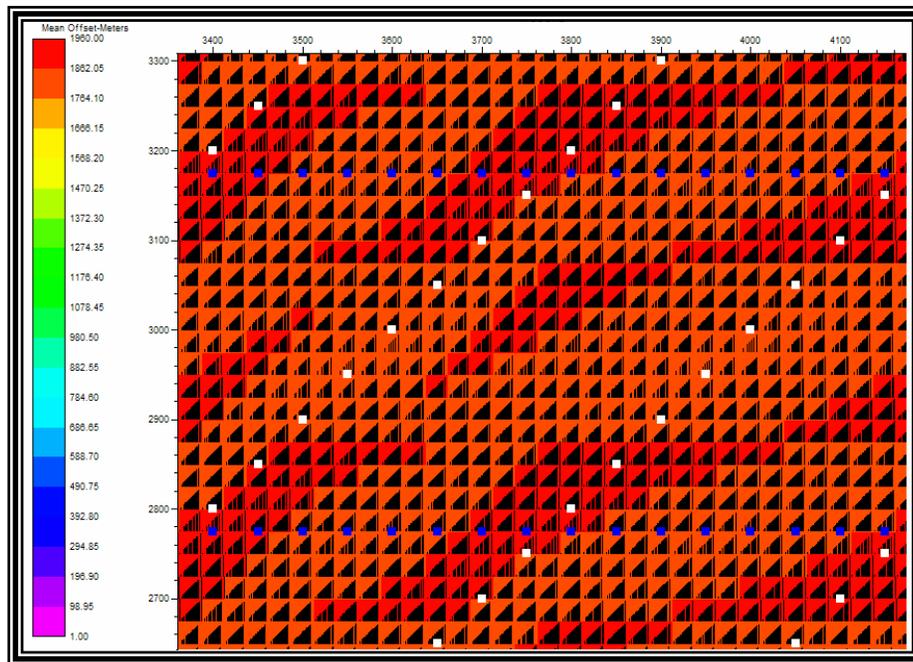


Figura 5-29: Histograma de *offsets* sobrepuesto sobre la distribución de *offsets* medianos de la geometría 45Cuadrada.

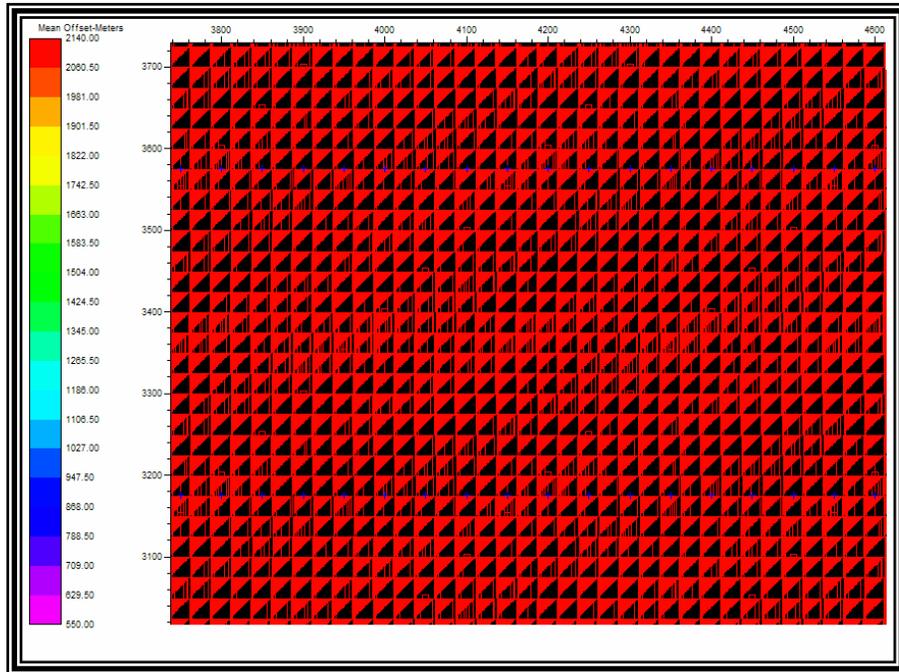


Figura 5-30: Histograma de *offsets* sobrepuesto sobre la distribución de *offsets* medianos de la geometría 45Rectangular.

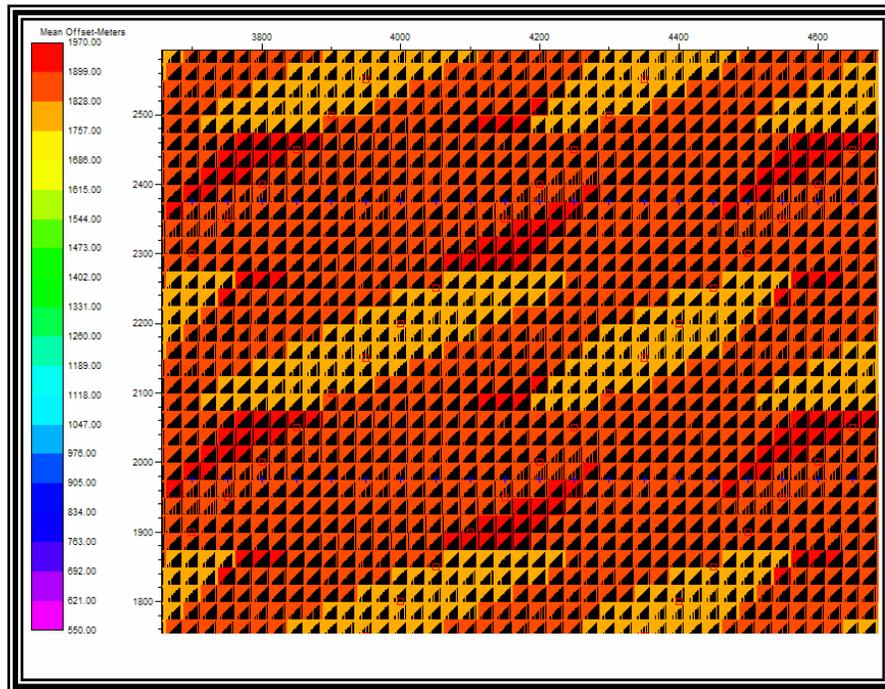


Figura 5-31: Histograma de *offsets* sobrepuesto sobre la distribución de *offsets* medianos de la geometría S45Cuadrada.

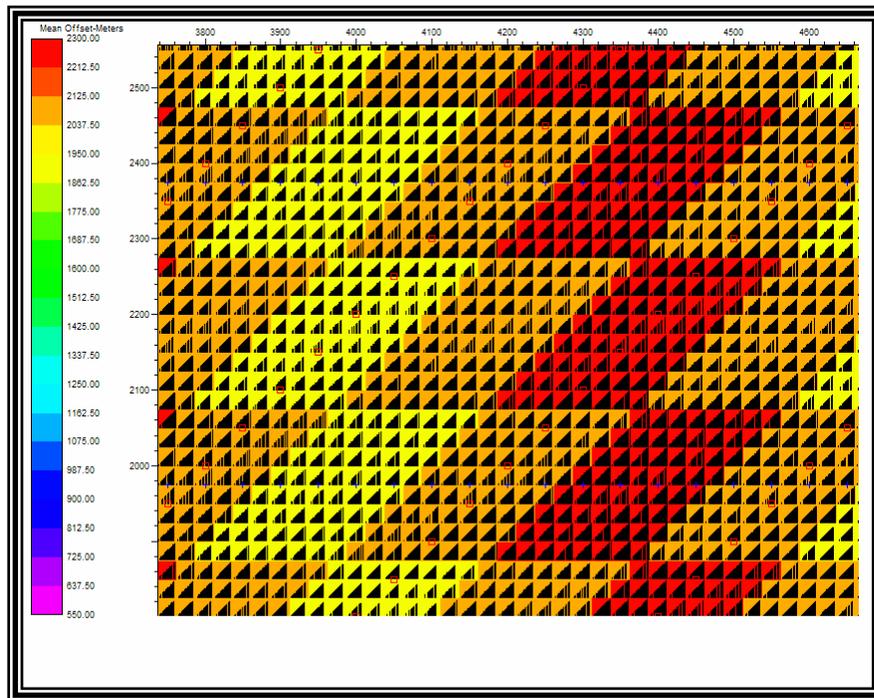


Figura 5-32: Histograma de *offsets* sobrepuesto sobre la distribución de *offsets* medianos de la geometría S45Rectangular.

ESTUDIO DE OFFSET LEJANOS

Los *offsets* lejanos para la geometría LRCuadrada expresados en las Figura 5-33 presentan un comportamiento inverso a los cercanos, los mayores *offset* lejanos se encuentran ubicados en la intersección de las líneas fuentes y receptoras, mientras que los menores *offset* lejanos se encuentran ubicados en los bins ubicados en el centro, para la geometría LRRectangular (Figura 5-34) los menores valores de los *offset* lejanos se encuentran ubicados en el medio de las líneas fuentes ubicadas entre dos líneas receptoras mientras que los mayores valores de los *offset* lejanos se encuentran en el medio de las líneas receptoras y se puede observar que estas se estrechan pero poseen un comportamiento bastante uniforme.

Para las geometrías Swat los comportamientos en los *offset* lejanos son muy parecidos a sus similares en la geometría Línea Recta (Figuras 5-35 y 5-36) pero se

puede observar que las zonas de los mayores *offsets* lejanos son más pequeñas y las zonas de los *offset* menores lejanos son más grandes que en las anteriores.

En lo que a las geometrías no ortogonales respecta, la 45Cuadrada (Figura 5-37) se puede observar un dominio de los *offset* medios lejanos (color verde) y los *offset* mayores lejanos se encuentran cerca de las intersecciones entre las líneas fuentes y receptoras, en la 45Rectangular (Figura 5-38) podemos observar una tendencia de variabilidad en la dirección de las líneas fuentes con los mayores *offset* lejanos ubicados hacia el centro de las líneas receptoras. Para S45Cuadrada (Figura 5-39) se puede observar un dominio de los medianos *offsets* lejanos y que los mayores *offsets* lejanos están situados en las cercanías de las intersecciones de las líneas receptoras con las líneas fuentes. En la Figura 5-40 se puede observar que los mayores *offsets* lejanos se encuentran en el medio de las líneas receptoras intercalándose con la zona de los mínimos *offsets* lejanos.

En las distribuciones de *offset* se busca una distribución perfecta de las barras de los histogramas, debido a que si esto se logra estarán presentes todas las gamas de *offsets* para facilitar los cálculos de las velocidades para la corrección de *NMO* y para obtener un mejor apilamiento, sin embargo, en todos los casos estudiados se observan distribuciones en los que se observa ausencia de algunos rangos de *offset*. La distribución regular de *offset* dentro del *bin* sirve para la determinación de un campo estable de velocidades, tener una cancelación coherente del ruido en el apilamiento y atenuar los múltiples (Ritchie, 1991).

En el caso *offsets* cercanos se puede observar que las geometrías ortogonales son las que presentan mayores carencias, en el caso de las geometrías no ortogonales la distribución de estos *offsets* se presenta más suave. Las distribuciones de *offset* nos muestran los *offset* más representativos en cada *bin* y lo que se busca con este tipo de estudio es el de obtener la mayor cantidad de *bines* con el *offset* igual al objetivo deseado, en el estudio se pudo observar que se obtiene una distribución uniforme para los *offset* medios de todas las geometrías excepto las Swat no ortogonales.

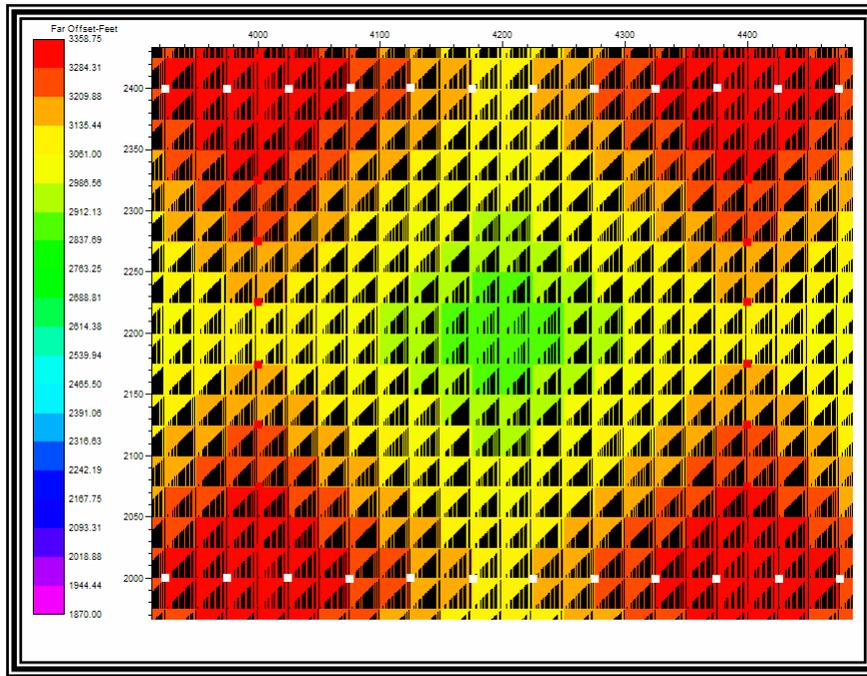


Figura 5-33: Histograma de *offsets* sobrepuesto sobre la distribución de *offsets* lejanos de la geometría LRCuadrada.

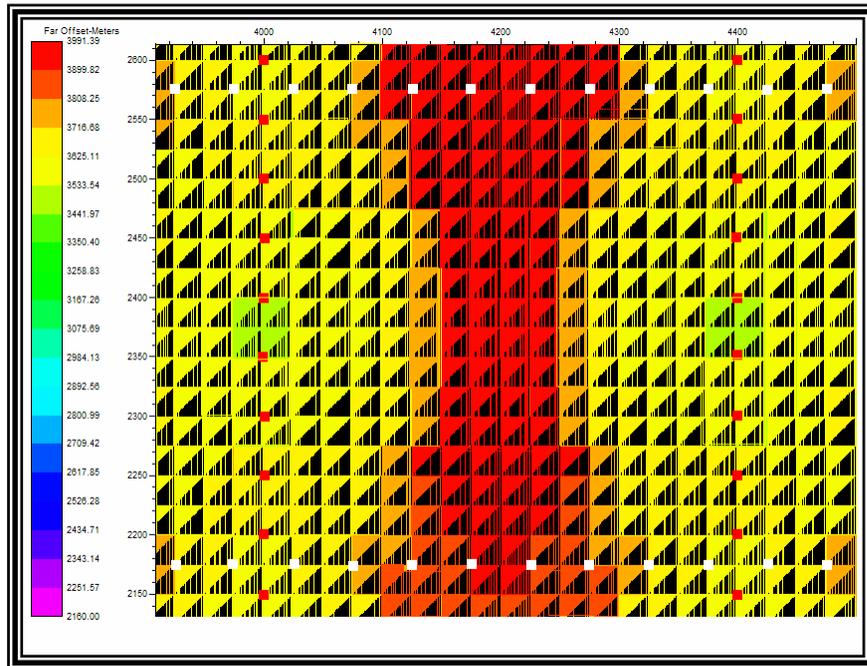


Figura 5-34: Histograma de *offsets* sobrepuesto sobre la distribución de *offsets* lejanos de la geometría LRRectangular.

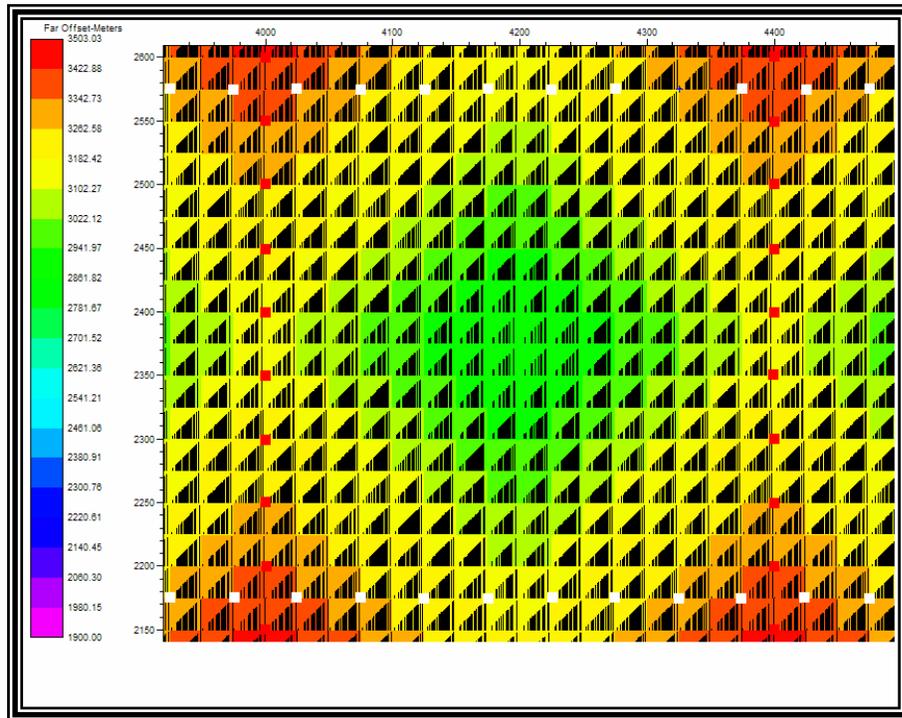


Figura 5-35: Histograma de *offsets* sobrepuesto sobre la distribución de *offsets* lejanos de la geometría SCuadrada.

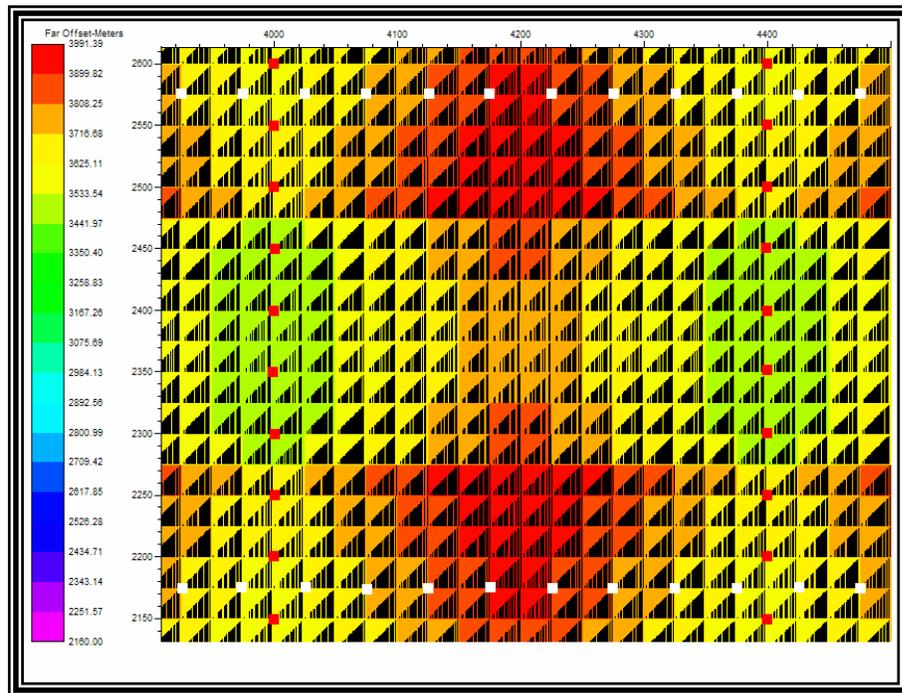


Figura 5-36: Histograma de *offsets* sobrepuesto sobre la distribución de *offsets* lejanos de la geometría SRectangular.

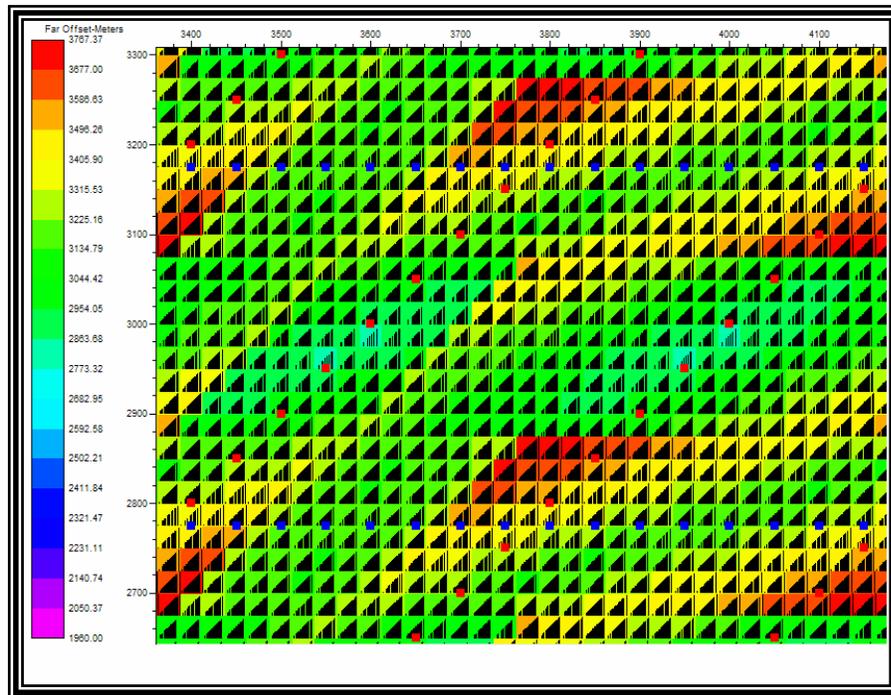


Figura 5-37: Histograma de *offsets* sobrepuesto sobre la distribución de *offsets* lejanos de la geometría 45Cuadrada.

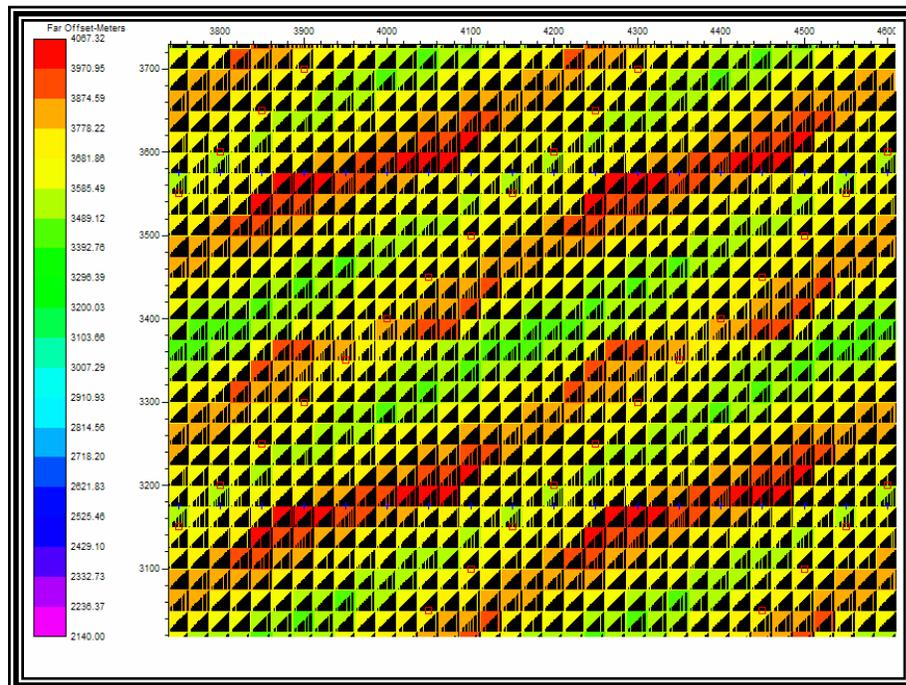


Figura 5-38: Histograma de *offsets* sobrepuesto sobre la distribución de *offsets* lejanos de la geometría 45Rectangular.

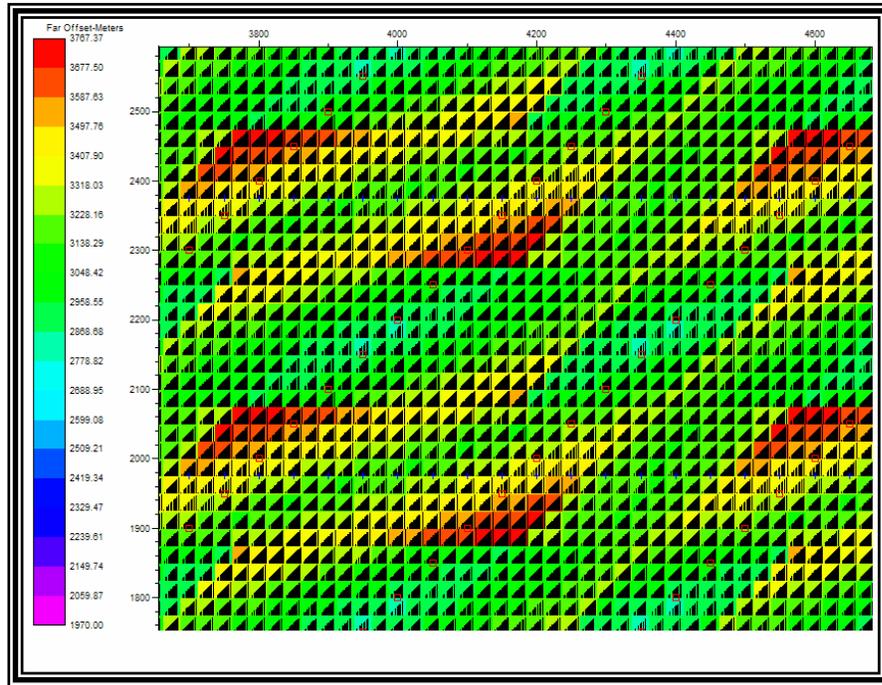


Figura 5-39: Histograma de *offsets* sobrepuesto sobre la distribución de *offsets* lejanos de la geometría S45Cuadrada.

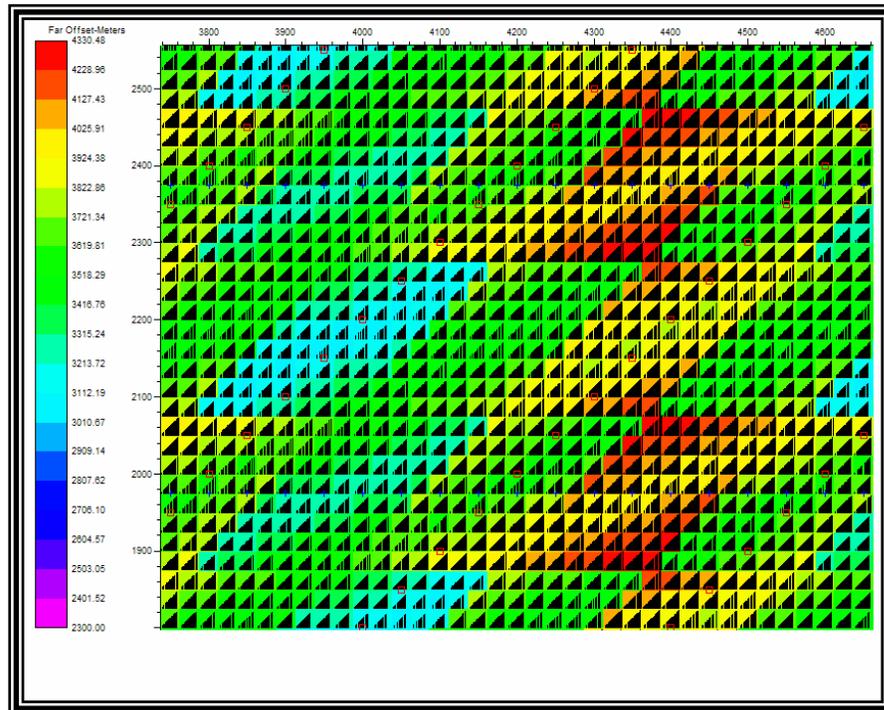


Figura 5-40: Histograma de *offsets* sobrepuesto sobre la distribución de *offsets* lejanos de la geometría S45Rectangular.

Por otro lado para realizar un estudio de *AVO* se necesita un rango de *offset* donde los ángulos de reflexión sean suficientes para mostrar el efecto esperado. Los levantamientos de acimut estrecho (rectangulares) tendrán una mejor distribución de *offset* para estudiar efectos de *AVO*, pero si se espera encontrar fracturamiento, el *AVO* puede variar con el acimut.

ESTUDIO DE VARIABILIDAD DE OFFSET

La variabilidad de los espacios vacíos en la distribución de *offsets* es un método estadístico que permite observar que tanto varia la distribución de *offsets* consecutivos dentro de un mismo *bin*, en las Figuras 5-41 a la 5-49 se puede observar los histogramas de *offsets* sobrepuesto con la variabilidad de *offset* de las distintas geometrías y en ellas se puede observar que los valores mayores pertenecen a las geometrías cuadradas (en el orden de 213 a 240) mientras que las geometrías de *patch* rectangulares poseen una menor variabilidad de *offset* (entre 171 y 210).

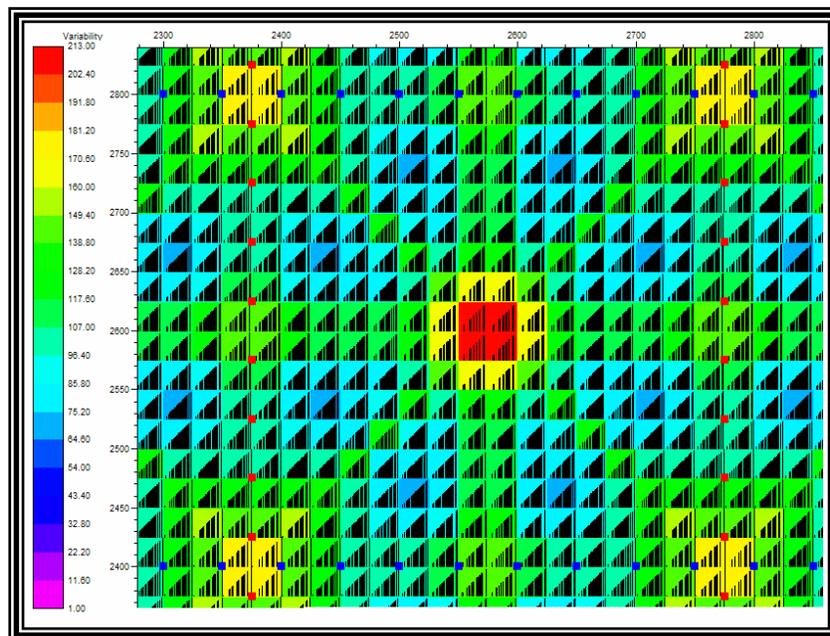


Figura 5-41: Histograma de *offsets* sobrepuesto sobre la variabilidad de *offsets* de la geometría LRCuadrada.

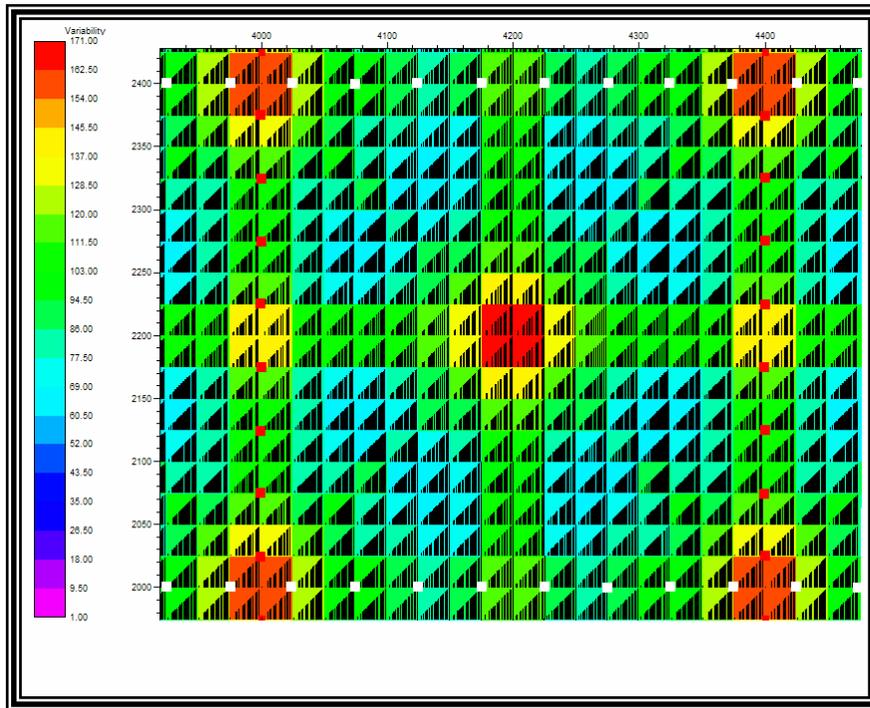


Figura 5-42: Histograma de *offsets* sobrepuesto sobre la variabilidad de *offsets* lejanos de la geometría LRRectangular.

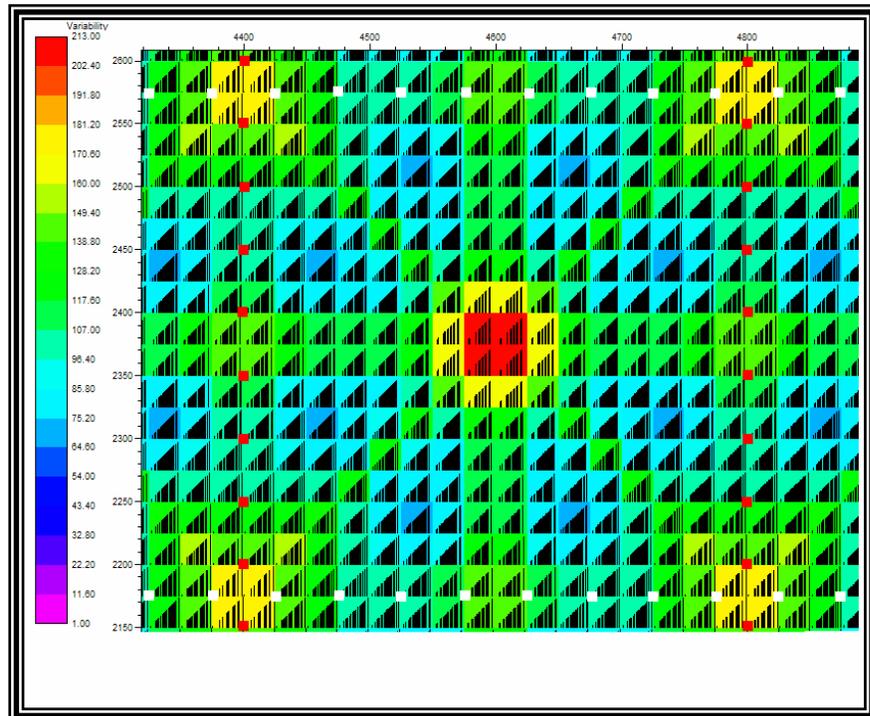


Figura 5-43: Histograma de *offsets* sobrepuesto sobre la variabilidad de *offsets* de la geometría SCuadrada.

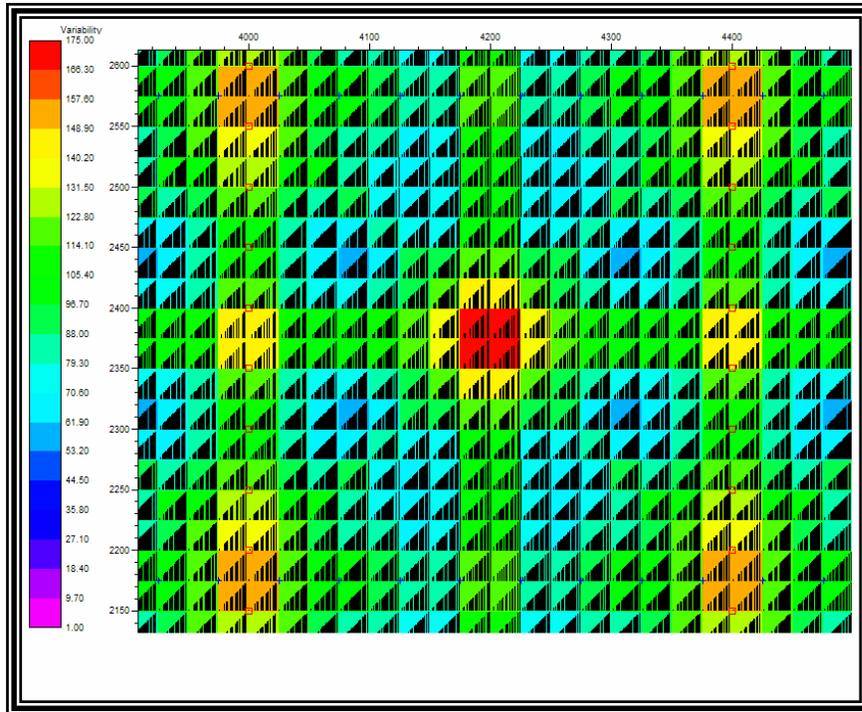


Figura 5-44: Histograma de *offsets* sobrepuesto sobre la variabilidad de *offsets* de la geometría SRectangular.

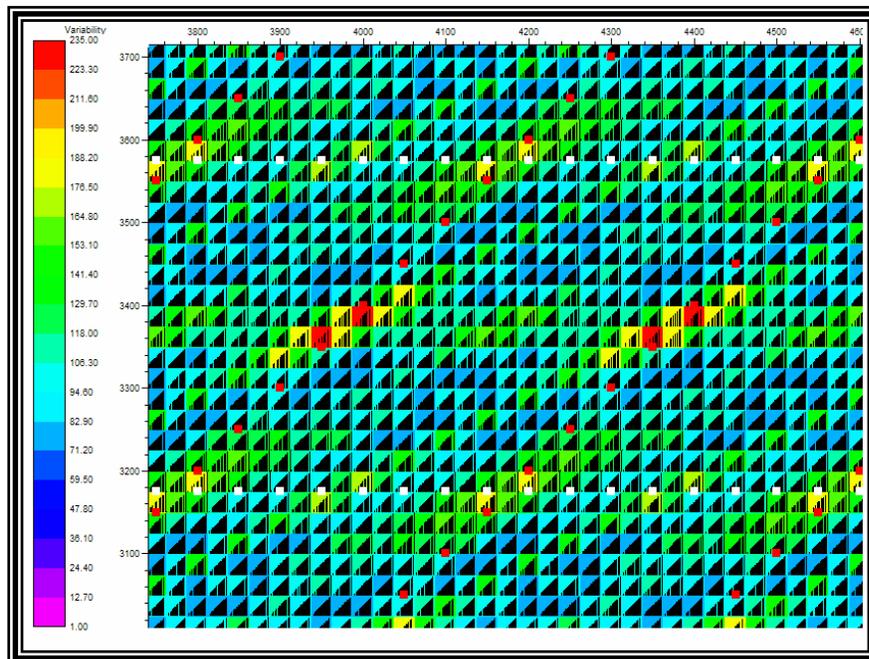


Figura 5-45: Histograma de *offsets* sobrepuesto sobre la variabilidad de *offsets* lejanos de la geometría 45Cuadrada.

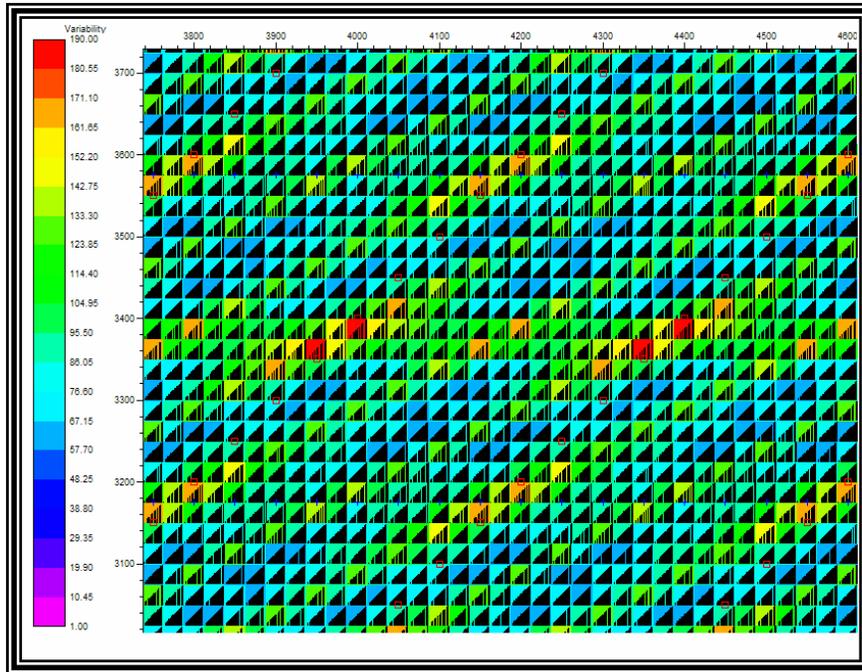


Figura 5-46: Histograma de *offsets* sobrepuesto sobre la variabilidad de *offsets* de la geometría 45Rectangular.

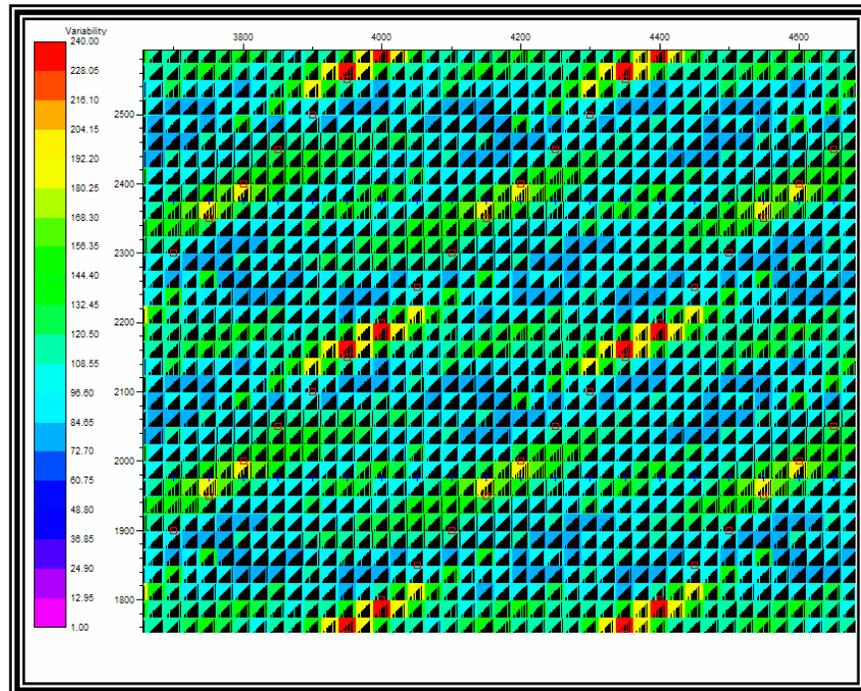


Figura 5-47: Histograma de *offsets* sobrepuesto sobre la variabilidad de *offsets* de la geometría S45Cuadrada.

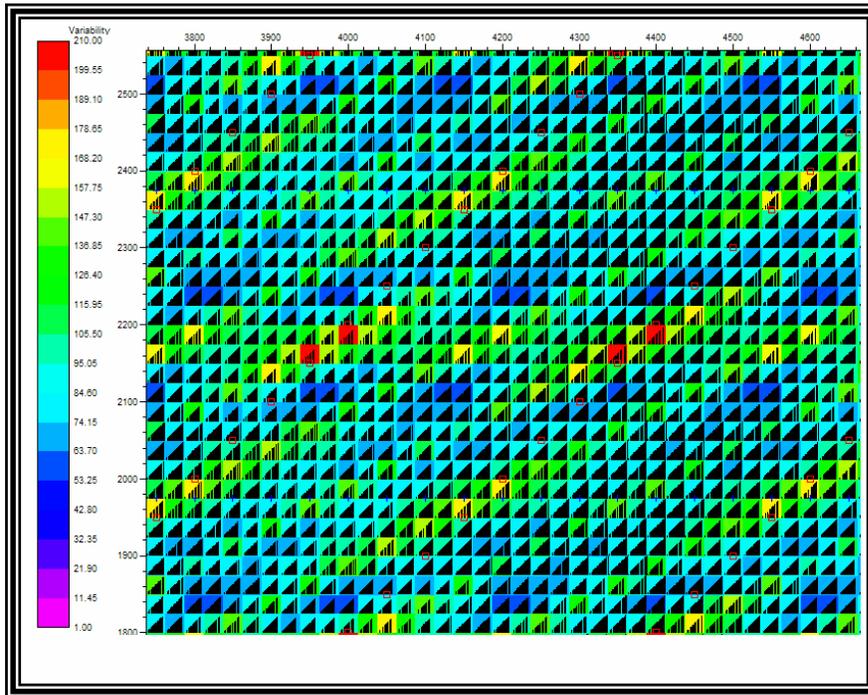


Figura 5-48: Histograma de *offsets* sobrepuesto sobre la variabilidad de *offsets* de la geometría S45Rectangular.

Otra característica que se puede observar es que los rangos para las geometrías ortogonales son menores que para las geometrías no ortogonales. Se tiene que tomar en cuenta que la máxima variabilidad en las geometrías no ortogonales esta presente en una cantidad menor de *bins* y los valores medios están distribuidos de manera más homogénea, lo que permitiría decir que estos estudios se comportarían de mejor manera para un estudio sísmico en un objetivo que se encuentre localizado en este rango de *offset*.

ESTUDIO DE ACIMUT POR MEDIO DEL DIAGRAMA DE PATAS DE ARAÑA

Para analizar la distribución acimutal se muestra en las Figuras 5-49 a la 5-56 la relación de la distribución de *offsets* según el ángulo de contribución en un *bin*. En las geometrías rectangulares se observa una variedad limitada de acimuts que conducen a una distribución más lineal de *offset* parecido a la distribución de *offset* de un estudio

2-D. Sin embargo, se puede observar redundancia de algunos de los acimuts para los valores de *offsets* lejanos y cercanos. Una mala distribución de acimut indica potenciales problemas a la hora de corregir las estáticas y una inhabilidad para detectar variaciones dependientes del acimut (elevación de un buzamiento y/o anisotropía).

En las geometrías cuadradas la distribución de acimut es mucho más variada que para la rectangular, por lo que no se observa redundancia de algunos de los acimuts para los valores de *offset* lejanos y cercanos, una buena distribución de acimut asegura que la información de todos los ángulos circunvecinos al *bin* son incluidos en el apilamiento y esto conduce a un mejor apilamiento que en las geometrías rectangulares. Estos estudios son mejores para el análisis de velocidades, atenuación de múltiples, corrección de estática y un muestreo direccional más uniforme del subsuelo.

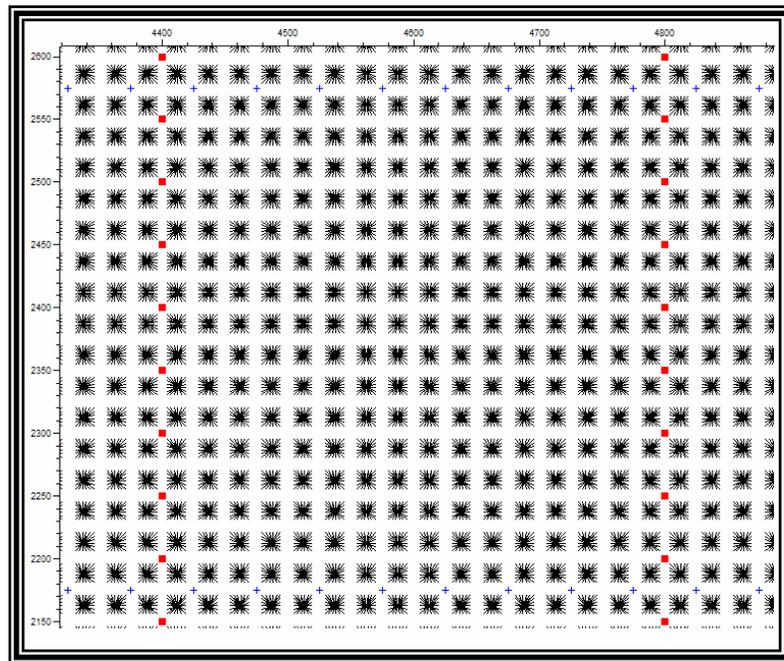


Figura 5-49: Diagrama patas de araña de la geometría LRCuadrada.

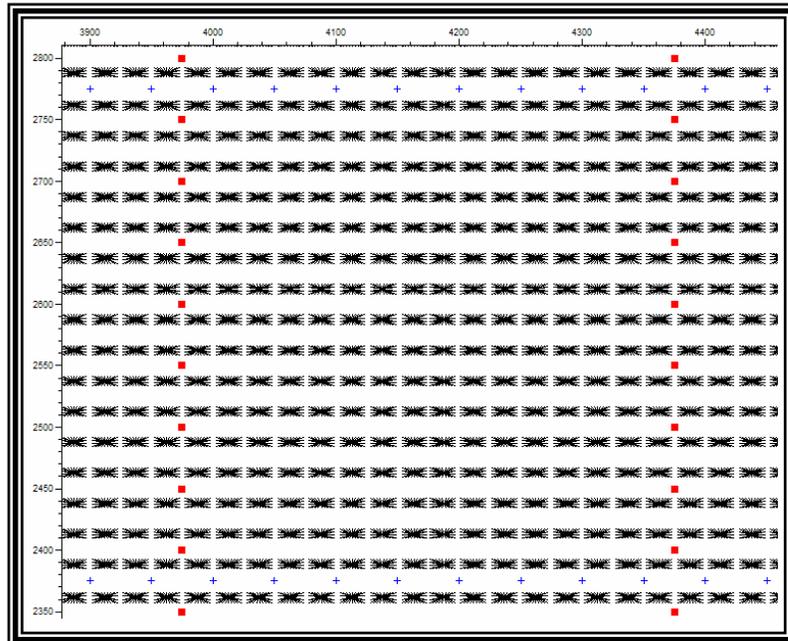


Figura 5-50: Diagrama patas de araña de la geometría LRRectangular.

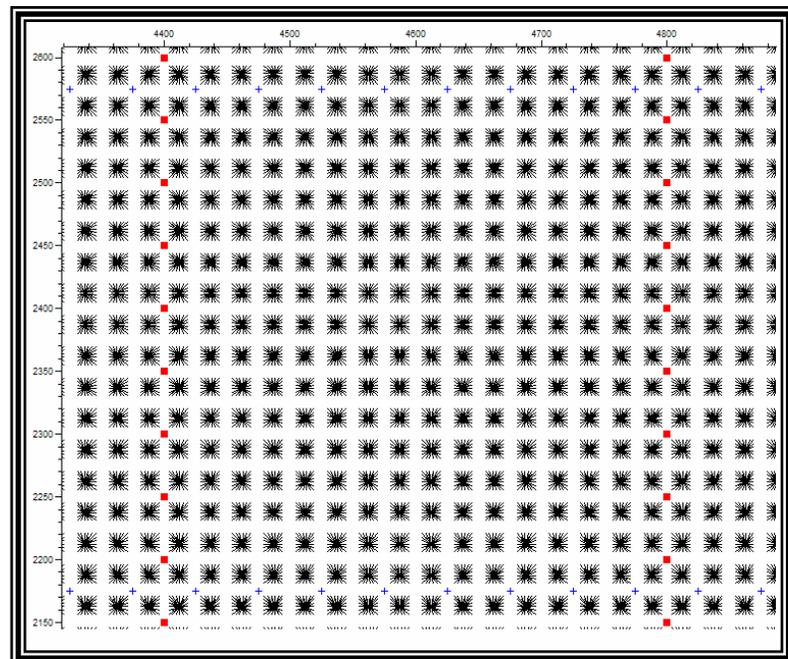


Figura 5-51: Diagrama patas de araña de la geometría SCuadrada.

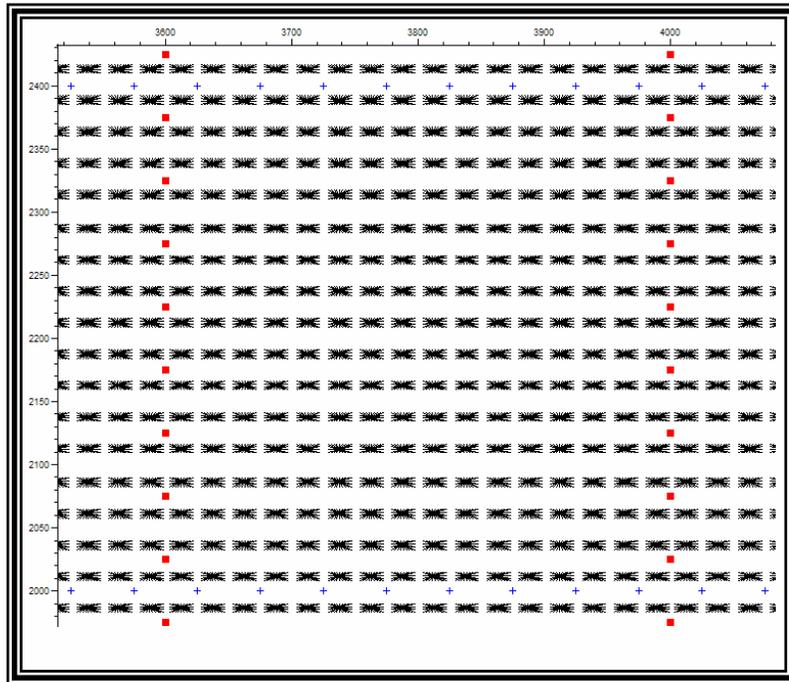


Figura A-52: Diagrama patas de araña de la geometría SRectangular.

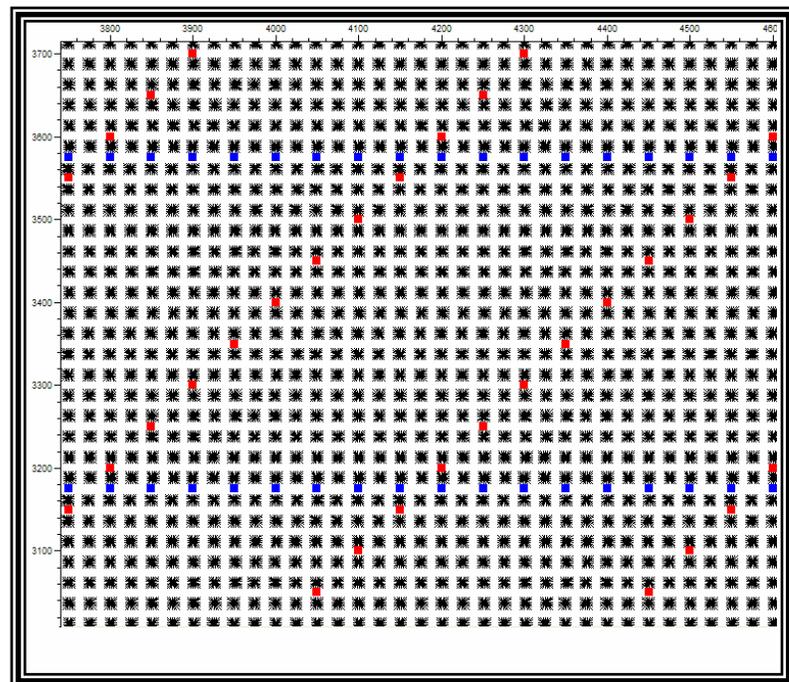


Figura A-53: Diagrama patas de araña de la geometría 45Cuadrada.

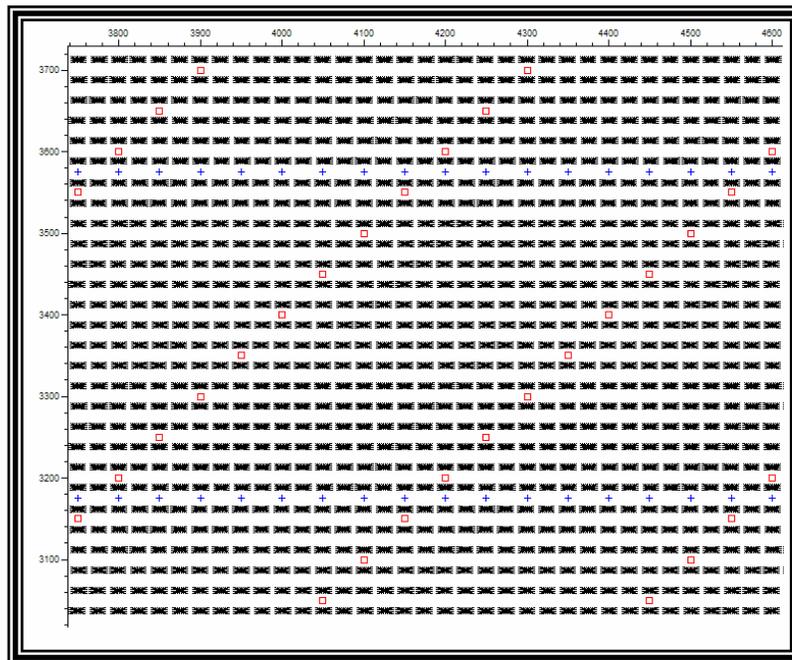


Figura 5-54: Diagrama patas de araña de la geometría 45Rectangular.

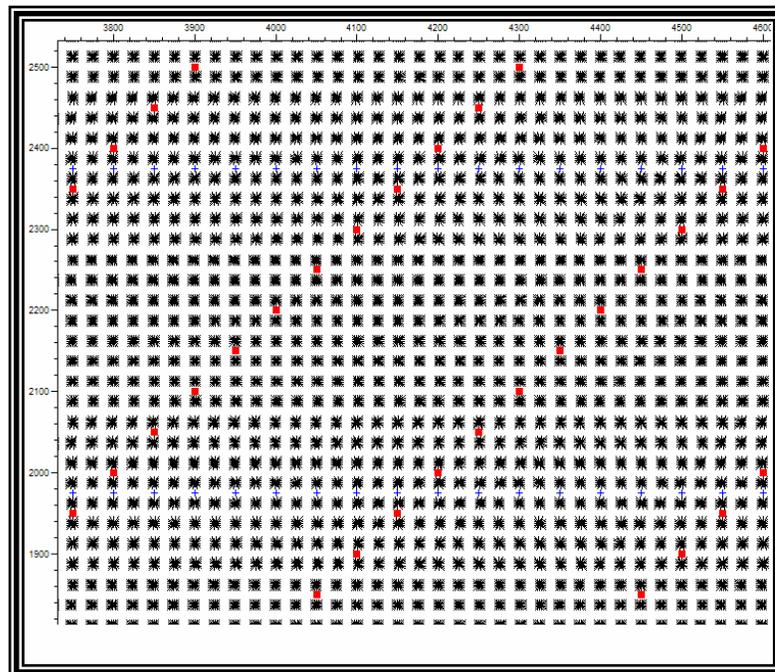


Figura 5-55: Diagrama patas de araña de la geometría S45Cuadrada.

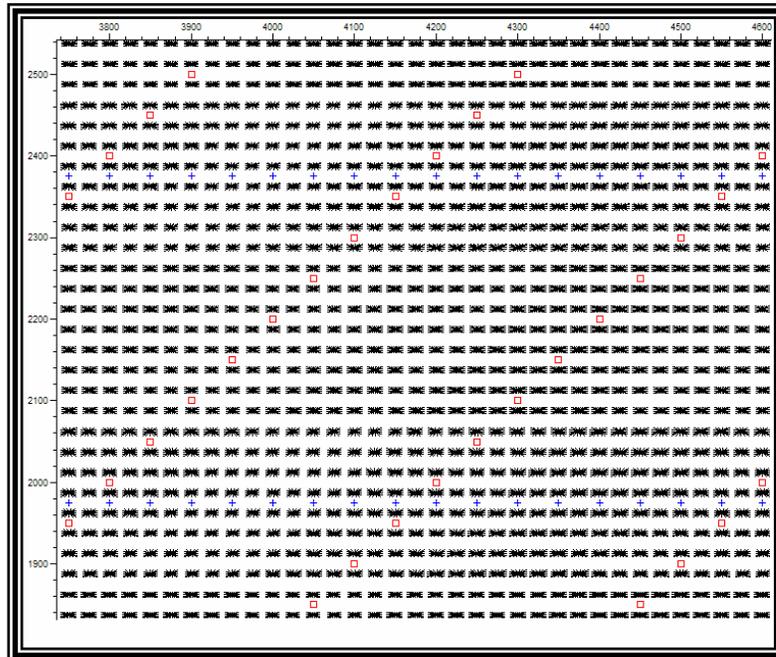


Figura 5-56: Diagrama patas de araña de la geometría S45Rectangular.

ESTUDIO DE LOS DIAGRAMAS DE ROSA

Las Figuras 5-57 a la 5-64 podemos observar los diagramas de rosas, estos diagramas permiten corroborar algunas de las observaciones que se han hecho en los atributos anteriormente señalados, tal como la amplia distribución de acimuts presentes en los diseños cuadrados y una distribución estrecha para las geometrías rectangulares.

En los diseños LRCuadrada, SCuadrada y 45Cuadrada se puede observar que las distribuciones entre 0° y 90° que se repiten en los otros tres cuartos de la circunferencia. Asimismo se observa la mayor concentración de trazas para los *offsets* medios, los cuales corresponden a las celdas identificadas con los colores rojo y naranja. Por lo tanto en estas geometrías los rangos de acimut con mayor concentración de trazas se localizan entre 50° - 130° y 230° - 310° . También podemos observar una concentración homogénea de trazas para los *offsets* cercanos. Para la geometría S45Cuadrada la única diferencia es que solo hay un eje de simetría y la

circunferencia esta dividida en dos (45° a 225°) pero las características de las zonas donde se localizan el mayor número de trazas y la zonas donde se localiza una distribución mas o menos homogénea de las mismas son idénticas.

En los diseños LRRectangular y SRectangular se puede observar que las distribuciones entre 90° y 270° que se repiten en la otra mitad de la circunferencia. Asimismo se observa la mayor concentración de trazas para los mayores *offsets* medios y los menores offset lejanos los cuales corresponden a las celdas identificadas con los colores rojo y naranja. Por lo tanto en estas geometrías los rangos de acimut con mayor concentración de trazas se localizan entre $70^\circ - 110^\circ$ y $250^\circ - 290^\circ$. También podemos observar una concentración homogénea de trazas para los *offsets* cercanos. Para los diseños 45Rectangular y S 45Rectangular se observa las distribuciones que se repiten están desplazadas entre 70° y 250° , manteniendo las mismas características del mayor número de trazas.

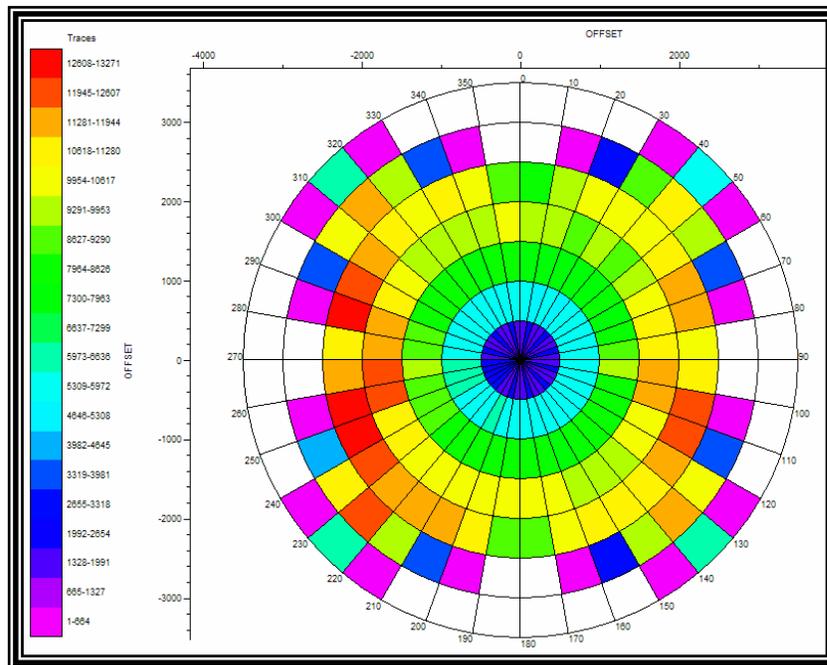


Figura 5-57: Diagrama de rosa de la geometría LRCuadrada.

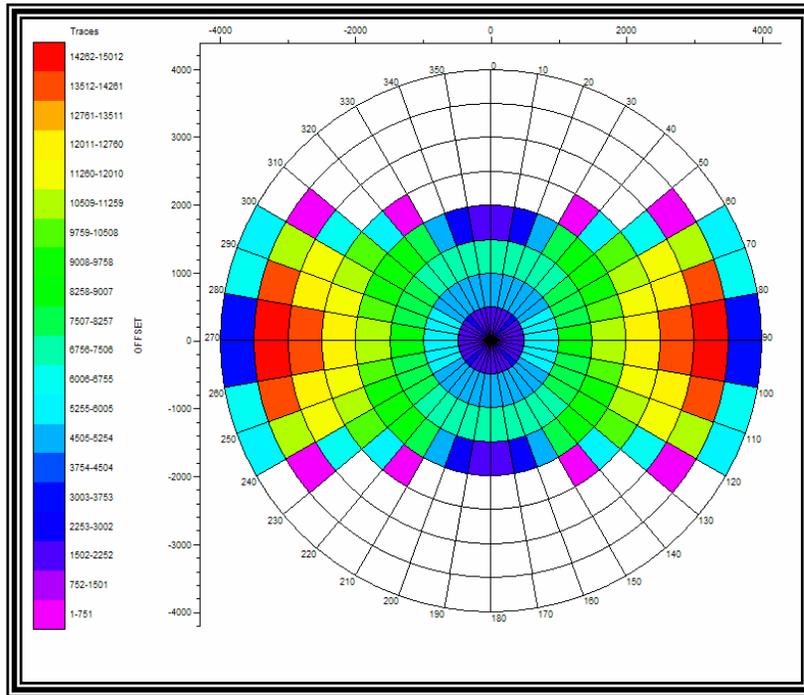


Figura 5-58: Diagrama de rosa de la geometría LRRectangular.

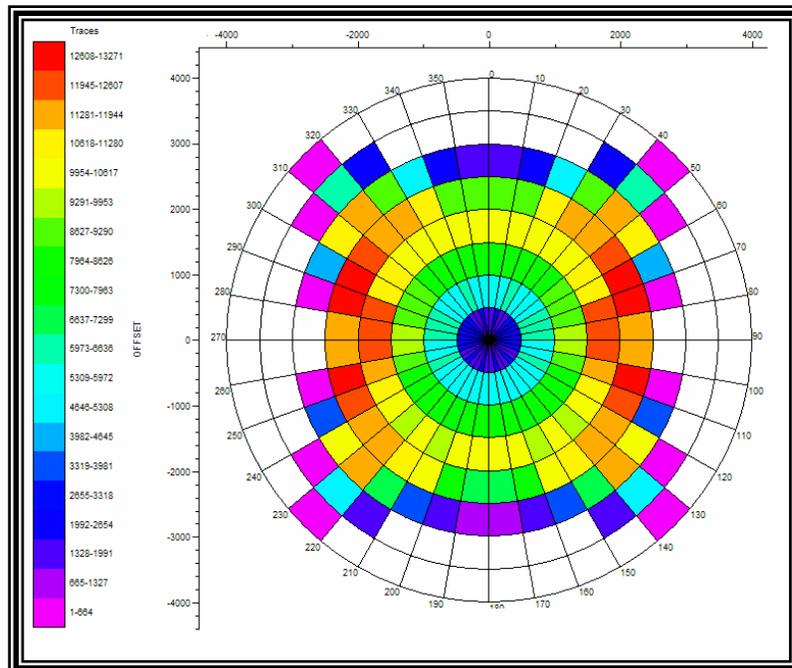


Figura 5-59: Diagrama de rosa de la geometría SCuadrada.

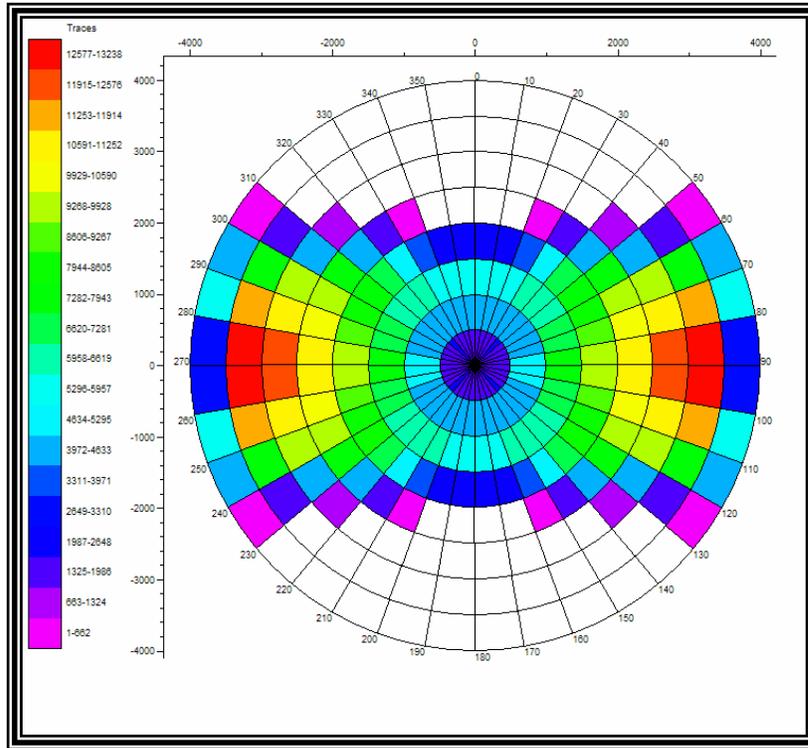


Figura 5-60: Diagrama de rosa de la geometría SRectangular.

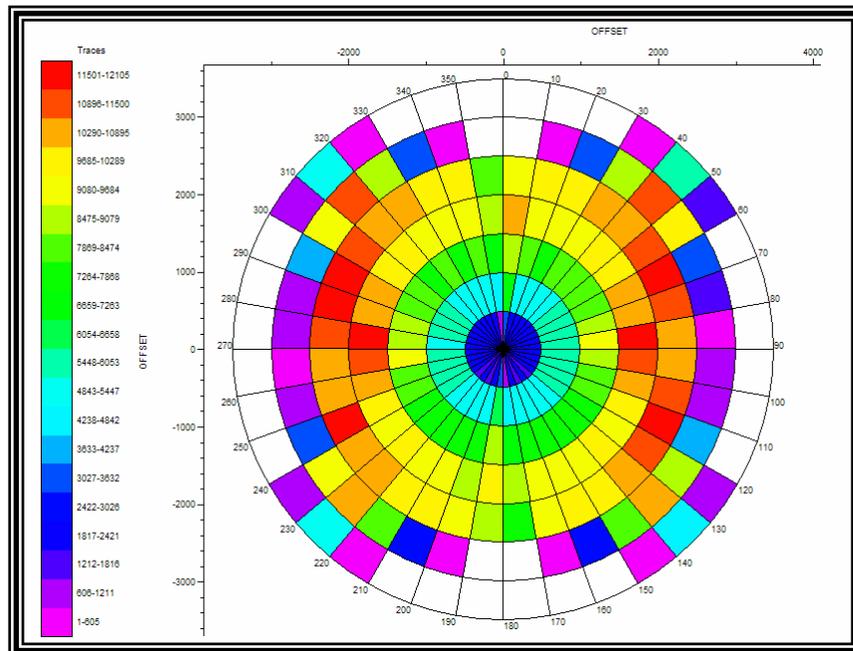


Figura 5-61: Diagrama de rosa de la geometría 45 Cuadrada.

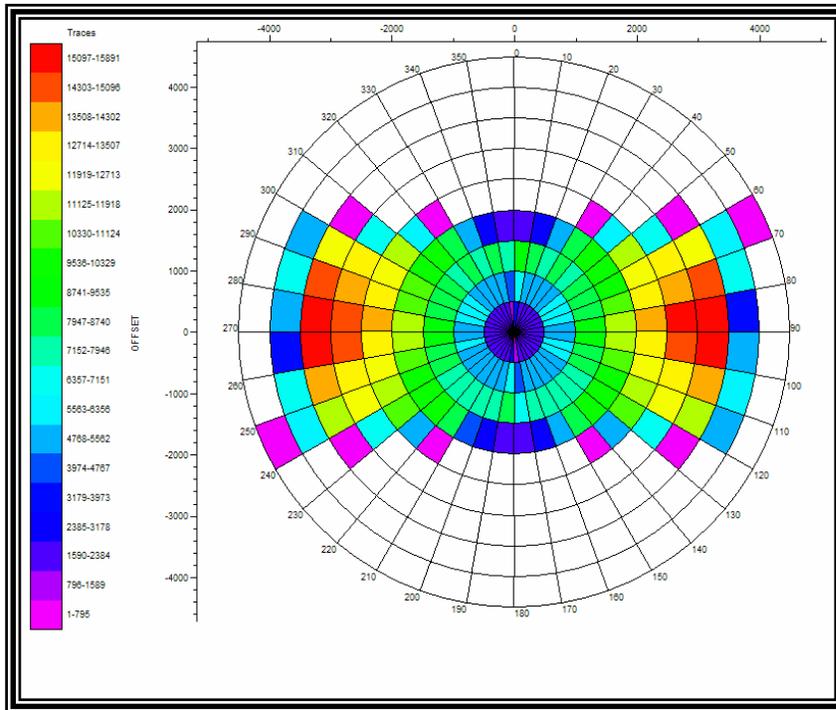


Figura 5-62: Diagrama de rosa de la geometría 45Rectangular.

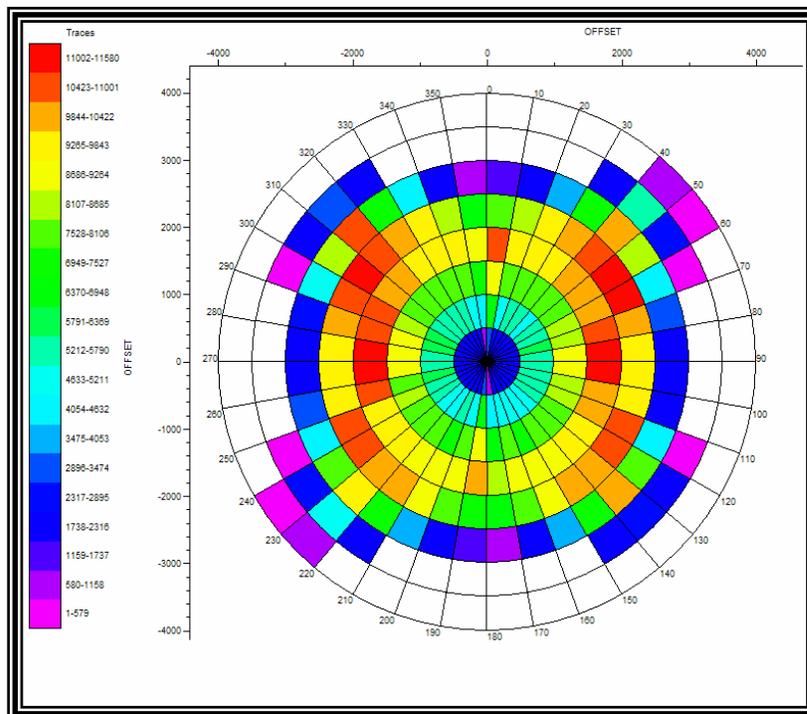


Figura 5-63: Diagrama de rosa de la geometría S45Cuadrado.

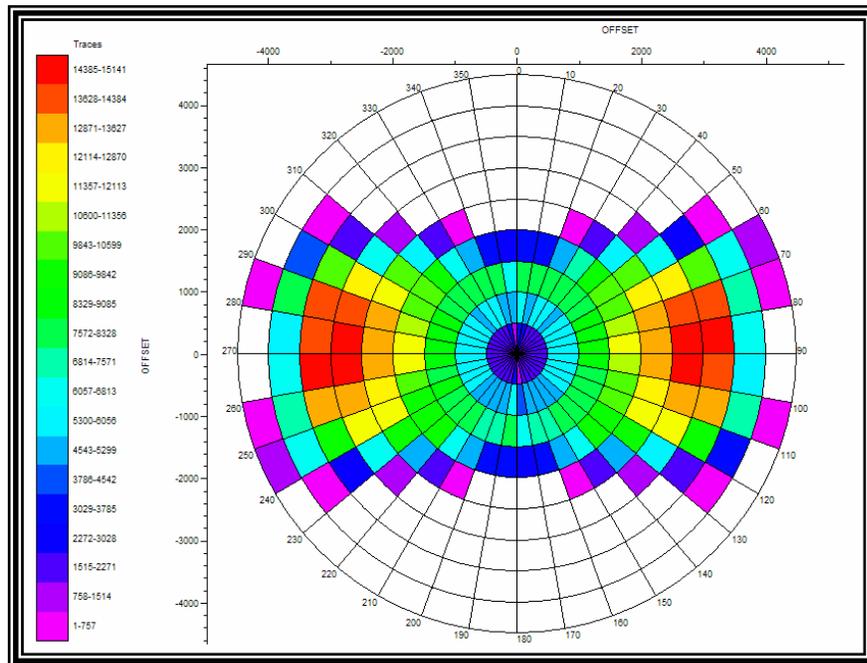


Figura 5-64: Diagrama de rosa de la geometría S45Rectangular.

ARCHIVOS DE EXPORTACIÓN DE LA GEOMETRÍA (SPS)

Archivos rps

El archivo con la descripción .rps posee la información de los receptores o grupo de receptores. Se generó un archivo rps para cada geometría en estudio, este tipo de archivo se puede leer en un programa de edición de texto y es de gran importancia conocer la localización de cada parámetro para así poder cargar la geometría en el procesamiento de datos, abriendo el archivo en el bloc de notas del Windows se puede observar (Figura 5-65):

Las filas 1-76 describen el *header* grabado, en los archivos generados por MESA algunos de estos parámetros se encuentran en blanco ya que estos son llenados por datos que se generan en el trabajo de campo, las filas que el programa de diseño completa son: SPS format version num (el formato sps y la fecha), Description of survey area (descripción del área de estudio, nombre del país, tipo de estudio 2-D o

3-D, si es terrestre o marino y número del proyecto), Date of survey (fecha del estudio, fecha del primer disparo y fecha de la última modificación de este archivo), Post-plot date of issue (fecha en que fue entregado el archivo), Description of grid units (descripción de las unidades del grid), factor to metre (factor que se utilizó para convertir las medidas a metros) y Number of channels (número de canales).

En la Figura 5-65 podemos observar los parámetros básicos de los archivos rps para la geometría SCuadrada, cada línea pertenece a un receptor y poseen: línea receptora a la cual pertenece, número que identifica al receptor, grupo al que pertenece, sus coordenadas geográficas y su cota.

		Coordenada X							Coordenada Y		Cota			
H000	SPS format version num.	SPS001,12.01.04;												
H010	Description of survey area	pru,,N/A,N/A;												
H020	Date of survey	12.01.04,12.01.04;												
H021	Post-plot date of issue	12.01.04;												
H201	Factor to metre	1.00000000;												
H402	Sample int.,Record Len.	1,0.000000,N/A;												
H403	Number of channels	1,1152;												
H600	Type,model,polarity	G1,geophone 1;												
H700	Type,model,polarity	E1,explosive 1;												
R1		100011G1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1235959
R1		100021G1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1235959
R1		100031G1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1235959
R1		100041G1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1235959
R1		100051G1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1235959
R1		100061G1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1235959
R1		100071G1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1235959
R1		100081G1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1235959
R1		100091G1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1235959
R1		100101G1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1235959
R1		100111G1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1235959
R1	Línea receptora	100121G1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1235959
R1		100131G1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1235959

Figura 5-65: Parámetros básicos de los archivos rps para la geometría SCuadrada

Archivos sps

El archivo con la descripción .sps posee la información de las fuentes o grupo de fuentes. Se generó un archivo sps para cada geometría en estudio, este tipo de archivo también se puede leer en un programa de edición de texto y al igual que en los

archivos sps es de gran importancia conocer la localización de cada parámetro para así poder cargar la geometría en el procesamiento de datos, abriendo el archivo en el bloc de notas del Windows se puede observar que en las filas 1-76 poseen las mismas líneas que describen el header grabado.

En la Figura A-70 podemos observar los parámetros básicos de los archivos sps para la geometría SCuadrada, cada línea pertenece a una fuente y poseen: línea fuente a la cual pertenece, número que identifica de la fuente, grupo al que pertenece, sus coordenadas geográficas y su cota.

		Coordenada X						Coordenada Y		Cota	
H000SPS format version num.		SPS001,12.01.04;									
H010Description of survey area		pru,,N/A,N/A;									
H020Date of survey		12.01.04,12.01.04;									
H021Post-plot date of issue		12.01.04;									
H201Factor to metre		1.00000000;									
H402Sample int.,Record Len.		1,0.000000,N/A;									
H403Number of channels		1,1152;									
H600Type,model,polarity		G1,geophone 1;									
H700Type,model,polarity		E1,explosive 1;									
S1		100011E1	0	0.0	0	0	0.0	00.0	00.0	0.0	1235959
S1		100021E1	0	0.0	0	0	0.0	00.0	25.0	0.0	1235959
S1		100031E1	0	0.0	0	0	0.0	00.0	25.0	0.0	1235959
S1		100041E1	0	0.0	0	0	0.0	00.0	25.0	0.0	1235959
S1	Número que	100051E1	0	0.0	0	0	0.0	00.0	25.0	0.0	1235959
S1	identifica	100061E1	0	0.0	0	0	0.0	00.0	25.0	0.0	1235959
S1	a la fuente	100071E1	0	0.0	0	0	0.0	00.0	25.0	0.0	1235959
S1		100081E1	0	0.0	0	0	0.0	00.0	25.0	0.0	1235959
S1		100091E1	0	0.0	0	0	0.0	00.0	25.0	0.0	1235959
S1	Linea Fuente	100101E1	0	0.0	0	0	0.0	00.0	25.0	0.0	1235959
S1		100111E1	0	0.0	0	0	0.0	00.0	25.0	0.0	1235959
S1		100121E1	0	0.0	0	0	0.0	00.0	25.0	0.0	1235959
S1		100131E1	0	0.0	0	0	0.0	00.0	25.0	0.0	1235959
S2		200011E1	0	0.0	0	0	0.0	50.0	75.0	0.0	1235959
S2		200021E1	0	0.0	0	0	0.0	50.0	75.0	0.0	1235959
S2		200031E1	0	0.0	0	0	0.0	50.0	75.0	0.0	1235959

Figura 5-66: Parámetros básicos de los archivos sps para la geometría SCuadrada.

Archivos xps

El archivo con la descripción .xps es el archivo que relaciona que receptores se encuentran vivos para cada fuente o grupo de fuentes, este toma información de los archivos anteriores para poder identificar cada fuente y cada receptor las primeras 76

líneas son idénticas a las anteriores y no posee coordenadas ni de fuentes ni de receptores.

En la Figura 5-67 se puede observar la localización de las columnas de los principales parámetros de los archivos xps en esta están: número de la línea fuente, número de fuente, grupo donde comienzan los receptores vivos, grupo donde terminan los receptores vivos, número de línea receptora, número del primer receptor vivo y número del último receptor vivo.

H000SPS format version num.	SPS001,12.01.04;				
H010Description of survey area	pru.,N/A,N/A;				
H020Date of survey	12.01.04,12.01.04;				
H021Post-plot date of issue	12.01.04;				
H200Description of grid units	Metres;				
H201Factor to metre	1.00000000;				
H402Sample int.,Record Len.	1,0.000000,N/A;				
H403Number of channels	1,1152;				
H600Type,model,polarity	G1,geophone 1;				
H700Type,model,polarity	E1,explosive 1;				
X0	0111	100011	1	4811	
X0	0111	100011	49	9612	
X0	0111	100011	97	14413	
X0	0111	100011	145	19214	
X0	0111	100011	193	24015	
X0	0111	100011	241	28816	
X0	0111	100021	1	4811	
X0	0111	100021	49	9612	
X0	0111	100021	97	14413	
X0	0111	100021	145	19214	
X0	0111	100021	193	24015	
X0	0111	100021	241	28816	
X0	0111	100021	289	33617	
X0	0111	100031	1	4811	
X0	0111	100031	49	9612	
X0	0111	100031	97	14413	

Numero de la fuente (pointing to column 2)
Línea fuente (pointing to column 1)
Numero del primer receptor (pointing to column 4)
Línea receptora (pointing to column 3)
Primer grupo de receptores (pointing to column 4)
Ultimo grupo de receptores (pointing to column 5)

Figura 5-67: Parámetros básicos de los archivos sps para la geometría SCuadrada.

MODELADO POR TRAZADO DE RAYOS

Modelo geológico de capas planas

Se generó un modelo geológico con propiedades definidas, en la Figura 5-68 podemos observar una perspectiva 3-D del modelo geológico a utilizar en el trazado de rayos, en el se puede observar la simplicidad estructural del modelo y el arreglo de

receptores y fuentes para la geometría LRCuadrada. En la Tabla 5.3 se puede observar las profundidades y velocidades de cada reflector, las profundidades fueron seleccionadas de forma que tengan una distancia igual entre reflectores y las velocidades con la finalidad de que existan distintos contrastes de velocidad.

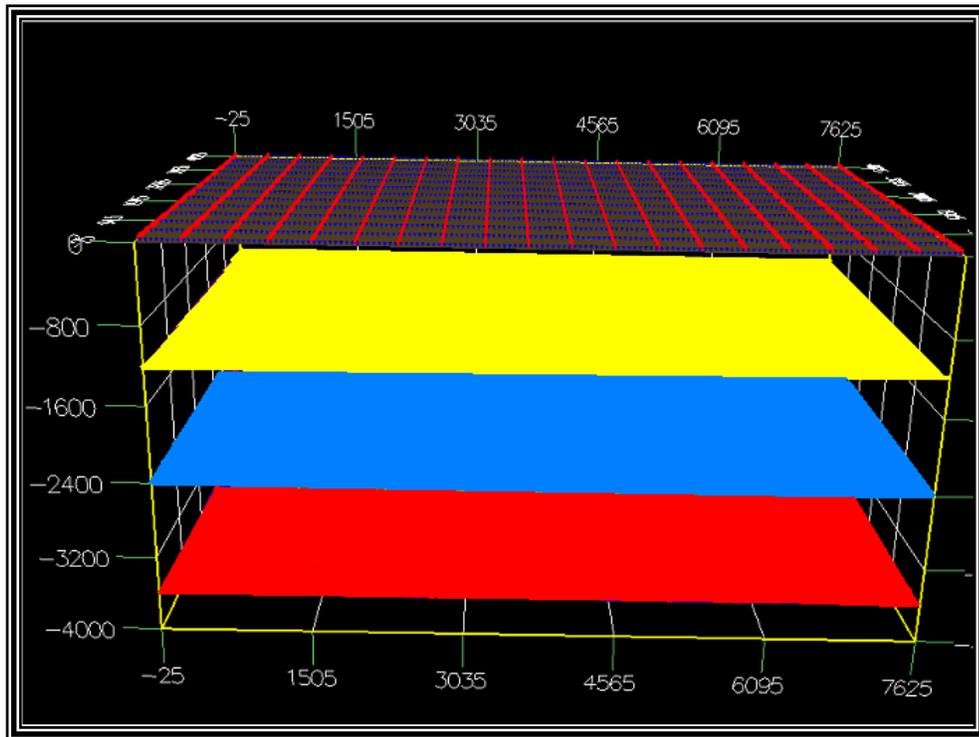


Figura 5-68: Visualización 3-D del modelo geológico de capas planas.

Tabla 5-3: Características de los reflectores del modelo de capas planas.

	Profundidad (m)	Velocidad de ondas p (m/s)
Capa1	1.200	2.220
Capa2	2.400	3.000
Capa3	3.600	3.600
Fondo	4.000	4.200

DIAGNÓSTICOS BASADOS EN EL ESTUDIO DEL OBJETIVO GEOLOGICO

Diagnóstico de la cobertura del CRP

En el mapa del diagnóstico de cobertura de *CRP* se puede observar la existencia de áreas en las que se podrían tener problemas de iluminación de los objetivos geológicos, los puntos rojos que representan las zonas de mayor iluminación que usualmente ocurren en altos estructurales dentro de los horizontes, que producen rayos de menor camino. Asimismo se observan zonas de pobre iluminación hacia los bordes del levantamiento, en la Figura 5-68 se puede observar la imagen 3-D de la cobertura *CRP* para la geometría LRCuadrada.

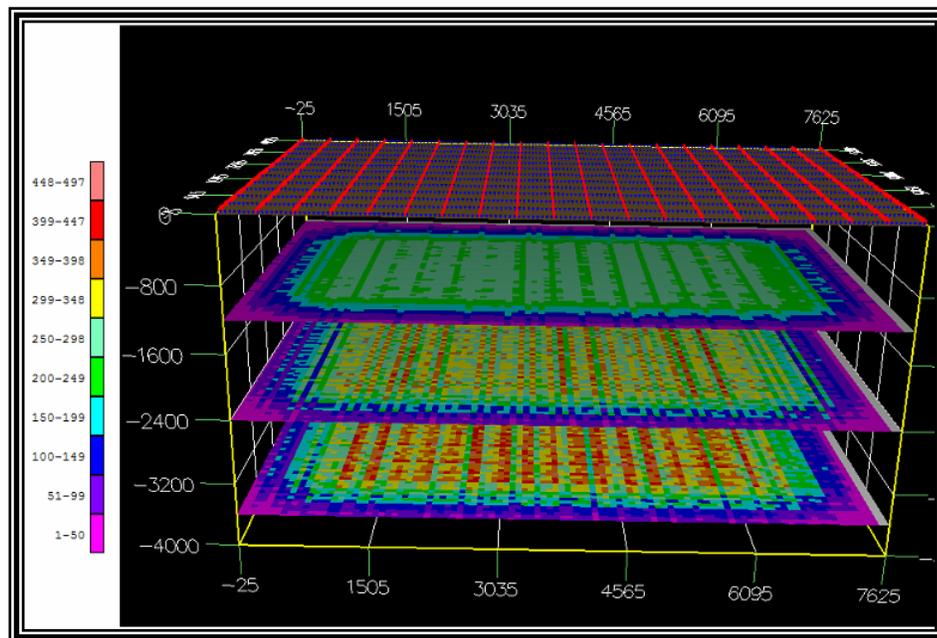


Figura 5-68: Imagen 3-D de la cobertura CRP para la geometría LRCuadrada.

También se puede observar que la zona de mayor iluminación es la el último reflector y las imágenes de todas las geometrías son realmente parecidas. En general podría decirse que se tiene una no muy buena iluminación del primer y segundo

reflector, lo cual es el resultado correcto ya que las geometrías fueron diseñadas con el propósito de iluminar un objetivo a 3600 m.

Al comparar las Figura 5-68 (cobertura del *CMP*) con la Figura 5-9 (cobertura del *CRP*) se puede observar las diferencias. Esta comparación muestra que la cobertura del *CRP* para los diseños estudiados no son homogéneas y no logra la definición estructural buscada, si esto ocurre en un modelo geológico de capas planas, que resultado se podría esperar en un modelo geológico complejo.

Diagnóstico del tiempo doble de viaje

El diagnóstico del tiempo doble de viaje se realizó con el propósito de tener el tiempo más representativos en cada reflector y así poder realizar los cortes en los cubos después de procesada la data sísmica, existen varias opciones para visualizar este diagnóstico en el presente trabajo se seleccionó una visualización en grafico de barras, en la Figura 5-69 se puede apreciar dicho grafico para la capa más profunda de la geometría LRCuadrada.

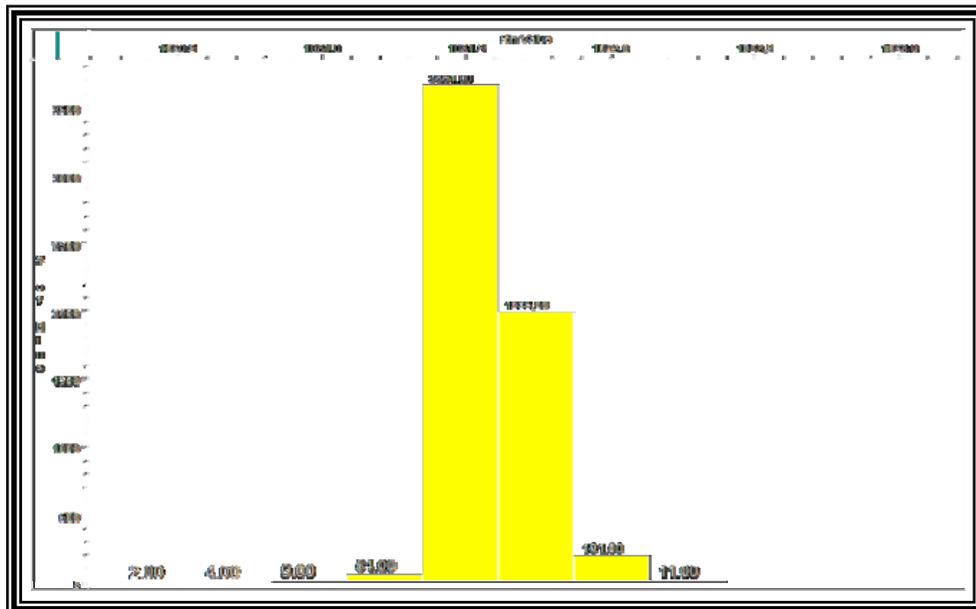


Figura 5-69: Grafico de barras para la geometría LRCuadrada en la última capa.

En la tabla 5-4 se describen los tiempos de doble viaje para las distintas geometrías y capas, aquí se observa que los tiempos varían muy poco en cada capa. Estos tiempos son de gran importancia ya que el cubo 3-D de los datos ya procesados esta en escala de tiempo y no de profundidad.

Tabla 5-4: Tiempos más representativos en cada capa para el diagnóstico del doble tiempo de viaje.

	Capa 1 (ms)	Capa 2 (ms)	Capa 3 (ms)
LRCuadrada	1081,5	1882,3	2549,5
LRRectangular	1081,6	1883	2549,4
SCuadrada	1081,5	1882,5	2549,3
SRectangular	1081,8	1882,7	2549,4
45Cuadrada	1081,4	1882,3	2549,3
45Rectangular	1081,3	1882,9	2449,4
S45Cuadrada	1081,3	1882,4	2549,4
S45Rectangular	1081,6	1882,8	2549,3

GENERADOR DE ARCHIVOS DE TRAZAS SÍSMICAS SINTÉTICAS

En la Figura 5-70 podemos observar el sintético desplegado como *shot gather* para el trazado de rayos *offset* del levantamiento con geometría LRCuadrada. El punto de tiro escogido, al que se le desplegaron las trazas observadas en la Figura fue el 100050. En este sintético se puede observar claramente los eventos correspondientes a los objetivos del trazador de rayo, sin correcciones por *NMO* y que no poseen ruido aleatorio, también se puede observar que la amplitud de la ondicula disminuye con la profundidad.

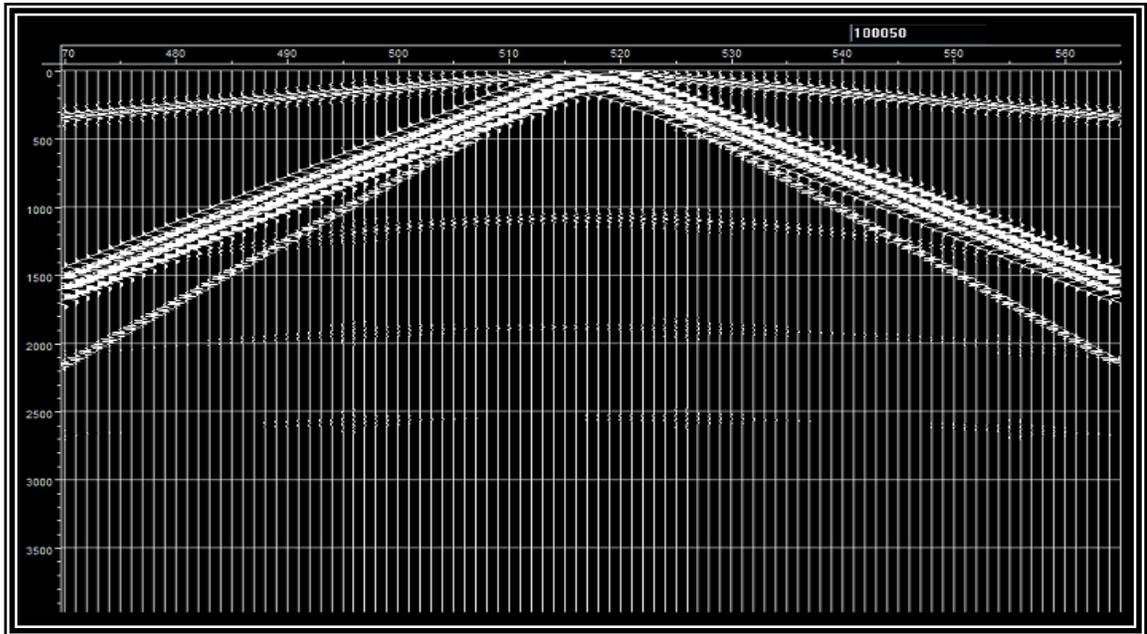


Figura 5-70: *Shot gather* sintético.

VISUALIZACIÓN DE LOS DATOS SÍSMICOS SINTÉTICOS PROCESADOS

Al terminar el procesamiento de los datos, se visualizaron estos ordenados por *CDP* con el visualizador de trazas (Figura 5-71) y se pudo constatar que esta no era la herramienta idónea que permitiría visualizar, cual de las geometrías en estudio daba como resultado una mejor resolución, atenuación de múltiples y menor cantidad huellas de adquisición.

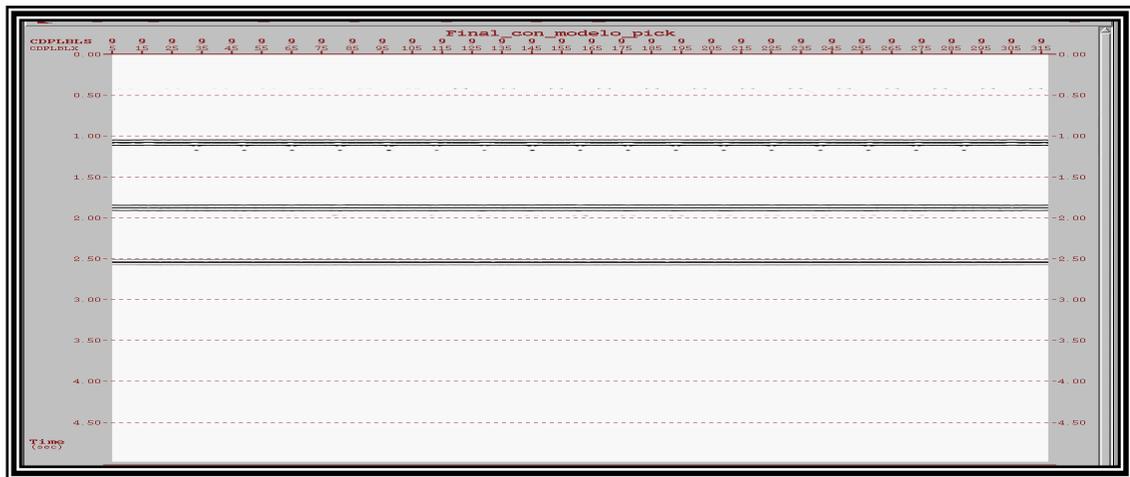


Figura 5-71: Imagen del visualizador de *shot gather* ordenado por *CDP*.

VISUALIZACIÓN POR MEDIO DEL CUBOS DE ESPECTRO DE AMPLITUDES

Los cubos de espectro de amplitudes muestra en color rojo las zonas en donde existe un mejor apilamiento y en color amarillo donde existe falta de estos. En las Figuras 5-73 a la 5-76 se pueden observar estos con cortes de profundidad para la primera capa de las geometrías ortogonales, en estas se puede observar una marcada diferencia entre las geometrías estrechas y cuadradas, a simple vista se ven más rojas las geometrías estrechas, la mejor visualización de las cuatros geometría la obtenemos de la LRRectangular.

En las Figuras 5-77 a la 5-80 podemos observar los cubos de espectros con cortes en profundidad en la primera capa para las geometrías no ortogonales, en estas al igual que las anteriores se puede observar la diferencia entre las geometrías estrechas y cuadradas y que la mejor visualización la obtenemos de la rectangular cuyas fuentes se encuentran ente dos líneas receptoras.

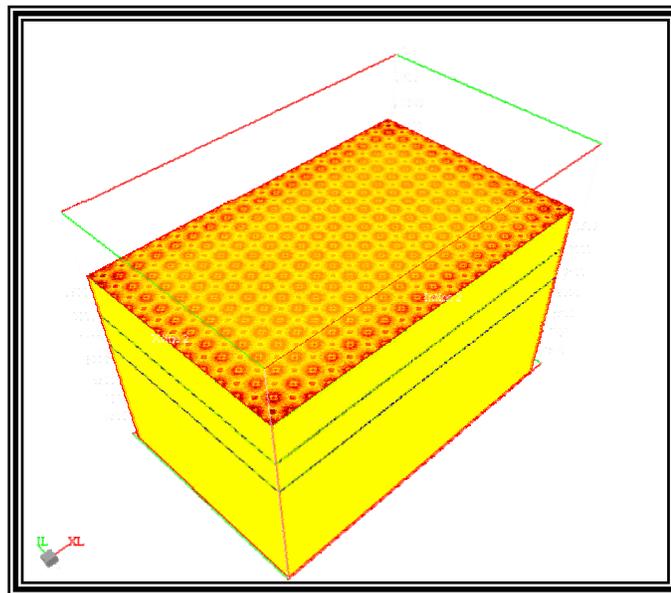


Figura 5-73: Cubos de espectro de amplitudes con corte en la primera capa para la geometría LRCuadrada.

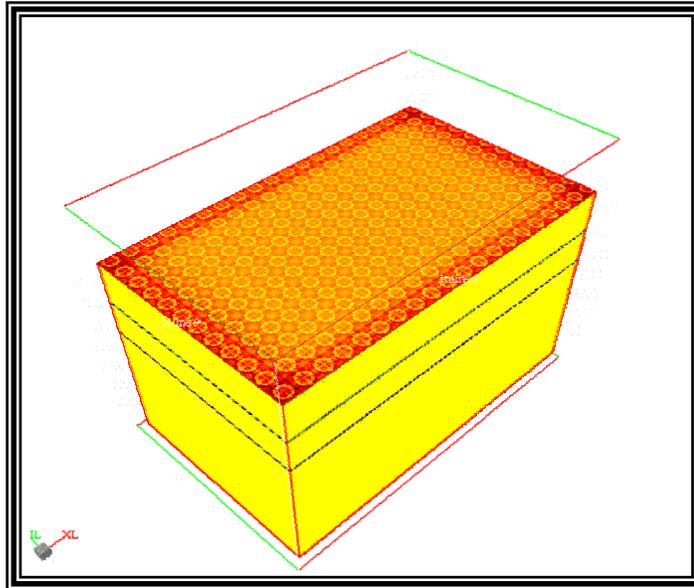


Figura 5-74: Cubos de espectro de amplitudes con corte en la primera capa para la geometría LRRectangular.

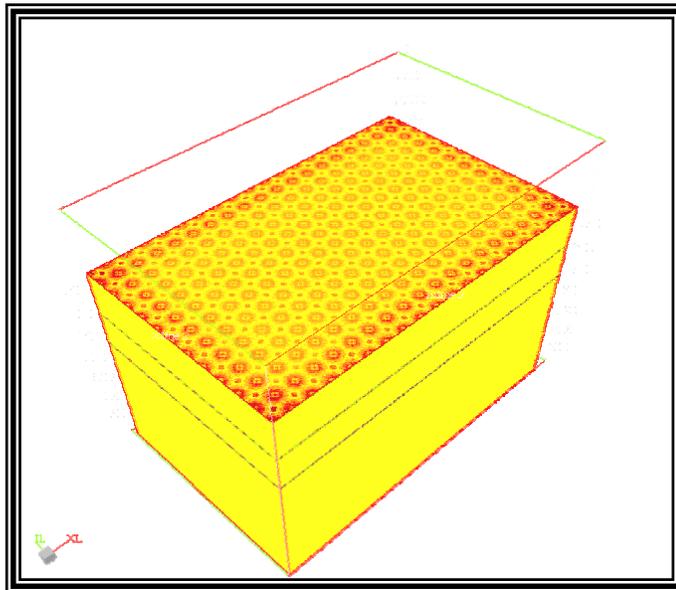


Figura 5-75: Cubos de espectro de amplitudes con corte en la primera capa para la geometría SCuadrada.

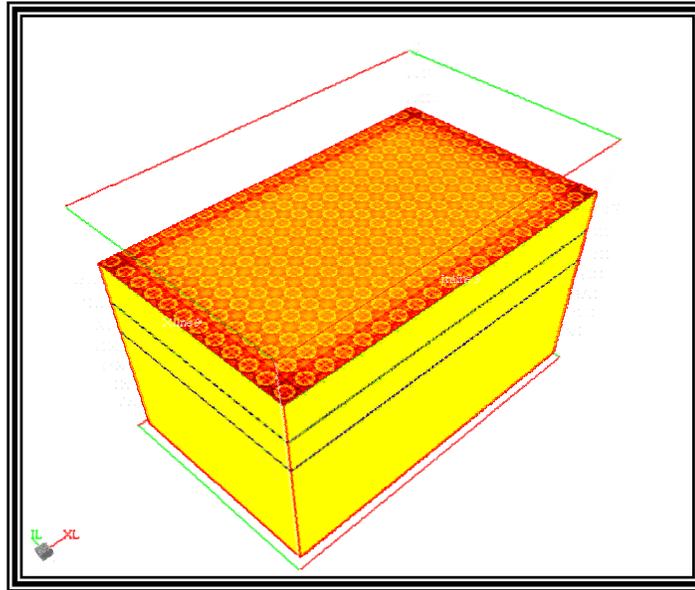


Figura 5-76: Cubos de espectro de amplitudes con corte en la primera capa para la geometría SRectangular.

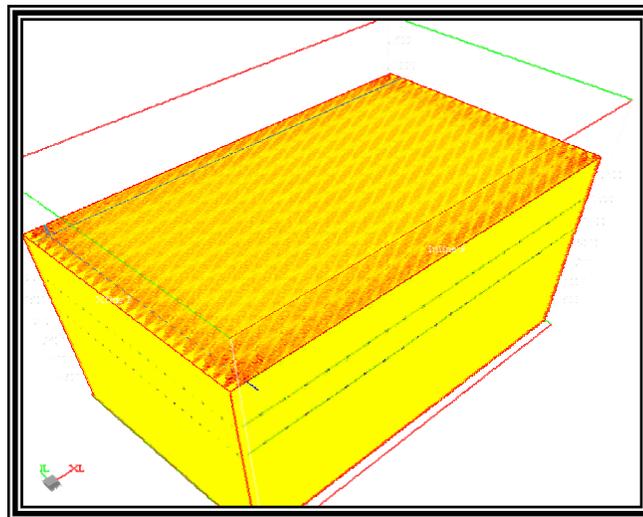


Figura 5-77: Cubos de espectro de amplitudes con corte en la primera capa para la geometría 45Cuadrada.

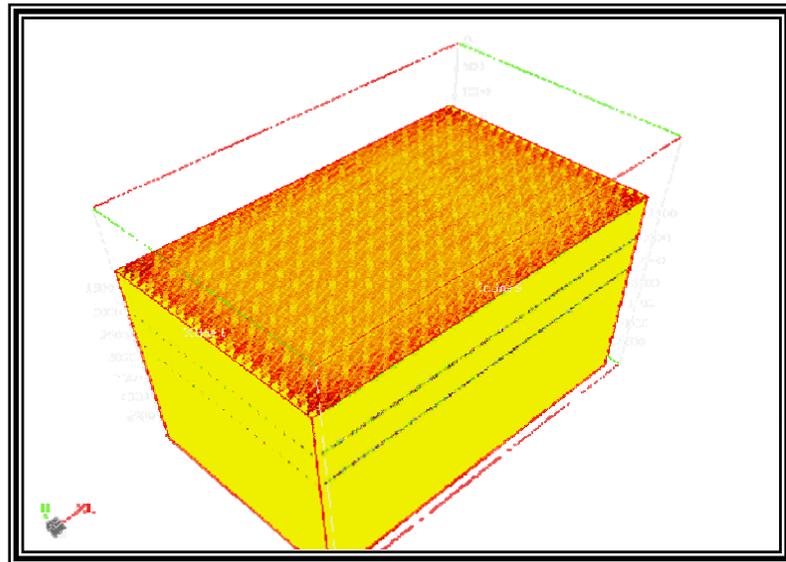


Figura 5-78: Cubos de espectro de amplitudes con corte en la primera capa para la geometría 45Rectangular.

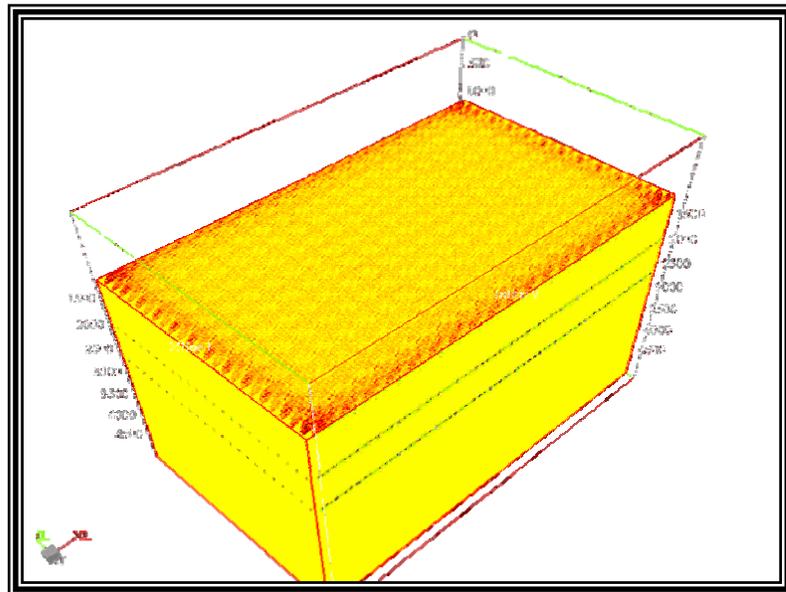


Figura 5-79: Cubos de espectro de amplitudes con corte en la primera capa para la geometría S45Cuadrada.

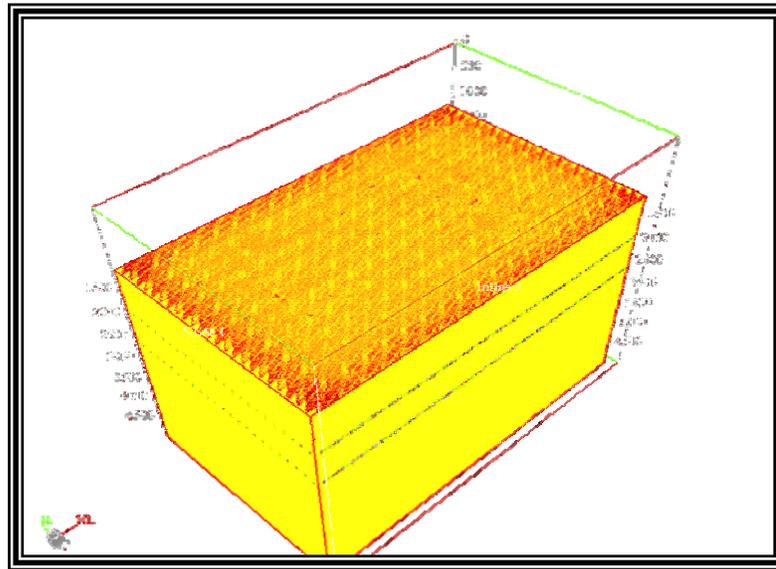


Figura 5-80: Cubos de espectro de amplitudes con corte en la primera capa para la geometría S45Rectangular.

En las Figuras 5-81 a la 5-84 se pueden observar los cubos de espectros con cortes en profundidad en la segunda capa de las geometrías ortogonales, en estas al igual que en los cortes para las primeras capas, se puede observar una marcada diferencia entre las geometrías estrechas y cuadradas, a simple vista se ven más rojas las geometrías estrechas que las cuadradas, la mejor visualización de las cuatros geometría la obtenemos de la LRRectangular. Se tiene que resaltar que en todas las geometrías tienen un incremento significativo en las tonalidades del rojo.

En las Figuras 5-85 a la 5-88 podemos observar los cubos de espectros con cortes en profundidad en la segunda capa para las geometrías no ortogonales, en estas no se puede observar la diferencia entre las geometrías estrechas y cuadradas, también existe un incremento significativo en las tonalidades de rojo en comparación al corte realizado en la primera capa con excepción de la geometría S45Cuadrada. Al igual que en las geometrías ortogonales la mejor visualización la obtenemos de la rectangular cuyas fuentes se encuentran ente dos líneas receptoras.

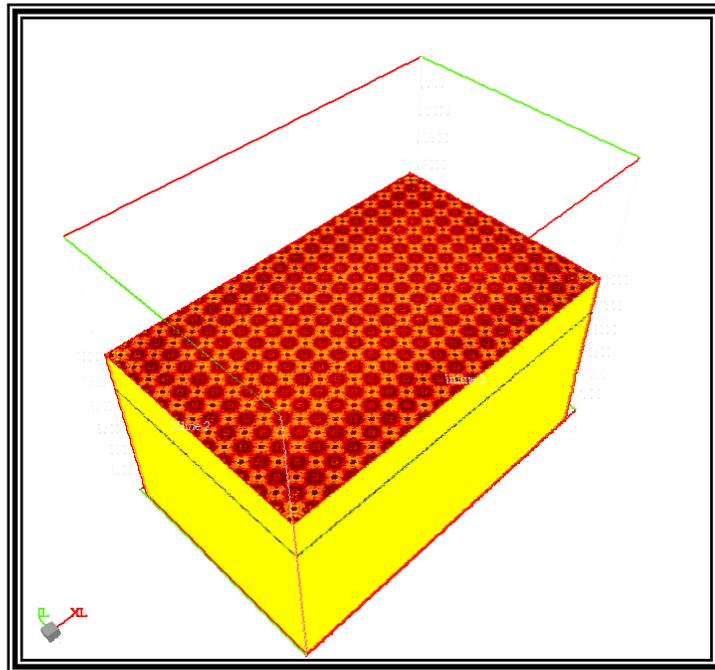


Figura 5-81: Cubos de espectro de amplitudes con corte en la segunda capa para la geometría LRCuadrada.

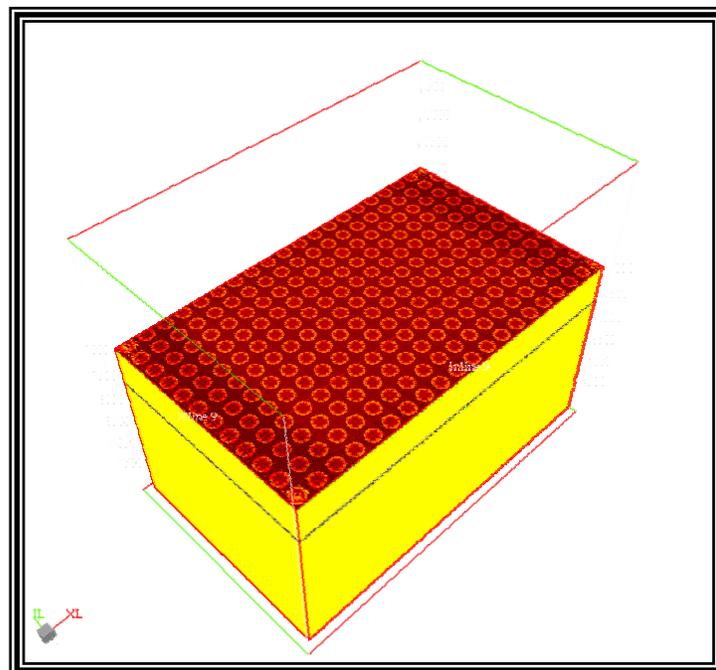


Figura 5-82: Cubos de espectro de amplitudes con corte en la segunda capa para la geometría LRRectangular.

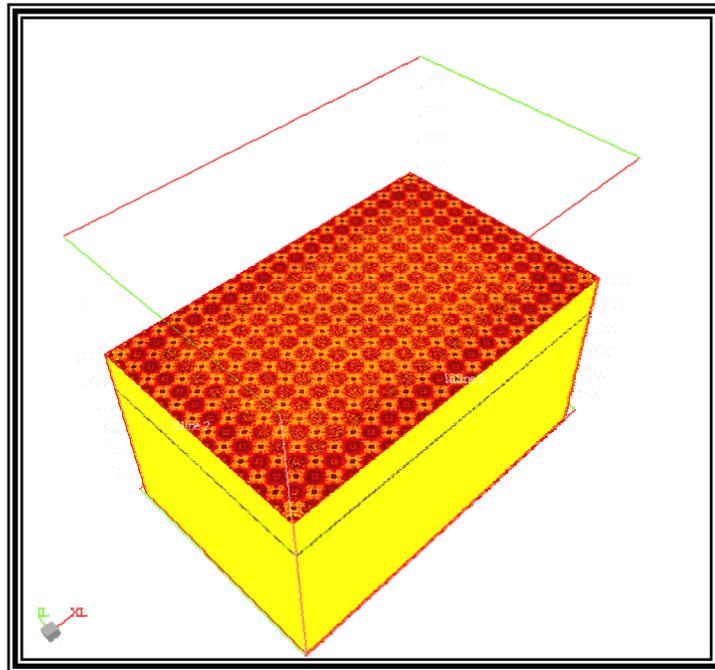


Figura 5-83: Cubos de espectro de amplitudes con corte en la segunda capa para la geometría SCuadrada.

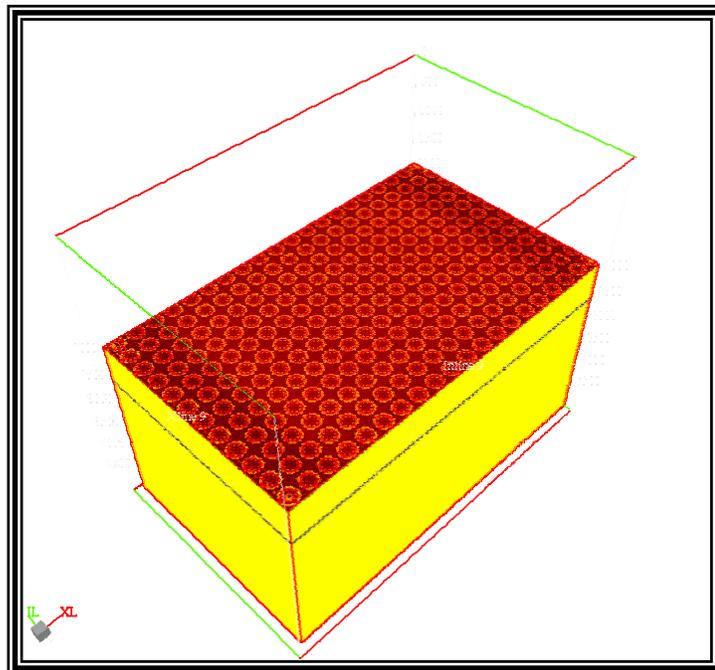


Figura 5-84: Cubos de espectro de amplitudes con corte en la segunda capa para la geometría SRectangular.

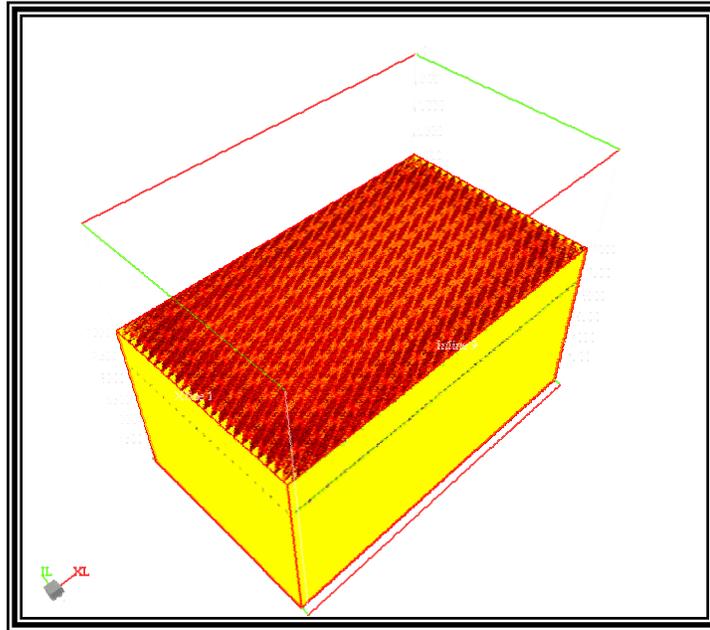


Figura 5-85: Cubos de espectro de amplitudes con corte en la segunda capa para la geometría 45Cuadrada.

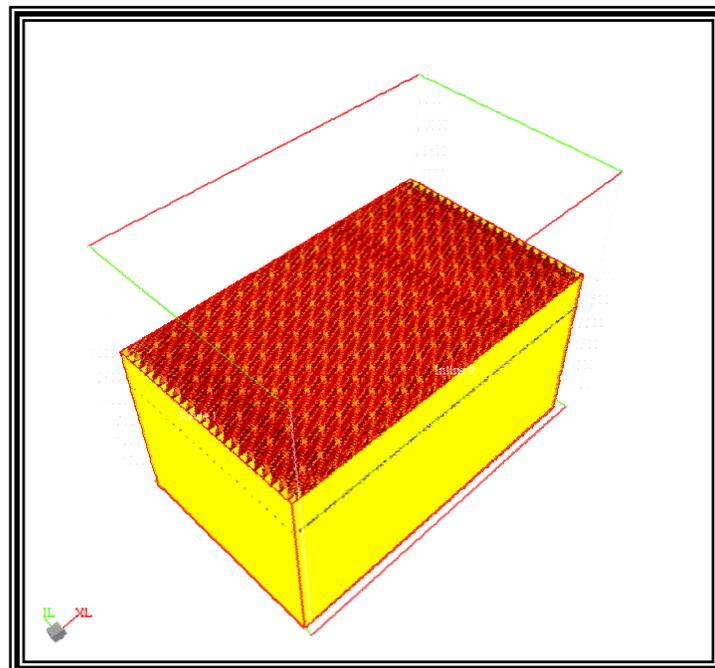


Figura 5-86: Cubos de espectro de amplitudes con corte en la segunda capa para la geometría 45Rectangular.

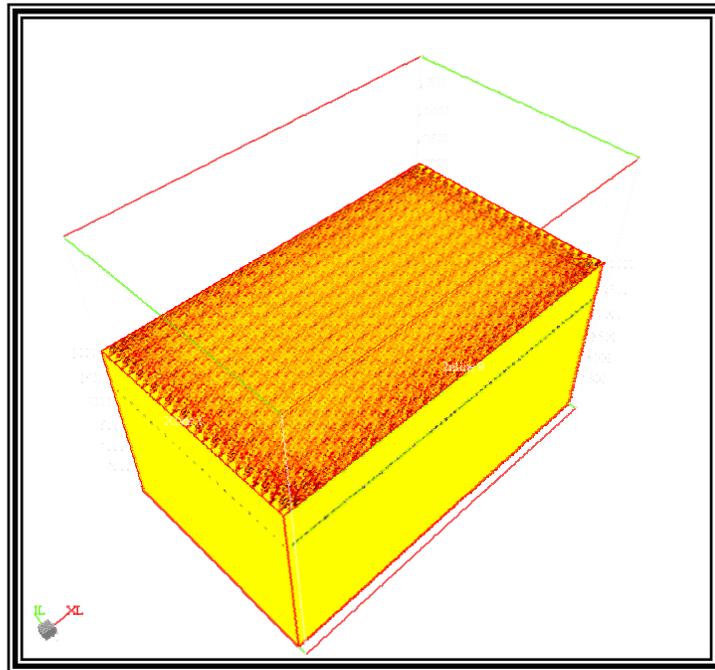


Figura 5-87: Cubos de espectro de amplitudes con corte en la segunda capa para la geometría S45Cuadrada.

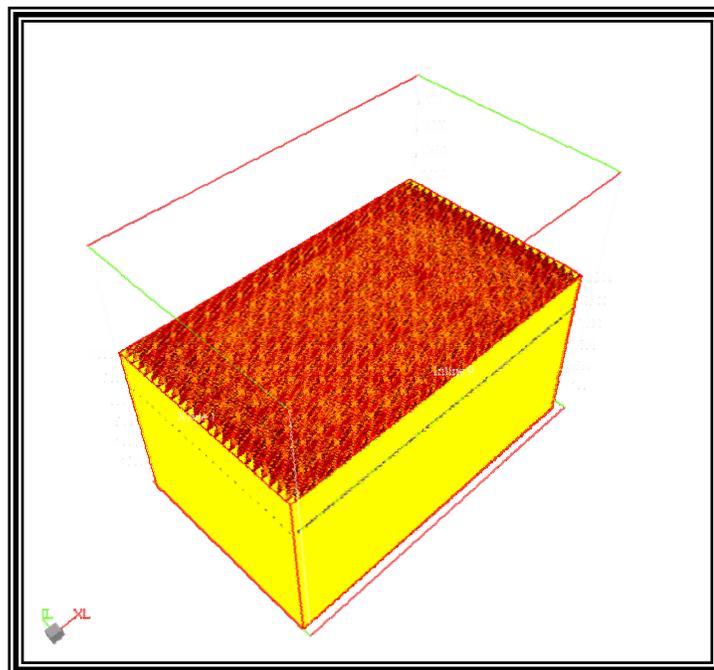


Figura 5-88: Cubos de espectro de amplitudes con corte en la segunda capa para la geometría S45Rectangular.

En las Figuras 5-89 a la 5-92 se pueden observar los cubos de espectros con cortes en profundidad en la tercera capa de las geometrías ortogonales, en estas no se puede observar una marcada diferencia entre las geometrías estrechas, en diferencia a los cortes para las primeras y segundas capas, a simple vista se ve la mejor visualización de las cuatros geometrías la obtenemos de la LRRectangular. Se tiene que resaltar que en todas las geometrías tienen un incremento significativo en las tonalidades del rojo y un color mucho más homogéneo que en los cortes anteriores.

En las Figuras 5-93 a la 5-96 podemos observar los cubos de espectros con cortes en profundidad en la tercera capa para las geometrías no ortogonales, en estas tampoco se puede observar la diferencia entre las geometrías estrechas y cuadradas, pero si que las geometrías que poseen las fuentes entre dos líneas receptoras poseen las tonalidades más fuertes. En lo que a esta capa se refiere la geometría S45Rectangular posee un color más homogéneo que aunque no es la tonalidad de rojo más fuerte es la más homogénea, esto permitiría una visualización del objetivo con reducción de múltiples y huellas de adquisición

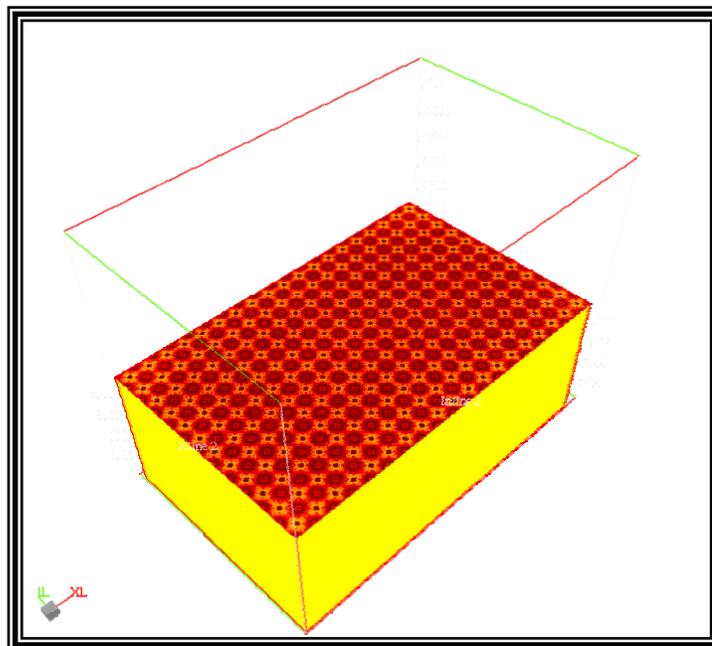


Figura 5-89: Cubos de espectro de amplitudes con corte en la tercera capa para la geometría LRCuadrada.

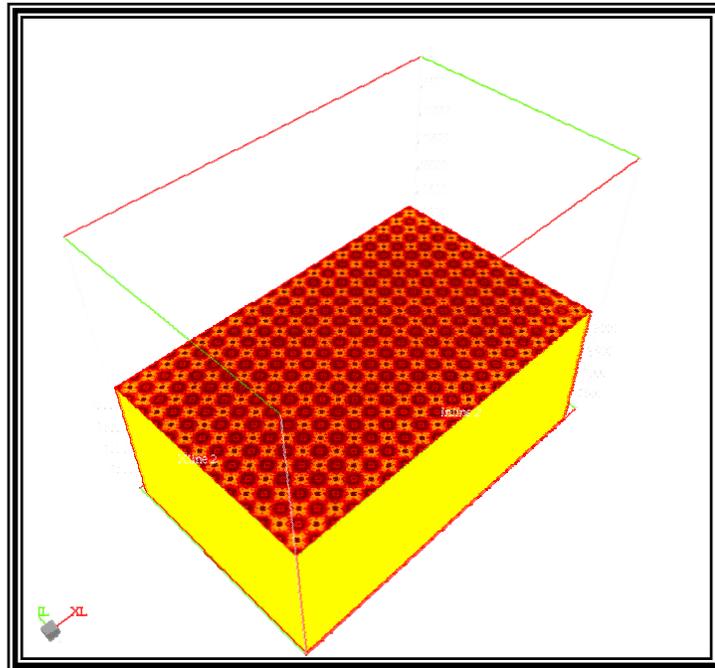


Figura 5-90: Cubos de espectro de amplitudes con corte en la tercera capa para la geometría LRRectangular.

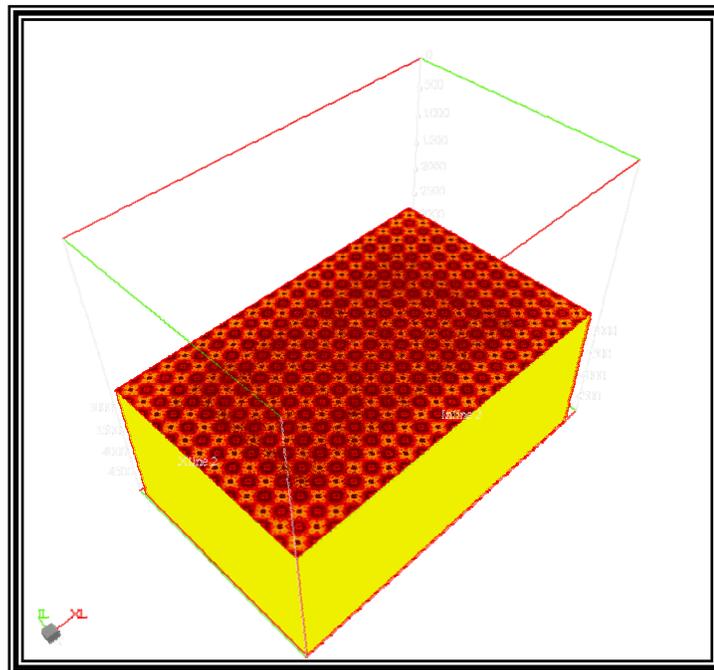


Figura 5-91: Cubos de espectro de amplitudes con corte en la tercera capa para la geometría SCuadrada.

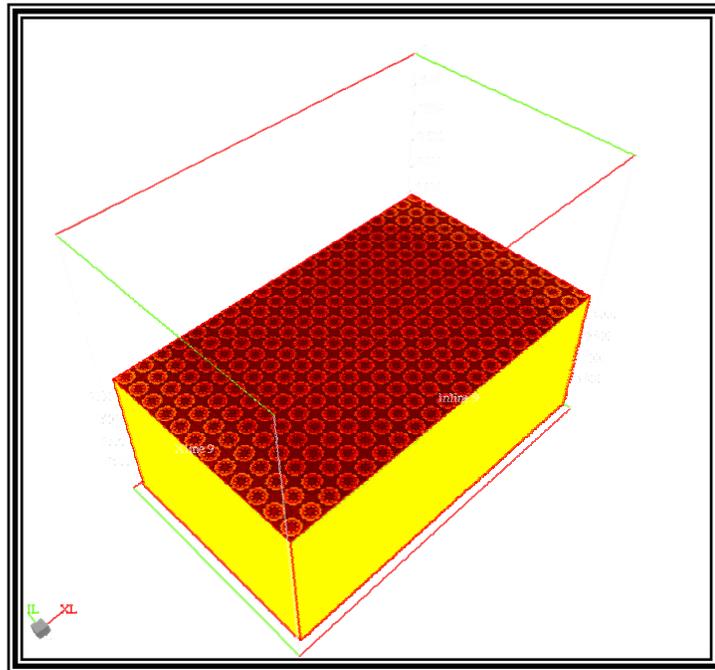


Figura 5-92: Cubos de espectro de amplitudes con corte en la tercera capa para la geometría SRectangular.

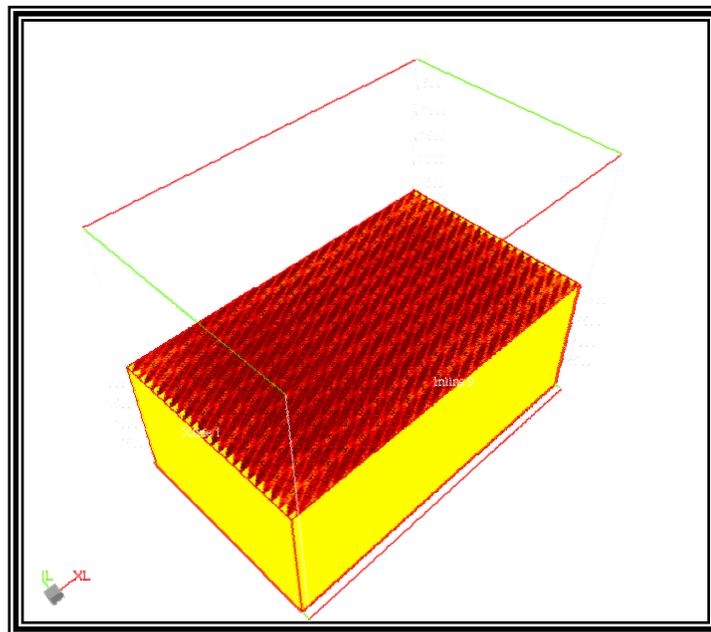


Figura 5-93: Cubos de espectro de amplitudes con corte en la tercera capa para la geometría 45Cuadrada.

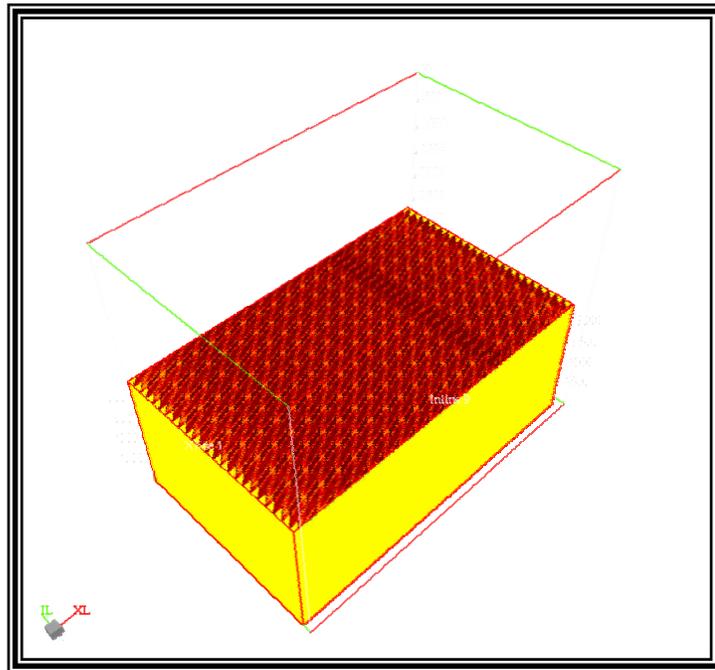


Figura 5-94: Cubos de espectro de amplitudes con corte en la tercera capa para la geometría 45Rectangular.

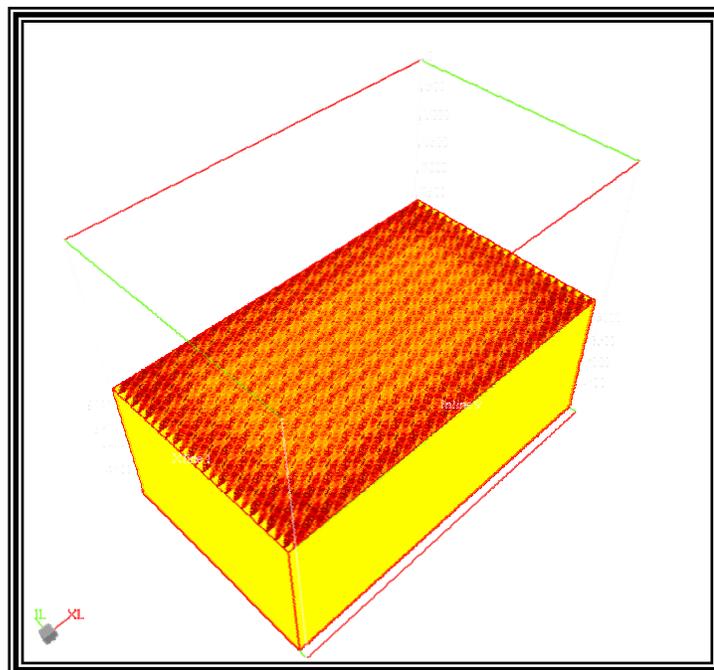


Figura 5-95: Cubos de espectro de amplitudes con corte en la tercera capa para la geometría S45Cuadrado.

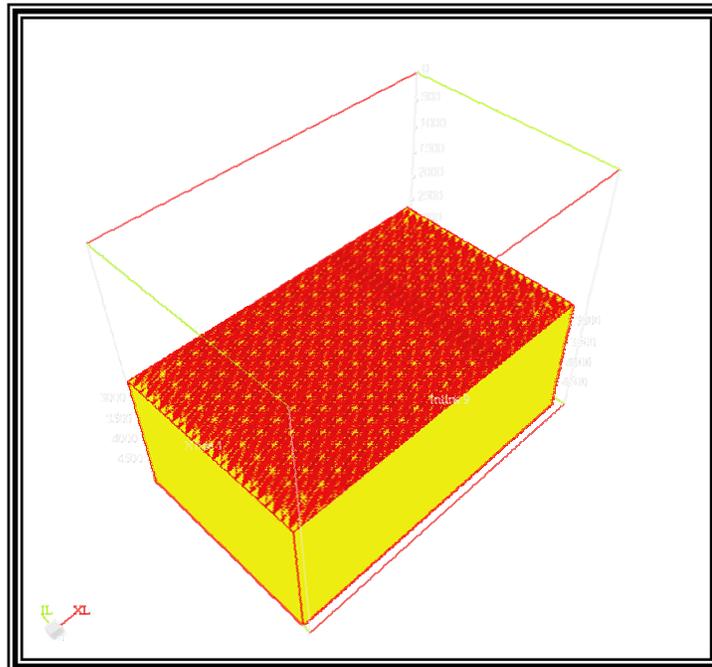


Figura 5-96: Cubos de espectro de amplitudes con corte en la tercera capa para la geometría S45Rectangular.

MODELO GEOLÓGICO COMPLEJO

En la Figura 5-97 podemos observar la visualización 3-D con frente en una línea *inline* del modelo geológico complejo y en la Figura 5-98 con frente en una línea *crossline*, en ellas se puede notar las complejidades estructurales de las que se ha hablado, también resulta notables las disposiciones de las capas, las cuales presentan grandes buzamientos y algunas discordancias.

Las estructuras comienzan aproximadamente a los 2.200 m y la más profunda sobrepasa los 7.400 m esto supera al objetivo propuesto en el diseño de la geometría de adquisición realizado en la primera etapa del trabajo y según las reglas del diseño de adquisición sísmica no se deberían observarse. Con respecto a estas imágenes del modelo es relevante señalar que verticalmente existe una exageración de la escala, esto con la finalidad de poder observar las estructuras del subsuelo, ya que sin esta las estructuras resultarían casi planas, debido a la extensión de lateral.

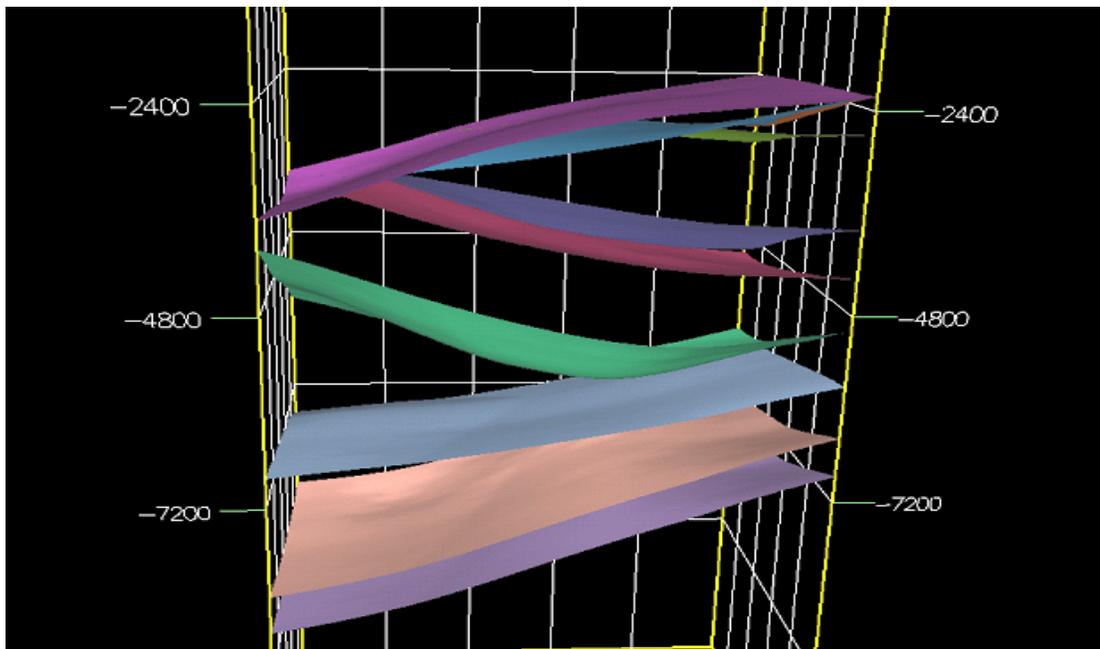


Figura 5-97: Visualización 3-D con frente en una línea *inline* del modelo geológico complejo.

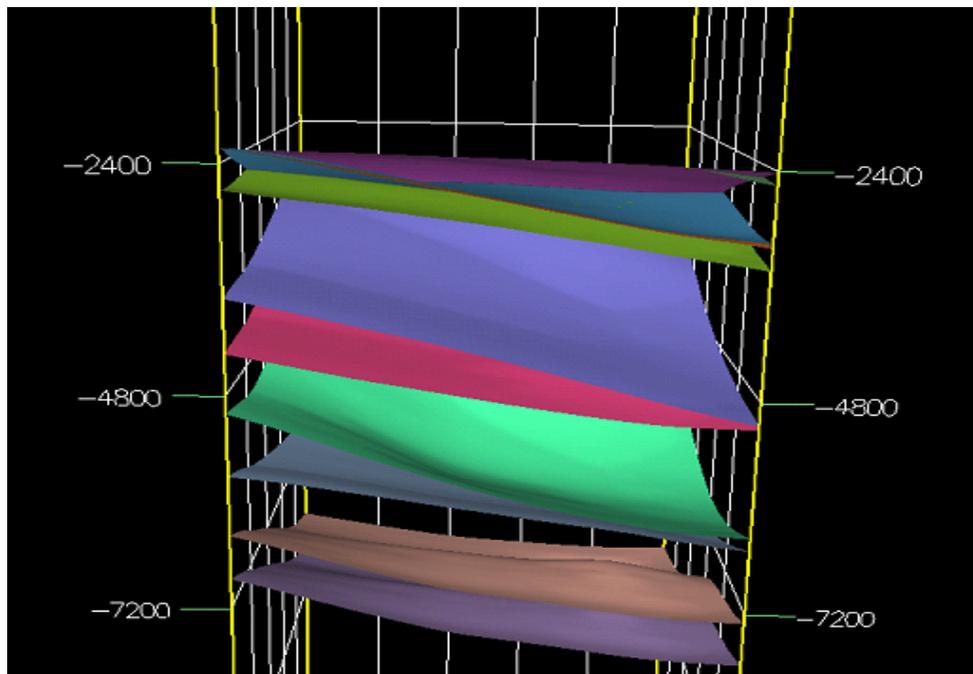


Figura 5-98: Visualización 3-D con frente en una línea *crossline* del modelo geológico complejo.

COMPARACIÓN DE LOS CORTES DEL MODELO GEOLÓGICO CON LOS CORTES DE LOS DATOS DE LA SIMULACIÓN YA PROCESADOS

Para la culminación del presente trabajo se compararon cortes en dirección *inline* y *crossline* del modelo geológico complejo a la derecha con cortes en la misma posición de los datos ya procesados a la izquierda. Para ello se resaltaron con el mismo color los reflectores en cada uno de estos dejando en gris aquellos reflectores que por su litología no poseían contrastes de velocidades. Es importante resaltar que los cortes del modelo geológico las profundidades están en metros y que los de la data ya procesada en unidades de tiempo (s) y es por esto que las escalas de los modelos fueron modificadas de tal forma que los reflectores más o menos quedaran en la misma posición.

En la Figura 5-99 se puede observar el corte en dirección *crossline* del *shot gather* # 61 (manera en que el FOCUS nombra sus cortes en el visualizador), en ella podemos observar reflectores bien definidas y como es de esperarse no se observan en la visualización de la data ya procesada los reflectores que no poseen contraste de velocidad.

En el primer reflector (color amarillo) se observa bien definido en casi toda su trayectoria con excepción de la parte más superficial, en donde se pierde la linealidad del reflector. La segunda capa (color magenta) posee una imagen muy parecida a la del anterior perdiendo este también la linealidad en la misma zona que el anterior y se puede observar que donde se unen ambos existe manchas en color blanco las cuales pudiesen ser múltiples.

Luego de dos reflectores que no poseían constaste de velocidad se puede observar un tercer reflector (color azul claro), el cual también se encuentra bien definido pero es el que se encuentra rodeado con mas ruido y también podemos observar que pierde definición en la zona donde anteriores también lo hacen. El ruido pudiese ser debido a que en este reflector existe una inversión de velocidad de 4800 m/s a 4000 m/s (impedancia acústica negativa).

El cuarto reflector (color rojo) es el que mejor se define en su trayectoria, pero posee una perdida de definición en la misma zona de los anteriores aunque con una

intensidad menor. Esto es un resultado contrario a las reglas básicas del diseño de adquisición sísmica ya que este reflector se encuentra a una profundidad entre los 6.000 m y 7.000 m y el diseño se genero para iluminar un objetivo a 3.600 m.

Los últimos dos reflectores (color naranja y azul oscuro) que se encuentran ubicados en la zona más profunda del modelo, presentan características similares entre si con una buena linealidad en su parte más somera pero la presencia de múltiples en su zona más profunda siendo estas más fuertes para el reflector más profundo.

La Figura 5-100 representa otro corte *crossline* pero esta vez hacia el centro del modelo geológico, en el se puede observar las mismas características que en el corte anterior, pero el ruido sigue ubicado en el mismo lugar, aunque el reflector al que se había asociado este se profundiza, lo que nos indica que este no esta asociado a la inversión de velocidades, el reflector más profundo presenta los múltiples en la misma zona y para los cuatro primeros reflectores permanece en la misma zona la perdida de linealidad de los mismos. En este corte el reflector que mejor se visualiza al igual que en el anterior es el cuarto y quinto reflector pero esta vez el quinto sin múltiples asociados.

La Figura 5-101 representa otro corte *crossline* pero esta vez hacia el final del modelo geológico y se pueden apreciar las mismas características de los dos cortes anteriores con la salvedad de que en este no se observa el ruido en el centro del mismo. La Figura 5-102 representa un corte *inline* hacia el frente del modelo geológico, como en los cortes anteriores se puede observar los reflectores con contraste de velocidades y una zona de múltiples en los dos últimos reflectores.

La Figura 5-102 representa un corte *inline* hacia el final del modelo geológico, en este a diferencia de los cortes anteriores se puede observar una zona por debajo del primer reflector que se encuentra llena de múltiples , así como un pequeño reflector que no posee constaste de velocidad a la derecha de los cortes. Lo más importante en esta figura es que se puede apreciar una zona en donde desaparece el reflector identificado con el color rojo y como desaparecen los dos últimos reflectores lo que nos indica que si se pueden apreciar zonas en donde estos no son iluminados.

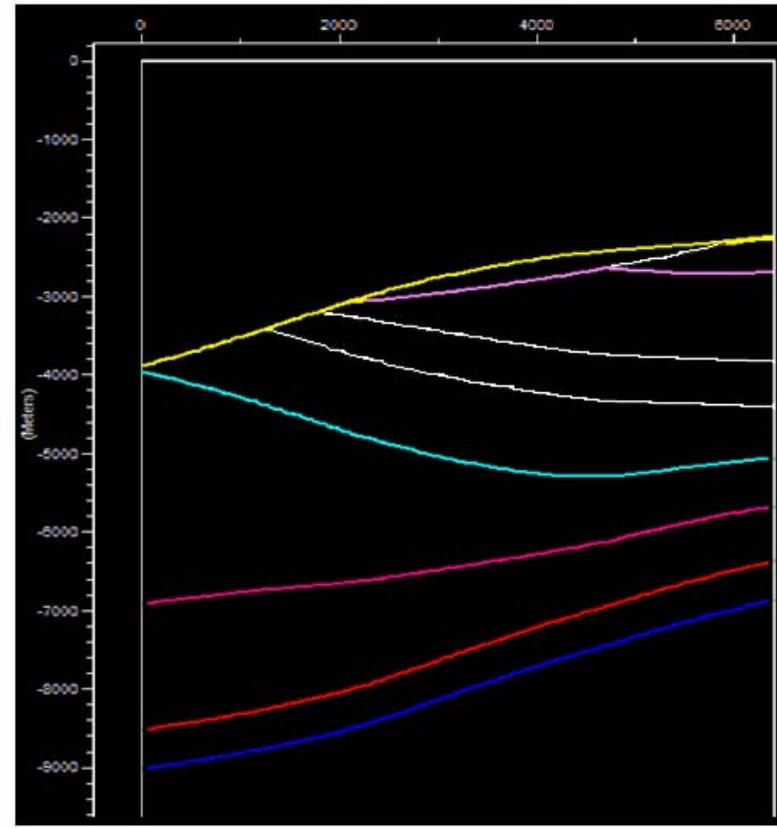
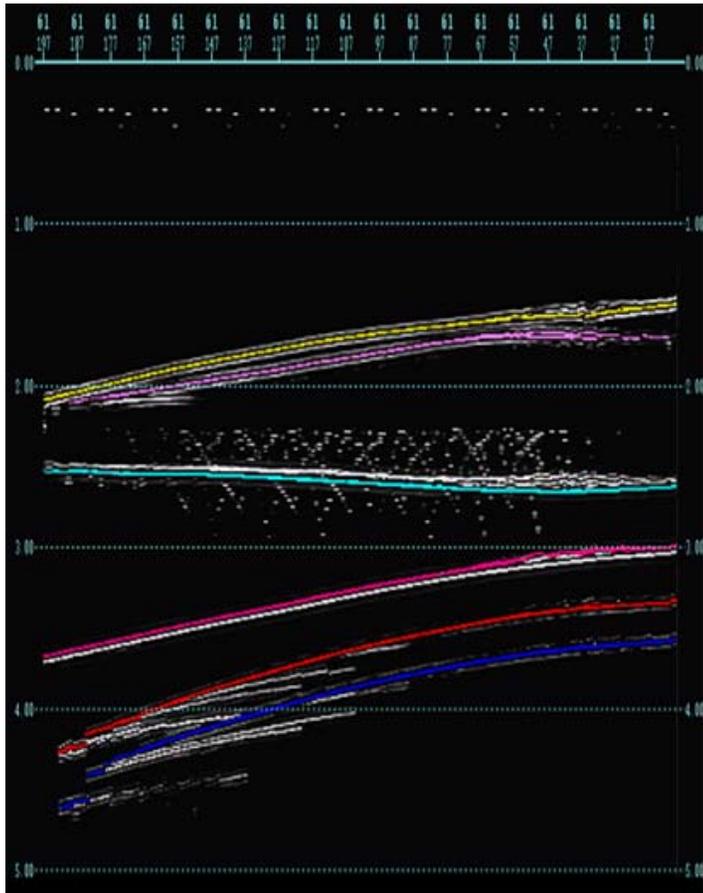


Figura 5-99: Cortes *crossline* #61 de los datos ya procesados (a la izquierda) y el del modelo geológico (derecha).

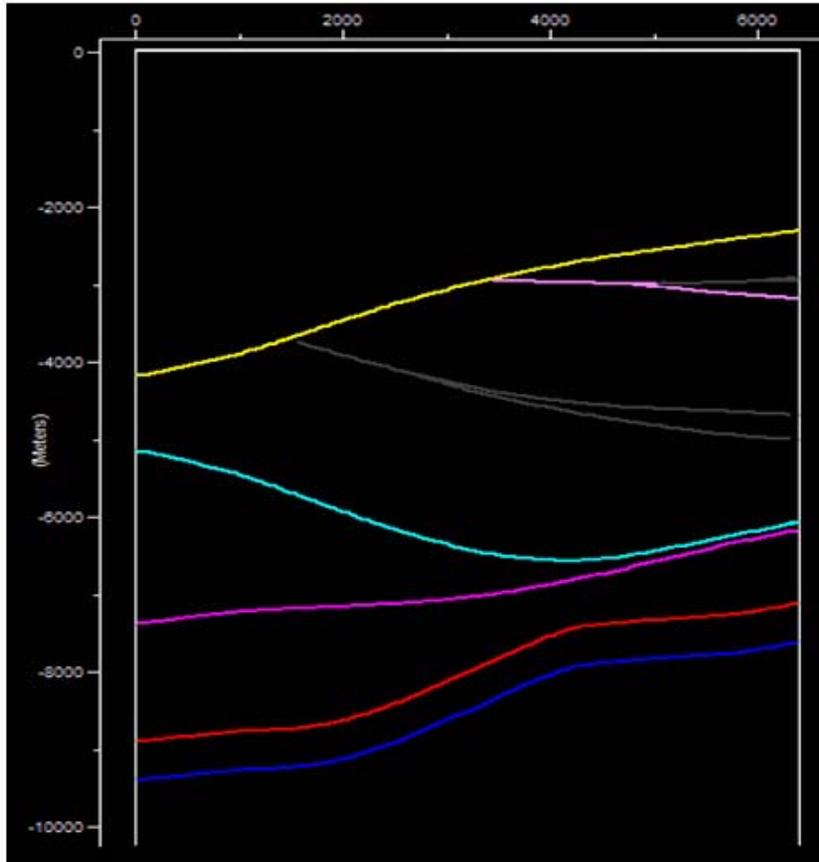
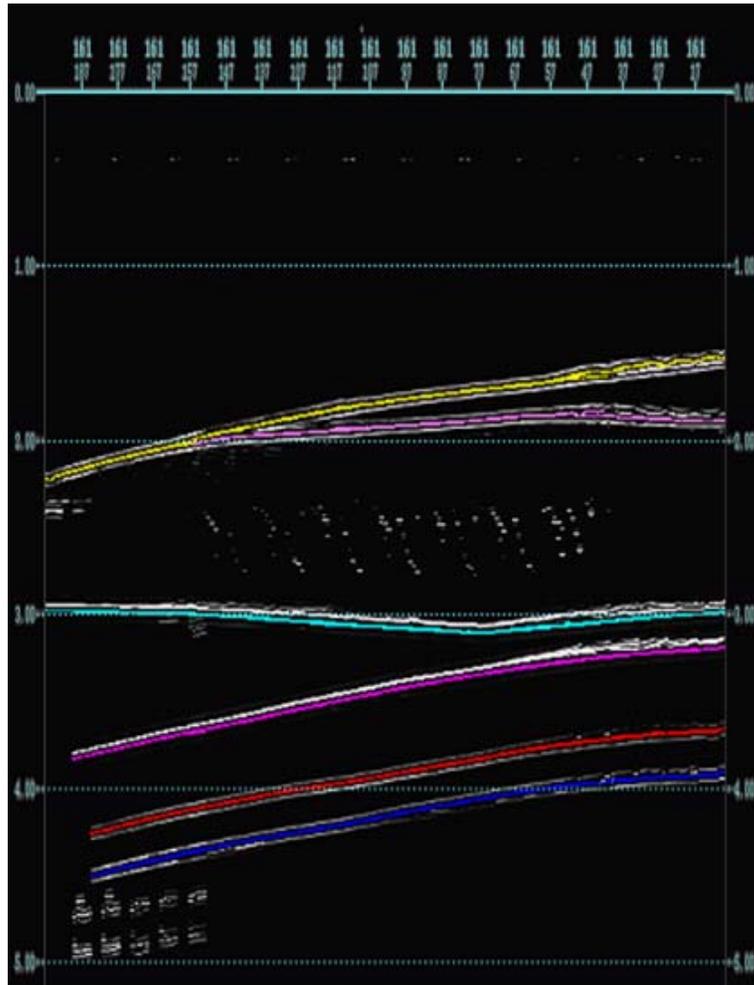


Figura 5-100: Cortes *crossline* #161 de los datos ya procesados (a la izquierda) y el del modelo geológico (derecha).

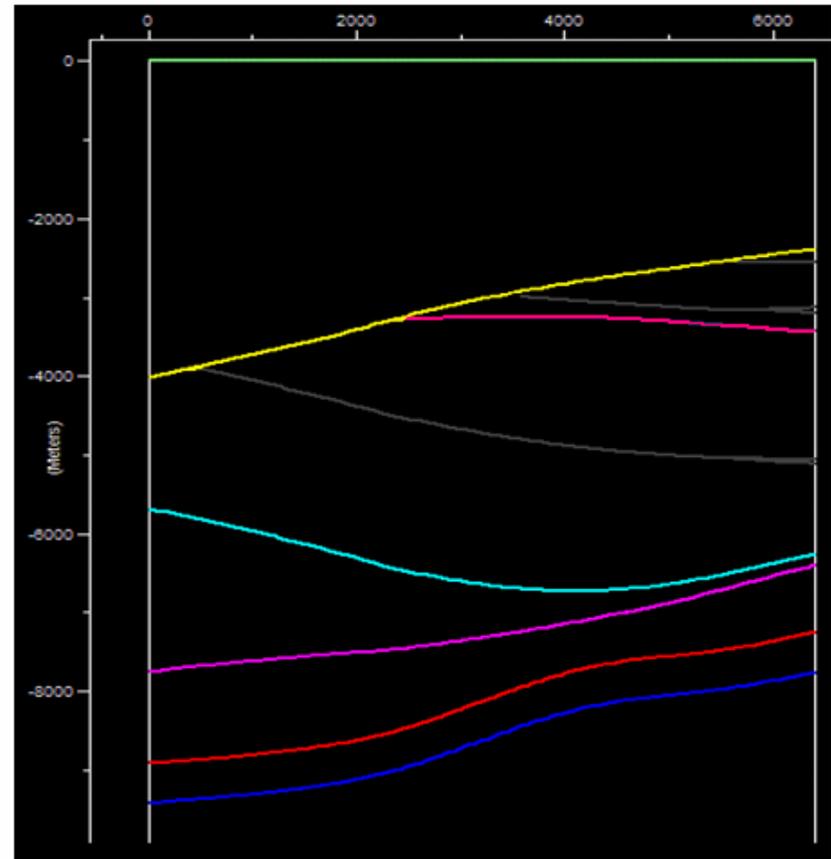
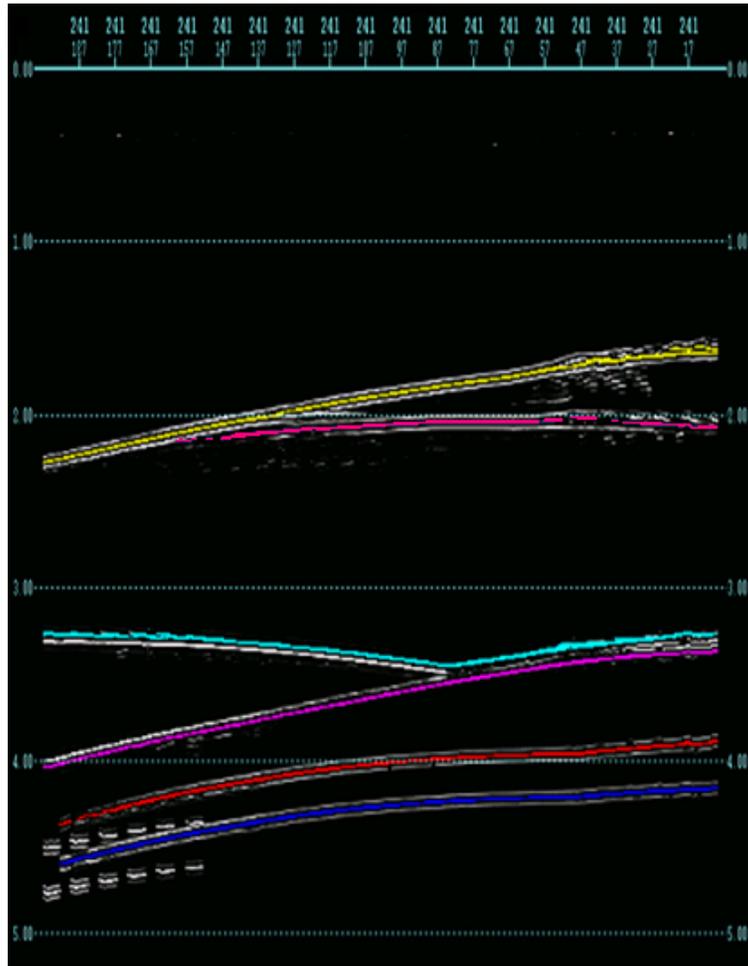


Figura 5-101: Cortes *crossline* #241 de los datos ya procesados (a la izquierda) y el del modelo geológico (derecha).

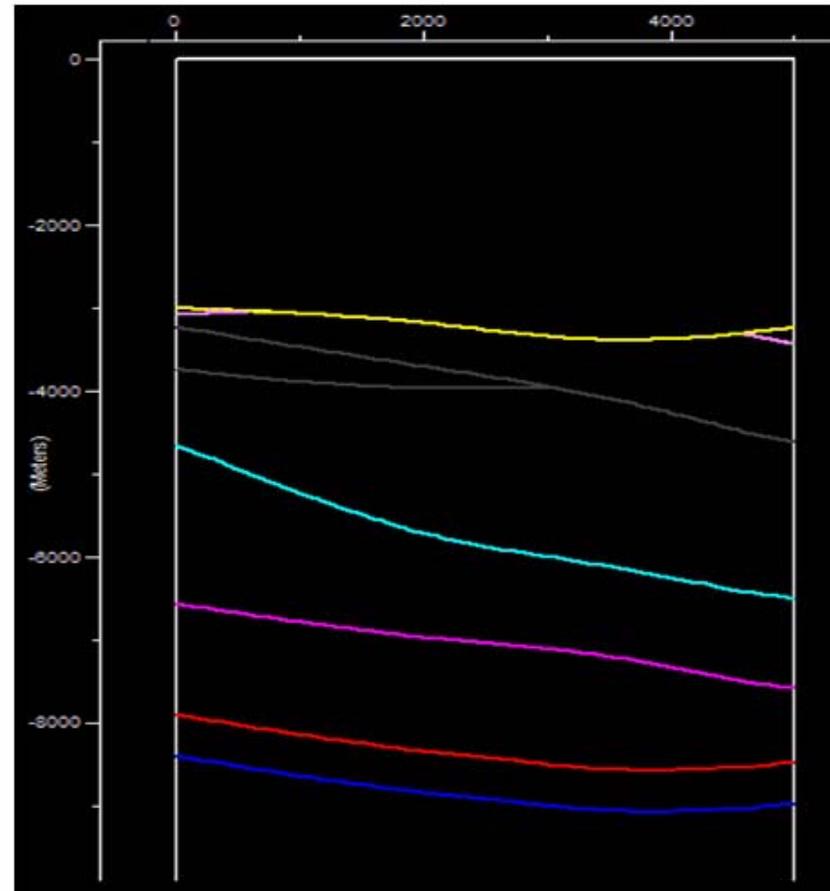
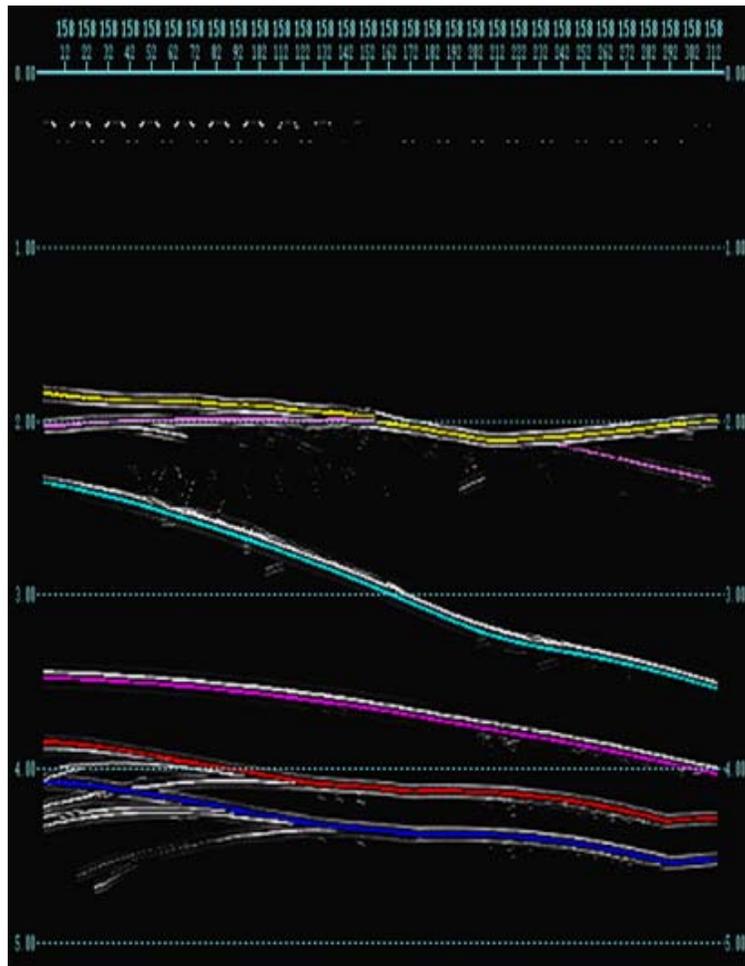


Figura 5-102: Cortes *inline* #158 de los datos ya procesados (a la izquierda) y el del modelo geológico (derecha).

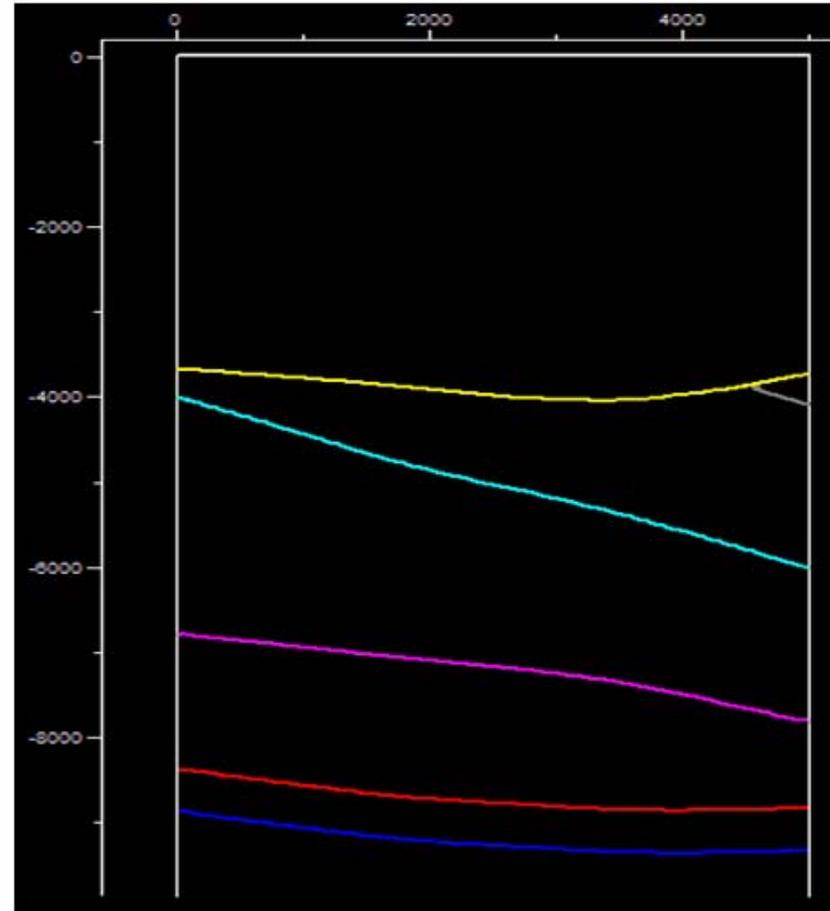
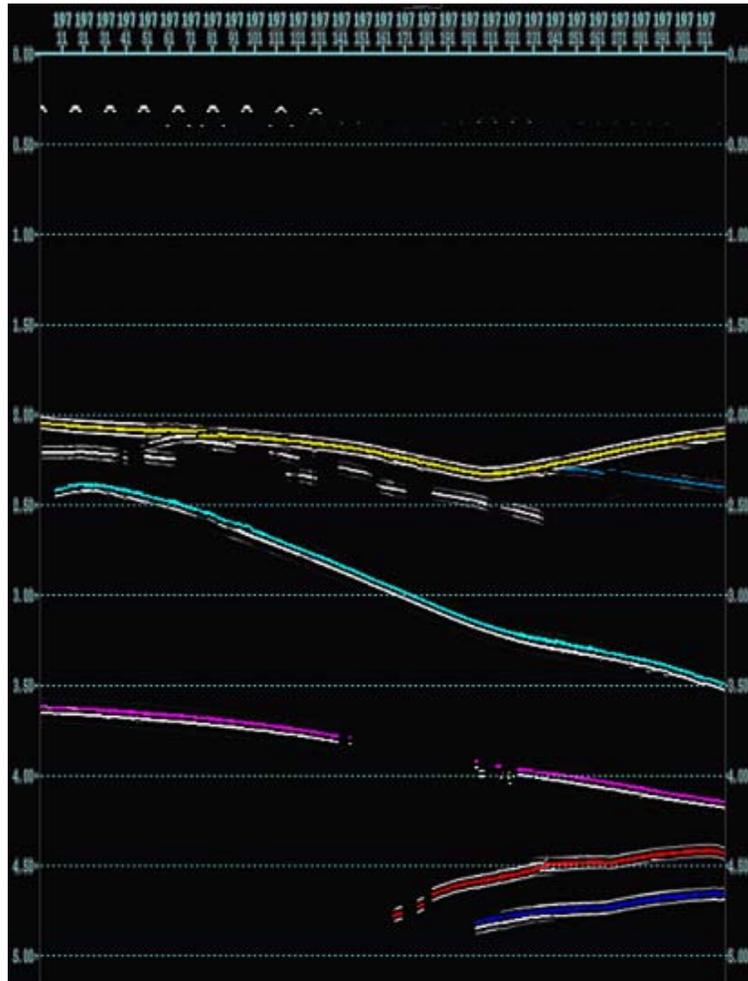


Figura 5-103: Cortes *inline* #197 de los datos ya procesados (a la izquierda) y el del modelo geológico (derecha).

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones se establecerán de una forma secuencial, producto de la investigación realizada, conforme con el desenvolvimiento de las etapas desarrolladas, esto permitió establecer criterios sobre diferentes aspectos y etapas del proceso de elaboración de un estudio sísmico *3-D*. De aprendizaje que involucra un estudio de este tipo se pueden concluir los siguientes puntos:

El poseer la mayor información posible (geológica y geofísica) del área de estudio es de gran importancia para selección de los parámetros de un estudio sísmico *3-D*. Un conocimiento amplio sobre el objetivo geológico de interés inducen a la obtención de una mejor imagen, debido a un diseño que se enfoca en el mismo y por consiguiente minimiza los recursos y equipos.

El tener un marco geológico de tipo estructural sirve para realizar una simulación y proponer los parámetros necesarios en pro de lograr una resolución sísmica *3-D* que ofrezca un nivel de detalle óptimo. La idea es la de tener un concepto desde el cual se pudiese deducir los posibles efectos que se pudiesen obtener en la realidad.

La evaluación paso a paso de los parámetros que conforma el diseño de una adquisición, así como también, el estudio tradicional de las diferentes geometrías y tipos de diseños resulta obligatorio en cada nuevo estudio y en ningún caso proponer un diseño de forma arbitraria. Hay que recordar que en la realidad las condiciones no son ideales, muy por el contrario presentan heterogeneidad laterales y verticales a lo largo de la zona a estudiar y que cada diseño es único.

Debido a que los estudios sísmicos se diseñaron y todavía se diseñan con reglas prácticas, resulta necesario adoptar mecanismos para la selección de geometrías de adquisición sísmica que ofrezca una respuesta a la evaluación de innumerable posibles configuraciones que pudieran satisfacer las principales inquietudes del estudio.

Las áreas que poseen geología compleja requieren la aplicación de metodologías de modelado sísmico adicionales a los estudios convencionales, para obtener la geometría óptima a la hora de diseñar un estudio *3-D*.

Con las observaciones realizadas en base al diagnóstico de cobertura *CRP*, puede concluirse que a lo que iluminación se refiere existen pocas diferencias entre las 8 geometrías estudiadas, pero aunque las no se puede seleccionar un estudio en particular nos permite observar el objetivo que será más iluminado por las geometrías.

Las técnicas de trazado de rayos permiten probar múltiples geometrías, estudiar problemas de iluminación, analizar las distribuciones de los datos resultantes y es una herramienta que refuerza los análisis convencionales a la hora de estudiar distintas opciones en el diseño de un estudio *3-D*, la gran desventaja es el costo computacional.

Que aunque existan los diagnósticos en profundidad es imperioso el análisis convencional para la interpretación adecuada de las geometrías propuestas para un área que posea una geología compleja en subsuelo, Entre los análisis de atributos de *offset* el uso de las distribuciones en escala de colores, ayuda a determinar de una forma más simple como están distribuidos.

Los métodos convencionales así como los diagnósticos utilizados no permiten distinguir las ventajas y desventajas entre geometrías cuadradas y rectangulares como tampoco entre tener las fuentes entre dos o más líneas receptoras.

La exportación de los resultados de la simulación por trazado de rayos por *shot gather* y el procesamiento de estos, es una herramienta sumamente útil que permite: (a) la construcción de cubos de espectros de amplitudes, (b) realizar un seguimiento a través de cortes *inline* y *crossline* de la resolución del objetivo geológico, (c) distinguir zonas donde pierde resolución del objetivo geológico, (d) estudiar posibles múltiples y huellas de adquisición que podrían relacionarse con la

geometría y (e) seleccionar de una forma más analítica la geometría óptima para un estudio sísmico 3-D en zonas de geología complejas.

Al igual que Peinado (2002) se puede concluir que el diseño a través de modelaje puede optimizar la selección de parámetros de adquisición sísmica. La definición del medio con velocidades lineales con la profundidad permite aumentar la precisión en el cálculo de los parámetros de adquisición

La principal recomendación es la de seguir desarrollando esta idea incorporando zonas de exclusión de fuentes y receptores así como realizar este estudio en zonas en donde ya se hayan realizado estudio sísmicos 3-D y comparar los resultados obtenidos de las simulaciones con la data sísmica real, utilizando los mismos parámetros de adquisición.

BIBLIOGRAFIA

Aguilera R. (2001). Optimización de Parámetros de Adquisición Sísmica 3-D mediante Trazado de Rayos en los Diapiros de Barro de la Cuenca Oriental de Venezuela. Trabajo especial de grado. Inédito. Universidad Simón Bolívar. Caracas.

Canning, A. y Gardner G. (1998). Reducing 3-D acquisition footprint for 3-D DMO and 3-D prestack migration. *Geophysics* 63 (4) 1177-1183.

Cooper, N., (1993). 3D seismic acquisition, design, and quality control: Course Notes, Mustagh Resources.

Cordsen, A. (2004). 3-D Seismic in Complex Sub-surface Areas. Presented at 5th Conference & Exposition on Petroleum Geophysics. Hyderabad

Cordsen, A. (2004). Acquisition foot print can confuse. *AAPG Explorer*. [Artículo en línea] Disponible <http://www.aapg.org/explorer/geophysical-corner/2004/03gpc.cfm> [Consulta: 2004, Septiembre].

Cordsen, A. y Gaibraith, M. (1999). Narrow vs. wide azimuth land 3-D seismic survey. European Association of Geoscientists and Engineers. Paper #6.

Corsen, A. y Peirce, J., (1995). Planning and operating a land 3-D seismic survey: Society of Exploration Geophysicists 2^o Edition. Geophysical Exploration and Development Corporation.

Diaz, M., Ata, E., Mujica, D., Montoya, P. Y Pérez, G. (2000 Abril). Diseño 3-D en Áreas Complejas con la Ayuda de Pruebas de Ruido. Memorias del X Congreso Venezolano de Geofísica. Caracas.

Dickenson, J., Fagin, S. y Weisser, G. (1990). Comparison of 3-D acquisition techniques on land: 60th Ann. Internat. Mtg. Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 913-916.

Fagin, S. (1992). Seismic Modeling of Geologic Structures. Applications to Exploration Problems. Society of Exploration Geophysicists. Tulsa, USA

French, W. (1974). Two-dimensional and three-dimensional migration of model experiment reflection profiles: *Geophysics*, v. 39, p. 265-277.

Galbraith, M. (1994). 3-D survey design by computer: Course Notes, Seismic

Image Software Ltd.

Galbraith, M. (2002). 3-D geometry for demultiple and noise cancellation. *The Leading Edge* 21: 838-851.

Gesbert, S.(2002). From acquisition footprints to true amplitude. *Geophysics*. 67 (3). 830-839.

Hilterman, F. (1970). Three dimensional seismic modeling: *Geophysics*, v. 35, p. 1020-1037.

Krey, T. (1987). Static and dynamic corrections; in Dohr, G., Ed., *Seismic Shear Waves: Handbook of Geophysical Exploration* 15a, Geophysical Press, 191-225.

Lane, M. (1994). An implementation of 3-D seismic binning: *CREWES Research Report*, 6, 24-1, 24-5.

Lansley, M. (1994). 3-D seismic design: SEG course notes. Society of Exploration Geophysicists.

Lansley, R. (1993). SEG 3-D seismic acquisition course: taught at 63th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophy.

Lara, A. (2002) Modelado sísmico en el oriente de Venezuela para evaluar diferentes diagnósticos y geometrías de adquisición. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela. Caracas

Lawton, D. (1993). Optimum bin size for converted-wave 3-D asymptotic mapping: *CREWES Research Report*, 5, 28-1 -28-14.

Lawton, D. (1994). Acquisition design of 3-D converted-waves: *CREWES Research Report*, 6, 23-1 - 23-23.

Lawton, D. y Harrison, M. (1992). A two-component reflection seismic survey, Springbank, Alberta. *Canadian Journal of Exploration Geophysics* 28, p. 30-43.

Lawton, D., Stewart, R., Cordsen, A., y Hrycak, S. (1995). Advances in 3D design for converted waves: *CREWES Research Report*, 7: 41-43.

Levanti, A.(2003). Modelado geológico y sísmico 2D y 3D en el área del Bosque. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Simón Bolívar. Caracas.

Levin, F. y Hibbard, H. (1955). Three-dimensional seismic model studies: *Geophysics*, 20: 19-32.

Liner, C. (1999). 3-D Seismic survey design for linear $v(z)$ media. *Geophysics* 64 (2): 486-493.

Marfurt, K., Scheet, R., Sharp, J. y Harper M. (1998). Supresión of the acquisition footprint for seismic sequence attribute mapping. *Geophysics*. 63 (3) 1024-1035.

May, B. y Hron, F. (1978). Synthetic seismic sections of typical petroleum traps: *Geophysics*. 43:1119-1147.

McDonald, J., Gardner, G., y Hilterman, F. (1983). *Seismic Studies in Physical Modeling*: IHRDC, Boston, MA.

Morao, L. (1991). Diseño de parámetros de adquisición sísmico 3-D terrestre. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

Musser, J., Bremner, D., Crews, G. y Henderson, G. (1989). Application of new seismic technology to land 3-D surveys: implementation: 59th Ann. Internat. Mtg. Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 628-631.

Nieto, C. (1999). Optimización del diseño de parámetros de levantamientos sísmicos 3-D terrestres. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela. Caracas

O'Connell, J., Kohli, M. y Amos, S. (1993). Bullwinkle: A unique 3D experiment: *Geophysics*, 49: 493-508.

Pant, D. , Greenhalgh, S. y Watson, S. (1988). Seismic reflection scale model facility: *Exploration Geophysics*. 19: 499-512.

Peinado, A. y Calderon, J. (2002, Noviembre 17-20). Diseño a través de modelaje: ¿Qué hemos aprendido?. Ponencia presentada en el XI Congreso Venezolano de Geofísica. Caracas: Sociedad Venezolana de Ingenieros Geofísicos.

Pereira, J. (1994). Curso de adquisición sísmica 2-D y 3-D. PDVSA Caracas

Rana, A. y Sekharan, K. (1990), New developments in physical modeling at the acoustic lab: 60th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophy., Expanded Abstracts. 1066-1068.

Ritchie, W. (1991). Onshore 3-D acquisition techniques: a retrospective: 61th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts. 750-752.

Rivero, M. (2000). Evaluación de diseño sísmico 3-D orientados a la perforación de pozos direccionales con alto ángulo en el flanco Perijanero. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

Sherrif, R. (1991). Dictionary of geophysical terms, SEG.

Stone, D. (1994). Designing seismic surveys in two and three dimensions: SEG investigations in geophysics, 5. Society of Exploration Geophysicists.

Suárez, G. (). Diseño del levantamiento sísmico en el área de Macual usando modelado sísmico. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Simón Bolívar. Caracas.

Thomas, R., Bram, K., Fertig, J. y Schwerd K. (2002). Acquisition and processing of high-resolution reflection seismic data from a survey within the complex terrain of the Bavarian Folded Molasse. Geophysical Prospecting 50: 411-424

Vermer, G (2003). 3-D seismic survey design optimization. The Leading Edge. 1: 934-941.

Walton, G. (1972). Three dimensional seismic method. Geophysics. 37: 417-430.

Yilmaz, O. (1989). Seismic Data Processing: Society of Exploration Geophysicists, Tulsa.

Zhiwen, D. (2004). 3-D seismic acquisition in a complex mountainous area. Journal of Geophysics and Engineering 1: 17-27

Zhongping, L. (2004). Key problems of seismic acquisition in a mountainous area in south China. Journal of Geophysics and Engineering 1: 160-167.

Zimmerman, L. (1991). Modeling the seismic response of geologic structures with physical models, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa.