

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEO**



**ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LOS MÉTODOS
GEOFÍSICOS APLICADOS EN EL PROYECTO CAMPO
COSTANERO BOLÍVAR ESTADO ZULIA, PARA LA
COMPRENSIÓN ESTRUCTURAL DE ÁREAS PROSPECTIVAS**

REALIZADO POR:

JAVIER ALEXANDER PARRA GIMÓN

**Trabajo de Grado Presentado ante la Universidad de Oriente como
Requisito**

Parcial para Optar Al Título de

INGENIERO DE PETRÓLEO

BARCELONA, OCTUBRE DE 2009

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEO



ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LOS MÉTODOS
GEOFÍSICOS APLICADOS EN EL PROYECTO CAMPO
COSTANERO BOLÍVAR ESTADO ZULIA, PARA LA
COMPRENSIÓN ESTRUCTURAL DE ÁREAS PROSPECTIVAS

ASESORES

Ing. Janckarlos Reyes

Asesor Industrial

Ing. Aura Vilela

Asesor Académico

BARCELONA, OCTUBRE DE 2009

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEO



**ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LOS MÉTODOS
GEOFÍSICOS APLICADOS EN EL PROYECTO CAMPO
COSTANERO BOLÍVAR ESTADO ZULIA, PARA LA
COMPRENSIÓN ESTRUCTURAL DE ÁREAS PROSPECTIVAS**

JURADO

El jurado hace constar que asignó a esta Tesis la calificación de:

Ing. Aura Vilela

Asesor Académico

Ing. Roberto Salas

Jurado Principal

Ing. Rafael Cubillán

Jurado Principal

BARCELONA, OCTUBRE DE 2009

RESOLUCIÓN

De acuerdo con el Artículo 44 del reglamento de Trabajos de Grado:

“Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”.

DEDICATORIA

A Dios Padre Todopoderoso, y a Jesucristo hijo de Dios.

A mi hermana Durlys Luisana, y a mi Papá Gerardo Antonio Valera, fuentes de mi inspiración, con todo el amor de mi corazón.

A mi madre María Ofelia por todo tu amor, constancia, y por que todo es por ti y para ti.

A mi madre Durlys Marisol, por siempre abrir caminos, y por que aún en momentos difíciles mantuve la esperanza de darte un poco de felicidad.

A mi abuela Juana Figuera, por que siempre has estado allí con mucho amor.

A mi hermano Luis Gerardo; para que su futuro sea tan grande como el orgullo de brindarle una referencia en su vida.

A Oriannys Roselyn Hernández.

A mi tía Chila con mucho amor.

A mis amigos Carlos Eduardo Andain y Antonio Hernández.

A la profesora Rosa Caraballo, hoy te dedico un fruto de ese Árbol al cual tus palabras abonaron y dieron esperanza.

A todos mis familiares, amigos y seres queridos.

AGRADECIMIENTOS

A la Empresa SUELOPETROL C.A.S.A.C.A, por la valiosa oportunidad brindada.

Al Ingeniero Carlos Domínguez por todo el apoyo brindado.

Al Ingeniero Elpidio Arana por todo el apoyo brindado.

Al Ingeniero Janckarlos Reyes, tutor industrial y gran apoyo, gracias por haber representado una luz guía.

Al Ingeniero Javier Díaz, excelente persona, gracias por todos los conocimientos aportados.

A mi asesora académica Aura Vilela, gracias por todo su valioso apoyo.

A mi tía Ana Dubraska García por el valioso apoyo brindado.

A mis amigos; Francis Villegas, Gabriel Zapata, Luís Guirado, Edixon Medina, Alfredo Martínez y Brauly Jordan, por su ayuda en todo momento.

A mis amigos y compañeros; Thaina Vásquez, Fátima Gómez, Jorge Díaz, Manuel López, Orlando Villasana, Freddy Martínez, Marcos Marcano, Fernando Castellanos, Yonny Daza, Carlos Valera, Douglas Guarda, José Rincón y Sergio Corena.

A las personas que siempre confiaron en mí, y que de alguna u otra manera me apoyaron.

RESUMEN

Los métodos geofísicos se emplean en exploración de hidrocarburos desde principios del siglo pasado, sin embargo, en Venezuela, la reflexión sísmica pese a su elevado costo, ha sido el método de prospección más utilizado debido a su alto poder de resolución. Durante los últimos años, SUELOPETROL C.A.S.A.C.A., ha ejecutado proyectos que contemplan la adquisición de datos geofísicos mediante diferentes métodos de prospección. El proyecto Campo Costanero Bolívar localizado al este de la ciudad de Cabimas y realizado para la empresa mixta PETROCABIMAS, contempló la aplicación de diferentes métodos tales como; sísmica de reflexión, sísmica de “*Up Holes*”, gravimetría y magnetometría. Estos son primeramente descritos de forma analítica en el presente estudio, a fin de presentar una recopilación de datos relevantes sobre las principales variables que influyen en este tipo de proyecto exploratorio, que sirva de referencia tanto para proyectos posteriores, como para el conocimiento de la aplicación de la geofísica en exploración petrolera. Seguidamente se realizó el procesamiento de datos de gravimetría, magnetometría y “*Up Holes*”, de acuerdo al área asignada, denominada “A1” para objeto de este trabajo de grado. Posteriormente se analizaron los resultados de capas y espesores de los “*Up Holes*” procesados, y se realizó la cartografía de anomalías gravimétricas y magnéticas, combinándose esta información con mapas estructurales correspondientes al área del Campo Cabimas. Los rasgos resaltantes fueron referenciados para la obtención de secciones sísmicas, encontrándose congruencia entre los mapas de anomalías y las estructuras principales muestreadas en profundidad por el método sísmico. Por tanto la combinación de la sísmica con otros métodos geofísicos “menos costosos”, contribuye a comprender mejor modelos geológicos.

LISTA DE CONTENIDO

RESOLUCIÓN	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTOS	VI
RESUMEN	VII
LISTA DE CONTENIDO	VIII
LISTA DE FIGURAS	XII
LISTA DE TABLAS	XV
INTRODUCCIÓN	IV
<u>CAPÍTULO 1</u>	
GENERALIDADES DEL ÁREA	5
1.1 CUENCA DEL LAGO DE MARACAIBO	5
1.1.1. Sistema Petrolero	5
1.2 CAMPO CABIMAS	6
1.2.1 Objetivos Geológicos del Proyecto	8
1.2.2 Modelo Estratigráfico	8
1.2.3 Modelo Estructural	9
1.3 UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y ASPECTOS AMBIENTALES	11
1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.5 OBJETIVOS	15
1.5.1 Objetivo General	15
1.5.2 Objetivos Específicos	15
<u>CAPÍTULO 2</u>	
MARCO TEÓRICO	16
2.1 MÉTODOS GEOFÍSICOS	16
2.1.1 Método Sísmico	16
2.1.1.1 Aspectos Teóricos:	16

2.1.1.1.1 Ondas Sísmicas.....	16
2.1.1.1.2 Velocidad de Ondas Compresivas.....	18
2.1.1.1.3 Atenuación de la Energía Sísmica.....	19
2.1.1.1.4 Partición de la Energía en una Interfase.....	19
2.1.1.1.5 Relación Señal-Ruido.....	20
2.1.1.1.6 Fuentes de Energía Sísmica.....	21
2.1.1.1.7 Receptores Sísmicos.....	22
2.1.1.1.8 Punto Medio Común y Punto Medio Común en Profundidad.....	23
.....	
2.1.1.2 Sísmica 3D.....	25
2.1.1.3 Adquisición Sísmica en el Proyecto Campo Costanero Bolívar.....	28
.....	
2.1.1.3.1 Topografía.....	29
2.1.1.3.2 Perforación.....	31
2.1.1.3.3 Grabación.....	33
2.1.1.3.4 Procesamiento Sísmico en Campo.....	38
2.1.2 Método Gravimétrico.....	39
2.1.2.1 Principios Teóricos.....	39
2.1.2.2 Correcciones Gravimétricas.....	41
2.1.2.2.1 Corrección por Latitud.....	42
2.1.2.2.2 Corrección de Aire Libre.....	43
2.1.2.2.3 Corrección de Bouguer.....	44
2.1.2.2.4 Corrección Topográfica.....	46
2.1.2.2.5 Corrección por Mareas.....	48
2.1.2.2.6 Corrección por Deriva Instrumental.....	48
2.1.2.3 Anomalías Gravimétricas.....	48
2.1.2.4 Medición de la Gravedad Relativa.....	50
2.1.2.4.1 Balanza de Torsión.....	50
2.1.2.4.2 Gravímetro.....	50

2.1.2.5 Adquisición de Datos Gravimétricos en el Proyecto Campo Costanero Bolívar.....	53
2.1.3 Método Magnético.....	54
2.1.3.1 Principios Teóricos	54
2.1.3.2 Confección de Mapas Isoanómalos	56
2.1.3.3 Adquisición de Datos Magnéticos en el Proyecto Campo Costanero Bolívar.....	58
2.1.4 Estudios de Capa Meteorizada Mediante “ <i>Up Holes</i> ”	58
2.1.4.1 Principios Teóricos	58
2.1.4.2 Adquisición de datos de “ <i>Up Holes</i> ” en el Proyecto Campo Costanero Bolívar.....	60
2.2 “SOFTWARE GOLDEN SURFER” 8.0 y “QCTOOL”	61
CAPÍTULO 3	
METODOLOGÍA.....	63
3.1 REVISIÓN Y DOCUMENTACIÓN BIBLIOGRÁFICA	63
3.2 FAMILIARIZACIÓN CON OPERACIONES DE CAMPO	63
3.3 ANÁLISIS DE FACTORES RELEVANTES INCIDENTES EN EL DESARROLLO DEL PROYECTO	63
3.4 APLICACIÓN DE MÉTODOS GEOFÍSICOS EN UN ÁREA ESPECÍFICA DEL PROYECTO	64
3.4.1 Localización del Área.....	64
3.4.2 Obtención de los Datos Área A1	65
3.4.3 Procesamiento de Datos de Gravimetría Área A1	65
3.4.4 Procesamiento de los Datos de Magnetometría Área A1	71
3.4.5 Procesamiento de Datos de “ <i>Up Holes</i> ” para Estudios de Capa Meteorizada Área A1.....	78
CAPÍTULO 4	
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	84

4.1 FACTORES RELEVANTES INCIDENTES EN EL DESARROLLO DEL PROYECTO	84
4.1.1 Ruido	84
4.1.2 Obstáculos Ambientales y Culturales	88
4.1.3 Clima	91
4.1.4 Dificultades Ambientales y Topográficas	91
4.2 MAPAS GRAVIMÉTRICOS ÁREA A1	91
4.3 MAPAS MAGNÉTICOS ÁREA A1	102
4.4 SECCIONES SÍSMICAS	108
4.5 RESULTADOS DE “UP HOLES” EN ÁREA A1	113
CONCLUSIONES	118
RECOMENDACIONES	119
BIBLIOGRAFÍA	120

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Columna estratigráfica compuesta del Lago de Maracaibo. ^[1]	4
Figura 1.2: Sección O-E de la Cuenca del Lago de Maracaibo. ^[1]	5
Figura 1.3: Sistema Petrolero de la Cuenca de Maracaibo. ^[1]	5
Figura 1.4: Columna Estratigráfica del Campo Cabimas. ^[1]	7
Figura 1.5: Columna Estratigráfica del Área a Explorar. Registro Tipo.	8
Figura 1.6: Mapa Estructural Correspondiente al Campo Cabimas. ^[3]	10
Figura 1.7: Ubicación Geográfica del Proyecto. ^[4]	11
Figura 2.1: Ilustración de Trayectoria de Ondas. Principio de Huygens. ^[6]	20
Figura 2.2: Geófono. ^[8]	23
Figura 2.3: Ilustración Punto Medio Común y Punto Medio Común en Profundidad. ^[8]	24
Figura 2.6: Diseño Sísmico 3D Ortogonal. ^[9]	26
Figura 2.7: Celda Unidad. ^[9]	28
Figura 2.8: Red Geodésica del Proyecto. ^[10]	29
Figura 2.9: Distancia de Seguridad. Fuente Dinamita. ^[11]	30
Figura 2.10: Patrón de Perforación Normal. ^[11]	31
Figura 2.11: Patrón de Perforación para “ <i>Offsets</i> ”. ^[11]	32
Figura 2.12: Equipos de Perforación Utilizados en el Proyecto. ^[11]	33
Figura 2.13: Geometría de Grabación. ^[11]	35
Figura 2.14: Monitor de Grabación. Fuente Dinamita. ^[11]	36
Figura 2.15: Camiones Vibradores. ^[11]	37
Figura 2.16: Monitor de Grabación. Fuente: Vibradores. ^[11]	37
Figura 2.17: Geoide, Elipsoide y Superficie Topográfica. ^[12]	42
Figura 2.18: Corrección de Aire Libre. ^[12]	44
Figura 2.19: Corrección de Bouguer. ^[12]	45

Figura 2.20: Corrección Topográfica. ^[12]	46
Figura 2.21: Retícula De Hammer. ^[12]	46
Figura 2.22: Dinamómetro Principio. ^[13]	51
Figura 2.23: Gravímetro Hartley. Principio. ^[13]	51
Figura 2.24: Gravímetro Thysen.	52
Figura 2.25: Gravímetro Lacoste & Romberg. Principio. ^[13]	52
Figura 2.26: Identificación de Capas.	60
Figura 3.1: Ubicación del Área Asignada (A1).	65
Figura 3.2: Gravímetro Scintrex CG-5 Empleado en el Levantamiento.	66
Figura 3.3: Datos en Formato “xyz”. Gravímetro Scintrex CG-5.	67
Figura 3.4 Curva de Variación Diurna 05/11/2008.	72
Figura 3.5 Esquema Para el Cálculo de Anomalía Magnética.	73
Figura 3.6: Calculador de IGRF. “ <i>QCTool</i> ”	75
Figura 3.7: Gráfica de Valores Tomados en la Estación M-049.	76
Figura 3.8: Esquema de Adquisición de Registros de “ <i>Up Holes</i> ”.	78
Figura 3.9: Registro Sísmico de “ <i>Up Hole</i> ”.	79
Figura 3.10: Gráfica de Pendientes. “ <i>Up Hole</i> ” 04.	81
Figura 4.1: Disparo sin Preproceso. ^[16]	85
Figura 4.2: Disparo con Preproceso. ^[16]	86
Figura 4.3: Análisis Espectral sin Preproceso. ^[16]	87
Figura 4.4: Análisis Espectral con Preproceso. ^[16]	88
Figura 4.5: “ <i>Postplot</i> ” de Estaciones. ^[11]	89
Figura 4.6: “ <i>Postplot</i> ” de Cobertura. ^[11]	90
Figura 4.7: Mapa de Anomalía de Bouguer Simple (AB). Área A1.	92
Figura 4.8: Mapa Regional Gravimétrico de 1 ^{er} Grado. Área A1.	93
Figura 4.9: Mapa Regional Gravimétrico de 2 ^{do} Grado. Área A1.	94
Figura 4.10: Mapa Residual Gravimétrico de 1 ^{er} Grado. Área A1.	95
Figura 4.11: Mapa Residual Gravimétrico de 2 ^{do} Grado. Área A1.	96
Figura 4.12: Mapa en Relieve de Anomalía de Bouguer. Área A1.	97

Figura 4.13: Mapa en Relieve de Elevaciones. Área A1.....	98
Figura 4.14: Concordancia de Tendencias Gravimétricas con Mapa Estructural. Área A1. ^[3]	99
Figura 4.15: Concordancia de Tendencias Gravimétricas de Mapa Regional de 2 ^{do} Grado con Mapa Estructural. Área A1. ^[3]	100
Figura 4.16: Mapa de Anomalía de Bouguer Solapado con Mapa Estructural de Prospectos. Área A1. ^[3]	101
Figura 4.17: Anomalía Magnética (AM). Área A1.	102
Figura 4.18: Anomalía Magnética Regional de 1 ^{er} Grado (AM). Área A1.	103
Figura 4.19: Anomalía Magnética Regional de 2 ^{do} Grado (AM). Área A1.	104
Figura 4.20: Anomalía Magnética Residual de 1 ^{er} Grado (AM). Área A1.	105
Figura 4.21: Anomalía Magnética Residual de 2 ^{do} Grado (AM). Área A1.	106
Figura 4.22: Combinación de Mapa de Anomalía Magnética con Mapa de Anomalía Gravimétrica Residual de 1 ^{er} Grado. Área A1.	107
Figura 4.23: Ubicación de Secciones Sísmicas Seleccionadas. Área A1.....	108
Figura 4.24: Sección In-Line 3161. ^[16]	110
Figura 4.25: Sección In-Line 3161. Sin Migración. ^[16]	111
Figura 4.26: Sección Cross-Line 1099. ^[16]	112
Figura 4.27: Ubicación de los “Up Holes” Comprendidos en el Área A1. ^[18]	117

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1: B-Inferior de Misoa: Espesores Estratigráficos (TST) Promedio. ^[2] ..	9
Tabla 3.1 Datos en Secuencia Para Cálculo de Varmín. Circuito 013.	68
Tabla 3.2 Datos en Secuencia para Cálculo de la Gravedad Observada. Circuito 013.....	69
Tabla 3.3 Datos en Secuencia para Cálculo de la Corrección de Bouguer. Circuito 013.....	70
Tabla 3.4 Secuencia para Cálculo de la Anomalía de Bouguer. Circuito 013...	71
Tabla 3.5 Muestra de Valores Tomados en la Estación M-049.....	76
Tabla 3.6 Valores Promedio.	77
Tabla 3.7 Datos en Secuencia Para el Cálculo de “i”.....	77
Tabla 3.8: Datos de Registros, y Valores Promedio Obtenidos. Up Hole 04....	80
Tabla 3.9: Resultados Obtenidos. Up Hole 04.	82
Tabla 4.1: Resultados Up Hole 04.....	113
Tabla 4.2: Resultados Up Hole 05.....	113
Tabla 4.3: Resultados Up Hole 06.....	114
Tabla 4.4: Resultados Up Hole 08.....	114
Tabla 4.5: Resultados Up Hole 09.....	115
Tabla 4.6: Promedio de Velocidades y Espesores.....	116

INTRODUCCIÓN

En exploración petrolera, la aplicación de métodos geofísicos constituye el eje fundamental del proceso exploratorio, brindando información para el estudio y comprensión de áreas prospectivas. Además esta práctica se realiza en cualquier etapa de la vida productiva de yacimientos en desarrollo, con el objetivo de incrementar la tasa de producción y/o el porcentaje de recobro.

El proyecto CAMPO COSTANERO BOLÍVAR, contempló la aplicación combinada de métodos geofísicos tales como; Sísmica de reflexión 2D y 3D, Magnetometría, Gravimetría y estudios de capa meteorizada mediante Up Holes. Por lo cual fue necesaria la articulación de una serie de procesos por parte de SUELOPETROL C.A.S.A.C.A., en pro de asegurar la calidad de los productos finales.

En Venezuela la adquisición simultánea de datos geofísicos en un área determinada, para su posterior integración en la interpretación geológica, representa una práctica relativamente nueva ya que normalmente se efectuaba el método sísmico, sin valorar lo suficiente la información que pudiesen aportar otros métodos.

El análisis descriptivo de métodos geofísicos para la comprensión estructural de áreas prospectivas, consiste en el estudio de los diferentes procesos que intervienen en la adquisición, manejo y procesamiento de los datos adquiridos, resaltando factores relevantes incidentes en el desarrollo del proyecto. Además contempla análisis de la información integrada, para resaltar el “como” la combinación de métodos geofísicos contribuye a resaltar rasgos geológicos importantes para el estudio de modelos geológicos de áreas prospectivas.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES DEL ÁREA

1.1 CUENCA DEL LAGO DE MARACAIBO

La Cuenca Petrolífera del Lago de Maracaibo está ubicada al noroeste de Venezuela. En sentido estricto y restringido a territorio venezolano, se extiende sobre toda el área ocupada por las aguas del lago y los terrenos planos o suavemente ondulados que la circundan. La extensión de la cuenca, de aproximadamente 50.000 Km², corresponde políticamente en su mayor parte al Estado Zulia.

La Cuenca del Lago de Maracaibo es la cuenca petrolífera más importante de Venezuela. La roca madre por excelencia es la Formación La Luna, de edad Cretácico Tardío, cuyas facies se extendieron por toda Venezuela Occidental hasta Colombia. Se han encontrado rocas madre de importancia secundaria en los Grupos Cogollo (Miembro Machiques de la Formación Apón) y Orocué (Formación Los Cuervos). El

petróleo fue generado, migrado y acumulado en diversos pulsos, siendo el más importante el ocurrido durante el levantamiento andino. Las principales rocas yacimiento clásticas son las Formaciones Río Negro y Aguardiente (Cretácico), Grupo Orocué (Paleoceno), Mirador-Misoa (Eoceno), Lagunillas y La Rosa (Mioceno) (**Figura 1.1**). Las calizas (fracturadas) del Grupo Cogollo (Cretácico Temprano) constituyen los yacimientos carbonáticos más relevantes, mientras que los sellos regionales más importantes son las formaciones Colón (Cretácico Tardío) y Paují (Eoceno). Localmente, constituyen sellos importantes el Miembro Machiques (Formación Apón) y las lutitas espesas dentro de las formaciones ubicadas hacia el centro del Lago de Maracaibo, como Misoa, Lagunillas y La Rosa (**Figura 1.2**), e incluso secuencias cercanas a los frentes de deformación, como la Formación León y los Grupos Guayabo (Andes) y El Fausto (Perijá).^[1]

La mayor extensión productora de toda la cuenca, considerada como una sola unidad, se denomina **Campo Costanero Bolívar**. Se extiende paralelamente a la costa oriental del lago, parcialmente en tierra y parcialmente en el agua, por una longitud de 95 km entre el extremo de Campo Ceuta, hasta la desembocadura del río El Mene situada 7 km al norte-noreste de Punta Icotea. Su límite occidental, a partir del vértice de Punta Icotea, sigue una dirección sur-suroeste, sub-paralela al alineamiento fallado de Icotea, por aproximadamente 80 km. hasta la terminación del Campo Lama. El área del Campo Costanero Bolívar se subdivide en varias unidades que se consideran las más productoras de la cuenca y se encuentran en la costa oriental del Lago de Maracaibo, las que producen principalmente de yacimientos terciarios, como por ejemplo: Cabimas, Tía Juana, Lagunillas, Bachaquero. La extensión total del área productora de este Campo Costanero Bolívar sobrepasa las 120.000 hectáreas. La gravedad de los crudos es bastante diversa; en general los crudos más livianos ocurren en yacimientos cretácicos profundos y se van haciendo más pesados a medida que se acercan a los yacimientos terciarios más someros.

Algunos crudos de la costa oriental del lago, por ejemplo, llegan a tener menos de 13°API.^[1]

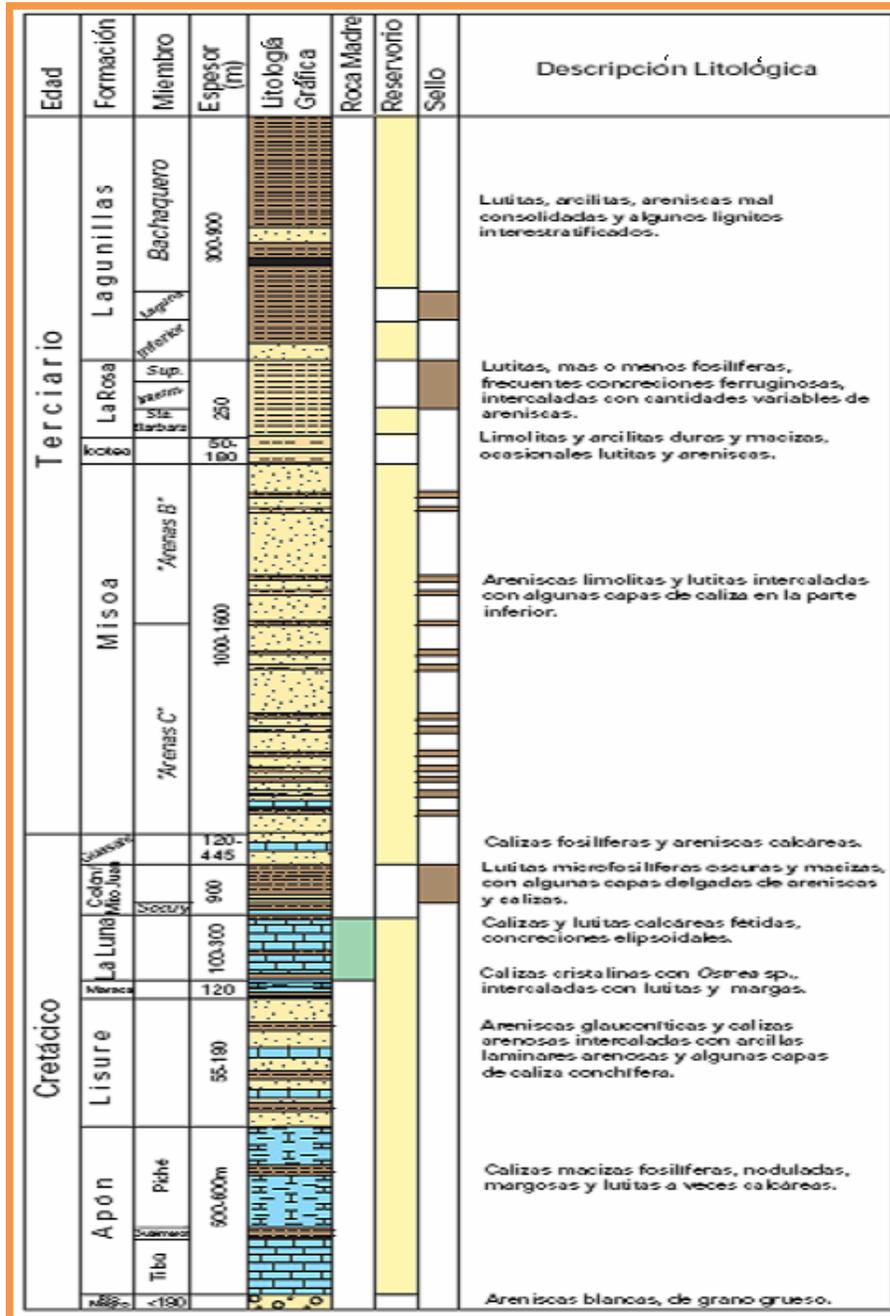


Figura 1.1: Columna estratigráfica compuesta del Lago de Maracaibo.^[1]

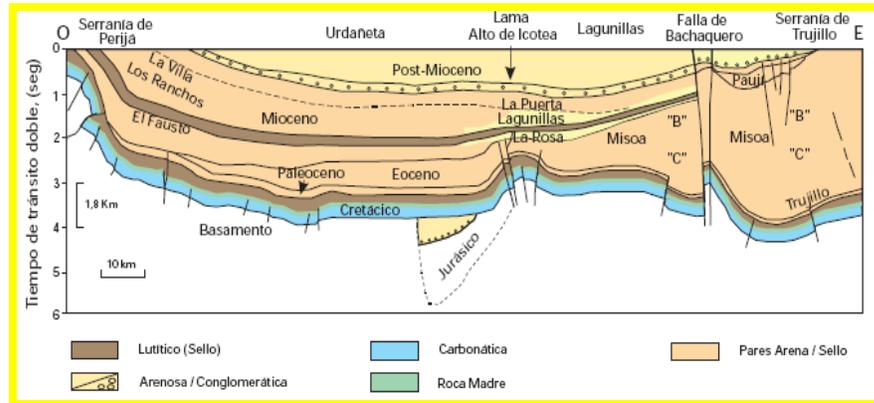


Figura 1.2: Sección O-E de la Cuenca del Lago de Maracaibo. [1]

1.1.1. Sistema Petrolero

El sistema petrolero fue generado a partir de la Formación La Luna en el subsuelo adyacente al noreste del Lago de Maracaibo (**Figura 1.3**). La generación ocurrió al noreste de la cuenca; con migración y acumulación durante el Eoceno Tardío, hacia el suroeste; entrampándose en yacimientos cretácicos y eocenos, especialmente hacia el alto de Icotea. El momento crítico, donde se alcanza el máximo de probabilidades de acumulación, se encuentra en el límite Eoceno-Oligoceno. [1]

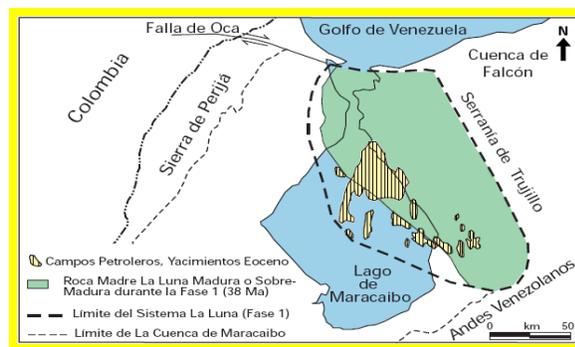


Figura 1.3: Sistema Petrolero de la Cuenca de Maracaibo. [1]

1.2 CAMPO CABIMAS

La **Figura 1.4** muestra la columna estratigráfica del Campo Cabimas. El Campo Cabimas ha producido desde 1925, principalmente (96%) de los yacimientos del Mioceno/Oligoceno. Actualmente el petróleo es producido de 3 yacimientos, los cuales se yuxtaponen verticalmente:

- El yacimiento B-6 de la formación Misoa, el cual está sellado desde el B-Superior de Misoa por la unidad B-5. Las areniscas altamente consolidadas de este yacimiento no están en comunicación con los yacimientos más jóvenes.
- El yacimiento B-Superior de la formación Misoa, conformado por sucesiones altamente estratificadas de areniscas/lutitas que en gran parte están erosionadas en bloques elevados y que están en comunicación hidráulica con los yacimientos más jóvenes del Mioceno/Oligoceno.
- Los yacimientos del Mioceno/Oligoceno, de areniscas consolidadas a no consolidadas, que se elevan desde aproximadamente 3.500 pies BNM en el Oeste, hasta los afloramientos superficiales en el Este del Área de Cabimas.

Los pozos individuales de estos yacimientos producen diferentes calidades de petróleo entre 14 a 27 °API con un promedio de campo de 21 °API. Debido al hecho de que ninguno de estos yacimientos produce de un soporte acuífero activo, el campo produce con contenidos bajos de agua de 5%.^[2]

EDAD		UNIDADES		
CUATERNARIO	HOLOCENO RECIENTE PLEISTOCENO	FORMACIÓN EL MILAGRO		
CENOZOICO TERCIARIO	PLIOCENO	FORMACIÓN ISNOTÚ		
	MIOCENO	SUP.	FORMACION LA PUERTA	
		MED.	FORMACIÓN LAGUNILLAS	
		INF.	FORMACIÓN LA ROSA	
	OLIGOCENO	FORMACIÓN ICOTEA		
	EOCENO	SUP.	/ / / / /	
		MED.	FORMACIÓN PAUJI	
		INF.	FORMACIÓN MISOA ARENAS "B" ARENAS "C"	
	PALEOCENO	FORMACIÓN GUA SARE FORMACIÓN TRWILLO		
	MESOZOICO	CRETÁCICO	SUP.	FORMACION COLÓN-MITO JUAN FORMACIÓN LA LUNA
INF.			GRUPO C O G O L L O	FORMACIÓN MARACA FORMACIÓN LISURE FORMACIÓN APÓN
			FORMACIÓN RIO NEGRO	
		TRIÁSICO JURÁSICO	FORMACIÓN LA QUINTA	
PALEOZOICO			ESQUISTOS Y ROCAS CRISTALINAS	

Figura 1.4: Columna Estratigráfica del Campo Cabimas. [1]

1.2.1 Objetivos Geológicos del Proyecto

Los objetivos geológicos incluyen la delineación del tope y la base de las arenas B de la Formación Misoa del Eoceno y el tope de las arenas C. Estos objetivos están a profundidades entre 1300 y 3200 metros, corresponden aproximadamente a tiempos dobles entre 1000 y 1800 milisegundos (**Figura 1.5**).^[2]

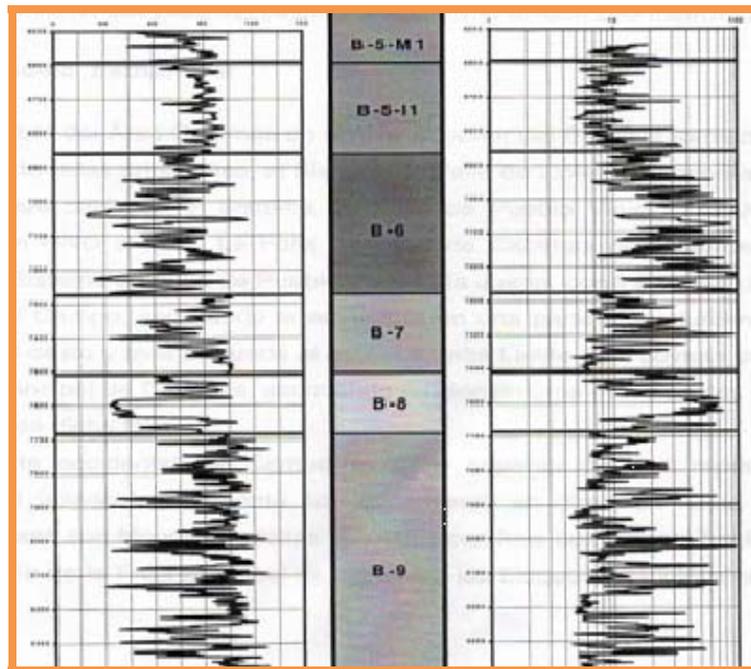


Figura 1.5: Columna Estratigráfica del Área a Explorar. Registro Tipo.^[2]

1.2.2 Modelo Estratigráfico

El miembro B-inferior de la formación Misoa del Eoceno, comprende desde la parte superior hasta la base, las unidades B-6 a B-9. Las unidades B-6, B-7 y B-8 de Misoa, muestran un espesor estratigráfico relativamente constante en todos los pozos. La unidad B-6 de Misoa está subdividida en cuatro unidades de flujo: B-6-Superior, B-6-Medio 1, el B-6-Medio 2, y el B-6-Inferior (**Tabla N° 1**).^[2]

Tabla 1.1: B-Inferior de Misoa: Espesores Estratigráficos (TST) Promedio.^[2]

Miembro B-Inferior de Misoa	TST Promedio (pies)
B-6	405
B-6-Superior	67
B-6-Medio 1	118
B-6-Medio 2	92
B-6-Intermedio	25
B-6-Inferior	102
B-7	240
B-8	180
B-9	870

1.2.3 Modelo Estructural

La estructura del área de Cabimas en el nivel superior del B-6 está formada por dos sistemas de fallas principales, el sistema de falla de Icotea con orientación SSO a NNE, que corre en el sistema de falla de Pueblo Viejo / Tía Juana con orientación NNO a SSE. La falla principal de Cabimas probablemente como parte del sistema de falla de Pueblo Viejo / Tía Juana, corre a través de la parte central del campo, separando la estructura en una parte más elevada al oeste y más profunda al este. La falla límite de Cabimas desplazó a principal de Cabimas, asumiendo movimientos de rumbo a lo largo de dicha falla.

En la parte occidental del campo, la parte superior del B-6, representa un monoclinall fallado internamente con buzamiento en dirección hacia el oeste, generalmente con bloques de fallas normales con leve buzamiento hacia el NNO y O. Al este de la falla principal de Cabimas, los bloques tectónicos se inclinan hacia el NNO. En la parte sur de la estructura, la falla principal de Cabimas y las fallas que

corren subparalelas al sistema de falla de Pueblo Viejo / Tía Juana, forman bloques de fallas estrechos y elongados con orientación NNO a SSE, los cuales están por lo general levemente inclinados hacia el NNO. La **Figura 1.6** muestra un mapa estructural correspondiente al Campo Cabimas.^[3]

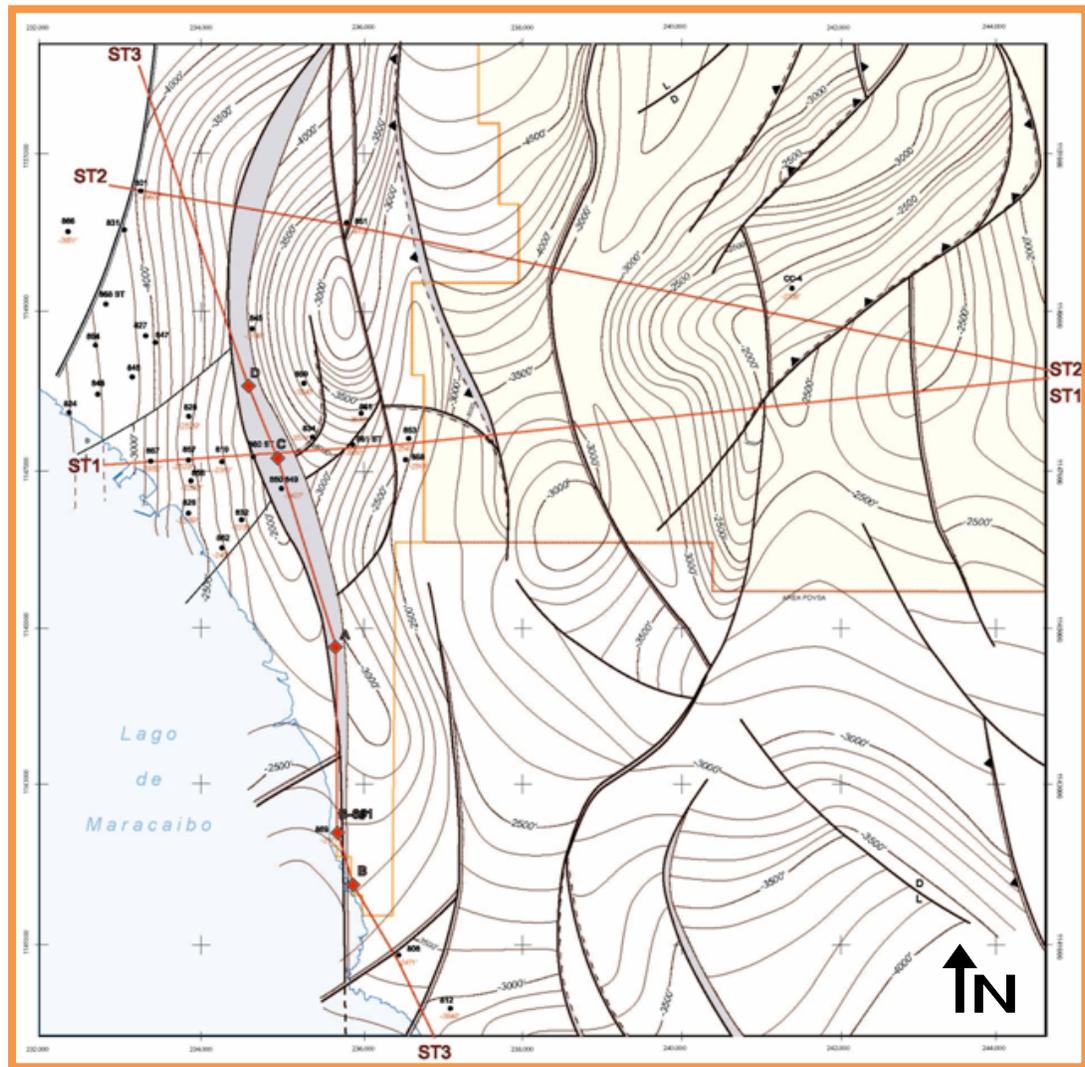


Figura 1.6: Mapa Estructural Correspondiente al Campo Cabimas.^[3]

1.3 UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y ASPECTOS AMBIENTALES

Desde el punto de vista geopolítico, el proyecto CAMPO COSTANERO BOLÍVAR se localiza en la costa oriental del lago de Maracaibo, en la jurisdicción de los municipios Cabimas y Santa Rita del Estado Zulia (**Figura 1.7**).

El mismo comprende e involucra una serie de comunidades tales como la ciudad de Cabimas, Parroquia Punta Gorda, Parroquia Jorge Hernández, asentamiento campesino Santa Ana, Km. 11, Km. 13 y Los Dulces, todas éstas pertenecientes al Municipio Cabimas, y el Caserío La Botijuela como única comunidad perteneciente al Municipio Santa Rita.



Figura 1.7: Ubicación Geográfica del Proyecto. ^[4]

Cabimas es considerada la segunda ciudad más importante del estado Zulia. Las principales rutas de acceso al proyecto son; Carretera Williams de Cabimas que

comunica la planta ULE con la carretera Lara–Zulia y Falcón-Zulia, carretera nacional Lara–Zulia y se identifica como una de las vías de mayor importancia en dicho proyecto por el flujo vehicular de la misma, camellones, trillas y vialidades internas de las fincas involucradas dentro del área del proyecto.

El área está conformada por terrenos de topografía variada entre plana, inclinada y ondulada con algunas zonas quebradas. Las características de los paisajes son zonas urbanas, distribuidas por barriadas, principalmente al oeste del proyecto próximo al área urbana de la ciudad de Cabimas, plantas eléctricas, fundos e invasiones.

La vegetación presente en el área se clasifica en tres zonas de vida: bosques muy secos tropicales, bosque seco tropical y bosque húmedo; en algunas áreas se presentan ciénagas, pastizales, y cultivo de maíz, yuca. La hidrografía es sumamente pobre, ya que no cuenta con cursos permanentes de agua. Además del río Mene, que sirve de límite con el municipio Santa Rita, destacan dentro de su superficie algunas quebradas y cursos intermitentes que no pueden considerarse como ríos.

Predomina un clima cálido seco la mayor parte del año, la temperatura general de la zona oscila más de 32 °C durante el año. Se presentan dos periodos de lluvias (Mayo y Octubre), con fuertes chubascos y la mayoría de los días soleados.^[4]

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

SUELOPETROL C.A.S.A.C.A., es la empresa venezolana líder en adquisición, procesamiento e interpretación sísmica en 2 y 3 dimensiones, fundada el 26 de enero de 1984 por iniciativa de inversionistas venezolanos para apoyar la expansión de la industria petrolera nacional. Ese mismo año SUELOPETROL fue contratada por

LAGOVEN para realizar un estudio en el norte del estado Monagas, de allí en adelante comenzó su exitosa carrera, caracterizada por la innovación en el uso de tecnologías y metodologías de estudio. Además de contar con un recurso humano capacitado que le ha permitido destacarse por la calidad de los datos adquiridos, aún en condiciones geográficas difíciles.

En 1997 SUELOPETROL se incorporó a las actividades de perforación y rehabilitación de pozos petroleros y en el año 2004 adquirió el 100% de los derechos del consorcio que opera el Campo Cabimas, teniendo la responsabilidad de todas las actividades de extracción y manejo de hidrocarburos para su posterior entrega a PDVSA.

En abril de 2006 se inicia la conversión de Convenio Operativo a empresa mixta con PDVSA, denominándose ésta PETROCABIMAS S.A. De esta manera, SUELOPETROL comparte con la estatal venezolana la responsabilidad de las operaciones del Campo Cabimas con un 40% de participación accionaria.

La empresa mixta PETROCABIMAS S.A., debido a la poca información sobre las características de los yacimientos hacia la zona este del campo y a la necesidad de incrementar el potencial de producción en 6000 barriles, se planteó iniciar una intensa actividad de exploración que permita identificar los yacimientos petrolíferos y de gas natural económicamente explotables hacia esta zona, por tal razón contrató en el año 2007 a SUELOPETROL, para realizar el servicio de adquisición de datos geofísicos denominado CAMPO COSTANERO BOLÍVAR.

Los datos obtenidos de métodos geofísicos pueden incrementar el valor de los activos en todas las etapas de la vida productiva de los yacimientos. Estos ayudan a refinar el modelo geológico de un área prospectiva y permiten entender mejor el

sistema petrolero, con lo cual se puede optimizar la selección de las localizaciones de los pozos a perforar y aportan información para el análisis de riesgo, proporcionando así parámetros básicos para las operaciones posteriores de perforación, producción y estudios integrados de yacimientos. Sin embargo, la adquisición integrada de datos geofísicos constituye una aplicación relativamente nueva dentro de los proyectos de exploración en Venezuela. El levantamiento CAMPO COSTANERO BOLÍVAR, donde se realizó la adquisición integrada de datos geofísicos (sísmica de reflexión 2D y 3D, Up Holes, Gravimetría y Magnetometría), contempló una serie de operaciones coordinadas que dependen de un buen sistema técnico, organizacional y logístico para la exitosa obtención de los datos requeridos.

Esta secuencia de procesos en la adquisición de datos geofísicos, junto a los diversos factores que influyen en la ejecución de los mismos, proporciona información de soporte para la interpretación de tales datos. Lo cual conlleva a realizar como trabajo de grado, un análisis descriptivo de los métodos geofísicos aplicados en el proyecto CAMPO COSTANERO BOLÍVAR, jerarquizando factores relevantes durante el desarrollo del mismo, y analizando los datos obtenidos de manera combinada, a fin de; ampliar los conocimientos que se tienen sobre estas actividades, contar con información de soporte para la interpretación de los datos y futuros proyectos en el área, y de comprender la contribución de la combinación de métodos geofísicos, en la identificación de rasgos estructurales importantes para la refinación de modelos geológicos.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General

Analizar descriptivamente los métodos geofísicos aplicados en el proyecto Campo Costanero Bolívar estado Zulia, para la comprensión estructural de áreas prospectivas.

1.5.2 Objetivos Específicos

1. Estudiar los procesos de adquisición de datos geofísicos y parámetros que fueron aplicados en el proyecto Campo Costanero Bolívar.
2. Jerarquizar los factores que incidieron en el desarrollo del proyecto.
3. Analizar el empleo de información combinada de los datos geofísicos obtenidos, en la comprensión estructural del área en estudio.
4. Presentar estrategias que contribuyan al mejoramiento en efectividad de los proyectos exploratorios en Venezuela.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 MÉTODOS GEOFÍSICOS

La comprensión de la aplicación de los métodos geofísicos comienza en el entendimiento de las anomalías geofísicas. Se entiende por anomalía geofísica la desviación de la uniformidad de las propiedades físicas, de interés en exploración; por ejemplo, una anomalía del tiempo de viaje de las ondas sísmicas, anomalía de Bouguer, anomalía de aire libre. Anomalía es una sección de la exploración geofísica, la cual puede ser magnética, gravimétrica, etc., la cual es diferente en apariencia a la exploración en general. En sísmica, es sinónimo de estructura, en minería es sinónimo de acumulación de minerales.

La detección de una anomalía geofísica puede significar el descubrimiento de una formación geológica, prospectiva para la acumulación de hidrocarburos, y por lo tanto apta para la explotación industrial. Además la información aportada por una prospección permite caracterizar el terreno de acuerdo con ciertos parámetros físicos, lo cual es un valioso apoyo para tomar decisiones acertadas en cuanto al uso del subsuelo y para generar estrategias de desarrollo de campos petroleros. ^[5]

2.1.1 Método Sísmico

2.1.1.1 Aspectos Teóricos:

2.1.1.1.1 Ondas Sísmicas

Los esfuerzos temporales aplicados a un medio, generan perturbaciones u ondas que se transmiten a través del mismo, ocasionando movimiento de las partículas que lo conforman en dirección de la fuerza aplicada, volviendo el medio a sus condiciones de inicio, siempre y cuando el límite elástico no sea excedido. Las ondas sísmicas son ondas “mecánicas y elásticas”, ya que causan deformaciones no permanentes en el medio en que se propagan. La deformación constituye una alternancia de compresión y dilatación, de tal manera que las partículas del medio en que se propagan se acercan y se alejan, respondiendo a las fuerzas asociadas con las ondas. La ecuación que describe por la ecuación de ondas, la cual tiene su base en los principios de esfuerzo y deformación aplicados a materiales, aún cuando las rocas sedimentarias que son las estudiadas para efectos de la prospección sísmica, difícilmente se constituyen en un medio isotrópico u homogéneo. Bajo las asunciones anteriores las velocidades de propagación de los pulsos sísmicos están determinadas por los módulos elásticos y las densidades de los materiales a través de los que pasan. Existen dos tipos fundamentales de ondas sísmicas: ondas internas o de volumen y ondas de superficie.

Se pueden identificar las funciones correspondientes y concluir que dos tipos de ondas pueden ser propagadas en un medio homogéneo e isotrópico, uno corresponde a los cambios en la dilatación, y el otro a los cambios en uno o más componentes de la rotación. El primer tipo es conocido como Ondas-P ó Primarias, que usualmente son el primer evento grabado en los registros sísmicos y causan que las partículas se muevan longitudinalmente en la dirección de propagación. Viajan pasando a través de un medio elástico. Este tipo de ondas son las predominantes asociadas a la energía de reflexión sísmica y viajan a través de un sólido a más alta velocidad que las ondas transversales o de corte. Al menos en sísmica terrestre, los receptores sísmicos (geófonos) están especialmente diseñados para las ondas longitudinales y no responden a las ondas transversales.

El segundo tipo también es conocido como Ondas-S. Las Ondas-S ó Secundarias usualmente son el segundo evento observado en un registro sísmico y causa que las partículas se muevan en ángulo recto respecto a la dirección de propagación de la onda.^[7]

En un medio infinitamente homogéneo e isotrópico, únicamente existen las Ondas-P y las Ondas-S. Sin embargo, cuando el medio no se extiende al infinito en todas direcciones, sino que está limitado por una superficie, se pueden generar otros tipos de ondas. Estos tipos de ondas son denominadas ondas superficiales pues están confinadas a las vecindades de una de las superficies que limitan al medio. En exploración sísmica, el único tipo de onda superficial de importancia es la onda Rayleigh, la cual viaja a lo largo de la superficie de la tierra, involucrando una combinación de movimientos longitudinales y transversales con una definida relación de fase una de otra.^[6]

2.1.1.1.2 Velocidad de Ondas Compresivas

Debido a su variada composición, textura (forma de grano y empaquetado), propiedades y contenido de fluidos en los poros, las rocas varían en su módulo elástico y densidades, e incluso, en sus velocidades sísmicas. La información sobre la velocidad de las ondas compresivas de las capas de rocas que proporciona la prospección sísmica es importante por dos razones:

1. Es necesaria para la conversión de los tiempos de viaje de las ondas sísmicas en profundidades.
2. Proporciona información sobre la litología, e incluso, la naturaleza del fluido contenido en el interior de los poros.

La función de velocidad es la variación de la velocidad con la profundidad, y establece un incremento sistemáticamente razonable conforme vamos a mayores profundidades.

2.1.1.1.3 Atenuación de la Energía Sísmica

Cuando una onda sísmica se propaga, la energía original generada por la fuente se propaga en todas direcciones en forma de una esfera cuyo radio va aumentando; debido al efecto de la expansión geométrica la energía disminuirá a medida que aumenta el radio, ya que el área se hace mayor para la misma cantidad de energía. En otro orden de ideas, la amplitud disminuye proporcionalmente a la distancia de la fuente, y este efecto es llamado divergencia esférica de la energía. También hay pérdida de la energía debido a la absorción en las capas y a la disipación por fricción como calor, debido a que la Tierra no es perfectamente elástica ni homogénea. Esta forma de pérdida de energía es llamada atenuación inelástica.^[6]

2.1.1.1.4 Partición de la Energía en una Interfase

Cuando una onda encuentra un cambio abrupto en las propiedades elásticas, como cuando arriba a la superficie que separa dos capas de rocas distintas, parte de la energía es reflejada y permanece en el mismo medio como la energía original; el resto de la energía es refractada dentro del otro medio con un abrupto cambio en la dirección de propagación que ocurre en la interfase entre ambas capas de roca. Los productos de las densidades de los medios por sus velocidades correspondientes son conocidos como impedancia acústica, de las que se derivarán los coeficientes de reflexión y de transmisión. Éstos son indicativos de la magnitud de la reflexión o transmisión de la energía cuando llega a la interfase.

En adquisición sísmica la información estructural es derivada de trayectorias que caen principalmente dentro de dos categorías:

Trayectorias de ondas refractadas en las que la principal porción de la trayectoria es a lo largo de la interfase entre dos capas de roca y es aproximadamente horizontal. **Trayectorias de ondas reflejadas** en las que la onda viaja hacia abajo inicialmente y en algún punto es reflejada de regreso a la superficie (**Figura 2.1**).

El **principio de Huygens**, el cual establece que cada punto sobre un frente de onda puede ser considerado como una nueva fuente de ondas, junto al **principio de Fermat** según el cual el movimiento ondulatorio entre dos puntos sigue la trayectoria de tiempo mínimo, derivan las leyes de reflexión y refracción.

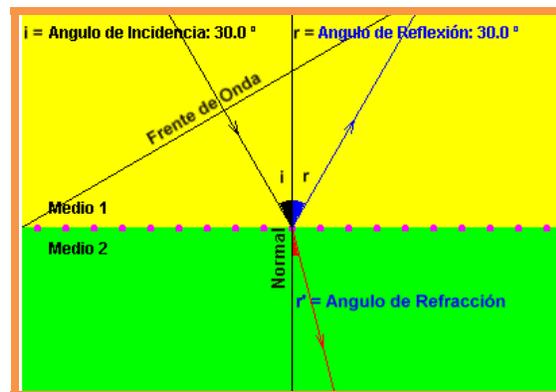


Figura 2.1: Ilustración de Trayectoria de Ondas. Principio de Huygens. [6]

2.1.1.1.5 Relación Señal-Ruido

Se define como la relación entre la energía reflejada por los eventos deseados y la energía restante. En sísmica se denomina señal a las reflexiones generadas por los eventos sísmicos de interés, mientras que se denomina ruido a aquellos eventos no deseados que perturban la visualización de la señal en el registro sísmico. La

reducción del ruido es una de las metas más importantes de los procesos de adquisición y procesamiento sísmico.^[7]

De acuerdo a su causa, el ruido se puede clasificar de la siguiente manera:

a) Ruido Ambiental:

- Microsísmica.
- Viento.
- Factores culturales (carros, equipos de producción, etc.).

b) Ruido Relacionado con el Tipo de Fuente:

- Ondas de superficie.
- Refracciones someras.
- Múltiples refracciones-reflexiones.

c) Ruido Instrumental.

Otra manera de catalogar el ruido es como ruido coherente o incoherente.^[7]

2.1.1.1.6 Fuentes de Energía Sísmica

Las principales propiedades de una fuente de energía sísmica son: Energía, Rango de Frecuencias, Forma de la Onda, Repetitividad, Aspectos de Resolución, Costo y aplicación en el campo.

Las principales fuentes sísmicas terrestres son:

Impacto: Martillo, Caída de Gota, Caída acelerada.

Impulsivas: Dinamita, Cordón Detonante, Cañón de Aire, Cañón de Disparo.

Vibratorias: Camiones Vibradores, Generador de Onda de Rayleigh.

En adquisición sísmica terrestre las fuentes mayormente utilizadas son la dinamita y los camiones vibradores.^[7]

2.1.1.1.7 Receptores Sísmicos

Similar a la fuente, para registrar las ondas sísmicas tanto en tierra como en agua son diseñados dispositivos especiales, los cuales deben cumplir con una serie de parámetros para la correcta grabación de la señal. En tierra se le denomina Geófonos, en agua son llamados Hidrófonos.

Casi todos los geófonos empleados para la prospección sísmica en la superficie terrestre son del tipo electromagnético. Estos geófonos son transductores de velocidad y están basados en el principio de electromagnetismo de una bobina móvil suspendida por un sistema de resortes en un campo magnético generado por un imán permanente que se considera fijo, ya que está ajustado al terreno por medio de una clavija. El paso de una onda sísmica por la superficie, genera un desplazamiento físico del suelo, el cual mueve el casco del geófono y el imán de manera conjunta, pero en sentido relativo a la bobina debido a su inercia. Este movimiento relativo del imán permanente con respecto a la bobina, resulta en un pequeño voltaje generado a través de los terminales de la bobina en proporción a la velocidad relativa de los dos componentes (**Figura 2.2**).^[7]

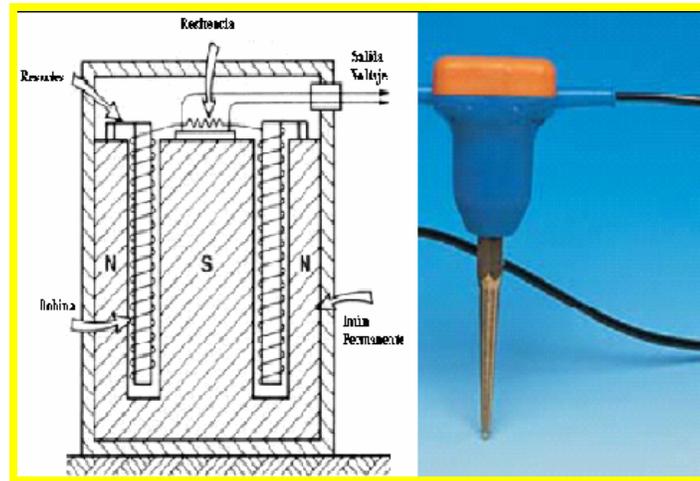


Figura 2.2: Geófono. ^[8]

2.1.1.1.8 Punto Medio Común y Punto Medio Común en Profundidad

Cuando se cuenta con reflectores horizontales, las trazas originadas por diferentes pares fuente-receptor tienen en profundidad puntos medios comunes de reflexión; recordemos que la traza de un par fuente-receptor seguirá la trayectoria de tiempo más corta. Por tal razón en este caso de reflectores horizontales el punto medio originado por la secuencia de trayectoria más corta, coincide con el punto medio común en profundidad denominado CDP por sus siglas en inglés.

El caso contrario ocurre cuando existen reflectores inclinados, ya que el punto medio común de trayectoria más corta de la onda, no coincide con el punto medio común en profundidad (**Figura 2.3**).

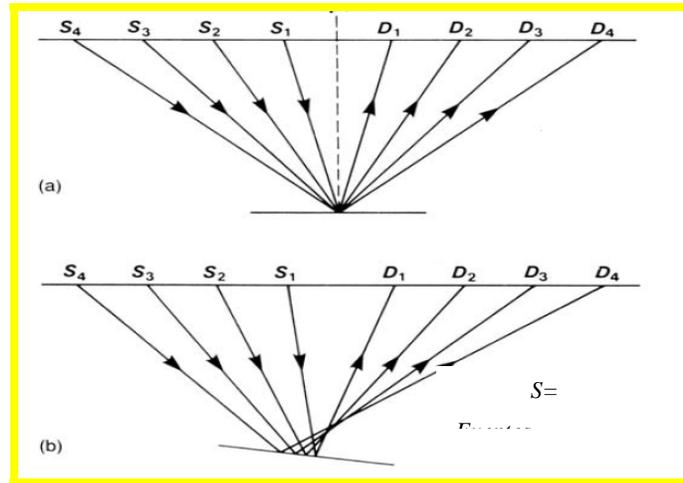


Figura 2.3: Ilustración Punto Medio Común y Punto Medio Común en Profundidad. [8]

El número de veces que un punto es muestreado depende de la relación entre la separación de las estaciones de grabación, la separación entre las fuentes consecutivas, y del número de canales de grabación disponibles. Este número es llamado comúnmente cobertura y viene dada por:

$$Cobertura = \frac{1 * (N^{\circ} _Estaciones) * (Intervalo _Receptores)}{(Intervalo _Fuentes)}$$

(Ec 2.1)

La cobertura es un factor muy importante en sismica de reflexión y es un medio mediante el cual el método del punto medio común en profundidad aumenta la relación señal ruido, ya que aumenta el número de trazas que muestrean un mismo punto, lo cual da mayor redundancia a la señal. A la vez este método tiene una desventaja importante para casos de buzamientos complejos, los puntos medios en superficie no corresponden con puntos comunes en el subsuelo, y cualquier procesamiento que asuma esta igualdad estará deteriorando la información, por lo

cual en estos casos es necesario utilizar artificios que migren los eventos al lugar correspondiente a la reflexión.^[8]

2.1.1.2 Sísmica 3D

Los rasgos geológicos del subsuelo que son de interés en exploración de hidrocarburos (trampas estructurales y estratigráficas), son tridimensionales al igual que la propagación de ondas en el mismo. Es por ello que la mejor manera de obtener una imagen del subsuelo, es realizando un estudio sísmico 3D. Aunque existen varios esquemas de diseño para adquisición sísmica 3D, en áreas terrestres es común la realización de levantamientos sísmicos ortogonales, donde las líneas de estaciones fuentes o de tiro son perpendiculares a las líneas de estaciones receptoras.

Es necesario, para la realización de un estudio sísmico 3D, establecer claramente las razones por las cuales el mismo se desea llevar a cabo, puede ser por motivos exploratorios como definición de estructuras, fallas o estratigrafía, o por razones de explotación como caracterización y monitoreo de reservorios, perforación direccional, etc. Un estudio sísmico debe ser diseñado de acuerdo a la zona de interés; en el que parámetros como cobertura, tamaño de cajetines y rango de desplazamientos (distancia fuente-receptor), necesitan ser relacionados con el objetivo principal. Por ejemplo las direcciones de los principales rasgos geológicos como canales o fallas, pueden influenciar la dirección de las líneas fuentes y receptoras; objetivos someros requieren desplazamientos cercanos muy cortos.

La **Figura 2.6** muestra una vista en planta de un diseño sísmico 3D ortogonal el cual muestra la mayoría de los parámetros empleados. A lo largo de una línea receptora, se encuentran estaciones de receptores (cada una compuesta por un grupo de geófonos o ristra), igualmente espaciadas; esta separación es igual al doble de la

dimensión del cajetín en sentido paralelo a las líneas receptoras. La línea de tiro por el contrario contiene las estaciones fuentes, igualmente espaciadas, y cuyo intervalo de separación es igual al doble de la dimensión del cajetín en dirección perpendicular a las líneas receptoras.

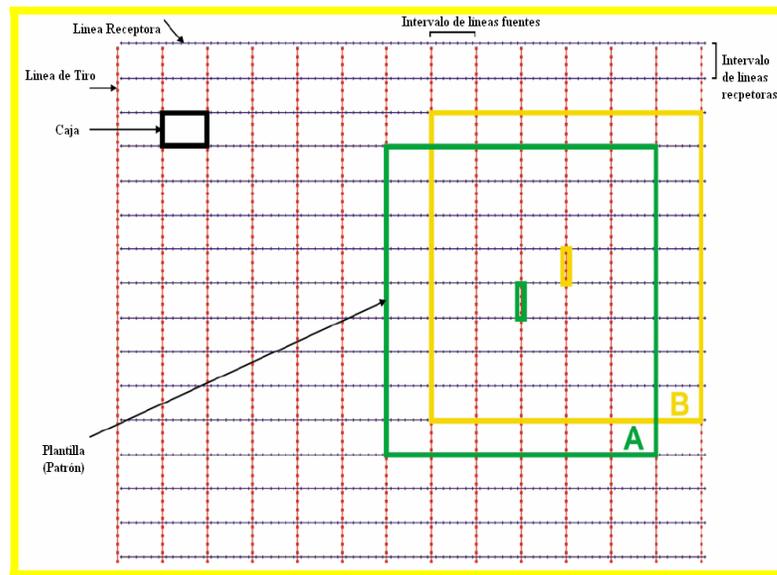


Figura 2.6: Diseño Sísmico 3D Ortogonal. ^[9]

El “*patch*” se refiere a las estaciones receptoras que se encuentran encendidas y graban la información en el momento que se detona o se vibra según sea la fuente utilizada. El “*patch*” usualmente forma un rectángulo que se mueve a lo largo del área de estudio y ocupa diferentes posiciones de la plantilla (“*Template*”), a medida que se mueve el salvo, el cual es el número de fuentes detonadas o vibradas antes de que el “*patch*” sea movido. La plantilla es la suma del “*patch*” más el salvo. Los datos son grabados en campo utilizando diferentes pares fuente-receptor aplicando el método del punto medio común mencionado anteriormente.

Un cajetín es un área rectangular pequeña cuyas dimensiones dependen de los intervalos entre estaciones fuentes y receptores. Todas las trazas que caen en esta área pertenecen a un mismo punto medio común.

La cobertura es el número de veces que un punto es muestreado en el subsuelo, es decir, corresponde al número de trazas que comparten un mismo cajetín. La cobertura depende de la relación entre la separación entre estaciones receptoras, la separación entre las estaciones fuentes y el número de canales de grabación. Generalmente se trabaja con una cobertura promedio en cualquier estudio, aunque en realidad la cobertura varía de cajetín a cajetín, y la misma será mayor en el centro del proyecto, cayendo a valores unitarios en los bordes del levantamiento.

La caja o celda unidad se refiere al área limitada por dos líneas fuentes adyacentes y dos líneas receptoras adyacentes. En esta celda se pueden representar las estadísticas de la adquisición. El cajetín que se encuentra exactamente en el centro de la caja tiene contribuciones de muchos pares de fuentes receptoras; la traza con el desplazamiento más corto perteneciente a ese cajetín, tiene el desplazamiento mínimo más largo del estudio. Es decir, de todos los desplazamientos mínimos en todos los cajetines, el que se encuentra en el cajetín del centro de la celda unidad o caja, tiene el máximo desplazamiento mínimo X (**Figura 2.7**).

El término “*preplot*” es utilizado para definir el esquema del levantamiento con las coordenadas teóricas de las estaciones, es decir, sin que hayan sido levantadas topográficamente. El término “*postplot*”, al contrario es utilizado para diferenciar el mapa de estaciones fuentes y receptoras, una vez levantadas topográficamente, y que hayan sido desplazadas las que ameriten serlo debido a parámetros ambientales y culturales.

El desplazamiento máximo depende de la estrategia de disparo y del ancho del “*patch*”. Generalmente el desplazamiento máximo es la mitad de la diagonal del “*patch*”.

El “*swath*” se refiere al ancho del área sobre la cual las fuentes están siendo disparadas.^[9]

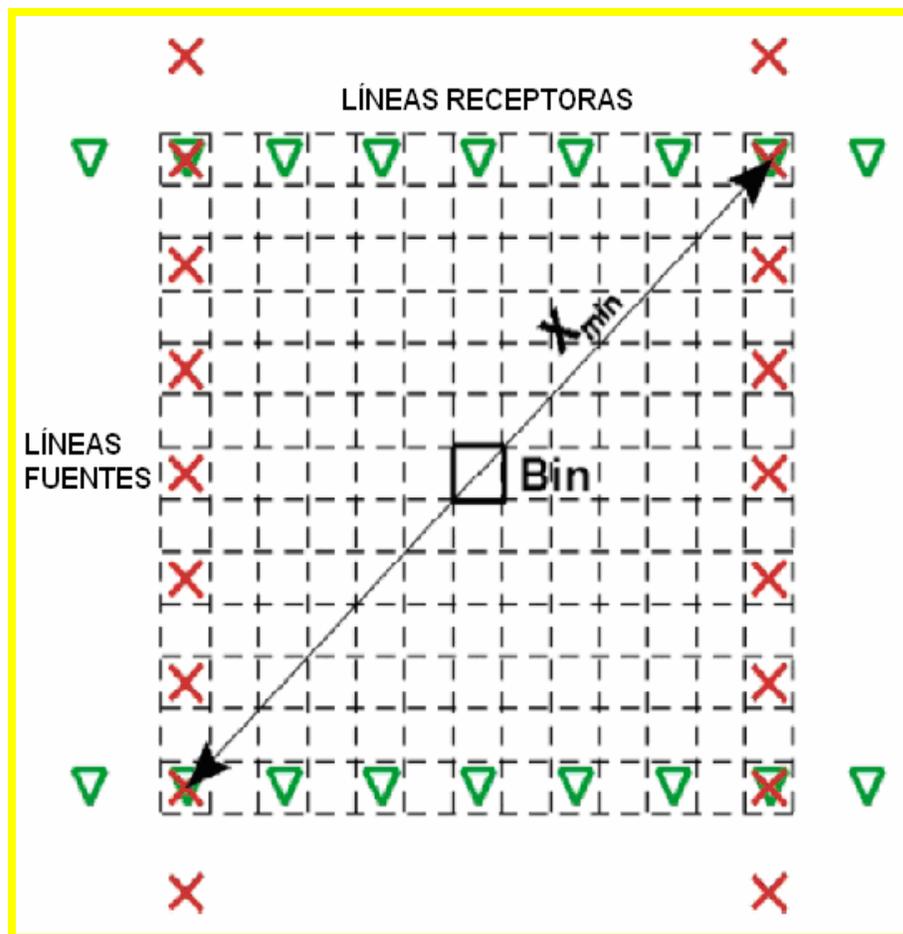


Figura 2.7: Celda Unidad.^[9]

2.1.1.3 Adquisición Sísmica en el Proyecto Campo Costanero Bolívar

2.1.1.3.1 Topografía

Esta fase consistió en el levantamiento topográfico de estaciones fuentes y receptores, mediante la técnica convencional (Teodolitos) y la técnica GPS. Al inicio de las actividades de la fase topográfica, se definen una serie de parámetros geodésicos que se adaptan a las características locales. Para facilitar un trabajo topográfico de envergadura, Se estableció como sistema referencial el datum WGS-84, y el Modelo Geodial MGCV04 para el cálculo de alturas ortométricas. Así también se estableció un sistema de vértices geodésicos, los cuales sirvieron de punto de partida para la medición de las líneas sísmicas y para la delimitación del polígono del área del proyecto.

Se establecieron 6 vértices geodésicos utilizando el método GPS estático, técnica ampliamente utilizada por su exactitud y precisión. Estos seis vértices conformaron la red primaria para su posterior densificación (**Figura 2.8**).

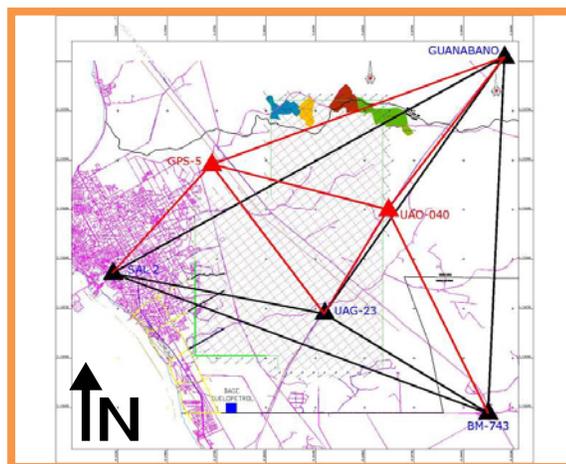


Figura 2.8: Red Geodésica del Proyecto. ^[10]

A medida que estaciones fuentes no cumplen con las distancias de seguridad permitidas por parámetros ambientales y culturales (**Figura 2.9**), se levantan topográficamente estaciones en “*Offset*” o desplazadas, a fin de asegurar las distancias de seguridad mínimas establecidas. El procedimiento consistió en examinar primeramente la zona circundante a estaciones con obstáculos dentro de los límites establecidos, evaluando seguidamente la posibilidad de desplazar las estaciones en sentido “*in-line*”, para asegurar la permanencia del disparo dentro del “*Swath*” original, o en “*L*”, esto es, involucrando desplazamiento tanto en sentido “*in-line*” como “*cross-line*”, lo cual representó el movimiento de algunas estaciones fuentes fuera del “*Swath*” inicial pero manteniendo su geometría original de grabación. Cuando no fue posible el levantamiento de estaciones con ninguna de las opciones permitidas, estas fueron declaradas como “*skip*”, un “*skip*”, representa una estación que no puede ser levantada debido a que no cumple con ninguno de los parámetros ambientales bajo ninguna opción, y por tanto no es grabada.

DISTANCIAS DE SEGURIDAD FUENTE – OBSTACULO OPERACIONES CON EXPLOSIVOS PROYECTO CCB-06E-3D	
Morichales	300 m.
Bordes de Cárcavas, Mesas o Farallones	300 m.
Manantiales y Nacientes	300 m.
Lagunas naturales	100 m.
Lagunas artificiales, Tapones	200 m.
Préstamos de tierra	180 m.
Ríos navegables	100 m.
Ríos intermitentes, No navegables, Quebradas	80 m.
Pozos de agua, Tanques y Cisternas	120 m.
Plantas y Estaciones	50 m.
Pozos petroleros	50 m.
Tuberías enterradas	50 m.
Tuberías superficiales	30 m.
Líneas de Alta Tensión	80 m.
Líneas Eléctricas	20 m.
Casas de bloques y/o madera	160 m.
Casas de barro	120 m.
Carreteras asfaltadas	25 m.
Camellones	15 m.
Trillas	3 m.
Puentes	50 m.
Bebederos de cemento	160 m.
Construcciones con base de concreto	100 m.
Línea telefónica enterrada	20 m.

Figura 2.9: Distancia de Seguridad. Fuente Dinamita. ^[11]

2.1.1.3.2 Perforación

Esta fase consistió en la perforación de pozos someros para introducir el explosivo fuente. La profundidad de la perforación fue un parámetro escogido por el cliente luego de pruebas experimentales, así también el patrón de perforaciones por estación y la cantidad de carga a utilizar. Por lo general y en sentido lógico, el explosivo a la hora de ser detonado debe estar por debajo de la capa de meteorizada a fin de evitar la disipación de energía en esta zona por bajas velocidades debido a su poca compactación. En caso contrario se busca compensar esa pérdida de energía agregando más carga por estación fuente. En el levantamiento se aplicaron 2 patrones de perforación, un patrón para estaciones normales y otro para Offset (**Figura 2.10 y Figura 2.11**).

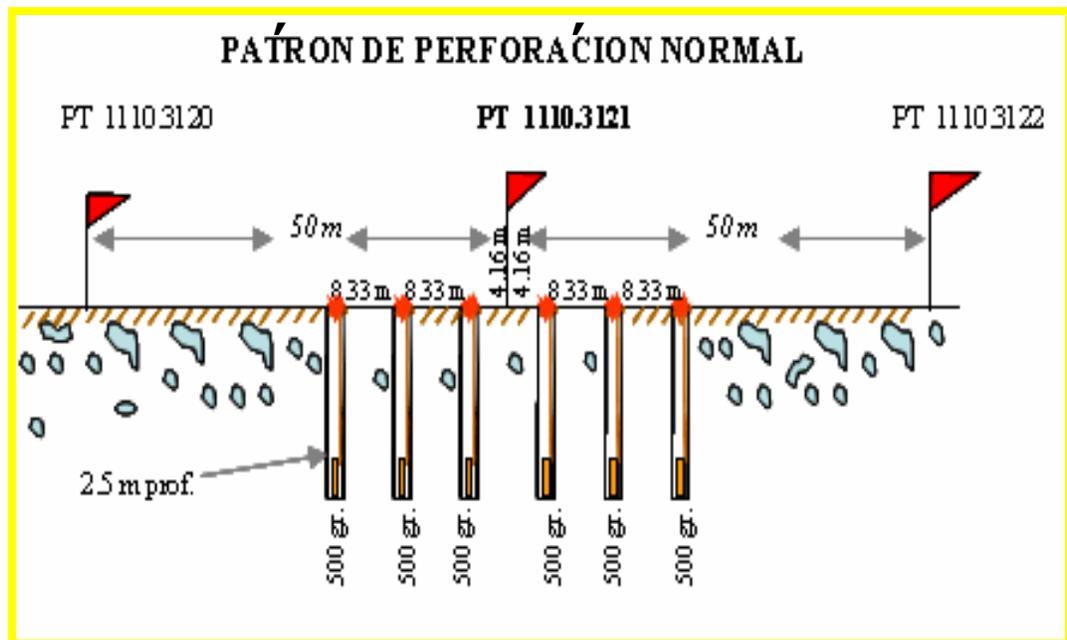


Figura 2.10: Patrón de Perforación Normal. ^[11]

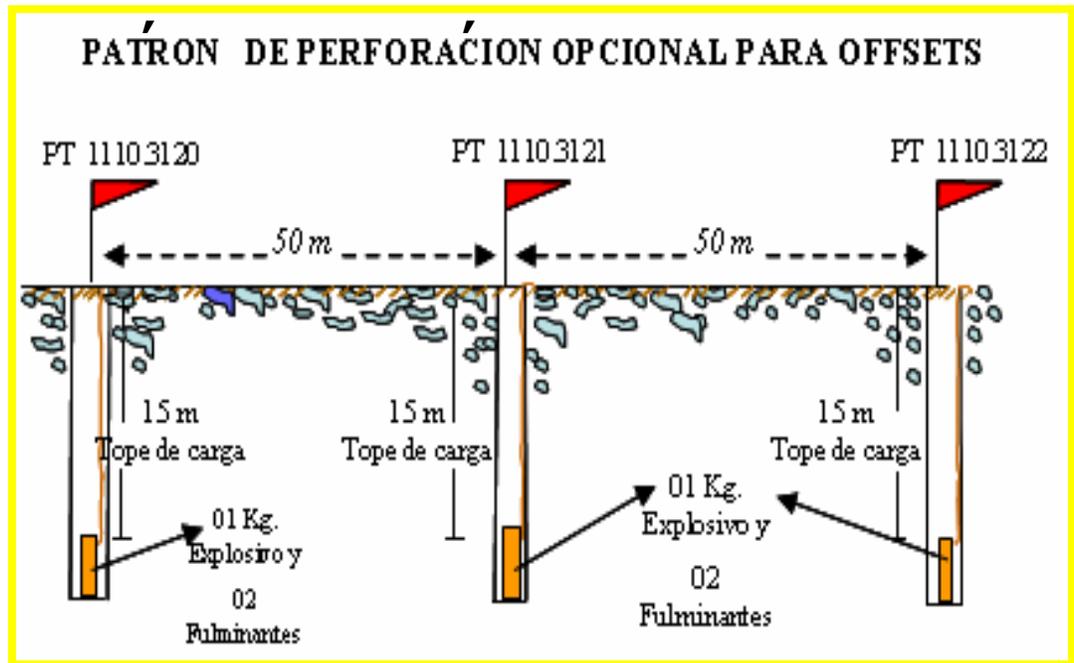


Figura 2.11: Patrón de Perforación para “Offsets”. ^[11]

Tres tipos de equipos fueron utilizados para realizar las perforaciones; tractor, “buggies” y equipos portátiles. La diferencia entre estos es la capacidad y rapidez de la perforación y que los primeros dos utilizan tractores con equipos que permiten una perforación mecanizada, mientras que el equipo portátil requiere de la agilidad y fuerza aplicada por los perforadores, sin embargo presenta la ventaja de ser utilizado en zonas montañosas y de difícil acceso, donde se hace imposible la utilización de equipos mecanizados (**Figura 2.12**). Una vez perforado cada pozo, se realiza el taqueado, lo cual consiste en la colocación (por una persona previamente entrenada para esta tarea) de la carga a la profundidad establecida, y el taponamiento del pozo con arena y grava hasta lograr un buen nivel de compactación que evitase el posterior soplo del pozo, es decir, la brusca expulsión del material de taqueo a la hora de la detonación. Esto juega un papel importante en la calidad de los datos puesto que un pozo soplado ocasiona pérdida de energía y por tanto bajas amplitudes de la señal.



Figura 2.12: Equipos de Perforación Utilizados en el Proyecto. ^[11]

Las condiciones del terreno influyen en la calidad del hoyo. Hoyos derrumbados ocasionan un atascamiento de la carga y/o ubicaciones de ésta por encima de la profundidad establecida, esto de no ser reportado podría acarrear problemas en el procesamiento, a la hora de hacer las correcciones para referenciar los puntos de disparo a un mismo datum.

2.1.1.3.3 Grabación

La adquisición o grabación de datos sísmicos de reflexión constituye la fase más crítica de un levantamiento sísmico. Luego de esta etapa y de la validación de datos por parte del centro de procesamiento de campo, solo resta la entrega al cliente de los productos finales del levantamiento. La grabación se subdividió en tres fases, las cuales fueron; regada, grabación y recogida. Cada una de las cuales se fue desarrollando de acuerdo a la metodología operativa empleada para realizar esta fase

del proyecto. La planificación de esta metodología operativa dependió de parámetros de campo tales como; la geometría de grabación, parámetros de bloque, y de factores ambientales y culturales. La eficacia en la metodología empleada en un levantamiento sísmico puede optimizar recursos y disminuir gastos importantes sin que esto conlleve a una disminución en la calidad de los datos finales, siempre y cuando se consideren todos los factores involucrados en el proceso.

Para efectuar la adquisición de los datos, primeramente se considera la geometría de grabación. La geometría de grabación muestra el esquema de disparo, así como la cantidad de líneas receptoras y canales activos al momento de disparar los puntos fuentes de un salvo (**Figura 2.13**). Cuando esta geometría de grabación es alcanzada totalmente al momento de la grabación se dice que existe “*Full Spread*”, lo cual se logra cuando el avance se encuentra en las partes más céntricas del proyecto. La manera en la cual es introducida la geometría al equipo de grabación es mediante el archivo *SPS* generado previamente por el departamento de Sismología, el cual contiene tres subarchivos; el S que contiene las coordenadas de los puntos fuentes, el R que contiene las coordenada de las estaciones receptoras, y el X que es un archivo que relaciona las distancias y coordenadas de cada fuente con los receptores que deben estar encendidos para su grabación según la geometría.

La **Figura 2.13** muestra la geometría de grabación aplicada en el Proyecto Campo Costanero Bolívar, en la misma se observa la cantidad de líneas receptoras y de canales activos para la grabación de un salvo.

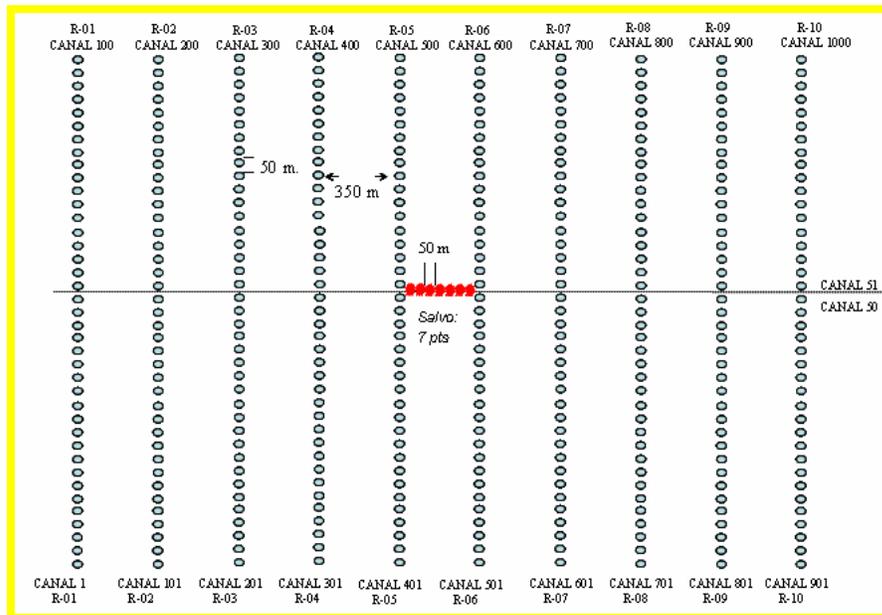


Figura 2.13: Geometría de Grabación. [11]

Las ristras consistieron en conjuntos de seis geófonos o hidrófonos de acuerdo a la superficie (suelo compacto o pantanoso) colocados en serie, de forma lineal o agrupada por estación receptora y enterrados 10 cm. Se utilizó un tendido híbrido, involucrando esto dos tipos de cableado; telemétrico y fibra óptica. Debido a que la diferencia entre ambos tipos de cableado es la velocidad de transmisión de información, se contó con una interfase (LAUX428) que permitió la conversión de la señal de un medio al otro. El tendido telemétrico fue regado a lo largo de las líneas receptoras, mientras que se utilizó el cable de fibra óptica para enviar la información de las líneas hasta el camión de grabación. Para conectar las líneas receptoras entre sí, se utilizaron cajas de cruce (unidades LAUX408 y LAUX428).

La detonación la realiza el Observador desde Casa Blanca (Camión con equipo de grabación). La señal es detectada por los geófonos activados para ese salvo durante el tiempo de grabación establecido en milisegundos, suficiente para permitir visualizar

la señal generada por el objetivo más profundo, y transmitida por el cableado hasta el equipo de grabación, donde se observan los monitores y se hace el respectivo control de calidad, identificando anomalías en los equipos y zonas ruidosas (**Figura 2.14**).

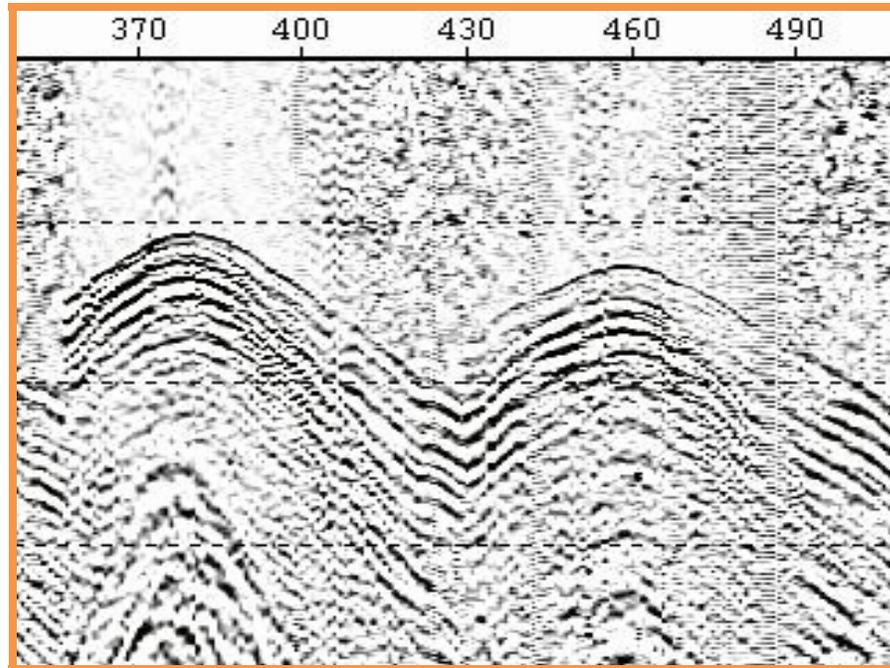


Figura 2.14: Monitor de Grabación. Fuente Dinamita.^[11]

Solamente fueron grabadas 29 estaciones con camiones vibradores, utilizando un patrón de barrido establecido por el cliente previamente de 4 y 3 camiones vibradores. En la grabación con vibroseis el equipo de grabación emite una señal de radio que activa los camiones al mismo tiempo (similaridad) para el vibrado durante el tiempo de grabación establecido. La diferencia de este tipo de fuente con el explosivo es la energía emitida, la fase y los tiempos de llegada. La ventaja de utilizar camiones vibradores es el menor costo y la desventaja principal es la accesibilidad. Factores como la conversión a la misma fase de los registros con dinamita (Fase mínima) y la corrección de los tiempos de llegada fueron realizados posteriormente en el procesamiento de campo (**Figuras 2.15 y 2.16**).



Figura 2.15: Camiones Vibradores. ^[11]

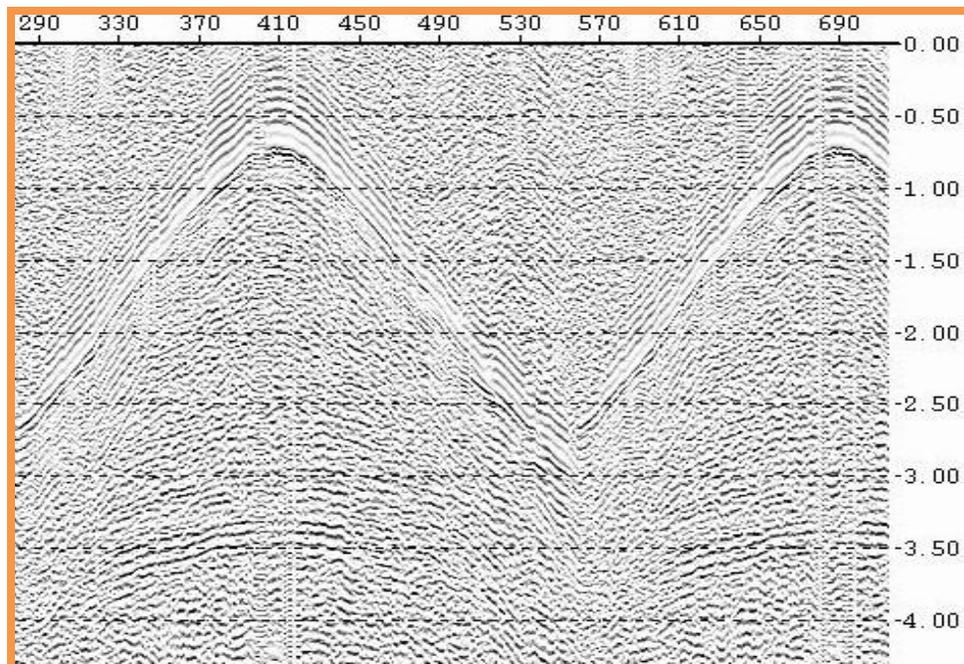


Figura 2.16: Monitor de Grabación. Fuente: Vibradores. ^[11]

2.1.1.3.4 Procesamiento Sísmico en Campo

Este se realiza con la finalidad de hacer un control de calidad de los datos adquiridos, generando secciones sísmicas apiladas o “Brutestack”. La secuencia se realiza cada vez que se cuenta con un volumen considerable de datos, como para obtener una buena relación señal/ruido. Además se lleva a cabo con parámetros flexibles, a diferencia de un procesamiento sísmico tradicional.

En esta fase es importante a rasgos generales:

1. Seleccionar una apropiada secuencia o flujo de procesamiento de los datos.
2. Seleccionar un apropiado conjunto de parámetros para cada etapa del procesamiento.
3. Evaluar los resultados en cada etapa del procesamiento sísmico, y diagnosticar problemas relacionados con una inadecuada selección de parámetros.

El control de calidad y procesamiento de los datos sísmicos se sustentó en los siguientes estándares y manuales de procedimiento:

- Estándares de Presentación del Dato Sísmico en Venezuela (Ministerio de Energía y Petróleo, versión revisión año 2002).
- Estándares SEG.
- Manual de Procedimiento Control de Calidad y Procesamiento de Campo.

2.1.2 Método Gravimétrico

2.1.2.1 Principios Teóricos

Las variaciones en el campo gravitacional terrestre se pueden estimar a través de la prospección gravimétrica. El objetivo es el de estudiar las variaciones de densidad de las rocas que se encuentran en el subsuelo, sin embargo las anomalías observadas en el campo gravitatorio no sólo se deben a diferencias de densidad, también influyen aspectos como; la elevación, las mareas, la deriva instrumental, la latitud, etc. La geofísica se encarga de determinar las causas de esas variaciones, a fin de aislar aquellas que son producidas por las diferencias de masas presentes en el interior de la Tierra.

La fuerza de atracción gravitatoria involucra el movimiento de los cuerpos celestes, y la aceleración de las masas que caen sobre la superficie terrestre. La ley gravitacional universal fue deducida por Isaac Newton, y enuncia que la fuerza de atracción entre dos partículas de masas m_1 y m_2 es directamente proporcional al producto de las masas, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre los centros de masas de las partículas en cuestión.

$$F = G * \frac{(m_1 * m_2)}{r^2} \quad \text{N} \quad \text{(Ec. 2.2)}$$

F: Fuerza de atracción de masas (Newton)

G: constante de gravitación ($\text{N.m}^2/\text{Kg}^2$)

m: masa de cuerpo (Kg)

r: distancia entre los cuerpos (m)

Donde F es la magnitud de la fuerza de atracción entre ambas masas m_1 y m_2 , r es la distancia entre los centros de gravedad de ambas, y G es la constante de gravitación universal. La cual tiene un valor de $6.67259 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{Kg}^2$.

La aceleración de m_2 debido a la presencia de m_1 puede ser hallada por la segunda ley de Newton, la cual dice que la fuerza es igual a la masa multiplicada por la aceleración.

$$g = \frac{F}{m_2} = G \frac{m_1}{r^2} \text{ m/s}^2 \quad (\text{Ec. 2.3})$$

F : Fuerza de atracción de masas (Newton) G : constante de gravitación ($\text{N.m}^2/\text{Kg}^2$)

m : masa de cuerpo (Kg)

r : distancia al centro de la Tierra (m)

g : aceleración de masa debido a F (m/s^2)

Donde la aceleración g es igual al módulo de la fuerza gravitacional por unidad de masa debido a m_1 . Si m_1 es la masa de la Tierra igual a $5,97 \times 10^{24}$ Kilogramos y su radio promedio $r = 6,37 \times 10^6$ metros, entonces g se convierte en la aceleración de la gravedad igual a $9,82 \text{ m/s}^2$. Este valor representa la aceleración de la gravedad sobre la superficie terrestre, si se considera la Tierra como una esfera totalmente esférica y homogénea. En honor a Galileo la unidad de la gravedad es llamada *Gal*. Dado que esta unidad es muy grande en términos de magnitudes de interés en prospección geofísica, es más común utilizar *miliGal* (Abreviado *mGal*), es decir: $1 \text{ mGal} = 0.001 \text{ Gal} = 0.001 \text{ cm/s}^2$.^[12]

2.1.2.2 Correcciones Gravimétricas

Para entender bien la base de las correcciones gravimétricas es necesario mencionar el sistema de referencia utilizado para ajustar los datos, estos son el geoide y el elipsoide. El geoide es un esferoide tridimensional que constituye una superficie equipotencial imaginaria que resulta de suponer la superficie de los océanos en reposo y prolongada por debajo de los continentes y que sería la superficie de equilibrio de las masas oceánicas sometidas a la acción gravitatoria y a la fuerza centrífuga ocasionada por la rotación y traslación del planeta, de manera que la atracción de la gravedad es perpendicular en todos los lugares. El geoide tiene en cuenta las anomalías gravimétricas debidas a la distribución de las masas continentales, a la densidad de los componentes de la Tierra y al achatamiento de los polos, por lo cual es una superficie irregular con protuberancias y depresiones.

Por tanto el geoide será el lugar geométrico de los puntos que se encuentran bajo la acción de:

- Fuerza de atracción gravitatoria del resto de los puntos de la superficie del mismo.
- Fuerza de atracción gravitatoria del resto de los astros del sistema solar.
- Fuerza centrífuga debido al movimiento de rotación de la Tierra.

Debido a que la superficie del geoide es muy compleja e irregular, se debe escoger un elipsoide de revolución que se adapte en la medida de lo posible al geoide, y que se define por sus parámetros matemáticos, denominándose Elipsoide de Referencia o Esferoide. El geoide está por encima del elipsoide en los continentes debido a la densidad y atracción del material suprayacente, y por debajo en los océanos, debido la baja densidad del agua (**Figura 2.17**).

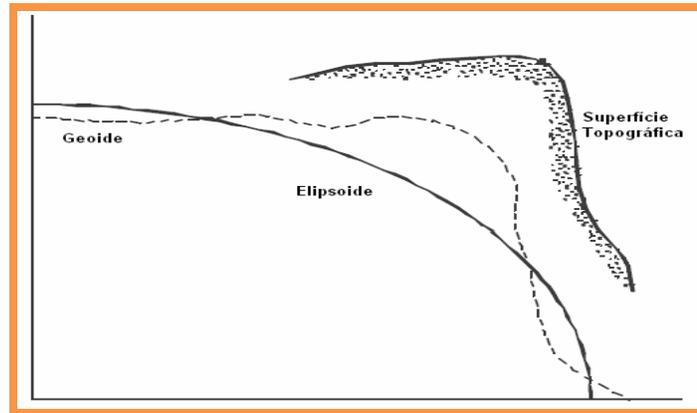


Figura 2.17: Geoide, Elipsoide y Superficie Topográfica. ^[12]

Como la Tierra no es perfectamente homogénea y esférica, la aceleración de la gravedad no es constante sobre la superficie terrestre. La aceleración de la gravedad depende de cinco factores: Latitud, elevación, topografía del terreno, mareas terrestres y variaciones de densidad del subsuelo. La prospección gravimétrica se centra o relaciona más con este último factor, y las anomalías debidas a éste son mucho más pequeñas que las debidas a los cambios relacionados con la latitud, pero son más grandes que las producidas por las mareas y la topografía. En exploración de hidrocarburos se puede considerar 10 mGal una anomalía gravimétrica grande. ^[12]

2.1.2.2.1 Corrección por Latitud

El abultamiento en el ecuador y la rotación de la Tierra producen un incremento de la gravedad con la latitud. La aceleración centrífuga debido a la rotación de la Tierra es máxima en el ecuador y cero en los polos, en contraste con la aceleración de gravedad, la cual aumenta en los polos haciendo que el geoide se acerca al centro de masa de la Tierra y disminuya en el Ecuador. Por este motivo, la gravedad es función de la latitud. La variación de g con la latitud, también conocida como gravedad teórica, viene dada por la expresión:

$$G_{Teo} = 978031.846(+0.0053024\text{sen}(2\varphi) - 0.0000058\text{sen}(2\varphi)) \quad [mGal]$$

(Ec. 2.4)

 G_{Teo} : Gravedad Teórica (mGal) φ : Latitud (Radianes)

Esta fórmula fue establecida por el Sistema de Referencia Geodésico en el año 1967, donde φ es la latitud. En perfiles norte-sur, se suele utilizar la expresión:

$$C_{Lat} = 0.00081\text{sen}(2\varphi) \quad [mGal] \quad (\text{Ec. 2.5})$$

 C_{Lat} : Corrección por Latitud (mGal) φ : Latitud (Radianes)

2.1.2.2.2 Corrección de Aire Libre

Como la gravedad varía inversamente con el cuadrado de la distancia, es necesario corregir por cambios en la elevación en las estaciones medidas para llevarlas a un mismo datum. La corrección por aire libre no toma en cuenta la masa que se encuentra entre la estación y el plano de referencia. Esta corrección es obtenida diferenciando la ecuación 2.3 con respecto a la distancia:

$$\frac{\partial g_{AL}}{\partial r} = \frac{2Gm_1}{r^3} = \frac{2g}{r} \quad [mGal] \quad (\text{Ec. 2.6})$$

$\frac{\partial g_{AL}}{\partial r}$: variación de g respecto a la altura
(N.m²/Kg²)

G: constante de gravitación

 m_1 : masa de la Tierra (Kg)

r: distancia (m)

g: aceleración de masa debido a F (m/s²)

Siendo m_I la masa y r el radio promedio de la Tierra, se tiene que la constante es igual a:

$$\frac{\partial g_{AL}}{\partial r} = 0.3086 \quad [mGal/m] \quad (\text{Ec. 2.7})$$

$\frac{\partial g_{AL}}{\partial r}$: variación de g respecto a la altura

Esta constante se multiplica por la elevación h de la estación donde la gravedad fue medida. La corrección de aire libre se suma a la lectura de campo cuando la estación se encuentra sobre el plano de referencia y se resta cuando se encuentra por debajo del mismo. La corrección de aire libre toma en cuenta sólo la altura h de la estación **A** para el cálculo de la gravedad como se aprecia en la (**Figura 2.18**).^[12]

$$C_{AL} = 0.3086h \quad [mGal/m] \quad (\text{Ec. 2.8})$$

C_{AL} : corrección por Aire Libre (mGal/m) h: elevación (m)

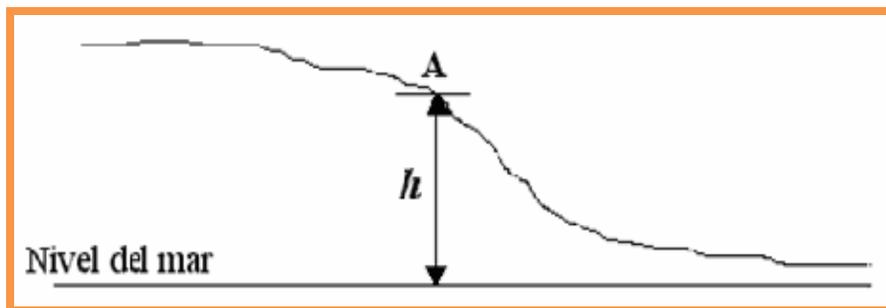


Figura 2.18: Corrección de Aire Libre.^[12]

2.1.2.2.3 Corrección de Bouguer

La masa entre la estación y el plano de referencia que no ha sido tomada en cuenta por la corrección de aire libre, ejerce una atracción que es tomada en cuenta

por la corrección de Bouguer. Si la estación estuviese sobre un bloque de extensión horizontal infinita y de espesor h y densidad ρ_B uniformes como se ve en la (Figura 2.19), el valor gravimétrico se incrementa por la atracción de este bloque entre la estación y el *datum*.

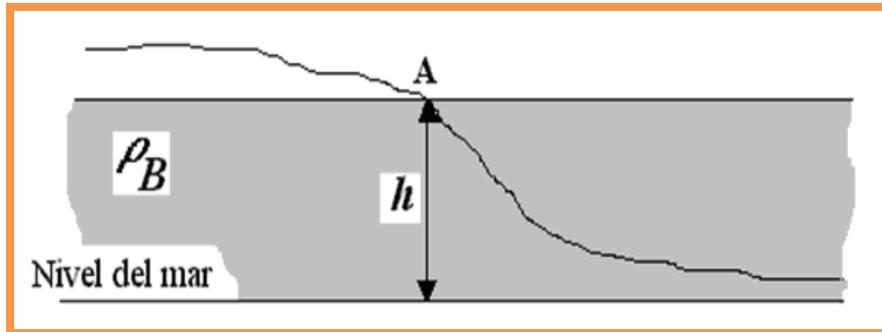


Figura 2.19: Corrección de Bouguer. [12]

La corrección de Bouguer viene dada por:

$$\frac{\partial g_B}{\partial r} = 2\pi G\rho = 0.04192 \quad [mGal/m] \quad (\text{Ec. 2.9})$$

$\frac{\partial g_B}{\partial r}$: variación de g con respecto a la densidad de la capa de espesor h.

G: constante de gravitación ($N.m^2/Kg^2$) ρ : densidad promedio de la Tierra

$$C_B = 0.04191h\rho_B \quad [mGal] \quad (\text{Ec. 2.10})$$

C_B : corrección de Bouguer h: espesor de la capa

ρ_B : densidad de Bouguer.

La corrección de Bouguer se aplica de manera opuesta a la de aire libre, es decir, es sustraída cuando la estación está sobre el *datum* y sumada cuando está por debajo del mismo. [12]

2.1.2.2.4 Corrección Topográfica

Esta corrección es aplicada a fin de minimizar el efecto causado por cambios en el terreno o irregularidades topográficas. Las ondulaciones topográficas como las colinas y los valles cercanos a la estación influyen en el valor de gravedad tomado (**Figura 2.20**). Para calcular la corrección topográfica se emplean la retícula de *Hammer* que consiste en una serie de círculos concéntricos alrededor de una estación y dividida en sectores, cuya área se incrementa con la distancia y en los cuales se calcula la diferencia de elevación con respecto a la estación (**Figura 2.21**).

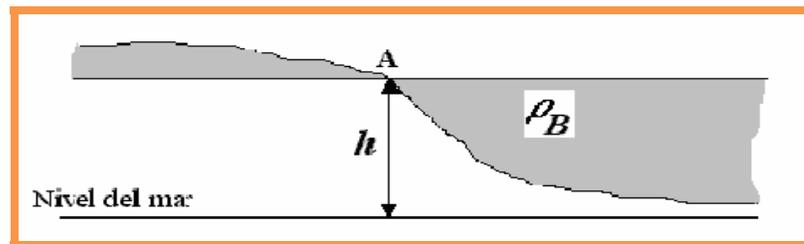


Figura 2.20: Corrección Topográfica. ^[12]

La **Figura 2.21** muestra la retícula de Hammer, utilizada para el cálculo de la corrección Topográfica local.

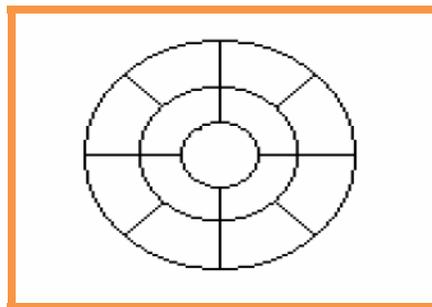


Figura 2.21: Retícula De Hammer. ^[12]

El efecto gravitatorio de un solo sector se calcula con la siguiente fórmula:

$$\delta gT(r, \theta) = Gp\theta \left\{ (ro - ri)^{1/2} + \left(ri^2 + (zs - za)^2 \right)^{1/2} - \left(ro^2 + (zs - za)^2 \right)^{1/2} \right\}$$

(Ec. 2.9)

$\delta gT(r, \theta)$: efecto de un sector con respecto a r y a θ .

θ : ángulo del sector (radianes).

zs: elevación de estación (m)

za: elevación promedio del sector (m)

ro: radio externo del sector (m)

ri: radio interno del sector (m)

r: radio del sector

Donde θ es el ángulo del sector en radianes, $\Delta z = |zs - za|$, zs es la elevación de la estación, za es la elevación promedio en el sector, y ro y ri son los radios de los sectores externo e interno respectivamente. La corrección topográfica CT es la suma de la contribución de todos los sectores:

$$CT = \sum r \sum \theta \delta gT(r, \theta) \quad [mGal] \quad (\text{Ec. 2.10})$$

CT : corrección topográfica

$\delta gT(r, \theta)$: efecto de un sector con respecto a r y a θ .

θ : ángulo del sector (radianes).

r: radio del sector

Las variaciones en la gravedad no sólo se deben a la latitud y elevación de la estación, sino también al tiempo. Se consideran dos tipos de variaciones fundamentales, por efecto de mareas terrestres y por deriva instrumental.^[12]

2.1.2.2.5 Corrección por Mareas

Los gravímetros son instrumentos suficientemente sensibles para medir los cambios en la gravedad ocasionados por los movimientos del sol y la luna que dependen de la latitud y el tiempo. El rango es de aproximadamente 0,3mGal. La corrección puede ser calculada si se sabe las posiciones astronómicas del Sol y la Luna. Sin embargo, como las variaciones son suaves y relativamente lentas, usualmente son incluidas en las correcciones por deriva instrumental.^[12]

2.1.2.2.6 Corrección por Deriva Instrumental

Las mediciones gravimétricas pueden variar en una misma estación a través del tiempo por causas instrumentales, debido a la fatiga del sistema de muelles, al efecto de las mareas terrestres o a las variaciones de temperatura. Por estas razones es necesario hacer un estudio de la deriva antes de iniciar un estudio de adquisición, ya que el mismo permitirá construir una curva de deriva del instrumento y de esta manera conocer los lapsos más favorables para realizar las mediciones. Para corregir las lecturas por deriva se necesita realizar el levantamiento por circuitos, es decir, iniciar las mediciones en una estación, proseguir con las siguientes y cerrar en la estación inicial.^[12]

2.1.2.3 Anomalías Gravimétricas

Para determinar las posibles anomalías de gravedad se aplican todas las correcciones mencionadas anteriormente a las lecturas gravimétricas, tomando en cuenta que el plano de referencia es el geoide. La gravedad observada corregida se compara con la gravedad teórica para hallar esas posibles anomalías. De esta forma se

obtiene lo que se conoce como Anomalía de Bouguer, la cual viene dada por la siguiente expresión:

$$A_B = G_{obs} + C_{Al} - C_B + C_{Top} - G_{Teo} \text{ [mgal]} \quad (\text{Ec. 2.11})$$

A_B : anomalía de Bouguer (*mGal*) G_{obs} : gravedad observada (*mGal*)
 C_{AL} : corrección de aire libre (*mGal*) C_B : corrección de Bouguer (*mGal*)
 C_{Top} : corrección topográfica (*mGal*) G_{Teo} : gravedad teórica (*mGal*)

Si se desea conocer solamente las anomalías sin importar el valor de la densidad, entonces se halla la Anomalía de Aire Libre, la cual permite observar como varía la gravedad cuando sólo se consideran la latitud y la altura de la estación, es usada especialmente en adquisición marina. Por lo tanto, la ecuación anterior queda reducida a:

$$A_{AL} = G_{obs} + C_{Al} - G_{Teo} \text{ [mgal]} \quad (\text{Ec. 2.12})$$

A_{AL} : anomalía de aire libre (*mGal*) G_{obs} : gravedad observada (*mGal*)
 C_{AL} : corrección de aire libre (*mGal*) G_{Teo} : gravedad Teórica (*mGal*)

Si la densidad no variara lateralmente en la Tierra, las lecturas gravimétricas fueran idénticas luego de aplicarles las correcciones. Las Anomalías de Bouguer y Aire Libre resultan de las variaciones laterales en la densidad.

La gravedad se puede medir de una forma absoluta o relativa. Las medidas absolutas se pueden llevar a cabo con péndulos o estudiando la caída de los cuerpos, mientras que las relativas se pueden realizar con balanza de torsión, péndulos y

gravímetro. Este último es el instrumento actualmente usado en prospección. La gravedad absoluta es difícil de medir porque se requiere una precisión de aproximadamente 1mgal; en prospección geofísica se acostumbra a medir la gravedad relativa.^[12]

2.1.2.4 Medición de la Gravedad Relativa

La gravedad relativa es la diferencia de gravedad de un punto o estación, con respecto a un nivel de referencia. Los aparatos más comunes diseñados con la finalidad de realizar mediciones de la gravedad relativa se describen a continuación:

2.1.2.4.1 Balanza de Torsión

La Balanza de Torsión mide la deflexión de una barra de aluminio, que a su vez está unido a un hilo de torsión, en donde a cada extremo de la barra se le suspenden masas de igual valor, situadas a alturas diferentes. Si se sitúa la barra de torsión en un punto en donde exista distorsión del campo gravitatorio debido a efectos locales, resultará que sobre las masas de sus extremos actuarán valores distintos, en magnitud y dirección de la gravedad, lo que dará lugar a componentes horizontales cuyo efecto se traducirá en el giro de la balanza.

2.1.2.4.2 Gravímetro

El Gravímetro mide la deflexión que se produce en un sistema de muelles que sostiene una masa M . Las pequeñas variaciones de la gravedad se traducirán en variaciones del peso o en pequeños alargamientos o acortamientos del sistema de muelles. Los gravímetros se clasifican en gravimétricos estables e inestables de acuerdo al sistema empleado en la medición de los cambios de la longitud del muelle.

i. *Gravímetros estables*: son aquellos en que el cambio de la longitud del muelle es medido directamente por medio de una amplificación óptica, mecánica o eléctrica. Ejemplo: el dinamómetro, el gravímetro Hartley (Figura 2.22 y Figura 2.23).

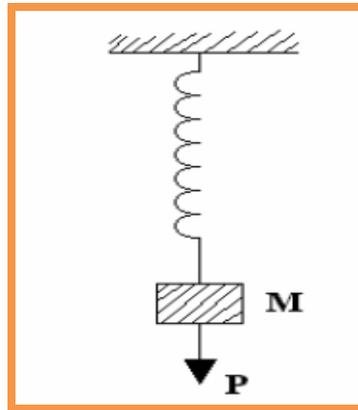


Figura 2.22: Dinamómetro Principio. ^[13]

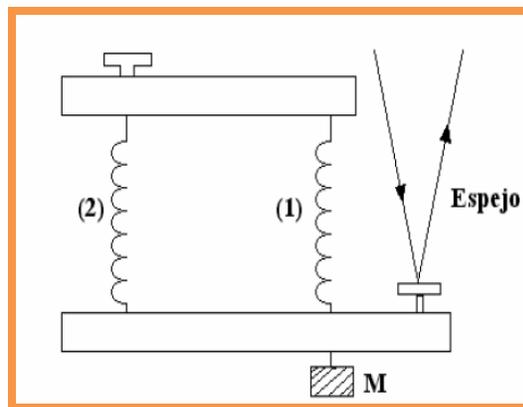


Figura 2.23: Gravímetro Hartley. Principio. ^[13]

El gravímetro Hartley es uno de los más sencillos y consta de dos muelles, (1) muelle principal del que está suspendida la masa M y (2) muelle de ajuste accionado por un tornillo micrométrico T . El muelle (2) se usa para hacer la lectura 0, es decir, su dial mide el número de vueltas necesarias para equilibrar el sistema. Su apreciación es pequeña.

El gravímetro Gulf consiste de un muelle espiral del que cuelgan una masa circular M a la que va unida un espejo E . Las pequeñas variaciones de la gravedad actúan alargando y girando el muelle. Lo que mide es el pequeño ángulo de giro mediante un conveniente juego de prismas que reflejan varias veces un rayo de luz sobre dicho espejo.

ii. *Gravímetros inestables*: son aquellos que poseen una masa en estado de equilibrio suspendida en un sistema de muelles, de manera tal, que un pequeño cambio en la gravedad se traduzca en cambios grandes en el desplazamiento del sistema masa-resorte. Ejemplos: el gravímetro Thysen y Lacoste & Romberg (**Figura 2.24 y Figura 2.25**).

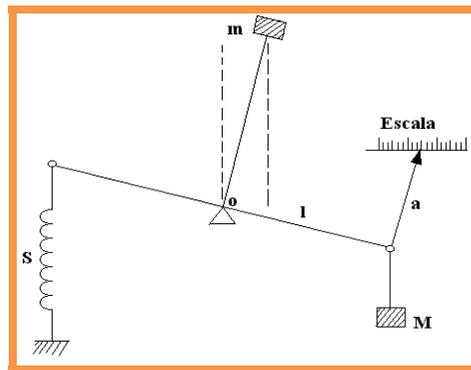


Figura 2.24: Gravímetro Thysen. Principio. ^[13]

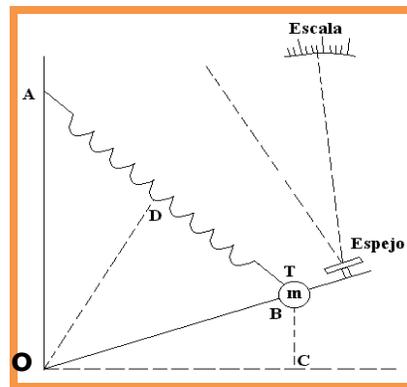


Figura 2.25: Gravímetro Lacoste & Romberg. Principio. ^[13]

El gravímetro Thysen en la práctica se construye con dos brazos paralelos con pesos auxiliares en los extremos opuestos. El Gravímetro Lacoste & Romberg está basado en el sismógrafo de largo período ideado por Lacoste en 1934. El sistema medidor consiste en una masa m de unos 2.5 Kg. Colocada en el extremo de un brazo rígido OB aproximadamente horizontal y suspendido de un muelle AB tal que A está en la vertical del punto de giro O y que OA es aproximadamente igual a OB. El gravímetro Lacoste & Romberg es uno de los gravímetros de mayor precisión, alcanzando la cifra de 0.01 mgal. Su deriva instrumental es prácticamente nula y se utiliza para trabajos donde se requiere una alta precisión.

En cualquier estudio de prospección gravimétrica se debe considerar en primer lugar, el efecto causado por las mareas terrestres y la deriva instrumental en los datos adquiridos. Es importante realizar un control de la deriva del gravímetro, debido a que las medidas en una estación cambian su valor en función del tiempo a lo largo del día. El objetivo es determinar los lapsos en los cuales el gravímetro presenta un comportamiento lineal, ya que esto permite establecer los intervalos en los cuales se pueden realizar las lecturas de manera confiable. Antes de comenzar un levantamiento gravimétrico es necesario obtener la curva de deriva del gravímetro.^[13]

2.1.2.5 Adquisición de Datos Gravimétricos en el Proyecto Campo Costanero Bolívar

En el Proyecto Campo Costanero Bolívar la adquisición de datos gravimétricos se inició con el establecimiento de estaciones bases, partiendo de una estación con gravedad absoluta (aeropuerto de Maracaibo) y estableciendo una estación base de segundo orden en el campamento base Punta Gorda, desde donde se abrieron y cerraron los circuitos.

Subsecuentemente se llevo a cabo el diseño de la adquisición, es decir, la escogencia y distribución de las estaciones ordinarias a medir en todo el proyecto. Debido a la facilidad que involucró el contar con las coordenadas levantadas por la fase de topografía para la adquisición sísmica, se escogieron como estaciones los puntos de intersección entre líneas fuentes y líneas receptoras. Ésto representó una ventaja que permitió contar con un diseño uniforme y con las picas de acceso hacia tales estaciones. Además se realizó el levantamiento gravimétrico paralelo al levantamiento sísmico.

2.1.3 Método Magnético

2.1.3.1 Principios Teóricos

Este método de prospección detecta anomalías o desviaciones del valor normal del campo Geomagnético debido a la presencia de minerales ferromagnéticos, diamagnéticos y paramagnéticos. La mayoría de las rocas contiene pequeñas cantidades de óxidos de hierro, de modo que si cristalizan a partir de un magma y en presencia de un campo magnético externo (el terrestre), los momentos magnéticos finalizarán orientados, lo que redundará en una anomalía magnética.^[14]

El campo magnético terrestre, cuyo origen reside en el núcleo, es modificado por cambiantes componentes externas a la masa sólida del planeta, pero también existe una componente muy menor de la corteza, que puede ser significativa a una escala relativamente local. La prospección magnetométrica se basa en evaluar esa desigual distribución de fuerzas magnéticas dentro de la corteza terrestre. El contenido alto en minerales de hierro produce anomalías positivas y su defecto anomalías negativas. Las anomalías magnéticas detectadas a través de estudios magnéticos en el terreno se explican con variaciones en las propiedades físicas de las

rocas como la susceptibilidad magnética y/o la imantación remanente de las rocas. Estas propiedades físicas sólo existen a temperaturas debajo de la Temperatura de Curie. En consecuencia los generadores de las anomalías magnéticas pueden hallarse hasta una profundidad máxima de 30 a 40 km, dependiendo del gradiente geotérmico, esto es esencialmente, como quedó dicho, dentro de la corteza terrestre.

Al someter una sustancia a un campo magnético H , ésta se magnetiza. Adquiere intensidad de imantación M proporcional al campo exterior aplicado. Se tiene por lo tanto:

$$M = k \cdot H \quad (\text{Ec. 2.12})$$

Donde la constante de proporcionalidad k es la susceptibilidad magnética y además: $M = m / \text{volumen} = p / \text{área}$ (donde m es el momento magnético = $p \cdot \text{longitud}$). La medición de k se realiza en laboratorio mediante un puente de inductancia o una balanza magnética, o bien multiplicando el porcentaje de magnetita u otros minerales magnéticos presentes en la roca por la susceptibilidad de éstos, obtenida de tablas. La utilidad práctica de su medición radica en la diferenciación entre rocas sedimentarias (k baja) e ígneas y metamórficas del basamento (k altas).

En el sistema CGS la unidad principal de intensidad magnética es el *Tesla* (Maxwell/cm²), y el $nT = 10^{-9}T$. Los geofísicos prefieren emplear el parámetro 'intensidad del campo magnético H ' en vez del parámetro 'inducción o densidad del flujo B '. Se puede substituir uno de estos parámetros por el otro porque la permeabilidad del aire varía muy poco de la permeabilidad del vacío. La densidad del flujo B de un campo magnético está relacionada con la intensidad magnética H como sigue: $B = m_0 \cdot H + J$ (siendo J la polarización magnética, que vale cero en el vacío y el aire) y $B = m \cdot H$ en medios isótropos. También podemos escribir que: $B = H + H'$

(siendo H' el campo magnético inducido en los minerales magnéticos del subsuelo).^[14]

En prospección se miden las componentes vertical, horizontal (ecuador) o ambas del campo magnético si la prospección amerita este detalle. Se utilizan instrumentos apropiados y se desarrolla un trabajo de campo a lo largo de una malla con criterios parecidos a los de gravimetría, es decir, se mide en intervalos regulares, o tan regulares como sea posible en función de las dificultades del terreno. En la exploración magnética a escala regional generalmente se registra a lo largo de un perfil o de varios perfiles paralelos con un espaciamiento preferentemente constante. Las mediciones realizadas, usualmente relativas respecto a una referencia local, pueden ser terrestres, aéreas, marinas y hasta satelitales, y se encuentran afectadas por varios factores que deberán ser tenidos en cuenta:

- Efecto de las componentes horizontal y vertical de la intensidad.
- Influencia de la inclinación del campo geomagnético.
- Efecto de inclinación y forma de las masas emplazadas causantes de la anomalía.
- Eventual magnetización oblicua a los cuerpos.
- Posible magnetización remanente.
- Ruidos, debidos a objetos metálicos superficiales o enterrados, alambrados, ductos, líneas de alta tensión, plantas generadoras, etc., según sea la modalidad y escala de registro.

2.1.3.2 Confección de Mapas Isoanómalos

Corregidas las lecturas por variación diurna se vuelcan los datos sobre un mapa para trazar las curvas de intensidad magnética total, ó de anomalía magnética según

sea el caso. Utilizando isolíneas paralelas y equidistantes al igual que en la confección de los mapas gravimétricos, se debe enfocar su atención a la existencia de anomalías de interés no completamente definidas por la información disponible, lo que se basa en una red de estaciones de observación con cierto espaciamiento. Por medio de otros datos geofísicos y/o geológicos se podría comprobar la interpretación de los datos magnéticos. Tales evaluaciones sucesivas se aplican comúnmente en la prospección geofísica minera. Como en otros mapas geofísicos, geológicos, de ingeniería de reservorios, etc., una isolínea es la línea, que une varios puntos del terreno (varias estaciones de observación) del mismo valor o de la misma intensidad y el espaciamiento entre dos de estas líneas es una medida del gradiente. Las isolíneas con espaciamiento pequeño y denso (espaciadas densamente) expresan un gradiente alto, las isolíneas con espaciamiento grande entre sí representan un gradiente pequeño. En este contexto gradiente se refiere a una variación de un valor de una intensidad con respecto a la distancia, donde las isolíneas cerradas ilustran extremos altos o bajos.

En prospección comúnmente se mide la componente total del campo magnético. En el caso de un cuerpo con alta susceptibilidad magnética emplazado en el subsuelo, la componente total se constituye de la superposición de las magnitudes correspondientes al campo geomagnético H y al campo magnético anómalo H' generado por el cuerpo. Este efecto magnético total mensurable en la superficie depende de la dirección del campo geomagnético en el lugar y de la imantación inducida en este cuerpo en la dirección de H .^[14]

2.1.3.3 Adquisición de Datos Magnéticos en el Proyecto Campo Costanero Bolívar

Al igual que en gravimetría, el proceso de adquisición de datos de magnetometría se inició con el establecimiento de una estación base, al cual se le determinó el valor de intensidad magnética total durante la noche, conocido como valor de la noche tranquila (VNT), y que se considera como el valor de campo magnético inherente al campo cortical, como referencia para las mediciones que se realizaron mediante circuitos cerrados. Se utilizaron dos magnetómetros, uno para permanecer tomando medidas en el punto base (SCINTREX SM-5), permitiendo obtener la curva de variación diurna, y el otro para realizar las mediciones en el campo (GEOMETRICS G-858).

Diariamente a primera hora de la mañana se sincronizaron los relojes de ambos equipos, para asegurar obtener los mismos intervalos de tiempo en la base, de las estaciones medidas en el campo. Se inició el circuito tomando la primera medición en la estación base. Las mediciones en el campo se realizaron por intervalos de tiempo de 3 minutos aproximadamente, observándose en el magnetómetro el valor común durante ese intervalo, y registrándolo para el posterior control de calidad de los datos. Luego de realizadas las mediciones en campo se procedió al cierre del circuito tomando la última medición en la estación base. Seguidamente fueron descargados los datos obtenidos por ambos equipos para el posterior procesamiento.

2.1.4 Estudios de Capa Meteorizada Mediante “Up Holes”

2.1.4.1 Principios Teóricos

Esta técnica se lleva a cabo a fin de conocer el espesor y velocidades sísmicas de la capa meteorizada, submeteorizada y consolidada, haciendo un muestreo lo más representativo posible del área del proyecto. Además la información aportada es complementaria al control de calidad de los datos obtenidos en el levantamiento sísmico.

Inicialmente se hace un diseño de adquisición, realizando una distribución uniforme de los “*up holes*” en el área del levantamiento sísmico. Posteriormente en cada estación se perforan pozos hasta una profundidad determinada, y se colocan diferentes cantidades de carga explosiva las cuales son detonadas de mayor a menor profundidad, colocándose además un arreglo de geófonos; el cual puede ser lineal o circular. Los tiempos de llegada de la primera onda en cada disparo y para cada canal son graficados versus las profundidades a las que fueron detonadas. Estos valores son luego graficados para la obtención de las velocidades sísmicas. Debido a los cambios de litología en las capas, se observan variaciones de la relación tiempo-profundidad a medida que la profundidad de disparo se hace menor, donde los puntos de cambio de pendiente observados en las gráficas (**Figura 2.26**), se corresponden directamente con las profundidades de tales capas. ^[15]

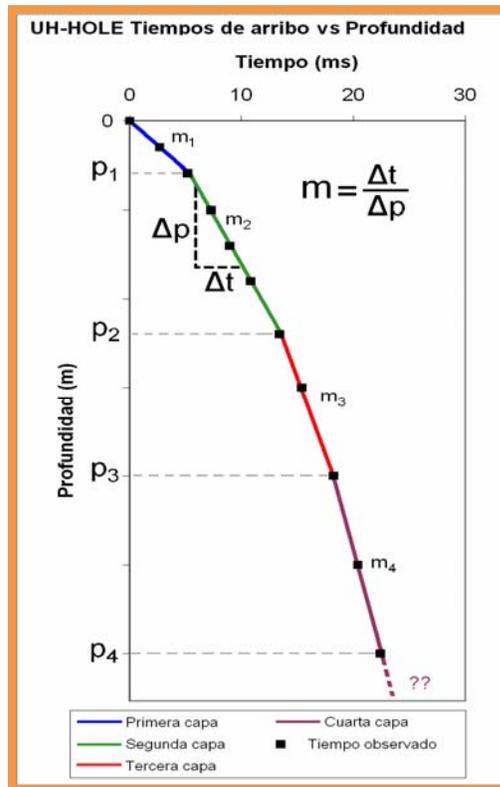


Figura 2.26: Identificación de Capas.

2.1.4.2 Adquisición de datos de “Up Holes” en el Proyecto Campo Costanero Bolívar

La fase de adquisición se inició con la distribución de las estaciones para registros de “up holes” en el área del proyecto. Se estableció un total de diez estaciones para registros de “up holes” en el proyecto Campo Costanero Bolívar, distribuidos uniformemente para facilitar un muestreo representativo, aún cuando cabe destacar que este método tiene la desventaja de aportar información a nivel muy local, por lo cual las interpolaciones de las variaciones de profundidad de la capa meteorizada entre estaciones aportan un rango considerable de incertidumbre.

Al igual que en los métodos anteriores, las estaciones establecidas correspondieron a puntos levantados previamente por el departamento de topografía para la fase de levantamiento sísmico.

Los parámetros de adquisición como; profundidad del pozo, cantidad de cargas y profundidades de las mismas fueron aportados por el cliente, de acuerdo a los objetivos a muestrear con este método.

Para realizar la grabación, primeramente se chequea que cada pozo cumpla con la profundidad y diámetro establecido, una vez perforado por el equipo mecanizado hasta 31 metros de profundidad a manera de garantizar la holgura suficiente para la instalación de los fulminantes. Se chequean los geófonos dispuestos para la grabación de los pozos junto al equipo de grabación y posteriormente los fulminantes son instalados mediante cuerdas patronadas a las distancias de las cargas, como mecanismo de control de calidad de los datos. Subsecuentemente se realiza el taqueo del pozo asegurando un nivel de compactación adecuado. Posteriormente se conecta el “*Blaster*”, para la detonación de manera secuencial a las cargas de mayor a menor profundidad.

2.2 “SOFTWARE GOLDEN SURFER” 8.0 y “QCTOOL”

Surfer es uno de los mejores softwares para visualización. Es un software de contorno y visualización 3D. De una forma fácil y rápida convierte los datos en contorno, superficie, vector, imagen y mapas. Entre sus principales aplicaciones se tienen; contorno de mapas, superficie de mapas en 3D, mapas de vectores, imagen de mapas, mallas, variogramas.

“*QCtool*” es una herramienta empleada para el cálculo de variables teóricas en métodos de prospección Geofísica, como por ejemplo el Campo Geomagnético de Intensidad Magnética de Referencia (IGRF) en Magnetometría.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

3.1 REVISIÓN Y DOCUMENTACIÓN BIBLIOGRÁFICA

A objeto de contar con las bases teóricas necesarias para la realización de este estudio, se llevó a cabo una revisión bibliográfica de la información relativa tanto a la aplicación de métodos geofísicos en exploración petrolera en Venezuela, como a los principios teóricos de cada método ejecutado por *SUELOPETROL C.A. S.A.C.A.*, en el proyecto Campo Costanero Bolívar. Posteriormente se hizo una revisión de la información previa referente al área en estudio, inspeccionando trabajos previos realizados en la misma, a fin de tener una visión general sobre los aspectos geológicos relevantes del Campo Costanero Bolívar.

3.2 FAMILIARIZACIÓN CON OPERACIONES DE CAMPO

A fin de reconocer la aplicación de las diferentes técnicas llevadas a cabo en todas las fases de la adquisición de métodos geofísicos, en el proyecto Campo Costanero Bolívar, se asistió a cada una de las actividades de campo involucradas, con el fin de conocer los procedimientos aplicados en cada una de las técnicas empleadas y la importancia de la logística previa en calidad de los datos finales.

3.3 ANÁLISIS DE FACTORES RELEVANTES INCIDENTES EN EL DESARROLLO DEL PROYECTO

Posterior a la familiarización con las operaciones involucradas en la adquisición de datos geofísicos, se llevó a cabo un análisis de factores influyentes en el

desenvolvimiento de las operaciones y en la calidad de tales datos, a fin de realizar una jerarquización objetiva de acuerdo a su nivel de inferencia.

Para este análisis se efectuó un conjunto de entrevistas a estudiosos y expertos en los diferentes métodos aplicados, tomando en cuenta la información aportada por proyectos de adquisición integrada de datos geofísicos desarrollados por *SUELOPETROL C.A S.A.C.A.*

Las fases comprendidas en el análisis Fueron:

- Topografía.
- Perforación.
- Grabación Sísmica.
- Procesamiento Sísmico en campo.
- Adquisición Gravimétrica y Magnética.
- Procesamiento de Datos de Gravimetría y Magnetometría.
- Adquisición de Datos de “*Up Holes*”.

3.4 APLICACIÓN DE MÉTODOS GEOFÍSICOS EN UN ÁREA ESPECÍFICA DEL PROYECTO

3.4.1 Localización del Área

El área asignada para realizar el presente estudio (A1), se localizó al sureste del proyecto Campo Costanero Bolívar, comprendiendo 5 “*Up Holes*”, 144 estaciones gravimétricas y 151 estaciones magnéticas, formando un rectángulo de 45.3 Km², el cual representa el 42% del total del proyecto (**Figura 3.1**) .

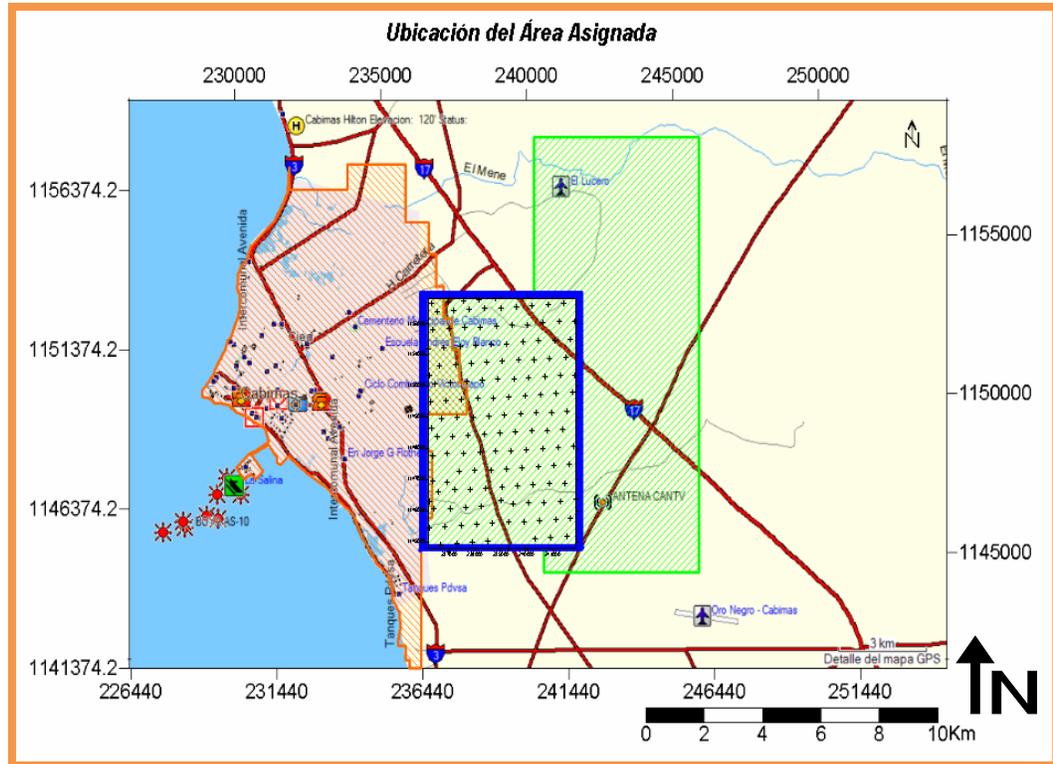


Figura 3.1: Ubicación del Área Asignada (A1).

3.4.2 Obtención de los Datos Área A1

Los datos “sin procesar” fueron suministrados por el departamento de métodos potenciales de *SUELOPETROL C.A.S.A.C.A.* Tales datos comprendieron información de campo de; 5 “*Up Holes*”, 144 estaciones gravimétricas y 151 estaciones magnéticas.

3.4.3 Procesamiento de Datos de Gravimetría Área A1

Los datos proporcionados por el departamento de métodos potenciales fueron adquiridos con gravímetro Scintrex CG-5 (**Figura 3.2**). Estos consistieron en seis archivos de formatos diferentes (.txt, .raw, .xyz, .segd, .log y .smp).



Figura 3.2: Gravímetro Scintrex CG-5 Empleado en el Levantamiento.

La **Figura 3.3** muestra el archivo .xyz, obtenido del Gravímetro Scintrex CG-5.0

Line	Station ID	Station X	Station Y	Station Z	Station U	Station V	Station W	Station X	Station Y	Station Z	Station U	Station V	Station W	Station X	Station Y	Station Z	Station U	Station V	Station W	Station X	Station Y	Station Z	Station U	Station V	Station W	
1																										
2	10.3213329	-71.3918076	11.4720	2797.464	0.152	0.8	0.9	-1.30	-0.066	57	0	07:02:29	39732.29292	0.0013												
3	10.3213329	-71.3918076	11.4720	2797.465	0.136	1.8	0.0	-1.30	-0.065	57	0	07:03:36	39732.29370	0.0013												
4	10.3213329	-71.3918076	11.4720	2797.467	0.136	2.2	-0.8	-1.31	-0.064	57	0	07:04:38	39732.29441	0.0013												
5	10.3213329	-71.3918076	11.4720	2797.469	0.169	2.2	-1.7	-1.32	-0.063	57	0	07:05:40	39732.29513	0.0013												
6	10.3213329	-71.3918076	11.4720	2797.469	0.161	2.2	-2.3	-1.34	-0.063	57	0	07:06:43	39732.29586	0.0013												
7																										
8	10.4111109	-71.3967743	52.9230	2794.098	0.065	0.2	0.0	-1.07	0.002	57	0	08:18:43	39732.34578	0.0024												
9	10.4111109	-71.3967743	52.9230	2794.102	0.073	-0.9	-0.1	-1.09	0.003	57	0	08:19:50	39732.34655	0.0024												
10	10.4111109	-71.3967743	52.9230	2794.101	0.063	-1.6	-0.1	-1.10	0.004	57	0	08:20:52	39732.34727	0.0024												
11	10.4111109	-71.3967743	52.9230	2794.102	0.052	-2.2	0.0	-1.13	0.005	57	0	08:21:54	39732.34798	0.0024												
12	10.4111109	-71.3967743	52.9230	2794.101	0.071	-2.2	-0.2	-1.16	0.006	57	0	08:22:57	39732.34871	0.0024												
13																										
14	10.4117775	-71.3856812	42.9810	2797.926	0.061	-6.8	-1.5	-1.31	0.044	57	6	09:01:08	39732.37519	0.0065												
15	10.4117775	-71.3856812	42.9810	2797.927	0.047	-8.7	-1.6	-1.33	0.045	57	0	09:02:15	39732.37596	0.0065												
16	10.4117775	-71.3856812	42.9810	2797.929	0.040	-10.3	-1.7	-1.36	0.046	57	0	09:03:17	39732.37668	0.0065												
17	10.4117775	-71.3856812	42.9810	2797.930	0.039	-12.0	-2.0	-1.38	0.047	57	0	09:04:19	39732.37739	0.0065												
18	10.4117775	-71.3856812	42.9810	2797.930	0.043	-13.7	-2.1	-1.40	0.048	57	0	09:05:22	39732.37812	0.0065												
19																										
20	10.4114447	-71.3912201	46.5840	2796.292	0.041	0.2	0.7	-1.30	0.070	57	0	09:29:07	39732.39459	0.0055												
21	10.4114447	-71.3912201	46.5840	2796.293	0.046	0.7	0.3	-1.31	0.071	57	0	09:30:14	39732.39536	0.0055												
22	10.4114447	-71.3912201	46.5840	2796.292	0.041	1.2	0.4	-1.32	0.072	57	0	09:31:16	39732.39608	0.0055												
23	10.4114447	-71.3912201	46.5840	2796.290	0.048	1.5	0.4	-1.34	0.073	57	0	09:32:18	39732.39679	0.0055												
24	10.4114447	-71.3912201	46.5840	2796.291	0.055	1.8	0.0	-1.36	0.074	57	0	09:33:21	39732.39752	0.0055												
25																										
26	10.4064722	-71.3874130	53.4750	2795.120	0.037	-2.9	-2.8	-1.12	0.099	57	0	10:05:57	39732.42013	0.0048												

Figura 3.3: Datos en Formato “xyz”. Gravímetro Scintrex CG-5.

Se procedió a realizar el respectivo control de calidad de los datos, revisando que las medidas correspondientes a cada estación no excediesen la diferencia máxima permitida para este proyecto de 0.005 miligales.

El paso siguiente fue el de realizar la corrección por deriva instrumental, esto debido a que las medidas tomadas por un mismo instrumento en una misma estación varían con el tiempo. Para realizar este cálculo, primeramente se establecieron las lecturas y horas promedio de las cinco tomadas en cada estación. Lo siguiente fue calcular el Varmin, es decir la variación por minuto de las medidas según la deriva del instrumento (Tabla 3.1). [13]

Tabla 3.1 Datos en Secuencia Para Cálculo de Varmín. Circuito 013.

ESTACIÓN	LÍNEA	ESTACA	Hora	Grav (mGal)	Hora Prom	Delta T (min)	Lect. Prom (mGal)
CCB-01	-	-	07:02:29 a.m.	2797.464	07:04:37 a.m.	0.000	2797.467
			07:03:36 a.m.	2797.465			
			07:04:38 a.m.	2797.467			
			07:05:40 a.m.	2797.469			
			07:06:43 a.m.	2797.469			
450	1110	3063	08:18:43 a.m.	2794.098	08:20:51 a.m.	76.233	2794.101
			08:19:50 a.m.	2794.102			
			08:20:52 a.m.	2794.101			
			08:21:54 a.m.	2794.102			
			08:22:57 a.m.	2794.101			
CCB-01	-	-	03:56:42 p.m.	2797.547	03:58:50 p.m.	534.217	2797.549
			03:57:49 p.m.	2797.547			
			03:58:51 p.m.	2797.549			
			03:59:53 p.m.	2797.550			
			04:00:56 p.m.	2797.551			

La fórmula aplicada para el cálculo del Varmín fue la siguiente:

$$\text{Varmín} = (\text{Lectura mgal inicio} - \text{Lectura mgal cierre}) / (\text{T2} - \text{T1}) \text{min} \quad (\text{Ec. 3.1})$$

Una vez calculado el Varmín (Varmín= -0.00153 mGal/min), multiplicando este valor por la diferencia en minutos para cada estación (Delta T), se obtuvo la corrección por deriva. El efecto de esta corrección es el de linealizar la variación de las medidas con respecto al tiempo, haciendo iguales las medidas de apertura y cierre, es decir, se obtienen las medidas correspondientes a la eliminación del efecto de la deriva del instrumento.

Luego de haber calculado la corrección por deriva (CorrD) y obtenidas las lecturas corregidas sumando algebraicamente el valor de “CorrD” a cada estación, se procedió a calcular la gravedad relativa de las estaciones ordinarias tomadas con respecto a la estación base.

Debido a que la estación base es un punto con gravedad absoluta, se obtuvo el valor de las gravedades absolutas u observadas para cada estación ordinaria, sumando algebraicamente el valor de la gravedad relativa al valor de la gravedad absoluta de la estación de referencia (**Tabla 3.2**).

Tabla 3.2 Datos en Secuencia para Cálculo de la Gravedad Observada. Circuito 013.

Estación	CorrD (mGal)	Lect. Corr (mGal)	G. Rel (mGal)	Gobservada (mGal)
CCB-01	0	2797.4668	0	978175.55
450	-0.012	2794.0891	-3.378	978172.172
452	-0.018	2797.91019	0.443	978175.993
451	-0.023	2796.26909	-1.198	978174.352
436	-0.028	2795.09404	-2.373	978173.177
435	-0.04	2789.51398	-7.953	978167.597
421	-0.054	2797.80522	0.338	978175.888
437	-0.06	2798.64795	1.181	978176.731
453	-0.069	2798.02143	0.555	978176.105
438	-0.075	2799.48049	2.014	978177.564
CCB-01	0	2797.4668	0	978175.55

Posterior al cálculo de la gravedad observada para cada estación, se procedió referenciar los valores a un Datum, mediante el cálculo de la anomalía de Bouguer simple, esto es sin considerar la corrección topográfica a nivel regional, solamente

con la corrección local que realiza automáticamente el gravímetro. Para contar con las demás variables de la ecuación de anomalía de Bouguer, se transformaron las coordenadas de latitud de grados sexagesimales a radianes para cada estación y se realizó el cálculo de la gravedad teórica mediante la ecuación 2.4, la cual considera solamente la variación con la latitud debido al efecto del achatamiento de los polos. Posteriormente se realizó la corrección por altura o corrección de aire libre mediante la ecuación 2.8 (ver Tabla 3.4).^[13]

Posteriormente fue calculada la corrección de Bouguer, utilizando la densidad de Bouguer (ρ_B) calculada previamente al levantamiento gravimétrico e introducida en la ecuación 2.10 (ver Tabla 3.4).

**Tabla 3.3 Datos en Secuencia para Cálculo de la Corrección de Bouguer.
Circuito 013.**

Estación	Altura (m)	C Altura (mGal)	C Bouguer (mGal)
450	52.923	16.3320378	5.101406739
452	42.981	13.2639366	4.143067533
451	46.584	14.3758224	4.490371512
436	53.475	16.502385	5.154615675
435	73.082	22.5531052	7.044593226
421	45.006	13.8888516	4.338263358
437	47.6688	14.71059168	4.594938638
453	49.598	15.3059428	4.780900014
438	44.261	13.6589446	4.266450573

Una vez completadas las variables, se realizó el cálculo de la anomalía de Bouguer simple mediante la ecuación 2.11, sin considerar el efecto de la topografía regional tal como se mencionó anteriormente (ver Tabla 3.5).

Tabla 3.4 Secuencia para Cálculo de la Anomalía de Bouguer. Circuito 013.

Estación	Latitud (Radianes)	Gravedad Teorica (mGal)	C Altura (mGal)	C Bouguer (mGal)	Gobservada (mGal)	AB (mGal)
450	0.181708305	978201.3074	16.3320378	94291.75862	978172.1722	-17.90448369
452	0.181719877	978201.3286	13.2639366	94291.76067	978175.9933	-16.21440066
451	0.181714082	978201.318	14.3758224	94291.75964	978174.3522	-17.08027588
436	0.181627619	978201.1593	16.502385	94291.74434	978173.1772	-16.63430865
435	0.181621789	978201.1486	22.5531052	94291.74331	978167.5971	-18.0429324
421	0.181541103	978201.0005	13.8888516	94291.72904	978175.8884	-15.56158646
437	0.181630935	978201.1653	14.71059168	94291.74493	978176.7311	-14.31859438
453	0.181725654	978201.3392	15.3059428	94291.76169	978176.1046	-14.70958779
438	0.181639155	978201.1804	13.6589446	94291.74639	978177.5636	-14.2243022

Como se puede observar en la **Tabla 3.5**, los valores de anomalía de Bouguer fueron negativos para cada estación. Considerando que al hacer las respectivas correcciones por altura y de Bouguer, se elimina el efecto de la capa por encima del Datum, se puede inferir que menores valores de la anomalía de Bouguer se traducen en menores densidades, o mayor profundidad de los estratos más densos. Tales inferencias tienen cierto nivel de ambigüedad, hasta tanto se observe el comportamiento de anomalías en los mapas correspondientes.

Una vez obtenidos los datos de anomalía Bouguer para todas las estaciones, se procedió a cartografiar los mapas correspondientes, utilizando el software “*Golden Surfer 8.0*”.

3.4.4 Procesamiento de los Datos de Magnetometría Área A1

Se procedió a ordenar los datos para su manejo en hojas de cálculo, debido a que los equipos (SCINTREX SM-5 y GEOMETRICS G-858), emiten los datos en

diferentes formatos, el formato “*.STN” para el magnetómetro GEOMETRICS G-858 y “*.TXT” para el magnetómetro SCINTREX SM-5. Posteriormente se graficaron los valores de intensidad magnética versus su respectivo tiempo de medición tomados por el magnetómetro de la estación base para obtener la curva de variación diurna.

La **Figura 3.4** muestra la gráfica de variación diurna para el día 05/11/2008, donde se observa el efecto durante el día de las corrientes solares.^[14]

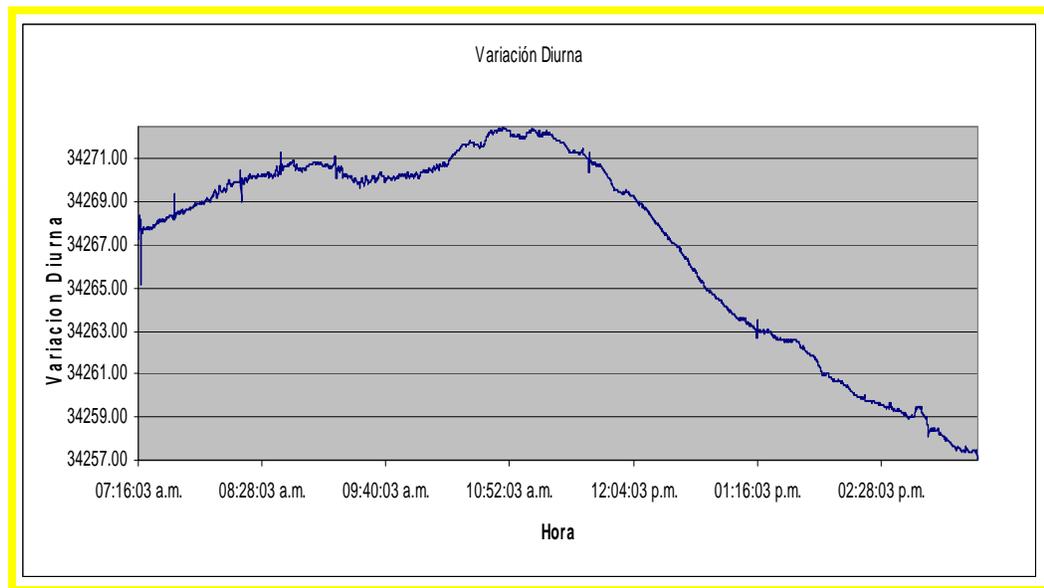


Figura 3.4 Curva de Variación Diurna 05/11/2008.

Posteriormente se verificó la similaridad de las medidas obtenidas por ambos magnetómetros al momento de abrir y cerrar los circuitos, para asegurar el comportamiento paralelo de los mismos. Luego fueron revisados los datos obtenidos para cada estación, eliminando valores anómalos medidos durante el tiempo de muestreo de tres minutos aproximadamente, esto con la finalidad de obtener un valor promedio representativo de las medidas tomadas en cada estación. Seguidamente se

chequearon los tiempos a los cuales fueron tomadas las medidas en campo, con respecto a las dispersiones observadas en la curva de variación diurna, para asegurar que durante ese tiempo el comportamiento en la base se mantuvo estable y tomar los valores promedios de la variación diurna para el mismo intervalo de tiempo de cada estación (**Figura 3.5**). Posteriormente se efectuó el cálculo de la anomalía magnética para cada estación.

La **Figura 3.5** muestra esquemáticamente las magnitudes tomadas en cuenta para el cálculo de la anomalía magnética para una estación en particular.

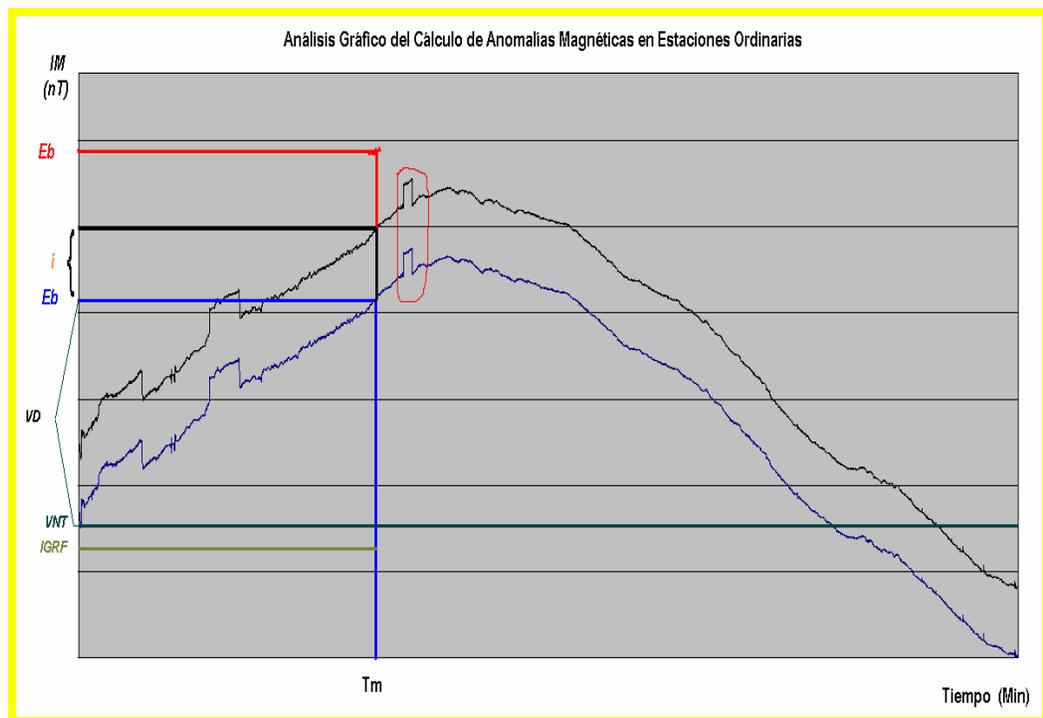


Figura 3.5 Esquema Para el Cálculo de Anomalía Magnética.

Tm representa el tiempo de medición, la curva en color azul muestra la variación diurna graficada de los valores tomados por el magnetómetro de base (Eb),

medición específicos. Los valores de IGRF fueron calculados utilizando el software “*QCTool*” (Figura 3.6).

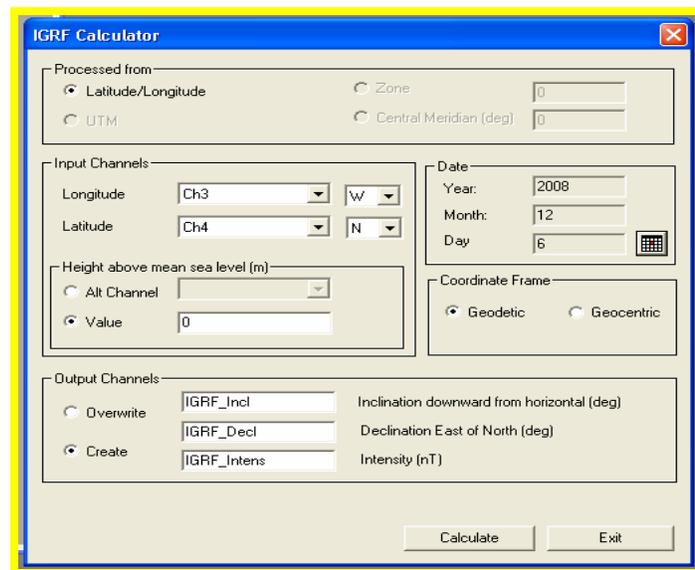


Figura 3.6: Calculador de IGRF. “*QCTool*”.

Como ejemplo al procedimiento descrito anteriormente; la intensidad de campo magnético en la estación M-049, fue medida el día 06/12/2008, por un tiempo de medición de aproximadamente 3 minutos, y cuya muestra de valores tomados cada cinco segundos se muestran en la **Tabla 3.6**.

Tabla 3.5 Muestra de Valores Tomados en la Estación M-049.

Intensidad (nT)	Hora
34363.81	07:43:55 a.m.
34364.52	07:44:01 a.m.
34367.98	07:44:05 a.m.
34371.78	07:44:15 a.m.
34366.17	07:44:26 a.m.
34367.60	07:44:30 a.m.
34378.65	07:44:40 a.m.
34357.13	07:44:55 a.m.
34366.90	07:45:00 a.m.
34363.21	07:45:05 a.m.
34361.88	07:45:10 a.m.
34366.13	07:45:16 a.m.

Estos valores fueron graficados para detectar puntos dispersos (**Figura 3.7**).

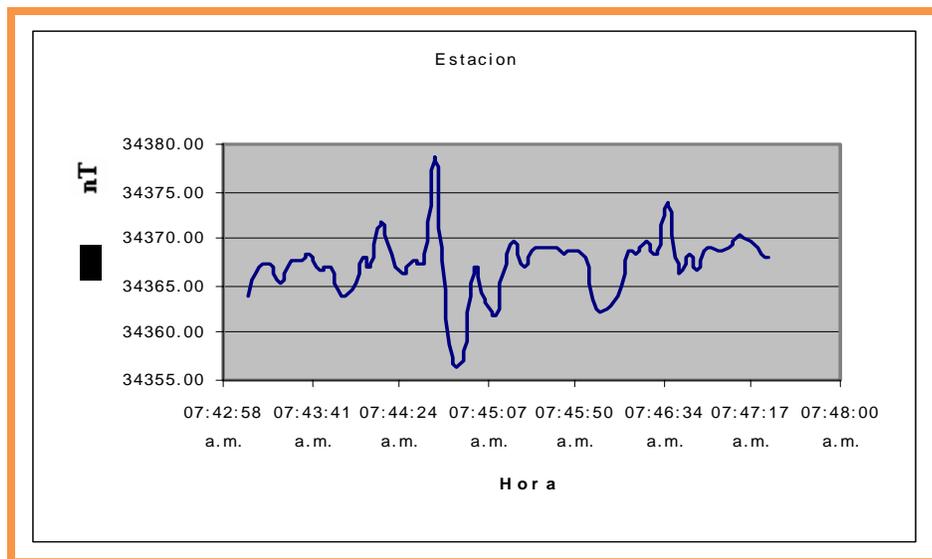


Figura 3.7: Gráfica de Valores Tomados en la Estación M-049.

Luego de eliminar los valores no representativos, se calculó el promedio de las mediciones. De las medidas observadas en la variación diurna por el magnetómetro de base, se calculó el valor promedio para el mismo intervalo de tiempo en la estación M-049 (ver **Tabla 3.6**).

Tabla 3.6 Valores Promedio.

Equipo	Intensidad (nT)	Hora	Valor
Ec	34367.35	07:45:18 a.m.	Promedio
Eb	34251.93	07:45:36 a.m.	Promedio

El valor “i” se obtuvo promediando las diferencias entre ambos magnetómetros al abrir y cerrar el circuito.

Tabla 3.7 Datos en Secuencia Para el Cálculo de “i”.

Tm	Ec (nT)	Eb (nT)	Delta	i(nT)=Delta P
Apertura	34246.01	34240.84	5.17	4.76
Cierre	34239.46	34235.10	4.36	

El valor resultante de anomalía magnética para la estación M-049, para un valor de la noche tranquila de 34266.95 nT, fue de 39.97 nT, y se obtuvo aplicando la ecuación 3.2.

Una vez obtenidos los datos de anomalía magnética, e intensidad magnética total para todas las estaciones, se procedió a cartografiar los mapas correspondientes, utilizando el software “Golden Surfer 8.0”. Al igual que en gravimetría se obtuvieron mapas regionales y residuales, para estudiar el comportamiento general del área, y de los estratos menos profundos.

3.4.5 Procesamiento de Datos de “Up Holes” para Estudios de Capa Meteorizada Área A1.

De acuerdo al área asignada, se procedió al procesamiento de los datos de 5 “Up Holes” para estudios de capa meteorizada comprendidos en dicha área (UH-04, UH-05, UH-06, UH-08 y UH-09). La información obtenida para el procesamiento de los datos consistió en 10 registros sísmicos por cada pozo, correspondientes a las detonaciones a diferentes profundidades, de acuerdo al diagrama de adquisición (Figura 3.8).

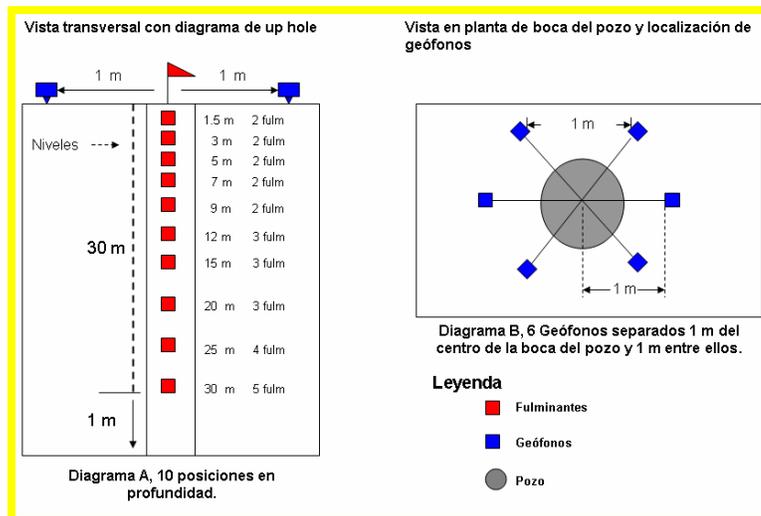


Figura 3.8: Esquema de Adquisición de Registros de “Up Holes”.

A las diversas profundidades de detonación, se determinaron los tiempos de arribo de la primera onda para cada canal, obtenidas de los registros sísmicos grabados (**Figura 3.9**).

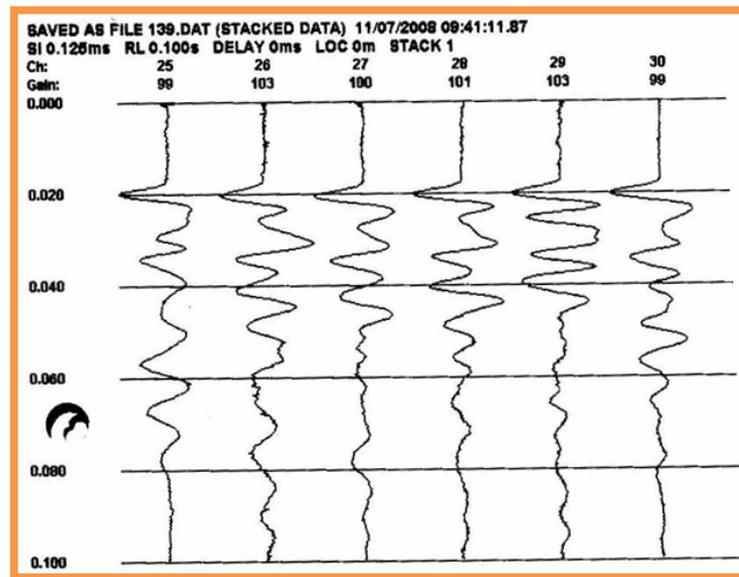


Figura 3.9: Registro Sísmico de “Up Hole”.

Una vez determinados los tiempos de arribo de la primera onda para cada uno de los seis canales, se obtuvo un promedio de estos para cada profundidad de detonación utilizando hojas de cálculo en Excel (**Ver Tabla 3.9**).

Tabla 3.8: Datos de Registros, y Valores Promedio Obtenidos. Up Hole 04.

Prof (m)	1,5	3	5	7	9	12	15	20	25	30
Fulminantes	2	2	2	2	2	3	3	3	4	5
Canal	Tiempos de arribo (ms)									
1	3,8	4,7	5,5	6,6	7,5	10	11,9	13,8	15,9	18
2	3,8	5,1	5,9	7,2	8,1	10,6	12,3	14	16,3	18,3
3	3,3	5	5,9	7,1	8,2	10,8	12,2	14,3	16,4	18,4
4	3,6	5	5,7	7	7,8	10,4	12,3	14,1	16,1	18,3
5	3,2	5	5,9	7	8	10,5	12,1	14,1	16,3	18,2
6	3,4	4,5	5,4	6,5	7,6	10,1	11,6	13,5	15,8	17,7
Promedio	3,52	4,88	5,72	6,90	7,87	10,40	12,07	13,97	16,13	18,15

La **Figura 3.10** muestra la gráfica de los valores promedio obtenidos en el Up Hole 04. Donde se pueden identificar 4 pendientes inherentes a 4 capas; capa meteorizada, submeteorizada, consolidada 1 y consolidada 2.

En la gráfica Tiempo vs Profundidad, se identificaron las pendientes asociadas. Puesto que cada pendiente representa un incremento proporcional del tiempo de arribo con respecto a la profundidad, las cuatro pendientes observadas, representan cuatro capas, y sus magnitudes el valor de la velocidad interválica correspondiente a cada capa. Los espesores fueron determinados identificando las profundidades de intersección de las pendientes, por ejemplo para la capa 2 (pendiente en azul): tope= P1 y base= P2, por tanto su espesor es igual a (P2-P1), y su correspondiente velocidad interválica es igual a $(T2-T1)/(P2-P1)$ (**Ver Tabla 3.10**).

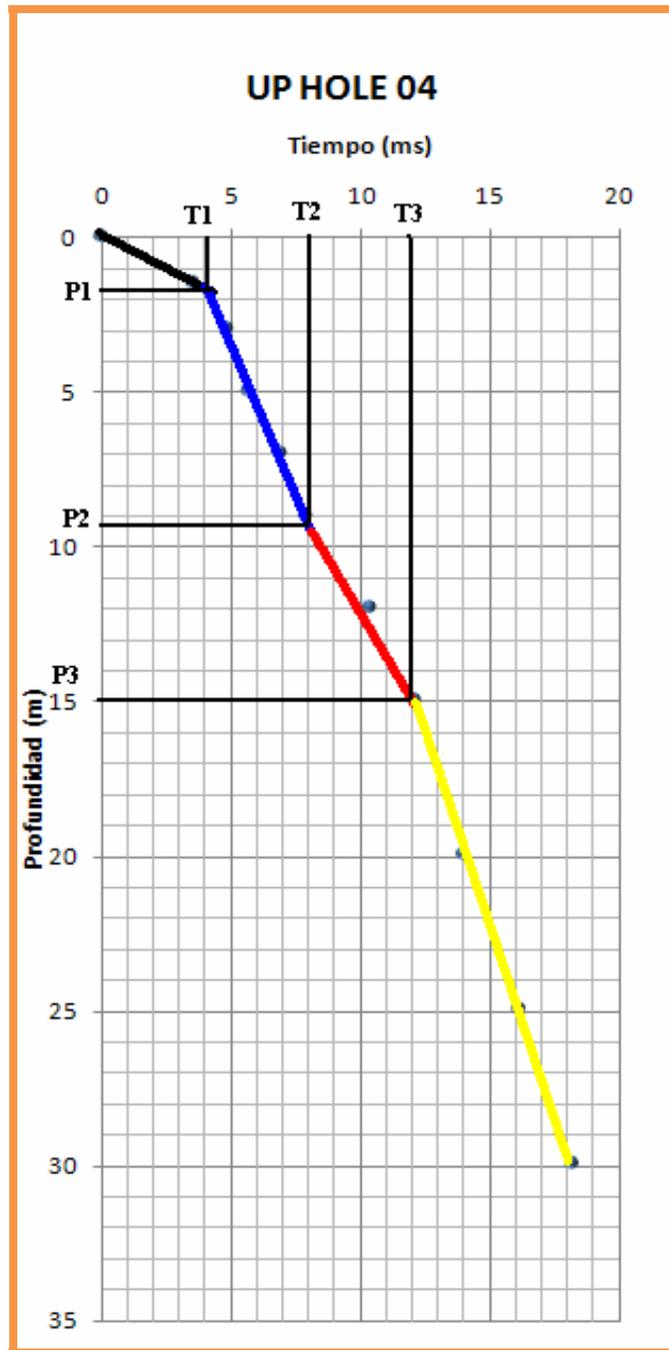


Figura 3.10: Gráfica de Pendientes. “Up Hole” 04.

Tabla 3.9: Resultados Obtenidos. Up Hole 04.

Capa	Nivel	Tiempo (ms)	Profundidad	Velocidad m/s	Espesor (m)
Capa 1	0	0	0	450,00	1,80
	P1	4	1,8		
Capa 2	P1	4	1,8	1850,00	7,40
	P2	8	9,2		
Capa 3	P2	8	9,2	1450,00	5,80
	P3	12	15		
Capa 4	P3	12	15	2409,64	-
	X= 25m	16,15	25		

3.4.6 Combinación de Mapas y Obtención de Secciones Sísmicas.

Los mapas obtenidos del área A1, fueron combinados con mapas estructurales del Campo Cabimas, realizados previamente a este estudio, y con los cuales se contó en formato de imágenes. Por lo cual el procedimiento consistió en su digitalización, empleando como referencia las coordenadas observadas en los ejes de las figuras, con el fin de asegurar el correcto posicionamiento de rasgos como fallas y contornos estructurales, lo cual permitió solapar estos con precisión, a los mapas de anomalías obtenidos. Se utilizó además con esta finalidad, el software Golden Surfer 8.0, utilizando las imágenes de los mapas estructurales como mapas bases y haciendo coincidir a escala los ejes de coordenadas de las figuras con los ejes de los mapas obtenidos.

Una vez combinada la información aportada por los datos de métodos potenciales, se resaltaron anomalías asociadas a estructuras importantes identificadas como áreas prospectivas. Luego se solaparon los mapas de anomalías al mapa base de líneas fuentes y receptoras del levantamiento sísmico, a fin de determinar la ubicación de las secciones sísmicas que muestrearan en profundidad las estructuras previamente identificadas como prospectivas. Tales secciones fueron facilitadas por el departamento de procesamiento de campo.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 FACTORES RELEVANTES INCIDENTES EN EL DESARROLLO DEL PROYECTO

El método sísmico resultó sin duda, ser el más complejo de los métodos aplicados en el proyecto, por la logística requerida, lo cual lo hace a su vez, más vulnerable a factores interferentes en el desenvolvimiento de las operaciones y en la calidad de los datos adquiridos, generando mayores costos de adquisición.

De acuerdo al análisis realizado, se presentan a continuación tales factores, en orden decreciente, con respecto a su nivel de inferencia:

4.1.1 Ruido

El proyecto se localizó en una zona suburbana, involucrando la inferencia de diferentes fuentes de ruido tales como; tráfico vehicular, maquinarias, animales (ganado), tendidos eléctricos, actividad comercial, tuberías, locaciones petroleras, entre otros. El efecto de estas fuentes puede ser disminuido mediante estrategias operativas y aplicando secuencias de procesos que mejoren la visualización de los reflectores de interés (preproceso). Se observó que los registros que se adquirieron hacia el Nor-Este fueron los que presentaron mejor definición de los eventos, a diferencia de los registros que se adquirieron hacia el Sur-Oeste, que fueron los que presentaron una relación señal-ruido más baja. Esta última zona constituyó el área

más poblada del proyecto. Mediante la edición de trazas, la aplicación de filtros y funciones de ganancia, se pudo limpiar la mayor cantidad de las trazas ruidosas, recuperándose e incrementándose las amplitudes de las trazas en los registros. La habilitación de alcabalas fue una de las estrategias aplicadas en pro de minimizar los efectos del tráfico vehicular. La **Figura 4.1** muestra un disparo afectado por el ruido vehicular de la carretera Lara-Zulia sin la aplicación del preproceso. Se puede observar en el mismo un nivel considerable de ruido sísmico que ocasiona una baja definición de las reflexiones en los intervalos de interés.

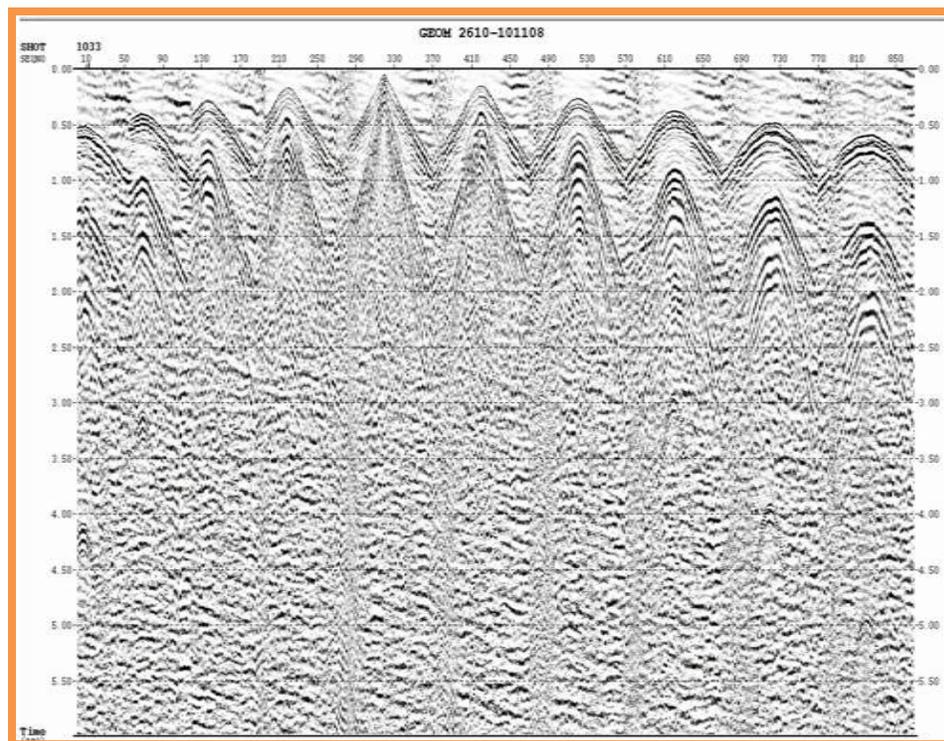


Figura 4.1: Disparo sin Preproceso. [16]

La **Figura 4.2** muestra el mismo disparo una vez aplicado el preproceso. Se observa un considerable efecto del preprocesamiento sobre la visualización de las reflexiones en el disparo, incrementándose la definición de las mismas.

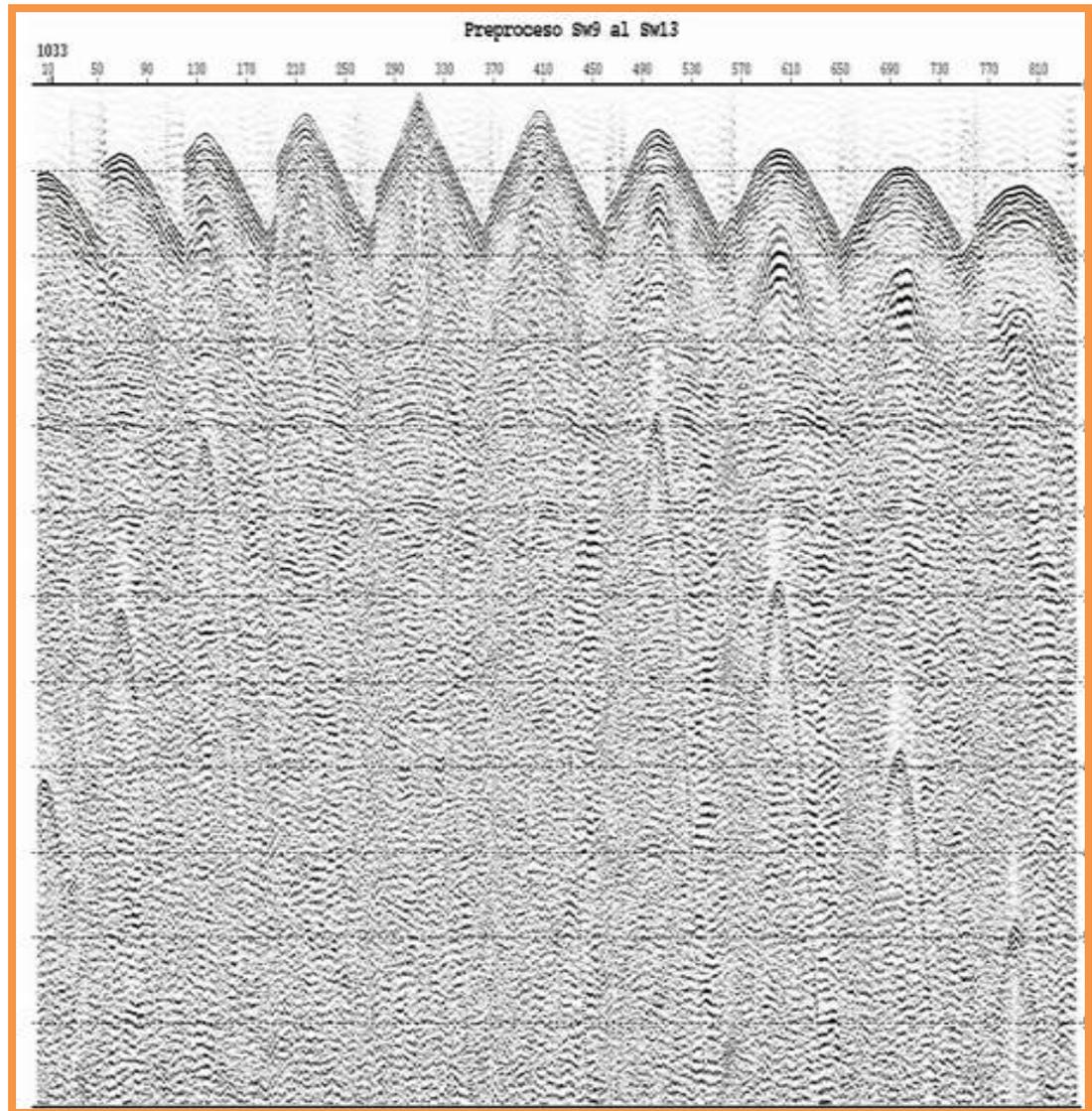


Figura 4.2: Disparo con Preproceso. ^[16]

El análisis espectral (relación Amplitud vs. Frecuencias), refleja la mejora de los datos después del preproceso, desde su efecto en el rango de frecuencias.

La **Figura 4.3** muestra el análisis espectral del disparo antes del preproceso, donde se observan picos altos de amplitudes a bajas frecuencias, que tienden a

enmascarar la señal en el registro sísmico, se observa además una pronunciada pendiente de pérdida de amplitudes a medida que aumenta le frecuencia.

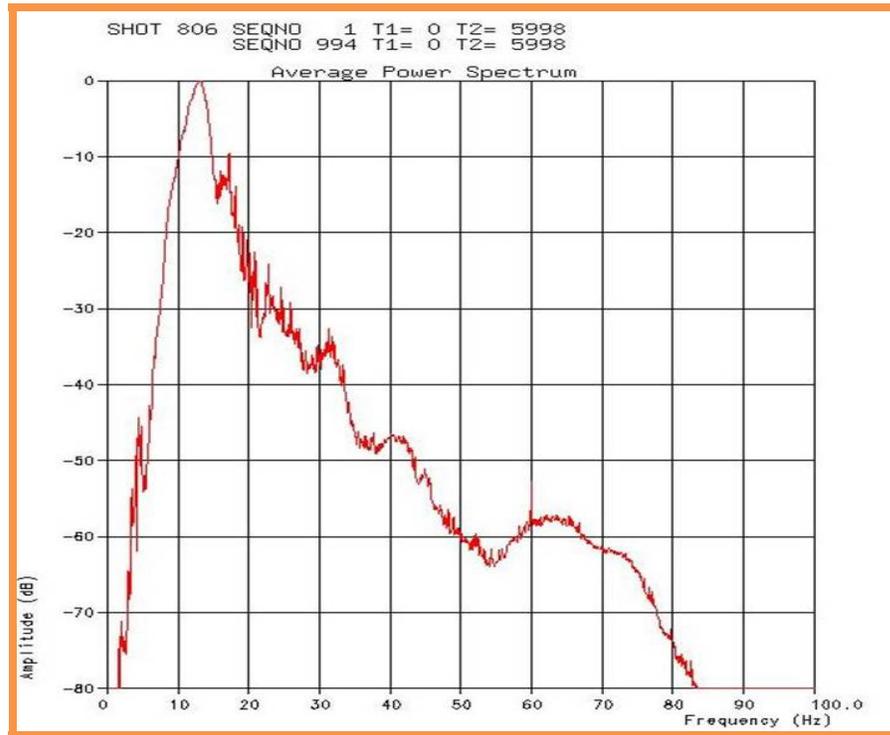


Figura 4.3: Análisis Espectral sin Preproceso. ^[16]

La **Figura 4.4** muestra el análisis espectral del disparo, una vez aplicado el preproceso, se puede observar la minimización del efecto de las amplitudes a muy bajas frecuencias, y un comportamiento un poco más constante en el rango de frecuencias considerado como el rango de frecuencia de la señal, haciendo dominante este intervalo, lo cual incrementa la relación de amplitudes de la señal con respecto al ruido.



Figura 4.4: Análisis Espectral con Preproceso. [16]

4.1.2 Obstáculos Ambientales y Culturales

Los obstáculos ambientales y culturales presentes en el área influyeron directamente en la cantidad de estaciones levantadas en “*offset*”, en su distribución y por tanto en la cobertura final o postplot. La distribución de estaciones en “*offset*” juega un papel importante en la calidad de los productos finales de la adquisición. Por ejemplo; al levantar en “*offset*” estaciones cercanas pertenecientes a una misma línea sísmica en un mismo sentido, por distancias mayores a los 25m, se crea redundancia de trazas en una zona y deficiencia de trazas o menor cobertura en la zona del sentido opuesto. Esto bien podría acarrear poca visualización de los eventos sísmicos de interés en algunas zonas altamente prospectivas.

La **Figura 4.5** muestra las condiciones finales o “*postplot*” del levantamiento, en cuanto a las estaciones levantadas.

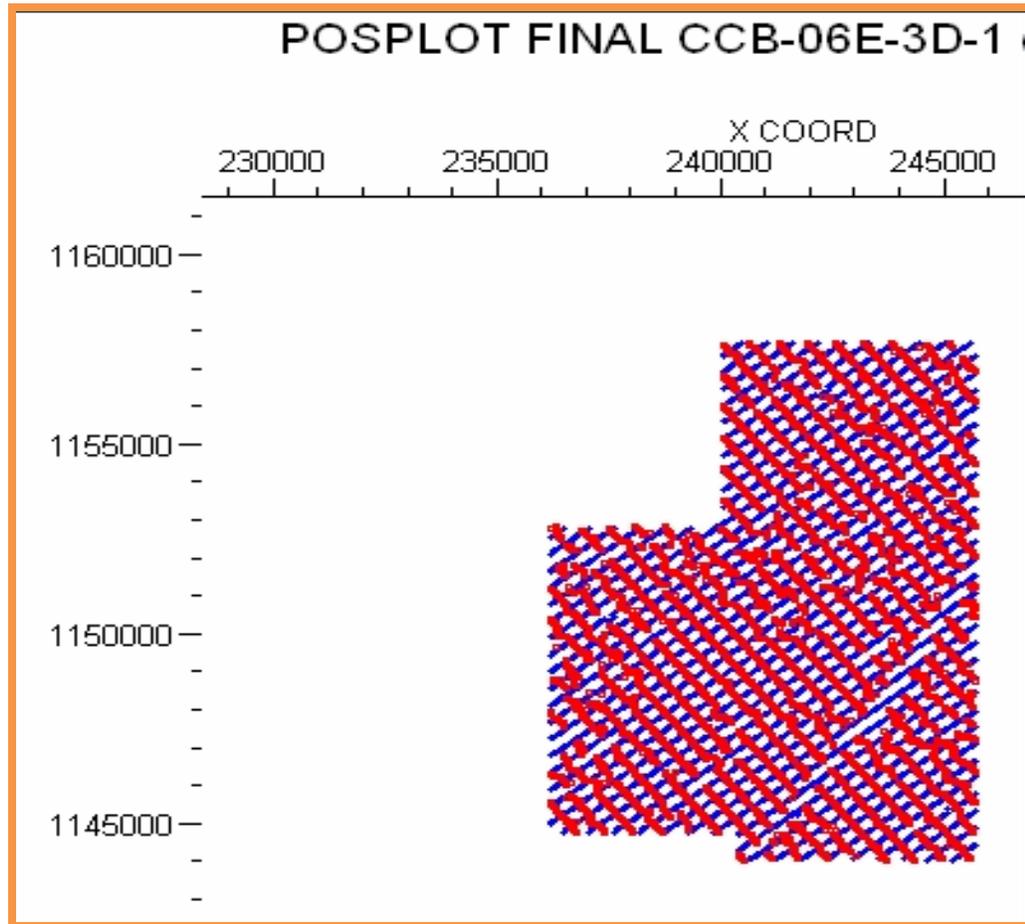


Figura 4.5: “*Postplot*” de Estaciones. ^[11]

La **Figura 4.6** muestra las condiciones finales o “*postplot*” del levantamiento, en cuanto a la cobertura final.

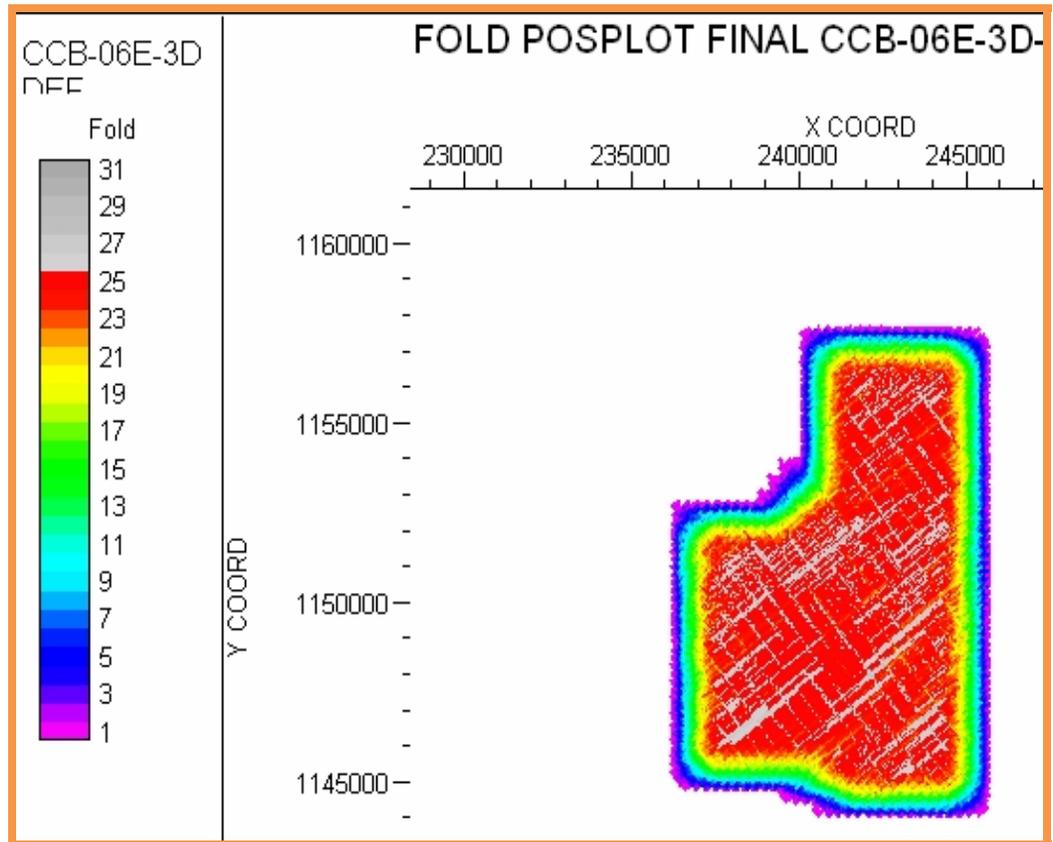


Figura 4.6: “Postplot” de Cobertura. ^[11]

En los mapas “postplot” obtenidos, se pueden observar los efectos de los obstáculos ambientales y culturales y la distribución de “offsets”, en la cobertura. Por ejemplo; se puede notar el efecto ocasionado por el corredor Ule-Amuay (tubería de petróleo y tubería de gas a lo largo de la carretera La Willians) y por las zonas pobladas. Observándose además zonas con redundancia en la cobertura.

Al finalizar la adquisición de datos se contabilizaron 11 puntos fuentes declarados en “skip” justificados por obstáculos culturales y naturales, 09 debido a viviendas y 02 por laguna, que con los criterios y distancias de seguridad emanados de PDVSA no pudieron ser recuperados en la modalidad de “offsets”. Estos puntos fuentes en “skip” estuvieron ubicados en el borde SO del proyecto, y no generaron

un vacío en la cobertura que pudiera afectar la información sobre algunos reflectores en particular. Los otros dos “*skips*” fueron por laguna.

4.1.3 Clima

El clima afectó el desenvolvimiento de las operaciones durante la adquisición de los datos, esto debido a que la misma fue realizada en la temporada de lluvias, lo cual aumenta la interferencia de estáticas. Tales factores alargan el tiempo requerido para efectuar la grabación, retardan la movilización de receptores y complican las condiciones de accesibilidad, incrementando los costos de adquisición.

4.1.4 Dificultades Ambientales y Topográficas

El proyecto CAMPO COSTANERO BOLIVAR mayormente no presentó dificultades ambientales y topográficas de gran envergadura, las condiciones del terreno que consistió en una superficie suavemente ondulada con cotas comprendidas entre 10 y 90 metros sobre el nivel del mar, y la presencia de pocas quebradas. Los reconocimientos realizados revelaron la presencia de cuerpos de agua en la parte Norte y Nor-Este del proyecto. Durante la fase de regado de material de grabación, las lagunas de gran envergadura fueron esquivadas en la modalidad de “*offsets*” de receptores.

4.2 MAPAS GRAVIMÉTRICOS ÁREA A1

La **Figura 4.7** muestra la variación de la anomalía de Bouguer (AB) en el Área A1, designada para la elaboración de este trabajo de grado. Se observa mayor valor de AB al Noreste de la zona A1. Se observa además una franja con alta pendiente de

variación de la anomalía de Bouguer en sentido NS, curvada hacia el este en el extremo sur.

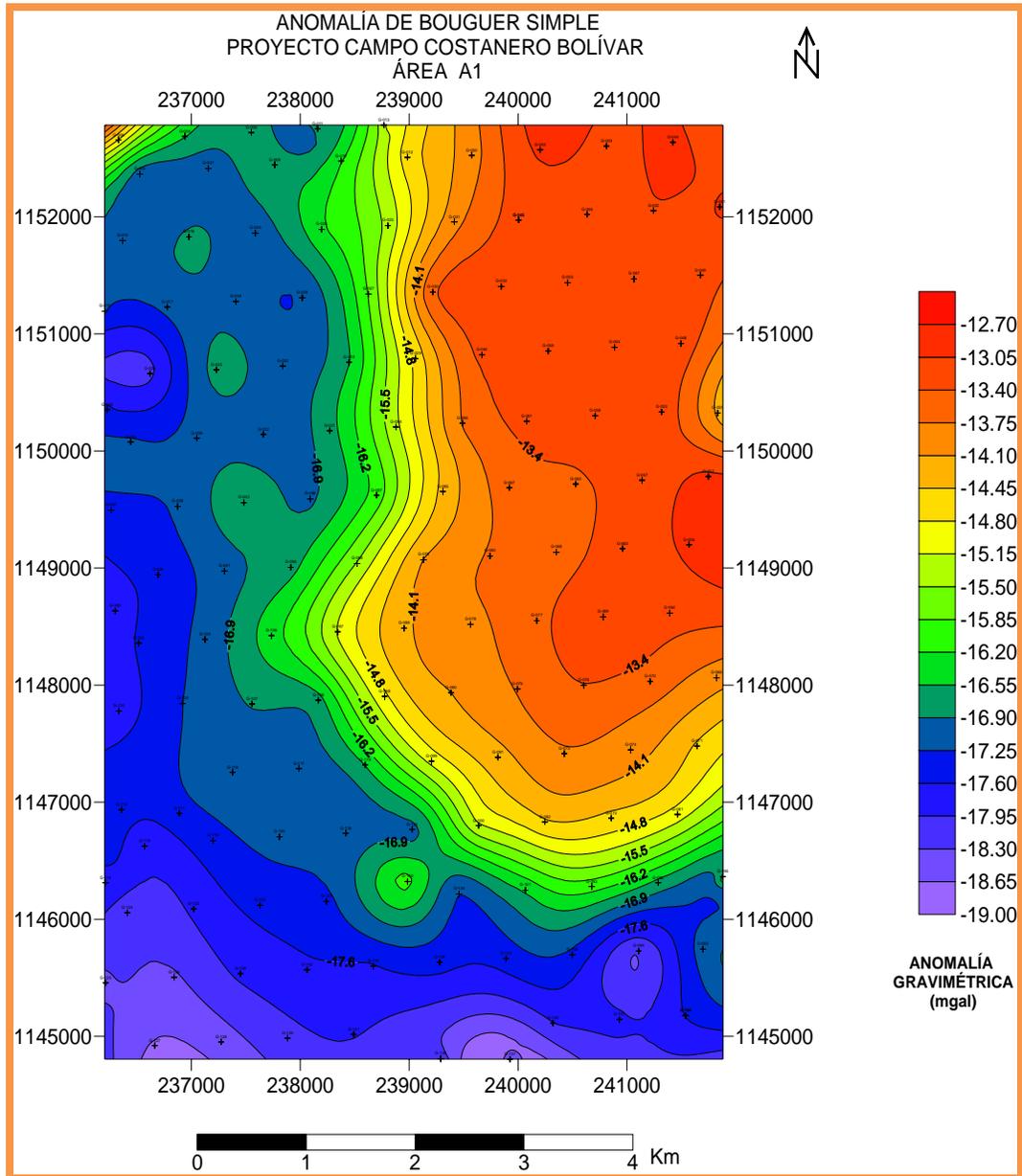


Figura 4.7: Mapa de Anomalía de Bouguer Simple (AB). Área A1.

La **Figura 4.8** representa un mapa regional de primer grado (tendencia lineal) de anomalías gravimétricas en el área A1. El mismo muestra el comportamiento de los estratos más profundos (más densos), ya que estos son los que dominan el comportamiento gravimétrico general. Se observa el decremento de la gravedad en sentido NE-SO.^[17]

Considerando que el lago de Maracaibo se ubica al Suroeste del área A1, las tendencias observadas coinciden con la situación geográfica de esta área, comprendida en la cuenca del Lago de Maracaibo, ya que los estratos más densos se encuentran a mayor profundidad hacia dicho Lago (SO).

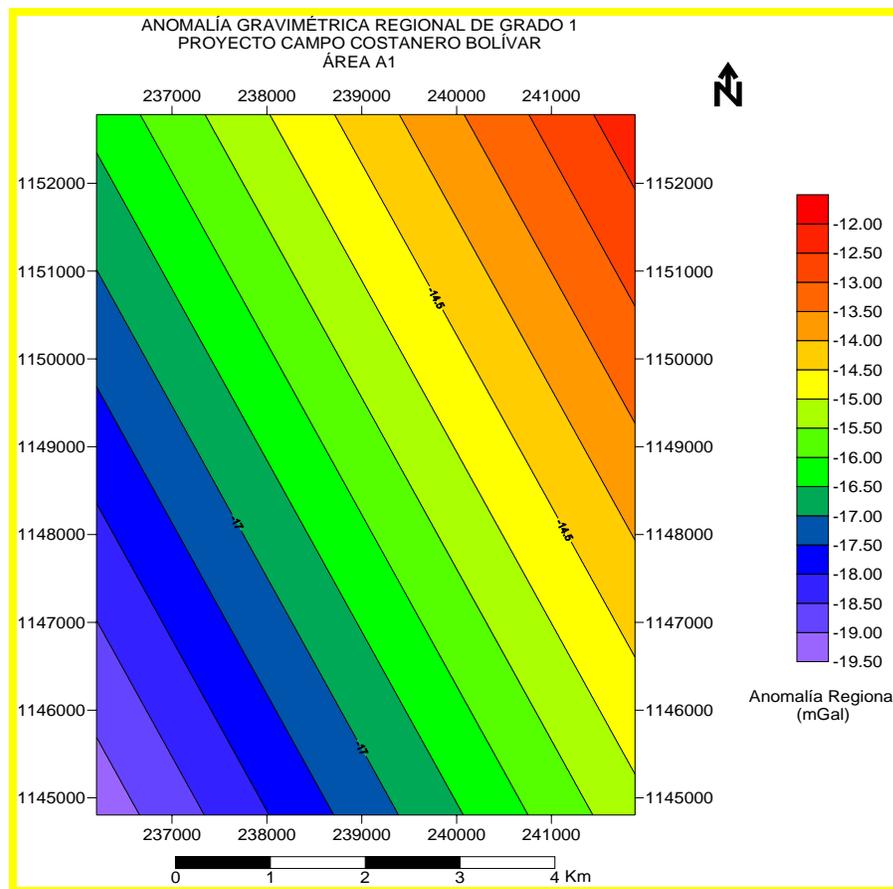


Figura 4.8: Mapa Regional Gravimétrico de 1^{er} Grado. Área A1.

La **Figura 4.9** representa un mapa regional de segundo grado, realizado mediante el método de regresión polinomial, y en el mismo se muestran las tendencias gravimétricas del área, aproximadas a una ecuación de grado 2 (tendencia parabólica). Se observa que las tendencias coinciden mejor con las observadas en la **Figura 4.7**, esto debido a que al aumentar el grado del mapa regional, se adiciona el efecto de estratos más superficiales y por tanto se aproxima al mapa de Anomalía de Bouguer.

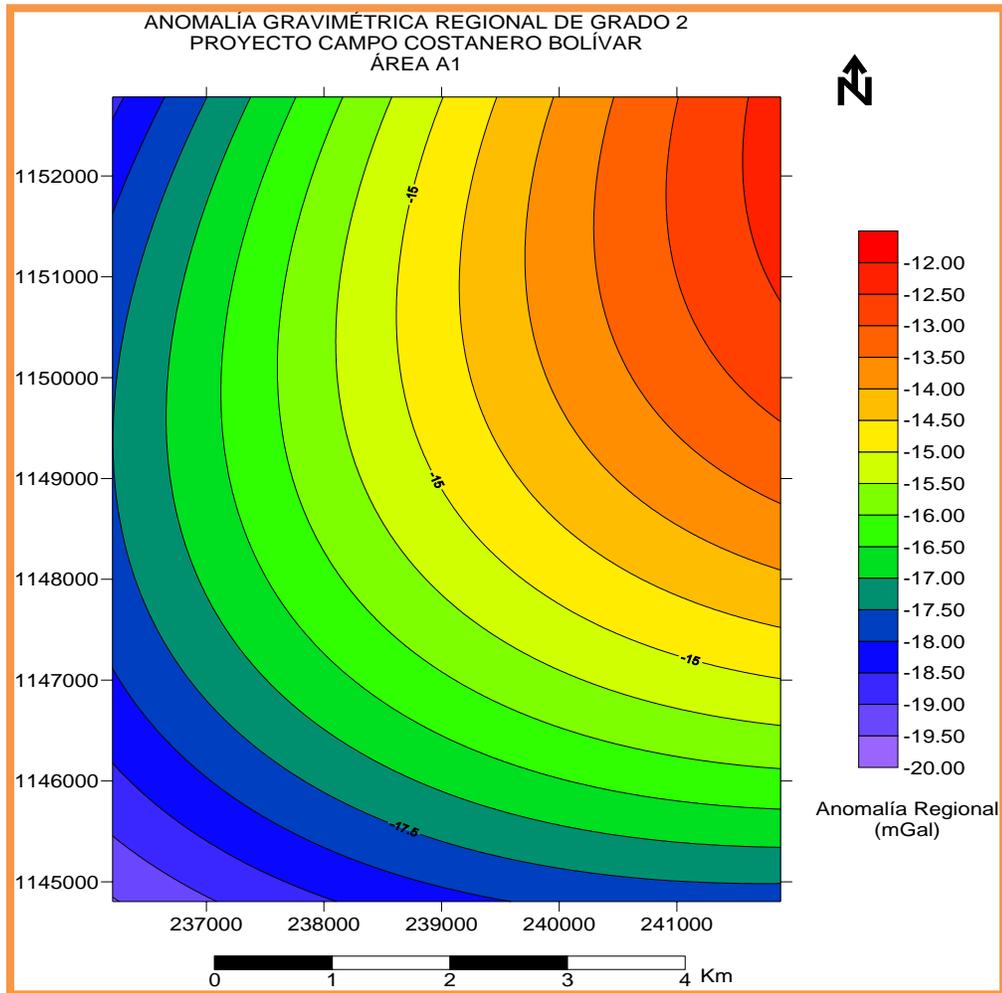


Figura 4.9: Mapa Regional Gravimétrico de 2^o Grado. Area A1.

La **Figura 4.10** representa un mapa residual de primer grado, obtenido de restar un mapa regional de grado 1, a un mapa de anomalía de Bouguer, y en el mismo se muestra el comportamiento gravimétrico de los estratos por encima del basamento. Se observa una zona de alto gravimétrico aproximadamente concéntrica, la cual bien podría coincidir con una estructura en forma de domo, o con el afloramiento de estratos.

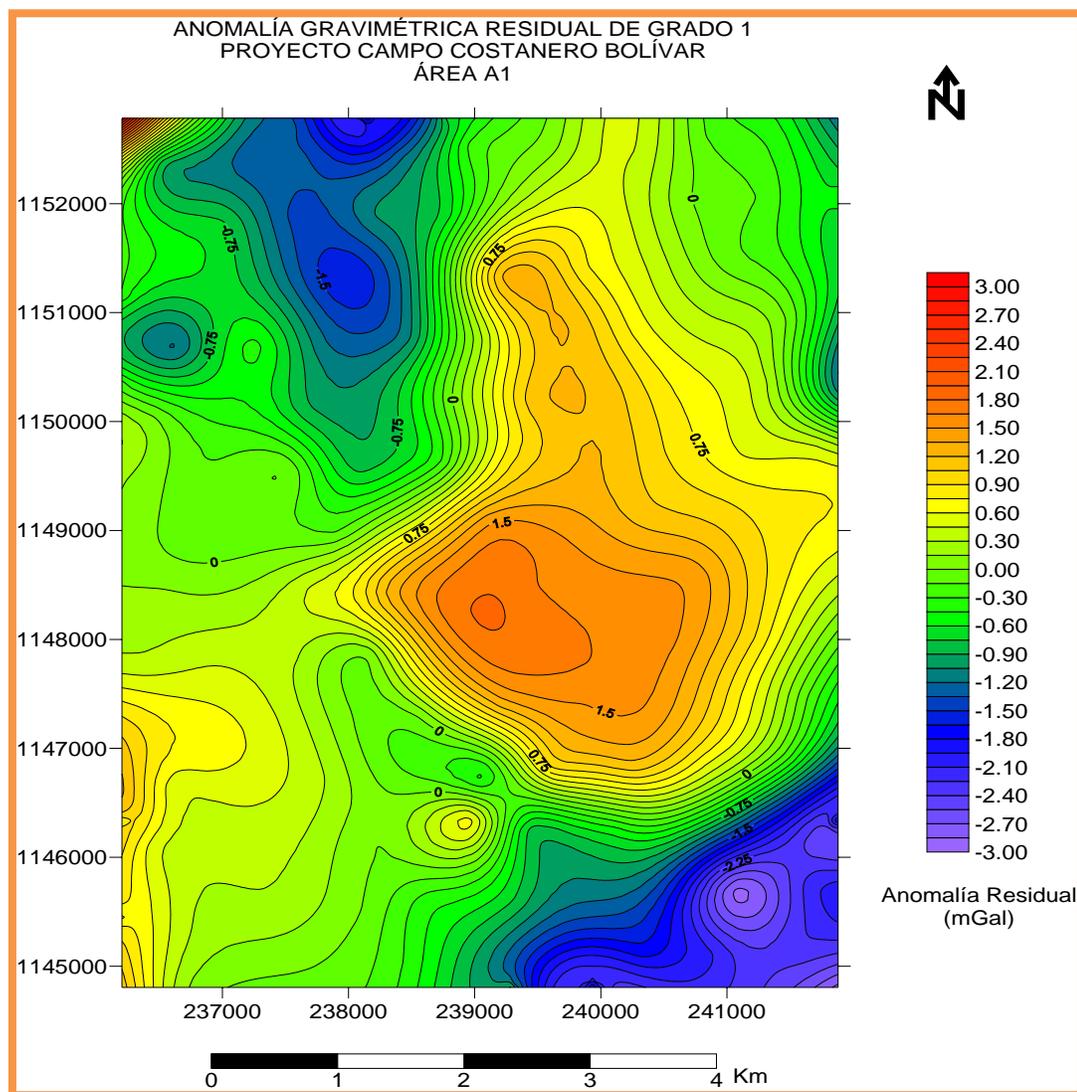


Figura 4.10: Mapa Residual Gravimétrico de 1^{er} Grado. Área A1.

La **Figura 4.11** representa un mapa residual de segundo grado, obtenido de restar un mapa regional de grado 2, a un mapa de anomalía de Bouguer, en el mismo se muestra el comportamiento gravimétrico de los estratos más superficiales

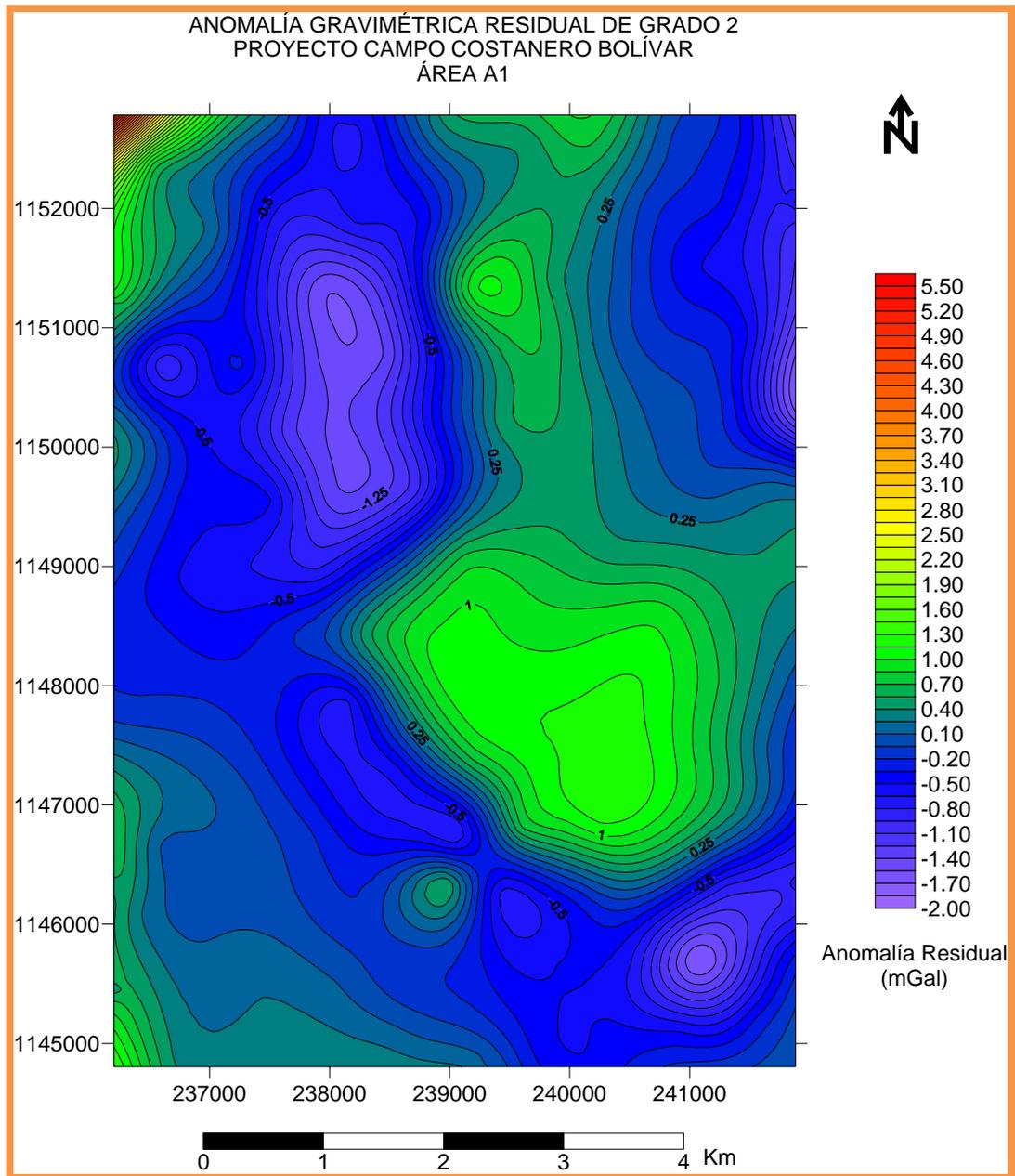


Figura 4.11: Mapa Residual Gravimétrico de 2^o Grado. Area A1.

La **Figura 4.12** muestra en relieve la anomalía de Bouguer en la zona A1.

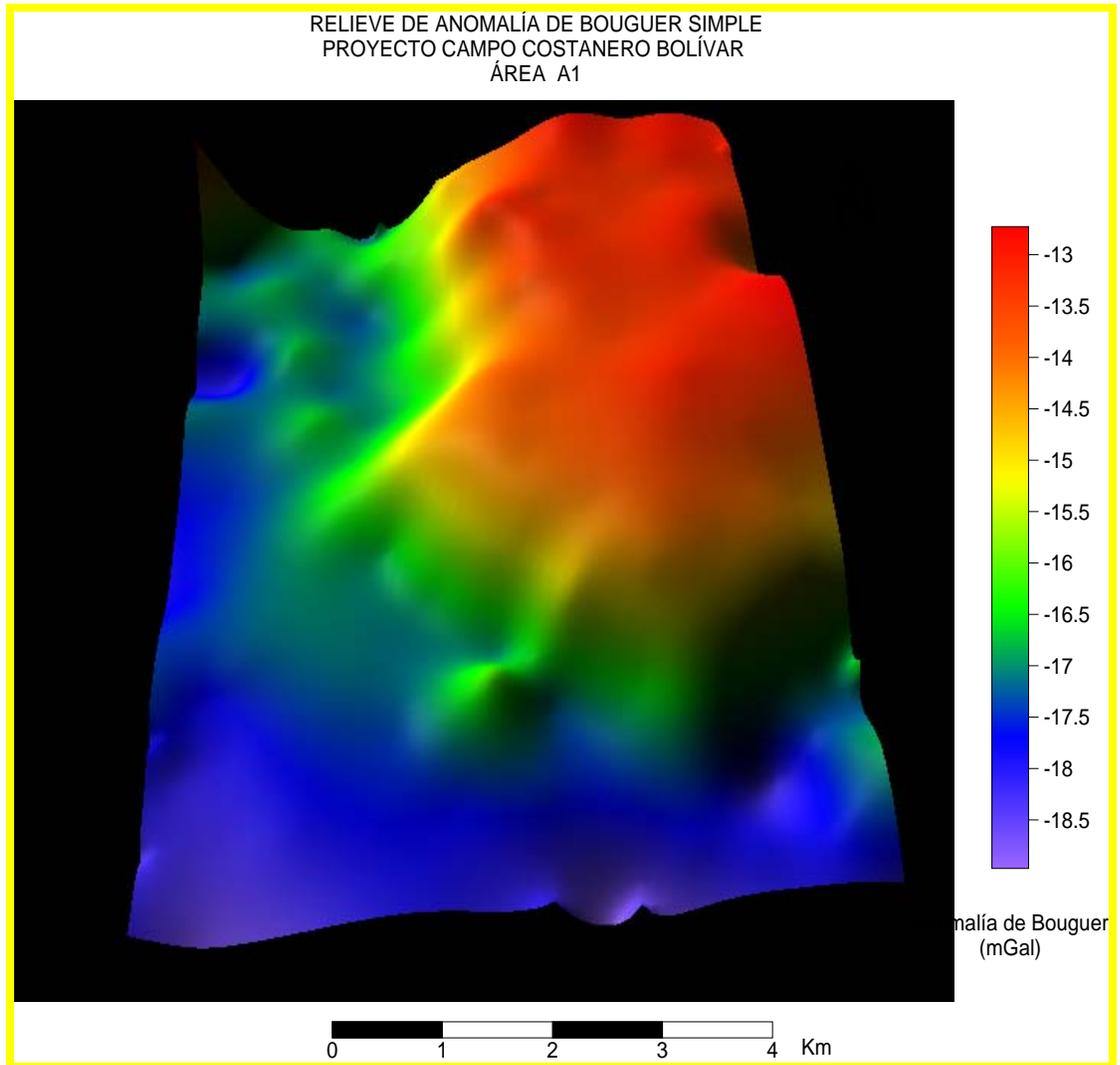


Figura 4.12: Mapa en Relieve de Anomalía de Bouguer. Área A1.

La **Figura 4.13** muestra en relieve las elevaciones correspondientes a la zona A1.

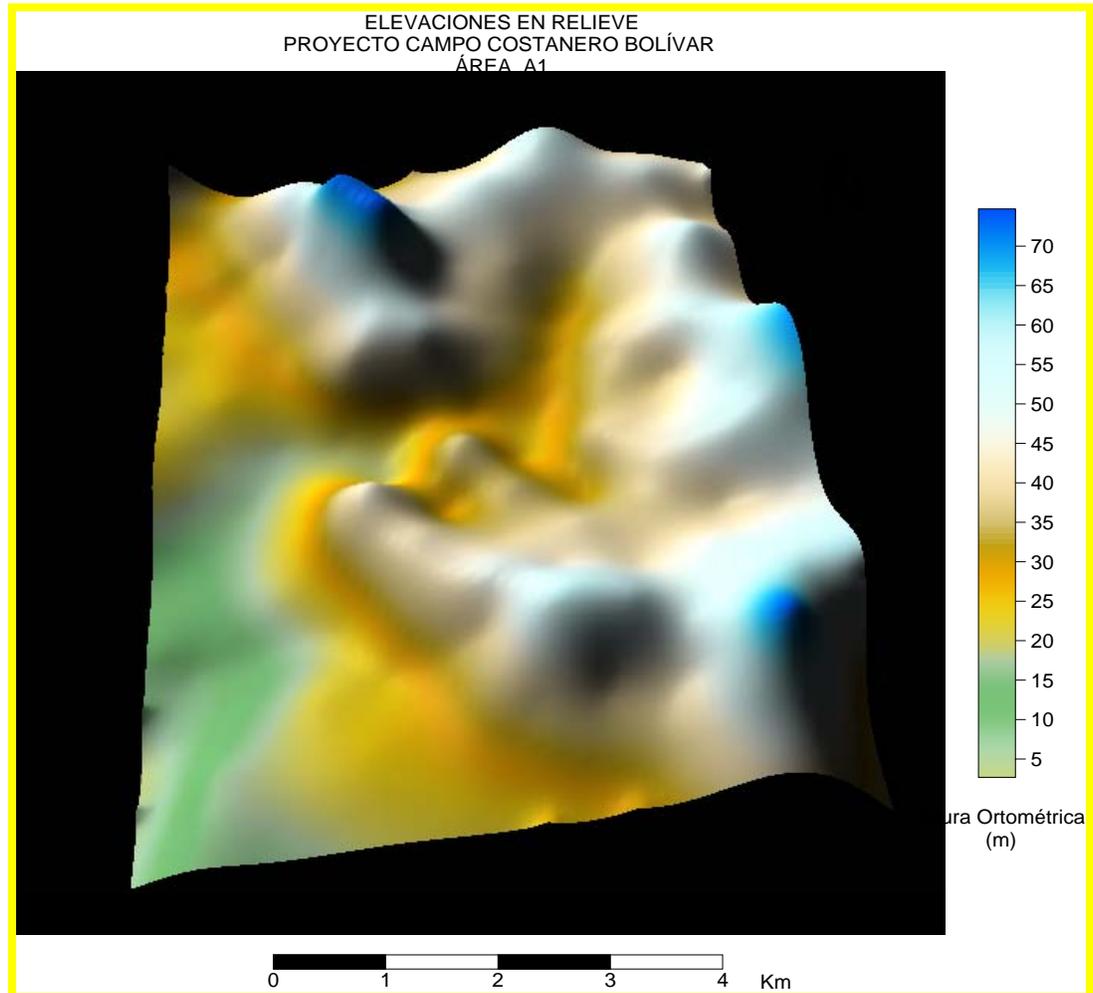


Figura 4.13: Mapa en Relieve de Elevaciones. Área A1.

Considerando por separado el efecto de la altura sobre la magnitud de la gravedad, ésta tendrá el efecto de disminuirla debido al aumento de la distancia con respecto al centro de la tierra. Lo anterior no constituye una regla puesto que se deben considerar los efectos de la masa subyacente, aplicados en la corrección de Bouguer, y notables en la comparación de las figuras 4.12 y 4.13. Se pueden observar mayores

valores de gravedad aún en las zonas más altas de la zona A1, esto debido al levantamiento de los estratos más densos o al afloramiento de los mismos.

Para dar mayor soporte a esta breve interpretación, el mapa de la **Figura 4.7** fue solapado con un mapa estructural de la discordancia del Eoceno en el área del campo Cabimas, a fin de resaltar la concordancia de las tendencias gravimétricas con los rasgos estructurales (**Figura 4.14**).

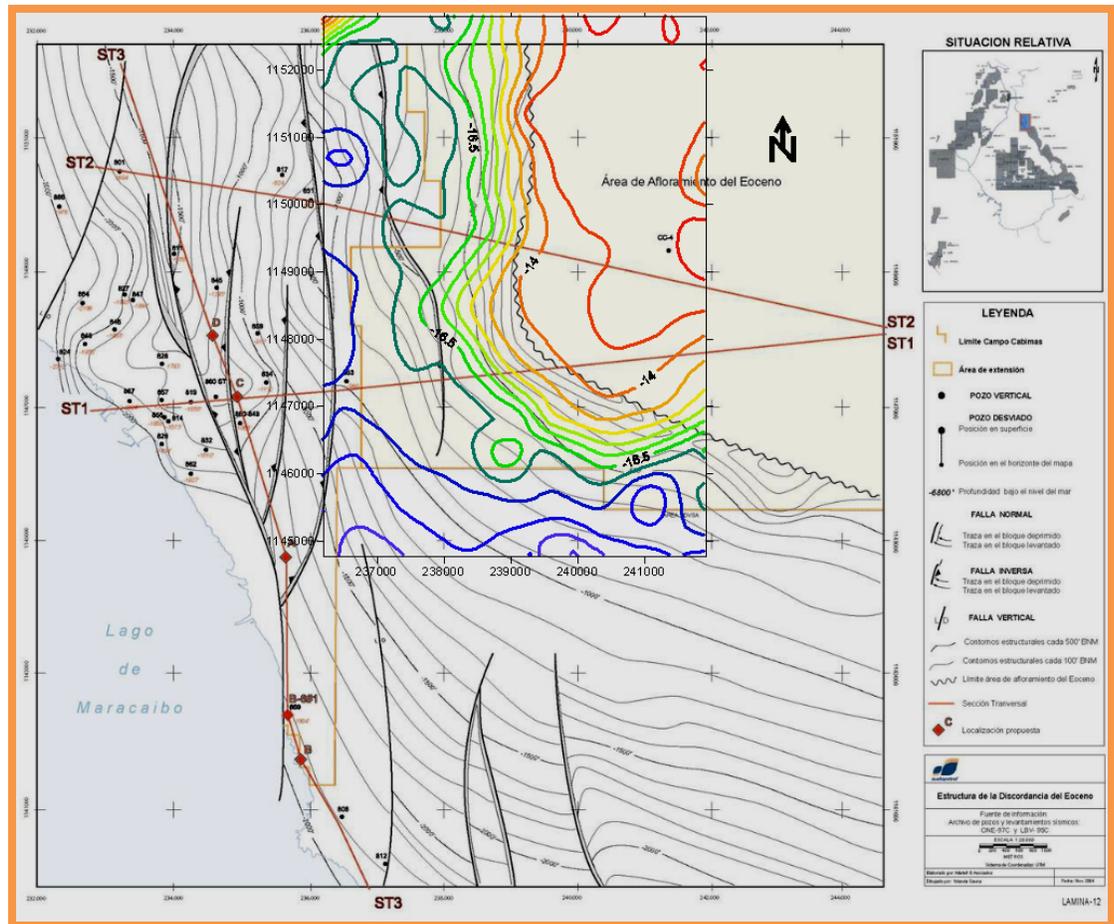


Figura 4.14: Concordancia de Tendencias Gravimétricas con Mapa Estructural. Área A1. [3]

En la **Figura 4.14** se observa la relación de las anomalías gravimétricas, con las estructuras principales. Se observa la coincidencia del afloramiento del Eoceno, con la zona de mayor valor de anomalía.

La **Figura 4.15** muestra el mapa regional gravimétrico de segundo grado solapado con el mismo mapa estructural de la figura 4.14. Se observan las tendencias gravimétricas generales del área, coincidentes con las tendencias de los contornos estructurales.

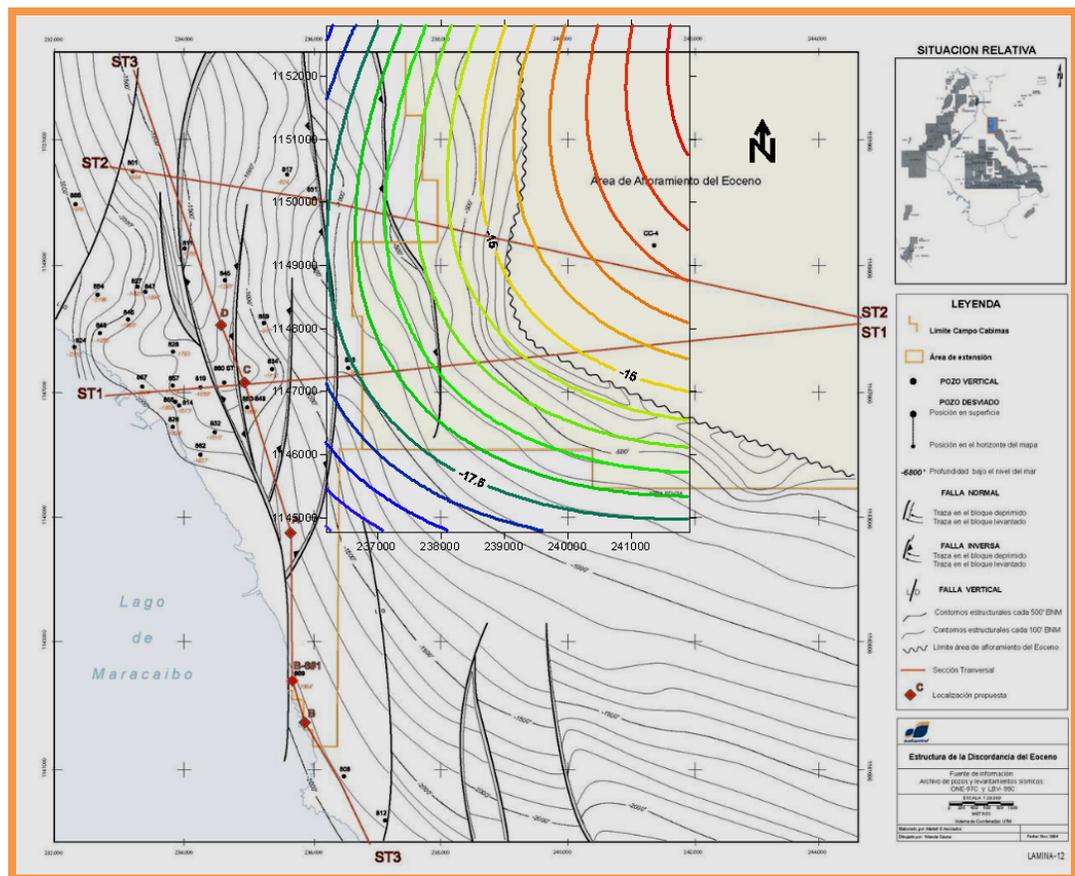


Figura 4.15: Concordancia de Tendencias Gravimétricas de Mapa Regional de 2^{do} Grado con Mapa Estructural. Área A1. [3]

La **Figura 4.16** muestra el mapa de Anomalía de Bouguer solapado con un mapa estructural de áreas prospectivas, en el cual se observan algunos rasgos coincidentes importantes, lo cual muestra la calidad y representatividad de los datos adquiridos.

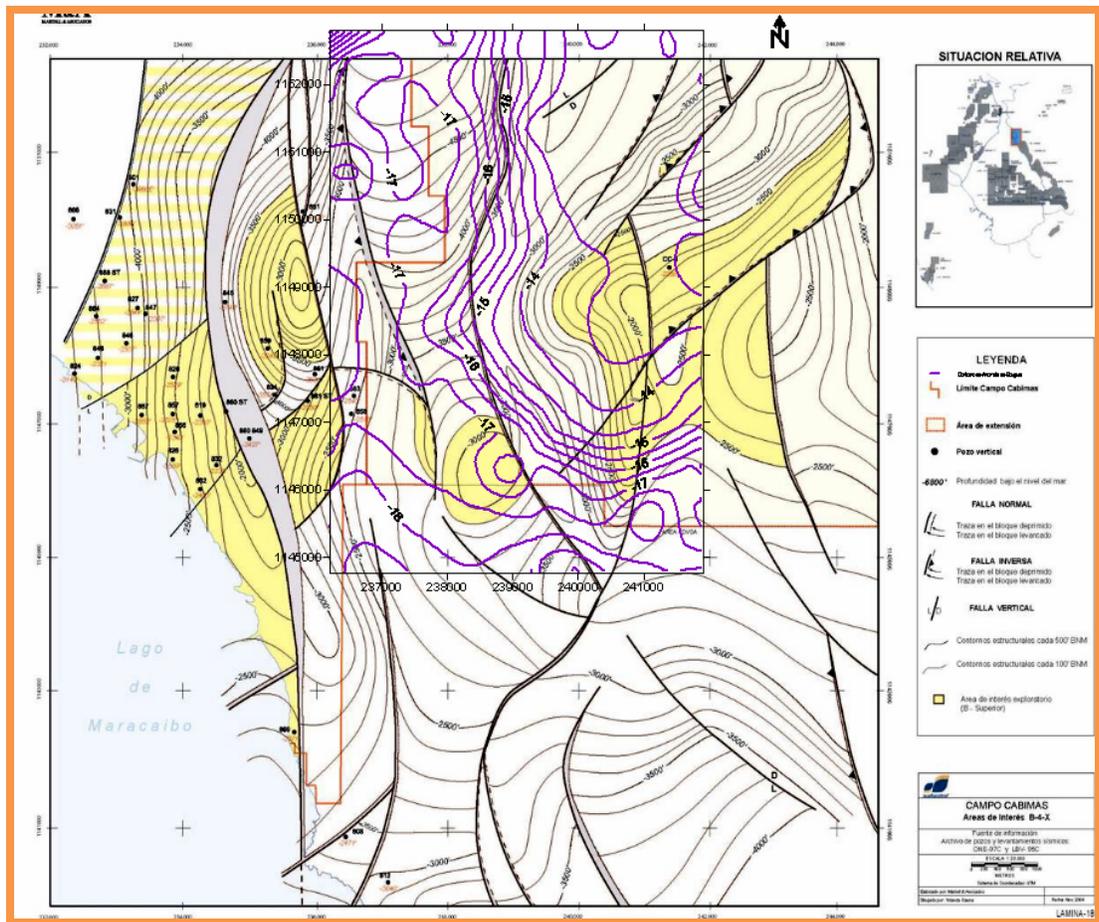


Figura 4.16: Mapa de Anomalía de Bouguer Solapado con Mapa Estructural de Prospectos. Área A1. [3]

4.3 MAPAS MAGNÉTICOS ÁREA A1

La **Figura 4.17** muestra la variación de la anomalía magnética (AM) en el Área A1, designada para la elaboración de este trabajo de grado.

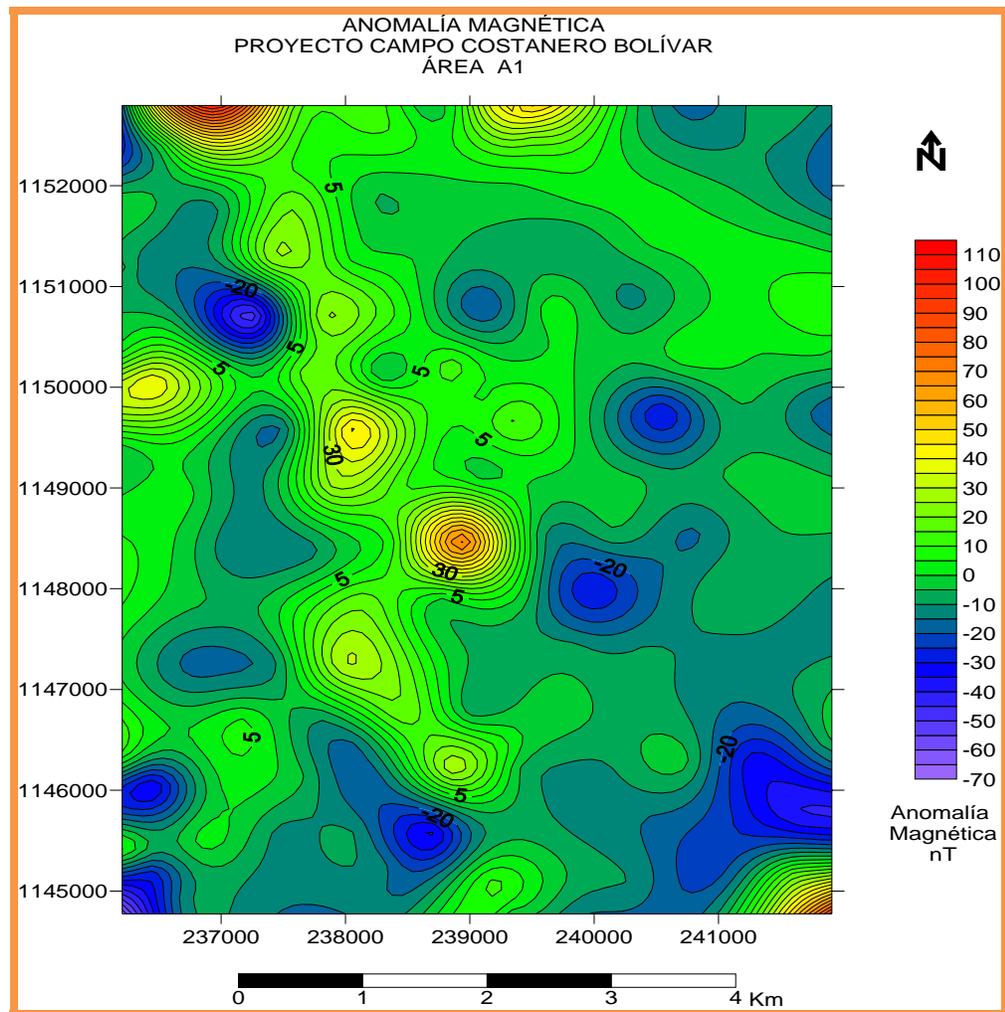


Figura 4.17: Anomalía Magnética (AM). Área A1.

Aún cuando mapas magnéticos tienden a ser ruidosos en zonas suburbanas, se observan tendencias coherentes que demuestran la calidad de los datos, análogo a un procesamiento adecuado, donde se consideraron las variables necesarias.

La **Figura 4.18** muestra el mapa regional de anomalía magnética de primer grado (tendencia lineal) en el área A1. Se observa el incremento de anomalía magnética de SE a NO, de valores negativos a positivos, lo cual permite inferir, deficiencia de minerales de hierro al SE, y su aumento gradual hacia el NO.

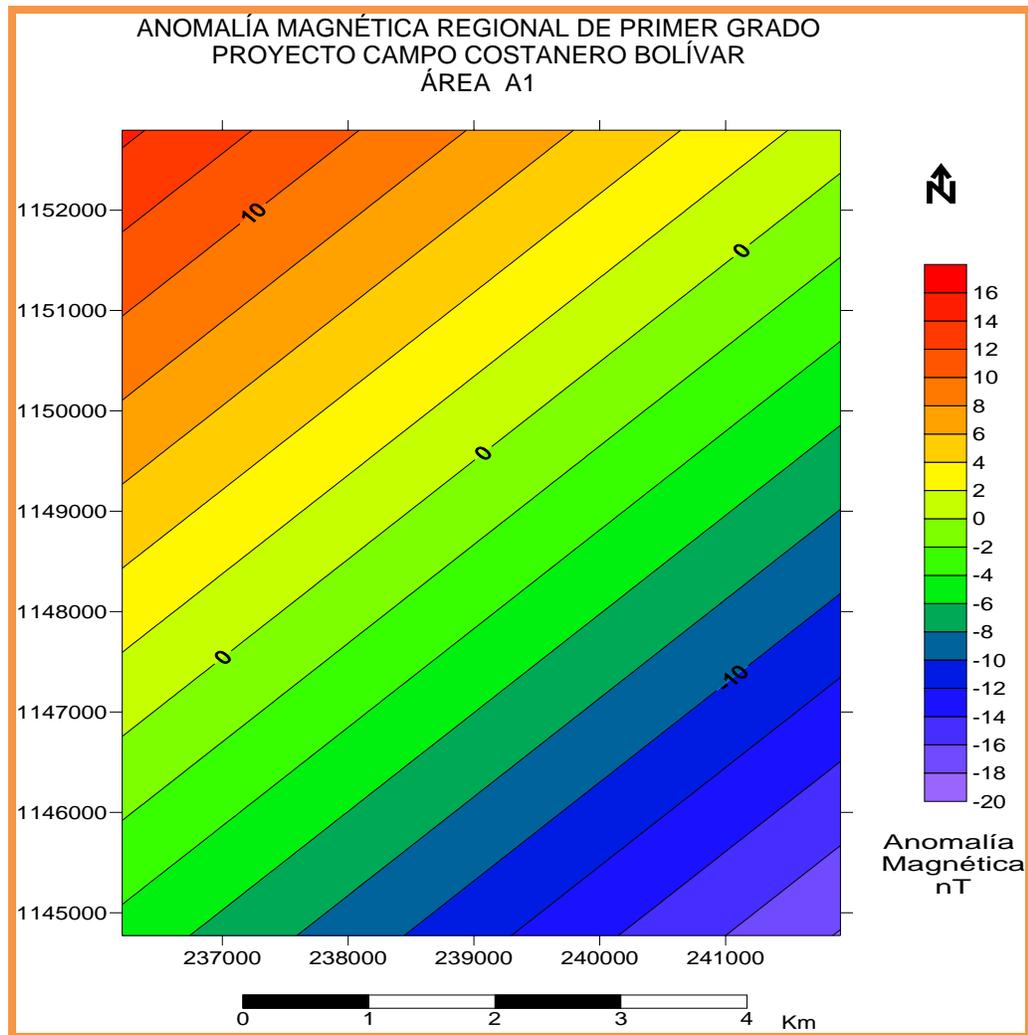


Figura 4.18: Anomalía Magnética Regional de 1^{er} Grado (AM). Área A1.

La **Figura 4.19** muestra el mapa regional de anomalía magnética de segundo grado en el área A1, obtenido mediante el método de regresión polinomial. Donde se observa las tendencias aproximadas a una ecuación de segundo grado.

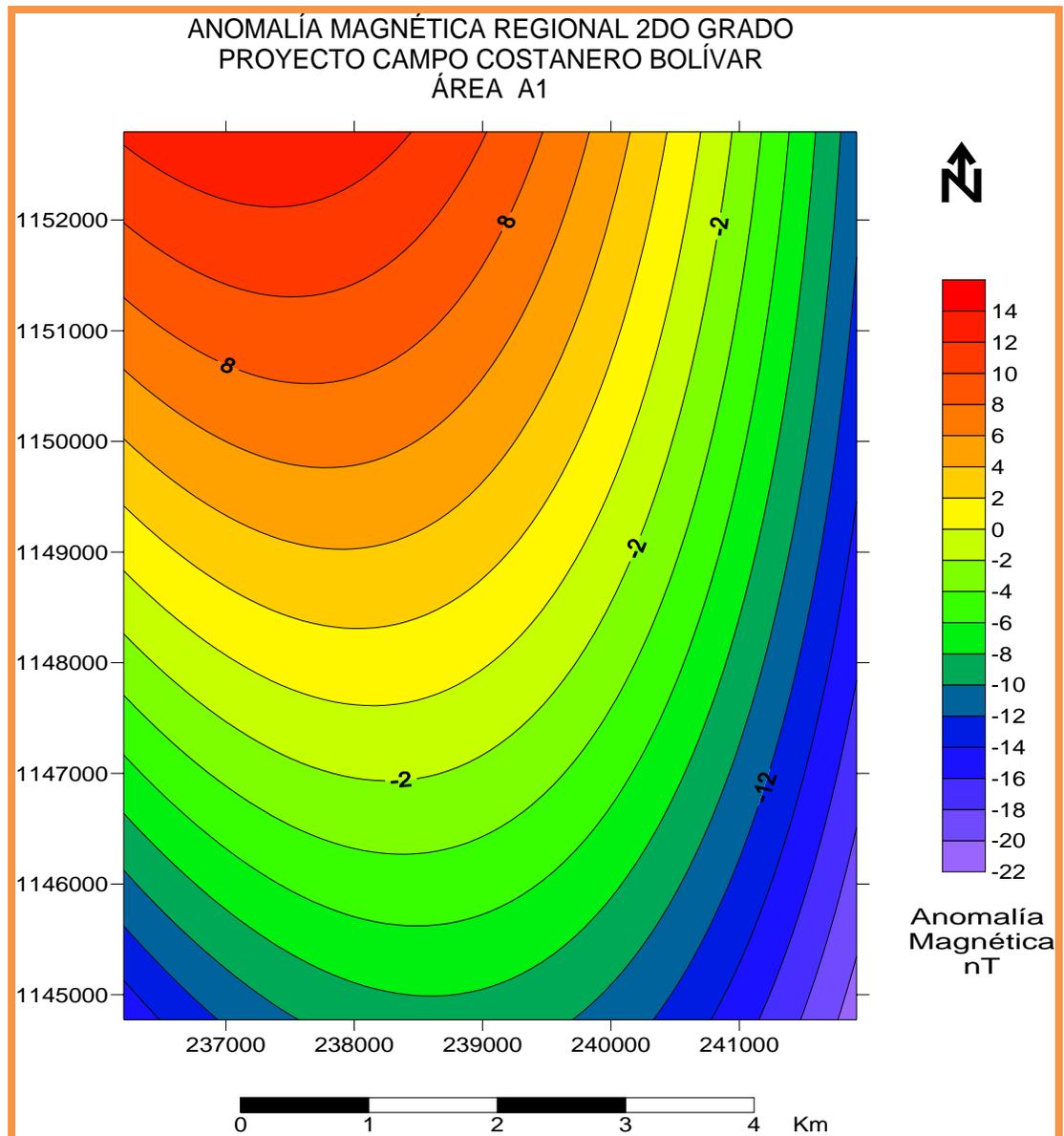


Figura 4.19: Anomalía Magnética Regional de 2^{do} Grado (AM). Área A1.

La **Figura 4.20** muestra el mapa residual de anomalía magnética de primer grado en el área A1, obtenido de sustraer el mapa regional de primer grado al mapa de anomalía magnética.

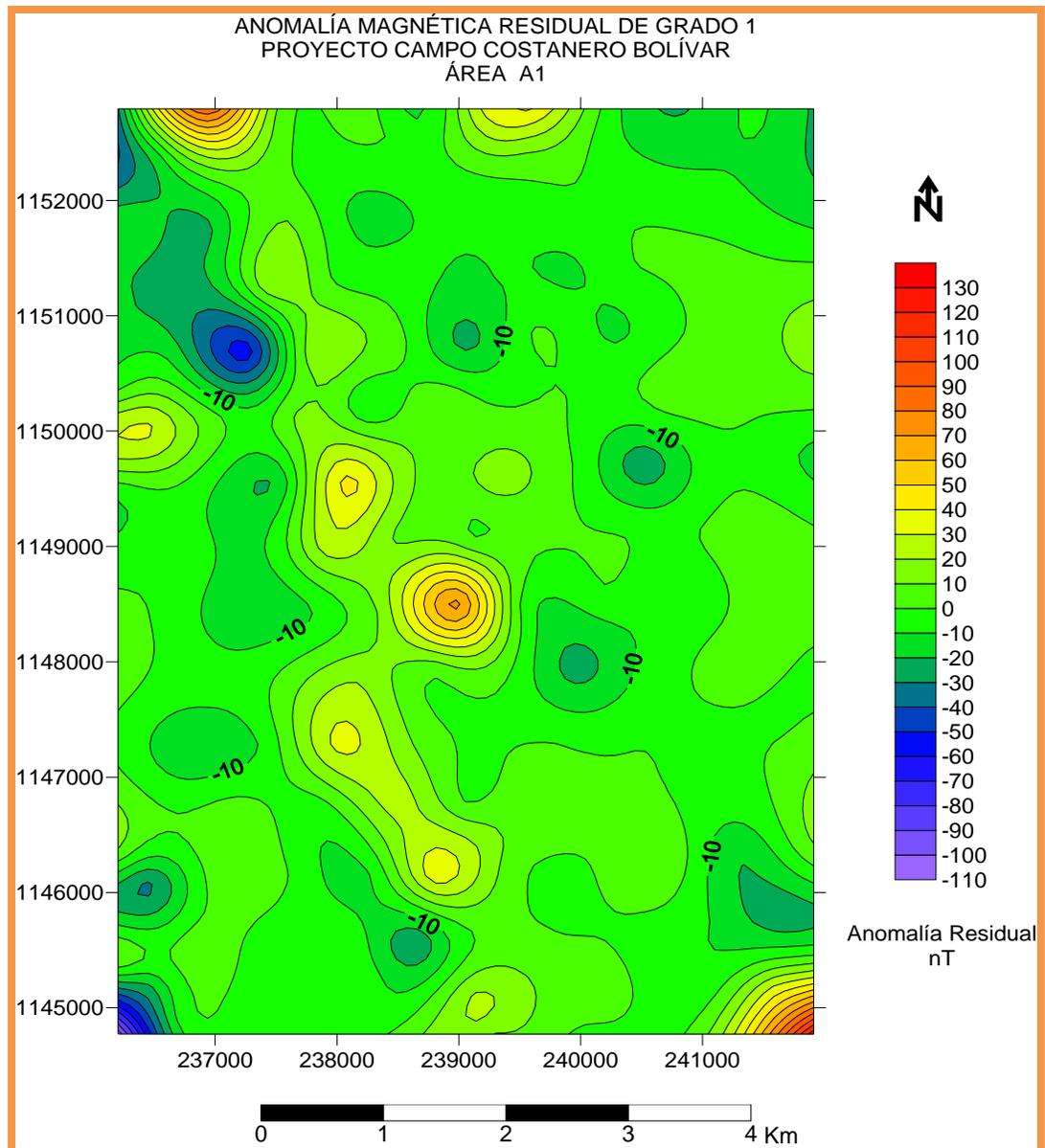


Figura 4.20: Anomalia Magnética Residual de 1^{er} Grado (AM). Área A1.

La **Figura 4.21** muestra el mapa residual de anomalía magnética de segundo grado en el área A1, obtenido de sustraer el mapa regional de segundo grado al mapa de anomalía magnética.

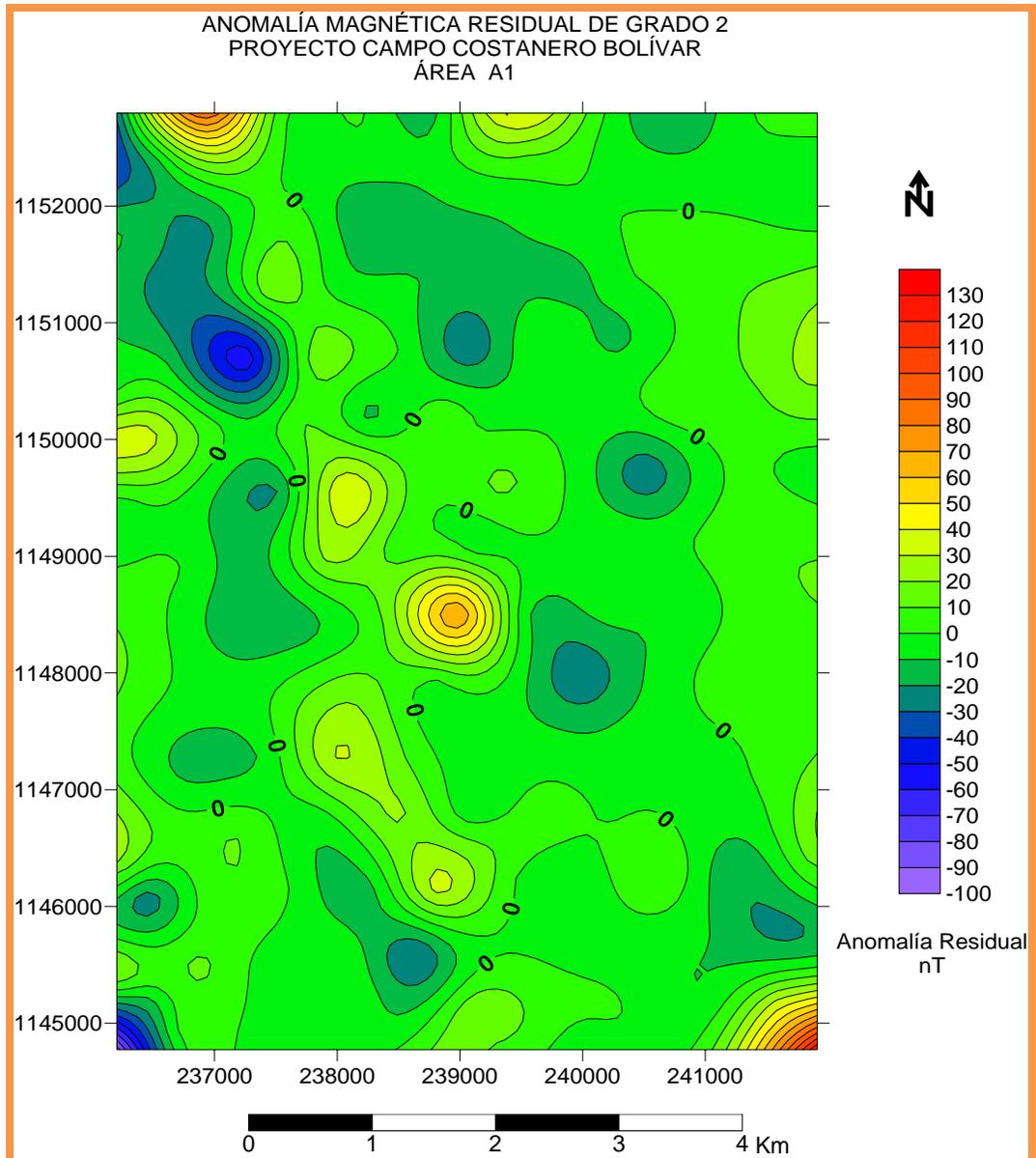


Figura 4.21: Anomalía Magnética Residual de 2^{do} Grado (AM). Área A1.

La **Figura 4.22** muestra el solapamiento del mapa de anomalía magnética con el mapa de anomalía gravimétrica residual de primer grado, en el área A1. En el mismo se observa relación existente entre las anomalías magnéticas y gravimétricas.

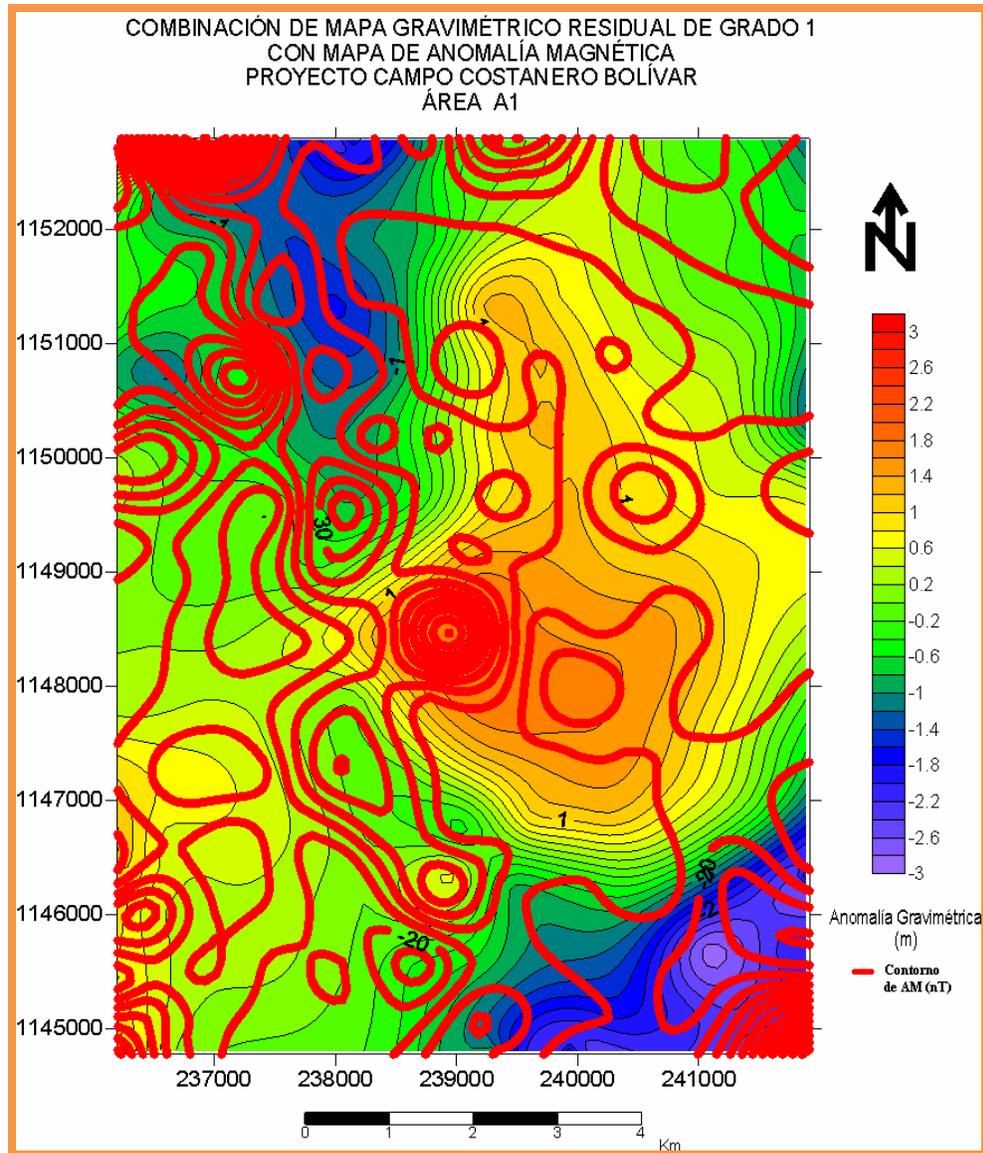


Figura 4.22: Combinación de Mapa de Anomalía Magnética con Mapa de Anomalía Gravimétrica Residual de 1^{er} Grado. Área A1.

4.4 SECCIONES SÍSMICAS

De acuerdo a los principales rasgos observados en los mapas de anomalías en combinación con los mapas estructurales, las secciones sísmicas seleccionadas fueron: In-Line; 3161 y Cross-Line; 1099 y 1104 (**Figura 4.23**).

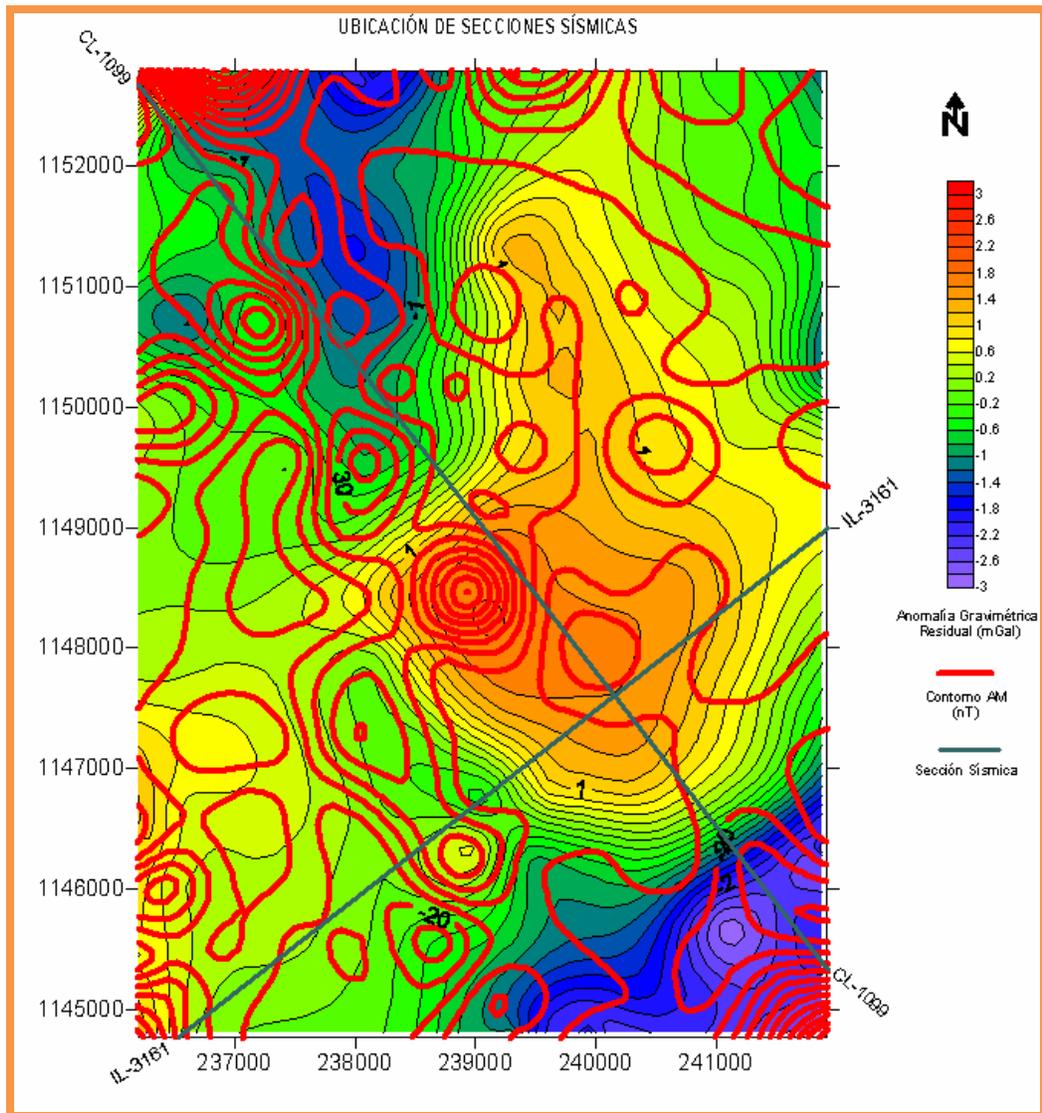


Figura 4.23: Ubicación de Secciones Sísmicas Seleccionadas. Área A1.

La **Figura 4.24** muestra la sección sísmica In-Line 3161 con migración, referenciada en la figura 4.23. En la misma se observa a nivel somero, estructuras buzantes, concordantes con la geología presente en el área, tomando en cuenta tanto los mapas estructurales como la información aportada por los mapas de anomalías gravimétricas. Además se observa relación de los reflectores principales con las estructuras identificadas en el mapa de anomalías.

La Figura 4.25 muestra la misma sección sísmica In-Line 3161, hasta el apilado bruto, esto es sin la migración, por tal razón muestra difracciones que fueron colapsadas en el procesamiento detallado. Si consideramos que las difracciones se relacionan con zonas de terminación de los reflectores como en fallas, se observa que las difracciones observadas al suroeste, concuerdan con las fallas observadas en la zona suroeste de la figura 4.16.

La Figura 4.26, muestra la sección sísmica Cross-Line 1099, referenciada en la figura 4.23. En la misma se observa la concordancia de los rasgos mostrados en la sección, con las principales estructuras identificadas además con el mapa de anomalías.

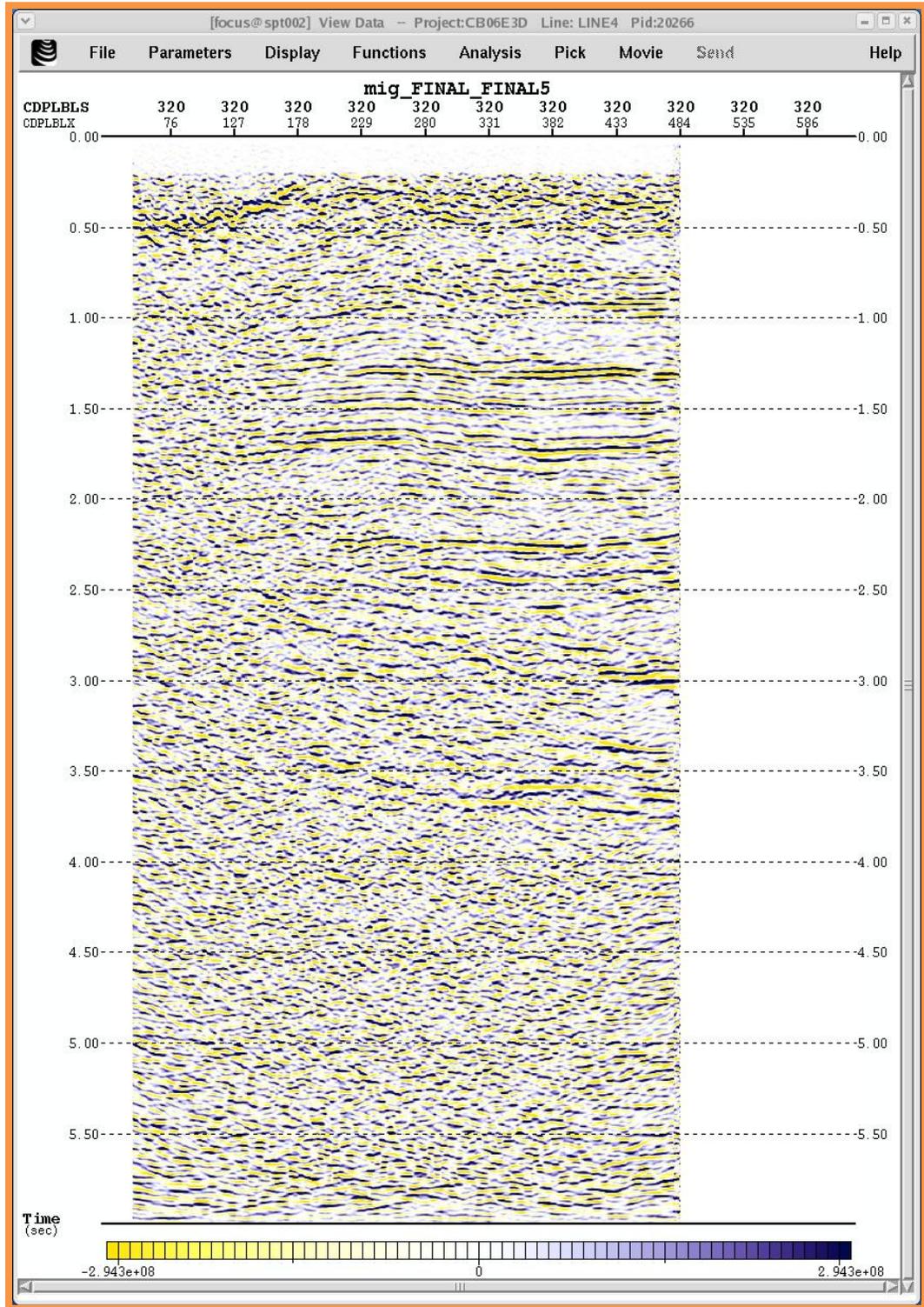


Figura 4.24: Sección In-Line 3161. [16]

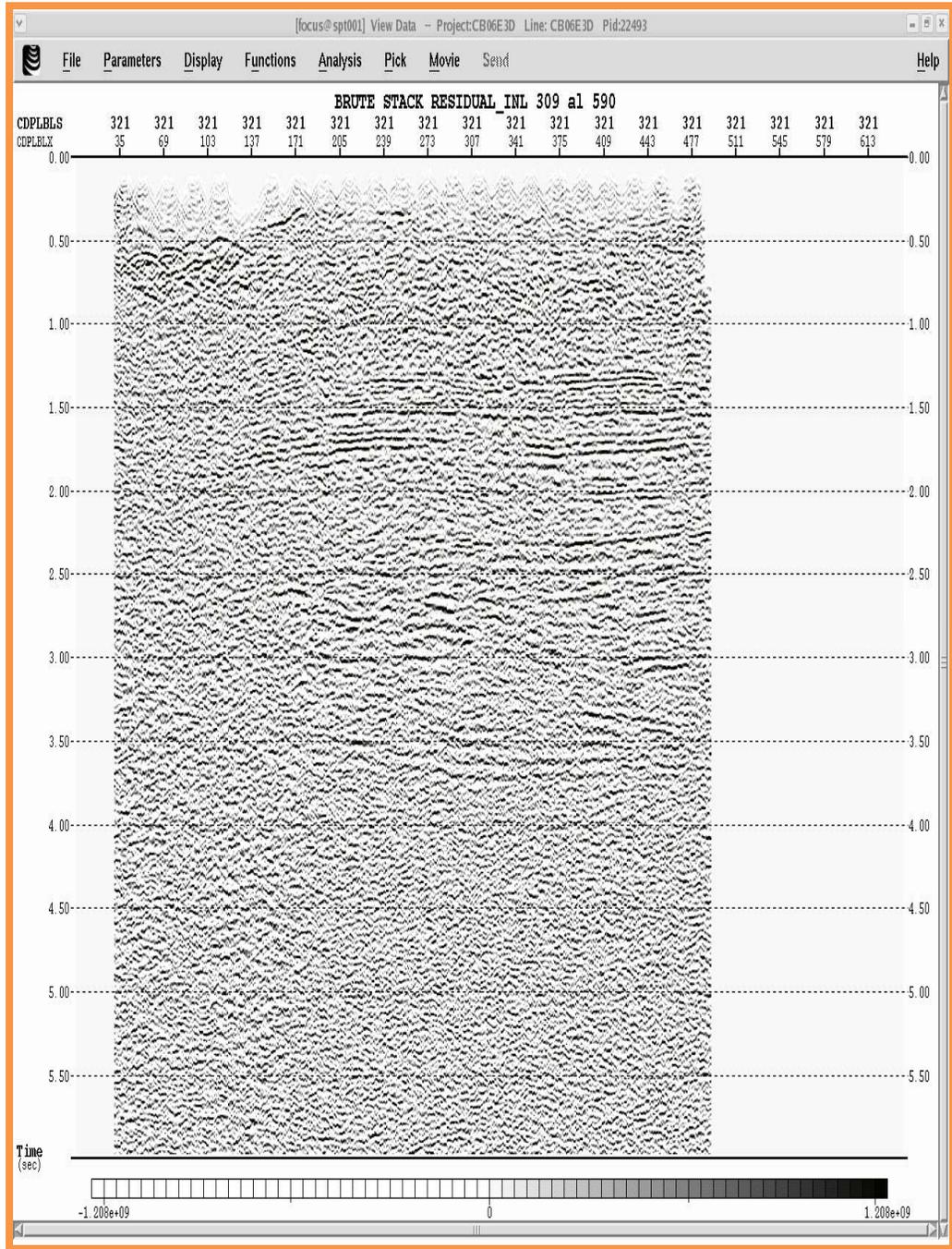


Figura 4.25: Sección In-Line 3161. Sin Migración. [16]

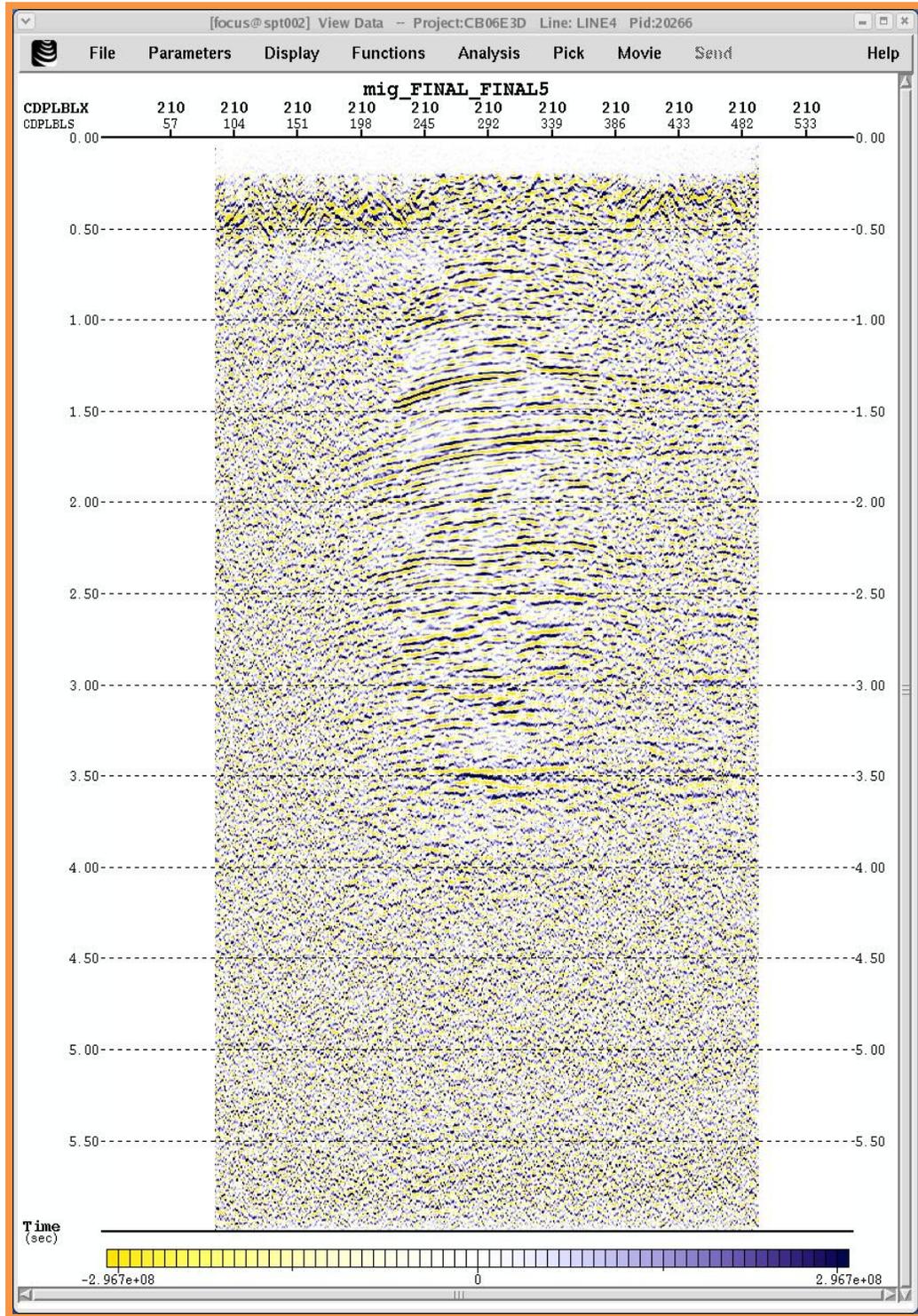


Figura 4.26: Sección Cross-Line 1099. [16]

4.5 RESULTADOS DE “UP HOLES” EN ÁREA A1

De acuerdo a los datos correspondientes al área A1, se muestran a continuación las tablas de resultados de los cinco “Up Holes” procesados.

Tabla 4.1: Resultados Up Hole 04.

Capa	Nivel	Tiempo (ms)	Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Espesor (m)
Capa 1	0	0	0	450,00	1,80
	P1	4	1,8		
Capa 2	P1	4	1,8	1850,00	7,40
	P2	8	9,2		
Capa 3	P2	8	9,2	1450,00	5,80
	P3	12	15		
Capa 4	P3	12	15	2409,64	-
	X= 25m	16,15	25		

Tabla 4.2: Resultados Up Hole 05.

Capa	Nivel	Tiempo (ms)	Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Espesor (m)
Capa 1	0	0	0	384,62	1,00
	P1	2,6	1		
Capa 2	P1	2,6	1	515,15	3,40
	P2	9,2	4,4		
Capa 3	P2	9,2	4,4	767,86	4,30
	P3	14,8	8,7		
Capa 4	P3	14,8	8,7	1123,03	-
	X= 25m	32,787	28,9		

Tabla 4.3: Resultados Up Hole 06.

Capa	Nivel	Tiempo (ms)	Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Espesor (m)
Capa 1	0	0	0	468,75	1,50
	P1	3,2	1,5		
Capa 2	P1	3,2	1,5	890,63	5,70
	P2	9,6	7,2		
Capa 3	P2	9,6	7,2	1500,00	8,10
	P3	15	15,3		
Capa 4	P3	15	15,3	1608,25	-
	X= 25m	24,7	30,9		

Tabla 4.4: Resultados Up Hole 08.

Capa	Nivel	Tiempo (ms)	Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Espesor (m)
Capa 1	0	0	0	468,75	1,50
	P1	3,2	1,5		
Capa 2	P1	3,2	1,5	1142,86	5,60
	P2	8,1	7,1		
Capa 3	P2	8,1	7,1	1411,76	4,80
	P3	11,5	11,9		
Capa 4	P3	11,5	11,9	1355,56	-
	X= 25m	25	30,2		

Tabla 4.5: Resultados Up Hole 09.

Capa	Nivel	Tiempo (ms)	Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Espesor (m)
Capa 1	0	0	0	405,41	1,50
	P1	3,7	1,5		
Capa 2	P1	3,7	1,5	949,15	5,60
	P2	9,6	7,1		
Capa 3	P2	9,6	7,1	1350,52	13,10
	P3	19,3	20,2		
Capa 4	P3	19,3	20,2	2133,33	-
	X= 25m	23,8	29,8		

Los datos mostrados en las tablas de resultados de “Up Holes”, permitieron identificar cuatro capas; capa meteorizada, sub-meteorizada, consolidada 1 y consolidada 2. La **Tabla 4.6** muestra el promedio de velocidades y espesores para las cuatro capas muestreadas. Se observa un promedio de velocidades para la capa meteorizada de 435.5 m/s con un espesor promedio de 1.5 metros, la capa sub-meteorizada exhibe velocidad promedio de 1069.7 m/s y espesor de 5.5 m, la capa consolidada 1 velocidad de 1296.03 m/s y 7.22 m de espesor y la capa consolidada 2 exhibe velocidad promedio de 1725.96 m/s. Esta última capa no presenta valor de espesor debido a que la mayor profundidad de detonación fue realizada superior a la base de la misma. Si se consideraran las primeras dos capas como una sola, la primera capa en promedio mostraría un espesor de 7 metros aproximadamente.

Tabla 4.6: Promedio de Velocidades y Espesores.

Capa	Velocidad (m/s)	Espesor (m)
Meteorizada	435,51	1,46
Sub- meteorizada	1069,56	5,54
Consolidada 1	1296,03	7,22
Consolidada 2	1725,96	-

La información de capa meteorizada aportada por el método “*Up Holes*”, es bastante localizada, por lo cual el considerar valores promedios podría resultar en cierto nivel de ambigüedad e incertidumbre. Sin embargo basándonos en los valores promedios antes mencionados, al comparar los espesores con respecto a los patrones de explosivos utilizados en el levantamiento sísmico, se podría inferir que en gran porcentaje los disparos fueron realizados por debajo de la capa meteorizada.

Al comparar la ubicación de los “*Up Holes*” (**Figura 4.27**), con las tablas de resultados, se puede observar que el mayor espesor de capa meteorizada se presentó al noreste del área A1, con un ligero decremento en sentido norte-sur, las velocidades fueron mayores al este del área, esto coincide con el hecho de que en esa zona se presentan mayores elevaciones topográficas. Además La información aportada por los “*Up Holes*” resulta valiosa al momento de hacer las correcciones por estáticas residuales a los datos sísmicos, lo cual consiste en la supresión de los eventos sísmicos superiores al datum, en el dominio del tiempo.

La **Figura 4.23** muestra la ubicación de los “*up holes*” comprendidos en el área A1.

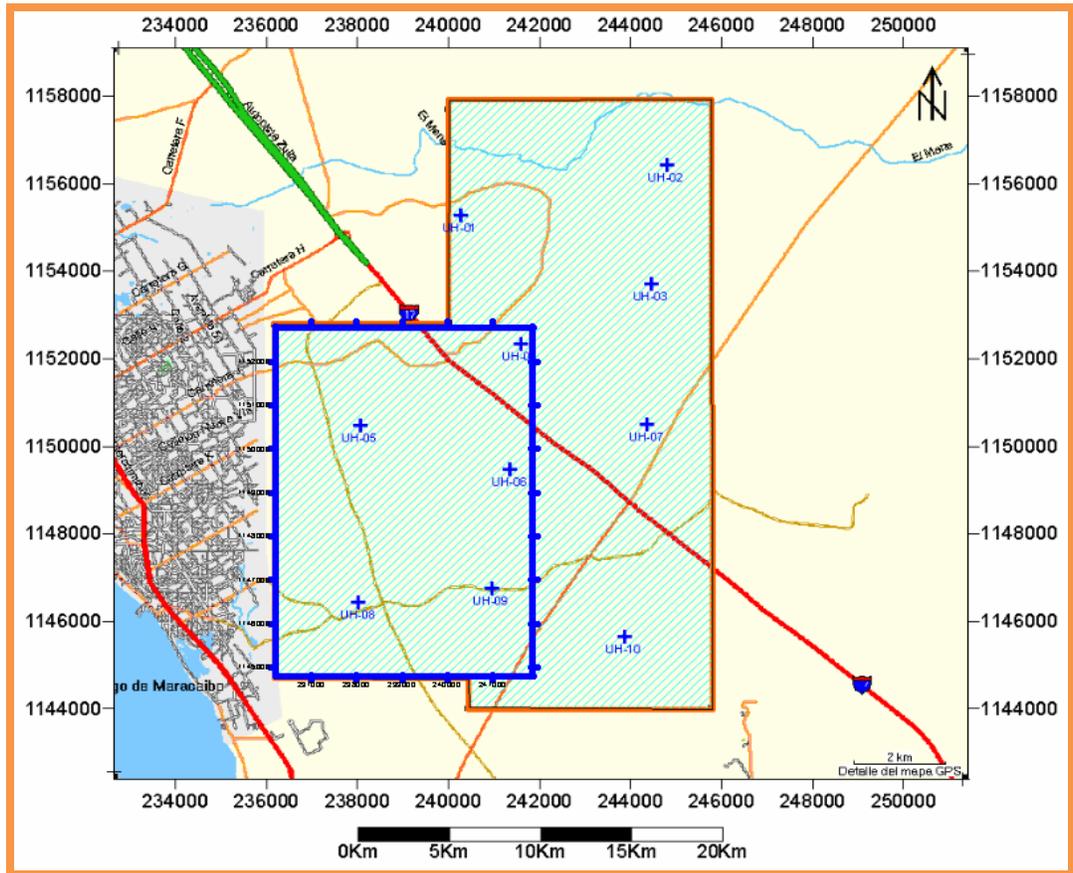


Figura 4.27: Ubicación de los “*Up Holes*” Comprendidos en el Área A1. ^[18]

CONCLUSIONES

1. La combinación de diferentes métodos de prospección, permite integrar variables para la mejor comprensión de áreas prospectivas.
2. Los factores incidentes en el desarrollo del proyecto son inherentes al método sísmico, los cuales fueron el ruido y los obstáculos ambientales y culturales.
3. Los mapas de anomalías gravimétricas y magnéticas obtenidos, son representativos del área en estudio.
4. Los datos de gravimetría, magnetometría y Up Holes procesados, son de buena calidad.
5. Las anomalías observadas con el método gravimétrico, son concordantes con los principales rasgos geológicos observados en los mapas estructurales de referencia, y se solapan con anomalías magnéticas.
6. Los métodos de prospección aplicados diferentes al método sísmico, proporcionan información importante a un costo mucho menor.
7. Las secciones sísmicas obtenidas son de buena calidad y en aspectos generales coinciden con anomalías resaltantes.
8. Los espesores de capa meteorizada obtenidos mediante el método de Up Holes, son representativos de la topografía presente en el área.

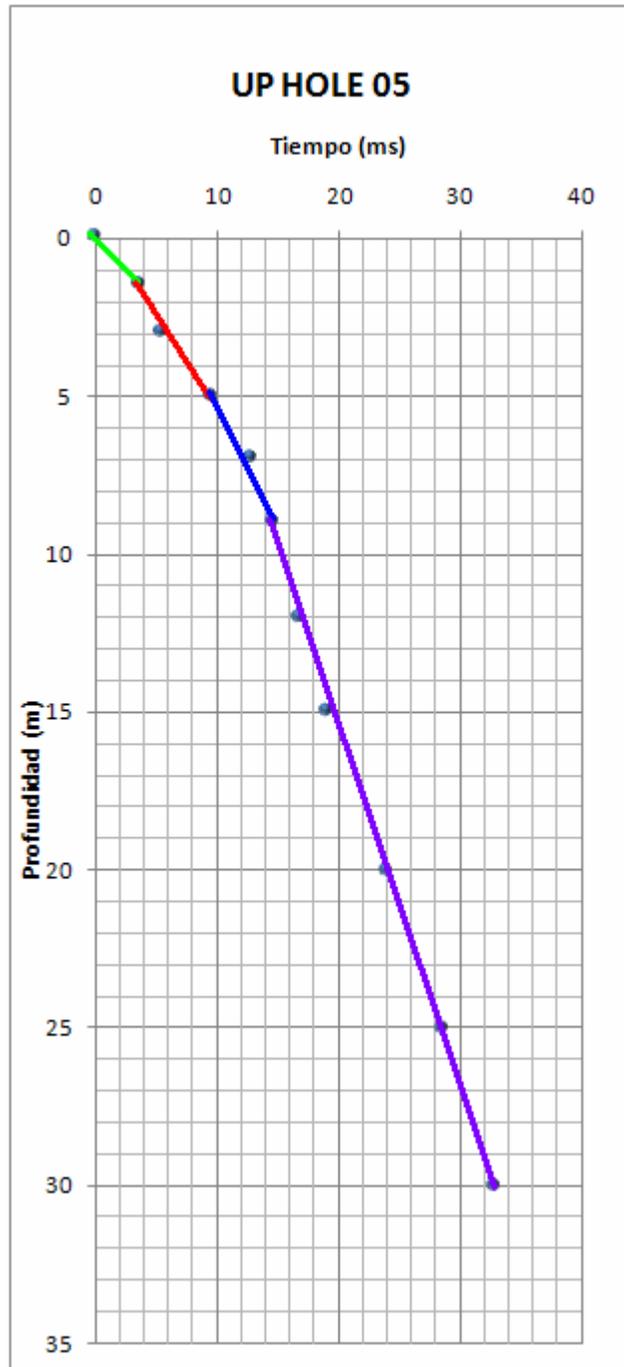
RECOMENDACIONES

1. Planificar proyectos que contemplen la adquisición sísmica, para su desarrollo durante el verano.
2. Ejecutar operaciones de grabación de datos sísmicos en jornada nocturna para minimizar efectos de tráfico vehicular en zonas sub-urbanas.
3. Realizar la cartografía de anomalías geofísicas previo a la planificación de la adquisición sísmica, para focalizar los rasgos importantes y optimizar el diseño del levantamiento.
4. Integrar información de diferentes métodos de prospección geofísica para minimizar la incertidumbre en la localización de pozos.

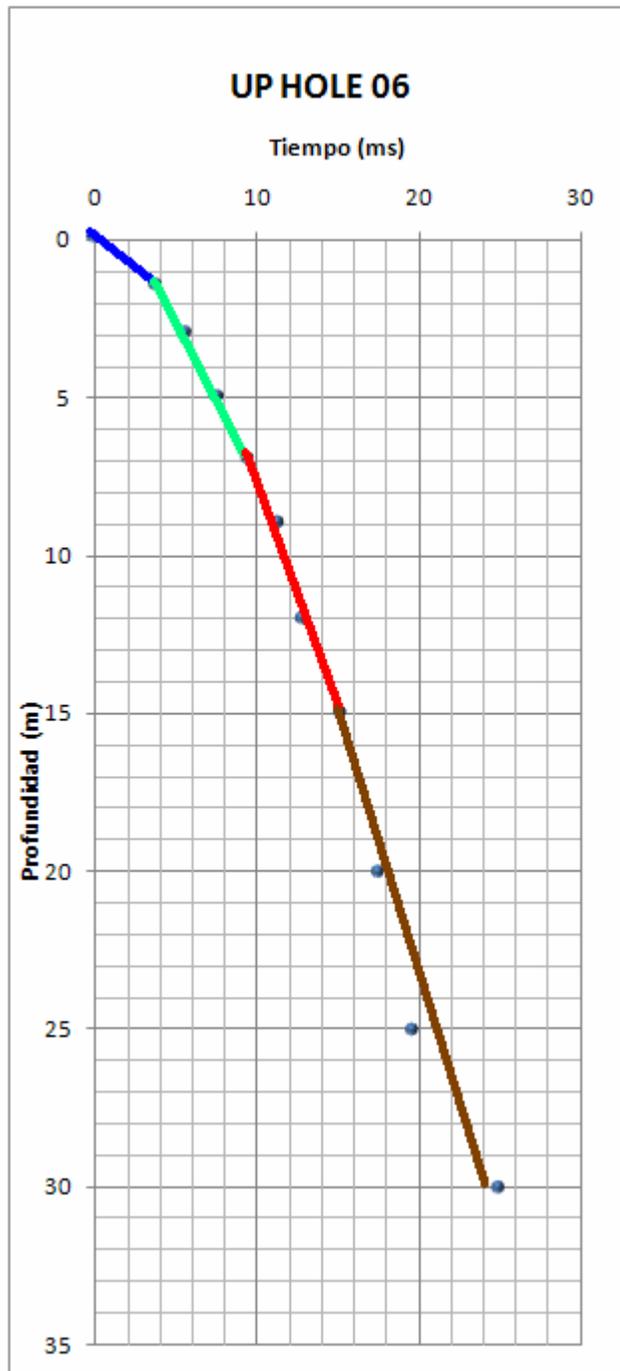
BIBLIOGRAFÍA

1. WEC. **“Geología y Petróleo de Venezuela”**. (1997)
2. PDVSA PETROCABIMAS. **“Memoria Descriptiva Proyecto Campo Costanero Bolívar”**. (2007)
3. SUELOPETROL. **“Revisión Geológica del Campo Cabimas”**. (2006)
4. SUELOPETROL. **“Informe de Operaciones Proyecto Campo Costanero Bolívar”**. (2008)
5. . **“Introducción a la Prospección Geofísica”**. (2002) Disponible en: <http://www.geofisica.cl>
6. Luís Gavidia. **“Teoría de Esfuerzo y Deformación, Ondas, Apilamientos, y Vibradores”**. Departamento de Control de Calidad. SUELOPETROL C.A.S.A.C.A. (2007)
7. José Regueiro. **“Método Sísmico”**. Manual del CIED. (2002)
8. Robert E. Sheriff. **“Encyclopedic Dictionary of Applied Geophysics”**. Society of Exploration Geophysics. (2001)
9. Andreas Cordsen, Mike Galbraith y John Pierce. **“Planning Land 3D Seismic Surveys”**. Society of exploration Geophysics. (2000)
10. Departamento de Topografía y Geodesia. SUELOPETROL C.A.S.A.C.A. Grupo SPT-1.
11. Departamento de Control de Calidad. SUELOPETROL C.A.S.A.C.A. Grupo SPT-1.
12. Justiniano C, Adriana. **“Adquisición y Procesamiento de Datos Geofísicos. Proyecto San Cristóbal 05G 3D”**. Trabajo de grado presentado ante la Universidad Simón Bolívar Edo. Miranda, Venezuela. (2007)
13. Reyes L. Janckarlos. **“Instrumentación Geofísica”**. Guía de la cátedra Instrumentación Geofísica. UCV. (2003)

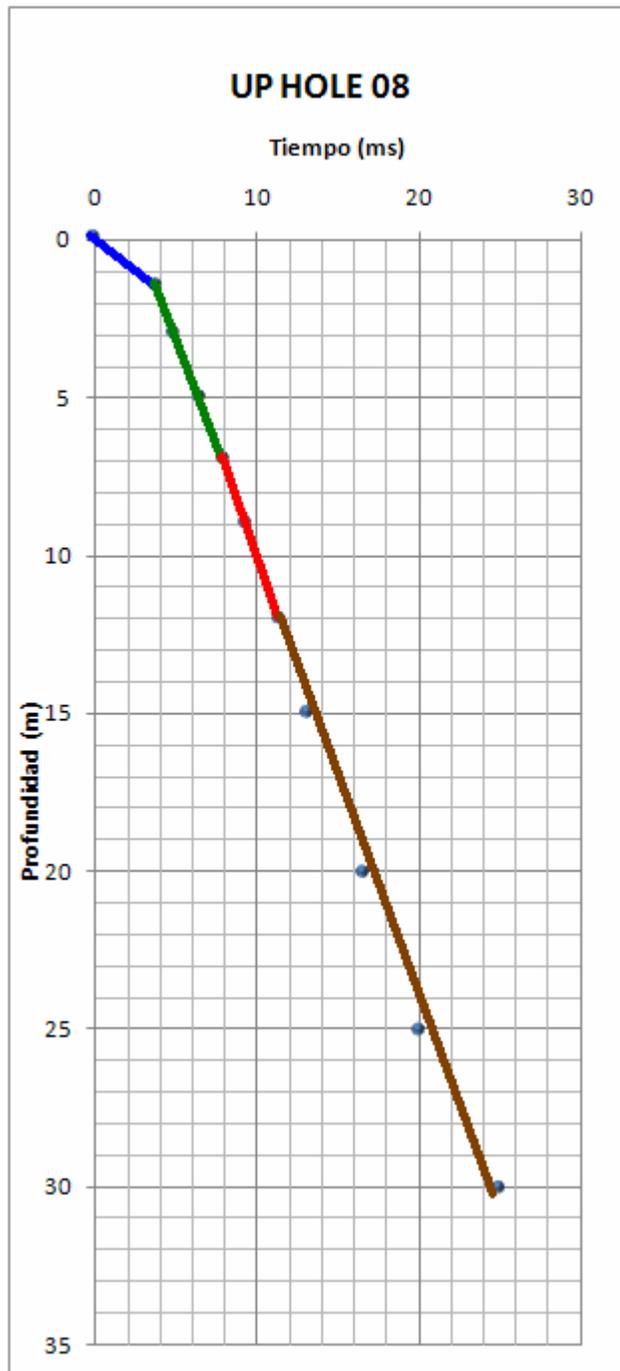
14. **“Prospección Magnetométrica”**. Guía de Geofísica Aplicada de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de la Patagonia. (2002) Disponible en: <http://www.fcn.unp.edu.ar>
15. Dorian Oria. **“Elaboración de Modelos de Capa Meteorizada”**. PDVSA E&P. XI Congreso Venezolano de Geofísica. (2002)
16. Departamento de Procesamiento de Campo. SUELOPETROL C.A.S.A.C.A. Grupo SPT-1.
17. Milson Jhon. **“Field Geophysics”**. University College London. (2003)
18. Departamento de Métodos Potenciales. SUELOPETROL C.A.S.A.C.A. Grupo SPT-1.



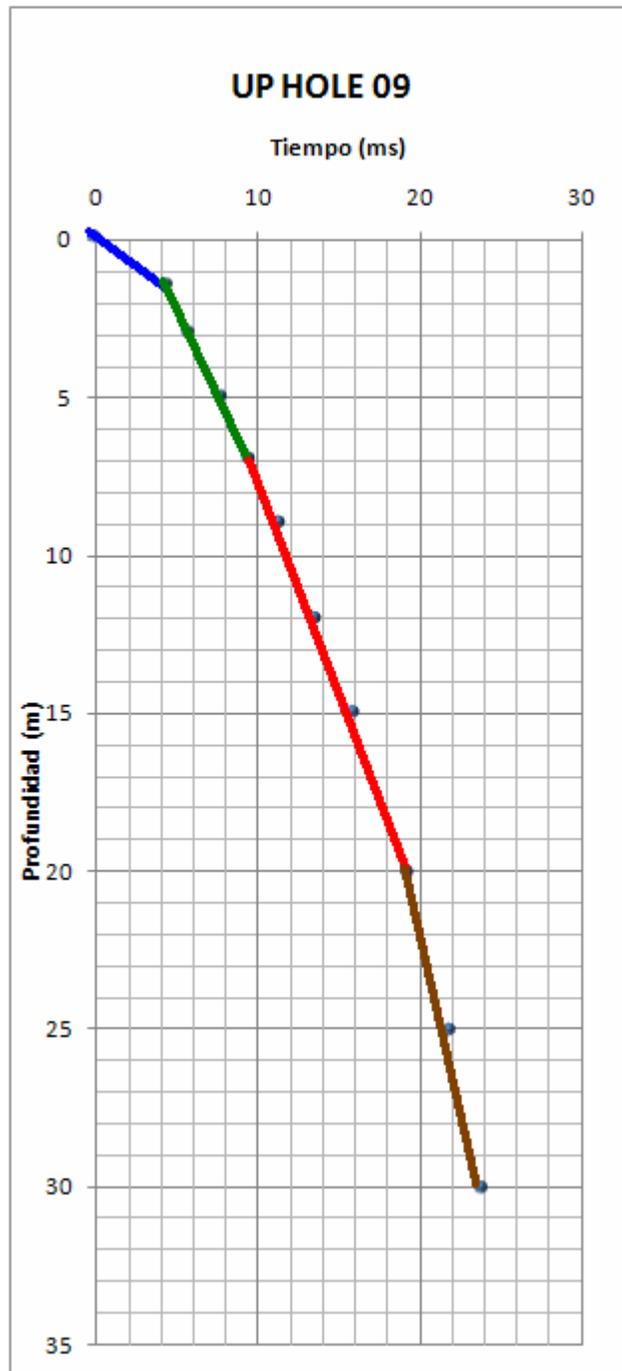
Gráfica de Pendientes. "Up Hole" 05.



Gráfica de Pendientes. "Up Hole" 06.



Gráfica de Pendientes. "Up Hole" 08.



Gráfica de Pendientes. "Up Hole" 09.

METADATOS

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y
ASCENSO:**

TÍTULO	Análisis descriptivo de los métodos geofísicos aplicados en el proyecto Campo Costanero Bolívar estado Zulia, para la comprensión estructural de áreas prospectivas
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Javier Alexander Parra Gimón	CVLAC: 17.714.612 E MAIL: parra2009@gmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Método Geofísico

Zulia

Geología

Estructural

Campo Costanero Bolívar

Geofísica

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÀREA	SUBÀREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería de Petróleo

RESUMEN (ABSTRACT):

Durante los últimos años, SUELOPETROL C.A.S.A.C.A., ha ejecutado proyectos que contemplan la adquisición de datos geofísicos mediante diferentes métodos de prospección. El proyecto Campo Costanero Bolívar localizado al este de la ciudad de Cabimas, contempló la aplicación de diferentes métodos tales como: sísmica de reflexión, sísmica de “Up Holes”, gravimetría y magnetometría. Se realizó el procesamiento de datos de gravimetría, magnetometría y “Up Holes”, de acuerdo al área asignada, denominada “A1” para objeto de este trabajo de grado. Posteriormente se analizaron los resultados de capas y espesores de los “Up Holes” procesados, y se realizó la cartografía de anomalías gravimétricas y magnéticas, combinándose esta información con mapas estructurales correspondientes al área del Campo Cabimas. Los rasgos resaltantes fueron referenciados para la obtención de secciones sísmicas, encontrándose congruencia entre los mapas de anomalías y las estructuras principales muestreadas en profundidad por el método sísmico. Por tanto la combinación de la sísmica con otros métodos geofísicos “menos costosos”, contribuye a comprender mejor modelos geológicos.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
Janckarlos Reyes	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:	11.483.634			
	E_MAIL	janckarlosreyes@hotmail.com			
	E_MAIL				
Aura Vilela	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:	11.825.025			
	E_MAIL	auravilela@hotmail.com			
	E_MAIL				
Roberto Salas	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:	3.413.775			
	E_MAIL	rsalas@yahoo.com			
	E_MAIL				
Rafael Cubillán	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:	3.932.346			
	E_MAIL	rafaelcubillan@gmail.com			
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

AÑO	MES	DIA
2009	10	27

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

DERECHOS

De acuerdo al artículo 44 del reglamento del trabajo de grado:

"Los trabajos de grado son exclusiva propiedad de la Universidad y solo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo del Núcleo respectivo, quién participará al Consejo Universitario"

Javier Alexander Parra Gimón

17714612

AUTOR

Aura Vilela

11.825.025

TUTOR

Roberto Salas

3.413.775

JURADO

Rafael Cubillan

3.932.346

JURADO

POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS

