



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**“ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL PROYECTO DE PROSPECCIÓN
SÍSMICA ‘W-3D’ PARA LA ELABORACIÓN DE UN CUBO
SÍSMICO EN EL COMPLEJO W-1 DEL ORIENTE
ECUATORIANO”**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN PETRÓLEO

Presentado por:

XAVIER ALEXANDER SALAS BARZOLA

Guayaquil – Ecuador

2013

AGRADECIMIENTO

A mis padres Ricardo y Nancy, a mi hermana Nancy y a mi madre espiritual Hellen, pilares fundamentales en mi vida. Mi familia es grandiosa, gracias a ellos he alcanzado esta importante meta.

A mi gran amor Jessenia, por ser el impulso de mis días y llenar mi vida de bellos momentos.

A la ESPOL, y a mi facultad FICT, al Ing. Carlos Martillo y al Ing. Enrique Luna por su asesoría en este proyecto, al Ing. Daniel Tapia por la estima y confianza que me ha brindado durante toda mi vida universitaria.

Al Ing. Jefferson Guamán, amigo y compañero de trabajo y de forma especial a DRILLING OVERSEAS INC. (DOI) por haberme apoyado en el desarrollo de esta tesis.

A mis amigos y compañeros de clase por todas las vivencias compartidas.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, en especial a mis padres Dr. Ricardo Salas y Dra. Nancy Barzola, a mi hermana Nancy y a mi prima, Lic. Hellen Banchón, por estar siempre a mi lado, su apoyo ha sido incondicional en cada etapa de mi existencia, gracias por haber hecho de mí una mejor persona.

A Jessenia García, mi amada compañera, por todos los días que hemos vivido juntos y por todo el tiempo que nos falta por compartir, esas pequeñas cosas que son imposibles de olvidar.

A las personas que confiaron en mí, a los amigos sinceros que siempre me apoyaron.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Heinz Terán Mite
PRESIDENTE

Ing. Enrique Luna Alcívar
DIRECTOR

Ing. Daniel Tapia Falconí
VOCAL PRINCIPAL

Ing. Jefferson Guamán Morocho
VOCAL PRINCIPAL

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Xavier Alexander Salas Barzola

RESUMEN

El presente trabajo resume las diferentes etapas de las operaciones ejecutadas en el campo, para el proyecto W-3D, realizadas en el complejo W1 (WAPONI) del oriente ecuatoriano.

El objetivo principal de este trabajo fue la adquisición, procesamiento y control de calidad de los registros adquiridos, y mediante este control permitimos garantizar la calidad de los datos para el modelamiento del cubo sísmico 3D del sector, para la correspondiente interpretación. Además, esta tesis describe las operaciones realizadas en cada etapa del proyecto, para la adquisición de datos sísmicos.

Como información adicional, se realizó una estimación de la “RESERVA POTENCIAL TENTATIVA” del bloque o cubo mediante la simulación en el cálculo del volumen original, en barriles de petróleo in situ, con métodos volumétricos, correlacionando información con los pozos cercanos vecinos y definiendo la estructura reservorio.

En el proyecto sísmico, se procesó un total de 4332 registros, cubriendo un área del proyecto de 109.26 Km².

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE TABLAS	xx
INTRODUCCIÓN	xxi
CAPITULO I. GENERALIDADES	22
1.1. La sísmica	22
1.2. Principios Físicos	24
1.3. Descripción de la operación sísmica 3D en el campo.....	26
1.3.1. Generación de ondas sísmicas.....	27
1.3.2. Registro en superficie de las ondas sísmicas reflejadas.....	29
1.3.3. Configuración fuente-receptor Slant.....	31
1.3.4. Procesamiento preliminar de campo	35
1.3.5. Procesos finales e interpretación.....	47
CAPITULO II. ÁREA DE ESTUDIO	49
2.1. Características del área de estudio	49
2.2. Localización	49
2.3. Vías de comunicación	50
2.4. Clima.....	51
2.5. Geomorfología	51

2.6. Relieve	51
2.7. Hidrografía	52
2.8. Geología	53
2.8.1. Geología Regional.....	54
2.8.2. Geología Estructural.....	54
2.8.3. Geología Local	56
CAPITULO III. PROSPECCIÓN SÍSMICA “W-3D”	59
3.1. Definición.....	59
3.2. Procedimiento de campo	60
3.3. Etapas de prospección sísmica	60
3.4. Topografía.....	60
3.4.1. Equipos de campo	62
3.4.2. Metodología	64
a) Control de corte y estacado	64
b) Levantamiento de datos.....	69
3.4.3. Poligonales de control	72
❖ Puntos de cambio y poligonales.....	72
3.4.4. Parámetros técnicos del proyecto.....	73
a) Parámetros de diseño de líneas sísmicas	73
b) Parámetros ambientales	74
3.5. Perforación	77
3.5.1. Equipo empleado.....	79

3.5.2. Parámetros de perforación.....	80
a) Patrón 1 (Pozo único).....	80
b) Patrón 2 (Pozo doble).....	81
c) Patrón 3 (Pozo Triple).....	81
3.5.3. Metodología	82
3.5.4. Explosivos	88
a) Conceptos básicos	88
b) Tipos de explosivos utilizados	89
3.5.5. Procedimientos de carga y tapado de pozos.....	91
3.6. Adquisición de datos sísmicos	96
3.6.1. Parámetros del estudio	98
3.6.2. Equipo utilizado	99
a) Especificaciones del Sercel 428	99
b) Sensores	99
c) Cables Link	102
d) FDU 428.....	103
e) LAUL 428	103
f) LAUX 428.....	104
g) Cables transversos	105
3.6.3. Pruebas iniciales.....	106
a) Sensores.....	106
b) Cables y equipos de campo	107

3.6.4. Registro de Datos	108
➤ Shooters.....	108
3.6.5. Estadísticas	110
3.6.6. Problemas operativos	110
a) Ruido.....	110
b) Problemas de campo.....	111
c) Fenómenos climáticos.....	111
CAPITULO IV. PROCESAMIENTO DE LOS DATOS SÍSMICOS	114
4.1. Parámetros del Proyecto.....	115
4.2. Parámetros de Procesamiento Preliminar	116
4.3. Metodología del Procesamiento de datos.....	117
4.4. La calidad de información y los parámetros técnicos.....	119
4.5. Información de calidad y parámetros técnicos	120
4.5.1. Eliminación de ruido, trazas muertas o inversas	120
4.5.2. Deconvolución consistente con superficie	121
4.5.3. Estáticas de campo	121
4.5.4. Velocidades de campo.....	122
4.5.5. Corrección dinámica de movimiento normal (NMO)	123
4.5.6. Apilado 3D	123
4.5.7. Deconvolución FXY	123
4.6. Datos finales del proceso e imágenes.....	125

CAPITULO V. ESTIMACIÓN DE LA “RESERVA POTENCIAL TENTATIVA” DEL BLOQUE MEDIANTE SIMULACIÓN CON EL CÁLCULO DEL PETRÓLEO ORIGINAL IN SITU	128
5.1. Método Volumétrico	128
5.2. Correlación de datos con el Campo Oso	130
5.3. Cálculo preliminar estimativo de las reservas en sitio (POES).....	134
5.4. Cálculos.....	137
CONCLUSIONES	140
RECOMENDACIONES	143
ANEXOS	145
BIBLIOGRAFÍA	157

ABREVIATURAS

Ω	Ohmios
K Ω	Kilo ohmios
°C	Grados centígrados
AGC	Automatic Gain Control
Amps	Amperios
CAPS	Detonadores
cm	Centímetros
CDP	Common depth point
CMP	Common midpoint point
DSP	Digital signal controller
DZ	Discharge zone
E.P.	Empresa Pública
EIA	Estudio de Impacto Ambiental
FDU	Field digitizer unit
Ha	Hectáreas
HMIS	Hazardous Materials Identification System
HP	Helipuerto
Hz.	Hercios
Kg	Kilogramos
Km	Kilómetros

LCD	Liquid Cristal Display
LMO.	Lineal Moveout
LT	Litros
m	Metros
Máx.	Máximo
Mbps	Mega bytes por segundo
Mín.	Mínimo
MSDS	Material safety data sheet
mseg.	Milisegundos
NAS	Network Attached Storage
PETN	Pentaeritritol Tetranitrato
PH	Potencial de Hidrógeno
PMA	Plan de Manejo Ambiental
QC	Quality Control
R	Receptor

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura # 1.	Esquema básico de una operación sísmica 2D.	22
Figura # 2.	Visualización 3D de un proyecto sísmico.	23
Figura # 3.	Comparación entre adquisición sísmica 2D y 3D.	24
Figura # 4.	Conversión de una onda incidente P.....	25
Figura # 5.	Ley de Snell para una onda incidente.....	25
Figura # 6.	Camiones usados para generar vibración en superficie.....	28
Figura # 7.	Geófono SM 24.	29
Figura # 8.	Reflexiones múltiples en capa superficial.	30
Figura # 9.	Esquema del Common Depth Point (CDP).	30
Figura # 10.	Configuración Slant fuente-receptor.	31
Figura # 11.	Elementos de la configuración Slant fuente-receptor.....	32
Figura # 12.	Ilustración de las distancias RI y SI.....	33
Figura # 13.	Diseño del template por disparo – Proyecto W-3D.....	34
Figura # 14.	Ilustración del Full Fold.	35
Figura # 18.	Arreglo de trazas mediante el CMP (sísmica 2D).	41
Figura # 23.	Imagen 2D y 3D de un proyecto sísmico.	48
Figura # 25.	Localización geográfica - política del Proyecto W-3D.	50
Figura # 26.	Mapa de elevaciones Proyecto W-3D.....	52
Figura # 27.	Mapa Hidrográfico y de vías W-3D.	53
Figura # 28.	Mapa y sección estructural de la Cuenca Oriente.....	56

Figura # 29.	Columna tectónica - estratigráfica de la Cuenca Oriente.....	57
Figura # 30.	Imagen para localizar estructuras geológicas.	59
Figura # 31.	Etapas de un trabajo de prospección sísmica.....	60
Figura # 32.	Medición electrónica de distancia EDM.	61
Figura # 33.	Topógrafo nivelando estacas receptoras.....	62
Figura # 34.	Estación Total Sokkia.	63
Figura # 35.	Izq.: Garmin 62S, Der.: Receptor Trimble 5700.	64
Figura # 36.	Numeración de estacas receptoras.	66
Figura # 37.	Numeración de estacas fuentes.	67
Figura # 38.	Señalización en la vía, línea de tiro.	68
Figura # 39.	Señalización de una estaca receptora.....	68
Figura # 40.	Señalización de una estaca fuente.....	69
Figura # 41.	Balizas sobre la línea.	70
Figura # 42.	Levantamiento Topográfico.	71
Figura # 43.	Poligonales de control W-3D.....	72
Figura # 44.	Señalización de un punto de cambio.....	73
Figura # 45.	Configuración slant Proyecto W-3D.	74
Figura # 46.	Trochas para instalar el tendido sísmico.....	75
Figura # 47.	Ilustración del offset radial	76
Figura # 48.	Perforadores.....	77
Figura # 49.	Cargas utilizadas en la sísmica.	77
Figura # 50.	Partes de una carga de pentolita.....	78

Figura # 51.	Cargado de pozos.....	78
Figura # 52.	Perforadora portátil a gasolina.....	79
Figura # 53.	Motobomba.....	80
Figura # 54.	Patrón inicial de Perforación (Pozo único).....	80
Figura # 56.	Patrón 3 inicial de Perforación (Pozo triple).....	82
Figura # 57.	Grupo de perforación en labores diarias.....	84
Figura # 58.	Perforadores añadiendo tubería.....	85
Figura # 59.	Perforadores en actividades diarias.....	87
Figura # 60.	Grupos de perforación.....	88
Figura # 61.	Clasificación general de explosivos.....	89
Figura # 62.	Pentolita usada en el Proyecto W-3D.....	90
Figura # 63.	Fulminantes eléctricos usados en el Proyecto W-3D.....	91
Figura # 64.	Porcentajes de pozos recuperados.....	95
Figura # 65.	Fase de registro de datos.....	96
Figura # 66.	Equipo básico de registro sísmico.....	97
Figura # 68.	Ristra de geófonos de tierra.....	100
Figura # 69.	Ristra (arreglo de 6 geófonos en serie).....	101
Figura # 70.	Distribución de las ristras y cable link.....	102
Figura # 71.	Cable Link 428.....	102
Figura # 72.	FDU 428.....	103
Figura # 73.	LAUL 428.....	104
Figura # 74.	LAUX 428.....	104

Figura # 75.	Cables transversos.	105
Figura # 76.	Chequeo de Ristras.	106
Figura # 77.	Chequeo con SGT.....	107
Figura # 78.	Chequeo de cables de línea.....	107
Figura # 79.	Chequeo de LAUX 428.	108
Figura # 80.	Equipo Bláster Shoot Pro.....	108
Figura # 81.	Shooters.	109
Figura # 82.	CASABLANCA.	109
Figura # 83.	Fuente de ruido.	111
Figura # 84.	Registro de pozo único con buena energía en el proyecto W-3D... 112	
Figura # 85.	Chequeo de cables en línea con equipo Liner Testero.....	112
Figura # 86.	Preparación de mochilas para el ingreso de material a línea.	113
Figura # 87.	Chequeo y preparación de material para ingreso a la línea.	113
Figura # 88.	Chequeo de ristras por SGT.....	113
Figura # 89.	Data Sísmica SEGD → SEG Y – Software PROMAX.....	114
Figura # 90.	Parámetros técnicos del Proyecto – Software PROMAX	115
Figura # 91.	Raw Data – W-3D.....	117
Figura # 92.	QC Geometry.....	118
Figura # 93.	QC Common receiver LMO Stack.	118
Figura # 94.	QC Common receiver LMO Stack.	119
Figura # 95.	Hipérbolas-Vel - W-3D.	119
Figura # 96.	Balanceo Espectral - W-3D.	120

Figura # 97.	Antes y después de aplicar el TFD.	120
Figura # 98.	Antes y después de aplicar la deconvolución.	121
Figura # 99.	Mapa de velocidad Uphole Time.....	122
Figura # 100.	Picado de Velocidades- W-3D.....	122
Figura # 101.	Sección apilada en PROMAX correspondiente al inline 2799...	124
Figura # 102.	FOLD FINAL - W-3D.....	125
Figura # 103.	IN-LINE 4217 - W-3D.	126
Figura # 104.	TIME SLICE 1600 ms - W-3D.	126
Figura # 105.	CUBO SISMICO - W-3D.....	127
Figura # 106.	CUBO SISMICO FINAL - W-3D.	127
Figura # 107.	Ubicación de pozos referenciales al complejo W-1.	131
Figura # 108.	Esquema del pozo Oso B-54H.....	132
Figura # 109.	Esquema de la trampa estructural Pozo Pw-1.....	134
Figura # 110.	Caracterización preliminar del reservorio.....	135
Figura # 111.	Esquema del reservorio caracterizado.	135
Figura # 112.	Esquema de la trampa estructural y los estratos de interés.....	137
A1.	Imagen Satelital y de Relieve del punto referencial R del Complejo W-1.	145
A2.	Relieve Topográfico del Proyecto W-3D.....	146
A3.	Diseño aplicado con datos SEG Y cargados	147
A4.	Distribución de la ubicación de trazas.....	147
A5.	APILAMIENTO IN-LINE 4290 - W-3D.....	148
A6.	APILAMIENTO IN-LINE 4369 - W-3D.....	149

A7. APILAMIENTO IN-LINE 4393 - W-3D.....	150
A8. APILAMIENTO X-LINE 2032 - W-3D.	151
A9. APILAMIENTO X-LINE 2080 - W-3D.	152
A10. APILAMIENTO X-LINE 2124 – W-3D.....	153
A11. APILAMIENTO X-LINE 205 - W-3D.	154
A12. TIME SLICE 800ms - W-3D.	155
A13. TIME SLICE 1300ms - W-3D.	156

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla # 1.	Procesos de eliminación para diferentes tipos de ruidos.	47
Tabla # 2.	Coordenada R del Proyecto W-3D (PSAD56 UTM 18S).	49
Tabla # 3.	Equipo convencional y de GPS utilizado en campo.	63
Tabla # 4.	Parámetros de Diseño enmallado sísmico.	73
Tabla # 5.	Parámetros Ambientales Proyecto W-3D.	76
Tabla # 6.	Valores del galvanómetro para chequeo de fulminantes.	91
Tabla # 7.	Producción mensual de perforación.	94
Tabla # 8.	Cantidad de pozos perforados según patrón.	95
Tabla # 9.	Datos técnicos de equipos receptores.	98
Tabla # 10.	Parámetros de grabación.	98
Tabla # 11.	Especificaciones del geófono.	101
Tabla # 12.	Equipos usados en campo en el Proyecto W-3D.	105
Tabla # 13.	Producción y porcentaje de registro por mes.	110
Tabla # 14.	Parámetros del Proyecto W-3D.	116
Tabla # 15.	Datos Finales del Proceso – W-3D.	125
Tabla # 16.	Datos petrofísicos de los Pozos Oso B-54H y A-59H.	131
Tabla # 17.	Datos petrofísicos y estructurales del reservorio (Pozo Pw-1).	133
Tabla # 18.	Dimensiones del reservorio caracterizado.	136
Tabla # 19.	Áreas de estratos productores.	138
Tabla # 20.	Volúmenes de estratos productores.	138

INTRODUCCIÓN

La exploración petrolera mediante los métodos sísmicos, busca obtener información detallada de los atributos físicos de las formaciones y estructuras geológicas existentes en el subsuelo, definiendo e identificando posibles trampas geológicas, sean estructurales o estratigráficas, donde se pudieran encontrar importantes yacimientos de hidrocarburos.

Este proyecto sísmico W-3D, busca específicamente **definir la estructura con los yacimientos** existentes en un sector dentro del complejo W-1 de la Cuenca Oriental de Ecuador, la misma que tiene una tendencia general noreste-suroeste y está controlada por una falla inversa en su límite este.

Las mayores pendientes estructurales se encuentran localizadas al este y no exceden los 5 grados. En este campo existen acumulaciones de hidrocarburos en los reservorios de la Formación Napo y Hollín entre los 6.000' y 7.800' de profundidad.

Con la información resultante de este proyecto, se busca ayudar a tener la información necesaria para que en un proceso posterior, se pueda cuantificar mejor las reservas del Complejo W-1 que permitan establecer estrategias para su desarrollo.

CAPITULO I. GENERALIDADES

Debido a que el proyecto se basa en la adquisición, procesamiento e interpretación de datos y secciones sísmicas para la posterior realización del modelamiento tridimensional en forma de diagrama de bloque o cubo sísmico 3-D, es importante conocer algunos fundamentos y conceptos básicos.

1.1. La sísmica

La sísmica es una técnica utilizada en exploración geofísica que busca obtener información del subsuelo, registrando en equipos especiales, los tiempos de llegada de ondas elásticas que son generadas mediante explosiones o vibraciones cerca de la superficie.

El objetivo básico de la sísmica es obtener información sobre la arquitectura interna del subsuelo, la disposición de los estratos, así como recopilar la mayor cantidad de información sobre las estructuras en profundidad, para luego poder interpretar esos datos y generar una imagen en dos, tres o hasta cuatro dimensiones.

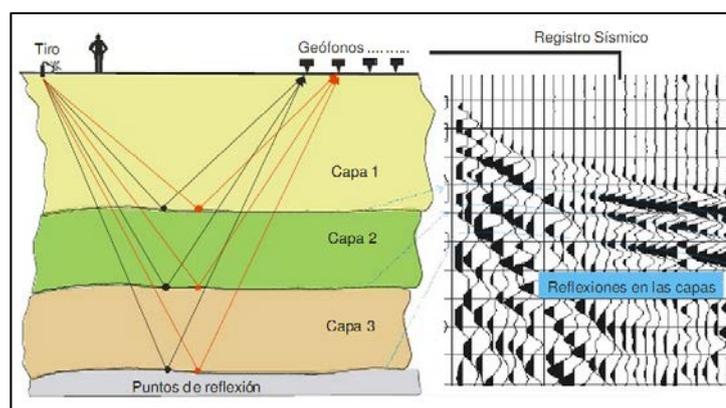


Figura # 1. Esquema básico de una operación sísmica 2D.

Sísmica 3D

La sísmica 3D es aplicada para campos nuevos o campos ya conocidos o perforados para obtener un mejor detalle en áreas determinadas y aumentar el conocimiento geofísico, geológico que permita maximizar el recobro de las reservas.

Nos da una imagen completa de la estructura del campo así como su real extensión. Su costo es en miles de dólares por Km² dependiendo del tamaño del Bin en subsuelo y las resoluciones tanto vertical como lateral definen, el costo de la investigación.

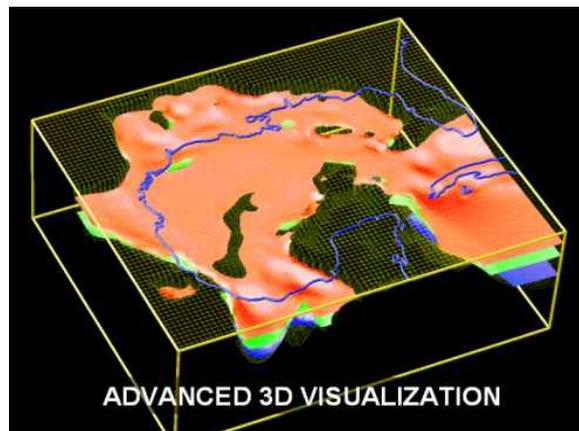


Figura # 2. Visualización 3D de un proyecto sísmico.

La prospección sísmica se puede realizar en dos o tres dimensiones (sísmica 2D o 3D).

La primera aporta información en un solo plano (vertical), mientras que la segunda lo hace en tres dimensiones permitiendo determinar con mayor exactitud el tamaño, forma y posición de las estructuras geológicas.

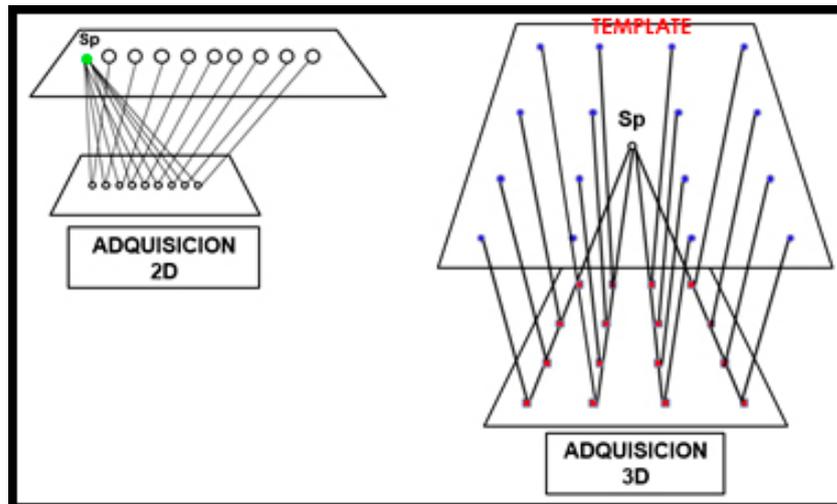


Figura # 3. Comparación entre adquisición sísmica 2D y 3D.

Ver diagrama Template W-3D para cada disparo (Sección 1.3.3).

1.2. Principios Físicos

Cuando una onda sísmica encuentra un cambio en las propiedades elásticas del material, como es el caso de una interfase entre dos capas geológicas; parte de la energía, continúa propagándose en el mismo medio (**onda incidente**), parte se refleja (**ondas reflejadas**) y el resto se transmite al otro medio (**ondas refractadas**) con cambios en la dirección de propagación, en la velocidad y en el modo de vibración.

Las leyes de la reflexión se combinan en un único planteamiento: en una interfase el parámetro de rayo, p , debe tener el mismo valor para las ondas incidentes, reflejadas y refractadas.

Si el medio consta de un cierto número de capas paralelas, la **ley de Snell** establece que el parámetro del rayo tiene que ser el mismo para todos los rayos reflejados y refractados resultantes de un rayo inicial dado.

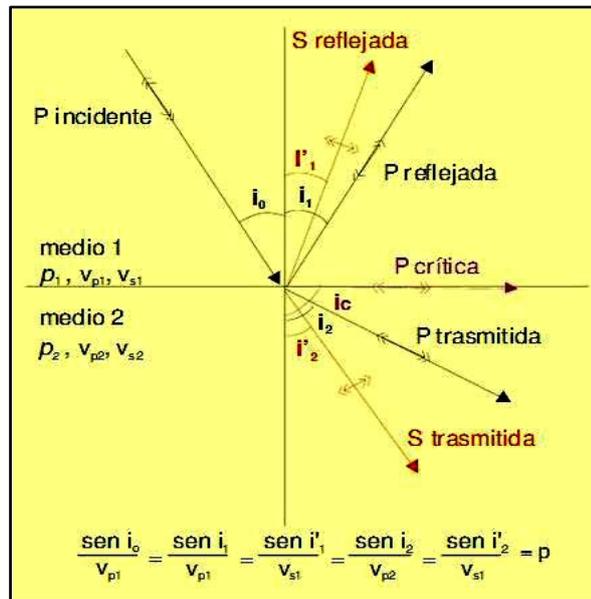


Figura # 4. Conversión de una onda incidente P.

La ley de Snell nos dice que si un rayo pasa de un medio de menor velocidad a otro de mayor velocidad se aleja de la normal, mientras que si pasa de un medio de mayor a otro de menor velocidad se acercará a ella. En particular, con un ángulo incidente α , cuando $\text{sen}(\alpha)=1$ el ángulo de refracción es de 90° , y el rayo, llamado críticamente refractado viaja por el medio inferior, paralelamente a la interfase.

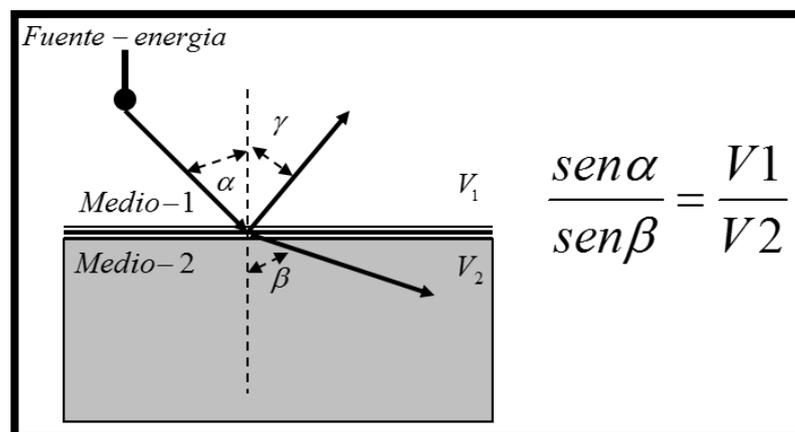


Figura # 5. Ley de Snell para una onda incidente.

Las ondas sísmicas que viajan por subsuelo se reflejan y se refractan siguiendo la ley de Snell, ésta ley proporciona información sobre las trayectorias de los rayos, los tiempos de llegada y la posición de los refractores, pero no proporciona información alguna sobre las amplitudes de las ondas.

Por su parte, la **energía difractada** es aquella que incide en un punto y es reflejada en todas direcciones. Esto ocurre por ejemplo en el borde de una falla.

1.3. Descripción de la operación sísmica 3D en el campo

La operación sísmica en campo inicia con las tareas de topografía, específicamente en la nivelación de las estacas receptoras, comenzando dicha actividad desde la parte sur del proyecto hacia el norte. Luego de haber nivelado una línea receptora guía, se procede a nivelar los puntos de disparo. La nivelación de puntos es realizada por los grupos de topografía, con un promedio de entre 40 a 50 puntos por día.

Lo siguiente es la perforación de pozos someros (profundidad $\approx 21\text{m}$) para instalar las cargas explosivas (pentolita $\approx 2\text{ Kg}$, cartuchos de 2,5" de diámetro x 60 cm de longitud) que generarán las ondas mecánicas al ser detonadas. Esta labor es realizada por el equipo de perforación cuando se ha completado más del 60% del levantamiento topográfico en el área de estudio, con una producción aproximada de 77 perforaciones por día.

Ya en la etapa de registro, se detonan las cargas de los puntos fuentes y se receptan las trazas en superficie por los geófonos. Esta etapa comienza cuando se han cargado 8

pozos sucesivos en la línea y se ha regado el material de registro en 12 líneas receptoras, quedando el punto de disparo dentro del arreglo del registro. Se registran alrededor de 57 pozos por día.

En la operación final de campo, se realiza un procesamiento preliminar de los datos registrados, usando un software geofísico en donde se realizarán algunas correcciones a través de algoritmos denominados filtros, todo esto con la finalidad de mejorar la resolución y visualización del resultado final de la sísmica, que es la representación del subsuelo en una imagen 3D.

La data registrada es enviada a centros de procesamientos de datos sísmicos, generalmente es un análisis minucioso y detallado de todo el registro de campo realizado en países extranjeros, que dura entre 3 a 4 meses.

Con esta descripción general, tenemos una idea de todo lo que concierne una operación sísmica en campo, no obstante es importante citar ciertos conceptos o parámetros que forman parte fundamental de cada etapa de prospección.

1.3.1. Generación de ondas sísmicas

El proceso comienza al generar una onda elástica mediante el uso de los siguientes medios:

- **DINAMITA:** Produce una emisión prácticamente instantánea de gran cantidad de energía.
- **VIBROSEIS:** Envía una señal no instantánea mediante la vibración de

una masa sobre la superficie.

- **VAPOR SHOCK:** Utilizado en prospección de sísmica marina.
- **AIR GUN:** Utilizada en sísmica de alta resolución marina, funciona a partir de impulsos de aire.



Figura # 6. Camiones usados para generar vibración en superficie.

La explosión inicial es llamada **shot** (*disparo*), su ubicación geográfica se denomina **shotpoint** (*punto de disparo*), generando así ondas mecánicas.

La onda elástica viajará por la roca hacia el subsuelo, trasladándose por un medio elástico, sólido con diferente dureza o compacidad, dependiendo de la composición de minerales en cada capa de sedimentación, ésta dureza es llamada **acoustic impedance** (*impedancia acústica*), y es definida por el producto de la velocidad del sonido en la roca y la densidad de la roca.

Los ecos son llamados **reflections** (*reflexiones*). La superficie que separa dos medios de diferentes velocidades y densidades y que se manifiesta por el énfasis de las señales en forma alineada, es llamada **acoustic-impedance boundary** (*límite de impedancia acústica*) o **seismic reflector** (*reflector sísmico*).

1.3.2. Registro en superficie de las ondas sísmicas reflejadas

El conjunto de reflexiones que arriban y cuyos impulsos son registrados en forma continua, por el geófono durante el tiempo de registro se denomina **trace** (*traza*). Los detalles de la traza son analizados en términos de: **amplitude** (*amplitud*), una medida de la fuerza de reflexión; **frequency** (*frecuencia*), medida en Hertz, determinando el número de oscilaciones por segundo; **band-width** (*ancho de frecuencia*) que es el rango de frecuencias presentes; y **phase** (*fase*), que describe la forma relativa y la posición en tiempo de la reflexión.

Estas trazas (*registro de ondas compresionales*) son registradas a su arribo a la superficie del terreno por los **geófonos** los cuales convierten el desplazamiento mecánico en diferencia de voltaje eléctrico.



Figura # 7. Geófono SM 24.

Por otro lado, en la sísmica marina se registra el arribo de las ondas mediante los **hidrófonos**, los cuales registran variaciones de presión hidrostática.

El sistema compuesto de una fuente y un geófono es muy susceptible al ruido (sonido indeseado, ruidos naturales como viento, ríos, árboles y organizados como carreteras, industrias etc.) y a los múltiples (rebotes de energía como reflexiones múltiples en capas superficiales y profundas).

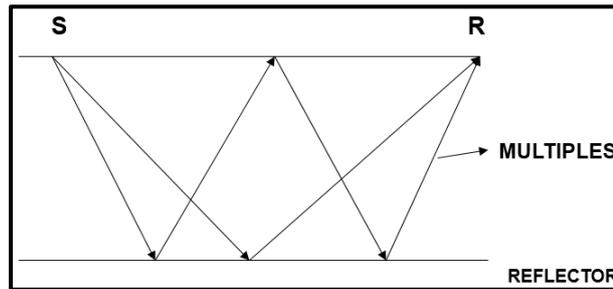


Figura # 8. Reflexiones múltiples en capa superficial.

Para atenuar este inconveniente, se encontró que la grabación de reflexiones desde el mismo punto del subsuelo (cobertura múltiple), no solo mejora la fuerza de la primera reflexión, si no que hace disminuir de manera considerable el ruido parásito.

Una configuración por la cual las reflexiones son grabadas desde el mismo punto del subsuelo con diferente espaciamiento fuente a geófono es conocido como **Punto de reflejo común** (PRC), **common- depth-point** (CDP) o **common-midpoint** (CMP).

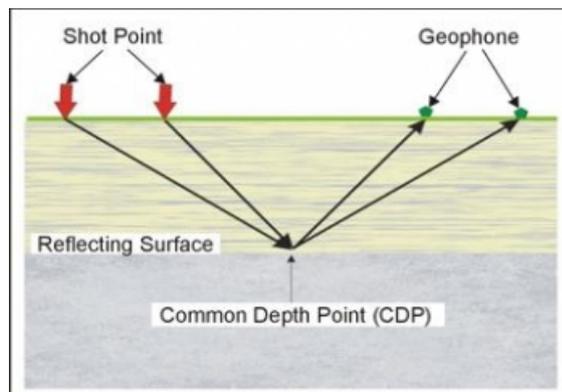


Figura # 9. Esquema del Common Depth Point (CDP).

La información de todas las posiciones receptoras es grabada en un soporte magnético (**cinta o disco**) para su procesamiento respectivo.

1.3.3. Configuración fuente-receptor Slant

En esta geometría las fuentes y receptoras son usadas para obtener una buena distribución de offsets. En este proyecto se utilizó el diseño slant, que consiste en que la línea receptora se instala en forma horizontal y forma un ángulo de 45° con la línea fuente, quedando de esta manera ubicada en posición diagonal.

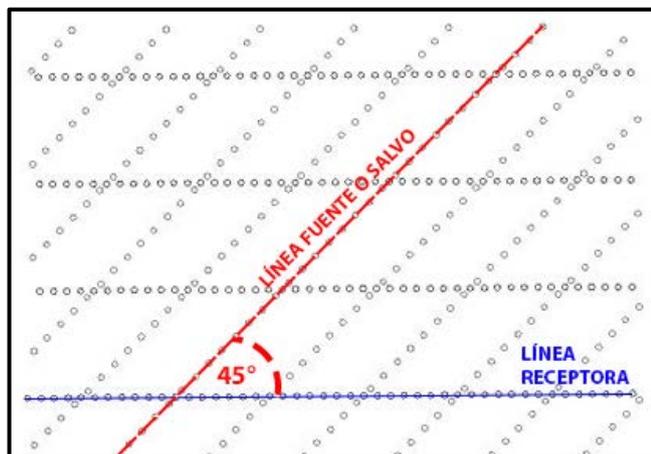


Figura # 10. Configuración Slant fuente-receptor.

Todas las configuraciones (fuente-receptor) utilizan los mismos elementos y conceptos que se detallan a continuación:

Línea fuente o salvo: Línea a lo largo de la cual se ubican los puntos de tiro (ejemplo, puntos de tiro SP, o puntos de Vibradores VP).

El total de puntos fuentes para el Proyecto W- 3D fue de 4348, nivelados en 48 salvos, cubriendo una longitud lineal total de 364.87 Km.

Línea receptora: Línea a lo largo de la cual se localiza los puntos de recepción R, son colocados en intervalos regulares (receiver interval, RI).

El total de estacas receptoras para el Proyecto W- 3D fue de 3794, nivelados en 26 líneas receptoras, cubriendo una longitud lineal total de 226.08 Km.

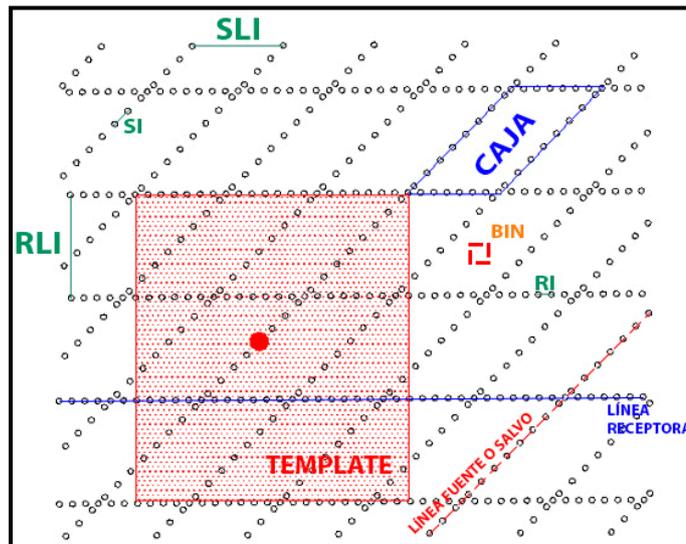


Figura # 11. Elementos de la configuración Slant fuente-receptor.

Source Line Interval (SLI): La distancia entre las líneas fuente es llamada source line interval. Los valores de SI y SLI determinan el valor de disparos por Km².

La distancia SLI para el Proyecto W-3D fue de 420 metros.

Source interval (SI): Distancia entre estaciones de líneas fuente. La distancia SI para el Proyecto W-3D fue de 84.85 metros.

Receiver line interval (RLI): La distancia entre líneas receptoras se conoce como receiver line interval.

La distancia RLI para el Proyecto W-3D fue de 480 metros.

Receiver interval (RI): Distancia entre estaciones receptoras. La distancia RI para el Proyecto W-3D fue de 60 metros.

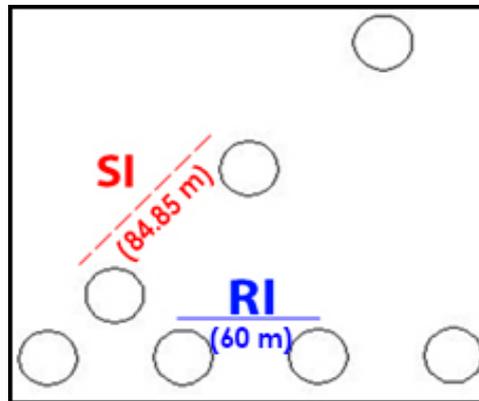


Figura # 12. Ilustración de las distancias RI y SI.

Caja (Box): Es el área limitada por dos líneas receptoras adyacentes y dos líneas fuentes adyacentes. Es el área más pequeña de la 3D que puede contener todas las estadísticas del diseño, que en el caso del Proyecto W-3D, fue de 60 m x 84.85 m, con un área de 5.091 Km².

Bin: Está en función del tamaño del objetivo a investigar y es la unidad elemental de la sísmica 3D, define el tipo de levantamiento o parámetros del mismo punto medio común, define la multiplicidad del levantamiento. En el Proyecto W-3D, la dimensión del Bin fue de 30 m x 30 m, cubriendo un área de 900 m².

Patch: Es una técnica de registro sísmico mediante la utilización de un dispositivo ortogonal o inclinado. El Patch no es más que el área de registro que se cubrirá al detonar puntos fuentes ubicados entre dos líneas receptoras.

Para el Proyecto W-3D el Patch que se utilizó fue de 12 líneas receptoras de 112 canales cada una, para 8 disparos nivelados en el mismo RLI (entre dos líneas

receptoras). Su nomenclatura viene determinada por: 8 x 12 x 112.

Swath: Describe el número de líneas receptoras que se están registrando en dirección in-line, junto con todos los puntos de tiro registrados con dichos templates, son conocidos como andenes.

Template por cada SP: Se denomina template a la cobertura de registro diseñada al detonar un punto fuente. El template varía entre los puntos de tiro, excepto cuando se registran los 8 puntos fuente ubicados en el mismo intervalo RLI.

Para el proyecto W-3D se diseñó un template de 12 líneas de registro para cada punto de disparo, 6 líneas por encima del SP y 6 por debajo, cada línea receptora con 112 canales abiertos, teniendo como cobertura 1344 canales (x 6 =8064 geófonos) para cada punto fuente, cubriendo un área de 35.48 Km² (6720 m x 5280 m) por disparo.

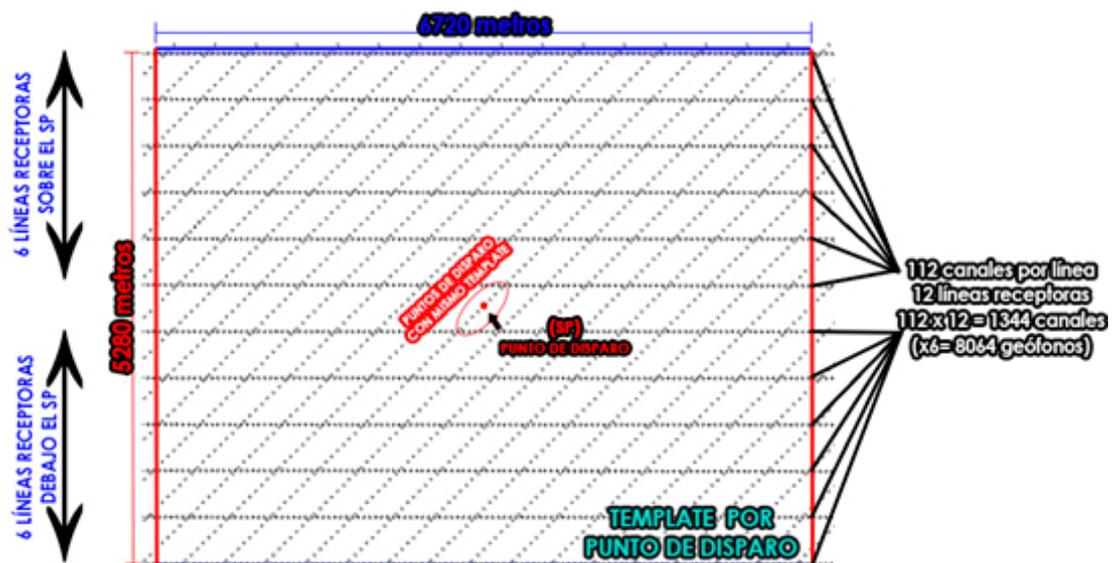


Figura # 13. Diseño del template por disparo – Proyecto W-3D.

Full Fold: Es la cobertura máxima significativa de registro de una zona de interés de un proyecto sísmico.

El área de registro total en el proyecto W-3D fue de 109.66 Km².

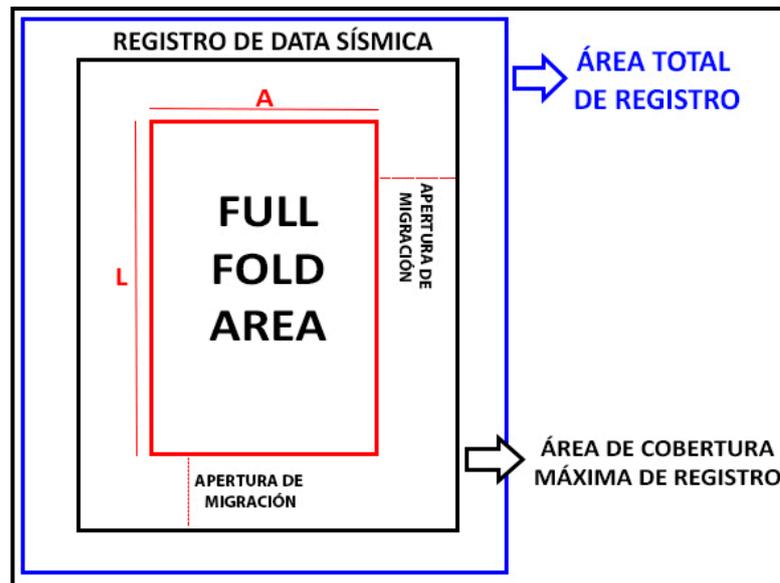


Figura # 14. Ilustración del Full Fold.

1.3.4. Procesamiento preliminar de campo

Esquema de procesamiento

El esquema básico para el procesamiento de datos en campo, se describe en el siguiente diagrama de flujo:

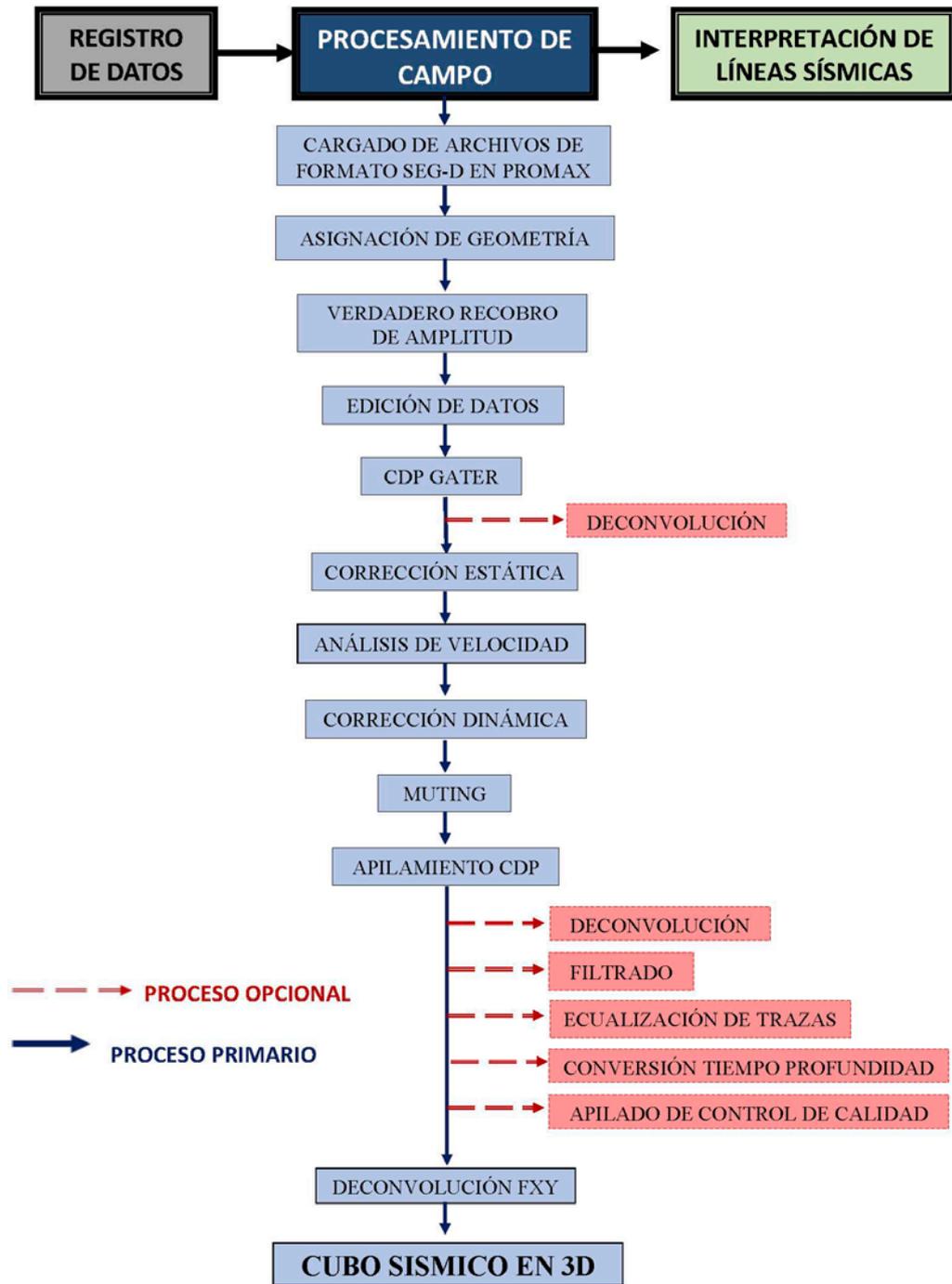


Figura # 15. Esquema de procesamiento de datos sísmicos 3D.

Descripción de tareas de procesamiento sísmico

Los eventos registrados consisten en señales coherentes (señales sísmicas) y ruido que también puede ser coherente. Una vez realizados los oportunos filtros para realzar la relación señal/ruido, y después de eliminar trazas erróneas, se analizan los datos en el dominio temporal y en el frecuencial.

Para ello es necesario aplicar una *transformada de Fourier* al objeto para pasar del dominio de tiempo al dominio de frecuencia, y aplicar una *Convolución* (que en el dominio de frecuencias es una simple multiplicación) o filtro lineal, entendiendo que la Tierra actúa de filtro para las ondas sísmicas. Por tanto el registro sísmico registrado será el sumatorio de las sucesivas convoluciones entre el disparo (o pulso sísmico) y la respuesta del impulso de la tierra (distintas capas) a través de la cual se propaga el frente de ondas.

En el procesamiento de los datos se realizan varias operaciones, a continuación se describirán brevemente algunas de ellas:

Deconvolución / convolución

El objetivo de la **deconvolución** es intentar eliminar los efectos que ejercen tanto la fuente como el medio por el que se propagan las ondas sísmicas en la señal temporal registrada.

En un modelo simplificado podemos definir:

$$\mathbf{x(t)} = \mathbf{w(t)} * \mathbf{e(t)} + \mathbf{n(t)}$$

Donde:

$x(t)$ = sismograma registrado

$w(t)$ = impulso inicial (fuente)

$e(t)$ = respuesta impulsional del medio

$n(t)$ = ruido

* = convolución

El objetivo de la deconvolución es la recuperación de dicha respuesta $e(t)$ a partir del registro obtenido $x(t)$.

En otras palabras, eliminar todos los efectos excepto la respuesta del terreno. Para ello se define un operador $a(t)$, que será el filtro, tal que al actuar sobre $x(t)$ obtengamos $e(t)$.

La **convolución**, es el producto de dos fusiones en el dominio

Temporal $r(t) = s(t) * w(t)$

Frecuencial $R(F) = S(F) * W(F)$

Donde sus características no varían con el tiempo y la noción de respuesta impulsional de un sistema se llama “impulsión” o DIRAC.

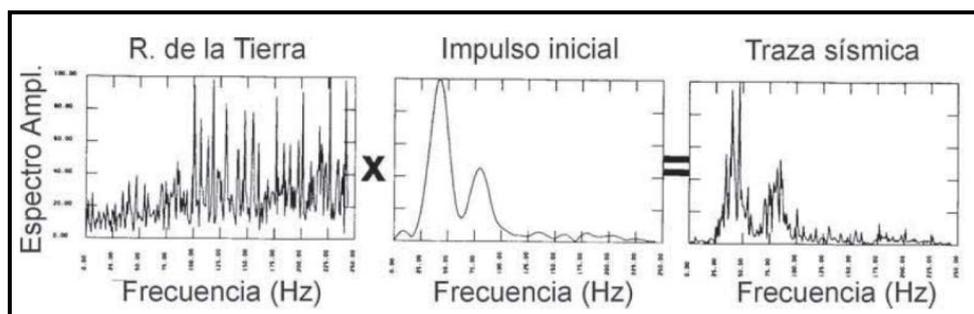


Figura # 16. Espectro de frecuencias de la convolución de la respuesta de la Tierra.

Multiplexado

Se conoce como multiplexado el registro de varios canales en uno solo.

Las trazas son registradas en secuencia de muestras. El principio consiste en hacer pasar dos o más informaciones a través de un solo soporte de transmisión.

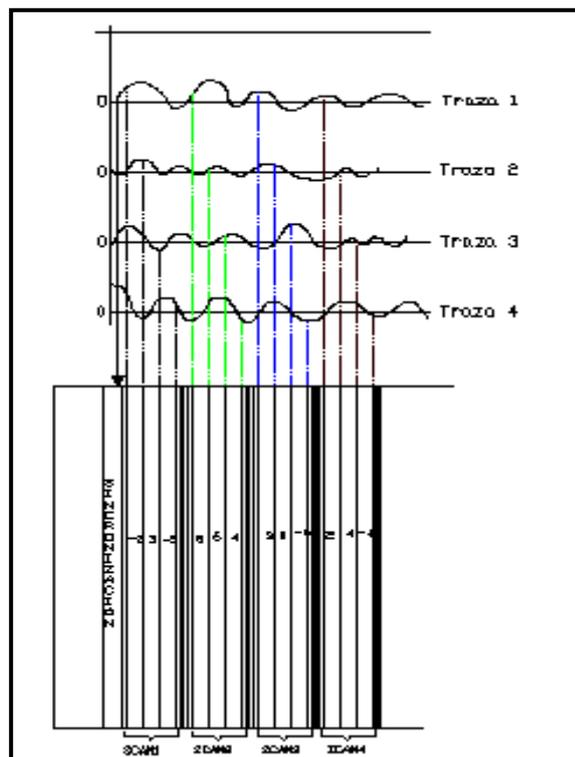


Figura # 17. Multiplexado de trazas sísmicas.

Demultiplexado

La grabación de los datos en campo se realiza de forma que las muestras correspondientes a cada instante de tiempo de grabación son almacenadas en una columna de la matriz de registro.

El demultiplexado consiste en hacer que los datos grabados puedan ser leídos en trazas secuenciales. Es decir, que las muestras de todos los instantes de tiempo correspondientes a un disparo común grabado en distintos canales puedan ser leídas de manera correcta.

Edición de Trazas

El proceso de edición consiste en la eliminación de las trazas que puedan presentar problemas individuales de diverso tipo: alto contenido de ruido, ruido monocromático, y otros tipos de ruido incoherente.

En esta etapa también se realiza la eliminación de las primeras llegadas correspondientes a refracciones, para esto se hacen ceros las amplitudes en instantes de tiempo por debajo de las llegadas de interés. Este proceso se conoce también como **muting** de amplitudes seleccionadas.

Arreglo CMP - (Punto medio común)

Esta disposición es la más ampliamente utilizada porque proporciona un aumento en la relación señal/ruido con respecto a las ondas reflejada.

Se toman muestras en diferentes momentos en un punto subsuperficial con diferentes offsets y, a continuación, aplicar la corrección NMO, sumar (apilar) las trazas para aumentar la amplitud de las ondas reflejada.

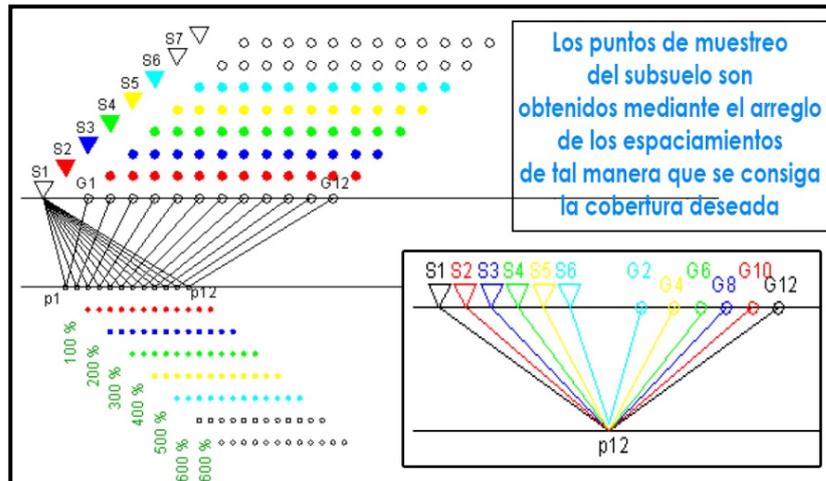


Figura # 18. Arreglo de trazas mediante el CMP (sísmica 2D).

Correcciones Estáticas

Debido a que los puntos de disparo (SP) y las ristas de geófonos no están a la misma cota, es necesario referenciar toda la información de campo a un solo nivel de referencia, que por convención es el nivel del mar o el nivel de peneplanización, que en este proyecto fue de 400 msnm (Datum plane).

La corrección estática es una corrección en tiempo, mediante la transformación de sus cotas tanto de los puntos de disparo como los de recepción y las velocidades superficiales (V_0) de la zona meteorizada. La variación de elevaciones en el tendido de receptores (geófonos) y fuentes en adquisición, así como la presencia de la capa meteorizada (la cual tiene espesor y velocidades asociados intrínsecos) afectan los tiempos de tránsito de las ondas desde la fuente hasta los receptores.

La corrección estática consiste en referir en tiempo las trazas del sismograma para el mismo nivel de referencia (Datum), eliminando de esta manera desplazamientos de los

picos de reflexión causados por irregularidades topográficas o cambios bruscos en la capa de baja velocidad superficial meteorizada (V_0).

Las diferencias en tiempo son determinadas a partir de datos adquiridos en campo y son sumadas o restadas para cada zona por separado llevando los tiempos a un nivel de referencia.

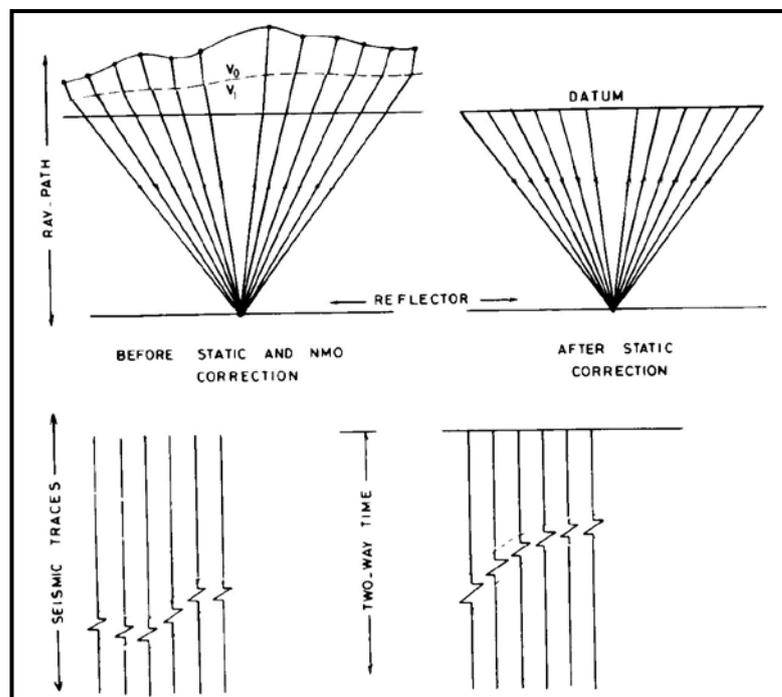


Figura # 19. Efecto de la corrección estática en las trazas.

Análisis de Velocidad

Existen dos maneras efectivas de determinar la velocidad de propagación de las ondas sísmicas en el subsuelo:

- a) **Si existen pozos en la zona**, en este caso se utiliza el método directo realizado a través de registros sísmicos, el cual es el más utilizado, no obstante no fue el caso

de la zona de estudio motivo de esta tesis.

- b) **Si no hay pozos existentes en la zona**, que es nuestro caso de estudio, se utilizan métodos indirectos, a través de datos sísmicos.

Un correcto análisis de velocidad, en el que tienen que describirse con mucha exactitud las velocidades medias (\bar{V}_m), y las velocidades cuadráticas medias (\hat{V}_{Rms}), hasta los reflectores de interés (horizontes sospechados que contienen petróleo), es de primera importancia para un desempeño exitoso de procesos como corrección de NMO, apilamiento y migración, así como para la determinación de anomalías que puedan llevar a la prospección de posibles yacimientos. Además estas leyes de velocidad nos permiten transformar los cortes de tiempo a profundidad, dichas leyes modelan la distribución de velocidades a profundidad, y son expresadas en forma lineal, exponencial o por intervalos de tiempo.

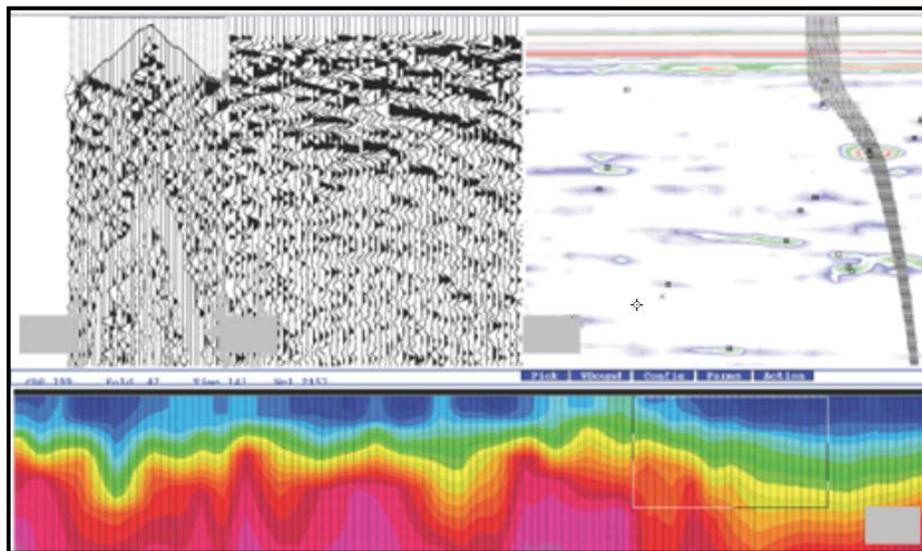


Figura # 20. Ejemplo de análisis de velocidad (cuenca evaporítica de Cardona).

Correlación

Es una operación equivalente a la convolución pero sin invertir ninguna de las dos funciones.

Mide la similitud entre dos funciones y sirve para encontrar una señal dentro de una traza sísmica. También se puede llamar correlación cruzada o cross – correlación.

Correcciones Dinámicas

Es otra corrección en tiempo comúnmente llamada Normal Move Out (NMO). Debido a que los tiempos de llegada para un reflector plano y horizontal describen una hipérbola (hipérbola de reflexión) cuya ecuación es $T = \sqrt{\frac{x^2}{v_t^2} + T_o^2}$, con $T_o = \frac{2h}{v_1}$.

Los tiempos de llegada van siendo mayores a medida que los geófonos se separan del punto de disparo, porque el recorrido aumenta, aunque la profundidad del reflector sea la misma.

El “normal move out” corrige en tiempo mediante la ecuación $\Delta T \approx \frac{x^2}{2T_o v_m^2}$, que es la diferencia entre el tiempo de llegada en cada geófono y la que le correspondería al geófono situado en el punto de disparo, para poner a los reflectores en su verdadera posición.

$$\mathbf{NMO = \Delta T = t - t_o}$$

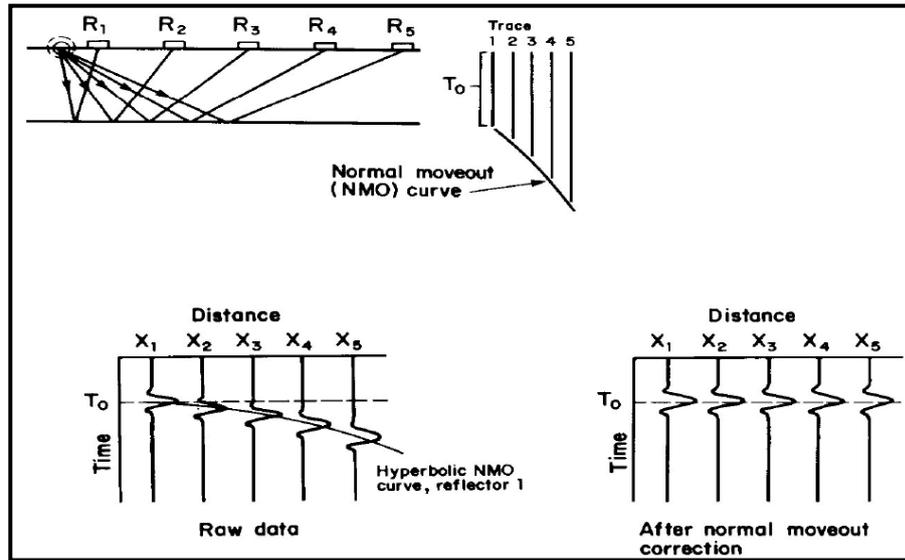


Figura # 21. Ilustración del NORMAL MOVE OUT (NMO).

Migración

La aplicación del proceso de migración para secciones sísmicas tiene como objetivo mejorar la aproximación que éstas brindan de las secciones geológicas de las localidades donde son tomadas, especialmente si la misma tiene una alta complejidad estructural.

La aproximación mediante la cual se ubican los eventos de reflexión en el punto medio entre pares de fuente y detector hace que eventos cóncavos se observen como convexos, o reflectores que poseen algún grado de buzamiento sean observados desplazados de su posición real.

Debido a que con la aplicación de procesos de migración los eventos de reflexión son desplazados a su verdadera ubicación, se puede considerar el proceso de migración

como una “deconvolución espacial”, donde se busca mejorar la resolución espacial de los datos

Apilamiento

La operación de apilamiento consiste en la suma de las amplitudes de diferentes trazas de CMP corregidas, una vez realizada la horizontalización de los eventos por el NMO.

Esta suma se realiza para construir una traza de cero offset que aproveche los beneficios que tiene sobre la señal la redundancia producida por la grabación con el método CMP.

La operación de apilamiento hace que el ruido aleatorio sea minimizado, debido a que la suma de eventos identificados como ruido aleatorio incoherente resulta en una interferencia destructiva entre los mismos, al tiempo que remarca los eventos de interés.

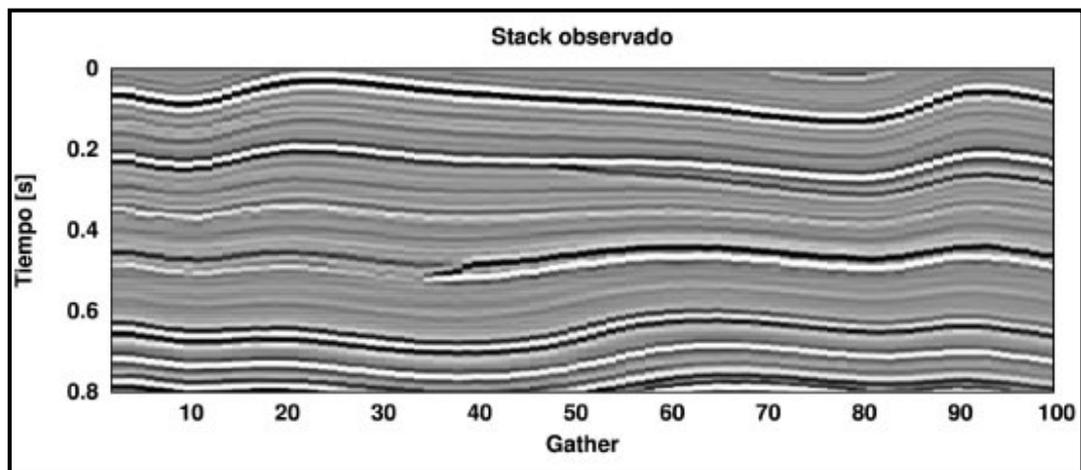


Figura # 22. Apilamiento de datos procesados.

1.3.5. Procesos finales e interpretación

A más de los procesos descritos anteriormente, se utilizan una gran variedad de **filtros** para suprimir o atenuar la presencia de ruido o interferencias originadas externamente o por la misma señal de entrada, esto se debe a características propias de la zona de estudio o fenómenos inesperados.

La utilización de filtros lo aplicamos a varias ventanas a varias secciones sísmicas y eventualmente genera una mayor calidad de la señal que realmente nos interesa interpretar.

Siempre buscamos aplicar filtros que mejoren la calidad final del resultado, tanto en 2D, 3D y 4D. De esta manera se tiene establecido el método de eliminación para ciertos ruidos o grabaciones indeseadas.

TIPO DE RUIDO	METODO DE ELIMINACIÓN
Groundroll	Arreglo de geófonos
	Filtros
	Filtro de velocidad
Refracciones	Filtros
	Muting
Múltiples de largo periodo	Deconvolución Predictiva
	Apilamiento CDP
Múltiples de corto periodo	Deconvolución
Ruido aleatorio	Apilamiento CDP
	Filtro
	Migración

Tabla # 1. Procesos de eliminación para diferentes tipos de ruidos.

Luego de esto, la interpretación de las líneas sísmicas corre por parte del equipo que realizó el proceso, en las cuales deberán reconocer las posibles trampas estratigráficas, estructurales y/o combinadas para poder reconocer las estructuras del subsuelo, generar mapas, modelos en 2D y 3D, así como para brindar al interpretador mayor facilidad de visualización de la zona de estudio y poder identificar zonas con potencial hidrocarburífero.

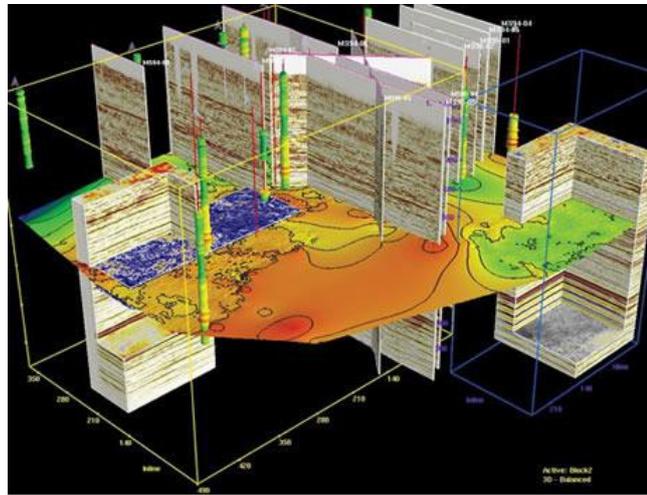


Figura # 23. Imagen 2D y 3D de un proyecto sísmico.

CAPITULO II. ÁREA DE ESTUDIO

2.1. Características del área de estudio

La zona de estudio pertenece a un bloque del oriente ecuatoriano; es decir, se encuentra dentro de las comunidades del complejo W-1, políticamente ubicado en las provincias de Napo y Pastaza.

La mayoría de las comunidades se encuentran distribuidas en línea paralela al cauce de las riberas del río Nushiño, principalmente asentadas en las vías de segundo y tercer orden. Estos asentamientos humanos son en un 95% aproximadamente perteneciente a la nacionalidad Waorani y Kichwa, el otro 5% aproximado son colonos asentados en el sector.

2.2. Localización

El proyecto sísmico W-3D, en cuanto a cantones ocupa parte de lo que es el cantón Tena (Provincia de Napo) y el cantón Arajuno (Provincia de Pastaza).

El área del proyecto es de 109.66 Km². La coordenada referencial del proyecto sísmico W-3D es la mostrada en la Tabla # 2.

COORDENADA REFERENCIAL

DETALLE	ESTE	NORTE
R	232800	9877600

Tabla # 2. Coordenada R del Proyecto W-3D (PSAD56 UTM 18S).

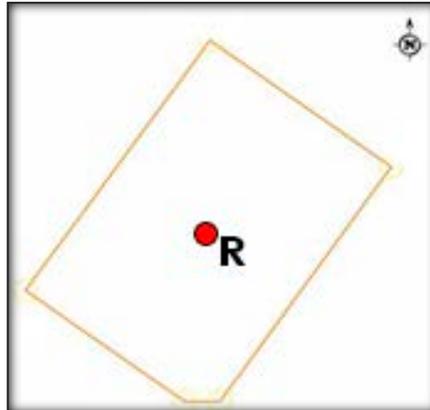


Figura # 24. Polígono del Proyecto W-3D.

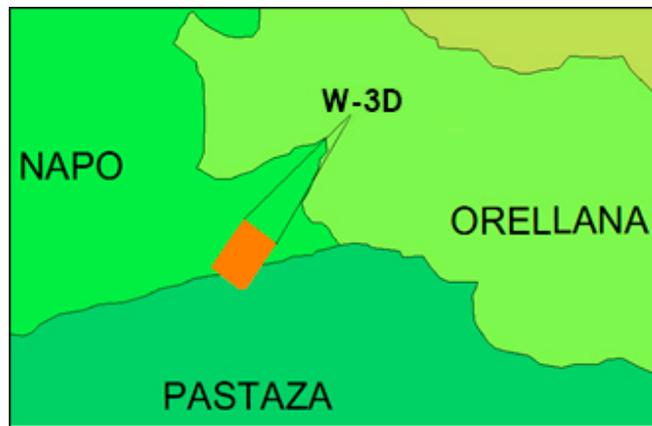


Figura # 25. Localización geográfica - política del Proyecto W-3D.

2.3.Vías de comunicación

Desde la ciudad del Tena se toma la vía de primer orden utilizando camionetas 4x4 para luego continuar en vías secundarias.

Otra vía de comunicación es la fluvial, por medio de canoas se puede navegar por el río Nushiño.

2.4. Clima

El área de estudio forma parte de la región amazónica presentando un clima tropical-húmedo, con alturas que varían entre los 250 y 350 msnm. El piso tropical presenta variaciones climáticas que van desde temperaturas mínimas de 21°C y llega a temperaturas máximas de 35°C; existe una gran humedad que varía entre el 85 y 90%. Esta información fue tomada como referencia de los Datos del INHAMI.

La zona se clasifica ecológicamente como bosque muy húmedo tropical (Cañadas, 1983) y como bosque siempre verde de tierras bajas de la Amazonía.

El suelo es limo arcilloso, elástico y de color café claro.

2.5. Geomorfología

En la parte oeste y este del proyecto se presentan sectores de colinas periandinas, que llegan hasta alturas de 610 msnm, haciendo que el terreno se presente sumamente quebrado y con pendientes muy pronunciadas mayores a 45°.

Por la parte norte del proyecto atraviesa el río Nushiño, a sus orillas se formaron terrazas aluviales, dando un relieve suave con pequeñas colinas.

2.6. Relieve

El sector está constituido por relieves ondulados con pendientes medias a bien marcados compuesto principalmente de rocas sedimentarias cuaternarias.

El relieve bien marcado se presenta en la parte sur del Proyecto W-3D con

farallones o pendientes abruptas, un terreno quebrado y de muy difícil acceso.

Los sectores con relieve moderado presentan llanuras con zonas inundables.

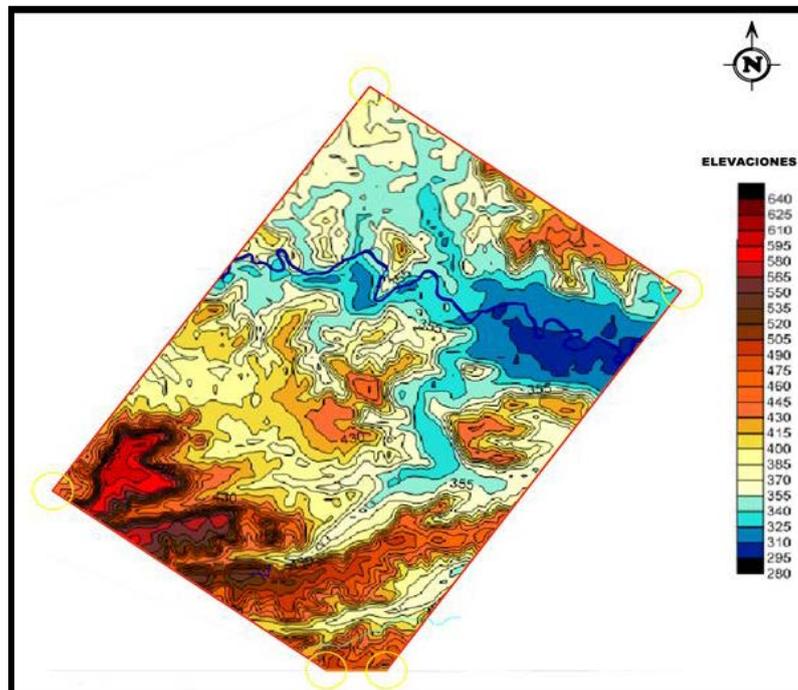


Figura # 26. Mapa de elevaciones Proyecto W-3D.

2.7. Hidrografía

El área de estudio pertenece a la cuenca hidrográfica del río Napo, subcuenca del río Curaray el proyecto es atravesado por el río Nushiño como río principal, sus dos afluentes en la parte sur son los ríos Challuhuayacu y Obaro.

Además, por la presencia de pendientes se encuentran esteros, jagüey y caños que en épocas de invierno crecen considerablemente.

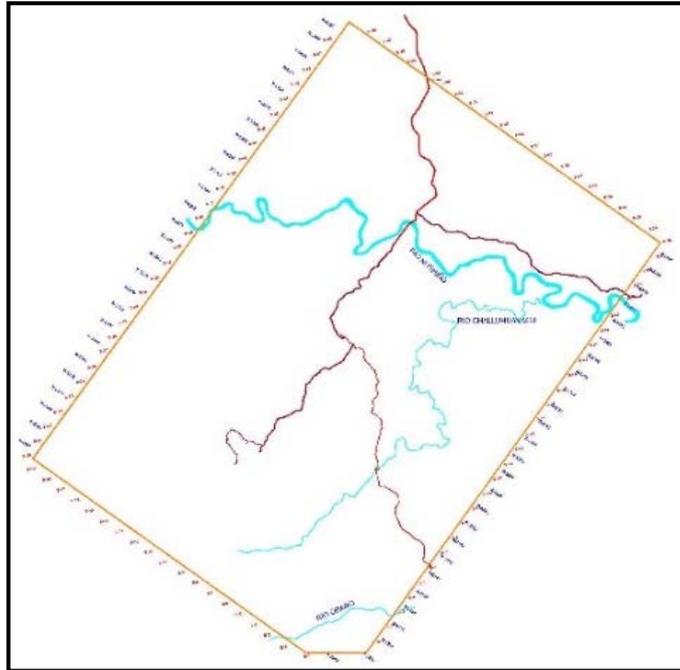


Figura # 27. Mapa Hidrográfico y de vías W-3D.

2.8. Geología

Presenta un relieve muy diferenciado en distancia ya que la altura máxima y la altura mínima difieren en 400m. Existen muchos desniveles progresivos como farallones (pendientes pronunciadas), montañas continuas con mucha pendiente en la parte sur del proyecto.

El Proyecto W-3D se encuentra en su mayoría dentro del grupo de permeabilidad primaria que va de buena a moderada, donde están rocas sedimentarias y materiales no consolidados, coluviales y depósitos de pie de monte, estos últimos son importantes, por presentar un carácter heterogéneo en su granulometría.

El sector presenta pendientes transversales fuertes, el suelo va de semipermeable a permeable.

2.8.1. Geología Regional

El área de estudio se encuentra ubicada en la cuenca oriental ecuatoriana, la cual forma parte del conjunto de cuencas sedimentarias “back arc o trasarco” que va desde Venezuela hasta Argentina ocupando un área de 100.000 Km² aproximadamente, que se extiende sobre 6.400 Km. y que separa el cinturón orogénico andino del Cratón Sudamericano.

2.8.2. Geología Estructural

La cuenca de oriente está estructurada por varias etapas de deformación transpresiva (dextral) en tres dominios tectónicos que forman tres “plays” petroleros:

- **El Sistema Subandino** - Constituye la parte más deformada y levantada de la cuenca oriente. El levantamiento es principalmente de edad Plio-Cuaternario y los sistemas petrolíferos están aflorando. En la parte norte (“Levantamiento Napo”), el sistema petrolífero corresponde al sistema Hollín-Napo (cretácico superior) de la “Cocina Bermejo” y de la “Cocina Quito” destrozada por las últimas deformaciones andinas, Generando y expulsando petróleo a partir del Eoceno.

La mayoría de las estructuras de la Zona Subandina están erosionadas.

- **Corredor Sacha-Shushufindi** - Este corredor, ubicado en la parte central de la cuenca, abarca los campos petroleros más importantes del Ecuador.

El petróleo de los reservorios de la Formación Napo en las estructuras Sacha y Shushufindi proviene probablemente de las lutitas Napo Basal de la “Cocina Auca”. El petróleo encontrado en la Hollín de las mismas estructuras es diferente y podría provenir del sistema Sacha/Santiago presente en los grabens y semi-grabens.

- **Sistema Invertido Capirón-Tiputini** - Constituye el borde oriental de la cuenca “Oriente” y corresponde a la inversión de una cuenca extensiva estructurada por fallas lítricas, bastante diferente de la cuenca Sacha/Santiago del “Corredor Sacha-Shushufindi”.

Fuente: La Cuenca Oriente: Geología y Petróleo, P. Baby, M. Rivadeneira, R. Barragan.

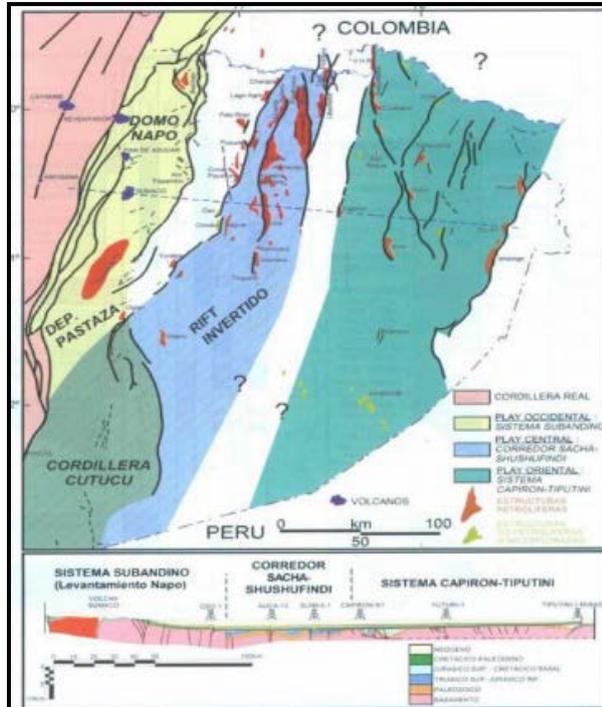


Figura # 28. Mapa y sección estructural de la Cuenca Oriente.

2.8.3. Geología Local

Formación Arajuno.- Serie muy variable en espesor que puede alcanzar hasta 1000 m, compuesta por arenas y areniscas de grano grueso hasta fino, de color pardo, se presentan algunos conglomerados e intercalaciones discontinuas de arcillas.

La localidad tipo está en el Río Arajuno, tributario del Napo, 15 km al SE del pueblo de Napo. También aflora a lo largo del domo del Napo y al pie de los montes norteños.

Fuente: La Cuenca Oriente: Geología y Petróleo, P. Baby, M. Rivadeneira, R. Barragan.

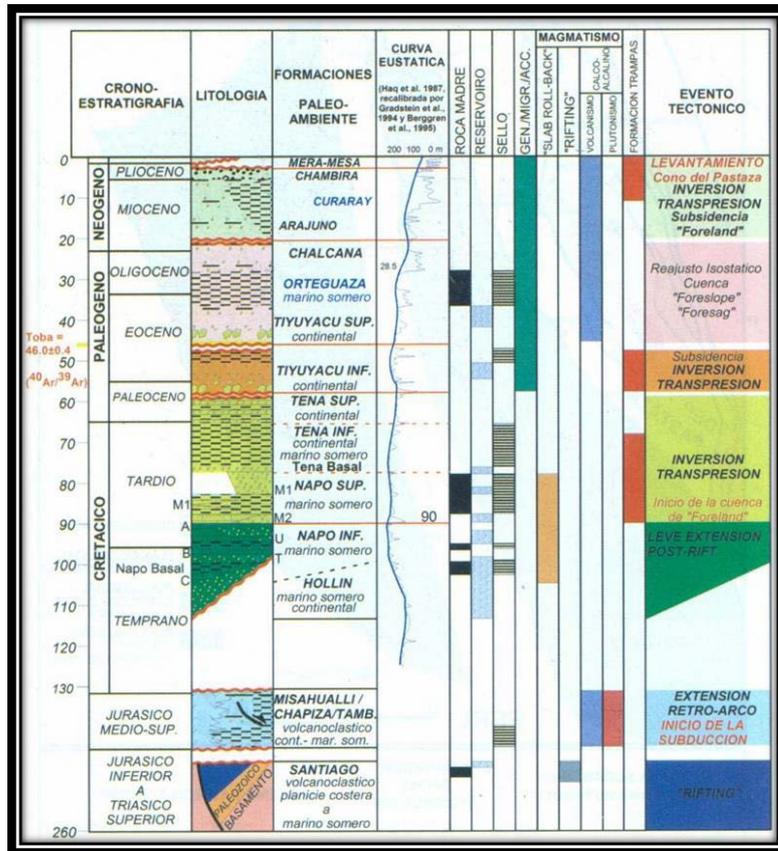


Figura # 29. Columna tectónica - estratigráfica de la Cuenca Oriente.

Formación Chambira.- Depósitos de sedimentos de areniscas, lutitas y tobas, aproximadamente de hace 4 a 8 millones de años de edad, comprendida entre el Mioceno Superior y el Plioceno, con una potencia que va desde los 1000 a 1500 msnm.

Formación Mera – Mesa.- Depósitos potentes de pie de monte, volcano - fluviales, extendidos desde las cadenas orientales de los Andes sobre la parte W del Oriente, donde ocultan las formaciones más antiguas en amplias áreas.

Depósitos Cuaternarios.- Depósitos aluviales, donde se encuentran terrazas aluviales, arenas y arcillas. De edad Cuaternario – Holoceno. Se presentan en el río Nushiño y son producto de la sedimentación de los suelos de las partes altas, son de origen andino volcánico que han sufrido procesos de erosión y transportación hasta llegar progresivamente a la zona de depositación.

Son depósitos dendríticos que están representados por arenas – limos – arcillas del cuaternario, son medianamente plásticas, como matriz dentro de esta se encuentran conglomerados aislados aproximadamente de 60 a 80 cm, de diámetro.

CAPITULO III. PROSPECCIÓN SÍSMICA “W-3D”

3.1. Definición

La prospección sísmica para la búsqueda de hidrocarburos, consiste en generar ondas sísmicas mediante una fuente artificial de energía (vibraciones o explosivos), las cuales se propagan a través del subsuelo y luego se reflejan.

Se fundamenta en la teoría de propagación de ondas elásticas cuya velocidad de propagación se constituye en elementos indispensables para entrar en el dominio de las profundidades.

Estas ondas reflejadas se detectan en la superficie mediante geófonos, generando archivos magnéticos que se procesan y con los cuales se obtiene una imagen para localizar estructuras geológicas en donde se almacena el gas y el petróleo.

Consiste en medir el tiempo de tránsito de estas ondas entre la superficie y las diversas capas.

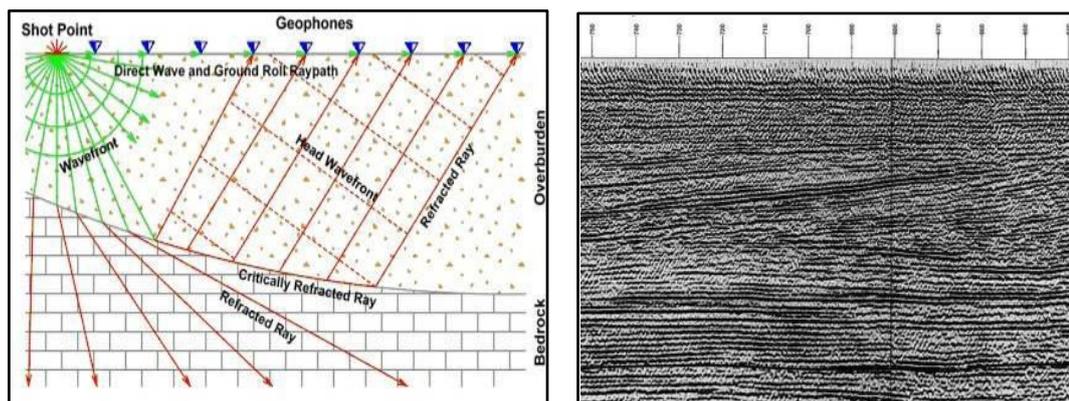


Figura # 30. Imagen para localizar estructuras geológicas.

3.2. Procedimiento de campo

El proyecto sísmico W-3D se lo desarrolló con una malla sísmica que consta de 48 líneas fuentes con una distancia de 480 m entre sí; y de 26 líneas receptoras con una distancia de 420 m entre sí. El total de kilómetros lineales es de 590.95 km.

3.3. Etapas de prospección sísmica

Las fases en las que se desarrolló el trabajo de prospección sísmica del presente proyecto, se muestran en el siguiente cuadro:



Figura # 31. Etapas de un trabajo de prospección sísmica.

A continuación se describirá cada etapa del proceso.

3.4. Topografía

Para el inicio de esta fase, los equipos que se utilizaron fueron enviados a una casa comercial especializada en la revisión en bancos de calibración y emite los correspondientes certificados que garanticen que las mediciones realizadas en campo sean las correctas. Las funciones del distanciómetro, los cierres angulares tanto horizontales como verticales son corregidos y puestos a punto.

En el desarrollo de las actividades diarias del Proyecto W-3D, se efectuarán mediciones topografías que permitan un levantamiento de calidad por lo cual el chequeo de las estaciones totales y sus respectivos accesorios involucrados, es la mejor forma de

garantizar que los datos de campo entregados estén en el orden de precisión y exactitud según las especificaciones técnicas establecidas.

La medición electrónica de distancias se basa en la siguiente expresión:

$$D = v * t = \text{velocidad} * \text{tiempo}$$

Donde se conoce la velocidad de propagación del haz de luz (constante) y el tiempo que demora en regresar la señal a la estación total luego de rebotar en los espejos convergentes (prismas) se calcula la distancia entre los dos puntos.

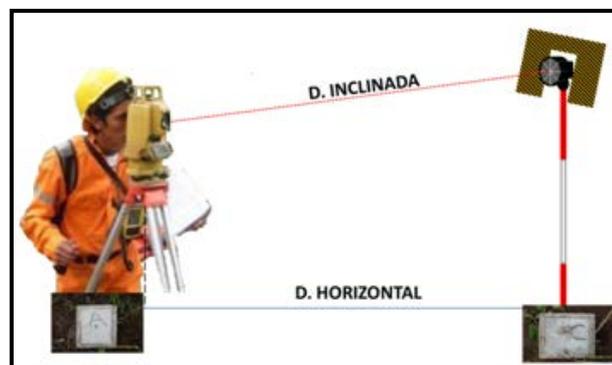


Figura # 32. Medición electrónica de distancia EDM.

La distancia obtenida está referida a un plano topográfico y si este plano cartesiano está georeferenciado se obtiene su posición mediante coordenadas. Para la determinación de las distancias horizontales es necesaria la medición de ángulos verticales a partir del cenit cuyo valor depende del desnivel entre los puntos y por trigonometría básica considerando la distancia inclinada medida se obtiene la horizontal.

Las tareas de topografía son sin duda alguna las que más involucran tiempo, precisión, y contar con el personal capacitado para realizarla, ya que de ella depende básicamente que los resultados obtenidos sean exitosos.

Antes de todo trabajo de campo, no sólo en la etapa de la sísmica, se realiza un plan de manejo ambiental para poder disminuir el impacto ambiental que se causa en el terreno, o preservar los recursos que posea.

El topógrafo deberá dirigir, orientar y controlar el corte y nivelación dando el rumbo de la línea al porta prisma y al capataz, hacer el corte cuando sea necesario, ubicar con precisión y exactitud las estacas según los parámetros establecidos.



Figura # 33. Topógrafo nivelando estacas receptoras.

El presente proyecto abarcó una superficie de 109.66 Km², donde se diseñaron un total de 3794 puntos de receptoras y 4332 puntos de tiro con el fin de garantizar un cubrimiento simétrico y homogéneo de la zona.

3.4.1. Equipos de campo

Se utilizaron dos técnicas de medición convencional (corte y poligonales) y satelital (GPS de arranque) para la realización de las actividades de topografía, seleccionando

cada uno de ellos de acuerdo a la utilidad que tenían.

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
3	Receptores GPS Trimble 5700
2	Receptores GPS Promark 500
3	Colectores Trimble TSC 1
13	Estaciones Topcon
6	Estaciones Leica
1	Estación Sokkia
17	Trípodes
34	Bastones
32	Prismas

Tabla # 3. Equipo convencional y de GPS utilizado en campo.



Figura # 34. Estación Total Sokkia.



Figura # 35. Izq.: Garmin 62S, Der.: Receptor Trimble 5700.

3.4.2. Metodología

a) Control de corte y estacado

La apertura de las trochas tanto en líneas fuentes, como en líneas receptoras, se realizó conforme al Estudio de Impacto Ambiental (EIA), donde se permitió realizar el corte de un máximo de 1,20 metros de ancho y en el caso de encontrarse con árboles, el límite permitido fue de 10 centímetros de diámetro a la altura del pecho procurando siempre minimizar el impacto ambiental.

La apertura de las líneas se realizó utilizando machetes y simultáneamente con el levantamiento topográfico para conservar la dirección de la trocha.

La materialización física de las líneas se realizó mediante la apertura de una pica, colocando en cada punto posicionado un taco de madera como testigo, pintado de color azul en caso de las líneas receptoras y rojo para los salvos, señalando con una

estaca más grande donde se indicó con pintura el nombre de la línea y el número del punto.

También se identificaron los puntos con cinta plástica con la numeración correspondiente utilizando marcador de tinta permanente, diferenciándolas por colores de acuerdo a la nomenclatura siguiente:

- ✓ Cintas blancas.....Para variantes o caminos alternativos
- ✓ Cintas rojas.....Para las estacas de líneas fuentes
- ✓ Cintas azules.....Para las estacas de líneas receptoras
- ✓ Cintas amarillas.....Para los tacos de cambio
- ✓ Cintas azul y roja.....Para los cruces de líneas
- ✓ Cintas de Peligro.....Para los peligros ambientales existentes

MATERIAL PARA NUMERACIÓN DE ESTACAS

R-24651010

S48-SP-24701010.5

- ESTACA: usar **pintura de color azul y rojo.**
- CINTA: Usar **marcador permanente de color negro.**
- JUSTIFICACIÓN: Debido a que las lluvias y el paso del tiempo degradan la permanencia de estas marcas y perjudican la operación.

La numeración de las líneas sísmicas, se inicia con la primera estaca receptora del diseño implantado para el área de estudio, la cual puede ser de norte a sur o viceversa. Con lo cual las demás estacas receptoras estarán en secuencia con respecto a la primera.

La numeración de las **estacas receptoras**, describe el número de línea receptora (Ej.: R-2097), seguido del número de estaca (Ej.: STK 1065) que indica el punto donde se colocará la ristra y así tener una secuencia al momento del apilado de los registros obtenidos.

La numeración entre las líneas receptoras varía de 16 en 16 unidades, estableciendo un conjunto de líneas imaginarias entre cada una de las líneas receptoras, donde se establecerán los puntos de tiro, y ésta hace referencia al arreglo que se establece para cada proyecto.

El número de la estaca varía en una unidad.



Figura # 36. Numeración de estacas receptoras.

La numeración de los puntos de disparo comienza por el número de salvo, seguido por el número de línea imaginaria del SP tomando como referencia las líneas receptoras principales por encima o por debajo (Ej.: SP 2070), luego se indica el punto de disparo,

el cual para el diseño Slant, siempre se encontrará nivelado entre dos estacas receptoras, de tal forma que el punto de disparo siempre terminará en “.5” (E.j: 1155.5).

De esta manera se establece como ejemplo, que el punto de disparo SP 2070 1155.5 se encuentra entre las líneas receptoras R-2081 y R-2065 y entre las STKs receptoras 1155 y 1156.

La numeración de las líneas imaginarias de los SP varían de 2 en 2, obteniendo 8 líneas imaginarias entre cada línea receptora, es decir 8 puntos de disparo entre cada Intervalo Receptor (RI), mientras que el punto de disparo varía en una unidad.

Con esto se tiene en claro, que la numeración de los puntos de disparo está en función de las estacas receptoras.



Figura # 37. Numeración de estacas fuentes.

En las vías y accesos existentes se colocaron tablas de identificación para facilitar la ubicación de las líneas.



Figura # 38. Señalización en la vía, línea de tiro.

En zonas de pantano utilizar estacas lo suficientemente grandes para que se visualice en la superficie.

Señalización de estacas receptoras

- Taco pintado de **color azul**.
- **Estaca de madera** con numeración de **color azul** o estaca con **cinta azul**.
- **Cinta plástica azul** con el número de línea y estaca.



Figura # 39. Señalización de una estaca receptora.

Señalización de estacas fuentes

- Taco pintado de **color rojo**.
- **Estaca de madera** con numeración de **color rojo** o estaca con **cinta roja**.
- **Cinta plástica de color rojo** con el **número de salvo y punto de tiro**.



Figura # 40. Señalización de una estaca fuente.

b) Levantamiento de datos

Una vez realizada la configuración de las estaciones totales con los parámetros y tolerancias del proyecto, cargadas las tarjetas y los colectores con el preplot del mismo, se procedió a la nivelación de las líneas sísmicas.

El replanteo de los puntos sísmicos se realizó por medio de las coordenadas teóricas cargadas en la tarjeta (o colectores) que facilitó al topógrafo el control sobre el replanteo de los puntos de las líneas sísmicas.

El cálculo se hace en forma sucesiva sobre cada estación ocupada, con la respectiva

conexión de las mediciones, propiciando el arrastre de las coordenadas.

Se utilizó el método de doble lectura de ángulos y distancia para efectuar las mediciones, realizando observaciones solares continuamente con cinco series, directa e inversa, para asegurar un mayor control del rumbo de la línea.

El control de posicionamiento de las estacas mantiene el programa grabado en las tarjetas donde se generan los archivos que contienen los datos de campo.

Además se realizaron anotaciones en las carteras de campo para resguardar la información en caso de que ésta se perdiera.

La dirección de la línea se realizó con el apoyo de balizas que el topógrafo alineaba sobre el eje de ésta, el capataz continuaba rotándolas conforme avanzaba el corte y el topógrafo debía verificar que las balizas estuviesen bien alineadas, asegurando así una correcta dirección del corte de la línea.



Figura # 41. Balizas sobre la línea.

El topógrafo siempre estuvo atento a los obstáculos presentes sobre el eje de la

línea para colocar el punto en offset, tomando en cuenta la tabla de parámetros de distancias de seguridad.

En cada punto de cambio, se colocaron tacos de madera pintados de color blanco, con un clavo en el centro del mismo.



Figura # 42. Levantamiento Topográfico.

En el Proyecto W-3D, se requirió manejar controles en la nivelación que permitiera verificar los ángulos verticales y las distancias, ya que por la gran cantidad de humedad y terreno con diferencias de elevaciones en distancias cortas, casi siempre mayores a 10m (hasta 300m) entre una estación y otra los equipos presentaron una diferencia entre las distancias o los ángulos verticales que afectaba el proceso (y requería la re nivelación de esos tramos para el chequeo y continuación).

Para evitar estos problemas cada topógrafo debió chequear la distancia horizontal en cada estación y 3 lecturas del ángulo vertical para el chequeo en el sitio de la medición.

3.4.3. Poligonales de control

La mayor parte de las poligonales se desarrollaron dentro de vías del proyecto, permitiendo iniciar de forma correcta a los grupos, aunque de igual forma existieron muchas líneas que por su buen control se catalogaron como poligonales, luego que su ajuste se desarrolló partiendo y terminando en puntos GPS.

En total se nivelaron 10 poligonales distribuidas en todo el bloque permitiendo el procesamiento y ajuste de todo el proyecto oportunamente.

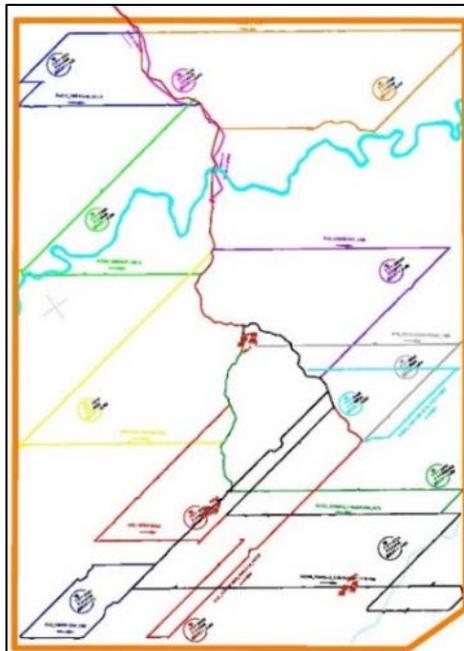


Figura # 43. Poligonales de control W-3D.

❖ Puntos de cambio y poligonales

- Taco pintado de color blanco y un clavo en la parte superior.
- Estaca de madera con número de color Blanco.
- Cinta plástica de color AMARILLA con el número del punto de cambio.
- Proteger el punto con 3 estacas pequeñas en forma de pirámide.



Figura # 44. Señalización de un punto de cambio.

3.4.4. Parámetros técnicos del proyecto

a) Parámetros de diseño de líneas sísmicas

PARÁMETROS DE DISEÑO	
Área del proyecto:	109.66 Km ² .
Total de fuentes:	4332 SPs
Total de receptoras:	3794Stk
Total de líneas fuentes:	48
Total Km Fuentes:	364.87Km
Total de líneas receptoras:	26
Total de Km receptoras:	226.08 Km
Intervalo entre receptores	60 m
Intervalo entre fuentes	84.85 m
Espaciamiento entre líneas receptoras	480 m
Espaciamiento entre líneas fuente	420 m
Intervalo entre DZ	1260 m
Patch	12×112×8
Líneas fuente Slant	45°
Líneas Receptoras por disparo	12
Receptores por línea	112
Disparos por Patch	8
Canales Activos	12X112=1344

Tabla # 4. Parámetros de Diseño enmallado sísmico.

El tipo de arreglo entre receptores y fuentes suelen ser diseñados de acuerdo a ciertos factores, tomando en cuenta desde la disposición de equipos hasta las irregularidades del terreno.

El diseño Slant del Proyecto W-3D es el siguiente:

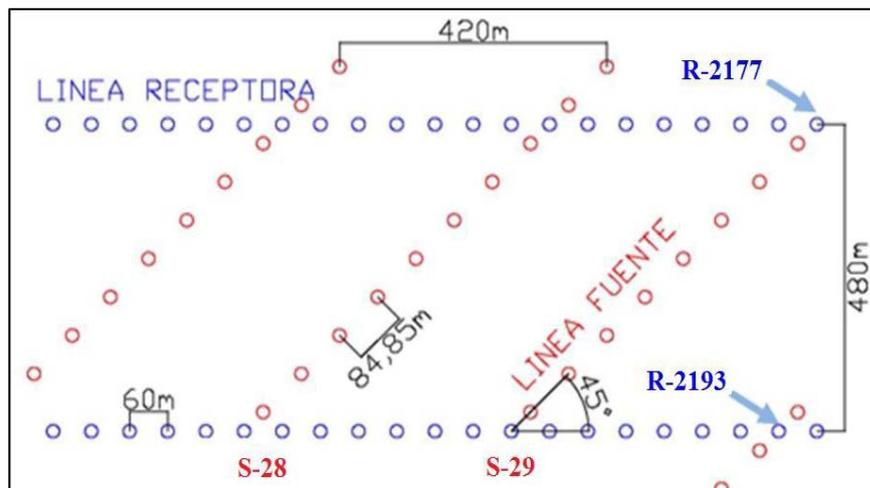


Figura # 45. Configuración slant Proyecto W-3D.

b) Parámetros ambientales

En el complejo W-1 se utilizó el siguiente PMA:

- Ancho de la trocha: 1,20 m.
- No cortar árboles si el diámetro a la altura del pecho es mayor a 10 cm.
- El área de DZ es de 4 m x 4 m.
- El área de HP es de 25 m x 30 m.



Figura # 46. Trochas para instalar el tendido sísmico.

Para definir el desplazamiento en caso de un obstáculo ambiental o cultural, se distribuyó a todo el personal que laboraba en campo una tarjeta con la siguiente información:

PARÁMETROS AMBIENTALES PROYECTO W-3D	
DISTANCIA EN m	DESCRIPCIÓN
15	Carreteras lastradas
	Caminos vecinales y de Waoranis a Toñampare
30	Esteros menor a 2.5 m de ancho
35	Oleoductos Gasoductos
	Viviendas de madera
	Puentes de madera y metálicos
	Pozos petroleros inactivos
	Líneas eléctricas de baja tensión
	Campamentos volantes
40	Nacederos
60	Líneas eléctricas de alta tensión
	Antenas de comunicación (Torres)

100	Plataformas petroleras
	Pozos petroleros activos
120	Tanques elevados
	Estructuras de concreto (construcciones)
	Construcciones mixtas
	Puntos de captación de agua
	Piscinas de peces (estanques)
	Granjas avícolas
	Puentes de concreto
	Áreas de importancia ecológica (saladeros,
	Centros poblados
Consultar a QC	Pendientes mayor a 60 grados

Tabla # 5. Parámetros Ambientales Proyecto W-3D.

OFFSET RADIAL

El Offset radial es el desplazamiento más común en los proyectos de prospección sísmica, implica mover el punto a cualquier punto de una circunferencia imaginaria con radio de 5 m. a la redonda del punto de disparo original.

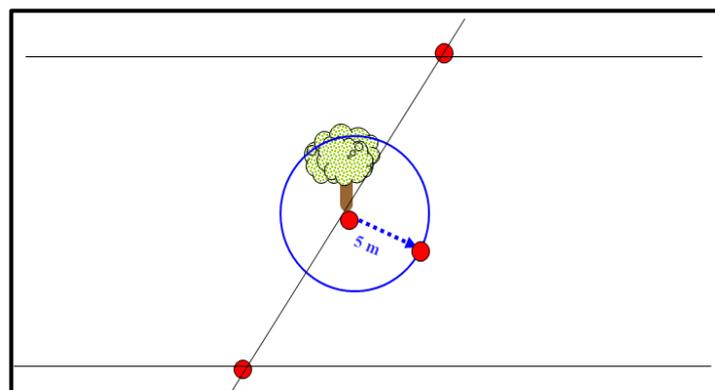


Figura # 47. Ilustración del offset radial

3.5. Perforación

Esta etapa concierne en la perforación de pequeños pozos o agujeros (máx. 5'') donde se va a colocar la carga explosiva que posteriormente será detonada.



Figura # 48. Perforadores.

La profundidad del pozo depende tanto del tipo de suelo y la facilidad de perforarlo, como de la cantidad de carga explosiva que se va a utilizar.

A continuación se muestra los tipos de cargas explosivas utilizadas.



Figura # 49. Cargas utilizadas en la sísmica.

Un ejemplo de carga explosiva es la pentolita, utilizado en el proyecto W-3D.

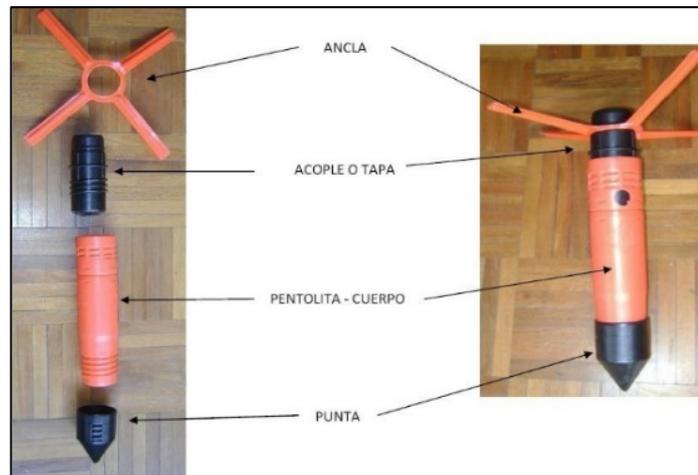


Figura # 50. Partes de una carga de pentolita.

Para hacer explotar la carga, se utilizan los detonadores eléctricos o fulminantes, los cuales se detallarán en capítulos posteriores.

El cargado de pozos, se lo realiza con mucha precaución, introduciendo la carga en el pozo y dejándolo asentado en el fondo del hoyo insertando varillas.



Figura # 51. Cargado de pozos.

Luego de culminar con la etapa de topografía se prosigue con la etapa de perforación, que consiste en perforar y cargar los puntos nivelados.

Para este proyecto se utilizó material explosivo de alto poder de detonación, generalmente las características que se toman en cuenta son el diámetro del hoyo y la profundidad.

En esta fase también se precautelaré que los puntos fuentes cumplan con los parámetros ambientales definidos según el PMA del Proyecto W-3D, de lo contrario se re-nivelará dicho punto.

3.5.1. Equipo empleado

Se utilizaron equipos de taladro con motor de combustión interna a gasolina tipo vertical, sistema auxiliar de perforación con agua a presión desde motobomba para lodos. A continuación se detalla las herramientas y equipos con los que laboró cada grupo en el campo:



Figura # 52. Perforadora portátil a gasolina.



Figura # 53. Motobomba.

3.5.2. Parámetros de perforación

En el Proyecto W-3D se utilizaron los siguientes parámetros de perforación:

a) Patrón 1 (Pozo único)

Como primera opción y objetivo principal de los trabajos de taladro, se tuvo una perforación única, de 21 metros de profundidad con 2 Kg de pentolita y dos fulminantes eléctricos, como se muestra a continuación:

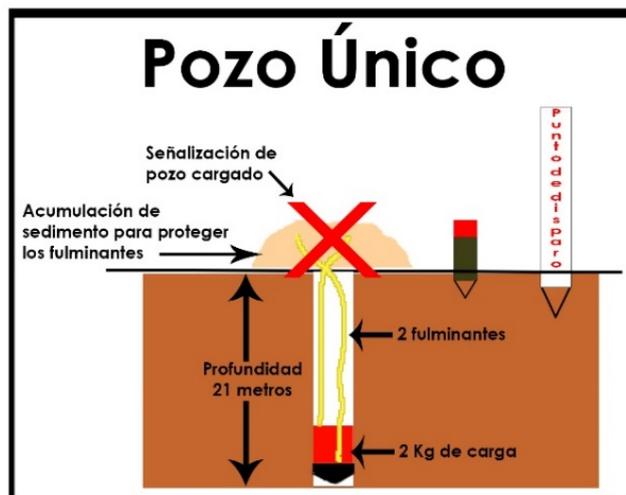


Figura # 54. Patrón inicial de Perforación (Pozo único).

b) Patrón 2 (Pozo doble)

Dos perforaciones separadas 3 metros entre sí alineadas con el salvo, cada una entre 9 y menos de 12 metros de profundidad, con 1Kg de pentolita y un fulminante eléctrico cada pozo.

Sólo se consideraba este patrón en caso de tener problemas litológicos que hicieran imposible la perforación única.

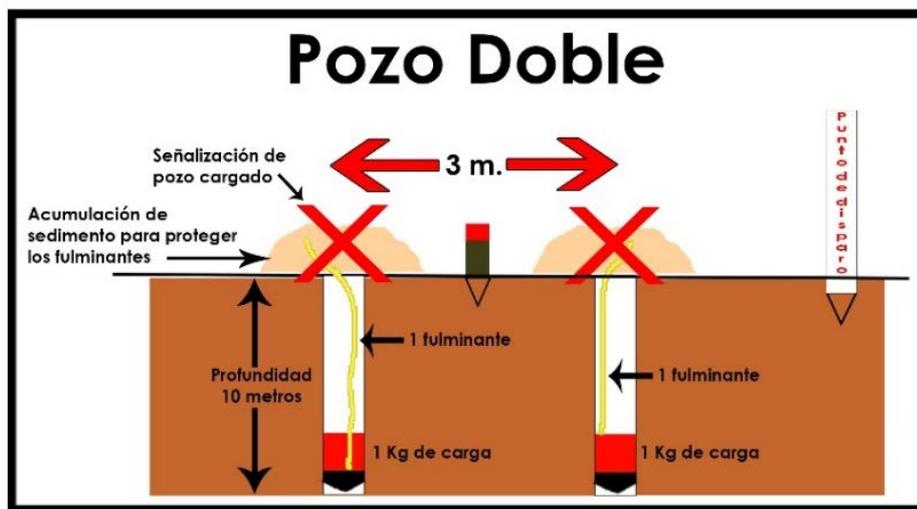


Figura # 55. Patrón 2 inicial de Perforación (Pozo doble).

c) Patrón 3 (Pozo Triple)

Tres perforaciones separadas 2.5 metros entre sí alineadas con el salvo, entre 5 y menos de 8 metros de profundidad, cargados con 0.5 Kg de pentolita y un fulminante eléctrico cada pozo.

Como en las opciones anteriores, sólo se consideraba este patrón en caso de tener problemas litológicos que hagan imposible la perforación.

Debido a la presencia de rocas no consolidadas o cantos rodados en las cercanías a los ríos presentes en el proyecto, como lo son el río Nushiño, el río Gareno y el río Obaro, se procedió a aplicar este parámetro en las perforaciones de algunos pozos.

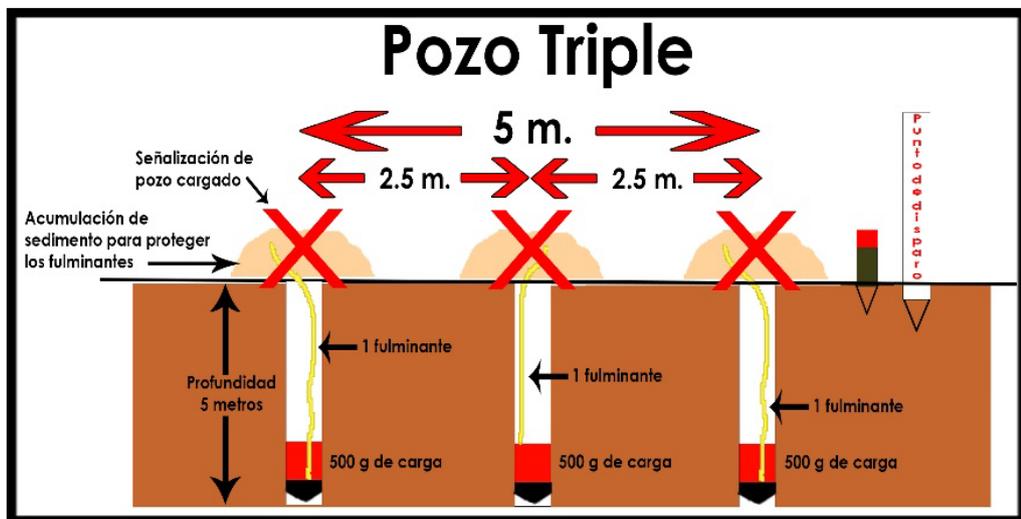


Figura # 56. Patrón 3 inicial de Perforación (Pozo triple).

3.5.3. Metodología

El capataz ubica el punto exacto donde debe efectuarse la perforación, aplicando los parámetros técnicos y siguiendo la programación establecida del día.

Una vez definido el punto a perforar se ubica el equipo y las herramientas necesarias para laborar. El personal obrero realiza la tarea de abastecimiento de agua, previa instrucción impartida por el capataz.

El perforador se encarga de realizar la limpieza del espacio de trabajo y un obrero designado cava el contrapozo. El capataz mientras tanto efectúa las inspecciones de

cada uno de los equipos de acuerdo a los listados de inspección y chequeo entregados por el supervisor de perforación. El capataz dispone del equipo de manera adecuada para realizar la labor.

Luego que la limpieza del sitio y del contrapozo ha sido realizada, el perforador humedece las paredes de éstas y realiza un proceso de impermeabilización con la arcilla encontrada.

El capataz ubica la motobomba cerca del contrapozo y conecta las mangueras de la siguiente manera:

- ✓ Estira la manguera de succión y la sujeta con el acople rápido, el mismo que debe disponer de un amarre adicional por seguridad de tal forma que éste es conectado a la válvula de la motobomba.
- ✓ Conecta la manguera de salida a la válvula de paso de la motobomba y procede a ponerla en marcha.

El capataz asegura que el contrapozo tenga el agua necesaria para iniciar la purga de la motobomba.

A continuación el capataz realiza el proceso de purga de la motobomba con un balde saca agua del contrapozo y la vierte en la manguera de succión por el extremo donde se encuentra la rejilla, hasta llenar completamente la válvula. Durante esta operación inclina la motobomba ligeramente hacia arriba.

Un indicador para el llenado de la válvula es vaciar agua hasta que el nivel supera la mitad de la manguera de succión.

En este momento el capataz designa un obrero que será el encargado de limpiar

constantemente el pozo, contrapozo y chupo, sacando los ripios y colocándolos a un lado de la explanación. Además será el encargado de vigilar el suministro de agua al contrapozo a medida que la perforación vaya en progreso. Este obrero contará con unos guantes de caucho largos para la protección de sus manos.

En este momento el perforador pone en marcha el motor a gasolina.

Cuando el capataz está completamente seguro que todo está listo, le hace una señal al perforador quien abre la llave de paso del agua y acelera la motobomba. En este momento el perforador acelera el motor e inicia la perforación con el fin de evitar desperdicios de agua.

Cada vez que se alcanza la profundidad del tubo y se va a colocar el próximo, el capataz desacelera la motobomba e igualmente cierra la llave de paso de agua. En forma simultánea el perforador desacelera el motor. En este momento el obrero que está a cargo del extremo de la rejilla, aprovecha para sacarlo y limpiar el contrapozo.



Figura # 57. Grupo de perforación en labores diarias.

Para cambiar el tubo se realiza lo siguiente:

- ✓ Los obreros levantan el motor hasta más arriba de la cintura, casi a nivel de los hombros.
- ✓ Un obrero coloca una llave de tubo de 24 pulgadas, agarrando el tubo a nivel del piso. La llave es asegurada con una cuña o con una estaca previamente enterrada, de tal forma que evita que ésta y el tubo giren.
- ✓ Otro de los obreros introduce la llave de tubo de 24 pulgadas en uno de los dos agujeros del Kelipin y giran a su izquierda para aflojarla. El obrero continuará girando el Kelipin manualmente hasta retirarlo por completo. Las roscas del tubo, Kelipin y Swivel tienen sus hilos orientados a la derecha.
- ✓ Se retira la perforadora y se enrosca el próximo tubo.
- ✓ Se levantan los tubos con la ayuda de otra llave de 24 pulgadas.
- ✓ Se retira la llave que se encuentra en el piso y con la llave superior se desciende lentamente la tubería. Al tocar el fondo del pozo se retira la llave.
- ✓ El motor se ubica sobre la rosca del último tubo y se enrosca dándole rotación lenta. El mismo procedimiento se realiza cada vez que se va a quitar o a colocar un tubo.



Figura # 58. Perforadores añadiendo tubería.

- ✓ Siempre que se presenten problemas de atascamiento por derrumbe, se emplea Cydrill, Benex, o bentonita, disuelta en agua y aplicada sobre las paredes del pozo. Se repite el mismo procedimiento hasta alcanzar la profundidad indicada según el parámetro de carga.
- ✓ El capataz desacelera la motobomba, cierra la llave de paso de agua, apaga la motobomba y cierra la llave del combustible.
- ✓ El perforador desacelera el motor y cierra la llave del combustible.
- ✓ El taladro es levantado a la altura de los hombros.
- ✓ Un obrero coloca la llave de 24 pulgadas agarrando la tubería a nivel del piso. La perforadora es descargada sobre la llave y esta a su vez sobre el piso.
- ✓ Otro de los obreros afloja el Kelipin girándolo hacia la izquierda.
- ✓ Se retira la perforadora y se coloca en un sitio seguro y a una distancia aproximada de tres metros.
- ✓ Utilizando las llaves de 24 pulgadas se levanta la tubería hasta liberar como máximo dos tubos.
- ✓ Una vez liberados los tubos, se coloca una de las llaves nuevamente para asegurar el resto de la tubería contra el piso y evitar que ésta se caiga dentro del pozo.
- ✓ Los tubos liberados se desenroscan con la otra llave de 24", pasándola de mano en mano entre los dos obreros encargados de las llaves.
- ✓ Lo anterior se repite hasta retirar todos los tubos.

El carga pozo primero verifica con las varas que la profundidad sea la requerida para

luego ser cargado y taponado.

Mientras la tubería es retirada del pozo, el obrero encargado de la explanación organiza las mangueras de la siguiente manera:

- ✓ Lleva hasta el contrapozo el extremo de la manguera de salida y realiza presión a lo largo de ésta, de tal forma que vacía por completo el contenido de agua y otros elementos que se encuentren en su interior.
- ✓ Luego enrolla la manguera y la amarra con una cuerda a la válvula de la motobomba.
- ✓ Suelta la rejilla de la manguera de succión y la limpia con agua.

Una vez que el chupo está limpio lo conecta nuevamente a la manguera de succión y ésta a su vez la amarra con una cuerda a la motobomba.



Figura # 59. Perforadores en actividades diarias.

El equipo, accesorios y herramientas son trasladados a la nueva posición, de acuerdo al procedimiento “Transporte de equipo de perforación en la línea”, mientras un obrero se encarga de llenar la explanación con el material sacado de ella misma durante su elaboración.

El capataz se asegura de recoger todos los equipos, accesorios y herramientas del sitio donde se perforó el pozo.

Para cargar el pozo se toma como referencia el procedimiento “Cargado de Pozos”.



Figura # 60. Grupos de perforación.

3.5.4. Explosivos

a) Conceptos básicos

Explosivo: Sustancia capaz de sufrir una explosión.

Detonador: Consiste en una cápsula de aluminio que contiene en su interior una parte de explosivo brizante y primario.

Esta última se encuentra en contacto con la gota eléctrica, que a su vez está fijada a los conductores de energía. Es activada por la corriente eléctrica, la que se transmite por los conductores hasta iniciar la carga primaria.

Explosión: Proceso por el cual una sustancia se convierte bruscamente en elementos mayormente gaseosos, con una velocidad de transformación suficientemente alta, de forma que los productos se encuentran a presiones y temperaturas elevadas.

Detonación: Proceso de explosión en el cual se produce flujo de productos de reacción, inducido por la propagación de la onda de reacción, siendo ésta velocidad de propagación supersónica con respecto al material no reaccionado.

En el mercado existe una gran variedad de explosivos dependiendo de su composición química, sensibilidad, utilización, como se indica en los siguientes gráficos.

Para este proyecto se utilizó pentolita sísmica del tipo industrial con detonador del tipo eléctrico, materiales usados específicamente para exploración sísmica de reflexión y refracción.

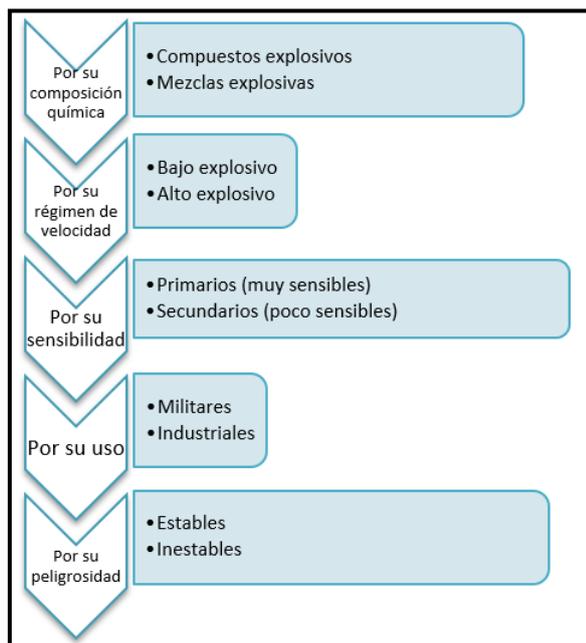


Figura # 61. Clasificación general de explosivos.

b) Tipos de explosivos utilizados

La pentolita sísmica es diseñada para trabajos de exploración geofísica. Sus propiedades físico-químicas, determinan una alta resistencia a la presión lo que no

permite la deformación de sus cargas en el interior del barreno a una velocidad considerable, además su alta resistencia al agua y energía aseguran un producto adecuado para obtener óptimos resultados en prospección sísmica.



Figura # 62. Pentolita usada en el Proyecto W-3D.

El fulminante eléctrico, consiste en una cápsula de aluminio que contiene en su interior una parte de explosivo brizante y otra de explosivo primario.

Esta última se encuentra en contacto con la gota eléctrica, que a su vez está fijada a los conductores de energía. Es activada por la corriente eléctrica, la que se transmite por los conductores hasta iniciar la carga primaria.

Este fulminante requiere de la energía necesaria para asegurar un tiempo de iniciación inferior a un milisegundo, por lo que está íntimamente ligado al tipo y calidad de la gota eléctrica para iniciar la detonación.



Figura # 63. Fulminantes eléctricos usados en el Proyecto W-3D.

Siempre se debe revisar el estado del fulminante, para esto se utiliza el galvanómetro para detectar y medir la corriente eléctrica.

VALORES DEL GALVANÓMETRO

0 – 4.5	Significa que el fulminante esta BUENO. Este valor significa la medida de resistencia del sistema de fuego dentro. Ejm: 2.5 – 4.5
1	Cuando el cable está roto. La resistencia es muy alta porque es la resistencia del aire. Se reporta como MALA.
0	Se dañó el protector y los cables están haciendo contacto entre sí. Se reporta como MALA.
350	Un valor > que 100, significa que el cable está roto pero pasa la corriente con mayor resistencia dentro del agua. Se reporta como MALA.

Tabla # 6. Valores del galvanómetro para chequeo de fulminantes.

3.5.5. Procedimientos de carga y tapado de pozos

- ✓ Las cajas antiestáticas (pentolita/fulminantes) deben estar 30 metros hacia atrás de la línea y 25 metros fuera de la línea hacia el lado opuesto en

áreas abiertas y 5 metros en áreas con vegetación muy espesa o terreno peligroso.

- ✓ Los explosivos deberán estar siempre a la vista del cargapozo o ayudante y nunca deberán quedar desatendidos.
- ✓ La cuerda usada para bajar los explosivos deberá ser de fibra natural y tendida por la línea, desde el pozo hacia atrás de la perforación.

Cuando el pozo está ya perforado

- ✓ El cargapozo verifica la profundidad y la limpieza del pozo, mientras el ayudante va por el explosivo.
- ✓ Cuando el cargapozo indica que el pozo está listo el ayudante acerca el explosivo al pozo.
- ✓ El cargapozo saca las varas del pozo y las coloca en su sitio junto al pozo.
- ✓ Hasta este momento el grupo de perforación deberá haberse marchado. De lo contrario, el carga pozo esperará hasta quitar el equipo de perforación.
- ✓ El ayudante saca el explosivo requerido y lo lleva al lado del pozo.
- ✓ El cargapozo coloca la caja de fulminantes a 5 metros del pozo fuera de la línea y hacia atrás de la línea.
- ✓ Toca el suelo con su mano antes de sacar los fulminantes de la caja de fulminantes.
- ✓ Después de verificar que los fulminantes estén en corto, el cargapozo lleva los fulminantes al pozo donde el ayudante ha colocado el explosivo.

Armando la carga

- ✓ El carga pozo prepara el explosivo con dos fulminantes.
- ✓ El ayudante asegura la cuerda a la carga con tres nudos de media vuelta en las estrías de la carga.
- ✓ El ayudante coloca una madera en el carrete de fulminantes.

Bajo ninguna circunstancia se debe chequear los fulminantes antes de que se arme la carga y esta sea colocada dentro del pozo.

Cargando el pozo

- ✓ El cargapozo confirma la profundidad con las varas.
- ✓ El ayudante tiene listo el galvanómetro.
- ✓ El cargapozo retira las varas.
- ✓ El cargapozo baja la carga dentro del pozo mediante la cuerda mientras que el ayudante maneja los cables.
- ✓ No se debe tirar del cable del detonador cuando esté cargando el pozo, se utiliza la cuerda para bajar la carga.
- ✓ Se prueba la continuidad de los fulminantes, marcando el primer fulminante para su posterior identificación. El galvanómetro deberá tener una lectura aproximada de 5.2 ohm.
- ✓ Siempre se debe verificar que los cables de los dos detonadores estén en corto.
- ✓ Si la lectura es menos de 4.5 se asume que el fulminante está en corto y esto se registra en el informe.
- ✓ Si ambos fulminantes están en corto o con una lectura mayor a 4.5, los cables

de los fulminantes probablemente han perdido su aislante y están tocándose, notifique a su supervisor.

Tapado del pozo.

- ✓ Si la continuidad es aceptable el cargapozo comienza a tapar el pozo.
- ✓ Una vez tapado se verifican nuevamente los fulminantes.
- ✓ Si todo está bien, el cargapozo entierra los fulminantes a 80 centímetros abajo de la superficie con un ancla para cada fulminante y coloca un cable falso
- ✓ El sobrante de la perforación se amontona sobre el pozo y se clavan 2 estacas cruzadas entre sí sobre el pozo.
- ✓ Se debe anotar la doble lectura de cada fulminante, la posición exacta, la profundidad, la cantidad de explosivo y fulminantes utilizados inmediatamente.
- ✓ Concluido el tapado se moverán al próximo pozo asegurándose que el explosivo está a por lo menos 50 metros de los trabajadores y fuera de la línea.

FECHA	PERFORADOS
Junio	692
Julio	1437
Agosto	1039
Septiembre	524
Octubre	279
Noviembre	353
Diciembre	8
TOTALES	4332

Tabla # 7. Producción mensual de perforación

DESCRIPCIÓN	TOTAL
Total pozos perforados	4332
Pozos patrón normal	3475
Pozos patrón doble	142
Pozos patrón triple	715

Tabla # 8. Cantidad de pozos perforados según patrón



Figura # 64. Porcentajes de pozos recuperados.

Como se aprecia en la tabla y en los valores de porcentajes, se puede notar que la mayoría de los pozos fueron perforados con el patrón normal mayor a 13 metros de profundidad.

Sin embargo un número significativo de pozos fueron perforados con patrón triple, en un 17%, y algunos pocos fueron perforados con patrón doble con un 3%.

Esto se debió a que la extensión de los ríos Nushiño y Challuayacu era considerable en el área del proyecto, atravesando tanto de este a oeste como de norte a sur respectivamente.

En las zonas cercanas al río la litología se tornaba complicada y era imposible profundizar las rocas del lugar, encontrando grava gruesa y conglomerados.

Por esta razón se aplicó el parámetro triple.

3.6. Adquisición de datos sísmicos

La fase de registro es la etapa culminante de un proyecto de prospección sísmica, la obtención de datos sísmicos se realiza utilizando un sistema de adquisición conformada por una amplia variedad de equipos electrónicos de última tecnología.

Consiste en la colocación de geófonos según un patrón diseñado de acuerdo a necesidades específicas, para luego detonar los explosivos.



Figura # 65. Fase de registro de datos.

Las ondas producidas por la explosión atraviesan las capas del suelo y llegan a los geófonos produciendo en éstos un campo magnético que a su vez inducen un campo eléctrico que pasan a través de los cables o de un sistema de transmisión remota a un mini centro de computación instalado en el campo, donde se graba con equipos especiales la velocidad de transmisión de las ondas.

El equipo básico de registro está conformado por las ristras, cables link y geófonos.



Figura # 66. Equipo básico de registro sísmico

Estos equipos deben estar en perfecto estado de funcionamiento para lo cual se establece un procedimiento de pruebas, calibración y configuración, antes, durante y después de la operación en campo.

Los datos que se obtienen provienen de una fuente de energía explosiva, generando ondas de expansión sísmica que son receptadas por sensores de campo y que a través de una red de cableado estructurado son direccionadas al equipo Sercel 428, el cual es un sismógrafo de origen francés.

Todos los datos que llegan hasta el sismógrafo son procesados de su origen análogo

a digital.

La interfaz visual con el Observador es mediante monitores LCD los cuales permiten controlar todos los detalles de campo, una cámara de ploteado, permite visualizar monitores de campo que son una representación de la detonación sísmica impresa y servidor e-SQC con la cual se puede realizar un control más detallado para así obtener diariamente registros de muy alta calidad.

3.6.1. Parámetros del estudio

INSTRUMENTOS	
Sistema:	Sercel 428 XL
Plotter Térmico:	iSys V12
CANALES AUXILIARES	
Aux 1:	Clock Time Break
Aux 2:	UpHole
ARREGLO DE GEÓFONOS	
Tipo de geófonos:	Tierra / Pantano SM 24
Frecuencia Natural:	10Hz
Ristras:	6 Geófonos en serie
Arreglo:	Circular centrado en la estaca.

Tabla # 9. Datos técnicos de equipos receptores.

PARÁMETRO DE GRABACIÓN	
Formato:	SEGD IEEE
Disco Duro:	NAS (Network Attached)
Rata de muestreo:	2 mseg.
Longitud de Registro:	6 seg.

Tabla # 10. Parámetros de grabación.

3.6.2. Equipo utilizado

Se utilizó el equipo Sercel 428 con todos los periféricos necesarios para su funcionamiento. La configuración y mantenimiento previo a la utilización del equipo fue realizada por parte de los Observadores haciendo pruebas diarias para monitorear su correcto funcionamiento.

a) Especificaciones del Sercel 428

Se considera como Sercel 428 a un conjunto de equipos configurados especialmente para la adquisición de datos sísmicos.

Se encuentra basado en una estructura cliente- servidor con el propósito de acelerar procesos asignando direcciones IP a cada una de las unidades de campo y demás periféricos. A diferencia del Sercel 408, la velocidad de transmisión de datos aumenta.

Trabaja bajo sistema operativo Linux lo que garantiza la estabilidad del sistema y la ausencia de virus informáticos.

b) Sensores

Geófonos SM 24 – 10Hz es un sensor de alta fidelidad, baja distorsión y estándares que lo hacen altamente resistente y duradero. Provee alta fidelidad para adquisición sísmica 3D.



Figura # 67. Geófono SM 24-10Hz.

Las ristras están conformadas por 6 geófonos en serie en intervalos de 1m para este proyecto por cada estación, se conectan al cable link.

El peso de cada ristra es aproximadamente de 6 kg.



Figura # 68. Ristra de geófonos de tierra.

Parámetro	Valor	Tolerancia
<u>Frecuencia natural</u>	10Hz	±2.5% (Máximo ángulo de inclinación 10°)
<u>Resistencia de la bobina</u>	375Ω	±2.5%
<u>Diámetro</u>	25.4 mm	-----
<u>Altura</u>	32.0 mm	-----
<u>Peso</u>	74.0g	-----

Tabla # 11. Especificaciones del geófono.



Figura # 69. Ristra (arreglo de 6 geófonos en serie).

El plantado de las ristras se la realiza a un metro radial de la estaca receptora.

El cable link conecta los puntos receptores mediante terminales llamados FDU.

El peso de cada cable link es de 21 Kg.

A continuación se muestra un esquema gráfico del plantado de ristras.

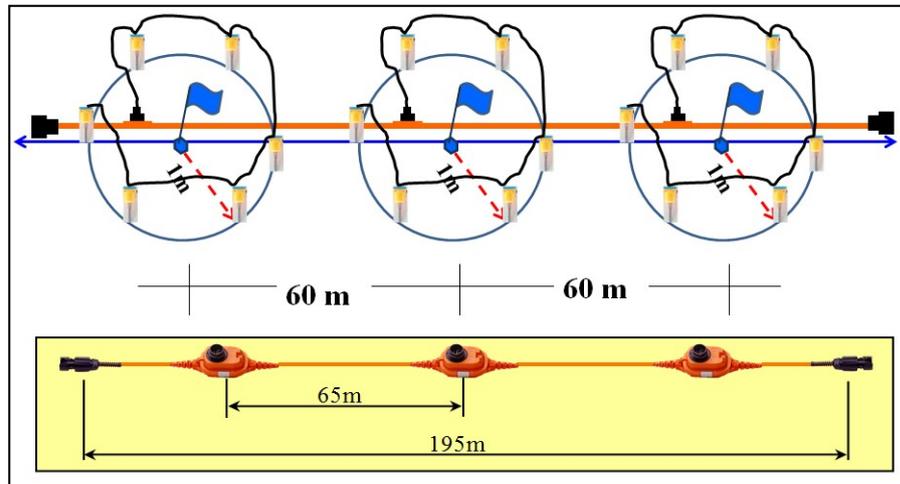


Figura # 70. Distribución de las ristras y cable link.

c) Cables Link

Cada link consiste de un cable que contiene un FDU 428. El cable tiene una longitud total de 70 metros.

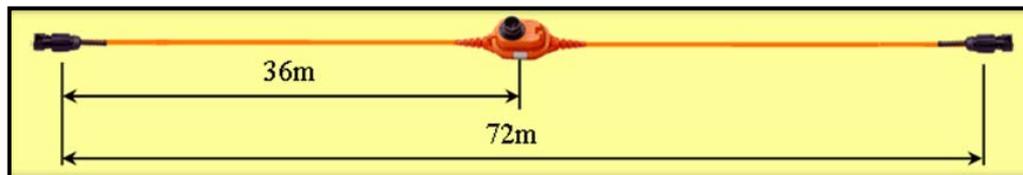


Figura # 71. Cable Link 428.

Existen dos tipos de cables disponibles de acuerdo a la aplicación:

- ✓ Tipo WPSR (Water Proof Strain- relief) son cables resistentes al agua y a tensiones altas.
- ✓ Tipo ST (Standard) es un cable de calibre más delgado comparado con el WPSR. Este cable no puede ser sometido a gran stress ni tampoco sumergido a más de 3 metros de profundidad.

En el proyecto W-3D se utilizó exclusivamente cable tipo WPSR.

d) FDU 428

El FDU o unidad digitalizadora de campo es un dispositivo electrónico diseñado para transformar señales eléctricas análogas en señales digitales. El FDU 428 dispone de un conector al cual se acoplan los geófonos que actúan como sensores.

Cuando las ondas sísmicas son detectadas por el geófono, éste genera señales eléctricas equivalentes al movimiento de su bobina interna. Estas señales son después pre-amplificadas, filtradas, sometidas a un proceso de conversión análogo- digital y codificadas.



Figura # 72. FDU 428.

e) LAUL 428

La Unidad de Adquisición de Línea cumple con las funciones de abastecer de energía a los FDUs, consolidar los datos obtenidos por los FDU y almacenar los datos locales del proceso de pruebas de instrumentos para los distintos canales de adquisición.

Cada LAUL 428 provee de energía hasta 42 FDUs espaciados 65 metros entre cada uno de ellos. Adicionalmente, los LAULs tienen la función de detectar errores en los datos obtenidos por los FDU y generar una alerta de error para iniciar la

retransmisión de los datos corruptos.



Figura # 73. LAUL 428.

f) LAUX 428

La Unidad de Adquisición de Cruce es una unidad cuyo propósito es interconectar unidades de adquisición al tendido sísmico.

Por otra parte sirve para controlar el flujo de datos desde las líneas receptoras hacia la unidad de control central, así como también para monitorear el rendimiento de los dispositivos de adquisición de campo encontrados en su segmento de control.

A diferencia de su antecesor el LAUX 428, trabaja a una velocidad de 100 Mbps.



Figura # 74. LAUX 428.

g) Cables transversos

Es un cable de transmisión de datos que se utiliza para interconectar LAUX 428 entre sí y con el Módulo de control. Este cable soporta una velocidad de transmisión de 100 Mbps con una capacidad máxima de 10000 canales en tiempo real.



Figura # 75. Cables transversos.

<i>EQUIPOS DE CAMPO PROYECTO W-3D</i>		
<i>Descripción</i>	<i>Inicial</i>	<i>Estado</i>
<i>Link x 1 FDU 428</i>	2047	<i>Bueno / nuevo</i>
<i>LAUL 428</i>	130	<i>Bueno / nuevo</i>
<i>LAUX 428</i>	17	<i>Bueno / nuevo</i>
<i>TREP 428</i>	65	<i>Bueno / nuevo</i>
<i>Transversal x 125m</i>	72	<i>Bueno / nuevo</i>
<i>Ristra 6 x 1 SM 24</i>	3798	<i>Bueno / nuevo</i>

Tabla # 12. Equipos usados en campo en el Proyecto W-3D.

3.6.3. Pruebas iniciales

a) Sensores

Antes de iniciar las operaciones de registro para el proyecto W-3D, las ristras pasaron por 3 etapas de evaluación: continuidad, fuga de corriente (Leakage) y SGT.

En la etapa de continuidad se utilizó un multímetro para medir la continuidad de corriente por cada una de las ristras, así se logró detectar las ristras que se encuentran abiertas, es decir que tienen un cable cortado.

En la etapa de chequeo por leakage, las ristras son sumergidas en agua para detectar la fuga de corriente mediante un multímetro análogo.



Figura # 76. Chequeo de Ristras.

Solamente las ristras que hayan superado las dos pruebas antes descritas pasan a ser examinadas mediante el equipo SGT (Sercel geophone tester), que es un comprobador de geófonos. Mediante este equipo se determinaron las ristras que estaban listas para la utilización en las operaciones de campo.

A través de este sensor se comprueban valores propios de la ristra previamente programados según especificaciones del sensor y bajo tolerancias determinadas.

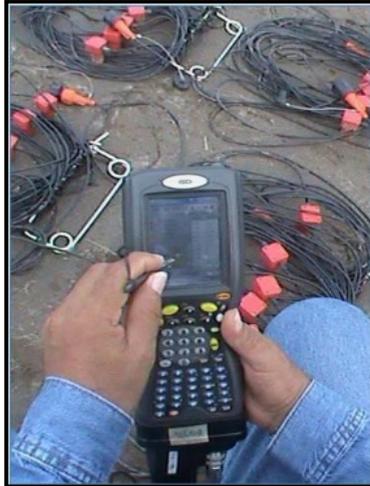


Figura # 77. Chequeo con SGT.

b) Cables y equipos de campo

Todos los cables y equipos de campo fueron comprobados utilizando los equipos del sistema Sercel 428.

Para los cables se realizaron las siguientes pruebas:

- ✓ Distorsión instrumental
- ✓ Ruido instrumental
- ✓ Rechazo en modo común
- ✓ Error de ganancia y fase

Todos los cables que no pasaron estas pruebas no ingresaron a línea.



Figura # 78. Chequeo de cables de línea.

Los equipos de campo LAUL 428 y LAUX 428 fueron chequeados mediante el sistema Sercel 428. Solamente los equipos que pasaron el autotest ingresaron para operaciones de campo.



Figura # 79. Chequeo de LAUX 428.

3.6.4. Registro de Datos

➤ Shooters

Son los encargados de detonar el explosivo de los pozos en coordinación con el observador de Casablanca, para ello utilizan un equipo llamado bláster “SHOOT PRO”.



Figura # 80. Equipo Bláster Shoot Pro.



Figura # 81. Shooters.

El éxito de su trabajo depende de la señal de comunicación de radio con Casablanca y la correcta señalización y numeración de las estacas fuentes.

Todos los datos obtenidos en la etapa de registro van a CASABLANCA, lugar donde se procesan los datos para su posterior interpretación.

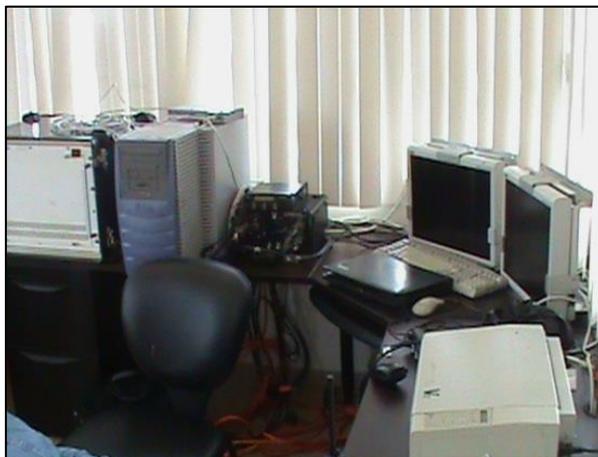


Figura # 82. CASABLANCA.

Una vez analizados los datos grabados en campo se obtiene como resultado una imagen o cubo sísmico de una sección sísmica.

Estas interpretaciones se dan normalmente en 3D para entender el subsuelo.

3.6.5. Estadísticas

A continuación se aprecian datos reales de la operación del registro:

- Total Sp's registrados: 4332
- Total de días operativos de Casa Blanca: 76 días
- Promedio de producción diaria: 57 pozos

MES	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	PROYECTO
PROD	1716	878	1738	4332
%	39.61	20.27	40.12	100

Tabla # 13. Producción y porcentaje de registro por mes.

3.6.6. Problemas operativos

Se describe a continuación los problemas operativos encontrados a lo largo del proyecto

a) Ruido

Las lluvias constituyeron la principal fuente de ruido, interrumpiendo gran parte de los días que duró el registro. El viento no impidió el desarrollo del proyecto, casi siempre se encontró bajo los límites permitidos para el registro.

Las ondas sonoras de los golpes de estática provocaron ruidos de alta intensidad que podían observarse claramente en la actividad de los sensores, por tal motivo durante el desarrollo de las tormentas eléctricas fue necesario parar la producción puesto que las ondas sonoras intermitentes lograban invalidar los equipos y registros.

El ruido provocado por carretera no constituyó un problema ya que la gran mayoría de movimientos se realizaron con automotores de la empresa por lo que se pudo controlar esta fuente de ruido. Los ruidos propios del campo como centros poblados,

animales, esteros y ríos fueron otra fuente que causó una gran dificultad al momento del registro.

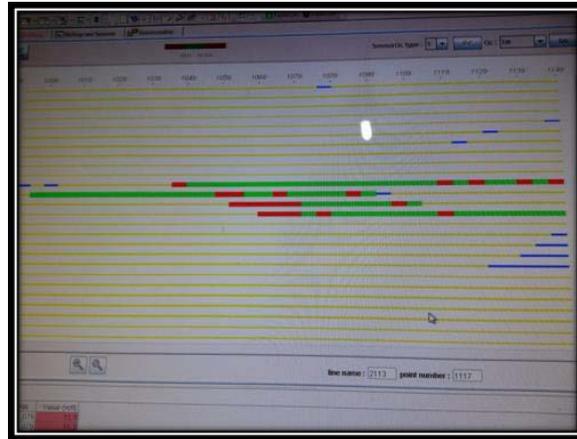


Figura # 83. Fuente de ruido.

b) Problemas de campo.

Debido a la topografía irregular de la zona, el avance de los shooters se vio muy afectado. Como consecuencia algunas personas decidieron terminar su relación laboral por lo tanto varios grupos de trabajo quedaron incompletos lo que causo inconvenientes en la operación.

Los problemas de comunicación fueron solucionados con la ubicación de repetidores en los puntos más elevados del proyecto.

Uno de los mayores inconvenientes fue el sabotaje de pozos y robo de los materiales del tendido por parte de las personas de las comunidades demorando las operaciones de registro.

c) Fenómenos climáticos.

El clima variable del sector fue el principal problema para mantener una regularidad en la producción.

La fuerte estática provocó severos daños a los equipos de campo, impidiendo la producción y el chequeo de las líneas. Las tareas para la reparación y recambio de estos dispositivos en línea provocaron la demora de las operaciones y la suspensión de la producción durante varios días, debido a la severidad de los daños y también a la inestabilidad de los equipos que aún permanecían en el campo y que aparentemente se encontraban en buen estado.

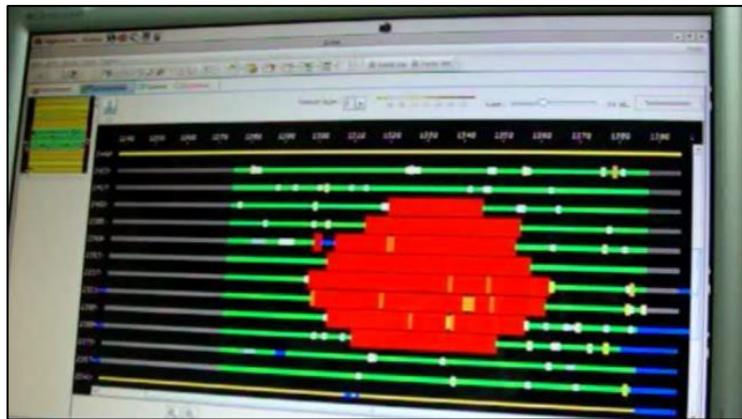


Figura # 84. Registro de pozo único con buena energía en el proyecto W-3D.



Figura # 85. Chequeo de cables en línea con equipo Liner Testero.



Figura # 86. Preparación de mochilas para el ingreso de material a línea.



Figura # 87. Chequeo y preparación de material para ingreso a la línea.



Figura # 88. Chequeo de ristras por SGT.

CAPITULO IV. PROCESAMIENTO DE LOS DATOS SÍSMICOS

El objetivo principal de este trabajo fue el de garantizar la calidad del dato sísmico para su procesamiento posterior en centros especializados, así también observar las diferentes estructuras y horizontes que se hallan presentes en el área.

Se procesó un total de 4332 registros sísmicos, cubriendo un área del proyecto de 109.26 Km².

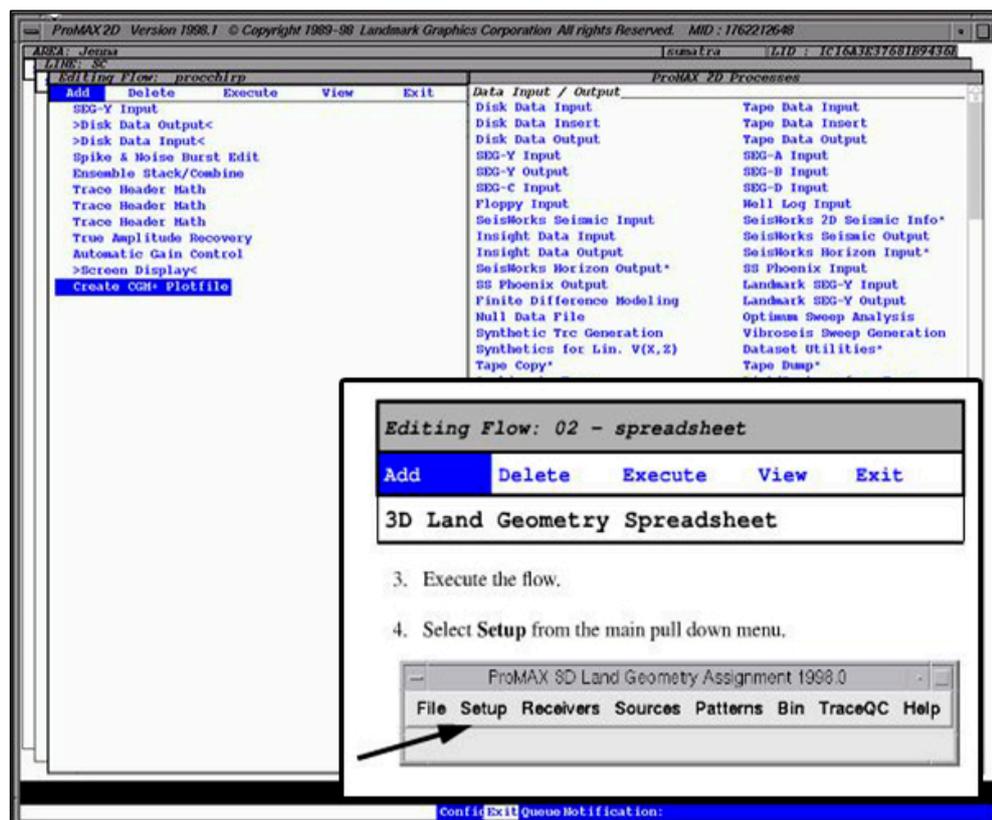


Figura # 89. Data Sísmica SEG-D → SEG-Y – Software PROMAX.

3D Land Midpoint Binning	
Azimuth along Y axis of grid:	0.0
Grid bin X dimension:	100.0
Grid bin Y dimension:	100.0
X origin of 3D grid:	0.0
Y origin of 3D grid:	0.0
Max X dimension of grid:	1000.0
Max Y dimension of grid:	1000.0
Bin space name:	DEFAULT bin
Min CDP number:	1
Min inline number:	1
Min crossline number:	1
Min offset to bin:	500.0
Max offset to bin:	99500.0
Offset bin increment:	1000.0
Src-Rec azimuth to bin:	0.0
Src-Rec azimuth tolerance (+/- degrees):	180.0
<input checked="" type="checkbox"/> Inlines parallel to grid X axis <input type="checkbox"/> Inlines parallel to grid Y axis	
<input type="button" value="Calc Bin"/> <input type="button" value="Load"/> <input type="button" value="Delete"/> <input type="button" value="Save"/> <input type="button" value="Apply"/> <input type="button" value="Cancel"/> <input type="button" value="Help"/>	

Figura # 90. Parámetros técnicos del Proyecto – Software PROMAX

4.1. Parámetros del Proyecto

En la siguiente tabla aparecen los parámetros de operación definidos para el proyecto de Adquisición Sísmica W-3D:

PARÁMETRO	ESPECIFICACIONES
Dimensiones de la Celda Bin	30 m x 30 m
Intervalo entre Estaciones de Receptores	60 m
Intervalo entre Líneas de Receptores	480 m
Azimut de las Líneas de Receptores	125°
Intervalo entre Líneas de Disparos In line	420 m
Número de Líneas de Receptores por Disparo	12
Número de Canales por cada línea de Receptores	112
Número total de Canales por Disparo	1344
Cubrimiento Nominal	48
Geófonos	SM-24
Configuración de Geófonos	6 en círculo, radiado en la estaca
Intervalo de Muestreo de procesamiento	2 ms
Longitud de Registro procesado	6000 ms
Registros procesados	4332
Primera línea receptora	2065
Ultima línea Receptora	2465
Total kms cuadrados del proyecto (Full fold)	109,66 km ²

Tabla # 14. Parámetros del Proyecto W-3D.

4.2. Parámetros de Procesamiento Preliminar

De manera preliminar se diseña una secuencia de proceso para control de calidad de la data adquirida, hasta llegar a obtener un apilamiento bruto, teniendo en cuenta la

aplicación de correcciones principalmente por aplicación de la deconvolución, análisis de velocidades y aplicación de estáticas de elevación.

En la interpretación de datos sísmicos se utilizó el software PROMAX 2D/3D 5000.2.9, *Hampson-Russell- Glibc 8.1* con una plataforma Linux RED HAT 5.5.

4.3. Metodología del procesamiento de datos

Una vez registrado el dato sísmico, éste es grabado en formato SEG-D y cargado en el software de procesamiento PROMAX 2D/3D, en donde la raw data (Figura # 91) es revisada registro a registro sus trazas, el header, la calidad de información, las trazas muertas y ruidosas, cortes de línea.

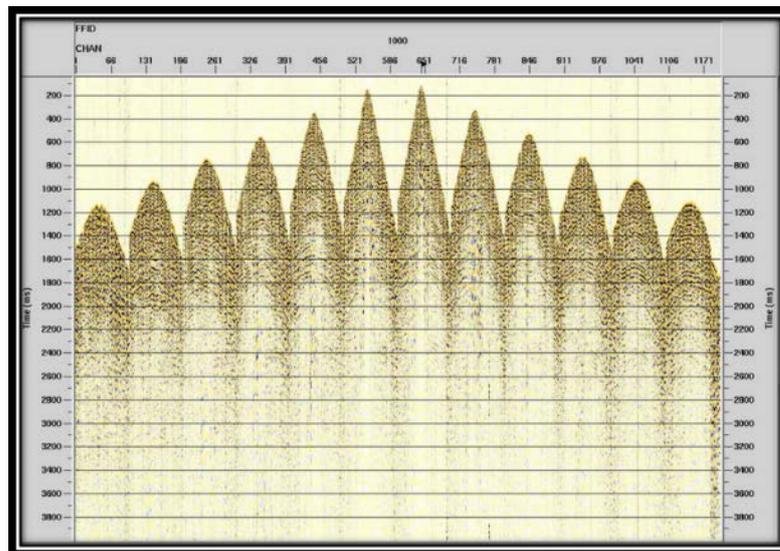


Figura # 91. Raw Data – W-3D.

Posteriormente se asignó geometría a cada uno de los datos sísmicos usando archivos SPS (Shell Processing Support); se utilizaron 2 métodos para el control de calidad de la geometría asignada:

- QC Geometry (Figura # 92) para identificar errores de geometría.

- QC Common Receiver LMO Stack (Figura # 93) utilizando dos cuadrantes y discriminado por Azimuth (300-60/120-240) y offset (1500-2500), que nos permitió identificar errores en coordenadas y elevación de las receptoras.

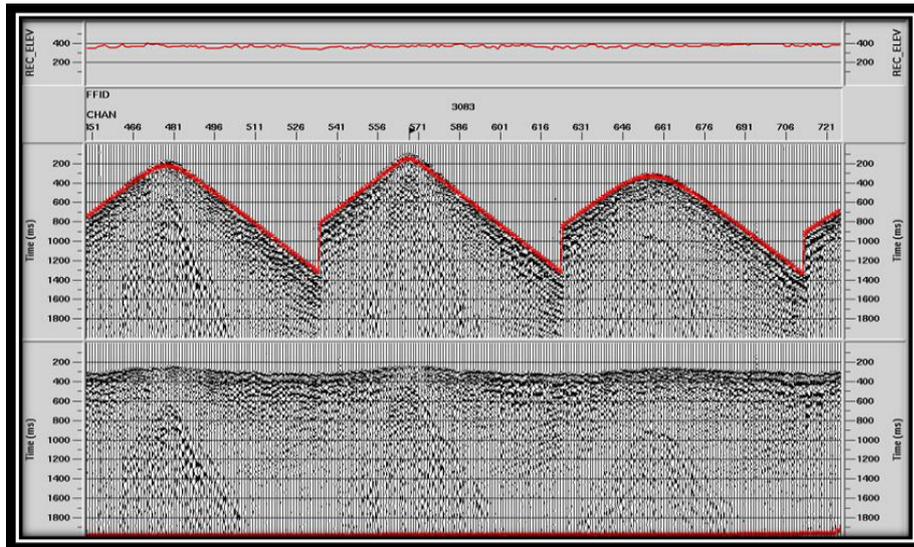
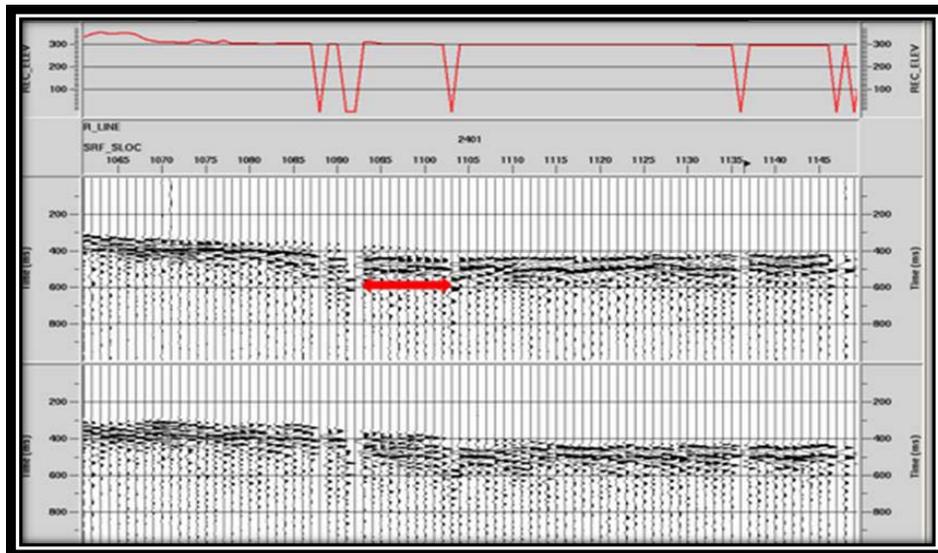
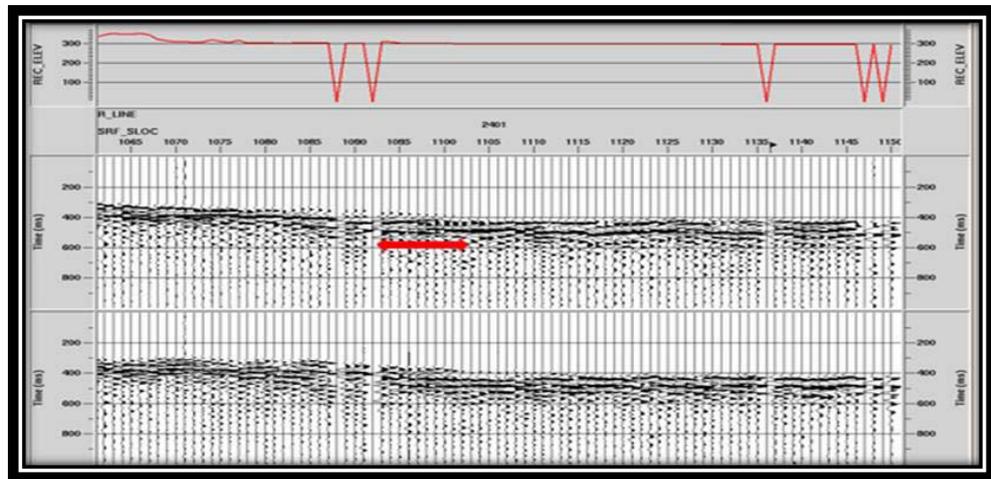


Figura # 92. QC Geometry.



**Figura # 93. QC Common receiver LMO Stack.
Error de trazas con retraso de tiempo por elevación.**



**Figura # 94. QC Common receiver LMO Stack.
Trazas corregidas por elevación y estáticas.**

4.4. La calidad de información y los parámetros técnicos

Los datos sísmicos contienen información definida de refracción, su velocidad es alrededor 2300 – 2900 m/s. Las hipérbolas sísmicas de reflexión están definidas hasta 2500 ms, es muy favorable la respuesta sísmica en el terreno. Podemos ver una proporción muy buena de la señal /ruido en el dato sísmico.

El rango sísmico de frecuencia de la señal varía entre 20 a 60 hertz, con frecuencias dominantes del 20 a 50 hertz, ruido de ground roll alrededor 5 a 15 Hz.

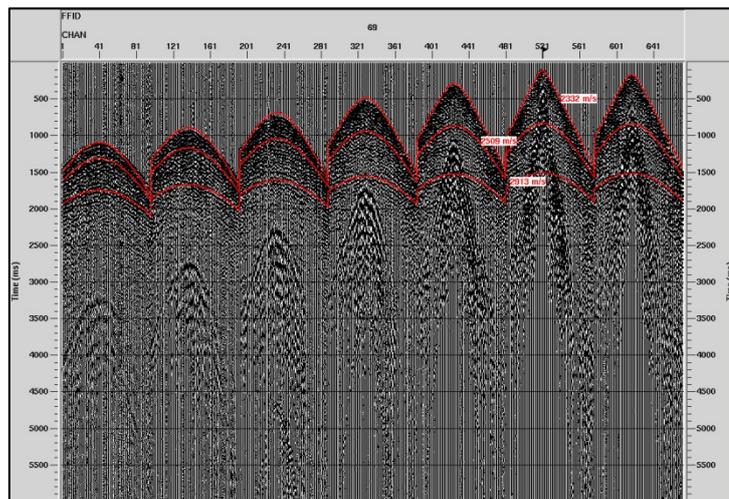


Figura # 95. Hipérbolas-Vel - W-3D.

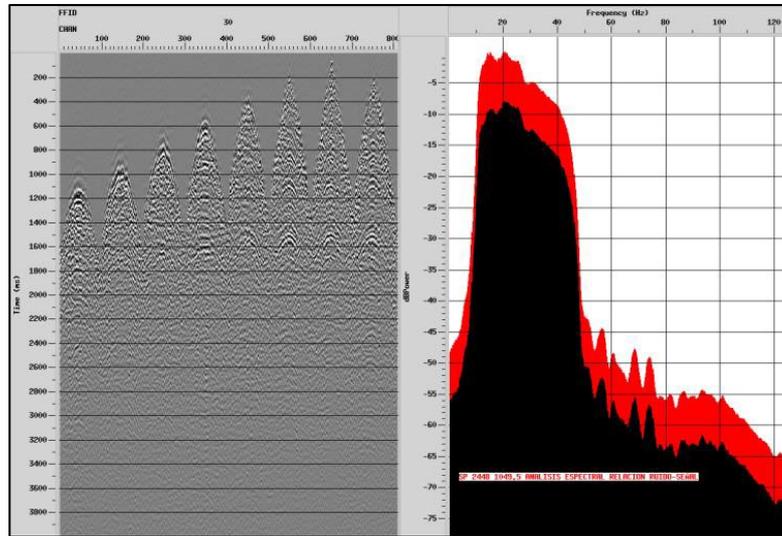


Figura # 96. Balance Espectral - W-3D.

4.5. Información de calidad y parámetros técnicos

4.5.1. Eliminación de ruido, trazas muertas o inversas

Para eliminar el ruido no deseado se utilizó la herramienta TFD Noise Rejection; que consiste en filtrar el ruido aislado reemplazándolo con las amplitudes de las trazas adyacentes (Figura # 97), logrando la eliminación de ruido y recuperación de energía en los registros con baja energía.

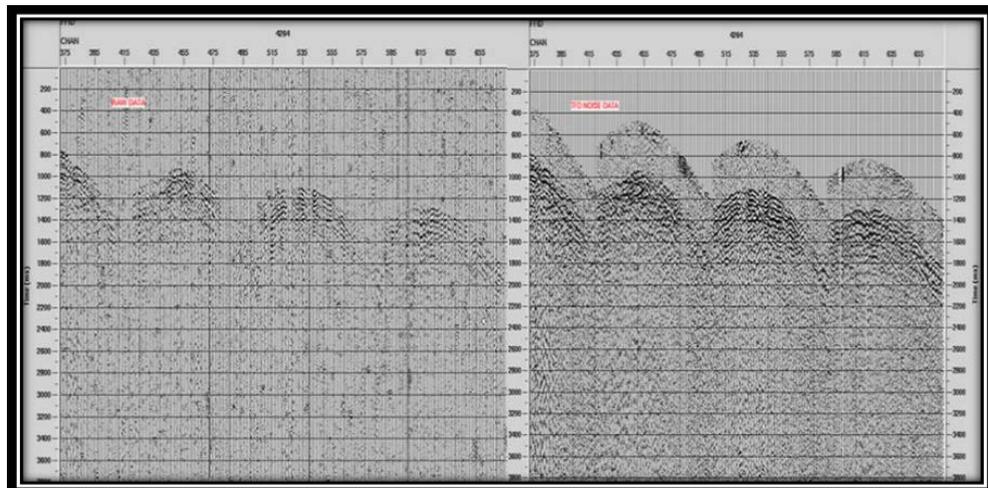


Figura # 97. Antes y después de aplicar el TFD.

4.5.2. Deconvolución consistente con superficie

La señal sísmica grabada puede ser considerada como una deconvolución de la señal del disparo con sus instrumentos, los geófonos y la respuesta de la tierra. La respuesta de la tierra incluye algunos efectos no deseables, tales como el eco y las atenuaciones.

El objetivo de la deconvolución es estimar los efectos como filtros lineales, y luego diseñar y aplicar esos filtros.

La deconvolución se aplicó de forma predictiva fase mínima, longitud del operador 120 ms, ruido blanco 0.1 y factor de rechazo 2 como se muestra en la Figura # 98.

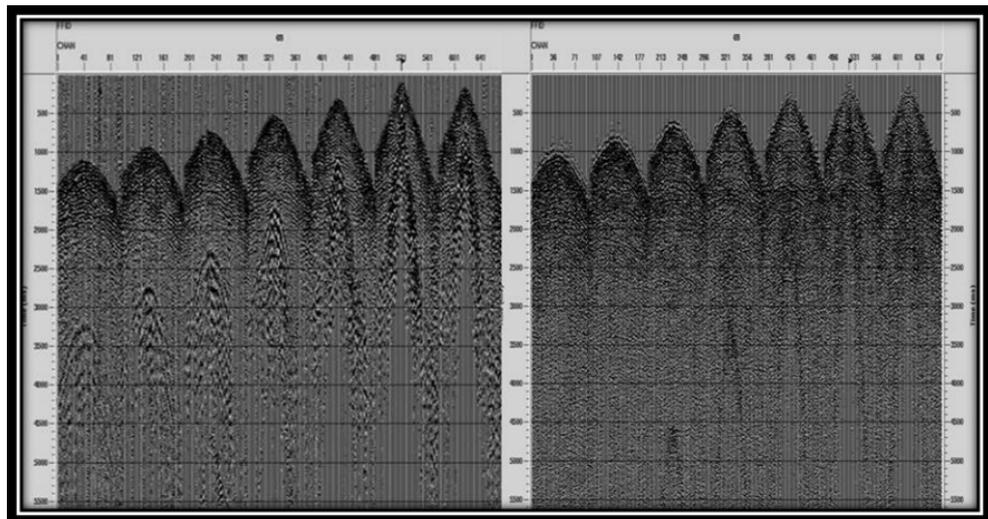


Figura # 98. Antes y después de aplicar la deconvolución.

4.5.3. Estáticas de campo

Se aplicó estáticas de elevación, velocidad de reemplazo de 2700 ms y elevación del datum final 400 msnm; se usaron los tiempos de uphole de registro, para crear el modelo de velocidad de la capa meteorizada (Figura # 99).

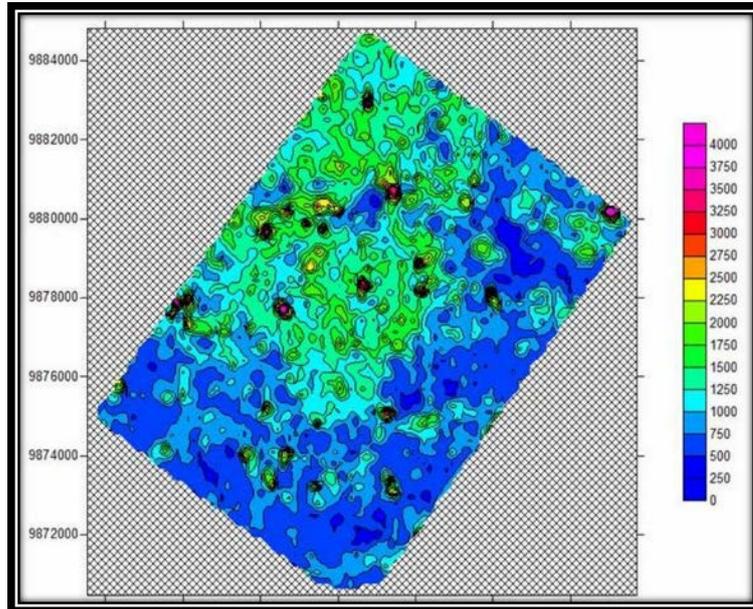


Figura # 99. Mapa de velocidad Uphole Time.

4.5.4. Velocidades de campo

El análisis de velocidad se realiza para interpretar la mejor velocidad para corrección dinámica de movimiento normal.

Se tomó velocidad cada 1000 mts, 40 CDP en un rango de 1000 a 5000 para el análisis. Se aplicó velocidad constante para el primer picado de velocidad, luego se aplicó velocidad porcentual para redefinir velocidades.

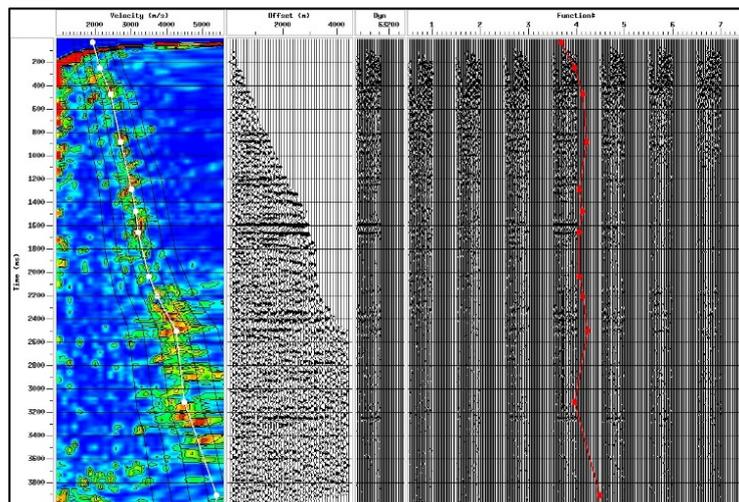


Figura # 100. Picado de Velocidades- W-3D.

4.5.5. Corrección dinámica de movimiento normal (NMO)

La diferencia entre el tiempo de viaje de cada offset, y el tiempo de viaje a cero offset es llamada Normal Moveout. Para corregir la curva de tiempo de viaje de las reflexiones para diferente offset, la corrección NMO es aplicada.

La corrección NMO produce un estiramiento de datos, esta distorsión de datos está limitada por un stretch-muting, que en este caso es de 28 %. Se aplica corrección NMO de una variación de espacio a cada CDP.

4.5.6. Apilado 3D

Verticalmente junta las trazas introducidas en su correcto CMP. Las trazas de diferentes disparos grabados con un CMP (common midpoint point), son apilados para formar una sola traza durante el procesamiento sísmico.

La suma de las trazas mejora la relación señal-ruido, reduce ruido y mejora la calidad de la data.

4.5.7. Deconvolución FXY

Aplica la transformada de Fourier a cada traza, aplica el algoritmo LMS adaptativos complejos, unidad de predicción rectangular de filtros en x,y para cada plano de frecuencia en un rango específico; y luego la transformada inversa de cada frecuencia resultante es colocada de nuevo en dominio de tiempo.

Las trazas resultantes deberían tener menor ruido aleatorio que las originales.

Para reducir ruido aleatorio y mejorar la resolución sísmica de los datos, la deconvolución FXY fue usada con los siguientes parámetros:

- Rango de Frecuencia: 8 - 64 Hz.
- Longitud del operador de tiempo: 512 ms
- Longitud de la ventana: 128 ms

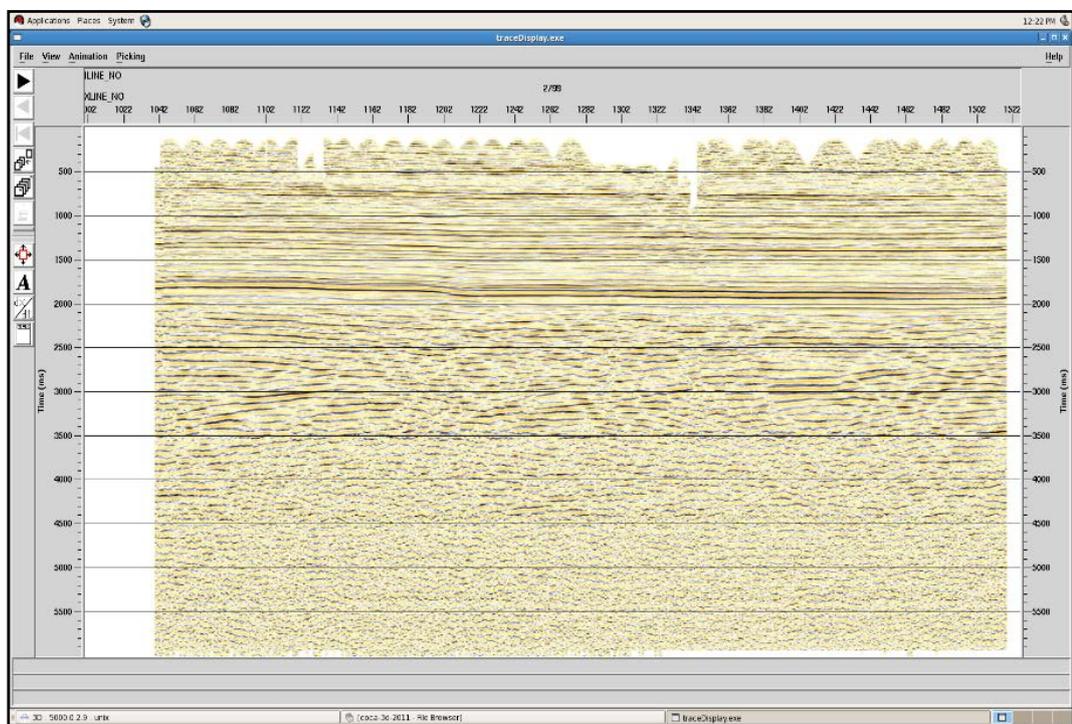


Figura # 101. Sección apilada en PROMAX correspondiente al inline 2799.

4.6. Datos finales del proceso e imágenes

DETALLE	DATO
Intervalo de muestreo	2 ms
Longitud de Registro	6000 ms
Formato de grabación	SEG-D
Longitud de Proceso	4000 ms
Mínimo de Canales	330
Máximo de Canales	1344
Mínimo Shot	1
Máximo Shots	4332
Mínimo FFID	1
Máximo FFID	4420
Mínimo SP	2056 1117.5
Máximo SP	2472 1102.5

Tabla # 15. Datos Finales del Proceso – W-3D.

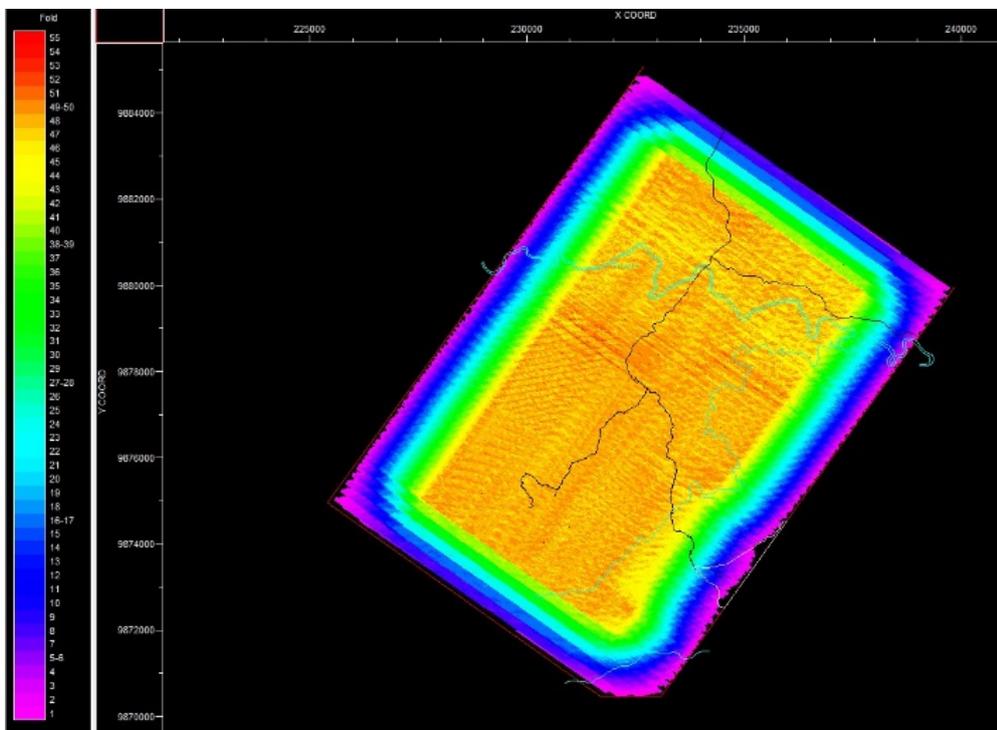


Figura # 102. FOLD FINAL - W-3D.

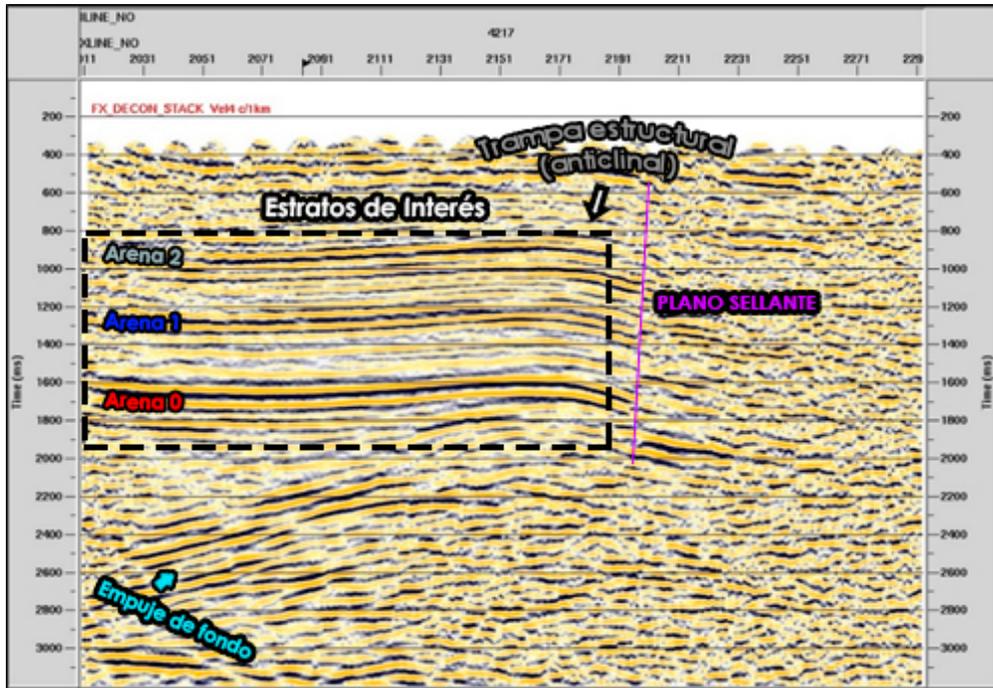


Figura # 103. IN-LINE 4217 - W-3D.

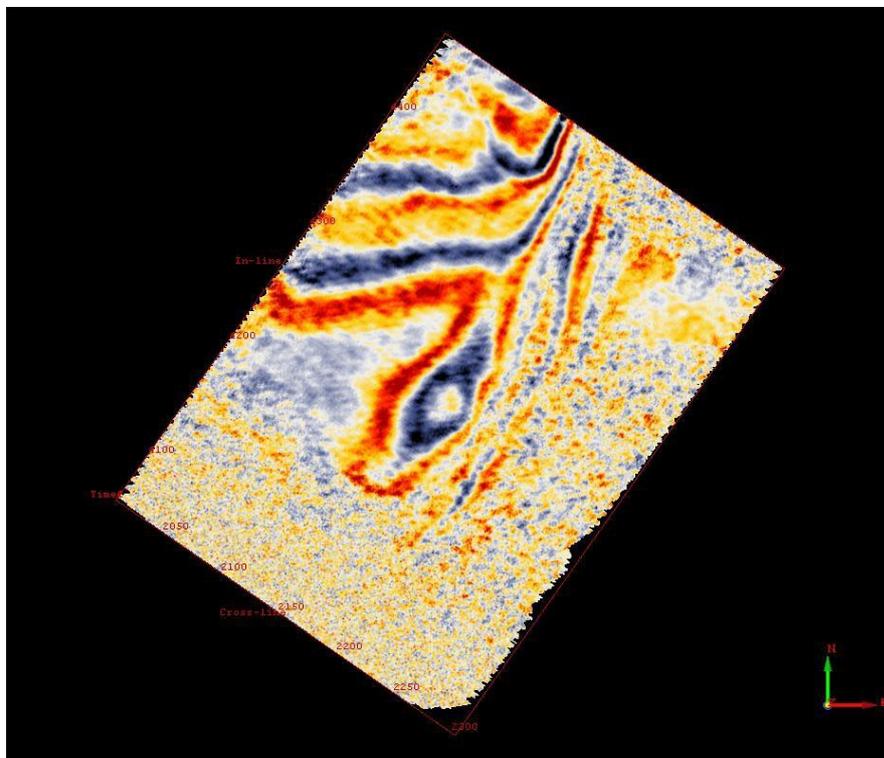


Figura # 104. TIME SLICE 1600 ms - W-3D.

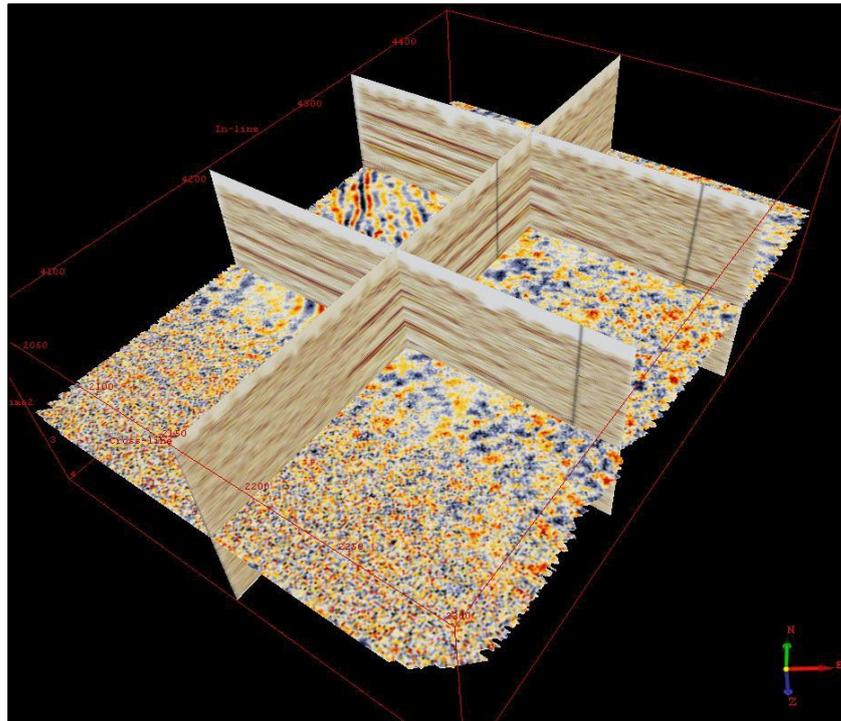


Figura # 105. CUBO SISMICO - W-3D.

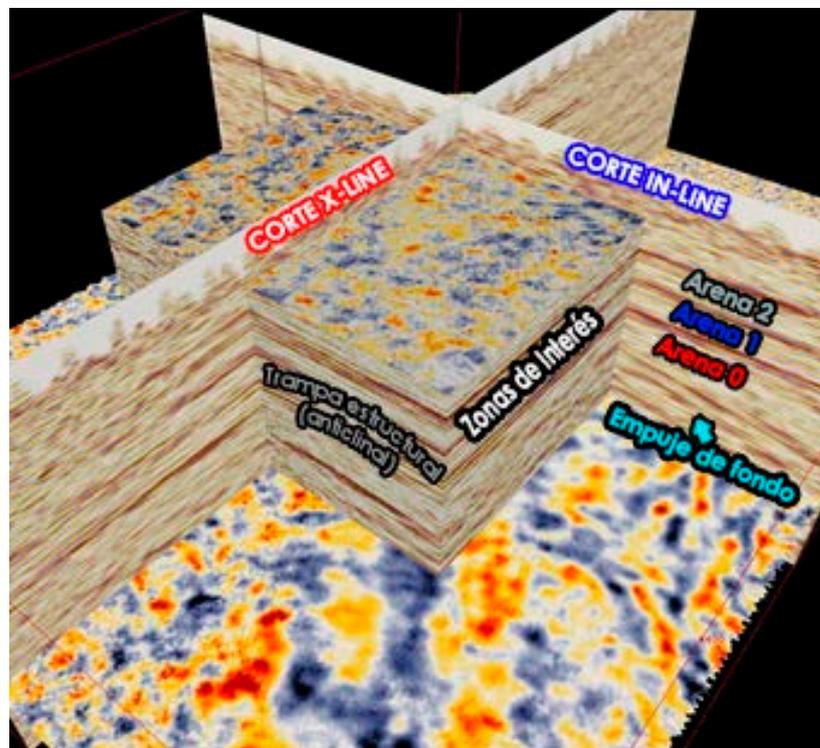


Figura # 106. CUBO SISMICO FINAL - W-3D.

CAPITULO V. ESTIMACIÓN DE LA “RESERVA POTENCIAL TENTATIVA” DEL BLOQUE MEDIANTE SIMULACIÓN CON EL CÁLCULO DEL PETRÓLEO ORIGINAL IN SITU

Para la cuantificación de las reservas son utilizadas distintas metodologías, de acuerdo al desarrollo de los yacimientos, información geológica y de ingeniería disponible, entre ellos se halla el método volumétrico, el cual está asociado a la determinación de los hidrocarburos originales en sitio.

5.1. Método Volumétrico

El método volumétrico utiliza valores puntuales que mejor representen a cada uno de los parámetros geológicos que caracterizan el yacimiento.

Partimos del concepto de que, en una arena, una fracción de su volumen total corresponde al volumen poroso, y a la vez, una fracción de ese volumen poroso será ocupado por cierta cantidad del fluido, en este caso, consideraremos únicamente que el medio poroso está saturado por agua y petróleo (sin presencia de gas).

De esta forma, partimos de la siguiente ecuación:

$$V_{fluido} = S_{fluido} * \emptyset * V_{bruto}$$

Que para el caso del volumen del petróleo sería:

$$V_{oil} = S_{oil} * \emptyset * V_{bruto}$$

Por lo general se tendrá entre los datos la saturación de agua y no la de petróleo, pero en un yacimiento de agua y petróleo éstas están relacionadas, debido a que ambas se complementan para saturar completamente el espacio poroso.

Teniendo la ecuación:

$$V_{oil} = (1 - S_w) * \emptyset * V_{bruto}$$

La saturación y porosidad son adimensionales, así que el volumen del petróleo queda expresado en las mismas unidades del volumen bruto (Acre*pie). El factor 7758 permite convertir los Acre*pie en barriles, pero todas estas son condiciones de yacimiento.

$$V_{oil} = 7758 * [Acre * Pie]$$

Es posible determinar el volumen de petróleo para cualquier instante particular de la producción, y según la evolución de del yacimiento el factor volumétrico del petróleo (B_o) va a cambiar como función de la presión.

Pero para determinar el volumen inicial del petróleo, POES (petróleo original en sitio) que es lo que se necesita estimar, se utiliza el B_{oi} (B_o inicial).

$$POES = \frac{7758 * V_b * \emptyset * S_{oi}}{B_{oi}}$$

De esta forma, obtenemos el petróleo in situ, tomando en consideración que el volumen bruto (V_b) se lo calcula de diferentes maneras, para efectos prácticos, en este proyecto utilizaremos el método de las isópacas, infiriendo la estructura geológica que contiene el hidrocarburo (anticlinal) conformada por tres estratos productores.

5.2. Correlación de datos con el Campo Oso

Para realizar los cálculos pertinentes, se correlacionaron datos petrofísicos de pozos en producción en el campo Oso, el mismo que se encuentra muy cercano al área del Proyecto W-3D.

El campo Oso está ubicado entre los bloques 7, 21 y 28, anteriormente propiedad de la Oxidental, Petrobras y Perenco, que como consecuencia de la renegociación petrolera, pasaron a manos del Estado ecuatoriano con su segunda petrolera Petroamazonas E.P.

El ‘activo’ Oso (como denominan al lugar de donde se extrae el crudo), es un campo de 2.300 hectáreas.

El activo Oso mantiene 3 taladros de perforación y en producción tiene 40 pozos, de los cuales, para efectos prácticos, se consideró tomar como referencia a dos de los más productivos, para de esta manera poder calcular una aproximación del volumen de las reservas en el Complejo W-1 correlacionando sus características petrofísicas.

Los pozos del campo Oso que se tomaron como referencia son el B-54H y el A-59H, ambos puestos en producción en Junio y Julio del 2012 respectivamente.

La cercanía de ambos pozos hacia el Complejo W-1 (entre 51 y 56 Km.), el poco tiempo de producción y la cantidad de hidrocarburo que aportan diariamente (entre 7000 y 7500 BBLs/d), los hacen candidatos interesantes para la simulación de reservas en el Complejo W-1.

Denominaremos el pozo Pw-1 como aquel que consideramos perforar en el Complejo W-1.

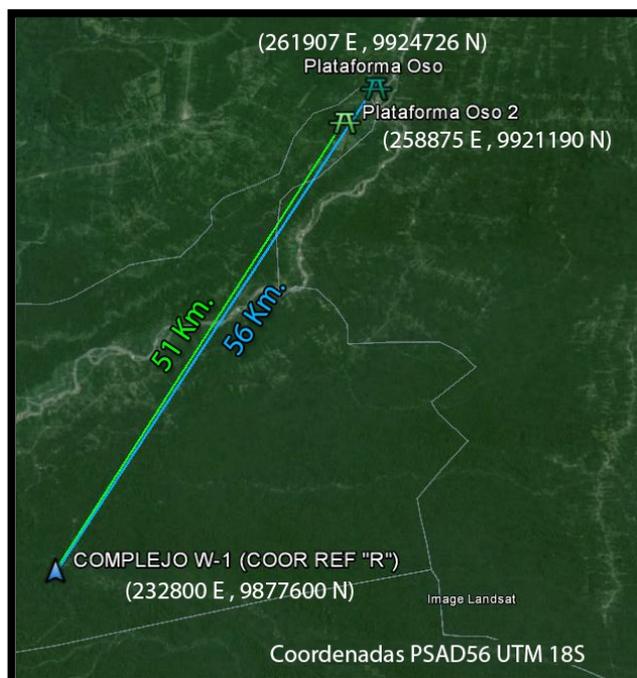


Figura # 107. Ubicación de pozos referenciales al complejo W-1.

Debido al tiempo de producción de los pozos en el campo Oso, las características petrofísicas de la roca reservorio son valores actualmente conocidos, las mismas que son obtenidas mediante las pruebas de producción y de laboratorio (PVT), realizadas para posteriores simulaciones en el comportamiento de producción del campo.

De esta manera citamos las características petrofísicas de ambos pozos.

	<i>Zona de Pago (ft)</i>	<i>Porosidad (%)</i>	<i>Saturación de Agua Inicial</i>	<i>Permeabilidad del Petróleo (mD)</i>	<i>Boi Bls Yac/Bls N</i>
<i>Oso B-54H</i>	63	21.11	21.30	3447	1.0
<i>Oso A-59H</i>	38	21.77	21.37	3360	1.1

Tabla # 16. Datos petrofísicos de los Pozos Oso B-54H y A-59H.

El pozo B-54H es considerado actualmente como el pozo más importante y representativo de todo el país, produciendo alrededor de 7500 bbls/d.

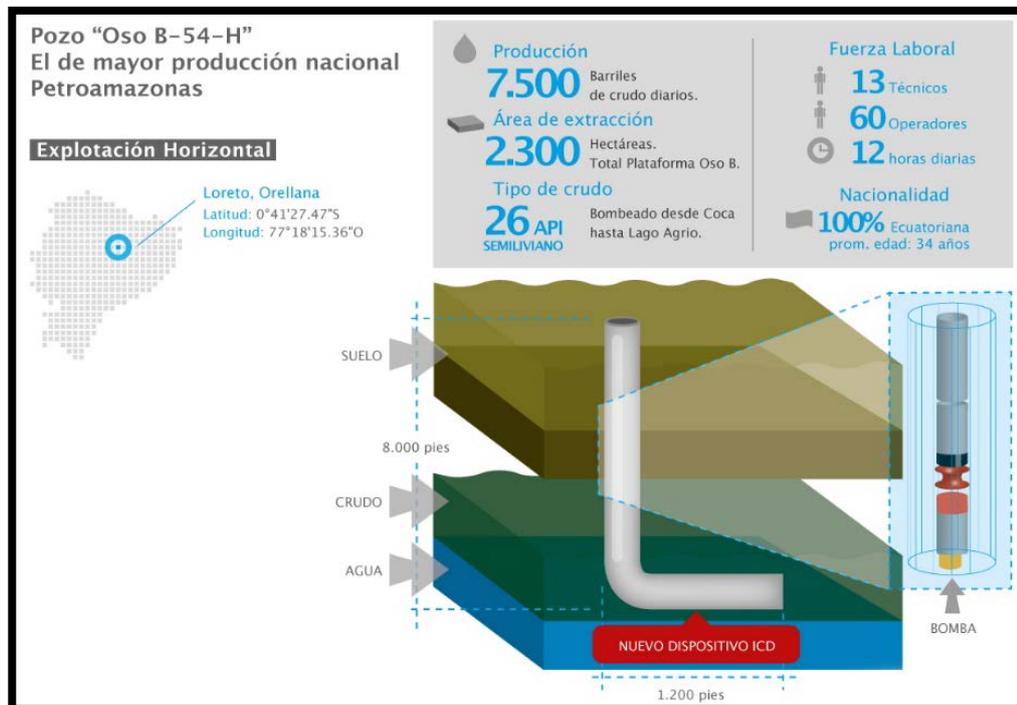


Figura # 108. Esquema del pozo Oso B-54H
(Cortesía Mauro Ascazubi / ANDES)

El éxito de las operaciones en el campo Oso, corre por cuenta de Petroamazonas EP, quien ratifica el uso eficiente de su tecnología ICD's (Inflow Control Devices), que permitió mantener la producción de petróleo, evitando la invasión temprana de agua. Además que confirma su capacidad técnica-operativa a favor de la producción petrolera del país.

Las correlaciones de datos Oso-W1 se realizarán con el objetivo de aproximar las características petrofísicas de la roca reservorio y de esta manera calcular la reserva potencial tentativa en el Complejo W-1.

La tabla # 17 muestra los datos petrofísicos aproximados para el Pozo W-1, y los radios inferidos para los diferentes estratos dentro del anticlinal.

Datos petrofísicos Pozo Pw-1			
Porosidad		20 %	
Saturación Inicial de Petróleo		80 %	
Factor Volumétrico Inicial de Petróleo		1.05 Bres/STB	
Permeabilidad del petróleo		3390 mD	
Características de estratos productores			
Estrato	Espesor (ft)	Radio (ft)	Ubicación
Arena 2	52	4320	Superior
Arena 1	45	4476	Intermedio
Arena o	60	4686	Inferior

Tabla # 17. Datos petrofísicos y estructurales del reservorio (Pozo Pw-1).

Para establecer los radios internos de los tres estratos productores que conforman el reservorio en la trampa estructural, se utilizó el mapa de TIME SLICE y se realizaron simulaciones para la caracterización del reservorio y sus límites.

Todo el proceso realizado en el software geofísico PROMAX LANDMARK.

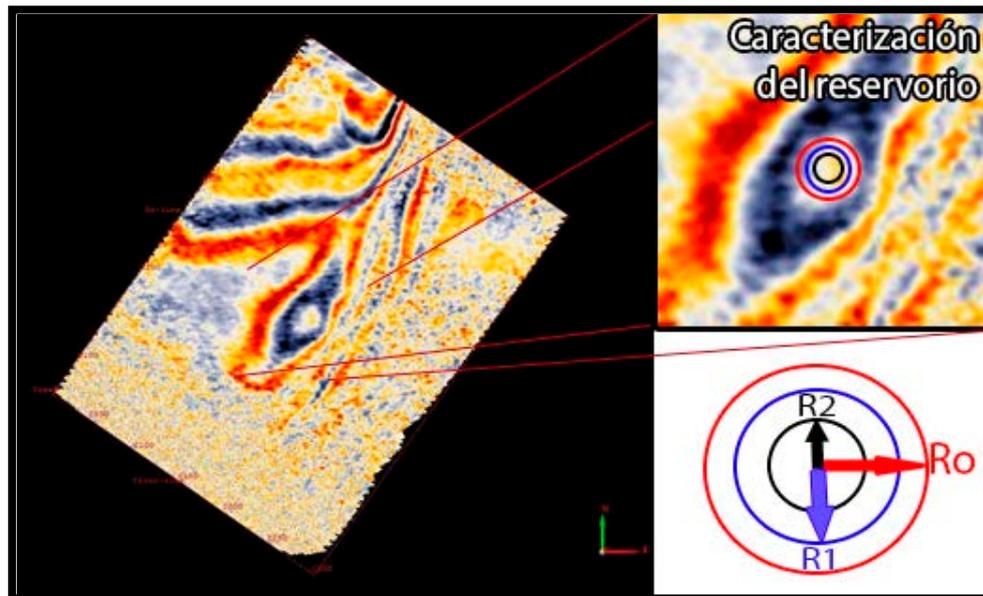


Figura # 109. Esquema de la trampa estructural Pozo Pw-1.

Asumiendo un yacimiento homogéneo, aproximando los valores petrofísicos de la roca reservorio y caracterizando la trampa estructural como un anticlinal con radios bien definidos para cada una de las tres capas inferidas, procedimos a calcular las reservas de petróleo por el método volumétrico.

5.3. Cálculo preliminar estimativo de las reservas en sitio (POES)

El cálculo preliminar para determinar el POES es muy importante en base a contar con un criterio de aproximación en el cálculo del volumen de reservas, ayudándonos así a tener una idea previa antes de realizar los cálculos volumétricos para cada espesor.

Se parte de la idea que el reservorio es un cuerpo uniforme, con base en forma de elipse y con un espesor constante desde su base hasta su tope, para luego calcular el volumen bruto de dicho cuerpo, el volumen poroso y la cantidad de petróleo original en sitio que contiene.

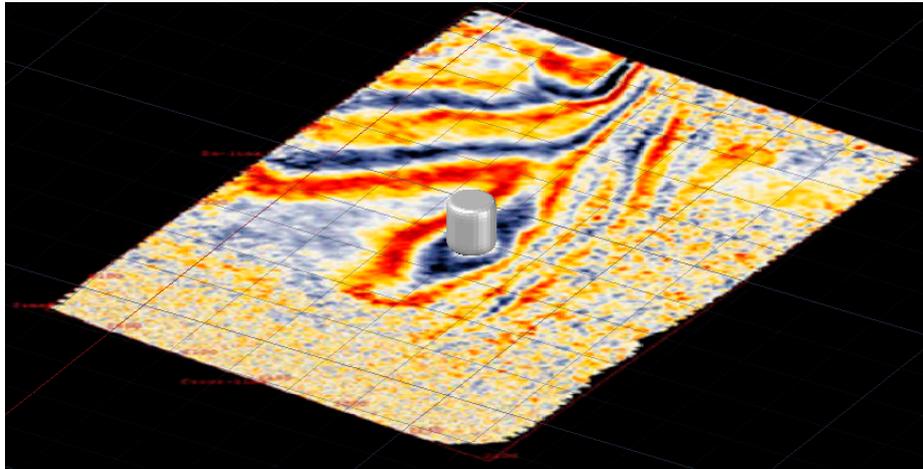


Figura # 110. Caracterización preliminar del reservorio.

De esta manera, el cálculo preliminar es el siguiente:

Aproximamos las dimensiones de los ejes (mayor y menor) de la base del reservorio mediante el TIME SLICE obtenido en el procesamiento de campo, así como el espesor neto de todo el cuerpo.

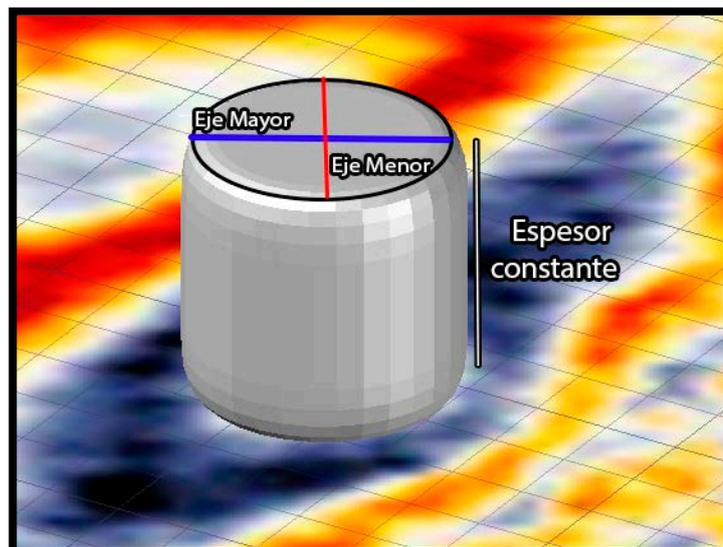


Figura # 111. Esquema del reservorio caracterizado.

Eje mayor (a)	2 Km.
Eje menor (b)	1 Km.
Espesor neto (h)	35 m.

Tabla # 18. Dimensiones del reservorio caracterizado.

Cálculo del volumen bruto:

$$V_b = Area_{base} * h_{neto}$$

$$Area_{base} = \pi * a * b$$

$$Area_{base} = \pi * 2000 * 1000 = 6283200 \text{ m}^3$$

$$V_b = 6283200 * 35 = \mathbf{219912000 \text{ m}^3}$$

El volumen poroso queda definido por:

$$V_p = V_b * \phi_{prom} = 219912000 * 0,2 = \mathbf{43982400 \text{ m}^3}$$

El volumen inicial de petróleo dentro del espacio poroso es:

$$V_{oi} = \frac{V_p * S_{oi}}{B_{oi}} = \frac{43982400 * 0,8}{1.05} = \mathbf{33510400 \text{ m}^3}$$

Expresado en barriles, el POES calculado es de:

$$POES = 33510400 \text{ m}^3 * \frac{6,289 \text{ bbls}}{1 \text{ m}^3} = \mathbf{210,7 \text{ MMbbls}}$$

Mediante éste cálculo previo, tenemos un valor referencial del POES existente en el Complejo W-1. Por medio del método volumétrico simularemos la estructura y determinaremos el mismo valor, teniendo como premisa que dicho resultado deberá aproximarse al calculado en esta sección.

5.4. Cálculos

Procedemos a calcular el volumen de cada estrato productor del anticlinal por medio de las ecuaciones trapezoidales y piramidales:

Ecuación trapezoidal:

$$\Delta V = \frac{h}{2} (\text{Área base} + \text{Área tope})$$

(Arena 0)

Ecuación piramidal:

$$\Delta V = \frac{h}{3} (\text{Área base} + \text{Área tope} + \sqrt{\text{Área base} * \text{Área tope}})$$

(Arena 1)

Ecuación piramidal:

$$\Delta V = \frac{h}{3} (\text{Área base})$$

(Arena 2)

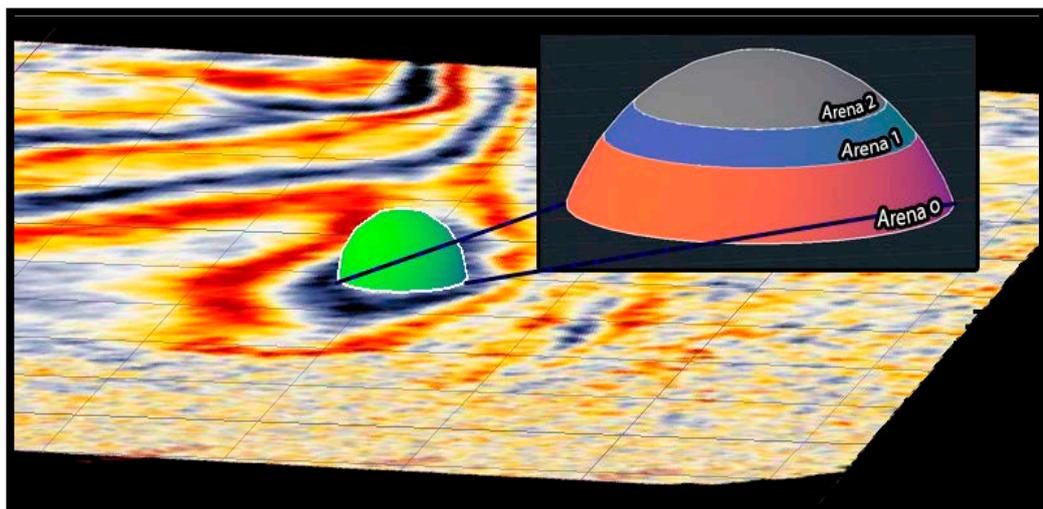


Figura # 112. Esquema de la trampa estructural y los estratos de interés

De esta manera, calculamos para cada nivel:

Área Productiva	Área en Acres	Espesor (ft)	Ecuación
A0	1583,68		
A1	1444,92	60	Trapezio
A2	1345,95	45	Pirámide
A3	0,00	52	Pirámide

Tabla # 19. Áreas de estratos productores

Para ΔV_1 :

$$\Delta V_1 = \frac{60}{2} (1583,68 + 1444,92) = \mathbf{90858 \text{ acre. pie}}$$

Para ΔV_2 :

$$\Delta V_2 = \frac{45}{3} (1444,92 + 1345,95 + \sqrt{1444,92 \times 1345,95}) = \mathbf{62781,41 \text{ acre. pie}}$$

Para ΔV_3 :

$$\Delta V_3 = \frac{52}{3} (1345,95) = \mathbf{23329,8 \text{ acre. pie}}$$

Tabulando los datos obtenidos, tenemos:

Área Productiva	Área en Acres	Razón de áreas	Espesor (ft)	Ecuación	ΔV acre.pie
A0	1583,68				
A1	1444,92	0,91238	60	Trapezio	90858
A2	1345,95	0,93151	45	Pirámide	62781,4096
A3	0,00	0	52	Pirámide	23329,8
Total					176969,21

Tabla # 20. Volúmenes de estratos productores

Al calcular el POES, tendríamos:

$$POES = \frac{7758 * V_b * \emptyset * S_{oi}}{B_{oi}}$$

$$POES = \frac{7758 * 176969,21 * 0,2 * 0,8}{1,05}$$

$$POES = 209,3 \text{ MMbbls de petróleo in situ}$$

Como resultado, el cálculo del POES por la simulación del método volumétrico nos indica una reserva probable de 209,3 millones de barriles, un valor aproximado a la estimación preliminar que fue de 210,7 millones , obteniendo un porcentaje de similitud en ambos cálculos inferidos del 99,3%.

CONCLUSIONES

1. En la fase de topografía se niveló un total de 1233,04 Km. en líneas sísmicas, durante la cual se identificó el relieve sumamente ondulado y pendientes mayores a los 45 grados.

2. Durante la fase de perforación, se observó el suelo de característica semi-permeable (arena) y a medida que se profundizó hasta llegar a los 21 metros en las perforaciones superficiales para los puntos de disparos (SP), se encontró materiales no consolidados, arcilla de textura plástica y grava.

También hubo la presencia de una litología de grano grueso (grava) en las cercanías de los ríos Nushiño, Challuhuayacu y Obaro, para la cual se aplicó el parámetro triple de Disparo (3 pozos de 5m de profundidad).

La perforación para los puntos de disparo (SP) finalizó con un total de 4332 pozos perforados. La velocidad de la Zona Meteorizada (V_0), para este proyecto se utilizó la que fue determinada en el área del campo OSO y fue de 18 m/s.

3. En la fase de registro se utilizó el equipo de adquisición Sercel 428 de última generación, así mismo se contó con el siguiente equipo:
 - 3798 ristras (cables con los 6 geófonos conectados en serie)
 - 2047 cables de 1 FDU (multiplexador de las señales de cada ristra)
 - 130 LAUL (alimentadores de energía al FDU)
 - 130 baterías
 - 17 LAUX (direccionador del flujo de datos a la unidad de procesamiento de campo)

- 72 transversos (cables de extensiones y uniones a Links)
- 65 treps (cables interconectores en los bordes de la concesión)

Los disparadores (mochilas portadoras de los dispositivos de detonación) fueron dotados de 8 blasters Shoot Pro.

Los registros sísmicos son afectados por los ruidos ambientales (naturales), sociales (organizados) y las reflexiones múltiples de profundidad y de superficie (efecto de resonancia), por lo cual, para eliminarlos o reducir su influencia, se realizaron configuraciones de punto de reflejo común (para mejorar la calidad de los registros), finalizando con un promedio de producción de 57 disparos diarios para un total de 4332 registros.

4. En términos generales y según el procesamiento efectuado se puede definir como una zona de buena relación señal-ruido, viendo los resultados en los registros preprocesados y también después de aplicar los diferentes filtros. Los enfasamientos que determinan las hipérbolas de reflexión de los eventos sísmicos se observan de forma nítida y definida antes de su procesamiento final.
5. El rango sísmico de frecuencia de la señal varía entre 20 a 60 hertz, con frecuencias dominantes de 20 a 50 hertz, ruido de ground roll alrededor 5 a 15 Hz.

Los ruidos ambientales y culturales que más afectan el área del proyecto son principalmente la existencia de los estero y de los ríos Nushiño, Challuhuayacu y Obaro, así como las vías de segundo orden.

Se observaron registros de baja energía, los que se asocian a la litología del

terreno. Estos registros se encontraron principalmente en las zonas montañosas del sureste del proyecto y al oeste del río Nushiño, debido a la litología poco consolidada, zonas de aluviones y presencia de grava gruesa.

6. Del cubo o Bloque sísmico preliminar obtenido para el Proyecto W-3D con un previo procesamiento en campo, se puede inferir la posición de los tres horizontes de importancia productores conocidos de la formación Napo (arenas presentes en los pozos vecinos del campo OSO); además, se infiere el empuje de fondo de un fluido hacia las tres zonas de interés.
7. Se puede concluir que la información sísmica obtenida en el proyecto presentará buenos resultados en la etapa de interpretación.
8. El Petróleo Original In Situ (POES) calculado para los tres horizontes productores inferidos y simulados con los datos adquiridos de los Pozos Oso (a unos 56 Km del punto de referencia de la concesión), mediante el uso de las ecuaciones del método volumétrico para yacimientos de petróleo, y correlacionando las propiedades petrofísicas de pozos en producción que se encuentran dentro del Complejo W-1, fue de 209.3 MMbbls, con un grado API aproximado de 26°, tomando como referencia los pozos vecinos.
9. Este resultado nos indica el gran volumen que poseen las estructuras reservorios en la zona del Oriente Ecuatoriano, una característica que resalta la gran importancia hidrocarburífera y el gran desempeño del país en el ámbito petrolero.

RECOMENDACIONES

1. Mejorar la calidad resolutive de las líneas sísmicas aplicando los filtros necesarios y convenientes, de tal forma que permita mejorar la señal de las trazas y disminuir el ruido.
2. En partes de los registros que se presentan en esta tesis, se observa que la continuidad de algunos de los reflectores se interrumpe abruptamente con sus extremos inclinados hacia abajo, muy probablemente debido a una falla de gravedad. Se recomienda procesar esa sección minuciosamente y con mayor delicadeza.
3. Se recomienda que los datos sísmicos adquiridos en el campo y procesados de este proyecto sean archivados por el Estado y por las Escuelas de Petróleos para fines didácticos, y para que en un futuro puedan ser utilizados con el objetivo de correlacionar la información existente en otros sectores inexplorados, con los obtenidos en este Complejo W-1.
4. Debido a las reservas (POES) calculadas, se puede recomendar que los tres horizontes productores puedan ser intervenidos con perforaciones y una vez realizadas las pruebas de producción para su justificación o factibilidad, se realicen las operaciones de explotación del yacimiento.
5. En caso de aplicar una producción en forma horizontal, se recomienda elaborar un estudio de correlaciones entre amplitudes obtenido del proyecto sísmico W-3D y espesores netos de las zonas de interés.

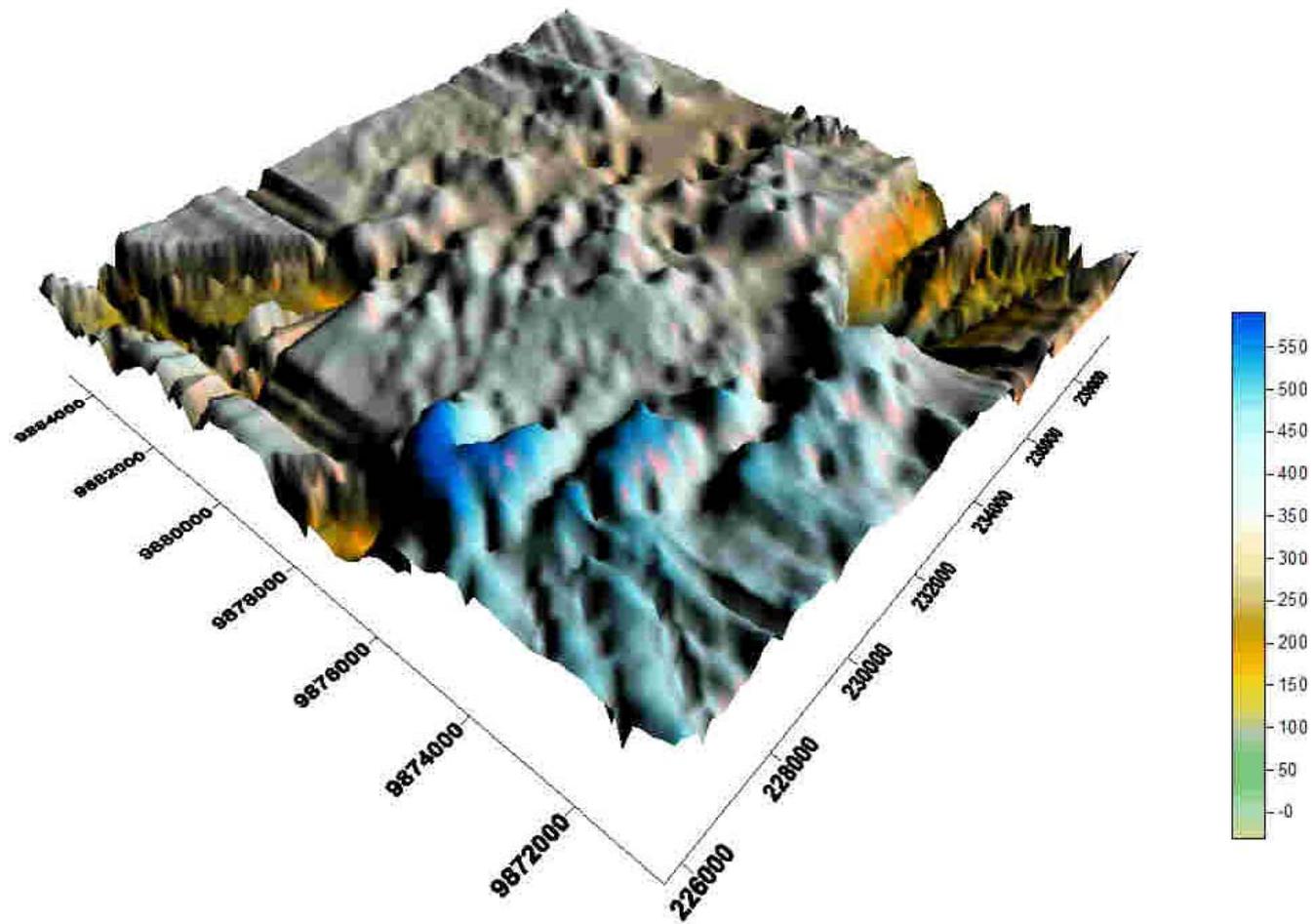
6. Los valores obtenidos en este proyecto de tesis son simulados por uno de los tantos métodos existentes convencionales para el cálculo de las reservas potenciales, en otras palabras son referenciales.

Se deben realizar más estudios y determinar dichos valores por otros métodos para buscar correlacionarlos y establecer con mayor certidumbre el volumen del petróleo original en sitio.

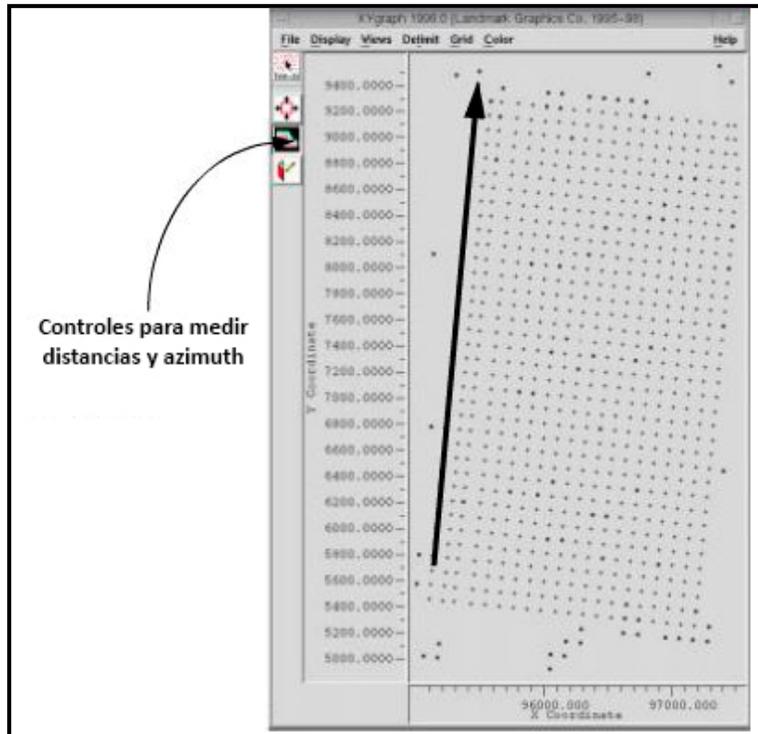
ANEXOS



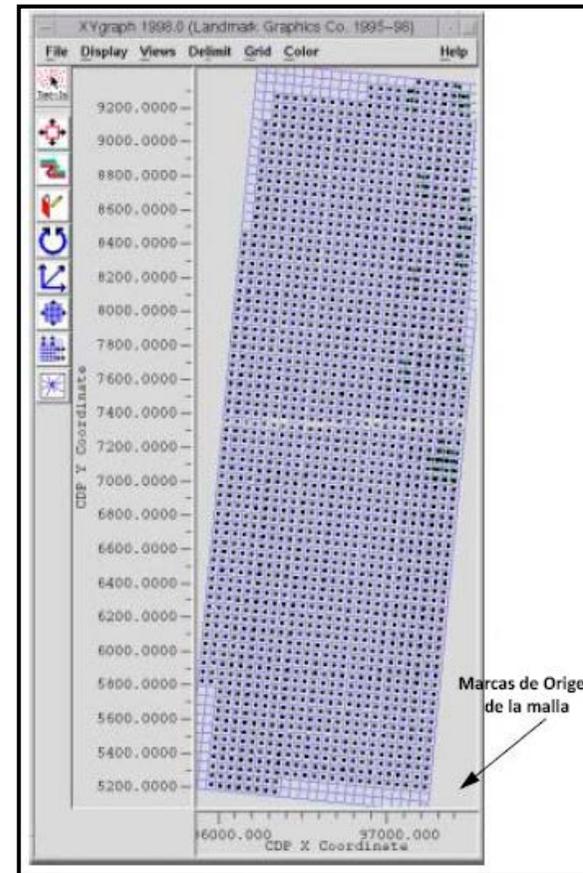
**A1. Imagen Satelital y de Relieve del punto referencial R del Complejo W-1.
Fuente: Google Earth**



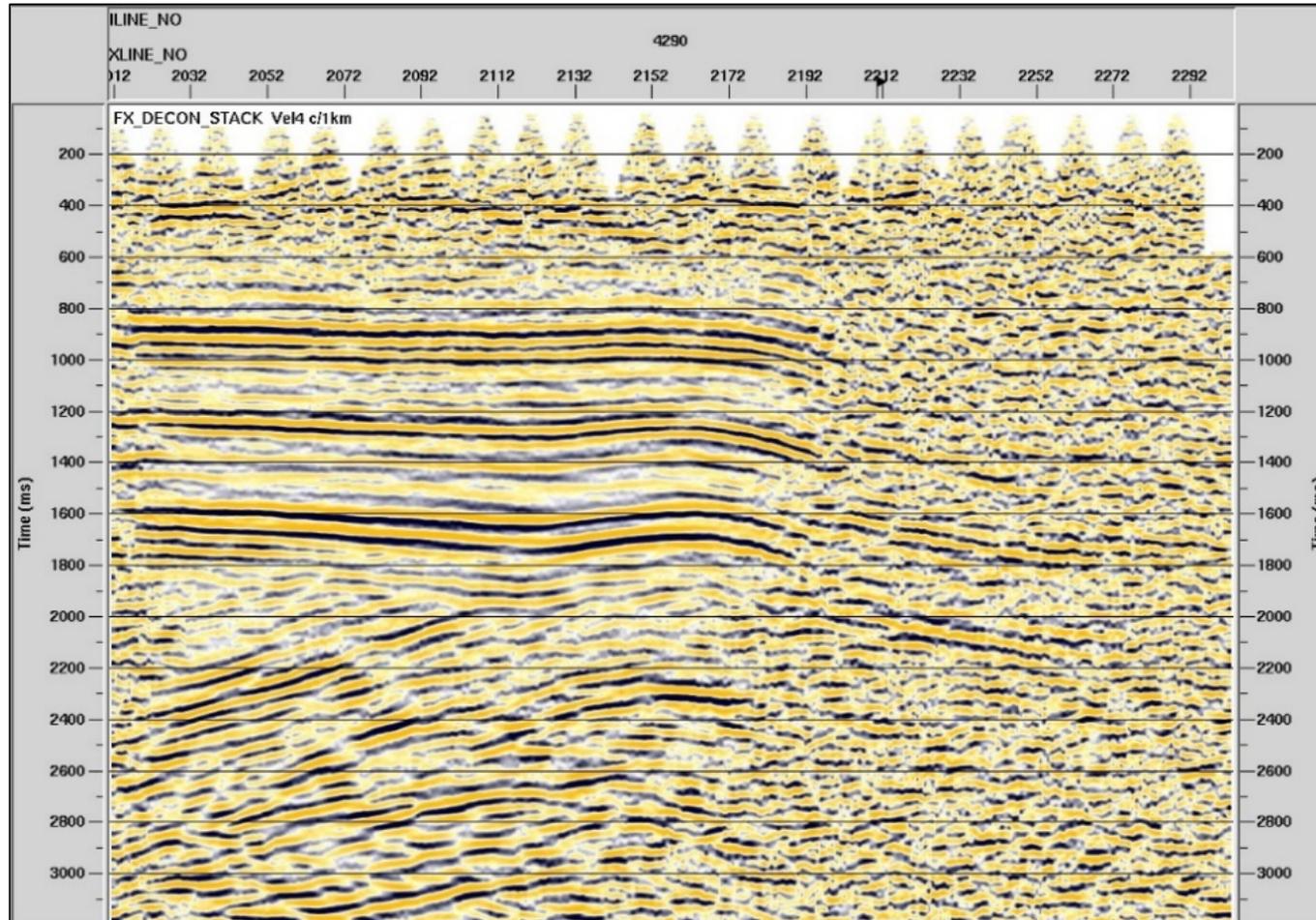
A2. Relieve Topográfico del Proyecto W-3D.
Software Surfer



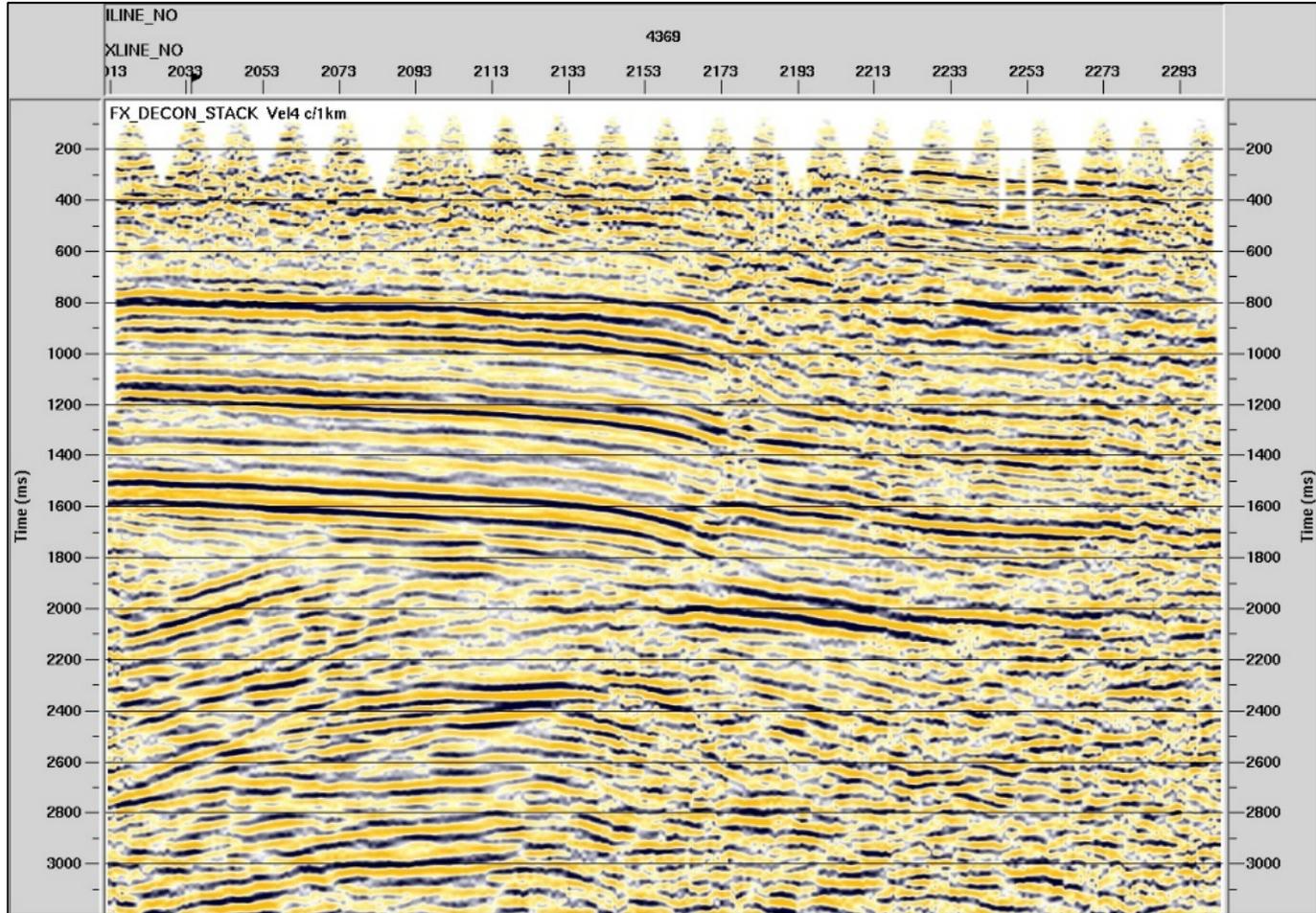
**A3. Diseño aplicado con datos SEGY cargados
Software PROMAX**



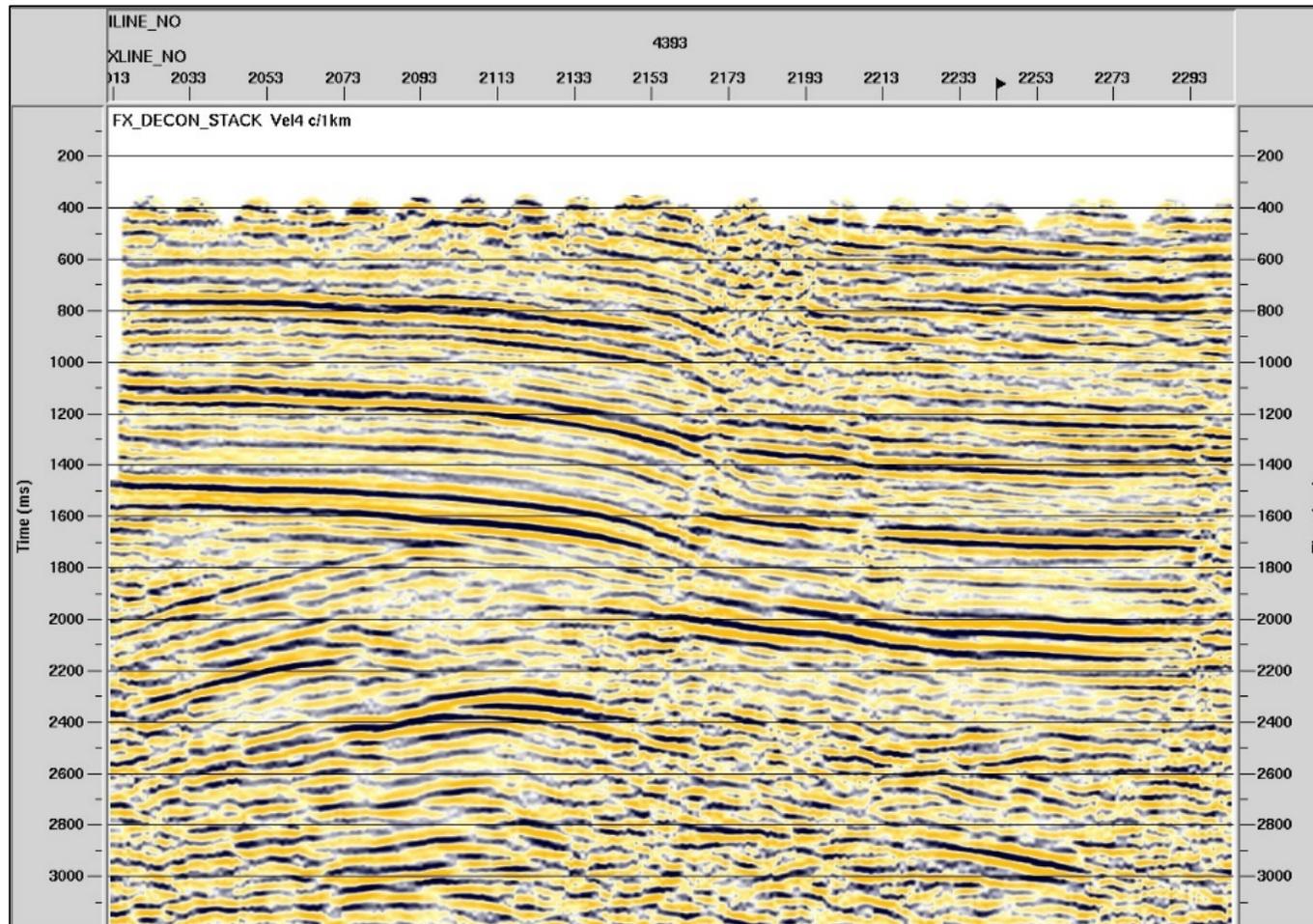
**A4. Distribución de la ubicación de trazas
Software PROMAX**



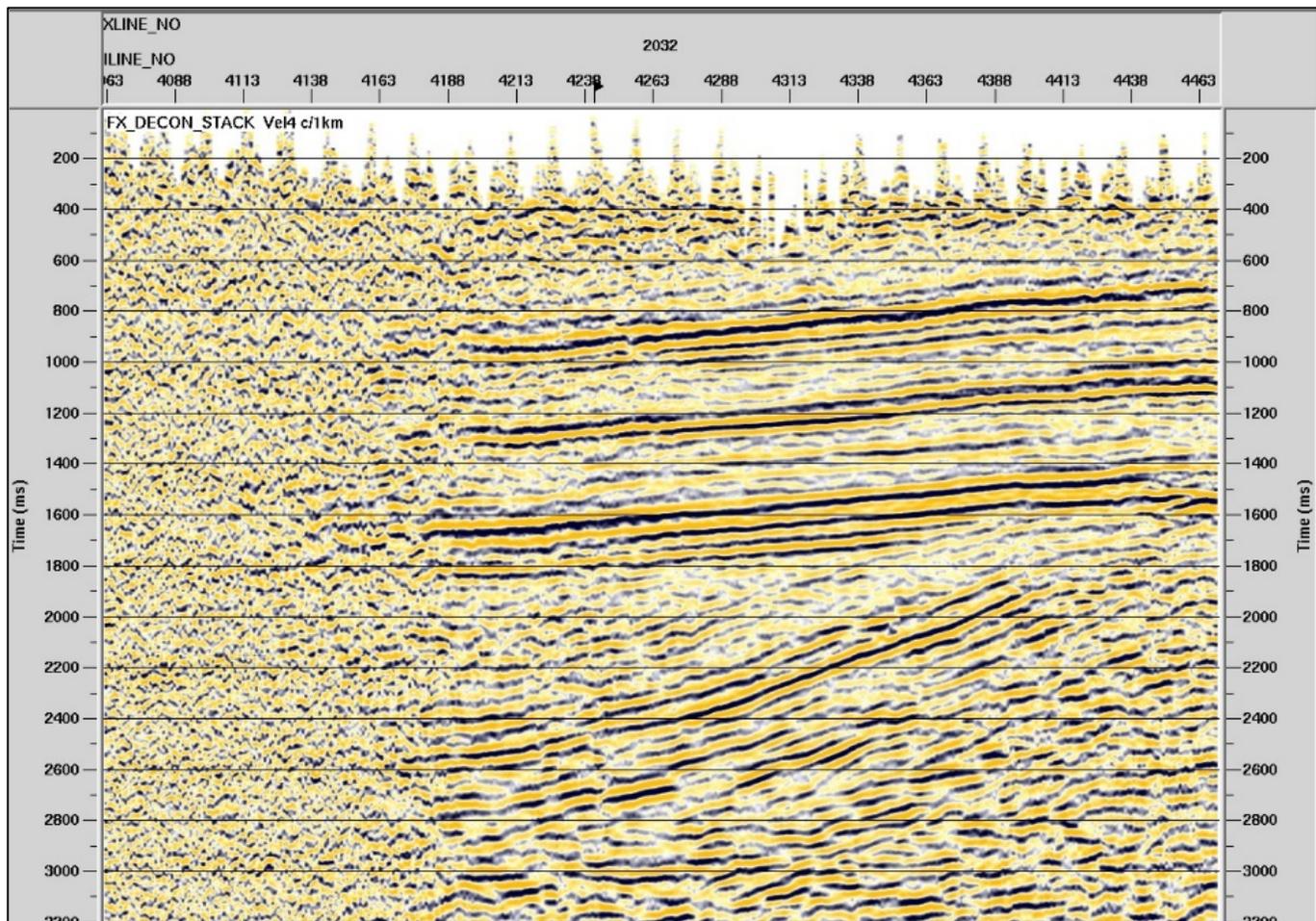
A5. APILAMIENTO IN-LINE 4290 - W-3D.



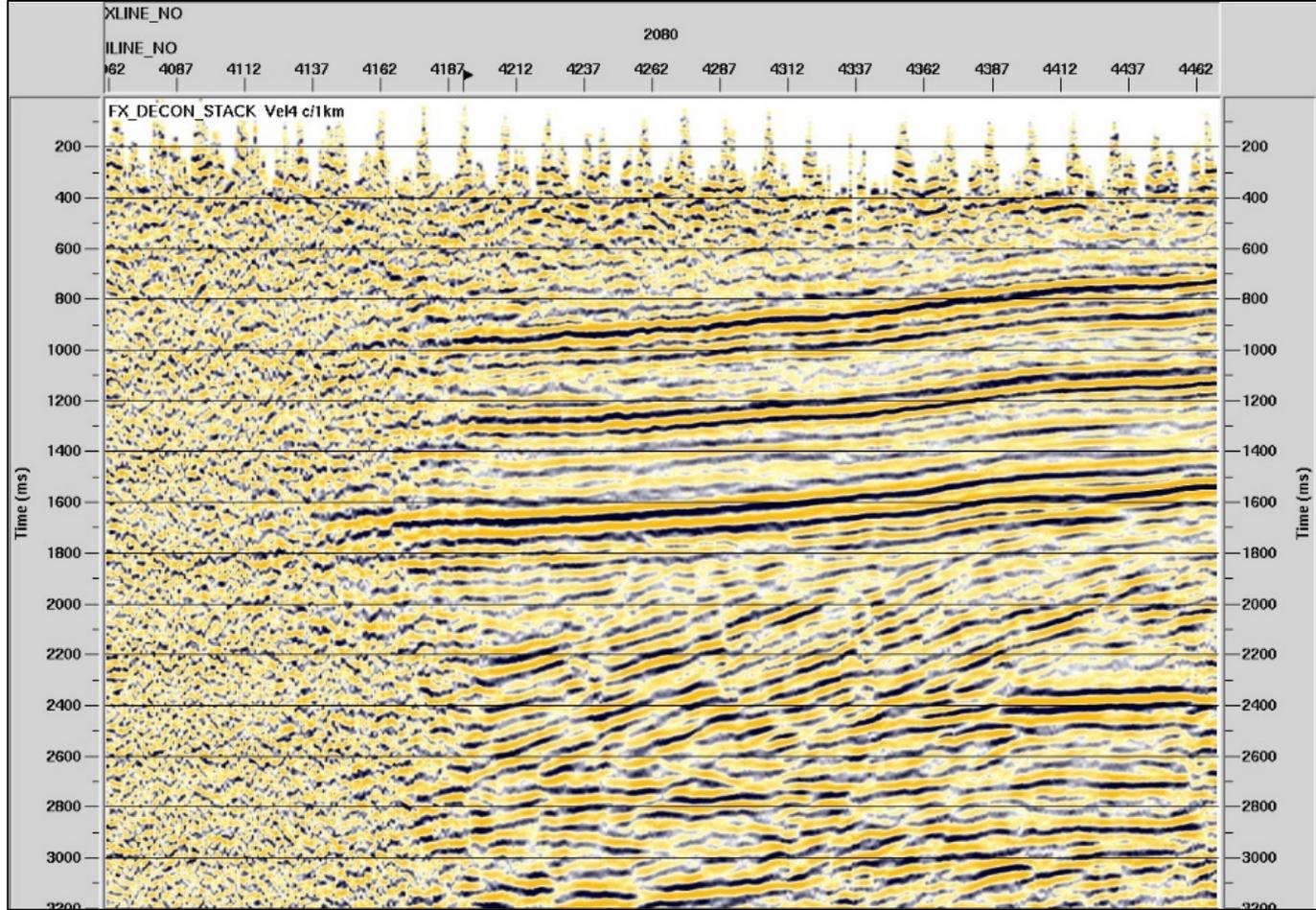
A6. APILAMIENTO IN-LINE 4369 - W-3D.



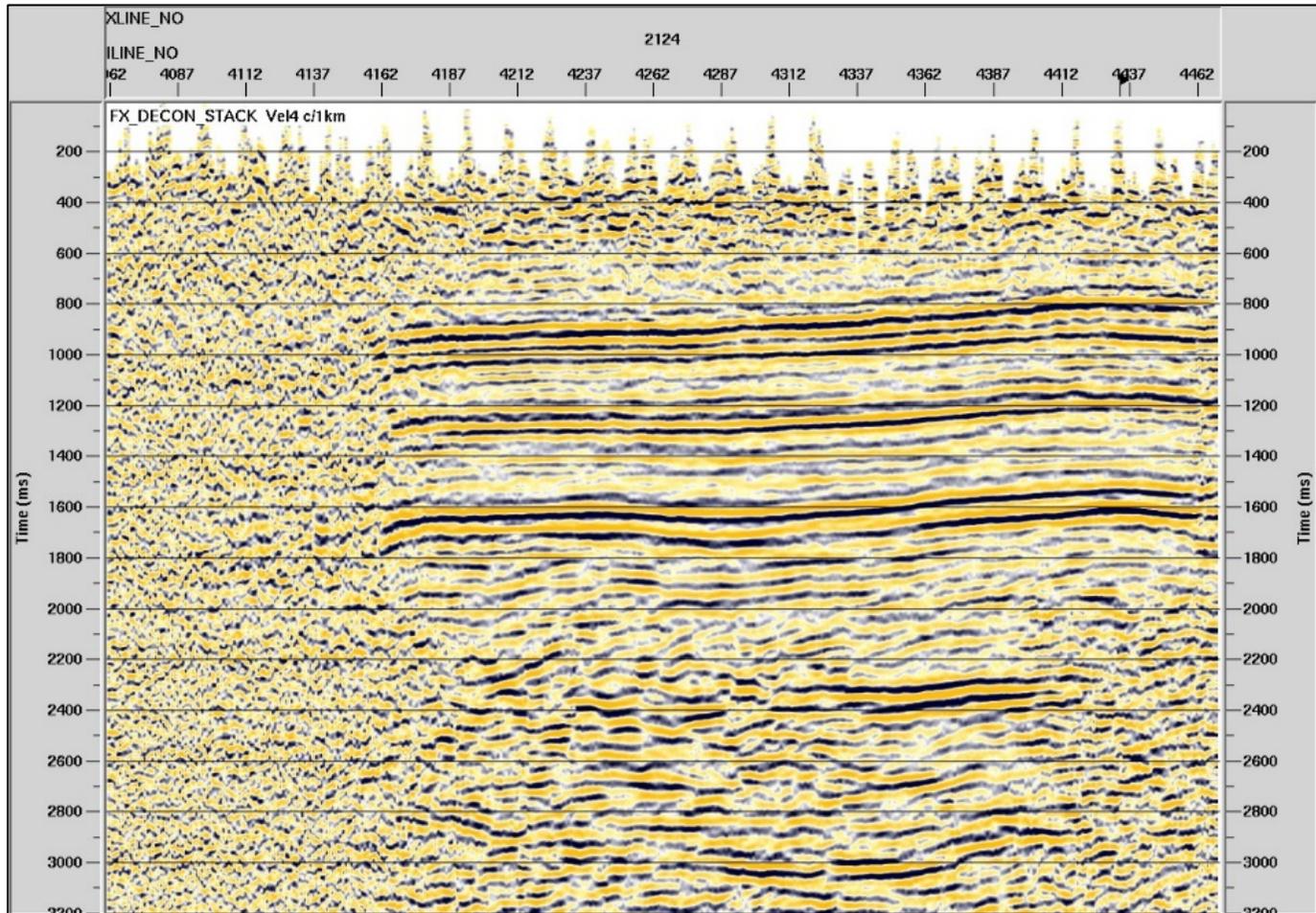
A7. APILAMIENTO IN-LINE 4393 - W-3D.



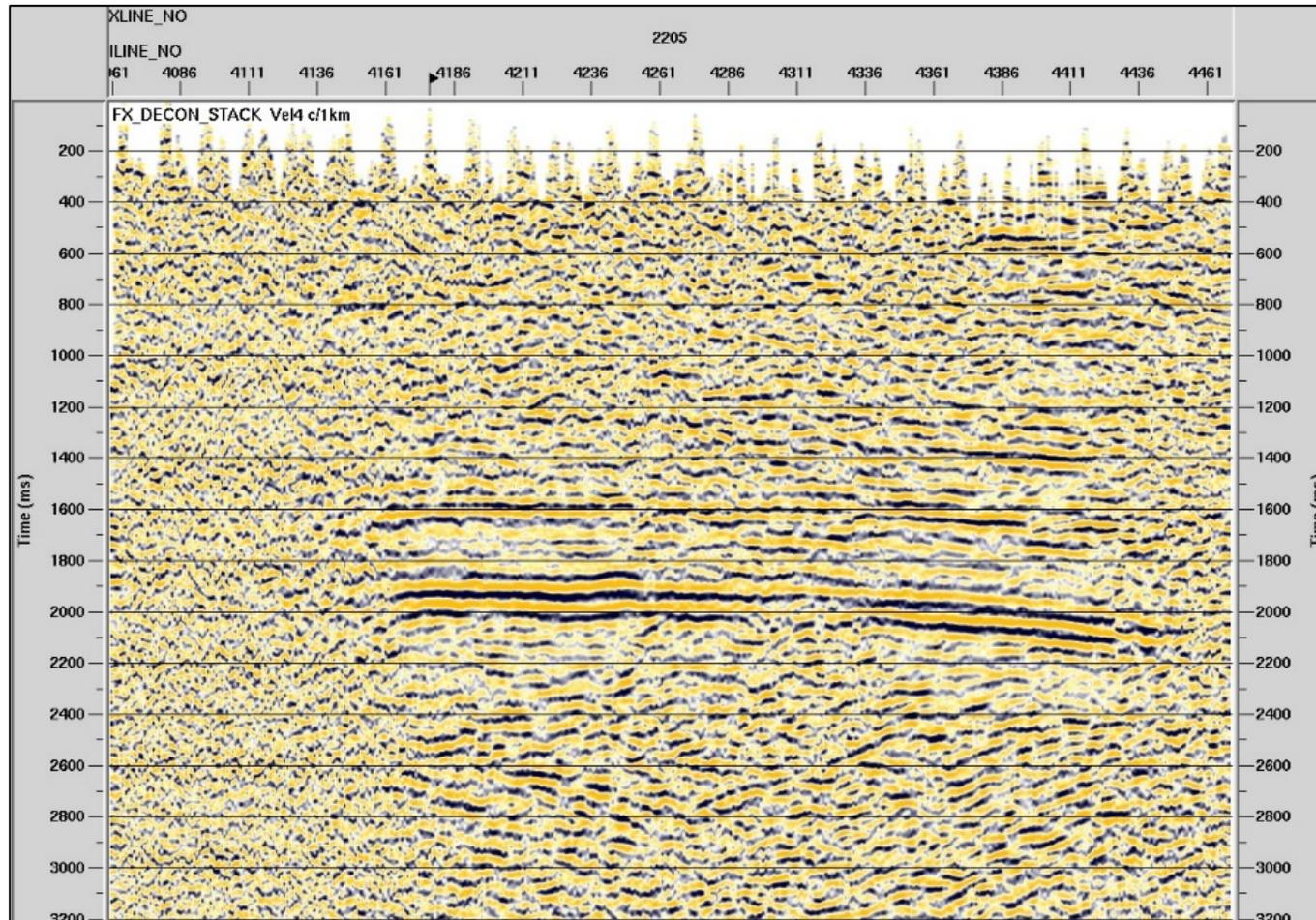
A8. APILAMIENTO X-LINE 2032 - W-3D.



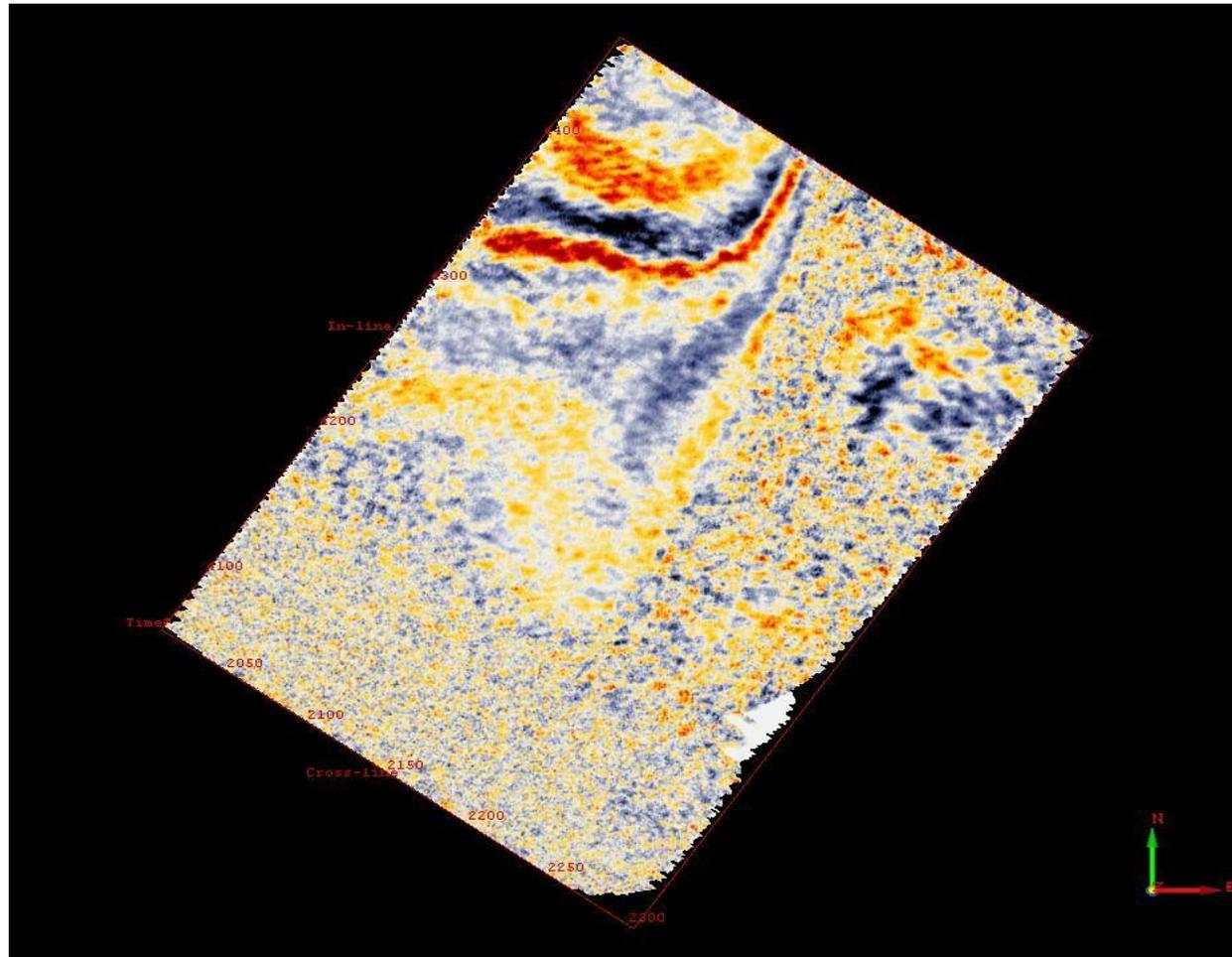
A9. APILAMIENTO X-LINE 2080 - W-3D.



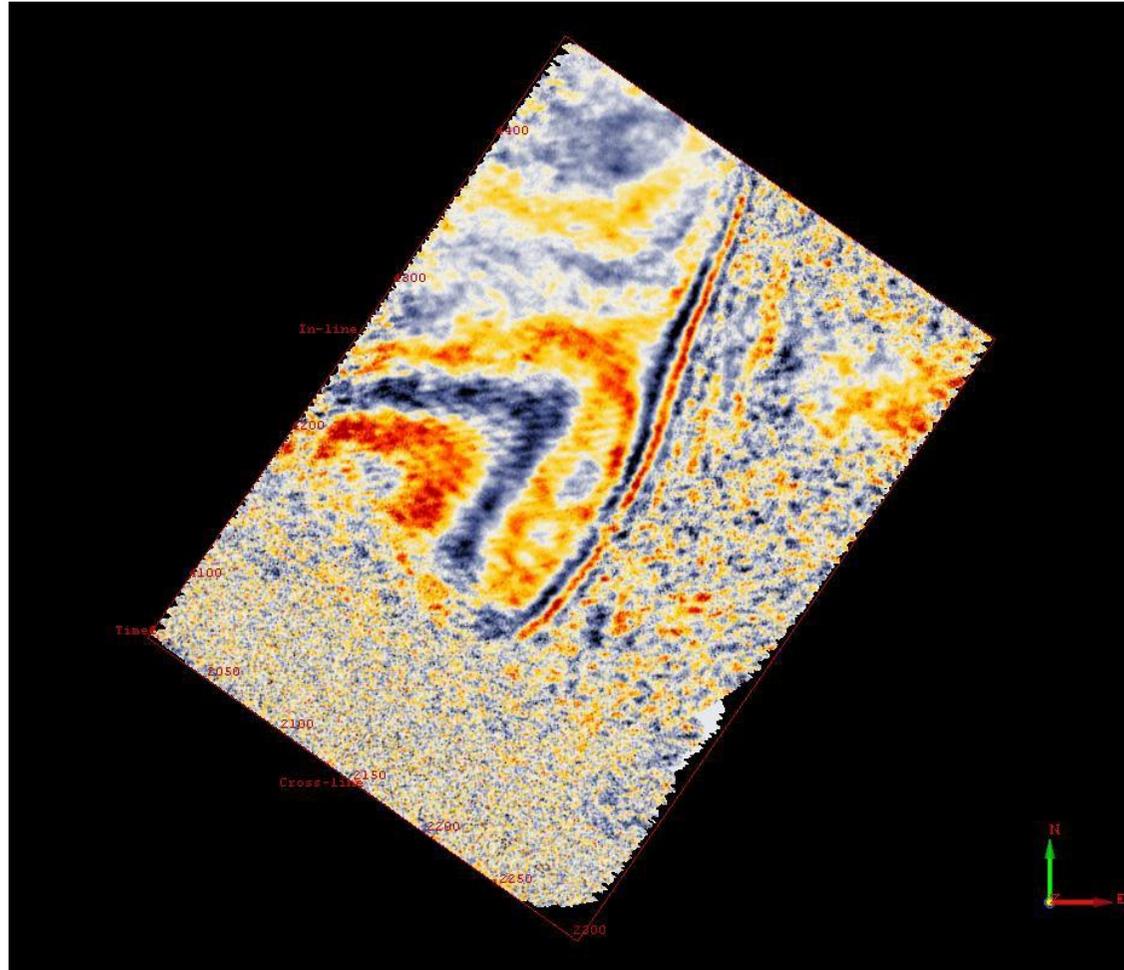
A10. APILAMIENTO X-LINE 2124 – W-3D



A11. APILAMIENTO X-LINE 205 - W-3D.



A12. TIME SLICE 800ms - W-3D.



A13. TIME SLICE 1300ms - W-3D.

BIBLIOGRAFÍA

1. B. C. CRAFT AND M. F. HAWKINS, Applied Petroleum Reservoir Engineering, Second Edition, 71-72 p.
2. Martillo Bustamante Carlos, Apuntes de Clase Sísmica 2D, Escuela Superior Politécnica del Litoral.
3. Berrezueta Alvarado Edgar, “La Sísmica de Reflexión y su Aplicación en la Interpretación en una Cuenca Petrolífera (Rioja-Cameros)”, Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral.
4. Muzzio Alex, Portilla Carlos, “Análisis comparativo técnico-económico de producción de crudos pesados en pozos horizontales y direccionales, arena “M1” formación Napo, Bloque 16, Oriente ecuatoriano”, Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral.
5. Hernández de la Bastida Miguel, “Estudio Integral para el desarrollo del reservorio Basal Tena en el campo Colibrí”, Tesis de Grado, Universidad Central del Ecuador.
6. Rafael Bartolomé de la Peña, “Evolución tectónica del margen continental oeste de México: fosa mesoamericana y golfo de California”, Tesis, Institut de Ciències de la Terra Jaume Almera.
7. Pedro José Ayala Casanova, “Librería de Rutinas de Procesamiento para datos sísmicos sintéticos”, Tesis de Grado, Universidad Simón Bolívar.
8. Araguillín Cristobal, Fernández Édison, Monge Alexandra, Romero Alejandra, Toaza Verónica, “GEOFÍSICA”, Proyecto de curso, ESCUELAS DE

GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS, Universidad Central del Ecuador.

9. Dourado Joao Carlos, “Cursos de Sísmica (Tomo del 1 al 7)”, Brasil.

10. Referencias electrónicas:

- <http://www.andes.info.ec/es/econom%C3%ADa/3159.html>
- <http://es.scribd.com/doc/29705070/Sismica-de-Reflexion>
- <http://www.ugm.org.mx/publicaciones/geos/pdf/geos03-3/Calderon.pdf>
- <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3404/9/41205-9.pdf>