

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL SUBSUELO DE LA ZONA OESTE
DE BARCELONA-ESTADO ANZOÁTEGUI APLICANDO
MÉTODOS SÍSMICOS Y GRAVIMÉTRICOS**

Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela para
Optar al título de Ingeniero Geofísico
Por la Br. Mendes da S., Marianela F.

Caracas, 15 de Noviembre de 2004.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL SUBSUELO DE LA ZONA OESTE
DE BARCELONA-ESTADO ANZOÁTEGUI APLICANDO
MÉTODOS SÍSMICOS Y GRAVIMÉTRICOS**

Tutor académico: Prof. Inírida Rodríguez.

Tutor industrial: Dr. Michael Schmitz

Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela para
Optar al título de Ingeniero Geofísico
Por la Br. Mendes da S., Marianela F.

Caracas, 15 de Noviembre de 2004.

Caracas, Noviembre 2004.

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado por el consejo de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la bachiller Marianela Felipa Mendes da Silva, titulado:

**CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL SUBSUELO DE LA ZONA OESTE
DE BARCELONA-ESTADO ANZOÁTEGUI APLICANDO
MÉTODOS SÍSMICOS Y GRAVIMÉTRICOS**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente el título de Ingeniero Geofísico, sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran **APROBADO**.

Profesor Cavada

Jurado

Profesor Franklin Ruíz

Jurado

Profesora Inírida Rodríguez

Tutor Académico

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen por ser mis guías.

A mis padres y mi hermano por su gran apoyo.

A mi tía Lucía por siempre estar a mi lado.

AGRADECIMIENTOS

ACADÉMICOS.

A la ilustre Universidad Central de Venezuela por darme la oportunidad de formarme como profesional, brindándome todas las herramientas necesarias en los años más valiosos de mi vida.

A la Facultad de Ingeniería, por proporcionar todos los conocimientos necesarios para ser un profesional integral

A la Escuela de Geología, Minas y Geofísica por inculcarme todos los conocimientos en las áreas de geofísica y geología, y darme la oportunidad de realizar mi Trabajo Especial de Grado.

A mi Tutora Académica, Prof. Inírida Rodríguez, a quien le debo gran parte de mis conocimientos en el campo. Se ganó mis respetos y admiración. Le doy gracias por mejorar mi nivel académico, así como también toda la paciencia y dedicación mostrada.

A mi Tutor Industrial, Ing. Michael Schmitz por sus valiosos consejos, conocimientos y experiencia que fueron de gran ayuda para el desarrollo de mi Trabajo Especial de Grado.

INDUSTRIALES.

A FUNVISIS, Departamento de Sismología, específicamente a los Ingenieros Víctor Rocabado y Javier Sánchez por guiarme en mi tesis y brindarme su dedicación, orientación y amistad. Fue una bonita experiencia el compartir con ustedes mi culminación de carrera.

A FUNVISIS, a todo el personal que allí trabaja por estar siempre a la disposición y atentos ante cualquier favor. Gracias por ser tan sencillos y bondadosos.

A todo el grupo de tesis de FUNVISIS, en especial Alberto, Alvis, Isabel, Danieliz, Christian, Ricardo, Roberto, Pedro, Buli (poco a poco) y Joseth.

A INTEVEP, específicamente a la Ing. Nieves Nevado por su gran colaboración y cederme parte de su tiempo para la aplicación del programa Geosoft... de verdad muchas gracias.

Al Ing. Sanzonetti (en Puerto la Cruz) y el Ing. Di Marco, por suministrarme información necesaria para la realización de este proyecto.

PERSONALES.

A Dios Todopoderoso, por darme el valor suficiente cada día.

*A mi madre, a mi padre y a mi hermano por todo su apoyo, por inculcarme importantes principios, por toda la paciencia en esos momentos difíciles, simplemente por estar siempre allí, junto a mí sin dejarme caer..... Son lo más apreciado y los **AMO MUCHOTE...** mis tres estrellas.*

A mi tía Lucía por sus valiosos consejos que siempre estaban allí, para darme aliento para seguir y nunca abandonar, saber que siempre hay algo bueno por eso cuesta tanto, pero vale la pena... tienes razón que bonito es llegar a la meta..... lo logre, aquí estoy.

A mis amigas Susana Gómez y Brígida, por estar a mi lado incondicionalmente en los triunfos y en los momentos tristes, por estar en mi vida y compartirla de una manera maravillosa. Gracias por sus consejos y ayuda espiritual.

A mis compañeros y amigos de estudio, lágrimas y parranda, que siempre están allí a mi lado brindando una sonrisa y una palabra de aliento para seguir adelante, especialmente (Isa Iza, Josmat y Maxlyn Pérez mil gracias), Natalia Adrián, Liz Lozano, la Sra. Karla, Lizcar, Laura, José Francisco, Pedro, Ricardo, Buli, Rafael, Emgerlberth y JM... Se les quiere.

En fin gracias a todas aquellas personas que aportaron su granito de arena, ofreciendo su apoyo, cariño y solidaridad. Y si alguien se me escapa saben que están en mi corazón...Gracias.

♥ A mis mascotas: Marifel (mi gata), Odie-la lucuras-el pilucas (mi perro) la lorita y los pastores alemanes Brandy y Danta por darme su alegría. Y especialmentye a Filipito (mi carrito)

Mendes Da S. Marianela F.

**CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL SUBSUELO DE LA ZONA OESTE
DE BARCELONA-ESTADO ANZOÁTEGUI APLICANDO
MÉTODOS SÍSMICOS Y GRAVIMÉTRICOS**

Tutor Académico: Prof. Inírida Rodríguez. Tutor Industrial: Dr. Micha Schmitz
Tesis. Caracas, UCV. Facultad de Ingeniería.
Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Año 2004, 180p.

Palabras Claves: Microzonificación, modelado gravimétrico, medición de
microtremores y refracción sísmica.

El presente trabajo está orientado a entender mejor las condiciones geológicas y ambientales de la zona de interés e implementar medidas que ayuden a disminuir pérdidas materiales y humanas, debido a su rápida expansión urbanística, de manera tal que se pueda prevenir el mayor daño posible, en caso de un terremoto, mediante la identificación de zonas de riesgo sísmico, lo cual forma parte de un proyecto de FUNVISIS como complemento de un estudio de microzonificación.

Los períodos predominantes obtenidos a partir del análisis de la relación H/V, varían entre 0.3 s y 1.4 s. Hacia el norte de la zona de estudio (la costa), los valores se ubican entre 0.9 s y 1.4 s característico de una zona de grandes espesores sedimentarios, mientras que para las zonas cercanas al pie de la montaña, los valores son menores encontrándose entre 0.3 s y 0.7 s que corresponde a una disminución en el espesor de sedimentos.

Los valores de velocidades de propagación de ondas obtenidos a partir de los perfiles sísmicos de refracción indican que para las ondas P, las velocidades varían entre 250 y 500 m/s para una capa superficial, para un estrato intermedio

representado por una capa saturada, cuyas velocidades se encuentran entre 1700 y 1900 m/s, y en algunos sectores se observa un estrato profundo con velocidades de 2000 y 2500 m/s. Mientras que para las ondas S, la calidad de la información es muy variable entre los perfiles dependiendo principalmente en la existencia o no de la onda del sonido, debido a que en muchos casos cae junto con las fases superficiales de la onda S y por lo tanto no se puede identificar con exactitud. El estrato más superficial identificado en las ondas S corresponde a una velocidad de 150 y 250 m/s; mientras que a mayor profundidad se pueden identificar discontinuidades en las ondas S, con velocidades comprendidas entre 400 y 900 m/s.

Del análisis de los perfiles sísmicos, se estima que el espesor de la capa más superficial es de 4 a 9 m; esta interfase se interpreta como el cambio de los sedimentos blandos cuaternarios, saturados de agua a los sedimentos más consolidados del Pleistoceno superior. El estrato intermedio se encuentra a una profundidad de 25 a 60 m y en algunos perfiles hay indicios para una interfase profunda, de más de 100 m de profundidad.

Los valores de anomalías de Bouguer cubren un rango de -40.5 a -31.9 miligales, estando los valores mínimos asociados a la mayor acumulación de sedimentos presentes hacia la zona cercana a la costa.

Los modelos gravimétricos realizados en la zona de estudio muestran de manera consistente y coherente el comportamiento de las secuencias estratigráficas en profundidad

La geología de la zona de estudio se caracteriza por depósitos sedimentarios y aluviones. En la zona sur está formada por gran variedad de rocas sedimentarias, cuya edad se sitúa entre el Cretáceo y el Terciario. Entre las formaciones de rocas sedimentarias presentes en la zona, entre las cuales podemos citar las siguientes: Chimana, Querecual, San Antonio, El Cantil y Barranquín.

ÍNDICE GENERAL

	Pág
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	v
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xviii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2 OBJETIVOS GENERALES	3
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.4 JUSTIFICACIÓN	4
1.5 ÁREA DE ESTUDIO	5
1.6 TRABAJOS PREVIOS.	6
1.7 METODOLOGÍA DE TRABAJO	13
CAPÍTULO II. MARCO GEOLÓGICO	14
2.1 INTRODUCCIÓN	14
2.2. EVOLUCIÓN TECTÓNICA	14

	Pág
2.3 TECTÓNICA REGIONAL	18
2.3.1. ETAPAS TECTÓNICAS	18
2.4.1 SUBCUENCA DE MATURÍN	21
2.5 DEFLEXIÓN DE BARCELONA	24
2.6 FALLA DE URICA	26
2.7 ESTRATIGRAFÍA REGIONAL	28
2.8. GEOLOGÍA LOCAL	31
CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO	33
3.1 INTRODUCCIÓN	33
3.2 PROSPECCIÓN GRAVIMÉTRICA	34
3.2.1 APLICACIONES DEL MÉTODO GRAVIMÉTRICO	34
3.2.2 DERIVA INSTRUMENTAL.	36
3.2.3 LA CORRECCIÓN POR EFECTO DE LA MAREA	36
3.2.4 CORRECCIÓN DE AIRE LIBRE (CAL)	37
3.2.5 CORRECCIÓN DE BOUGUER (CB)	37
3.2.6 CORRECCIÓN TOPOGRÁFICA (CT)	38
3.2.7 CORRECCIÓN POR LATITUD	39
3.2.8 CÁLCULO DE LA ANOMALÍA DE BOUGUER	39
3.2.9 MÉTODOS DE SEPARACIÓN DE ANOMALÍAS REGIONALES Y RESIDUALES.	40
3.2.10 METODOLOGÍA DE TRABAJO	40
ADQUISICIÓN	40
PROCESAMIENTO	42

	Pág
3.2.11 ANÁLISIS ESPECTRAL DE ANOMALÍAS DE BOUGUER	43
3.2.12 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS GRAVIMÉTRICOS	43
3.2.13 ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO	44
3.2.14 SEPARACIÓN DE LOS EFECTOS REGIONALES Y RESIDUALES	44
3.3 MEDICION DE RUIDO AMBIENTAL	45
3.3.1 MÉTODO DE NAKAMURA O RELACIÓN H/V PARA EL PROCESAMIENTO	45
3.3.2 METODOLOGÍA DE TRABAJO	47
ADQUISICIÓN	47
PROCESAMIENTO	49
3.4 MÉTODO SÍSMICO	50
3.4.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO	57
PROCESAMIENTO	57
CAPÍTULO IV. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	63
4.1 MÉTODO GRAVIMÉTRICO.	63
4.1.1 ESTUDIO ESTADÍSTICO Y GEOESTADÍSTICO DE LOS DATOS GRAVIMÉTRICOS.	63
Resultados Obtenidos de la aplicación de la estadística a los datos gravimétricos.	64
Resultados Obtenidos de la aplicación de la geoestadística a los datos gravimétricos.	68
Resultados del análisis espectral del mapa de anomalías de Bouguer.	71

	Pág
4.1.2 MAPA DE ANOMALÍAS DE BOUGUER.	73
4.1.3 SEPARACIÓN DE ANOMALÍAS REGIONALES Y RESIDUALES.	74
Bondad de ajuste obtenida de la separación de anomalías regionales y residuales.	74
MAPA DE ANOMALIAS RESIDUALES.	76
MODELADO GRAVIMETRICO	77
4.2 RUIDO AMBIENTAL.	85
	Pág
4.2.1 PERIODO PREDOMINANTE OBTENIDO DEL PROCESAMIENTO CONVENCIONAL - Kanagawa (Kngw).	85
4.2.2 PERIODO PREDOMINANTE OBTENIDO DEL PROCESAMIENTO CON SESAME.	88
4.2.3 RELACIÓN PERÍODO FUNDAMENTAL-PROFUNDIDAD DE SEDIMENTOS BLANDOS.	89
4.3 SÍSMICA DE REFRACCIÓN.	91
4.3.1 PERFIL 1.	92
4.3.2 PERFIL 2.	95
4.3.3 PERFIL 3.	98
4.3.4 PERFIL 4.	101
4.3.5 PERFIL 5.	104
4.3.6 PERFIL 6.	107
4.3.7 PERFIL 7.	110
4.3.8 PERFIL 8.	113
4.3.9 PERFIL 9.	115
4.3.10 PERFIL 10.	118

	Pág
CONCLUSIONES	121
RECOMENDACIONES	125
BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS CITADAS	126
APÉNDICES	135
APÉNDICE A. GRAVÍMETRO AUTOGRAV CG-3	135
APÉNDICE B. GEOESTADÍSTICA	137
APÉNDICE C. ANÁLISIS ESPECTRAL	143
APÉNDICE D. GM-SYS	146
APÉNDICE E. PROCESAMIENTO DE RUIDO AMBIENTAL	148
ANEXOS	156
ANEXO 1. PLANILLAS DE DATOS GEOTECNICOS	157
ANEXO 2. DATOS DE ANOMALIAS DE BOUGUER	164
ANEXO 3. DATOS DE PERIODOS FUNDAMENTALES	168
ANEXO 4. VELOCIDADES Y ESPESORES DE LOS PERFILES SISMICOS.	171

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Pág.
CAPITULO I. INTRODUCCION	
1. Mapa de zonificación sísmica de Venezuela según la Norma COVENIN 1756-98 para edificaciones sismorresistentes en el que se clasifica a Barcelona como Zona 6.	2
2. Localización geográfica del área de estudio. Tomado del Atlas Práctico de Venezuela, 1999.	6
3. Mapa de zonificación preliminar de las áreas potencialmente licuables en la zona norte del estado Anzoátegui. (Tomado de Graffe, 2002).	8
4. Sección geológica típica de las formaciones presentes en el terreno de Barcelona-Puerto la Cruz.	10
CAPITULO II. MARCO GEOLOGICO	
1. Movimiento relativo de las placas de Caribe y Sudamérica, tomadas de Stephan,(1990). Columna 1: Evolución del Pre-Cretácico a Paleoceno Tardío.	17
2. Cuencas petrolíferas de Venezuela, basadas en la distribución de sus Provincias Sedimentaria (WEC, 1997).	21
3. Mapa geográfico-geológico de Venezuela, destacando la cuenca Oriental (Tomado de Schlumberger-Técnicas de Venezuela 1980).	22
4. Corte geológico del flanco norte de la Subcuenca de Maturín se encuentra asociado a los frentes de corrimiento de grandes bloques	

corticales, desplazados hacia el sur por la colisión entre las placas Caribe y Suramericana (WEC, 1997).	23
5. Sección estructural mostrando las unidades tectono-estratigráficas en el flanco norte de la Subcuenca de Maturín (WEC, 1997).	23
6. Situación de la transversal de Barcelona. Tomado de Macsotay et al.,(1985).	25
7. Mapa con rasgos estructurales de la cuenca Oriental de Venezuela (González de Juana et al., 1980).	26
8. Columna Estratigráfica de las Formaciones presentes en la Tabla 2 de la zona de estudio (WEC, 1997).	30
9. Mapa que muestra la ubicación de las perforaciones y perfiles sísmicos realizados en la zona de estudio.	32

CAPITULO III. MARCO TEORICO

1. Equipo Scintrex Autograv CG-3 propiedad de la Armada Nacional utilizado para la adquisición de los datos gravimétricos.	42
2. Modelo asumido por Nakamura (1989) para la interpretación de Microtremores. Tomado de Rocabado, 2000.	46
3. Equipo utilizado en la adquisición de ruido ambiental. Izq: Sensor. Der: Orion	49
4. Representación esquemática de un frente de ondas al incidir sobre una interfase, donde V_i es la velocidad de la i -ésima capa y ρ_i la densidad.	50
5. Trayectorias de los tres principales rayos de propagación	51
6. Trayectorias de los principales tipos de ondas con sus correspondientes curvas de tiempo de viaje	52
7. Esquema representativo de parte del procesamiento sísmico con el programa REFLEX.	58

8. Datos sísmicos donde se observan paquetes de llegadas ondas P y S, con sus respectivos picks de llegadas.	59
9. Modelo 1D, para ondas P. Se aprecia un cálculo aproximado de la profundidad y la velocidad de las capas.	60
10. Ventana de trabajo del procesamiento de modelado 2-D en RAYINVR.	61
11. Seguimiento del procesamiento de datos sísmicos en el programa RAYINVR, resaltando los parámetros a ajustar.	62
12. Modelado sísmico 2D generado con el programa RAYINVR.	62

CAPITULO IV. DISCUSION DE RESULTADOS

1. Histograma de Frecuencias de la Anomalía de Bouguer.	64
2. Grafico Q – Q Normal de la variable anomalía de Bouguer.	67
3. Gráfico Q – Q Normal sin tendencia de la anomalía de Bouguer.	68
4. Roseta de Distribución Espacial de AB.	69
5. Elipse de Anisotropía	70
6. Mapa de anomalías de Bouguer con criterio geoestadístico	70
7. Análisis espectral aplicado a toda el área de estudio	72
8. Mapa de anomalía de Bouguer de la zona Oeste de Barcelona, $\rho_B = 2,25\text{gr/cc}$	73
9. Grafica de la bondad de ajuste de los datos gravimétricos.	75
10. Mapa residual de grado 2 de la zona de estudio	76
11. Mapa de ubicación de los perfiles gravimétricos seleccionados.	78
12. Modelo Regional N° 1 de la zona de estudio con orientación S-N	82
13. Modelo Residual N° 1 de la zona de estudio con orientación S-N	82
14. Modelo Regional N° 2 de la zona de estudio con orientación S-N	83
15. Modelo Residual N° 2 de la zona de estudio con orientación S-N	83
16. Modelo Regional N° 3 de la zona de estudio con orientación W-E	84

17. Modelo Residual N° 3 de la zona de estudio con orientación W-E	84
18. Mapa de la distribución de valores de periodos fundamentales al noroeste de Barcelona, procesado con el programa KNGW.	86
19. Mapa de la distribución de valores de periodos fundamentales al noroeste de Barcelona, procesado con el programa SESAME	87
20. Relación período fundamental-profundidad de sedimentos par la zona de estudio.	90
21. Mapa de ubicación de los perfiles sísmicos.	91
22. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas P del PERFIL 1, ubicado a lo largo de la vía principal de acceso a la carretera de Caicara.	93
23. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas S del PERFIL 1, ubicado a lo largo de la vía principal de acceso a la carretera de Caicara	94
24. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas P del PERFIL 2, ubicado en los límites de la empresa camaronera Siembramar.	96
25. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas S del PERFIL 2, ubicado en los límites de la empresa camaronera Siembramar.	97
26. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas P del PERFIL 3, ubicado en los límites de la empresa camaronera Siembramar.	99
27. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas S del PERFIL 3, ubicado en los límites de la empresa camaronera Siembramar.	100
28. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas P del PERFIL 4, ubicado en los límites de la empresa camaronera Siembramar.	102

29. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas S del PERFIL 4, ubicado en los límites de la empresa camaronera Siembramar.	103
30. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas P del PERFIL 5, ubicado al lado oeste de la arenera, paralelo a la autopista Barcelona –Píritu.	105
31. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas S del PERFIL 5, ubicado al lado oeste de la arenera, paralelo a la autopista Barcelona –Píritu.	106
32. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas P del PERFIL 6, ubicado al lado norte de la arenera, perpendicular al límite sur de la camaronera.	108
33. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas S del PERFIL 6, ubicado al lado norte de la arenera, perpendicular al límite sur de la camaronera.	109
34. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas P del PERFIL 7, ubicado al lado sur de la empresa camaronera.	111
35. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas S del PERFIL 7, ubicado al lado sur de la empresa camaronera.	112
36. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas P del PERFIL 8, ubicado al lado sur de empresa camaronera, orientación S-N.	114
37. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas P del PERFIL 9, ubicado al lado NOR-ESTE de empresa camaronera, orientación S-N.	116
38. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas S del PERFIL 9, ubicado al lado NOR-ESTE de empresa camaronera, orientación S-N.	117

39. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas P del PERFIL 10, ubicado en los terrenos de la finca el Trompillo, lado sur-oeste de la zona de estudio.	119
40. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas S del PERFIL 10, ubicado en los terrenos de la finca el Trompillo, lado sur-oeste de la zona de estudio.	120

APENDICE E.

1. Diferentes ventanas de trabajo utilizadas para el procesamiento de ruido ambiental, por el método convencional KNGW.	151
2. Datos graficados de las tres componentes en una sola estación, se resaltó una de las opciones seleccionadas mediante una ventana.	151
3. Gráfico superior del espectro de Fourier para las componentes NS, EW, UD vs. Período y en el gráfico inferior se observa el Período vs. H/V.	153
4. Selección de ventanas para el procesamiento de dicha estación.	154
5. Selección del periodo por medio del método SESAME	155

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Pág.
1. Tabla descriptiva de la metodología de trabajo empleada en los métodos utilizados.	13
2. Resumen de las Formaciones Geológicas presentes en la zona de estudio (Barcelona), tomado del Léxico Estratigráfico de Venezuela (2002).	29
3. Datos de la estación base ubicada en el aeropuerto de Barcelona.	41
4. Logística empleada en la adquisición de datos gravimétricos.	41
5. Descripción de los instrumentos utilizados en la adquisición de ruido ambiental.	48
6. Valores estadísticos calculados con la base de datos de Anomalías de Bouguer	65
7. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra de Anomalías de Bouguer	66
8. Profundidades de origen de fuentes obtenidas a partir del análisis espectral de los datos gravimétricos a toda el área de estudio.	72
9. Valor de la bondad de ajuste para cada grado de polinomio.	74
10. Errores obtenidos en los tres perfiles gravimétricos, tanto en el modelado regional como en el residual	80
11. Lista de densidades asignadas a cada una de las unidades sedimentarias.	81
12. Datos de Anomalías de Bouguer con sus respectivos Regionales y Residuales de cada una de las estaciones adquiridas.	164
13. Datos de periodos fundamentales del suelo adquiridos en Barcelona.	168
14. Velocidades y Espesores del Perfil 1.	171

15. Velocidades y Espesores del Perfil 2.	172
16. Velocidades y Espesores del Perfil 3.	173
17. Velocidades y Espesores del Perfil 4.	174
18. Velocidades y Espesores del Perfil 5.	175
19. Velocidades y Espesores del Perfil 6.	176
20. Velocidades y Espesores del Perfil 7.	177
21. Velocidades y Espesores del Perfil 8.	178
22. Velocidades y Espesores del Perfil 9.	179
23. Velocidades y Espesores del Perfil 10.	180

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Fundación Venezolana de Sismología (FUNVISIS) tiene entre sus proyectos un estudio gravimétrico y de ruido ambiental en la zona oeste de la ciudad de Barcelona, junto con perfiles de refracción de dicha región, con la finalidad de conocer el espesor de los sedimentos blandos en la misma.

A partir de la experiencia de este trabajo será posible implantar la técnica de Nakamura (1989) o relación H/V en esa zona del país, de forma rápida y económica, con el objeto de programar estudios geotécnicos asociados a proyectos de zonificación sísmica, para determinar los períodos fundamentales y amplificación del suelo de la ciudad de Barcelona, la relación existente entre la profundidad de sedimentos, el período fundamental y la amplificación del suelo asociada a un punto de medición, lo cual se llevará a cabo mediante mediciones de ruido ambiental o microtemores.

La importancia de este proyecto se concreta en la obtención de un mapa de períodos fundamentales y amplificación de suelo de la zona oeste de Barcelona; para contribuir con los estudios de zonificación sísmica en esa región, y al mismo tiempo producir un mapa de isoanomalías gravimétricas, a partir de los cuales se generen modelos del subsuelo de las áreas de interés, los cuales han de ser coherentes con la geología de la región y con otros datos geofísicos.

Actualmente se tiene conocimiento de 11 perfiles de refracción de longitud variable, efectuados durante el período comprendido entre el 16 de noviembre de

1998 y el 01 de diciembre de 1998, en las afueras de la ciudad de Barcelona cercanas a la Base Aérea, en los límites del terreno de la empresa camaronera Siembramar, en los terrenos de una empresa productora de arena, dentro de una finca y cerca de la costa, y con los cuales se pretende realizar reprocesamiento que aporten información sobre la ubicación de la litología, determinación detallada de la profundidad de las capas, velocidades, presencia de estructuras, etc.

A tal fin, se realiza una recopilación y actualización de los datos geofísicos adquiridos para optimizar al máximo la información y de esta manera aumentar la precisión de un estudio integrado, que permita delimitar información base para calcular el comportamiento dinámico del suelo ante la ocurrencia de un movimiento sísmico.

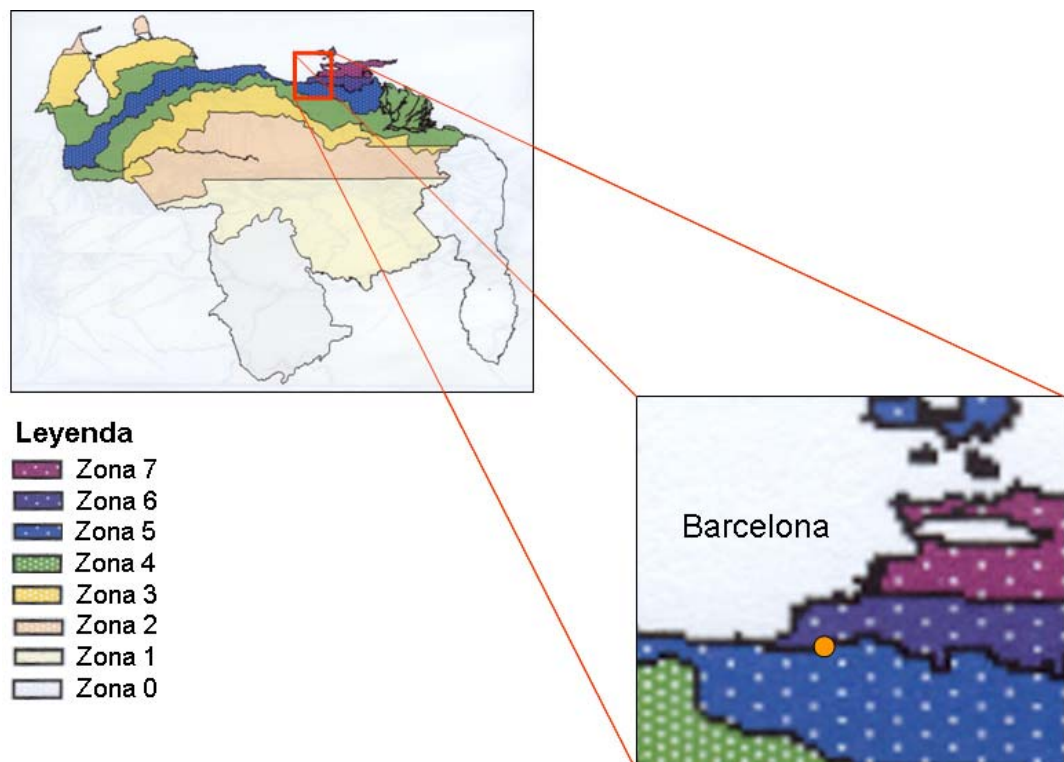


Figura 1.1 Mapa de zonificación sísmica de Venezuela según la Norma COVENIN 1756-98 para edificaciones sismorresistentes en el que se clasifica a Barcelona como Zona 6.

1.2 OBJETIVOS GENERALES

Determinar el espesor, velocidad sísmica y densidad de los sedimentos blandos en la zona oeste de Barcelona.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos por cada uno de los métodos utilizados, son los siguientes:

Métodos Gravimétricos:

- ♦ Levantar un mallado de estaciones gravimétricas, cubriendo de manera uniforme la superficie de la zona de interés.
- ♦ Procesar los datos de gravedad observada para obtener los valores correspondientes de Anomalías de Bouguer.
- ♦ Realizar un estudio geoestadístico de los datos, utilizando software especializado.
- ♦ Generar mapas de anomalías de Bouguer.
- ♦ Separar los efectos regionales y residuales de los datos de anomalía de Bouguer.
- ♦ Modelar los perfiles seleccionados, trazados sobre el mapa de anomalías de Bouguer y residuales.

Método de Ruido Ambiental, mediante el uso de la Técnica de Nakamura (1989) o relación H/V:

- Levantar un mallado de mediciones de ruido ambiental, cubriendo de manera uniforme la superficie de la zona de interés.
- Determinar los períodos fundamentales del suelo de la zona oeste de Barcelona.
- Determinar la relación período / profundidad de sedimentos a partir de perfiles tipos, tales como perfiles gravimétricos o sísmicos.

Método Sísmico de Refracción:

- Procesar e interpretar las líneas sísmicas de refracción previamente adquiridas en el área.
- Generar un modelo de velocidades 2-D basadas en las dromocrónicas de cada registro.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La necesidad de implantar estudios que permitan realizar una caracterización de los suelos quedó evidenciada luego de una serie de terremotos ocurridos durante los últimos años en el país, durante los cuales varias edificaciones, estructuras y desarrollos urbanos de diversas zonas del país sufrieron daños a nivel estructural, desde pequeñas grietas hasta destrucción total de edificios, surgiendo la incógnita del porqué esta diferencia en daños entre zonas relativamente cercanas y la existencia de una relación con las características del suelo en el que se encontraban dichas estructuras. Para tal fin se plantea el uso del Método de Nakamura (1989) o relación H/V , a objeto de obtener los períodos fundamentales y amplitud H/V de suelo en la zona de Barcelona, que permita la caracterización de suelos de una forma rápida y

económica. Considerando la condición de amenaza sísmica de la zona, es necesario adaptar la planificación urbana con miras a minimizar las pérdidas en caso de un terremoto.

Las condiciones locales, tales como las características de los suelos y la geología local, son de gran importancia al momento de considerar el potencial destructor de las ondas sísmicas; por lo tanto el proyecto está enmarcado en la caracterización del espesor de los sedimentos blandos en la zona oeste de Barcelona.

1.5 ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio se encuentra ubicada en la Cuenca Oriental de Venezuela, específicamente en la Subcuenca de Maturín. Desde el punto de vista geográfico al oeste de Barcelona, la capital del Estado Anzoátegui, entre la población de Caicara y el Aeropuerto de Barcelona, comprende un lote de terrenos en las afueras de la ciudad, quedando enmarcado en la ventana de trabajo: los terrenos de la empresa productora de arena, el terreno de la empresa camaronera Siembramar, una finca y la costa.

Cubre un área aproximada de 117 Km², delimitada entre las siguientes coordenadas:

Longitud: 1.110.000 a 1.121.000 UTM

Latitud: 309.000 a 318.000 UTM

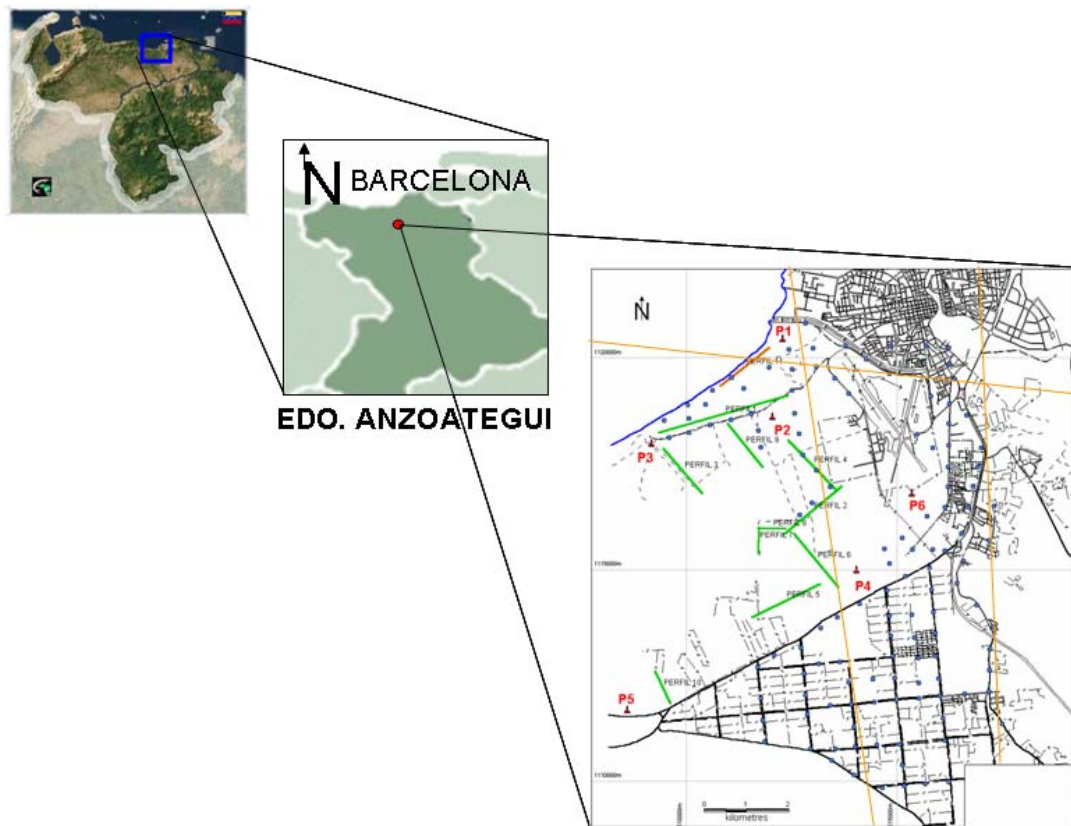


Figura 1.2. Localización geográfica del área de estudio. Tomado del Atlas Práctico de Venezuela, 1999.

1.6 TRABAJOS PREVIOS.

Graffe (2002) realizó un estudio para evaluar el potencial de licuación en la zona norte del estado Anzoátegui, con el empleo de un método probabilístico propuesto recientemente por Seed y Cetin (2001), el cual incorpora nuevos factores de análisis que mejoran notablemente la respuesta dinámica del suelo. Una vez evaluado el potencial de licuación se realizó un mapa de zonificación preliminar de las áreas potencialmente licuables en la zona norte del estado Anzoátegui, en el cual se representan las áreas con mayor susceptibilidad de sufrir procesos de licuación en la zona norte del estado Anzoátegui, el cual fue elaborado bajo criterio geotécnico

para las zonas donde se realizaron los sondeos y el criterio geológico de Youd y Perkins (1978).

La licuación de suelos afecta a los suelos arenosos sumergidos de mediana a baja densidad relativa, que al ser sometidos a la acción repentina de cargas cíclicas, generadas principalmente por sismos, ocurre una pérdida instantánea de la resistencia al corte la cual ocasiona daños considerables en la superficie del suelo, tales como agrietamientos, desplazamientos y asentamientos; los cuales pueden dañar irreversiblemente las estructuras que se encuentren fundadas sobre este tipo de suelos.

Graffe (2002) concluye en su estudio lo siguiente:

- El margen costero de la zona norte del estado Anzoátegui es susceptible a licuar en una extensión de 2.5 km desde el borde de playa hacia tierra firme, el cual se reduce hacia el nor-oeste llegando hasta una extensión que varía entre 0.8 y 1 km en la periferia del Complejo José.
- Los estratos de arena susceptibles a sufrir procesos de licuación, se encuentran a profundidades que varían entre 2 y 4 metros, siendo más superficiales hacia los márgenes costeros y cuentan con un espesor promedio que oscila entre los 3 y 6 metros.
- El nivel freático varía de superficial hasta los 3 metros de profundidad en el margen costero, profundizándose a medida que nos alejamos del éste.



Figura 1.3 Mapa de zonificación preliminar de las áreas potencialmente licuables en la zona norte del estado Anzoátegui. (Tomado de Graffe, 2002).

Pimentel (1982) realizó un resumen de las diferentes condiciones del terreno en la zona de Barcelona y Puerto la Cruz. Se presentan perfiles típicos del suelo, en los cuales se muestran algunas propiedades índices de los diferentes materiales que los componen. De igual forma se hace mención de la problemática de la geotecnia de esta zona. Las áreas planas de esta zona consisten en depósitos sedimentarios, aluviales y marinos, antiguos y muy recientes. En general se trata de lutitas y areniscas muy meteorizadas, a veces con grandes espesores de roca descompuesta y suelos residuales de carácter terroso, lo cual hace muy complejo su estudio desde el punto de vista geotécnico.

Pimentel (op. cit) concluye en su estudio que la zona de Barcelona – Puerto La Cruz puede ser dividida en cuatro áreas representativas; las cuales son:

- **Áreas de afloramientos de rocas y de suelos residuales.** En la zona se encuentran rocas duras, como son las calizas cavernosas de la Formación El Cantil. Lo más usual en la zona son los afloramientos de lutitas y areniscas de la Formación Querecual y una lutita muy descompuesta de la Formación Chimana.
- **Coluvios de pie de monte, al oeste de Barcelona.** Se trata de suelos depositados por torrentes, en abanicos o conos de deyección que, en un corto recorrido entre el pie de montaña y la costa, presentan una variada gama de suelos, que van desde gravas arcillosas hasta arcillas de alta plasticidad. Los materiales más gruesos se encuentran al pie de la Cordillera, son gravas y arenas arcillosas, generalmente se trata de depósitos muy densos, de alta resistencia al corte. Cerca de la costa los materiales son de predominancia arcillosa; generalmente se trata de arcillas arenosas a muy arenosas, de plasticidad media alta, muy duras y agrietadas, de granulometría bien gradada.

- **Áreas de sedimentos duros.** Los sedimentos duros de la zona se encuentran en áreas aisladas; generalmente se trata de planicies de terrazas marinas o aluviales muy antiguas. Constituidos por arcillas arenosas duras, con intercalaciones de arenas muy arcillosas.
- **Áreas de sedimentos blandos.**
- En la zona de Barcelona-Puerto La Cruz es frecuente encontrar grandes depósitos de sedimentos blandos, específicamente en las áreas planas bajas o áreas de sedimentación marina, cerca de ensenadas o antiguas salinas. Se encuentran arcillas muy blandas, normalmente consolidadas a poco preconsolidadas; su resistencia al corte es muy baja y su comprensibilidad alta.

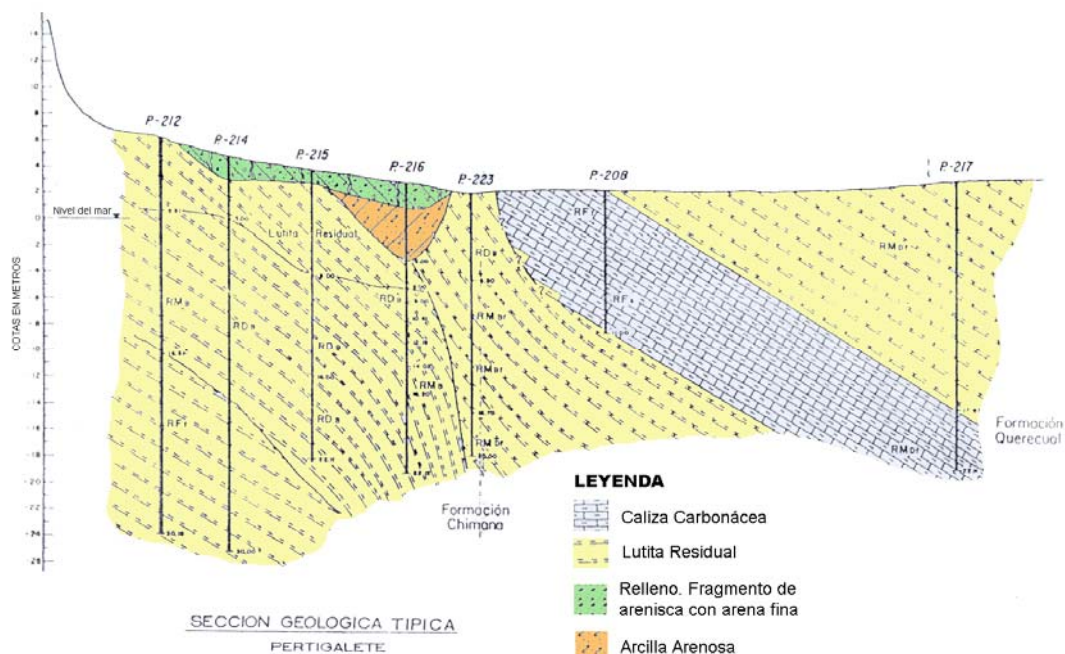


Figura 1.4. Sección geológica típica de las formaciones presentes en el terreno de Barcelona-Puerto la Cruz.

INTEVEP Y FUNVISIS (1999) realizaron la interpretación de 10 perfiles sísmicos de refracción adquiridos por ellos mismos, en la misma área de estudio. La saturación con agua de los sedimentos blandos de la llanura costera impide la determinación detallada de las capas profundas con las ondas P, ya que las velocidades obtenidas se ubican alrededor de la velocidad del agua. Por lo tanto, se puede identificar en todas las secciones el nivel freático. Sin embargo, en la mayoría de los perfiles las llegadas de las ondas S se ven enmascaradas por la onda del sonido. Debido a las características de los sedimentos saturados que se encuentran en la llanura costera al oeste de Barcelona, la zona de estudio, no se identifican cambios muy severos en las velocidades. Con la onda P se puede distinguir una capa superficial de 3 a 10 metros de espesor y velocidades sísmicas de 250 a 500 m/s, un estrato intermedio de una velocidad de 1700 a 1900 m/s a una profundidad de 20 a 50 metros en algunos sectores y un estrato profundo de velocidades de 2000 a 2500 m/s. En relación con las ondas S, la calidad de la información es muy variable, dependiendo principalmente de la existencia o no de las ondas del sonido, ya que éstas en muchos casos caen junto con las fases más superficiales y por lo tanto no se pueden identificar con claridad. Las capas más superficiales corresponden a las arcillas y arenas secas.

En lo que se refiere estrictamente a este estudio, se ha realizado un interesante trabajo conjunto entre la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) y el Departamento de Geofísica de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela, mediante la ejecución de tesis de grado de estudiantes de Ingeniería Geofísica; entre los más recientes destacan los trabajos en la ciudad de Caracas, de Rocabado (Mediciones de ruido ambiental, 2000) y Sánchez (Mediciones gravimétricas, 2000). Mediante trabajos de pasantías se realizaron estudios de ruido ambiental y gravimétrico en los años 2001 y 2002 en Caracas y en Barquisimeto respectivamente.

El trabajo planteado en Barcelona, la capital del Estado Anzoátegui, se basa en las técnicas empleadas a objeto de caracterizar los suelos de la ciudad con estudios e interpretación conjunta de mediciones de ruido ambiental (Nakamura, 1989), gravimétricas y sísmica de refracción a objeto de estimar las velocidades de corte promedio para los primeros 30 m de profundidad, lo cual reviste importancia para el comportamiento sísmico de estructuras ayudándose en estudios gravimétricos y evaluaciones geotécnicas.

Este estudio se basa en la información obtenida en un estudio realizado para INTEVEP (proyecto INTEVEP 98-437) en los años 1998 y 1999, en el cual se obtuvieron datos sísmicos de refracción y neotectónicos. Se plantea en este trabajo una reinterpretación de los datos sísmicos y complementar el modelo del subsuelo con datos gravimétricos y datos del período fundamental de vibración, obtenidos por mediciones de ruido ambiental (Método de Nakamura, 1989, op cit).

1.7 METODOLOGÍA DE TRABAJO

A continuación se muestra un breve esquema de la metodología empleada en el procesamiento en cada uno de los métodos aplicados a la zona de estudio.

Tabla 1. Tabla descriptiva de la metodología de trabajo empleada en los métodos utilizados.

	ADQUISICIÓN	PROCESAMIENTO
PROSPECCIÓN GRAVIMÉTRICA	Mediciones con un espaciamiento de 500 metros entre estaciones. 13 circuitos con un total de 153 estaciones	* Cálculo de la corrección por efecto de las mareas * Cálculo de la corrección de altura o aire libre * Cálculo de la corrección de Bouguer * Cálculo de la corrección topográfica * Cálculo de la corrección por latitud * Cálculo de la Gravedad Teórica. * Cálculo de la Anomalía de Bouguer. * Estudio estadístico y geoestadístico de AB. * Análisis espectral * Generación del mapa de Anomalía de Bouguer * Generación de mapas Gravimétricos, Residuales y Regionales * Modelado gravimétrico
EXPLORACIÓN SÍSMICA	Levantamiento de 10 perfiles de longitud variable	* Importación de los datos crudos provenientes del sismógrafo. * Construcción de las secciones sísmicas. * Actualización de la geometría. * Identificación de los picks para cada disparo, en cada uno de los perfiles, para ondas S y P. * Controlación de tiempo de las llegadas. * Modelado 1D, para obtener las velocidades y profundidades. * Modelado 2D del subsuelo
MEDICIÓN DE RUIDO AMBIENTAL	Mediciones con un espaciamiento de 500 metros entre estaciones	* Extracción de los datos crudos del Orion. * Secuencia de comandos para la conversión de los datos a formato ASCII. * Graficación de tres componentes para cada estación y seleccionó las opciones posibles. * Obtención de valores de períodos y amplificaciones. * Generación de mapa de Periodo

CAPÍTULO II.

MARCO GEOLÓGICO

2.1 INTRODUCCIÓN

Urriola y Zinck (1972) plantean la existencia de deformaciones cuaternarias en la planicie costera de Barcelona, y reseñan una serie de evidencias geomorfológicas e indicios geológicos indirectos de movimientos neotectónicos a lo largo del curso inferior del río Neverí. Posteriormente, *Soulas et al. (1981)* indican que la geometría localizada al Oeste del proyecto Desarrollo Armónico de Oriente - DAO-; y a su vez al Este del complejo Petrolero y Petroquímico José Antonio Anzoátegui, está controlada tectónicamente por fallas de orientación NW-SE. Adicionalmente, identifican deformaciones frágiles (fallas de rumbo este-oeste) en depósitos conglomeráticos del Pleistoceno inferior en canteras ubicadas al Este del distribuidor oriental del Complejo Petrolero y Petroquímico José Antonio Anzoátegui. En tiempos más recientes y como consecuencia de los movimientos de tierra ejecutados durante la construcción de la autopista Rómulo Betancourt (Barcelona-Píritu), *Audemard (1991)* describe la presencia de fallas de rumbo E-W en depósitos coluvio-torrenciales del Pleistoceno medio en el propio distribuidor oriental de Jose.

2.2. EVOLUCIÓN TECTÓNICA

Pindell (1990) y *Stephan et al. (1990)*, entre otros, consideran que la Cuenca Oriental de Venezuela se formó como resultado de la interacción entre las placas de Sur América, el Caribe y Norte América, y reconocen en ellas tres etapas tectónicas. La primera corresponde a la ruptura de Pangea desde el Triásico al Jurásico Tardío, una segunda fase de margen pasivo entre el Jurásico Tardío y el Oligoceno, y una

última etapa de margen activo, que comenzó desde el Mioceno hasta el presente. *Eva et al. (1998)* divide la evolución geodinámica de la Cuenca Oriental del Caribe, en cuatro eventos mayores, esto es, una etapa de fisuras que antecede la ruptura de Pangea, en el Paleozoico. Un segundo evento durante el Jurásico-Cretácico, caracterizado por el desarrollo de fosas, la creación de corteza oceánica en el dominio del Caribe, y una disconformidad del rompimiento regional. Un tercer evento cubre un período de margen pasivo durante el Cretácico-Paleógeno; y en el evento final Neógeno a Cuaternario una colisión oblicua entre la Placa del Caribe y la Placa Sur Americana que resulta en la formación de la Serranía del Interior y la transformación de la cuenca de margen pasivo en una cuenca antepaís. Esta colisión fue diacrónica con el desplazamiento de Oeste a Este.

Según *Bally y Snelson (1980)*, la subducción hacia el Norte de Sur América se fusiona con la subducción occidente del Atlántico Central. La subducción hacia el Sur de la Placa del Caribe por debajo de Sur América se conecta con la subducción de Venezuela Septentrional.

Di Croce (1995) explica que en consecuencia, los cinturones transpresionales plegados del Neógeno de Venezuela Oriental y Sur de Trinidad así como el Sureste del Caribe dominante transtensionalmente, se forman en un punto triple de tres zonas de subducción.

En la Figura 2.1 se ilustra el movimiento relativo de las placas de Caribe y Sudamérica, según *Stephan (1990)*.

Las Placas de Norte América y Sur América se separaron al final del Jurásico. Durante el Aptiense cesa la expansión del lecho marino entre Norte y Sur América, período en el cual el protoarco de las Antillas Mayores colisiona con el margen pasivo de Norte América y Sur América. *Pindell y Barrett, (1990)* y *Lugo y Mann (1995)* indican que desde el Paleoceno Tardío hasta el presente la deformación

transpresional avanzó diacrónicamente a lo largo del borde septentrional de Sur América, mientras que la placa del Caribe migra hacia el este con respecto a las placas de Norte y Sur América.

El proceso transpresivo se manifiesta progresivamente en Venezuela Oriental en el Oligoceno-Mioceno Medio, donde se desarrollan cuencas antepaís y se forman planos de corrimiento que cabalgan la secuencia del margen pasivo del Cretácico como resultado de la migración hacia el este de la placa del Caribe. *Pindell y Barrett (1990)* proponen que hacia el Eoceno ocurren eventos de volcamiento en las Antillas Menores y se desarrollan las Napas de Lara. Mientras, *Stephan et al. (1990)* mencionan que el Oligoceno es un período tectónicamente quieto, lo que se interpreta como una reducción de la velocidad del movimiento destral de la Placa del Caribe.

Bellizzia (1984) define los movimientos del Terciario al norte de Anzoátegui, en las áreas adyacentes a Barcelona, como zonas de fuerte plegamiento asimétrico hacia el sur con un intenso fallamiento en la dirección de la mayor deformación, además se manifiesta con complejas dislocaciones estructurales en el extremo meridional por una serie más o menos paralela de anticlinales y sinclinales asimétricos volcados hacia el sur, variando desde grandes pliegues abiertos de flancos tendidos y poco asimétricos.

Según *González de Juana et al. (1980)*, durante el Eoceno Superior y parte del Oligoceno se levanta la Serranía del Interior, proceso marcado por el hiatus paleontológico constatado por la Formación Caratas, el Miembro Tinajitas y la Formación Los Jabillos. Es a partir de esta época que comienza el desarrollo de la Cuenca – Antepaís Petrolífera de Venezuela Oriental.

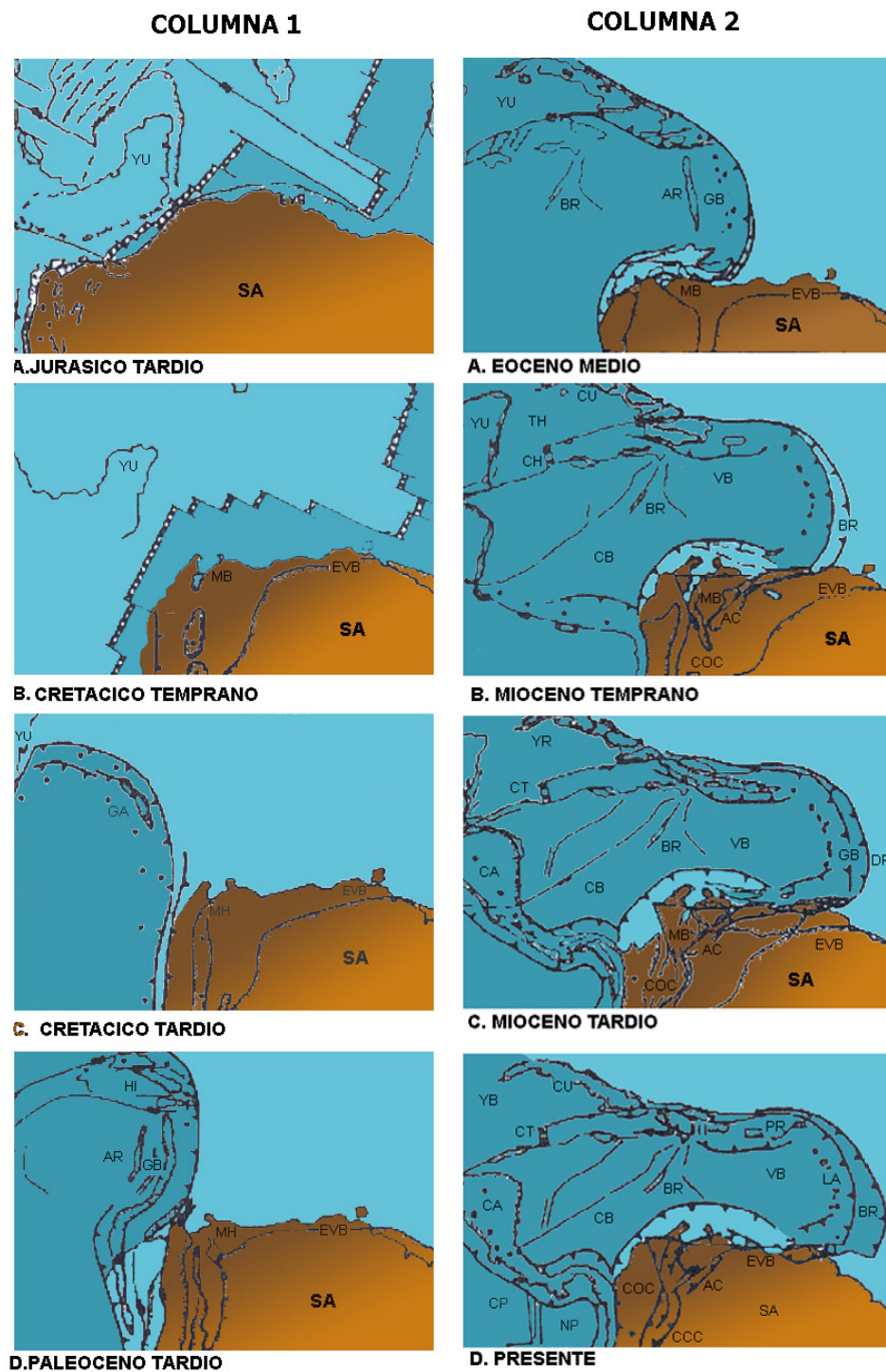


Figura 2.1. Movimiento relativo de las placas de Caribe y Sudamérica, tomadas de Stephan,(1990). Columna 1: Evolución del Pre-Cretácico a Paleoceno Tardío. Columna 2: Evolución Eoceno Medio al Presente

2.3 TECTÓNICA REGIONAL

Diversos trabajos de *Stover (1967)*, *Dirección de Geología (1970)*; *González de Juana et al, (1980)*, *Feo Codecido et al. (1984)* han planteado que la evolución tectónica al Noreste de Venezuela, específicamente en la Cuenca Oriental de Venezuela, se ha dividido en cuatro eventos o etapas tectónicas principales: 1) apertura continental o rifting, de probable edad Jurásico; 2) margen continental pasivo, de edad Cretácico a Eoceno medio; 3) fase “foreland” o antepaís, con un rango de edad Oligoceno Tardío a Mioceno Medio-Tardío (?). Originalmente, el área donde se formó la Cuenca Oriental pertenecía al supercontinente de Pangea, y con base en evidencias como la tasa y ambiente de las rocas que se depositaron durante el Paleozoico se ha sugerido que, previo a la apertura, dicha área fue parte de un escenario paleozoico continental a marino marginal.

Blanco, et al. (2000) reconocen que la principal fase de deformación estructural se inició en el Mioceno como producto de la Napa Caribe sobre el margen pasivo del norte de Venezuela, dando origen a importantes estructuras asociadas a zonas triangulares, a lo largo del frente de deformación, tales como el gran anticlinal de Capiricual en el norte de Anzoátegui. Adicionalmente, explica que hacia la Ensenada de Barcelona, la Cadena Caribe se hunde por debajo de los sedimentos neógenos y reaparece en la región de Araya-Paria. La Cadena Caribe parece estar desplazada dextralmente unos 60 km por la falla de San Sebastián- El Pilar, la cual podría haber comenzado a funcionar como falla dextral a partir del Mioceno.

2.3.1. ETAPAS TECTÓNICAS

Apertura Continental o Rifting, de probable edad Jurásico.

González de Juana et al. (1982) plantean el marcado desarrollo de la Cuenca Oriental de Venezuela, formada en el borde septentrional de Sudamérica. Di Croce

(1995) menciona que desde el Cretácico hasta el Terciario inferior, ésta formó parte de un margen continental pasivo, constituido por la sedimentación continua del primer ciclo.

Margen Continental Pasivo, de edad Cretácico a Eoceno medio.

Las características de este evento son interrumpidas por un período de compresión, ocasionado por la transcolisión de la Placa Caribe con la Suramericana, definiéndose así la configuración de la Subcuenca de Maturín (tipo antepaís), cuya evolución se puede seguir por el depósito casi ininterrumpido de sus sedimentos.

Fase Foreland o antepaís, con un rango de edad Oligoceno Tardío a Mioceno Medio-Tardío.

Daal (1992) considera que la actividad compresiva en el norte y el levantamiento incipiente del Bloque Alóctono de Pirital y la Serranía del Interior, contribuyeron a la creación del espacio en donde culminó el depósito de los sedimentos transgresivos de la Formación Naricual. Al final de este período, al sur del Corrimiento de Pirital, comienza a formarse la cuenca de tipo antepaís, la cual controló la sedimentación de la Formación Carapita.

2.4 CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA

Masle y Letouzey (1990) consideran que la Cuenca Oriental de Venezuela, conformada por las subcuencas de Guárico y Maturín, es una de las cuencas atlánticas más extensas del Norte de Sudamérica. Sus límites vienen dados por las rocas precámbricas del Escudo de Guayana al Sur, el arco de El Baúl al Oeste, la plataforma continental del Atlántico al Este, y la Cordillera de la Costa /Villa de Cura y los cinturones ígneos y metamórficos de Araya/Paria al Norte.

Young et al. (1956), Dallmus (1965) y González de Juana et al. (1980) mencionan que las Subcuenca de Guárico y Maturín se encuentran separadas por el Arco de Urica, el cual estuvo activo desde el Mioceno hasta el Holoceno. Por su parte *Cepet (1989) y Aymard et al. (1990)* señalan que el área total de la cuenca es aproximadamente 165000 km².

Gonzalez de Juana et al. (op cit.) indican que durante el período de relleno, la cuenca tenía forma de “U” abierta hacia el Este; una cordillera en proceso de levantamiento formaba su extremo Norte y una plataforma de aguas someras apoyada sobre el borde estable del Cratón de Guayana, su extremo Sur. Esta configuración determina el inicio asimétrico de la cuenca, con su zona axial situada hacia el Norte donde se acumuló el mayor volumen de sedimentos. En cuanto a los ambientes de depositación se tiene que las condiciones continentales (conglomerados, capas rojas y volcánicas alcalinas) durante el Jurásico fueron reemplazadas por condiciones pelágicas en el Cretácico asociados con el ciclo transgresivo. Por otra parte *Ostos (1990)* propone posteriormente una regresión diacrónica indicativa del probable comienzo de la subducción o colisión en el Noroeste de Sur América.

Gonzalez de Juana et al. (1980) proponen que al norte de la cuenca fueron depositados ambientes profundos y condiciones reductoras durante la máxima transgresión del Cretácico superior, ocurrida desde el Cenomaniense al Santoniense.

Alberdi y Parnaud (1991) mencionan que hacia el Sur de la cuenca pasan lateralmente a ambientes más someros, desde la plataforma hasta nerítico proximal.

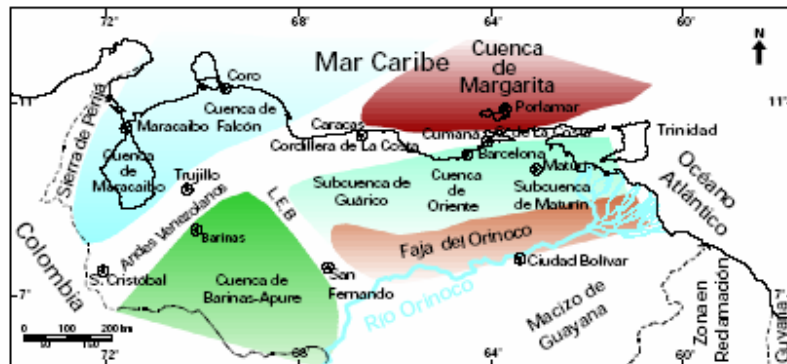


Figura 2.2. Cuencas petrolíferas de Venezuela, basadas en la distribución de sus Provincias Sedimentaria (WEC, 1997).

2.4.1 SUBCUENCA DE MATURÍN

La Subcuenca de Maturín (Figura 2.4) constituye la principal unidad petrolífera de la Cuenca Oriental. Podría afirmarse que la deformación estructural y los acúñamientos de las unidades estratigráficas hacia el sur definen dos dominios operacionales: uno al norte del Corrimiento de Pirital y otro al sur (Figura 2.5).

La estratigrafía de la Serranía del Interior Oriental representa en buena parte la sedimentación del flanco norte de la Subcuenca de Maturín: una espesa y compleja secuencia sedimentaria que abarca desde el Cretácico Inferior hasta el Pleistoceno. El flanco sur, en cambio, presenta una estratigrafía más sencilla, en su parte inferior, como representante del Cretácico, y un Terciario suprayacente de edad fundamentalmente Oligoceno-Pleistoceno, en el que se alternan ambientes fluvio-deltaicos y marinos someros, hasta su relleno final de ambientes continentales.

Subieta et al. (1968) reportan que la subcuenca de Maturín tiene una dirección N 50° E, paralela a la Serranía del Interior, correspondiente a un régimen compresivo que se observa en el flanco norte activo. Además menciona que esta región presenta un espesor variable, donde la parte más profunda se encuentra en el frente de

montaña y ha recibido los sedimentos de forma casi ininterrumpida desde el Cretácico inferior al Reciente (Figura 2.3).

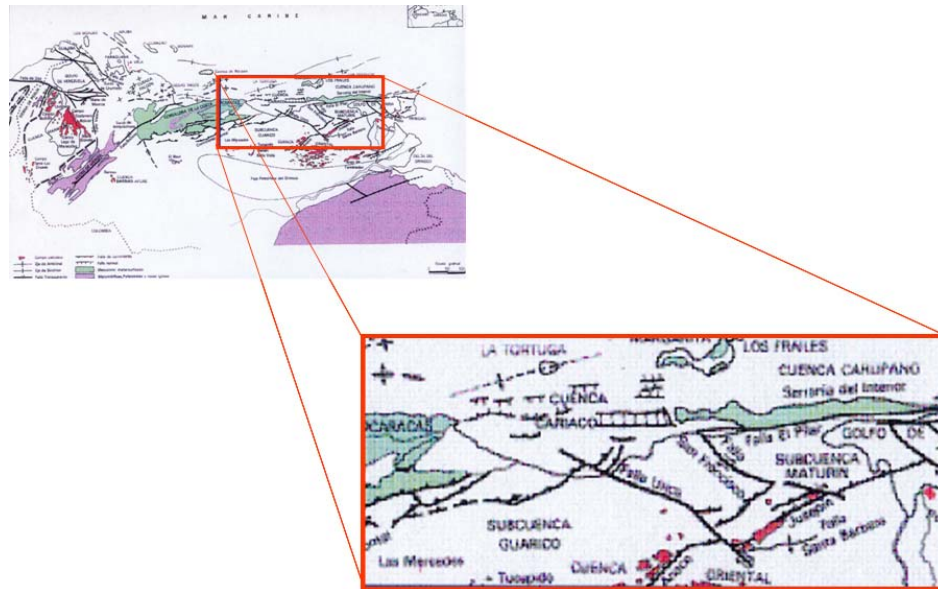


Figura 2.3. Mapa geográfico-geológico de Venezuela, destacando la cuenca Oriental (Tomado de Schlumberger-Técnicas de Venezuela 1980).

Rosales (1972) define al flanco norte sedimentario de la subcuenca de Maturín como una zona de pliegues volcados y corrimientos; originadas por la acumulación petrolífera en este flanco se presentan rocas sedimentarias post-orogénicas del Terciario Superior, acunadas hacia el norte.

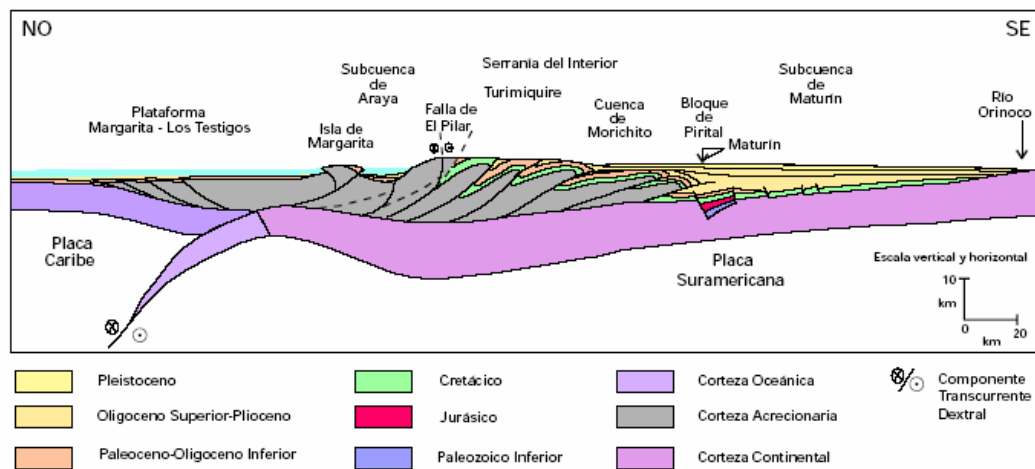


Figura 2.4. Corte geológico del flanco norte de la Subcuenca de Maturín se encuentra asociado a los frentes de corrimiento de grandes bloques corticales, desplazados hacia el sur por la colisión entre las placas Caribe y Suramericana (WEC, 1997).

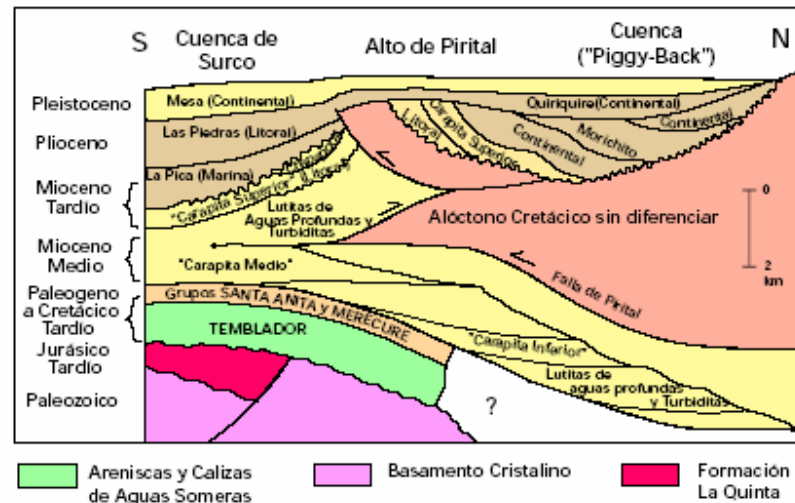


Figura 2.5. Sección estructural mostrando las unidades tectono-estratigráficas en el flanco norte de la Subcuenca de Maturín (WEC, 1997).

2.5 DEFLEXIÓN DE BARCELONA

Según Macsotay et al., (1985) la deflexión de Barcelona se forma durante el Mioceno tardío, al igual que los corrimientos del tipo Pirital, aunque no hay duda que existen estructuras más antiguas pre-deflexión.

El esquema evolutivo que ellos proponen es el siguiente: el corrimiento de la serranía del Interior Oriental en su conjunto SW-SE, iniciado a finales del Mioceno Medio, implica el plegamiento gradual de las sedimentarias del Bloque Bergantín, acompañado de un levantamiento progresivo y selectivo. Este corrimiento hacia el S-SE representa el acortamiento cortical del Bloque Bergantín. Al oeste de la Deflexión, el Bloque Santa Rosa sufre el efecto contrario: distensión, acompañada de fallas normales, rumbo NE-SW, que permiten una sedimentación muy espesa de tipo molásica; que son areniscas de cemento calcáreo ocasionalmente margosas, formaciones terciarias compuestas de sedimentos marinos y terrestres, areniscas blandas, arcillas, margas y conglomerados que se encuentran en muchos sistemas de montañas plegadas como una zona marginal delante de la propia montaña. De este proceso desarrollado durante el Mioceno Superior, se forma como contacto entre dos bloques, la falla de Urica (sensu stricto) Cerro Grande, de rumbo dextral de plano vertical.

En el Plioceno continúa la compresión en la misma dirección en el Bloque Bergantín, con migración del esfuerzo hacia el sureste; así, la transurrencia dextral se manifiesta sobre el plano de la falla de Capiricual, mientras que los planos anteriores, situados al NE se transforman en fallas inversas en la superficie, con buzamiento al noreste, debido a los contrastes en el comportamiento diferencial atribuidos a litologías más o menos competentes.

La continuación de la orogenia en el Pleistoceno temprano vuelca los planos superficiales de las fallas de Santa Inés y de Boca de Tigre, y determina la formación

de pliegues superficiales situados más al sur. En esta época, con la epirogénesis intensa del Bloque Bergantín, se produce el hundimiento principal de la fosa de Cariaco (*Macsoy, 1977*), como una respuesta isostática del tras-país.

Algunas fallas transcurrentes dextrales con componente vertical cortan todo el Bloque de Bergantín, desde las islas septentrionales hasta truncarse contra la falla de Urica, todo esto se considera como actividad del Pleistoceno tardío.

La dirección sostenida NW-SE de los repetidos planos de fallas de la deflexión, sugiere la presencia, debajo de los mismos, de una geofractura del basamento con la misma dirección, lo cual ha sido confirmado por evidencias geofísicas (Figura 2.6).

Se considera que la deflexión de Barcelona existe desde el Plioceno hasta el Reciente. Evidencias de actividad reciente se han obtenido en el extremo septentrional de la deflexión (*Soulas et al., 1981*) indicado por el desplazamiento de sedimentos no consolidados a lo largo de planos de falla.

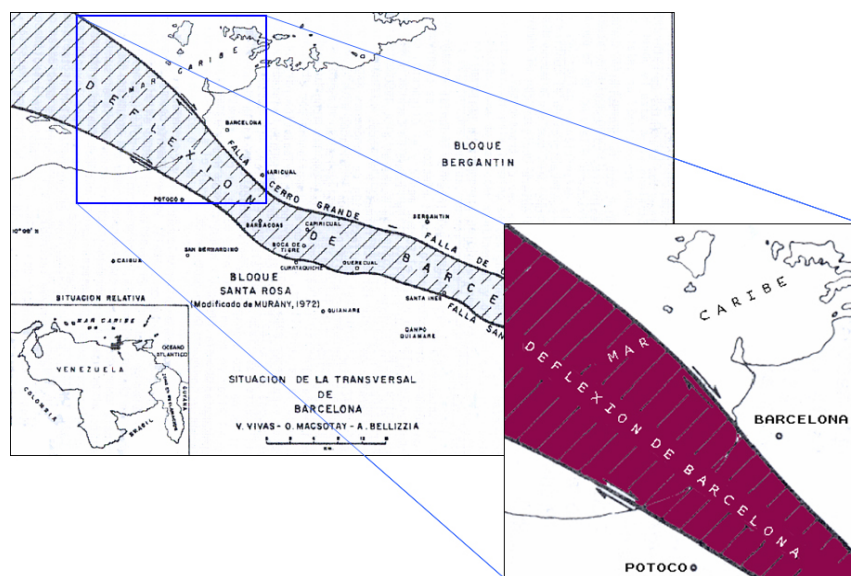


Figura 2.6. Situación de la transversal de Barcelona. Tomado de Macsoy et al.,(1985).

2.6 FALLA DE URICA

Ríos (2002) menciona que la falla de Urica representa el accidente tectónico de mayor importancia para la llanura costera de Barcelona, la cual se caracteriza por separar la Subcuenca de Maturín dentro de una zona de compresión, caracterizada por imbricaciones hacia el norte, de una zona de tensión, los cuales se aprecian por trenes de fallamiento normal hacia el sur.

Vivas et al. (1985) designan este rasgo estructural igualmente conocido como deflexión de Barcelona (Figura 2.7); mientras que FUNVISIS (1994) lo ha considerado como una rampa lateral con movimiento principal de tipo transcurrente dextral; es decir que se mueve con componente dextral dominante e inversa subordinada. Espinosa y Daza (1985) reconocen la traza y actividad reciente de este accidente estructural con relativa facilidad en el tramo NW -SE del sistema y sobre una distancia superior a los 100 Km entre el Golfo de Barcelona, donde se ha evidenciado por geofísica somera.

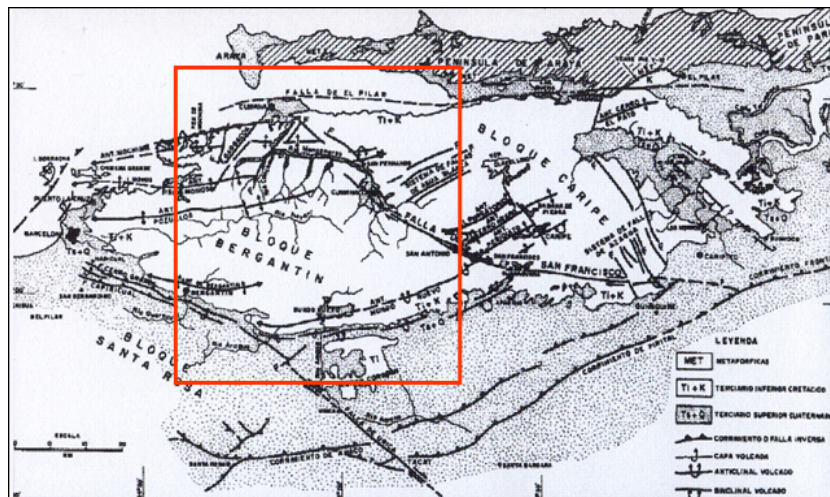


Figura 2.7. Mapa con rasgos estructurales de la cuenca Oriental de Venezuela (González de Juana et al., 1980).

Espinosa y Daza (1985) mencionan que las mejores evidencias geológicas de la actividad tectónica cuaternaria del sistema de fallas de Urica están presentes en la

parte submarina del sistema, y en particular en la zona cercana a la unión del mismo con el sistema de San Sebastián. El sistema de Urica no atraviesa ni desplaza al sistema de fallas de El Pilar, sino que, por el contrario, la extremidad septentrional del sistema de Urica abandona progresivamente su rumbo característico NW-SE para tornar la orientación característica del sistema de El Pilar y unirse con este último cerca de los 10°30' de longitud norte.

Munro y Smith (1984) han definido a través de interpretaciones sísmicas, una amplia zona de dislocación, de 10 km o más de ancho, con un patrón de geometría “en flor” que es característico de fallas transpresivas. Su extensión abarca 350 km aproximadamente.

Rod (1959) sugiere que la separación de rocas cretácicas a miocenas a ambos lados de la falla evidencia un desplazamiento de 40 km.

Según Giraldo y Beltran (1988), en ambos lados de la franja de deformaciones principales, se localizan importantes fallas de dirección oblicua, las cuales se apoyan en dicha franja, sin penetrar en la falla de Urica.

Urbina y Loaiza (1988) afirman que el rasgo estructural más significativo lo constituye la falla de Urica con movimientos de rumbo, la cual afecta toda la sección sedimentaria. En el bloque oriental de la falla de Urica se destaca el cambio de ambiente de la plataforma a talud costero.

Reinaldo et al., (1992) explican que el sistema de fallas de Urica es uno de los más importantes que se abren a manera de graben en la Ensenada de Barcelona; este graben está limitado al norte por la falla de Urica y al sur por la falla de la Costa – Santa Inés (llamada falla del Píritu) las cuales tienen orientación NW-SE y movimiento predominante normal.

Ollarves y Espinoza (2002) mencionan que el graben de la Ensenada de Barcelona es conocido como un sistema de fallas expuestas, que forman una estructura de graben a lo largo de la Plataforma de Unare. Además plantean que el semi-graben determinado para la región de Barlovento pertenece a la parte occidental del graben de la Ensenada de Barcelona, el cual tiene orientación preferencial NW-SE, y se generó durante la primera etapa de tectónica distensiva. Adicionalmente, el graben de la Ensenada de Barcelona podría ser una estructura generada por cambios geodinámicos, que ocurren posiblemente por procesos de ‘relajación del sistema’, en donde la activación y desactivación de ciertos sistemas de fallas hacen que el marco geodinámico regional sufra un descanso mientras los esfuerzos tectónicos vuelven a ser repartidos bajo la nueva configuración, generando de esta manera, estructuras distensivas a nivel regional.

2.7 ESTRATIGRAFÍA REGIONAL

Urriola y Zinck (op cit) definen las unidades cuaternarias isócronas basándose en criterios de datación relativa y apoyados en correlación pseudo-estratigráfica y paleopedológicas, se desprende la planicie costera de Barcelona, originando como resultado la colmatación de una antigua bahía pleistocena y holocena por sedimentos fluvio-marinos arcillosos y salinos depositados durante las transgresiones. Un episodio de sedimentación de aspecto deltaico correspondiente a aportes terrígenos más groseros originados a partir de los piedemontes cercanos que se intercala entre estas dos transgresiones y se relaciona con el último nivel pleistoceno más bajo del mar.

Urriola y Zinck (1972) encontraron la posición de la línea de costa durante la transgresión del Pleistoceno superior, la cual indica una penetración muy importante del mar tierra adentro en esta época (Golfo de Naricual, Río de Barbacoas) que es comprobada por la presencia de horizontes salinos soterrados pertenecientes a paleo-vertisoles desarrollados en las albúferas contemporáneas de este nivel eustático.

Urriola y Zinck (op. cit.) señalan en los levantamientos de geopedológicos, la penetración tierra adentro del mar correspondiente al máximo de la transgresión holocena y su retirada posterior en época contemporánea se aprecia en la presencia anómala de 2.5 y 3.5 Km de la costa actual de grupos de cocheros pre-colombinos señalados. Otra anomalía de importancia está constituida tierra adentro por la presencia de la retirada reciente del mar y la colmatación por los sedimentos del canal natural que permite el acceso a la antigua aduana marítima de Barcelona colonial.

Los procesos antes mencionados están representados por las formaciones que se listan en la Tabla 2.

Tabla 2. Resumen de las Formaciones Geológicas presentes en la zona de estudio (Barcelona), tomado del Léxico Estratigráfico de Venezuela (2002).

FORMACIÓN	EDAD	LITOLOGÍA	ESPESOR (m)	OBSERVA-CIONES
CHIMANA	Cretácico (Albiense)	Areniscas masivas de grano fino a muy fino, color gris y calcáreas; calizas delgadas y conchíferas y lutitas gris oscuro, calcáreas y arenosas.	De 120 m, Puede alcanzar entre 60 y 300 m por su variación lateral de facies tipo.	Su contenido de areniscas aumenta rápidamente hacia el sur.
QUERECUAL	Cretácico (Albiense tardío-Santonense)	Calizas arcillosas y lutitas calcáreas, ambas de color negro. Muy pocas areniscas grises, blancas, calcáreas y glauconíticas.	Se estima 700 m, con un mínimo de 420 m hacia el Oeste de Caripito. La formación es prácticamente uniforme en cuanto a su espesor.	Contenido de pirita, también es característico y es el responsable de las fuentes sulfurosas que se presentan en sus afloramientos.
SAN ANTONIO	Cretácico Tardío	Calizas y lutitas negras, pero también contiene capas de areniscas duras de color gris claro y de chert		
EL CANTIL	Cretácico (Aptiense-Cenomaniense)	Calizas (arrecifales y macizas) y lutitas	Tiene 866 m de espesor, aunque nunca inferior a los 300 m.	
BARRANQUÍN	Mesozoico (Cretácico temprano)	Areniscas cuarcíticas, color rojizo-blancuecino, intercalados con lutitas con capas de calizas verdosas o negras.	Se calcula unos 1500 m, con variaciones hasta los 500 m.	

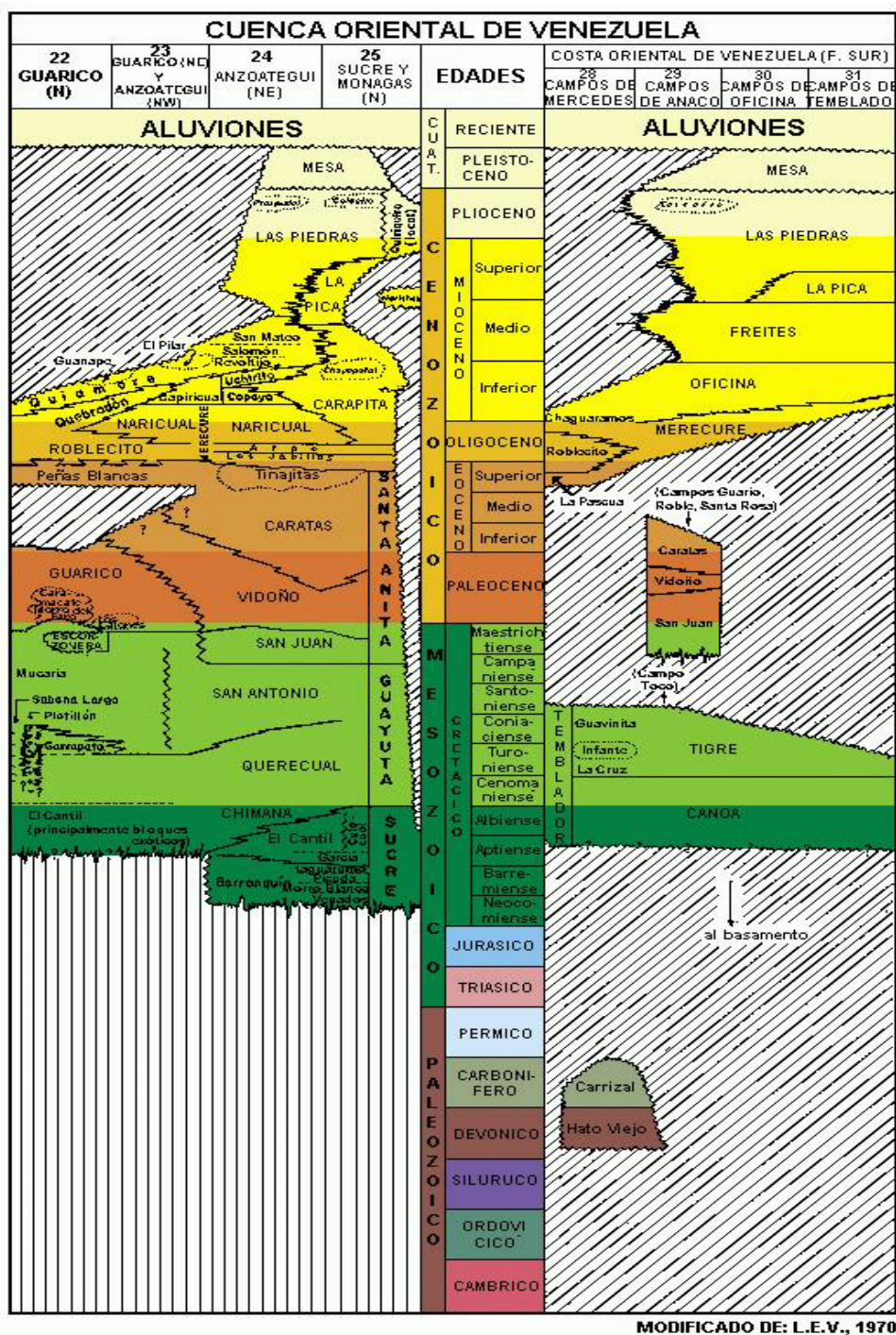


Figura 2.8. Columna Estratigráfica de las Formaciones presentes en la Tabla 2 de la zona de estudio (WEC, 1997).

2.8. GEOLOGÍA LOCAL

Un estudio geotécnico preliminar en lotes al nor-oeste de Barcelona, realizado por la compañía INGEOSOLUM C.A. (1998), Ingeniería de Suelos S. A. y Contemporáneo Internacional Inversiones C.A. con fines civiles, resume las diferentes condiciones del terreno en dicha ciudad y proporciona valiosa información referente a las litologías, espesores y densidades del suelo en algunas áreas características de la zona. Para ello, se extrajeron las perforaciones geotécnicas de estudio SPT distribuidas por la zona de estudio, y localizadas cerca de los perfiles sísmicos adquiridos previamente para servir de apoyo para la interpretación y modelados de los datos sísmicos y gravimétricos.

Las perforaciones geotécnicas reportaron en su mayoría, que el material que cubre la superficie se constituye de materiales de relleno, que a su vez, se encuentra en contacto con una capa de arcilla limosa algo arenosa fina blanda a muy dura, con presencia de conchas fragmentadas cementadas ocasionales más cercanas a la superficie. A partir de los primeros 10 metros de profundidad se puede observar la presencia de capas de espesores variables entre 2-4 metros en algunas zonas; mientras que en otras, a casi la misma profundidad, se pueden reportar capas compuestas de arcilla limosa, limo algo arenoso fino con vetas de arcilla limosa y arena fina limosa algo suelta.

A partir de los 10 metros de profundidad en adelante, se puede observar materiales de arcilla limosa algo arenosa, dura, de mediana plasticidad, con rocas calcáreas marrón amarillento y grises en vetas blandas, con algunos restos orgánicos. Por debajo de los 10 metros de profundidad se encuentra una capa de arena fina muy limosa, medianamente densa a densa, suave, cuarzosa con un espesor aproximado de 2 metros.

La Figura 2.9 muestra la distribución de las perforaciones seleccionadas en la ciudad de Barcelona. Las estaciones adquiridas señaladas sirvieron tanto para la adquisición gravimétrica como para la de ruido.

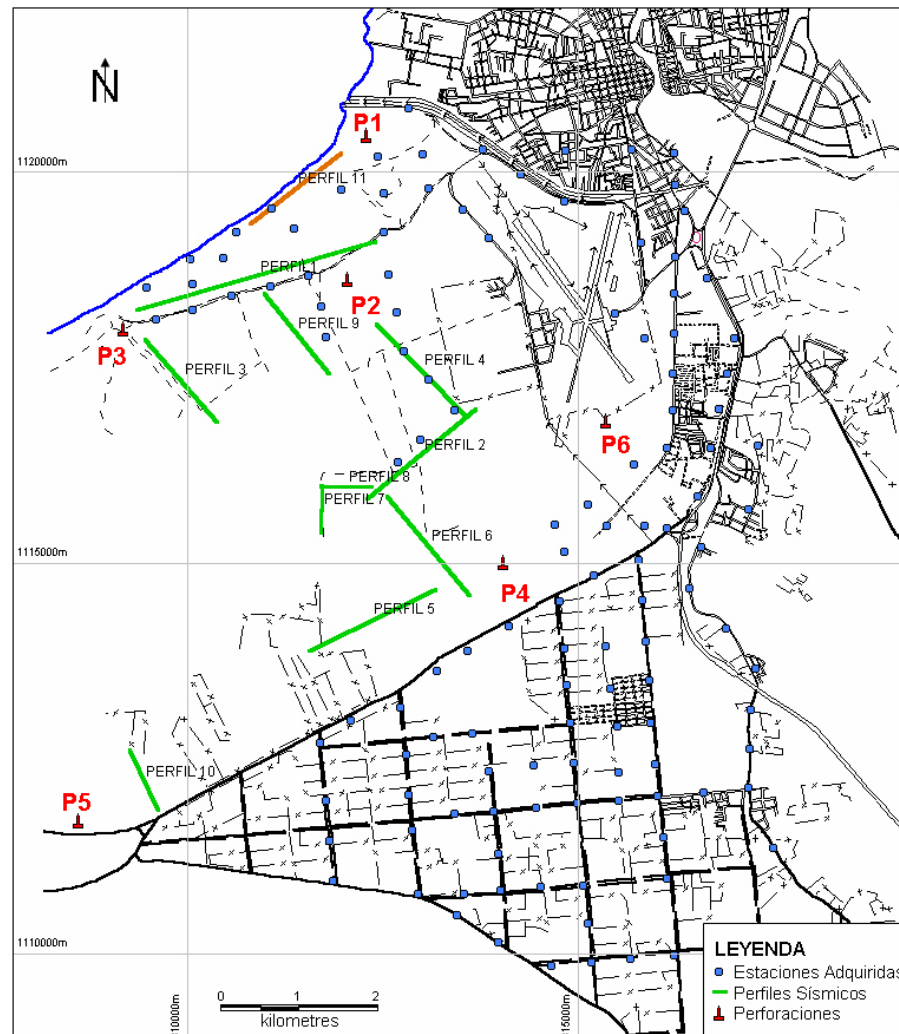


Figura 2.9. Mapa que muestra la ubicación de las perforaciones y perfiles sísmicos realizados en la zona de estudio.

Las planillas utilizadas para representar la información geotécnica proveniente de la fuente ya mencionada, se pueden encontrar en el anexo 1.

CAPÍTULO III.

MARCO TEÓRICO

3.1 INTRODUCCIÓN

La geofísica estudia la Tierra en su composición y dinámica, sobre la base de medidas de tipo físico que normalmente se realizan desde la superficie del planeta. Cuando este estudio tiene que ver con áreas relativamente pequeñas y profundidades que no sobrepasen máximo unos pocos kilómetros, para obtener un fin económico inmediato, se habla de geofísica aplicada, y el conjunto de métodos para obtener ese fin constituyen la prospección geofísica. Se puede inferir información sobre la composición del subsuelo mediante algún parámetro físico medido en superficie, que puede ser la velocidad de una onda, o variaciones del campo gravitacional producidas por diferencias de densidad, o la intensidad de una corriente asociada a la mayor o menor facilidad de propagación de las cargas eléctricas.

Los métodos ofrecen una forma de obtener información detallada acerca de las condiciones del suelo y rocas del subsuelo. Esta capacidad de caracterizar rápidamente las condiciones del subsuelo sin perturbar el sitio ofrece el beneficio de costos más bajos y menos riesgo, dando mejor entendimiento general de las condiciones complejas del sitio. Es necesario a menudo utilizar más de un método para lograr obtener la información deseada. Para poder aplicar un método geofísico en una prospección, es necesario que se presenten dos condiciones importantes: (1) que existan contrastes significativos, anomalías que se pueden detectar y medir; (2) que estos contrastes se puedan correlacionar con la geología del subsuelo.

3.2 PROSPECCIÓN GRAVIMÉTRICA

El método gravimétrico mide las variaciones laterales de la atracción gravitatoria del suelo que están asociadas a los cambios de la densidad próximos a la superficie. La teoría de prospección gravimétrica se ha desarrollado a partir de la Ley de Newton la cual establece que dos partículas de masa m_1 y m_2 , de dimensiones muy pequeñas, comparadas con la separación r de sus centros de masa se atraen mutuamente con la fuerza

$$F = \gamma * (m_1 * m_2 / r^2) \quad (3.1)$$

donde γ es la Constante de Gravitación Universal

La aceleración de una masa m_1 debida a la atracción de una masa m_2 , separadas una distancia r , se obtiene dividiendo la fuerza F por la masa m_2

$$a = (\gamma * (m_1 * m_2 / r^2)) / m_2 = \gamma * m_1 / r^2 \quad (3.2)$$

La aceleración da la medida del campo gravitatorio actuando en cualquier punto, lógicamente será la misma para cualquier masa situada en el mismo punto del campo. La aceleración se mide en gales (cm/s^2) (CGS) y se utiliza como unidad práctica la milésima del gal o miligal.

3.2.1 APLICACIONES DEL MÉTODO GRAVIMÉTRICO

Por medio del método gravimétrico se pueden detectar contrastes de densidad existentes en la corteza terrestre debido a los distintos tipos de rocas, que constituyen la corteza terrestre. La mayoría de las rocas sedimentarias por ejemplo es menos

densa en comparación a las rocas que forman el basamento. En consecuencia, con el método gravimétrico se puede delinear la interfase o el límite entre las rocas sedimentarias y las rocas del basamento subyacentes, o las dimensiones de cuencas sedimentarias formando lechos u otras depresiones en las rocas del basamento. El método gravimétrico es muy útil en la exploración inicial de áreas cubiertas por una capa uniforme, que esconde los afloramientos y la estructura del subsuelo. La cubierta puede componerse de vegetación densa, de agua somera o de aluviones por ejemplo.

En la exploración minera se aplica el método gravimétrico en la búsqueda de minerales pesados como la cromita por ejemplo. Debido al contraste alto de densidad entre los minerales pesados y las rocas adyacentes más livianas se puede delinear la distribución y dimensión de las rocas de diferentes densidades por medio del método gravimétrico. Los canales antiguos son prometedores para acumulaciones de menas de oro y de uranio. Frecuentemente ellos están hundidos y escondidos debajo de una cubierta de otras rocas. Debido al contraste de densidad entre el relleno menos denso de estos canales, que hacen incisiones en rocas de mayor densidad, el método gravimétrico es capaz de delinear la forma de estos canales.

Los estudios de reconocimiento regional por medio del método gravimétrico pueden resultar en el levantamiento de estructuras geológicas de importancia regional tales como fallas o lineamientos, que son prometedores para acumulaciones de minerales y mineralizaciones.

En el procesamiento de los datos gravimétricos es importante eliminar el efecto producido por factores que no están relacionados con la geología de la zona estudiada, como la altura de las estaciones gravimétricas con respecto al nivel por debajo del cual se quiere prospectar, la densidad del material presente en las estaciones, la topografía circundante, la ubicación geográfica y los efectos de las

mareas terrestres. Dado que éstos no proveen información útil al momento de construir el modelo del subsuelo, es necesario realizar las siguientes correcciones:

3.2.2 DERIVA INSTRUMENTAL.

La deriva es la diferencia entre dos lecturas realizadas en una misma estación en un cierto intervalo de tiempo las cuales teóricamente deberían ser iguales, pero no lo son debido a la fatiga instrumental. Por lo tanto, las lecturas del gravímetro deberán ser corregidas con los valores que se obtengan de la deriva, de manera tal que los valores corregidos se aproximen lo más posible a los que se hubiesen obtenido si todas las estaciones se hubiesen realizado simultáneamente y con el mismo instrumento.

3.2.3 LA CORRECCIÓN POR EFECTO DE LA MAREA

Los instrumentos de medida de la gravedad son tan sensibles que responden a la atracción gravitatoria del sol y de la luna, dependiendo así de la posición astronómica de ambos y de la latitud, registrando variaciones periódicas de esta atracción debidas a los movimientos de la Tierra con respecto a estos cuerpos y a la vez siendo variable con el tiempo. Estas fuerzas producen una pequeña deformación de la superficie marina dando lugar al efecto luni-solar o de las mareas, el cual consiste en que las aguas de la Tierra, que carecen de rigidez, se levantan o bajan periódicamente obedeciendo a éstas fuerzas; estos cambios los conocemos como mareas. La Tierra misma sufre la acción de estas fuerzas de marea, y como no es infinitamente rígida, su superficie sólida se deforma de la misma manera que la superficie libre del agua, aunque, por supuesto, no con la misma magnitud. Sin embargo, este movimiento origina cambios en la gravedad, pequeños pero medibles, ya que la distancia al centro de la Tierra varía. La magnitud de la variación depende de la latitud, el día del mes y la época del año.

La corrección por el efecto de las mareas para la región, se realizó mediante el programa MAREAS.EXE v. 1.0. La magnitud de la variación depende de la latitud, el día del mes y la fecha del año.

3.2.4 CORRECCIÓN DE AIRE LIBRE (CAL)

Toma en consideración el efecto de la altura de la estación de medida, en la observación gravimétrica, Se calcula mediante la relación que se muestra a continuación:

$$CAL = 0.3086 \times h \text{ (mgal);} \quad (3.3)$$

donde: h = altura de la estación en metros.

La corrección tendrá signo positivo si la estación se encuentra por encima del nivel de referencia tomado para compensar la disminución de la gravedad debido al mayor distanciamiento del centro de la Tierra y tendrá signo negativo en caso contrario.

3.2.5 CORRECCIÓN DE BOUGUER (CB)

Tiene en cuenta la atracción del material rocoso situado entre el nivel del mar y la estación situada a la altitud “h”. Para una capa infinita de espesor “h” la magnitud de la corrección viene dada por:

$$C_B = 0.04191 \times h \times \rho_B; \quad (3.4)$$

h: diferencia de cota entre la estación y el nivel de referencia.

ρ_B : es la densidad característica de las rocas ubicadas entre la estación y el nivel de referencia expresada en gr/cm^3 .

En el caso de la corrección de Bouguer, si la estación se encuentra por encima del nivel de referencia se resta C_B , ya que esto elimina el efecto atractivo que tiene dicho estrato sobre la estación; en caso contrario se debe sumar para contrarrestar el déficit del efecto atractivo que tiene la estación por la carencia de dicha lámina sobre la misma. El signo de esta corrección es opuesto al de la corrección de aire libre.

Se tomó una densidad de 2.25 gr/cm^3 , ya que se consideró a dicho valor de densidad como el más representativo de la litología que se encuentra en la zona de estudio.

3.2.6 CORRECCIÓN TOPOGRÁFICA (CT)

Esta corrección tiene en cuenta la atracción de las masas situadas por encima de la estación y corrige también las depresiones situadas por debajo del nivel de la estación. La corrección topográfica se suma siempre, trátase de una montaña o un valle. Se aplica cuando en la zona hay grandes y marcadas irregularidades en el terreno. Su magnitud depende de los desniveles topográficos “h” y de la densidad de la roca del entorno (ρ_B).

Existen tablas especializadas para dicho cálculo como por ejemplo las publicadas por Hammer (1939) y modificadas por Boble (1962).

En este estudio el cálculo de los efectos topográficos se realizó mediante el programa especial **TERRAIN** del paquete GEOSOFTE Inc. V 4.00.03, el cual fue alimentado con datos de la topografía en una ventana de trabajo ubicada en la zona de

estudio, la cual incluye las principales fuentes que pueden ocasionar una corrección topográfica significativa en las zonas de estudio.

La eficiencia del programa TERRAIN fue comprobada su efectividad anteriormente por un grupo de estudiantes en sus trabajos especiales de grado previos, por lo que no hizo falta repetir dicho proceso, el cual consistió en tomar cinco estaciones al azar de la zona de estudio corregidas manualmente utilizando las tablas de Hammer.

3.2.7 CORRECCIÓN POR LATITUD

Se hace con el objeto de eliminar el efecto que en la medida gravimétrica tiene el incremento de la gravedad terrestre del ecuador a los polos, debido principalmente a la rotación de la Tierra y a la diferencia de radios ecuatorial y polar en la misma. Para ello se calcula la Gravedad Teórica mediante la expresión:

$$G_{teo} = 978031.846 \times (1 + 0.005278895 \times \text{Sen}^2 \theta + 0.00023462 \times \text{Sen}^4 \theta), (\text{mgales})$$

donde θ = la latitud de la estación (3.5)

3.2.8 CÁLCULO DE LA ANOMALÍA DE BOUGUER

La anomalía de Bouguer considera la diferencia entre la gravedad observada o absoluta (G_{obs}) y la gravedad teórica (G_{teo}) en cada una de las estaciones.

$$\text{Anomalía de Bouguer } (A_B) = G_{obs} \pm C_{al} + C_B + C_T - G_{teo} \quad [\text{mgales}] \quad (3.6)$$

3.2.9 MÉTODOS DE SEPARACIÓN DE ANOMALÍAS REGIONALES Y RESIDUALES.

Las **anomalías residuales** son aquellas causadas por la presencia de cuerpos someros de pequeñas dimensiones respecto a su entorno. El otro efecto tomado en cuenta es el definido por las **anomalías regionales**, las cuales son el resultado de la atracción gravitatoria provocada por cuerpos y estructuras muy extensas y profundas. Estas anomalías definen el comportamiento de esos cuerpos e inclusive de la topografía del basamento en la zona estudiada, ya que están íntimamente ligados con su resistencia y densidad.

Ambos efectos conforman las Anomalías de Bouguer y se deben eliminar los regionales para aislar más claramente las estructuras más superficiales si ese fuere el interés de la investigación. En forma cuantitativa esto corresponde a despejar la Anomalía Residual de la ecuación:

$$AB = A_{reg} + A_{res}, \quad \text{donde } A_{res} = AB - A_{reg} \quad (3.7)$$

3.2.10 METODOLOGÍA DE TRABAJO

ADQUISICIÓN

La etapa de adquisición se llevó a cabo durante los días: 20, 21, 22 y 23 de mayo de 2003; completándose un total de 151 estaciones de mediciones gravimétricas (incluyendo las bases). En cuanto a la localización de los puntos de medición, éstos se ubicaron de acuerdo a las posibilidades de acceso, laterales a las vías de penetración, los límites del terreno de la empresa camaronera y de otros terrenos en donde los espacios han sido utilizados para la construcción de viviendas.

La metodología empleada consistió en efectuar una malla de mediciones con un espaciamiento de 500 metros entre sí, en diversos sitios de la ciudad.

La estación base utilizada para abrir y cerrar los circuitos gravimétricos, se encuentra ubicada en el Aeropuerto de Barcelona, y presenta las siguientes características:

Tabla 3. Datos de la estación base ubicada en el aeropuerto de Barcelona.

ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	ELEVACIÓN (m)	GRAV-OBS (mgales)	GRAV-TEO (mgales)
AER-BARC	10° 6' 60" N	64° 42' 00" W	6.09	978150,561	978207,682

El levantamiento de las estaciones ordinarias se realizó de la siguiente manera, siguiendo las consideraciones expuestas en el análisis de la deriva instrumental:

Tabla 4. Logística empleada en la adquisición de datos gravimétricos.

DÍA DE TRABAJO	MEDICIONES GRAVIMÉTRICAS
20/MAYO/2003	3 Circuitos con un total de 43 estaciones
21/MAYO/2003	3 Circuitos con un total de 51 estaciones
22/MAYO/2003	6 Circuitos con un total de 48 estaciones
23/MAYO/2003	1 Circuito con un total de 11 estaciones



Figura 3.1. Equipo Scintrex Autograv CG-3 propiedad de la Armada Nacional utilizado para la adquisición de los datos gravimétricos.

La adquisición se realizó con el equipo Scintrex Autograv CG-3 (apéndice A), el cual fue facilitado por la Armada Nacional.

PROCESAMIENTO

La prospección gravimétrica consiste en comparar las medidas obtenidas de gravedad en una región estudiada, con un patrón de referencia que supone la Tierra con la forma de un esferoide perfectamente uniforme, ajustando lo más posible al nivel del mar. Estos datos son corregidos por todos los efectos que hacen variar la gravedad, quedando como único causante de tal variación, el cambio lateral de la densidad de los materiales del subsuelo.

El procesamiento al cual se sometieron las medidas gravimétricas realizadas comprende las siguientes etapas:

- Deriva Instrumental
- Corrección por efecto de las mareas.

- Corrección de Aire Libre.
- Corrección de Bouguer.
- Corrección topográfica.
- Corrección por Latitud
- Anomalía de Bouguer

3.2.11 ANÁLISIS ESPECTRAL DE ANOMALÍAS DE BOUGUER

El análisis espectral de los datos gravimétricos, realizado mediante el programa MAGMAP Geosoft (Apéndice C), se aplicó en tres ventanas de datos, como se detalla a continuación: la primera abarca el área completa de estudio, una segunda que se extiende únicamente a la parte Norte de la zona en cual se observan las anomalías de menor valor (parte baja) y la ultima ventana conformada por la parte Sur del la zona de estudio en la cual se aprecian los valores altos de anomalías (parte alta).

3.2.12 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS GRAVIMÉTRICOS

Se realiza con la finalidad de cuantificar la calidad, calcular tendencias centrales y dispersión de los datos de anomalía de Bouguer y respaldar los datos gravimétricos mediante el uso de las herramientas estadísticas que prueben la normalidad de las poblaciones de datos. Se realizó un análisis estadístico, aplicando estadística clásica mediante el programa SPSS V.10. Se obtuvieron las medidas de tendencia central y de dispersión para estimar la variabilidad especial de los datos y así obtener una buena integración establecer los datos (Apéndice B).

3.2.13 ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO

Consiste en la aplicación de varios métodos estadísticos con el fin de conocer la variación espacial de los datos, que permite describir la autocorrelación espacial de los datos de la muestra, mediante una variedad de modelos espaciales. Para ello se utilizó el programa el programa GRIDSTATPRO Inc., (1999), el cual proporciona el radio y el ángulo para la elipse de anisotropía, en base a las cuales se puede determinar la continuidad espacial de los datos. En la elipse de anisotropía el eje mayor corresponde a la dirección de mayor continuidad de los datos y el eje menor al de la mayor variación de los mismos.

3.2.14 SEPARACIÓN DE LOS EFECTOS REGIONALES Y RESIDUALES

Para poder interpretar el Mapa de Anomalías de Bouguer, se deben eliminar los cambios regionales provocados por cuerpos profundos para aislar más claramente las estructuras de cuerpos someros (residuales). Los mapas regionales y residuales fueron generados por medio del programa SURFER versión 6.0, con la técnica de interpolación Kriging.

3.3 MEDICION DE RUIDO AMBIENTAL

Los estudios de microzonificación sísmica implican analizar la peligrosidad regional a partir de las estructuras tectónicas activas, la peligrosidad local a partir de la modificación de la señal sísmica debido a las condiciones geológicas locales y finalmente, fenómenos inducidos como pueden ser la licuefacción de suelos, los asentamientos, los deslizamientos y otros.

Se busca determinar la función de transferencia de los suelos, cuantificando la amplificación y la banda de frecuencias asociada a dicha amplificación, ya que se encuentra ubicada sobre depósitos sedimentarios yacentes sobre un basamento rocoso. Dichos depósitos presentan heterogeneidades tanto laterales como en profundidad.

3.3.1 MÉTODO DE NAKAMURA O RELACIÓN H/V PARA EL PROCESAMIENTO

Para la estimación de los períodos predominantes del suelo se ha utilizado el método de Nakamura (1989), el cual se basa en la interpretación de microtremores como ondas superficiales Rayleigh, las cuales se propagan en una capa blanda de sedimentos sobre un medio rocoso. A partir de un registro en superficie se determina la función de transferencia de las capas de suelo desde el basamento rocoso a la superficie, mediante la relación entre el espectro de Fourier de la componente horizontal y el de la componente vertical.

Las ondas Rayleigh son ondas cuya energía es atrapada inmediatamente por debajo de la superficie de la Tierra, en la capa blanda de sedimentos que yace sobre un medio rocoso; como consecuencia la energía de las ondas superficiales se dispersa en dos dimensiones (vertical y horizontal), es decir son ondas P –S_v. Para el movimiento en superficie se tendrán dos componentes: H_s (horizontal) y V_s

(vertical), y para el movimiento en la base rocosa se tendrán también dos componentes: H_B (horizontal) y V_B (vertical). Estas cuatro componentes definen el espectro de amplitud en el dominio de Fourier (Figura 3.2).

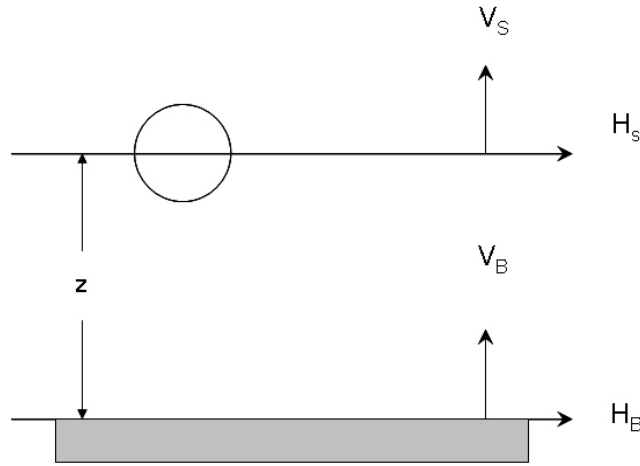


Figura 3.2. Modelo asumido por Nakamura (1989) para la interpretación de Microtremores. Tomado de Rocabado, 2000.

El movimiento de microtremores se debe a fuentes de ruido blanco (tráfico en las cercanías del sensor), sin considerar contribuciones de fuentes profundas. Nakamura (1989) supone que la componente vertical del movimiento no se amplifica por la capa sedimentaria. Asumiendo que las fuentes locales no afectan el movimiento de microtremores en la base rocosa, es posible estimar la forma espectral de la fuente del movimiento de micro temores, A_s , como una función de la frecuencia w , mediante la siguiente expresión:

$$A_s(w) = \frac{V_s(w)}{V_b(w)} \quad (3.8)$$

donde, V_s : amplitud del espectro de Fourier de la componente vertical en la superficie y V_b : amplitud del espectro de Fourier de la componente vertical en la base de la capa sedimentaria respectivamente.

Nakamura (1989) define una estimación del efecto del sitio de interés en la ingeniería de terremotos (S_E), como la relación:

$$S_E(w) = H_S(w) / H_B(w) \quad (3.9)$$

donde, H_S : amplitud del espectro de Fourier de la componente horizontal en la superficie y H_B : amplitud del espectro de Fourier de la componente horizontal en la base de la capa sedimentaria respectivamente.

Ahora, para compensar S_E por el espectro de la fuente, se calcula una relación modificada del efecto del sitio, S_M

$$S_M(w) = [H_S(w) / V_S(w)] / [H_B(w) / V_B(w)] \quad (3.10)$$

Si aceptamos que H_B/V_B es igual a la unidad para todas las frecuencias de interés, lo cual fue verificado por Nakamura (1989) utilizando registros de microtemores obtenidos en perforaciones de pozos, la función de efecto de sitio, corregida por el término de la fuente, puede escribirse de la siguiente manera:

$$S_M(w) = H_S(w) / V_S(w) \quad (3.11)$$

3.3.2 METODOLOGÍA DE TRABAJO

ADQUISICIÓN

Esta etapa del proyecto se llevó a cabo durante los días: 20, 21, 22 y 23 de Mayo de 2003; completándose un total de 145 puntos de mediciones de ruido ambiental. En cuanto a la localización de los puntos de medición, éstos tuvieron que ubicarse de acuerdo a las posibilidades de acceso, laterales a la vía de penetración, los

límites del terreno de la empresa camaronera y de otros terrenos en donde los espacios han sido utilizados para la construcción de viviendas.

La metodología empleada consistió en efectuar una malla de mediciones con un espaciamiento de 500 metros entre estaciones en diversos sitios de la ciudad, procurando quedar concentrados en la zona de interés (en este caso al oeste de Barcelona). Durante el levantamiento del área de interés se contó con un vehículo rústico marca Toyota, el cual fue facilitado por FUNVISIS.

Los instrumentos utilizados en el transcurso de la adquisición se listan en la Tabla 5.

Tabla 5. Descripción de los instrumentos utilizados en la adquisición de ruido ambiental.

EQUIPO	CARACTERÍSTICAS
1. Sensor	Marca: Guralp Modelo: CMG-T41008 Rango de Frecuencia: 30 s – 50 Hz Trípode
2. Sismógrafo	Marca: Orion-Nanometrics Modelo: Orion Número: Batería: 12 volt Cables de alimentación (Batería-Sismógrafo) Cables de conexión (sismógrafo – sensor)

Durante la adquisición era de suma importancia: una vez seleccionado el punto de medición, asegurar la correcta nivelación del sensor; ratificar que el mismo estuviera orientado hacia el norte, garantizando de esta forma la grabación de tres componentes ortogonales entre sí y tratar de no caminar en los alrededores del sensor para no ocasionar más ruido, con el propósito de garantizar que durante 5 minutos de grabación existiesen al menos algunos segundos libres de ruido local y garantizar el menor ruido externo posible en las inmediaciones del sensor.

Una vez finalizada la adquisición los registros quedan almacenados en los discos duros del equipo Orion y respaldados en la oficina para su posterior procesamiento.



Figura 3.3. Equipo utilizado en la adquisición de ruido ambiental. Izq: Sensor. Der: Orion

PROCESAMIENTO

Los datos se encuentran almacenados originalmente en un formato interno bajo archivo RingBuffer preasignado del sismógrafo ORION y tienen que cumplir una secuencia para ser transformados al formato ASCII, el cual es uno de los formatos de entrada del programa empleado para el procesamiento de datos de ruido ambiental.

La secuencia de procesamiento para los datos de ruido ambiental y desde la descarga del Orion hasta la obtención de los datos en formato ASCII, se describe a continuación y su explicación detallada se encuentra en el Apéndice E.

1. Conversión de datos Orion ASCII.
2. Conversión de datos Ascii a formato utilizado por el procesamiento.
3. Se seleccionará a partir de un registro de 5 minutos, una o más ventanas de procesamiento a objeto de obtener la relación H/V.
4. Obtención de valores de periodos y amplificación.

3.4 MÉTODO SÍSMICO

La sismica de refracción es un método mediante el cual los tiempos de viajes de las ondas refractadas críticas "head waves", se utilizan para estudiar el subsuelo. Los fundamentos de la sismica de refracción se utilizan a diferentes escalas. Permiten evaluar el subsuelo superficial, a profundidades menores que 100 m. En estos estudios la fuente frecuentemente se compone de una mandarina, con la que se golpea una placa metálica. Los mismos principios se aplican para estudiar la estructura de la corteza y el manto superior, utilizando sismos o explosiones como fuentes y muchos receptores a distancias de hasta aproximadamente 100 km.

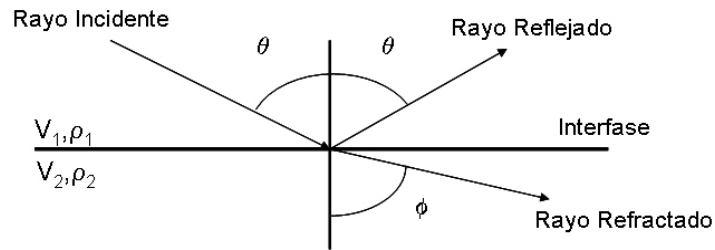


Figura 3.4. Representación esquemática de un frente de ondas al incidir sobre una interfase, donde V_i es la velocidad de la i -ésima capa y ρ_i la densidad.

El modelo más simple de la Tierra utilizado en la interpretación de datos de refracción, lo constituye un estrato con una base plana solapada a un semi-espacio. En la Figura 3.5 se puede observar una capa de espesor h_0 , con una velocidad de las ondas P de α_0 , suprayacente a un semi-espacio con una velocidad de las ondas P mayor, α_1 . Se consideran tres rayos de ondas básicas, desde la fuente localizada en la superficie a $x = 0$ y a una distancia del receptor x . El primer rayo, la onda **directa**, viaja a través de la capa superior, por lo que el tiempo de viaje t_D es:

$$t_D = x / \alpha_0 \quad (3.11)$$

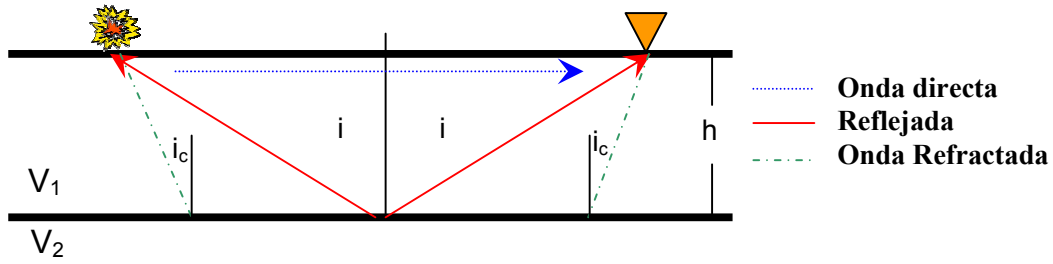


Figura 3.5. Trayectorias de los tres principales rayos de propagación

El tiempo de viaje en función de la distancia al receptor de las trayectorias de la onda **P** Figura 3.5, es el gráfico que muestra una línea recta que pasa por el origen, con pendiente $1/\alpha_o$. La segunda onda es una **reflexión** de la interfase, cuyo tiempo de viaje es;

$$t_R = (2*(h_o^2 + x^2/4)^{1/2}) / \alpha_o \quad (3.12)$$

Esto se determina teniendo en cuenta que el ángulo reflejado es igual al ángulo incidente, por lo que la onda se refleja en la interfase a una distancia horizontal $x/2$ desde la fuente y el receptor. Para $x=0$, la onda reflejada viaja directo hacia abajo y hacia arriba, con un tiempo de recorrido de:

$$t_R = 2* h_o / \alpha_o \quad (3.13)$$

A medida que x se incrementa, t_R aumenta hiperbólicamente, a lo largo de una línea recta. Eventualmente, a distancias más grandes que el espesor de la capa ($x \gg h$), el tiempo de viaje para la onda reflejada se aproxima al tiempo de viaje de la onda directa.

El tercer tipo de onda es la onda **refractada** crítica. Esta onda resulta a partir de una onda **P** incidente en forma crítica, que es desviada a una onda que viaja horizontalmente, inmediatamente por debajo de la interfase en el segundo medio. Se asume que la energía deja la interfase a un ángulo crítico como se muestra en la

Figura 3.6, y viaja de regreso al primer medio, conduciendo a la onda refractada al receptor. El tiempo de viaje t_H entonces viene dado por las dos porciones de ondas reflejadas divididas por α_0 , más la distancia que recorre por la segunda capa dividida por α_1 :

$$t_H = x/\alpha_1 + 2*ho((1/\alpha_0*\cos i_c) - (\tan i_c/\alpha_1)) \quad (3.14)$$

Donde el ángulo crítico viene dado por: $\sin i_c = \alpha_0/\alpha_1$

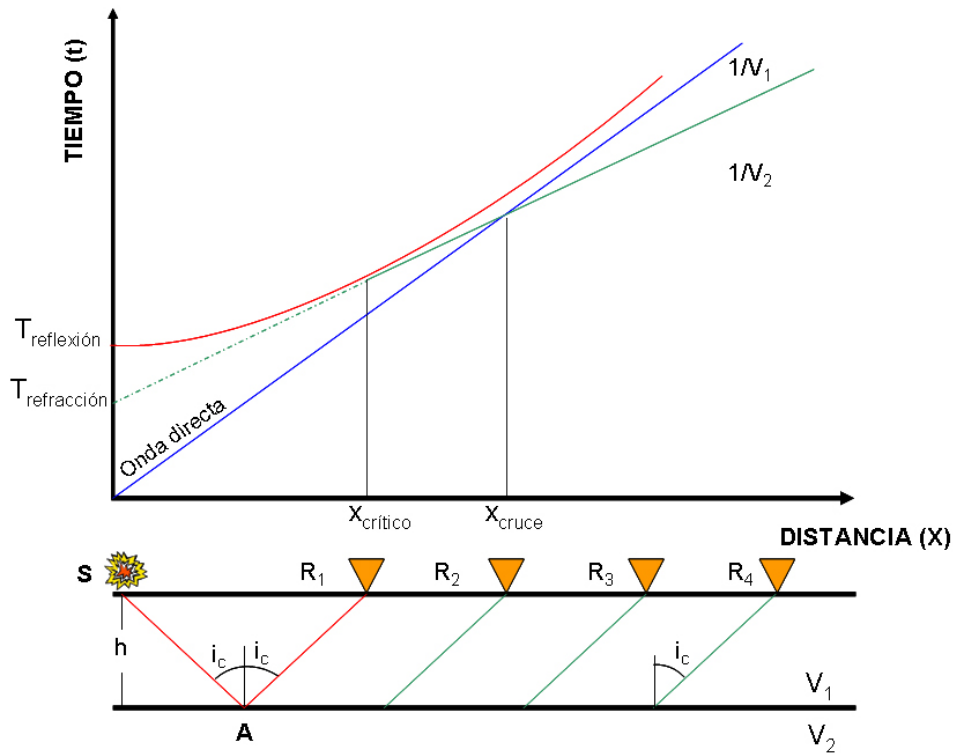


Figura 3.6. Trayectorias de los principales tipos de ondas con sus correspondientes curvas de tiempo de viaje

La curva de tiempo de viaje de la onda refractada crítica así como la onda directa, es una línea recta con pendiente inversamente proporcional a la velocidad, en este caso $1/\alpha_1$. La curva de la onda directa tiene una pendiente mayor o una velocidad

aparente menor ya que $1/\alpha_0 > 1/\alpha_1$, pero se inicia en $x = 0$, mientras que la onda refractada tiene una menor pendiente (mayor velocidad aparente), pero tiene un intercepto diferente que cero para $x = 0$. La onda refractada no aparece sino hasta más allá de la distancia crítica,

$$x_c = 2 \cdot h_0 \cdot \tan i_c \quad (3.15)$$

Comparando los tiempos de viaje de las ondas directa y refractada (Figura 3.6), está claro que en un sismograma la onda directa será la primera llegada a la distancia crítica, mientras que la onda refractada llegará más tarde. Sin embargo, en algún punto, las curvas de tiempos de viaje deben cruzarse, y más allá de este punto la onda refractada entonces será la primera llegada. La distancia a la cual esto ocurre se conoce como distancia de cruce x_c , y se determina haciendo $t_D = t_R$ y resolviendo la ecuación para x . La distancia de cruce viene dada por:

$$x_c = 2 \cdot h_0 \cdot ((\alpha_1 + \alpha_0) / (\alpha_1 - \alpha_0))^{1/2} \quad (3.16)$$

Esta fórmula es extremadamente útil para determinar el espesor de la capa superior. Se obtienen las velocidades α_0 y α_1 a partir de las pendientes de las curvas de tiempos de viaje y se calcula la distancia de cruce mediante los sismogramas a lo largo del perfil.

Ondas sísmicas

Se distinguen las ondas sísmicas internas y las ondas sísmicas superficiales.

Las ondas internas son:

- Ondas p: ondas longitudinales u ondas de compresión.
- Ondas s: ondas transversales u ondas de cizalla.

Las ondas superficiales:

- Ondas Love.
- Ondas Rayleigh.

Ondas P: ondas longitudinales u ondas de compresión

Las partículas de una onda p, longitudinal o de compresión oscilan en la dirección de propagación de la onda. Las ondas p son parecidas a las ondas sonoras ordinarias y son más rápidas que las ondas S; es decir, después de un temblor, al observatorio llegan primero las ondas p, luego las ondas s. La velocidad de las ondas p se calcula como sigue:

$$v_p = \sqrt{[(k + 4/3\mu)/\delta]} \quad (3.17)$$

donde:

k = compresibilidad

μ = módulo de rigidez

δ = densidad del medio, en el que se propaga la onda p.

$$v_p = \sqrt{[(\lambda + 2\mu)/\delta]} \quad (3.18)$$

donde:

λ y μ = constantes de Lamé

δ = densidad del medio, en que se propaga la onda p.

Ondas S: ondas transversales u ondas de cizalla

Las partículas de una onda s, transversal o de cizalla, oscilan perpendicularmente a la dirección de propagación. Se distinguen las ondas s_h , cuyas

partículas oscilan en el plano horizontal y perpendicular a la dirección de propagación, y las ondas s_v , cuyas partículas oscilan en el plano vertical y perpendicular a la dirección de propagación. En las ondas s polarizadas sus partículas oscilan en un único plano perpendicular a su dirección de propagación. La velocidad de la onda s se calcula como sigue:

$$v_s = \sqrt{\mu / \delta} \quad (3.19)$$

donde:

μ = módulo de rigidez

δ = densidad del medio, en que se propaga la onda s

$$v_s = \sqrt{[E/\delta \times [2(1 + \sigma)]^{-1}]} \quad (3.20)$$

donde:

E = módulo de elasticidad

δ = densidad del medio, en que se propaga la onda s .

σ = constante de Poisson.

Ondas Rayleigh

Rayleigh (1885) predijo la presencia de ondas superficiales diseñando matemáticamente el movimiento de ondas planas en un espacio semi-infinito elástico.

Las ondas Rayleigh causan un movimiento rodante parecido a las ondas del mar y sus partículas se mueven en forma elipsoidal en el plano vertical, que pasa por la dirección de propagación. En la superficie el movimiento de las partículas es retrógrado con respecto al avance de las ondas. La velocidad de las ondas Rayleigh v_{Rayleigh} es menor que la velocidad de las ondas s (transversales) y es aproximadamente $v_{\text{Rayleigh}} = 0,9 \cdot v_s$, según DOBRIN (1988).

Ondas Love

Love (1911) descubrió la onda superficial que lleva su nombre estudiando el efecto de vibraciones elásticas a una capa superficial.

Las ondas Love requieren la existencia de una capa superficial de menor velocidad en comparación a las formaciones subyacentes, es decir, un gradiente de velocidad positivo (velocidad se incrementa) con la profundidad. Las ondas Love son ondas de cizalla, que oscilan sólo en el plano horizontal, es decir son ondas de cizalla horizontalmente polarizadas. La velocidad de estas ondas es aproximadamente $v_{\text{Love}} = 0,9 \cdot v_s$, según Doyle (1995).

Las ondas internas se extienden en tres dimensiones. Las ondas superficiales se extienden en sólo dos dimensiones. Las velocidades de las ondas internas y superficiales están relacionadas como sigue: $v_p > v_s > v_{\text{Love}} > v_{\text{Rayleigh}}$. Generalmente para las amplitudes (A) de las ondas vale el orden inverso: $A_{\text{Rayleigh}} > A_{\text{Love}} > A_s > A_p$. Como las amplitudes de las ondas superficiales disminuyen con la profundidad del foco, la razón entre las amplitudes de las ondas superficiales y las amplitudes de las ondas internas indica aproximadamente la profundidad del foco.

En comparación con las ondas internas las amplitudes de las ondas superficiales disminuyen menos rápidamente con la distancia, en consecuencia en distancias largas con respecto a un temblor las ondas superficiales generan señales más altas y dominan los registros observados en los sismogramas.

Las ondas superficiales se caracterizan por la dispersión, es decir que la velocidad de las ondas superficiales depende de su frecuencia y de su longitud de onda. La variación de la velocidad con la frecuencia o la longitud de onda se denomina dispersión. En una onda afectada por dispersión distintas longitudes de

onda se propagan con diferentes velocidades, apareciendo como un tren de eventos, cuyos ciclos sucesivos son de períodos que incrementan o disminuyen.

3.4.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Se procesó un total de 10 perfiles de refracción de longitud variable (debido a condiciones de espacio) adquiridos previamente por la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) junto con INTEVEP, durante el período comprendido entre el 16 de noviembre de 1998 y el 01 de diciembre de 1998, en las afueras de la ciudad de Barcelona. La distancia entre geófonos se mantuvo constante de 10 metros. El tipo de fuente empleada fueron cargas explosivas que oscilan entre 200 y 3000 g.

PROCESAMIENTO

Los datos se encuentran preparados para ser importados al programa REFLEXW versión 3.0, el cual permite graficar las trazas sísmicas y obtener los tiempos de las primeras llegadas (ondas P) como las segundas llegadas (ondas S), asignando a una amplificación determinada un valor de tiempo.

La secuencia de procesamiento se desarrolla a continuación:

1. Importamos los datos: donde se van a construir las secciones sísmicas, especificando longitud del tendido y en donde se encuentra ubicado el punto de disparo al receptor.
2. Actualizamos la geometría del tendido: a través del menú File, en la opción Edit FileHeader. De manera paralela se seleccionó una opción de representación gráfica que permite observar las trazas correspondientes a cada una de las

secciones con mayor detalle, a través de menú Option, en la Plot Options seleccionando (wigglemode).

3. Se le aplica una corrección por amplitud
4. Se hallan los “picks” para cada disparo, en cada uno de los perfiles



Figura 3.7. Esquema representativo de parte del procesamiento sísmico con el programa REFLEX.

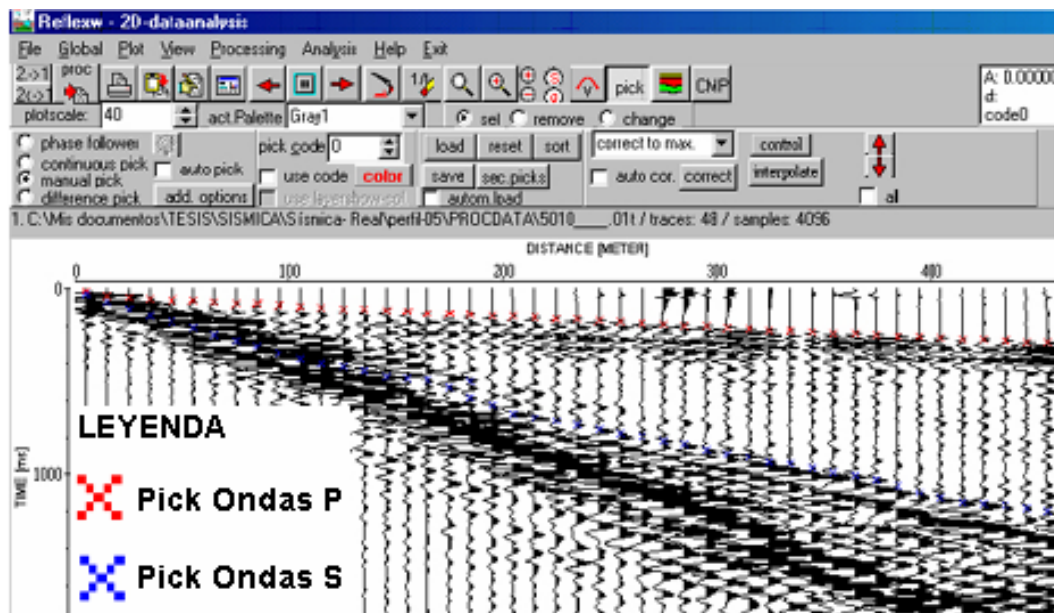


Figura 3.8. Datos sísmicos donde se observan paquetes de llegadas ondas P y S, con sus respectivos picks de llegadas.

5. Control de tiempo de llegadas: se realiza para todos los “picks” de las ondas P y de las ondas S, en donde se pueden identificar las alineaciones de puntos en las dromocrónicas correspondientes a las ondas P y las ondas S, en un mismo gráfico y de esta manera trazar rectas de ajuste en cada alineación para un mejor control de los tiempos seleccionados, como se muestra en la Figura 3.8 (Controles de tiempo, para la onda P).
6. Modelos 1D: para obtener las velocidades y profundidades aparentes del medio, las cuales son de gran ayuda para dar una idea de la manera en que se encuentran las capas en el subsuelo para su posterior modelo 2D.

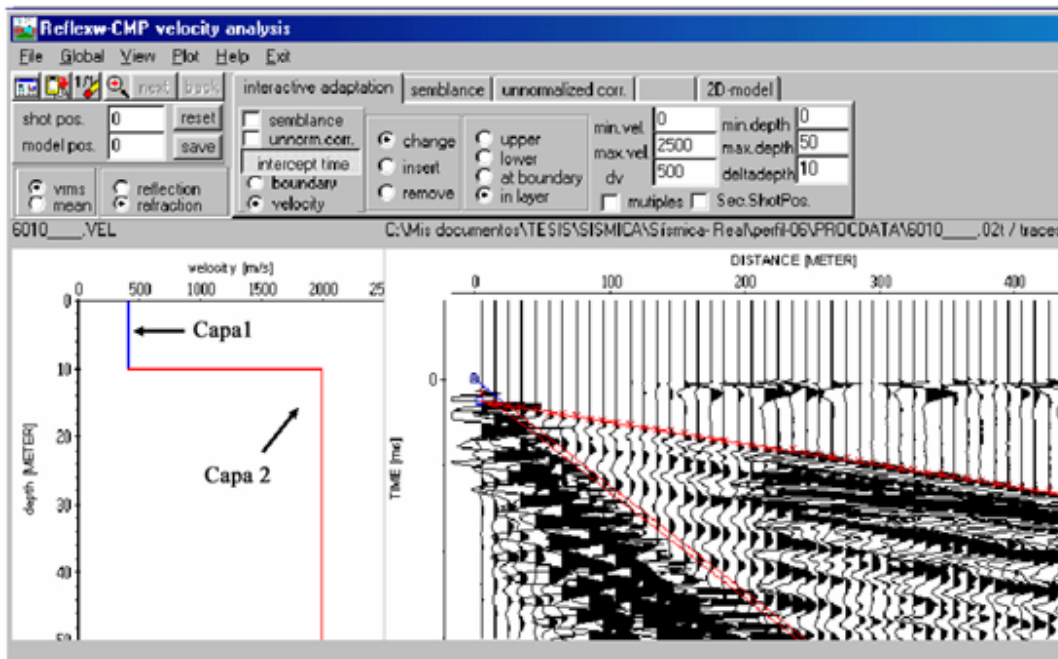


Figura 3.9. Modelo 1D, para ondas P. Se aprecia un cálculo aproximado de la profundidad y la velocidad de las capas.

7. Finalmente se realiza el modelo 2D del subsuelo: para cada uno de los disparos del tendido que conforman el perfil, con la utilización del Programa Rayinnvr (Zelty Smith, 1992); mediante un trazado de rayos que nos permite observar las variaciones de los parámetros involucrados en los tiempos de llegada, así como la velocidad de las capas y la profundidad de la interface; dichos parámetros se van modificando hasta ajustarse cada uno de los tendidos (Figura 3.11) (modelo 2D. Para las ondas P).

En dicho programa se trabaja con cuatro carpetas principales, las cuales son:

Tx.in: es el archivo que se extrae de Reflex con información completa del tendido, el cual contiene ubicación del disparo, distancia entre geófonos, tiempo de llegada, error aproximado y capa a cual pertenece.

R.in: es el archivo que contiene la geometría del tendido, números de disparos, longitud del tendido y cantidad de capas observadas.

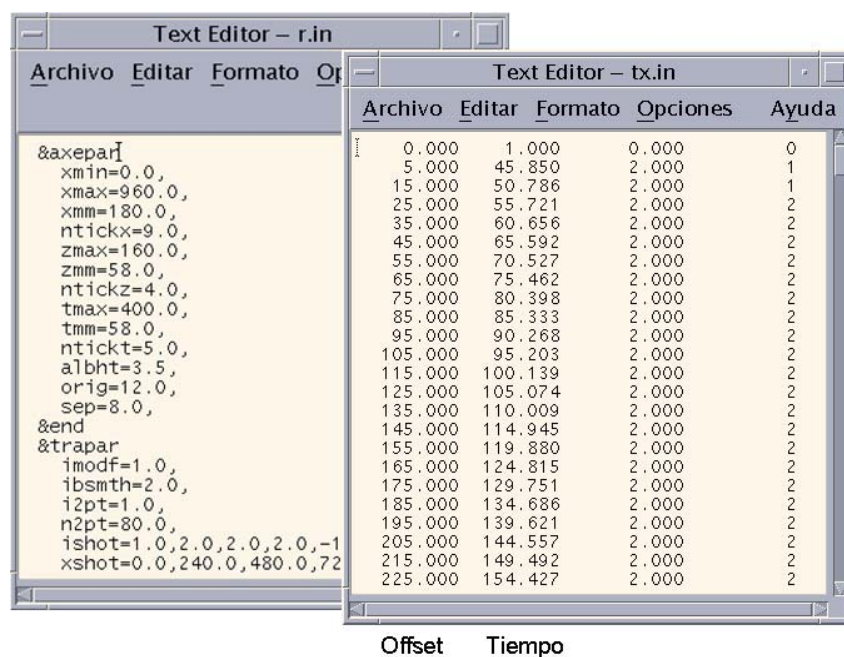


Figura 3.10. Ventana de trabajo del procesamiento de modelado 2-D en RAYINVR.

Vm.in: se coloca fijo la distancia mínima y máxima del tendido, el tiempo mínimo y máximo de las llegadas y la profundidad máxima observada.

V.in: se van realizando modificaciones en las velocidades de las capas como en la profundidad de la interface hasta ajustarse cada uno de los tendidos.

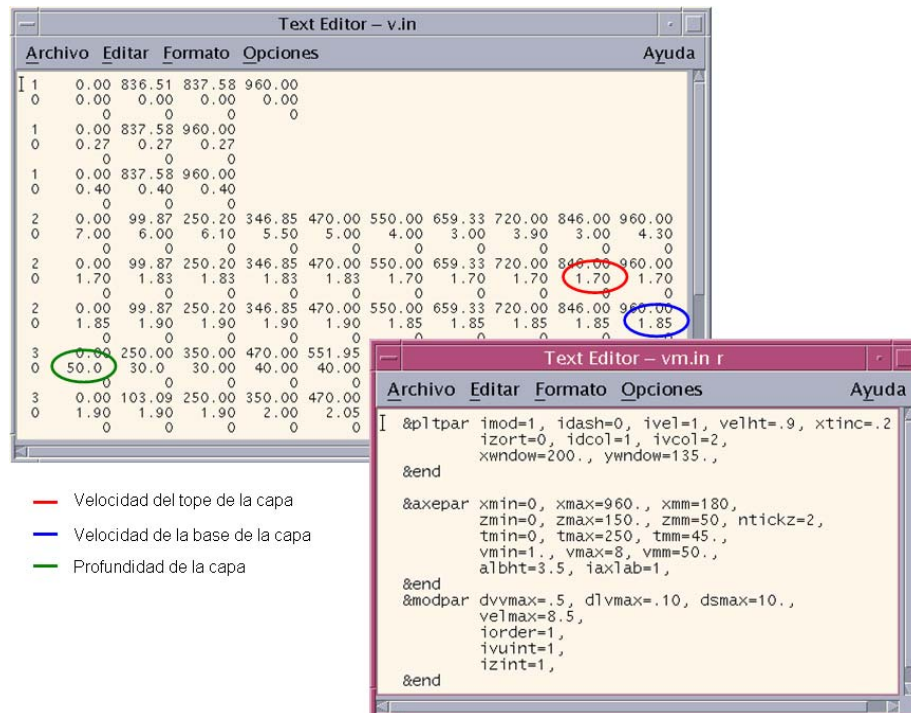


Figura 3.11. Seguimiento del procesamiento de datos sísmicos en el programa RAYINVR, resaltando los parámetros a ajustar.

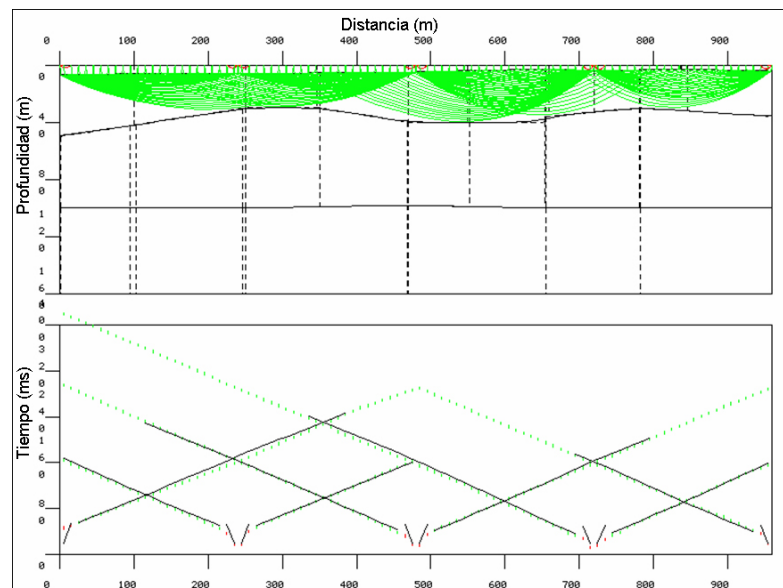


Figura 3.12. Modelado sísmico 2D generado con el programa RAYINVR.

CAPÍTULO IV.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 MÉTODO GRAVIMÉTRICO.

4.1.1 ESTUDIO ESTADÍSTICO Y GEOESTADÍSTICO DE LOS DATOS GRAVIMÉTRICOS.

En el análisis estadístico de los datos gravimétricos (anomalía de Bouguer) se pretende describir los datos de una muestra a partir de una población mediante la aplicación de las medidas de tendencia central, medidas de dispersión, histogramas de frecuencias y gráfico normal Q-Q; las cuales no son más que puntos representativos en una distribución que ayudarán a ubicarlos dentro de una escala de medición, que serán de gran importancia debido a que permitirán anticipar el comportamiento de la población a partir de una muestra (Apéndice B).

Los datos adquiridos, procesados y archivados, fueron analizados mediante el programa especializado *Statistical Package for Science (SPSS)* Inc. (2003), versión 10.0. con el fin de controlar calidad de la población y resumir toda la información obtenida, alcanzando una idea más clara del comportamiento de los datos.

Considerando que la población en estudio contiene datos geofísicos y los mismos no son más que la representación del valor que arrojan las unidades litológicas que se encuentran en el subsuelo, la muestra representa los valores obtenidos por medio de un levantamiento de estaciones dentro del área en estudio.

Resultados Obtenidos de la aplicación de la estadística a los datos gravimétricos.

Para la identificación de la concentración de los datos de anomalías de Bouguer con respecto a cierto valor central del recorrido de la variable (Apéndice B), el estudio arrojó los resultados que se observan en la Figura 4.1.

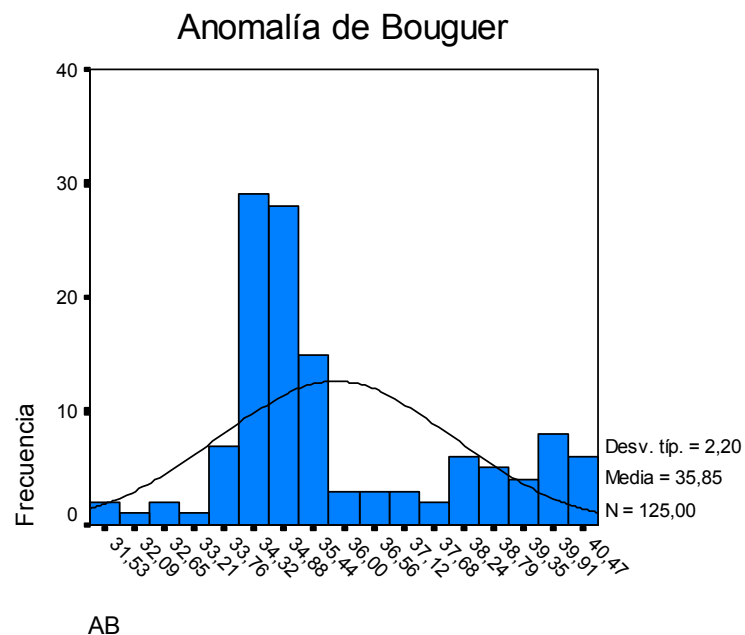


Figura 4.1. Histograma de Frecuencias de la Anomalía de Bouguer.

El total de datos analizados en la población es de 125 datos, en donde se puede observar en el eje horizontal los valores de anomalías de Bouguer representados en miligales, los cuales se encuentran entre un mínimo de -41.47 miligal y un máximo -31.53 miligales. Separados cada 0.56 miligales, dando un total de 17 intervalos, los cuales fueron los más apropiados para estudiar la distribución de frecuencias para dicha población mostrada en la (Figura 4.1).

Del histograma de frecuencias, se pueden extraer las siguientes características:

- La frecuencia más significativa se encuentra ubicada en el intervalo representado por los valores que oscilan alrededor de 34.32 miligales.
- Se observa una población unimodal, como era de esperarse debido a que la geología de la zona presenta primordialmente depósitos sedimentarios, aluviales y marinos muy recientes.
- La media se encuentra muy cerca del centro, lo que quiere decir que la población se encuentra distribuida normalmente.
- En relación con la desviación estándar, se puede notar que el valor (2.20) es muy cercano a cero, por lo que se puede presumir que los valores no están muy dispersos, por lo tanto, existe una probabilidad de que los datos se encuentren cerca del valor medio de la distribución.
- La distribución tiende a sesgarse hacia la derecha (positivo), lo cual se evidencia a la vista y se verifica cuantitativamente al notar que el valor de la media (35.85 miligales) es mayor que el valor de la mediana (34.90 miligales), lo cual puede estar siendo causado por cambios litológicos en la zona de estudio.
- En lo que respecta a la desviación típica presenta un valor de 2.20.
- Los valores de la media, moda y mediana son muy semejantes entre sí, lo cual ratifica que el comportamiento de la población es normal.

Tabla 6. Valores estadísticos calculados con la base de datos de Anomalías de Bouguer

N	Válidos	125
	Perdidos	0
Media		35,850959
Mediana		34,902900
Moda		31,5687
Desv. típ.		2,203396
Varianza		4,854952
Mínimo		31,5687
Máximo		40,6146

Los valores de tendencia central obtenidos del estudio de la variable Anomalías de Bouguer. (Tabla 6), se ajustan a una distribución normal. De existir alguna mínima variación, puede ser atribuida al proceso de muestreo o al comportamiento de las fuentes anómalas causantes de la anomalía.

Los valores de la media y la mediana, (35.85 miligales) y (34.90 miligales) respectivamente, son representativos de la población y esto se debe a que en la misma no existen valores extremos, que tienden a alejar la media de los valores centrales.

En la Tabla 7, se observan los resultados de la Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra. Esta es una prueba de bondad de ajuste, en el cual se compara la función de distribución acumulada observada para una variable con una distribución teórica determinada, que puede ser normal, uniforme o de Poisson. La Z de Kolmogorov-Smirnov se calcula a partir de la diferencia mayor (en valor absoluto) entre las funciones de distribución acumulada teórica y observada. Esta prueba de bondad de ajuste contrasta si las observaciones pudiesen proceder de forma razonable de la distribución especificada. El valor de Sig. Asintót (bilateral) es igual a cero, indicativo entonces de que la variable proviene de una distribución de contraste normal, quedando verificado por la proximidad al cero del valor de Z (2.519); la cual es la corrección de significación de Kolmogorov - Smirnov.

Tabla 7. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra de Anomalías de Bouguer (Prueba no paramétricas de distribución de contraste normal)

		V2
N		125
Parámetros normales	Media	35,850
	Desviación típica	2,203
Diferencias más extremas	Absoluta	0,225
	Positiva	0,225
	Negativa	-0,107
Z de Kolmogorov-Smirnov		2,519
Sig. asintót. (bilateral)		0,000

En la Figura 4.2 se presenta la prueba de probabilidad normal Q – Q con tendencia normal de valores teóricos esperados, la cual representa en el eje horizontal los valores de la variable Anomalía de Bouguer (miligales), versus los valores esperados bajo la hipótesis de distribución normal en el eje vertical. La respuesta ideal de una muestra de distribución normal arrojaría los valores más aproximados o iguales y en consecuencia los puntos del gráfico deberían estar situados sobre la recta que pasa por el origen con pendiente igual a 1, la cual no se cumple para este caso, a excepción de dos puntos que cruzan la recta, en aproximadamente 34.5 miligales y 37.5 miligales

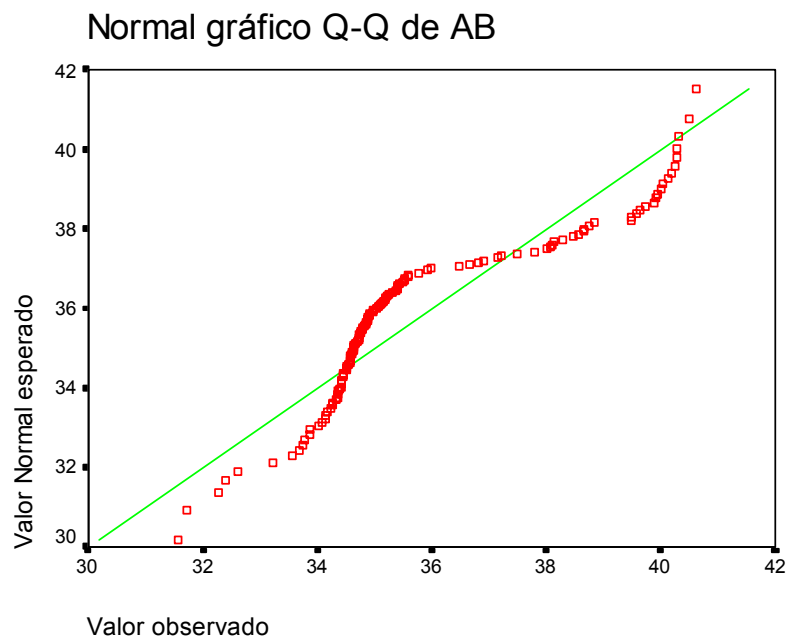


Figura 4.2. Grafico Q – Q Normal de la variable anomalía de Bouguer.

En la Figura 4.3 se puede observar el gráfico de la probabilidad normal sin tendencia, la cual muestra en el eje horizontal los valores de anomalía de Bouguer (miligales), versus las desviaciones de la recta del gráfico de probabilidad normal en el eje vertical, cuyos valores para una distribución normal deben ser menores que uno. Los puntos se sitúan alrededor de la línea horizontal.

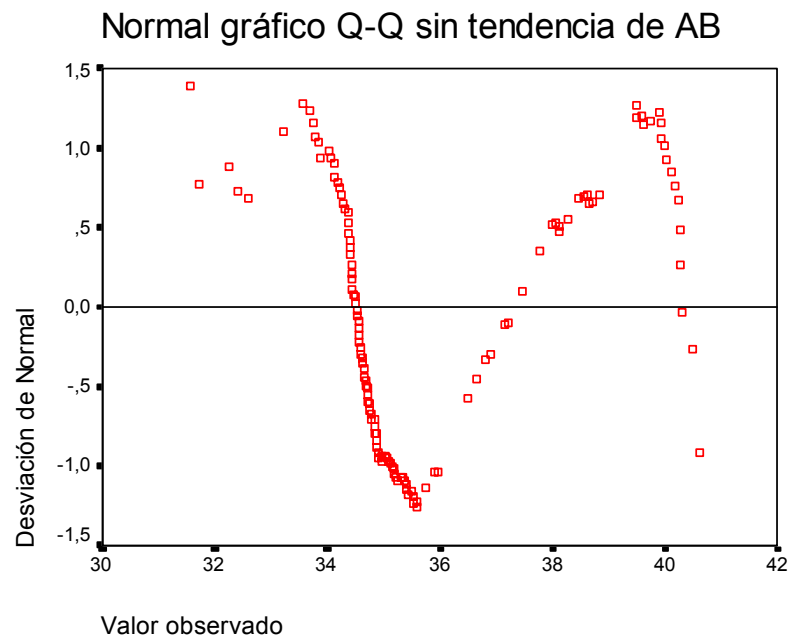


Figura 4.3. Gráfico Q – Q Normal sin tendencia de la anomalía de Bouguer.

Tanto en la Figura 4.2 como en la Figura 4.3 se aprecia que en los puntos -34.5 miligales y -37.5 miligales coinciden, por lo que demuestra que el comportamiento de la distribución es normal.

Resultados Obtenidos de la aplicación de la geoestadística a los datos gravimétricos.

A continuación se realizó el análisis geoestadístico de los datos, el cual consiste en buscar unas relaciones espaciales, las cuales no son otra cosa que la variabilidad en la continuidad espacial y las anisotropías observadas en los datos de la zona de estudio, con la finalidad de describir la variabilidad espacial de los atributos allí encontrados (Figura 4.4).

En la Figura 4.4 se puede apreciar una tendencia de anisotropía en la dirección oeste-este y la roseta de distribución (provee información acerca de la orientación de la estructura principal), la cual se asocia con la dirección que se aprecia en el Mapa de Anomalía de Bouguer la cual se utiliza para correlacionar con la dirección de los cambios litológicos en la zona de estudio, tomando en cuenta la geología y los cambios litológicos presentes. El menor error fue obtenido por la elipse basada en la curva gaussiana con un valor de 9.28, por lo que la elipse y la roseta son confiables.

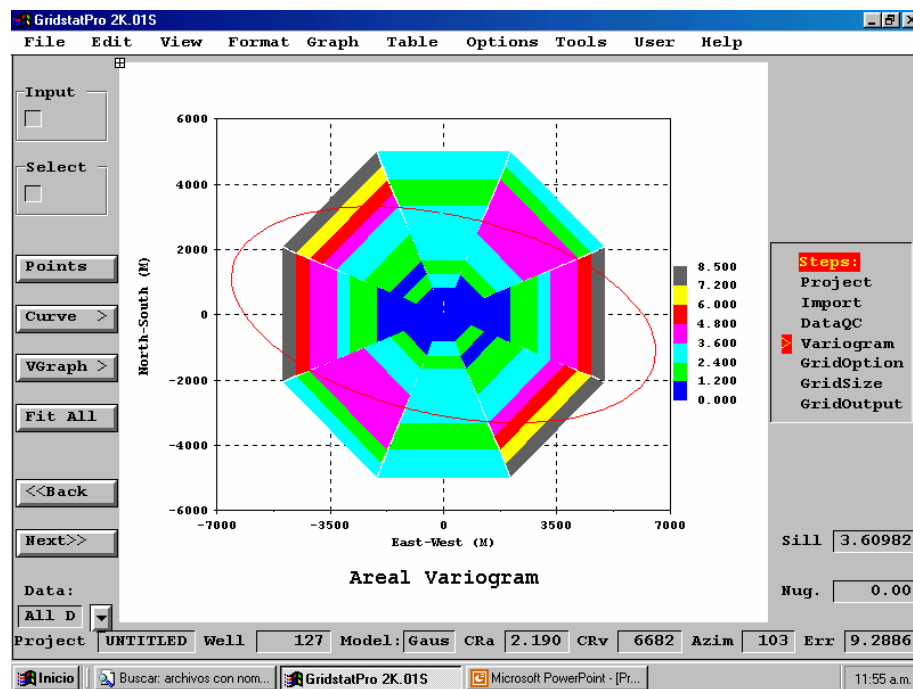


Figura 4.4. Roseta de Distribución Espacial de AB.

Por otra parte se puede observar de la elipse de anisotropía (Figura 4.5) que la zona de mayor continuidad espacial tiene un ángulo de aproximadamente 80° NW, manteniendo un rango de anisotropía correspondiente a la dirección del eje mayor. Cabe destacar que la dirección de tendencia (eje mayor) tiene un comportamiento prácticamente paralelo a tendencia del mapa de Anomalía obtenido de la zona de estudio; mientras que la dirección del eje menor el azimuth tiene un valor de 102.5° .

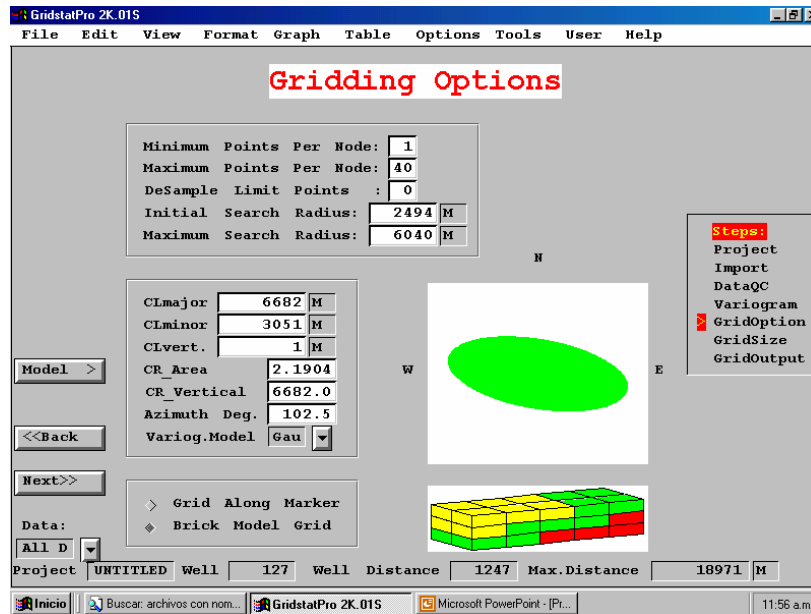


Figura 4.5. Elipse de Anisotropía

En la Figura 4.6 se muestra el mapa de anomalías de Bouguer generado con la utilización de criterios geoestadístico y en él se observa que no presenta ningún cambio representativo con respecto al mapa gravimétrico obtenido en Map Info, lo que confirma la mínima variabilidad de los datos.

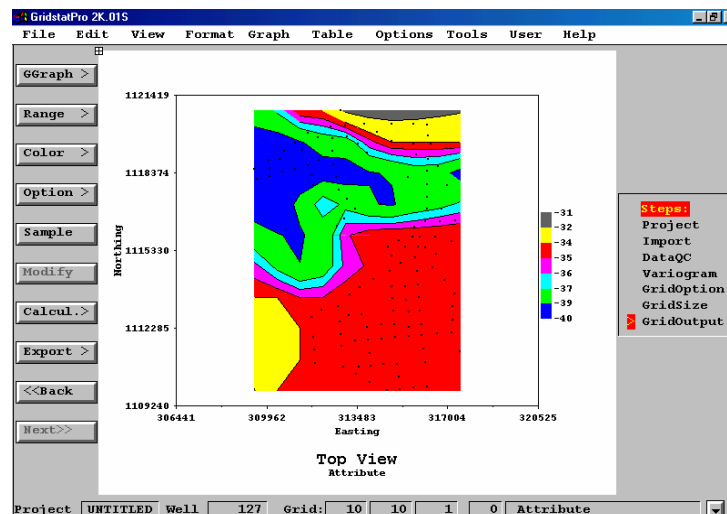


Figura 4.6. Mapa de anomalías de Bouguer con criterio geoestadístico

Resultados del análisis espectral del mapa de anomalías de Bouguer.

El método del análisis espectral según Bhattacharyya (1966) consiste en mostrar los intervalos en los cuales los logaritmos de la amplitud pueden ser representados por una función de frecuencia obtenidos mediante la graficación de la amplitud del espectro dado en una escala logarítmica contra una escala lineal de número de onda, observándose que la amplitud decrece con el incremento del número de onda. La pendiente de la línea recta tangente a la curva del logaritmo del espectro va a ser proporcional a la profundidad del tope de los cuerpos anómalos; lo cual resulta de gran ayuda en cuanto a la comprensión de las fuentes profundas que producen la anomalía con respecto a las someras. El análisis espectral es resultado de los cálculos realizados por medio de la transformada directa de Fourier de los datos (Apéndice C).

El análisis espectral de los datos gravimétricos, fue realizado con ayuda del programa *Magmap* (GEOSOFT, Inc., Apéndice B), por medio del cual se crea una vista del espectro promediado radialmente y una curva de profundidad estimada.

El resultado obtenido de la aplicación del análisis espectral sobre el mapa de anomalía de Bouguer se detalla a continuación:

En la Figura 4.7 se observan dos gráficas en una sola imagen, donde se visualiza el espectro de energía promediado radialmente, el cual nos permite calcular las pendientes, según los cambios en la curva utilizadas para el cálculo de profundidades. Mientras que en el gráfico inferior presenta la curva de profundidades estimadas. Considerando, que las mayores frecuencias corresponden a fuentes someras y las menores frecuencias corresponden a fuentes profundas, y se distinguen principalmente tres frecuencias generales, en la que se puede observar que la fuente

causante de la anomalía gravimétrica se encuentra alrededor de las profundidades estimadas que se listan en la Tabla 8.

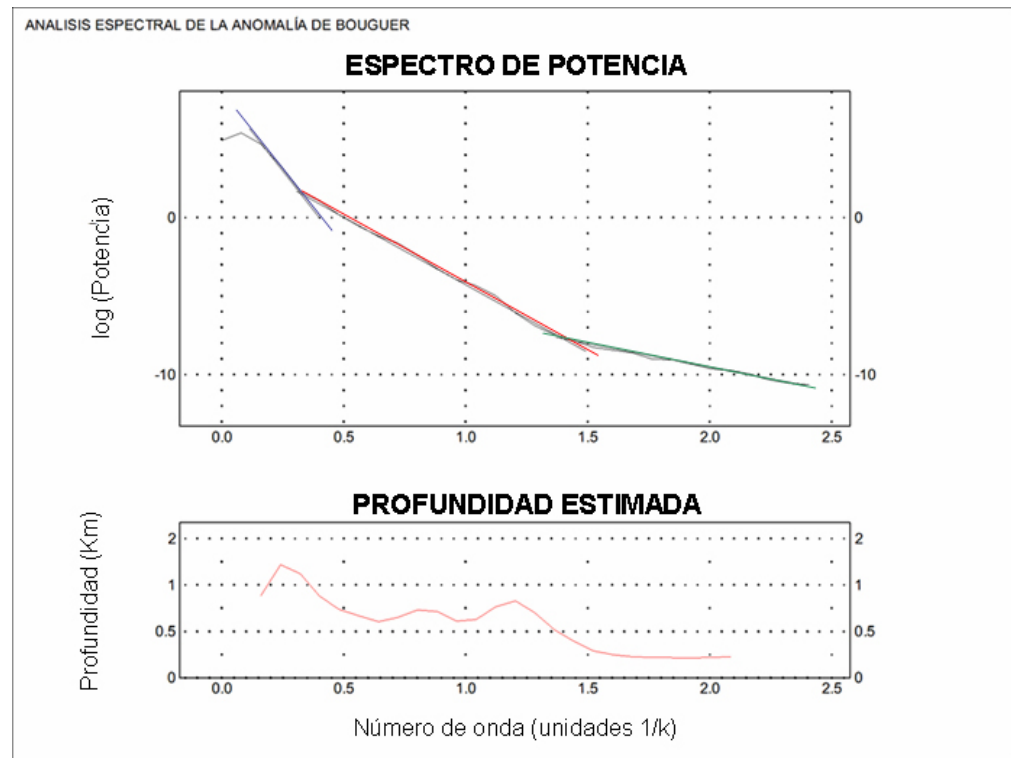


Figura 4.7. Análisis espectral aplicado a toda el área de estudio

Tabla 8. Profundidades de origen de fuentes obtenidas a partir del análisis espectral de los datos gravimétricos a toda el área de estudio.

FUENTE	PROFUNDIDAD (Km)
Somera	0,25 Km
Intermedia	0,8 Km
Profunda	1,4 Km

4.1.2 MAPA DE ANOMALÍAS DE BOUGUER.

En el mapa de anomalía de Bouguer (Figura 4.8) se aprecia un rumbo preferencial de las líneas isoanómalas de N80E con una tendencia residual muy marcada por los efectos locales, donde los valores de las anomalías varían entre -41.5 y -31.5 miligales. Se puede observar una zona pronunciada de valores bajos cercanos a -40.5 miligales justo en el extremo nor-este indicativo de la acumulación de sedimentos y hacia el sur-oeste los valores máximos de -34.0 miligales. En el extremo norte del mapa de Bouguer se puede apreciar un aumento en el gradiente hasta 4 mgals/km.

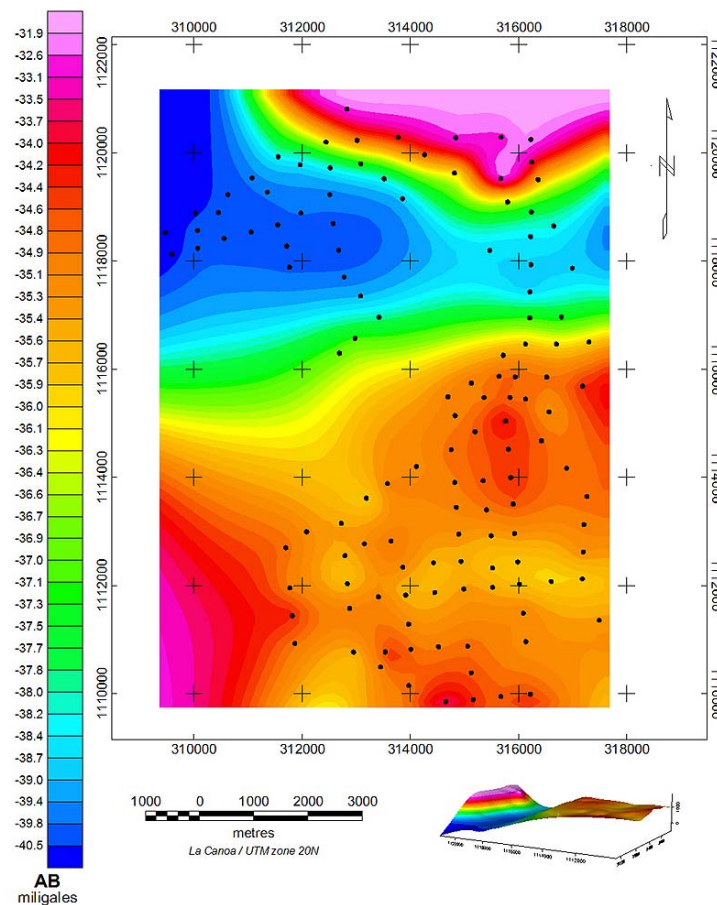


Figura 4.8. Mapa de anomalía de Bouguer de la zona Oeste de Barcelona, $\rho_B = 2,25\text{gr/cc}$

4.1.3 SEPARACIÓN DE ANOMALÍAS REGIONALES Y RESIDUALES.

Para poder interpretar el mapa de anomalía de Bouguer es necesario hacer una separación regional y residual, con el fin de detallar en el residual el comportamiento de los cuerpos puntuales de interés y en el regional el comportamiento de las fuentes anómalas profundas.

Para la obtención de los valores de anomalía residual y regional se utilizó el programa *Surfer, versión 6.0* que calcula la superficie polinómica que mejor se ajusta a los datos de anomalía de Bouguer según el método de mínimos cuadrados y el cual permite realizar el cálculo de residuales a partir de la diferencia entre el valor de anomalía de Bouguer y el valor del regional para cada punto.

Bondad de ajuste obtenida de la separación de anomalías regionales y residuales.

Se calcularon las superficies de tendencia polinómica hasta el grado 3. Los valores obtenidos para la bondad de ajuste se muestran en la Tabla 9 y en la Figura 4.9 se observa la curva de bondad de ajuste obtenida.

Tabla 9. Valor de la bondad de ajuste para cada grado de polinomio.

Grado del Polinomio	Bondad de Ajuste
Grado 1	55,4106003
Grado 2	59,7722305
Grado 3	60,5391689

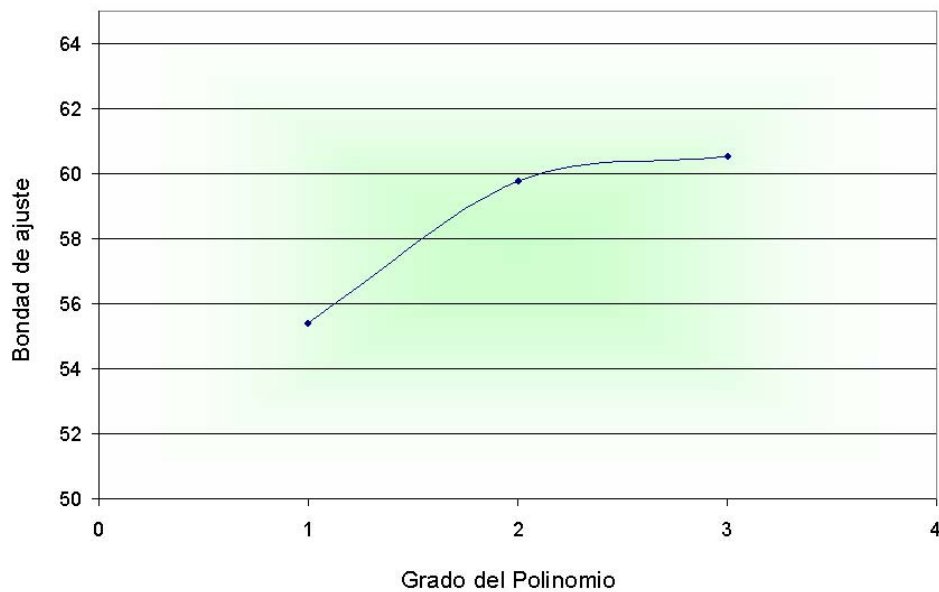


Figura 4.9. Grafica de la bondad de ajuste de los datos gravimétricos.

De los resultados obtenidos, se puede inferir que el polinomio que mejor se ajusta a la zona de estudio, se encuentra en el grado 2. Considerando, como el más acertado debido a que a partir de ese punto es que la curva comienza a comportarse de manera asintótica, es decir que la curva se hace estable. Desde el punto de vista cuantitativo éste sería el valor a escoger para los mapas regional y residual, quedando comprobado con el análisis cualitativo de la respuesta, el grado del polinomio que mejor se adapta a la respuesta es el 2, correspondiente a una cuenca. Se corrobora con la información geológica suministrada.

MAPA DE ANOMALIAS RESIDUALES.

El Mapa de Anomalías Residuales de grado 2, (Figura 4.10) observa el efecto gravimétrico local aislado, por lo cual es más fácil reconocer las formaciones geológicas identificadas en el mapa de anomalías de Bouguer. Con una orientación de N80W aproximadamente, el cual coincide con el mapa de anomalías de Bouguer con valores que van desde -3 a 3.50 mgal en intervalos de 0.5 mgal.

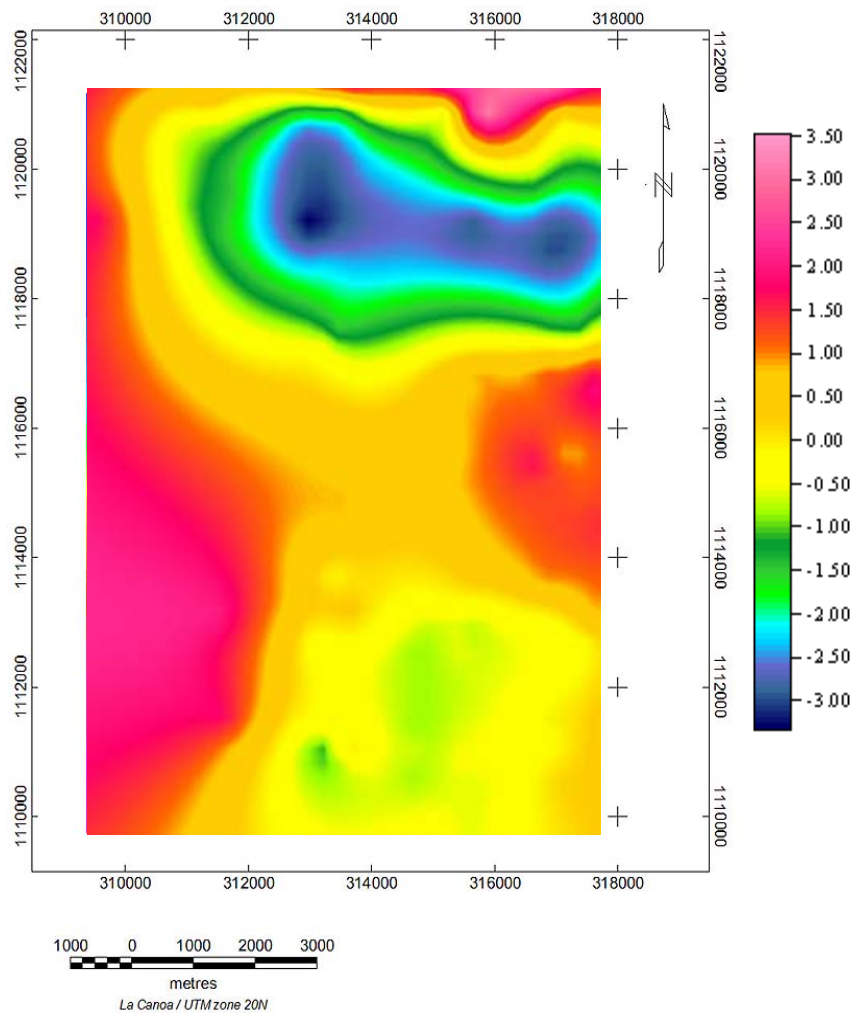


Figura 4.10. Mapa residual de grado 2 de la zona de estudio

MODELADO GRAVIMETRICO

Para la realización de los modelos gravimétricos se requirió de información geológica, perfiles sísmicos e información de perforaciones en la zona de estudio, con el fin de construir modelos geológicos que permitan conocer la representación del subsuelo. Dentro de los datos geológicos se tomaron en cuenta trabajos previos, para la representación de las secuencias sedimentarias más profundas fue controlada por el modelado gravimétrico realizados por Romero (2002) al norte de Monagas, Cuenca Oriental de Venezuela. Martins et al. (2002) basándose en el estudio de tres perfiles ubicados entre las poblaciones de Barcelona y Ciudad Bolívar, indican que las secuencias cretácicas descansan sobre el basamento cristalino. Según Giraldo et. al. (2002) la corteza continental superior tiende a adelgazarse hacia el norte. Las rocas sedimentarias del Jurásico y Paleozoico yacen sobre el basamento pre-Cámbrico; este último está bien expuesto al sur. Se puede destacar que el tope del manto superior pierde profundidad de sur a norte. En lo que respecta a información geofísica somera se utilizaron los perfiles sísmicos de refracción más cercanos y unas perforaciones de geotecnia en la zona.

Con el fin de conocer la distribución en profundidad, se construyeron tres perfiles gravimétricos, donde cada uno de los perfiles esta compuesto por un modelo regional y residual, los cuales dan una representación del subsuelo (Figuras 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17 y 4.18), dos en dirección norte-sur y uno en dirección oeste-este, y se observa que las unidades cretácicas descansan sobre el basamento, según lo afirmado por Feo Codecido et al.,(1984).

La ubicación de los perfiles seleccionados pueden ser observados en la Figura 4.11.

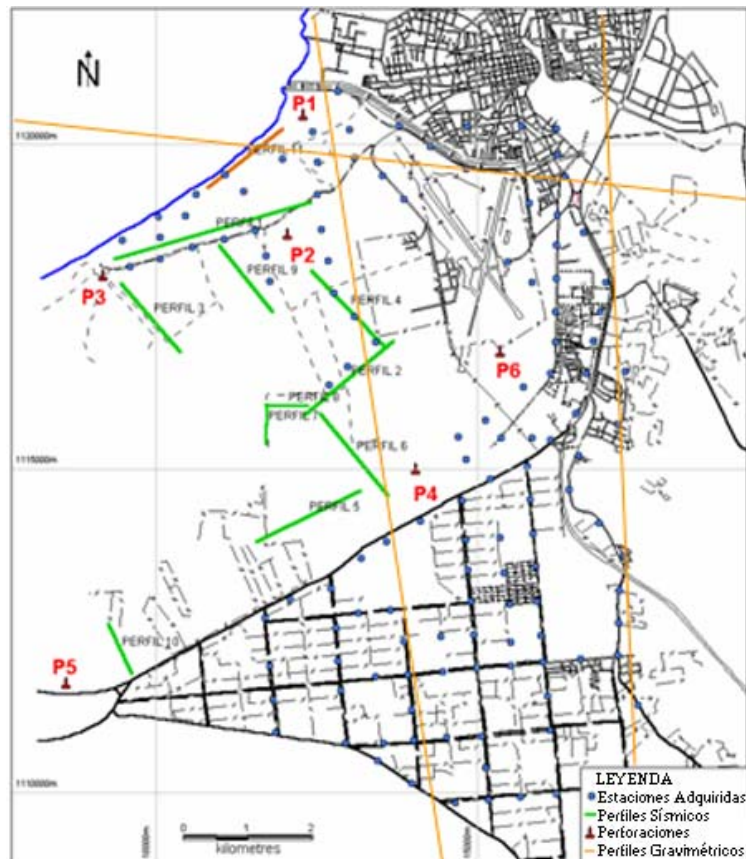


Figura 4.11. Mapa de ubicación de los perfiles gravimétricos seleccionados.

El perfil N° 1 (Figuras 4.13 y 4.14) presenta una orientación N-S y está ubicado a lo largo de la zona de estudio con una extensión de aproximadamente 12 km. En el modelo regional o mejor dicho el modelo de anomalía de Bouguer, presenta un alto -35.0 miligales hacia el sur y un mínimo hacia el norte de -40.0 miligales. Mientras que en el modelo Residual se aprecia que los valores residuales se encuentran entre $-1,5$ y 1.5 mgal, representando la estructura mas somera del subsuelo, constituido por la existencia de dos cuerpos, el primero representa los sedimentos superficiales y el segundo representa la capa de aluviones del Cuaternario, de edad Plioceno-Pleistoceno.

El perfil N° 2 (Figuras 4.15 y 4.16) presenta una orientación N-S y extensión de aproximada de 11 km. En el modelo regional la curva de anomalía de Bouguer

presenta altos y bajos en un rango de -40 o mgal a -35 5 mgal. En el modelo Residual se puede apreciar que los valores residuales se encuentran entre -3.0 y 1.5 mgal

El perfil N° 3 (Figuras 4.17 y 4.18) tiene una orientación E-W con una longitud de 9 km. En el modelo de anomalía de Bouguer exhibe una curva anómala cuyos valores descienden hacia el oeste. Para el modelo Residual se aprecia que los valores residuales se encuentran entre -3.0 y 0.5 mgal. Se aprecia que la cuenca tiene un espesor máximo hacia el oeste de 0.12 km de profundidad y un espesor mínimo 0.08 km profundidad hacia el este del perfil y al norte de la zona de estudio.

Se modeló en primer lugar la estructura del subsuelo a nivel muy somero; el control sísmico y de perforaciones sirvió de base para modelar la interfase aluvión con una densidad $\rho = 1,8$ gr/cc y el sedimento cuaternario del Plioceno-Pleistoceno con una densidad $\rho = 2,1$ gr/cc cuya profundidad es del orden de 30 a 80 m, como se aprecia en las figuras residuales (Figura 4.13, 4.16 y 4.18). Esa unidad superficial es la principal responsable del efecto residual cuya magnitud está en el rango de -3 a +1 miligal

Adicionalmente, con el objetivo de conocer la estructura del subsuelo se modeló anomalías de Bouguer, incorporando el modelo residual, un contraste de unidades infrayacentes visualizada en los tres modelos regionales propuestos poseen características comunes, entre las que se resaltan: el manto se encuentra a una profundidad de unos 30 km, lo cual se justifica basándose en el trabajo de Giraldo (2002). El basamento de edad Pre-Cámbrica va aumentando su espesor hacia el sur. En la secuencia de la edad Cretácico los depósitos están constituidos por las Formaciones Barranquín, El Cantil, Chimana, San Antonio y Querecual; la secuencia aparece desde una profundidad de tope de 5 km hasta una profundidad de base de aproximadamente 11 km. La capa correspondiente a la edad del Eoceno se encuentra a unos 3 km de profundidad; mientras que las rocas pertenecientes al Oligoceno y las del Mioceno se encuentran a 2.5 km y 2 km de profundidad respectivamente. Los

aluviones del Cuaternario Reciente (Plioceno-Pleistoceno) se encuentran a una somera profundidad en relación a la superficie excepción de la presencia de una laguna de relleno. Tanto en el perfil N° 1 y 2, se distingue la presencia de la falla de Urica que constituye una traza principal, que acomoda lo esencial de la deformación cuaternaria.

Se puede decir que el efecto residual es de 2 mgal, el cual esta siendo controlado por lo sedimentos, mientras que efecto regional esta siendo controlado por el manto y las capas adyacentes.

En la Tabla 10 se muestra un resumen de los tres perfiles propuestos con sus respectivos errores.

Tabla 10. Errores obtenidos en los tres perfiles gravimétricos, tanto en el modelado regional como en el residual.

Perfil	Error Modelo Regional (mgal)	Error Modelo Residual (mgal)
Perfil N° 1	0.09	0.09
Perfil N° 2	0.23	0.15
Perfil N° 3	0.09	0.14

Para la realización de modelado gravimétrico se tomaron como referencia los valores de densidad proporcionados por Romero (2002), los cuales se indican en la tabla 11.

Tabla 11. Lista de densidades asignadas a cada una de las unidades sedimentarias.

Edad				Densidad (gr/cc)	Litología Predominante
Cenozoico	Cuaternario		Reciente	1,8	Aluvion
			Plioceno – Pleistoceno	2,1	Sedimentos Suelos
	Terciario		Mioceno	2,3	
			Oligoceno	2,35	Lutitas
			Eoceno	2,45	
		Mesozoico			Cretáceo
Paleozoico			Pre-Cámbrico – Basamento	2,65	Igneo-Metamorfico
			Manto Superior	2,8	

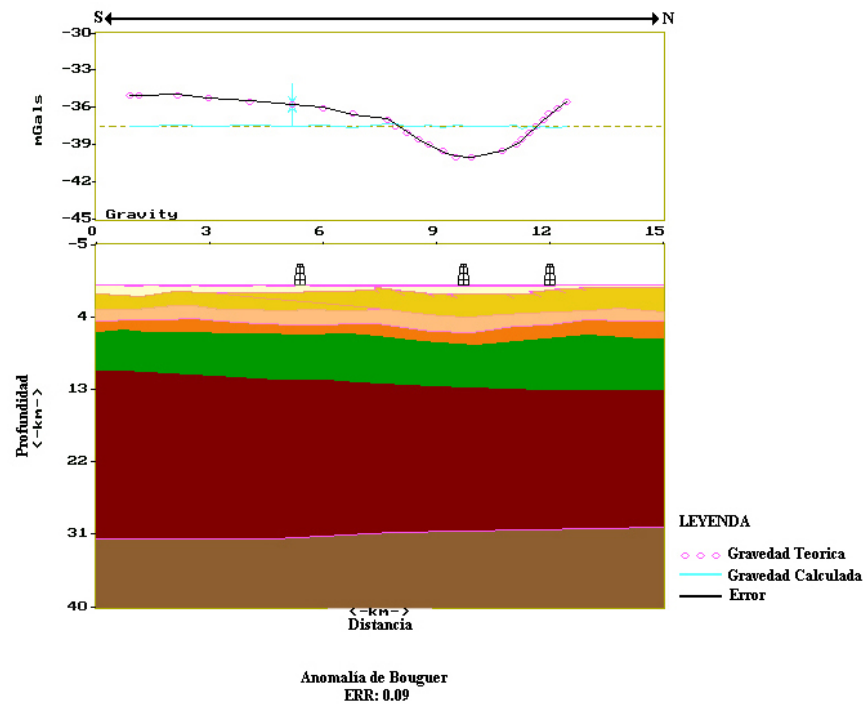


Figura 4.12. Modelo Regional N° 1 de la zona de estudio con orientación S-N

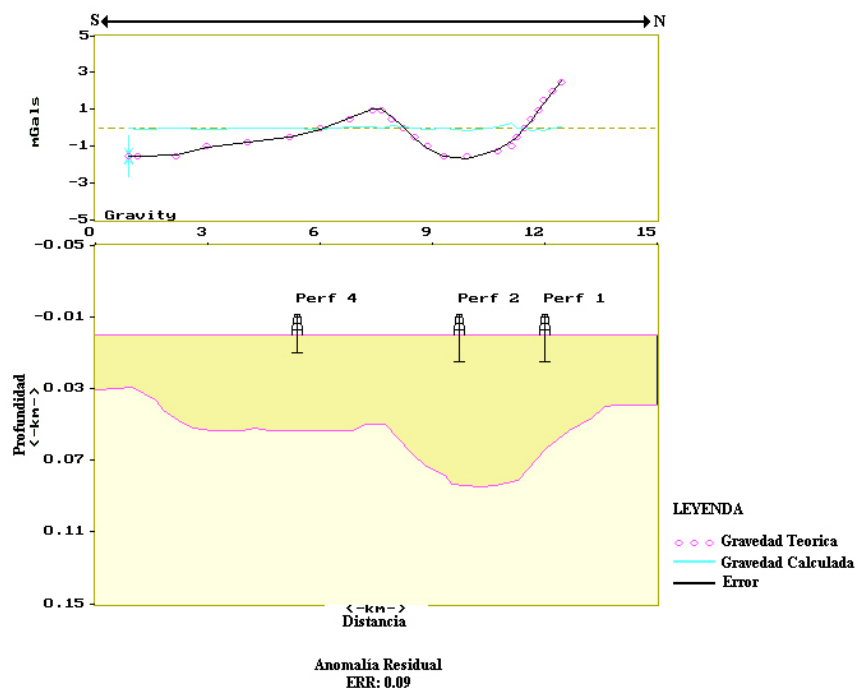


Figura 4.13. Modelo Residual N° 1 de la zona de estudio con orientación S-N

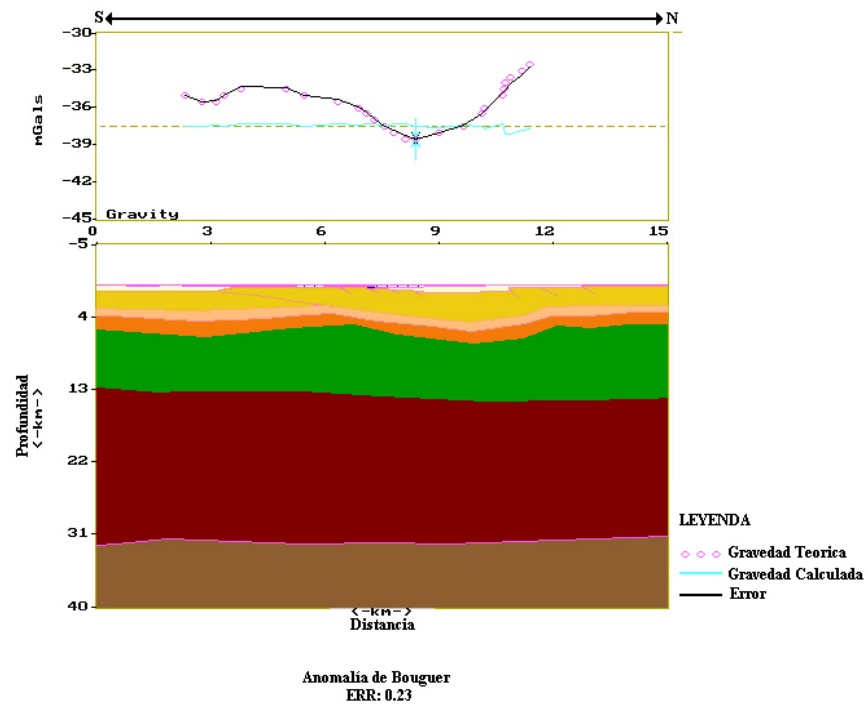


Figura 4.14. Modelo Regional N° 2 de la zona de estudio con orientación S-N

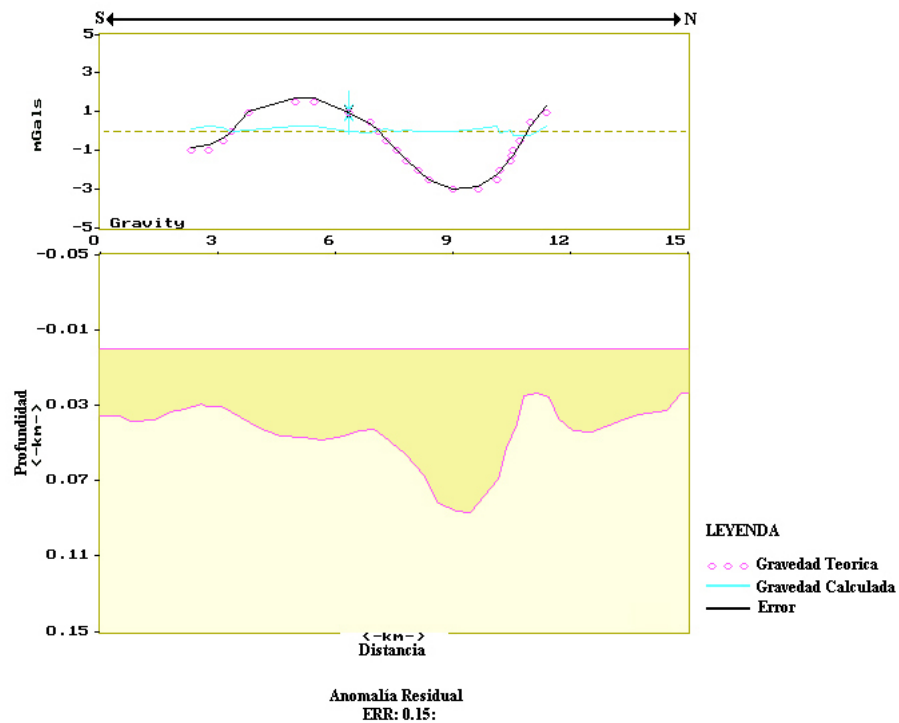


Figura 4.15. Modelo Residual N° 2 de la zona de estudio con orientación S-N

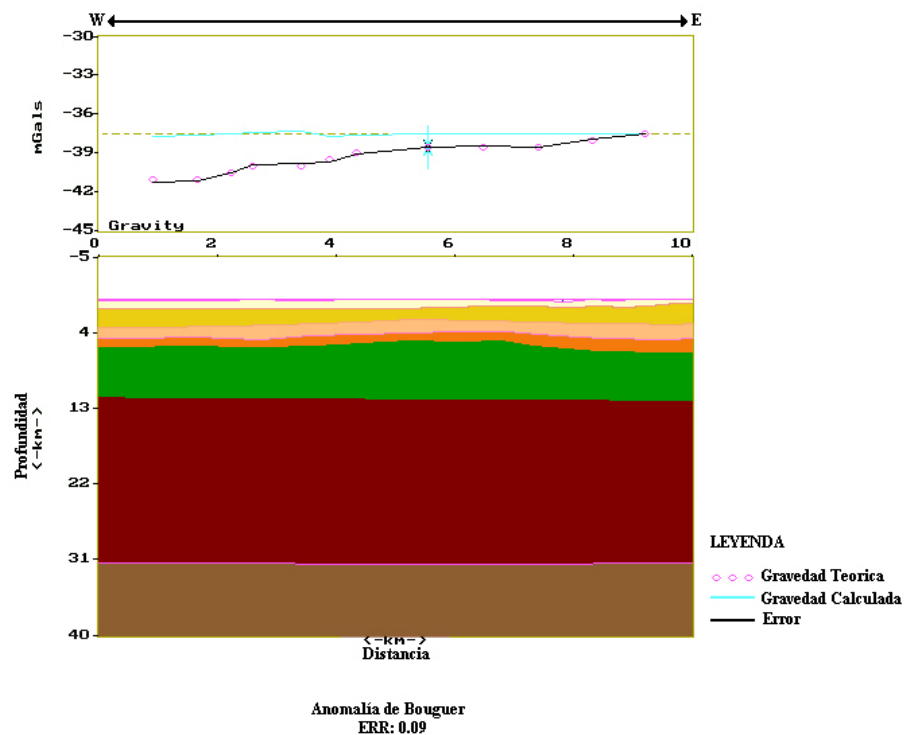


Figura 4.16. Modelo Regional N° 3 de la zona de estudio con orientación W-E

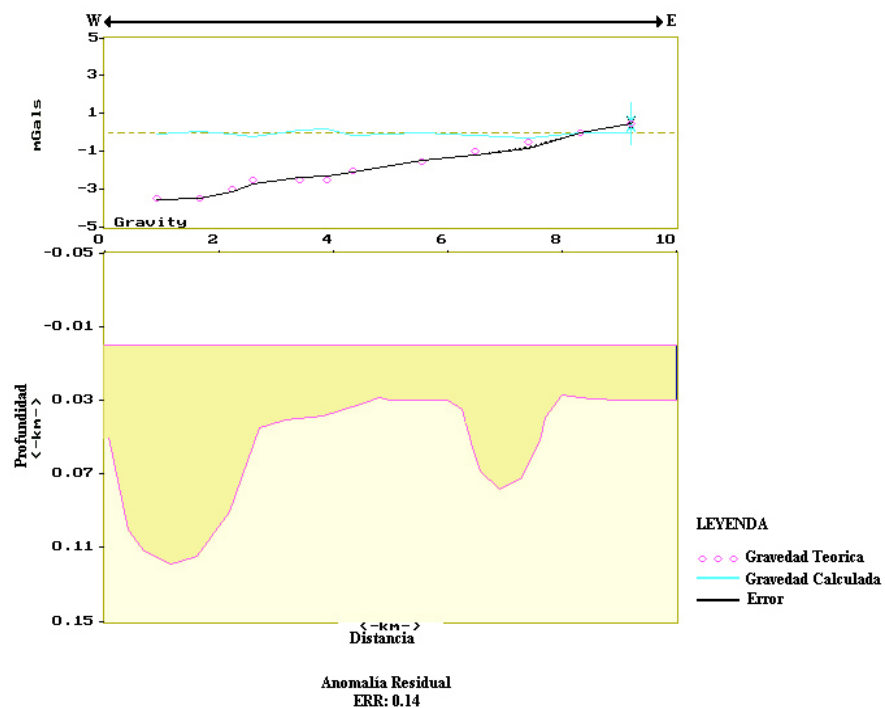


Figura 4.17. Modelo Residual N° 3 de la zona de estudio con orientación W-E

4.2 RUIDO AMBIENTAL.

Una vez obtenidos los valores de período predominante del suelo para cada uno de los puntos medidos (Apéndice E); se generaron los mapas de períodos fundamentales a través de los programas Map Info y Vertical Mapper (Figura 4.18 y Figura 4.19).

4.2.1 PERIODO PREDOMINANTE OBTENIDO DEL PROCESAMIENTO CONVENCIONAL - Kanagawa (Kngw).

Los valores de períodos predominantes del suelo obtenidos a partir de la relación H/V indican un rango de variación entre 0.3 s y 1.4 s para la zona de estudio al oeste de Barcelona (Figura 4.18). Un análisis en detalle indica que en los alrededores de la zona de estudio, al pie de la montaña, los valores varían entre 0.5 s y 0.7 s, lo cual indica bajos valores de espesores de sedimentos, debido a su proximidad a la montaña. Hacia el norte, exactamente en la costa los valores de períodos aumentan, alcanzando valores entre 0.7 s y 1.4 s, lo cual indica un aumento de espesores de sedimentos. Adicionalmente se observa, en zonas muy localizadas, valores en el rango de 0.5 s a 0.7 s, que parecen no guardar relación con el entorno; al igual que se observan algunos valores altos en el rango de 1.1 s y 1.4 s ubicados en el centro de la cuenca que está asociado al área. Cabe destacar que existen alrededor de 8 estaciones en las que no se pudo identificar el pico característico en la curva de H/V; se supone que estos valores podrían estar afectados por la alta influencia del mar sobre la componente horizontal. Hacia el noreste de la zona de estudio se aprecian altos de períodos en el rango 0.9 s –1.4 s, lo cual puede estar relacionado con la desembocadura de los ríos Neverí y Arauca, donde el aporte de sedimentos es constante, por lo tanto, el espesor de la columna sedimentaria será mayor en esta zona y sus alrededores.

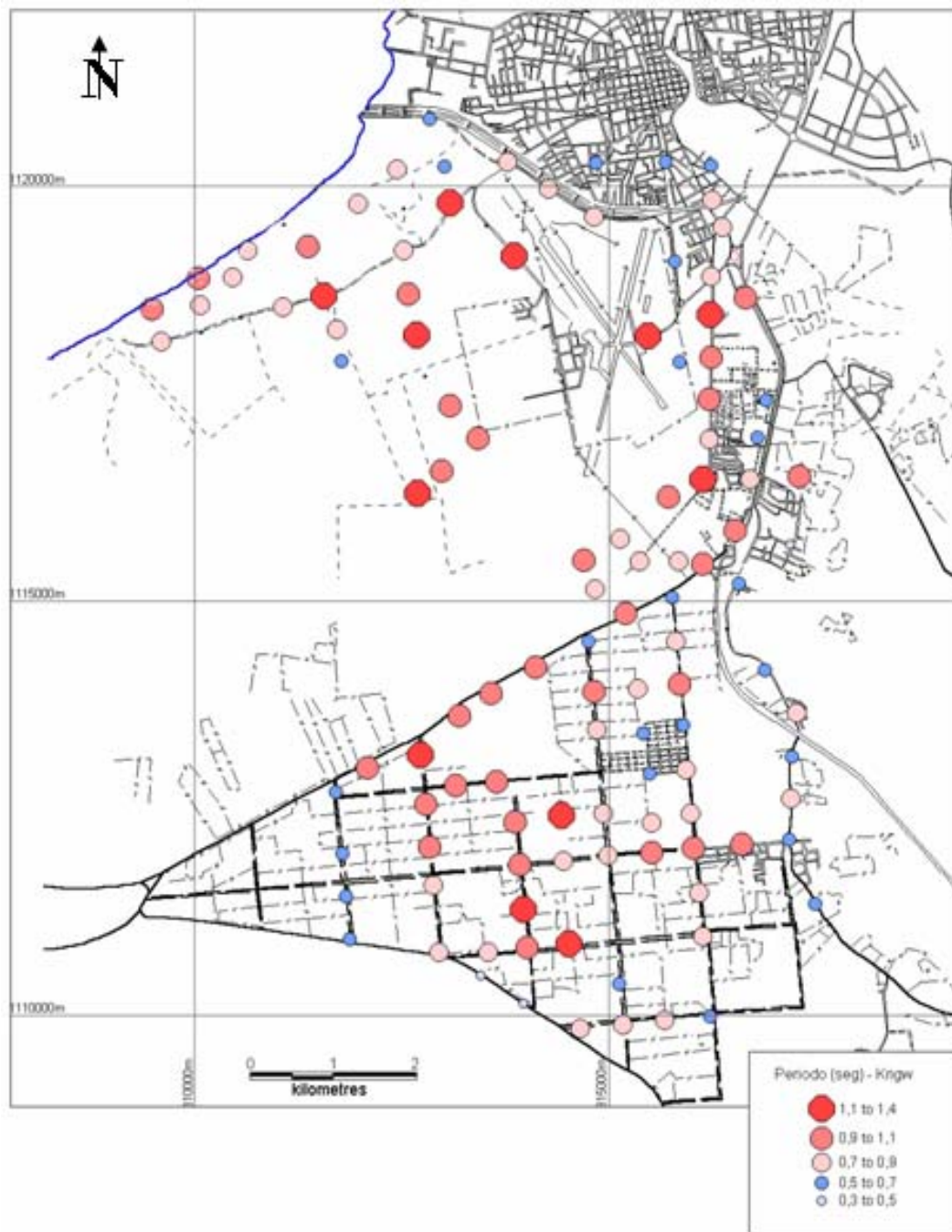


Figura 4.18. Mapa de la distribución de valores de periodos fundamentales al noroeste de Barcelona, procesado con el programa KNGW.

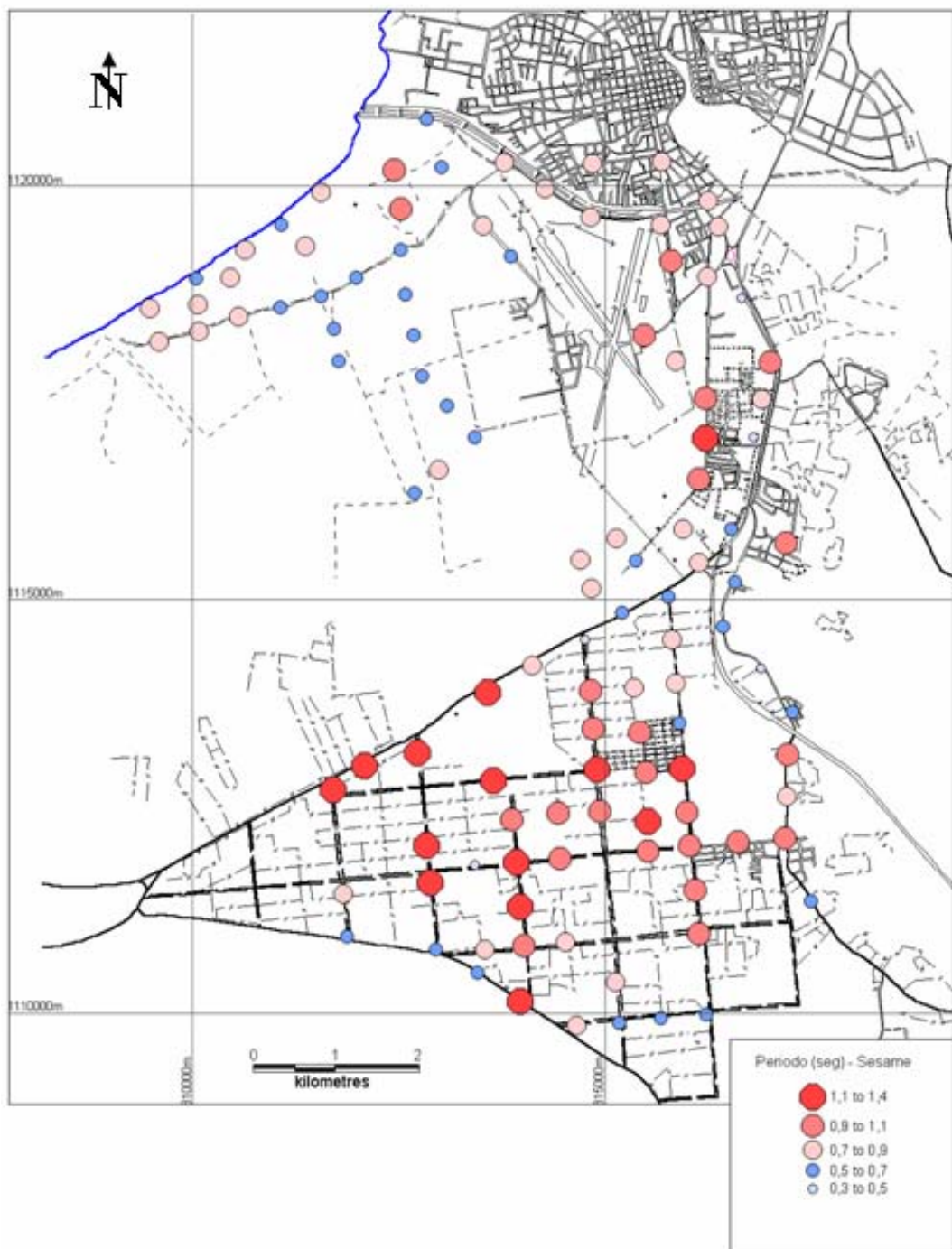


Figura 4.19. Mapa de la distribución de valores de periodos fundamentales al noroeste de Barcelona, procesado con el programa SESAME

4.2.2 PERIODO PREDOMINANTE OBTENIDO DEL PROCESAMIENTO CON SESAME.

Los valores de períodos predominantes de suelo, obtenidos a partir de Sesame, fluctúan en un rango comprendido entre 0.3 y 1.4 segundos, siendo éstos los valores mínimos y máximos respectivamente del grupo completo para la zona de estudio al oeste de Barcelona (Figura 4.19). Un análisis en detalle indica que en los alrededores de la zona de estudio, hacia el sur, al pie de la montaña, los valores varían entre 0.3 s y 0.7 s, lo cual indica bajos valores de espesores de sedimentos, debido a su proximidad a la montaña. Hacia el norte, exactamente en la costa, se aprecian dos grupos de periodos bien diferenciados: en el primero, se observa que los valores de períodos aumentan, alcanzando valores entre 0.7 s y 1.4 s, lo cual indica un aumento del espesor de sedimentos; en el segundo grupo se observa que los valores de periodos predominantes disminuyen a valores entre 0.5 s y 0.7 s, los cuales son muy bajos y no guardan relación con el área en que se encuentran, al igual que aquellos que estan hacia el sur de altos períodos en el rango de 1.1 a 1.4.

Es importante destacar que se observaron varios puntos atípicos, denominados así porque no son consecuentes con los valores de períodos de las estaciones adyacentes y además existen alrededor de 8 estaciones en las que no se pudo identificar las ventanas, se supone que estos valores podrían estar afectados por la presencia de vehículos en la zona al momento de las mediciones o la alta influencia del mar sobre la componente horizontal.

Las diferencias resaltantes luego de procesar los mismos datos de ruido con dos programas diferentes son los siguientes: mediante el programa convencional Kanagawa, se puede observar que los resultados son coherentes con lo que se esperaba en la zona de estudio zona, a pesar de que el tiempo de adquisición fue de 5 minutos; esto se puede deber a la facilidad de definir parámetros o criterios a la hora

de seleccionar la respuesta, quedando verificado con el mapa de periodos fundamentales obtenido. Mientras que el programa nuevo Sesame, se ha notado una diferencia considerable en la respuesta que se esperaba, puntualmente al norte de la zona de estudio en donde los periodos han de ser altos por encontrarse en una zona de mayor espesor sedimentario y el resultado fue opuesto; esto se puede atribuir a que el algoritmo del programa trabaja mas eficientemente con datos adquiridos en un tiempo de grabación de 10 minuto, permitiendo así que el pueda seleccionar mayor cantidad de ventanas para promediar el resultado final y la apariencia de varios picos dificulta la identificación del periodo predominante de vibración del suelo.

Considerando que la información segura es la de los periodos naturales en el método de Nakamura siempre y cuando haya altos contrastes para encontrar la distribución de los espesores de sedimentos blandos.

4.2.3 RELACIÓN PERÍODO FUNDAMENTAL-PROFUNDIDAD DE SEDIMENTOS BLANDOS.

Se calculó la regresión lineal entre los valores de período fundamental y la profundidad de sedimentos blandos observada. En dicha regresión se utilizaron los valores de periodos fundamental obtenidos en las estaciones ubicadas sobre las líneas de los perfiles o más cercanos a los perfiles (Figura 4.20). Para el cálculo de la regresión lineal se utilizaron los datos de profundidad a los sedimentos blandos obtenidos de las ondas S, en donde se obtiene la capa más profunda.

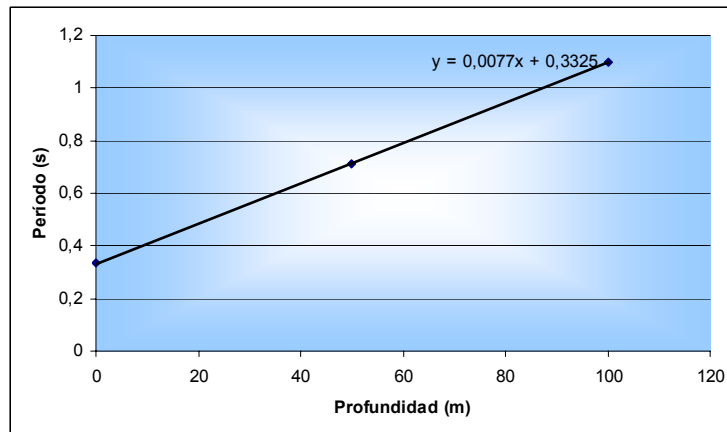


Figura 4.20. Relación período fundamental-profundidad de sedimentos par la zona de estudio.

La relación entre profundidad y período para la ciudad de Barcelona se muestra en la Figura 4.20. Para su estimación se utilizó una aproximación lineal, a partir de un número pequeño de muestras (7 puntos, sobre el perfil sísmico 1), por lo tanto la regresión es bastante generalizada. Se obtuvo la relación profundidad vs. Período (Anexo A) la cual viene dada por la ecuación:

$$Y = 0.0077X + 0.3325 \quad (4.1)$$

Donde, X es la profundidad y Y es el período.

Rocabado (2002) destacó que dicha relación no es estrictamente en forma lineal, en caso de que el espesor sedimentario disminuya, se puede establecer un cierto margen de variación de los valores de períodos para diferentes espesores sedimentarios.

Se puede observar una clara relación entre la profundidad o espesor de sedimento blando y el periodo fundamental del suelo, en donde se tienen asociados los periodos fundamentales mas elevados en las zonas que presentan los mayores espesores sedimentarios.

4.3 SÍSMICA DE REFRACCIÓN.

A continuación se muestra el mapa con los perfiles sísmicos y las perforaciones de geotecnia en la zona de estudio.

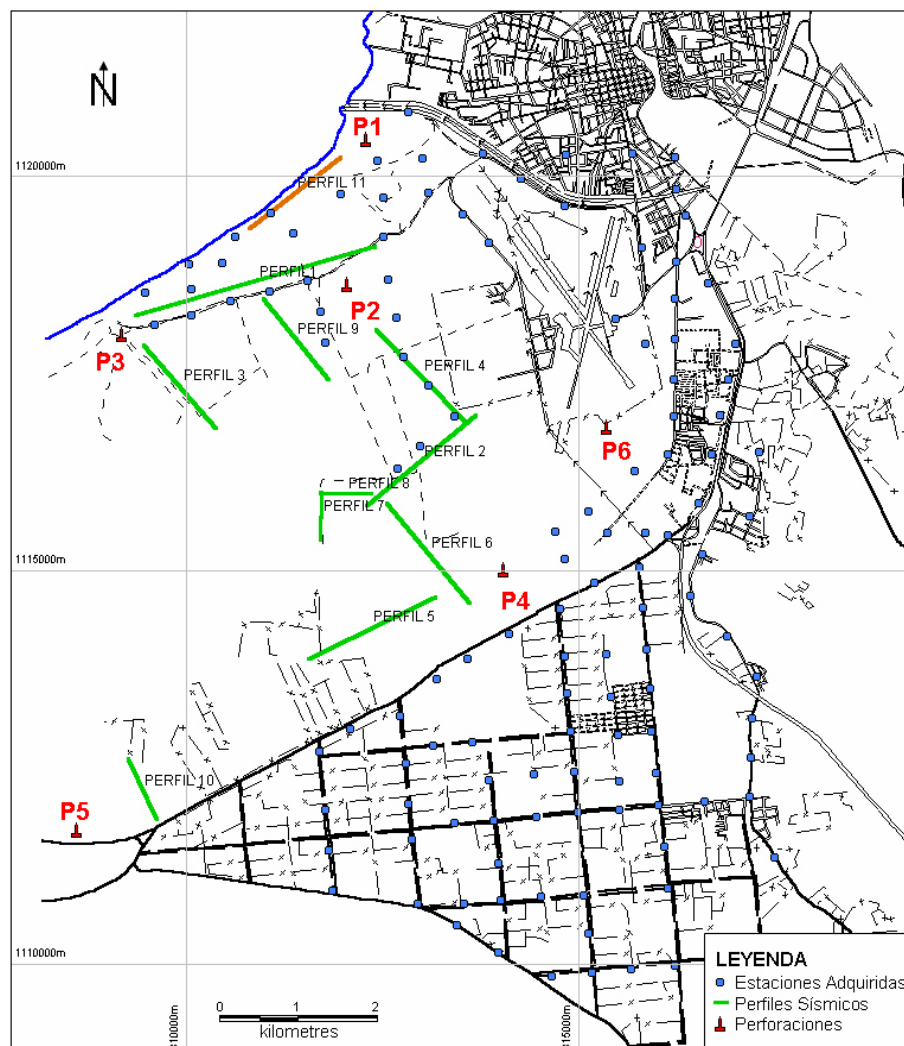


Figura 4.21 Mapa de ubicación de los perfiles sísmicos.

4.3.1 PERFIL 1.

UBICACIÓN: a lo largo de la vía principal de acceso al caserío de Caicara.

ORIENTACIÓN: Latitud: 309237 – 312862 UTM

Longitud: 1118050 – 1119400 UTM

Nº TENDIDOS: 8, (WSW – ENE).

LONGITUD: 4.080 m,

INTERPRETACIÓN: En el modelo 2D de ondas P, se observan tres capas dispuestas de la siguiente manera: la primera capa se presenta como un estrato horizontal con un espesor de 5 m, siendo la velocidad superficial entre 400 m/s y 500 m/s correspondiente a sedimentos blandos, arcillosos a arenosos. La segunda posee sedimentos saturados, con valores aproximados 1.700 m/s y 1.900 m/s constante a lo largo del perfil. La última capa observada se encuentra entre 5 y 60 metros de profundidad, con velocidades de poca variación entre 2.000 y 2.050 m/s. Para las ondas S, se pueden identificar las llegadas en dos tendidos, ya que, la calidad de información es muy pobre, debido a que en muchos de los tendidos la onda de sonido cae junto a la fase de ondas S enmascarando la información de los pick. Se estableció que para la capa superior las velocidades de ondas S se encuentran comprendidas entre 120 y 160 m/s, el estrato inferior se caracteriza por velocidades entre 200 y 320 m/s. (Figuras 4.23 y 4.24).

INTERPRETACIÓN LITOLÓGICA: Las perforaciones P3 y P2 (INGEOSULM, 1998) muestran un alto contenido de arena entre 1 y 10 m, lo que podría ser interpretado como una zona de cordón litoral cercano a la costa.

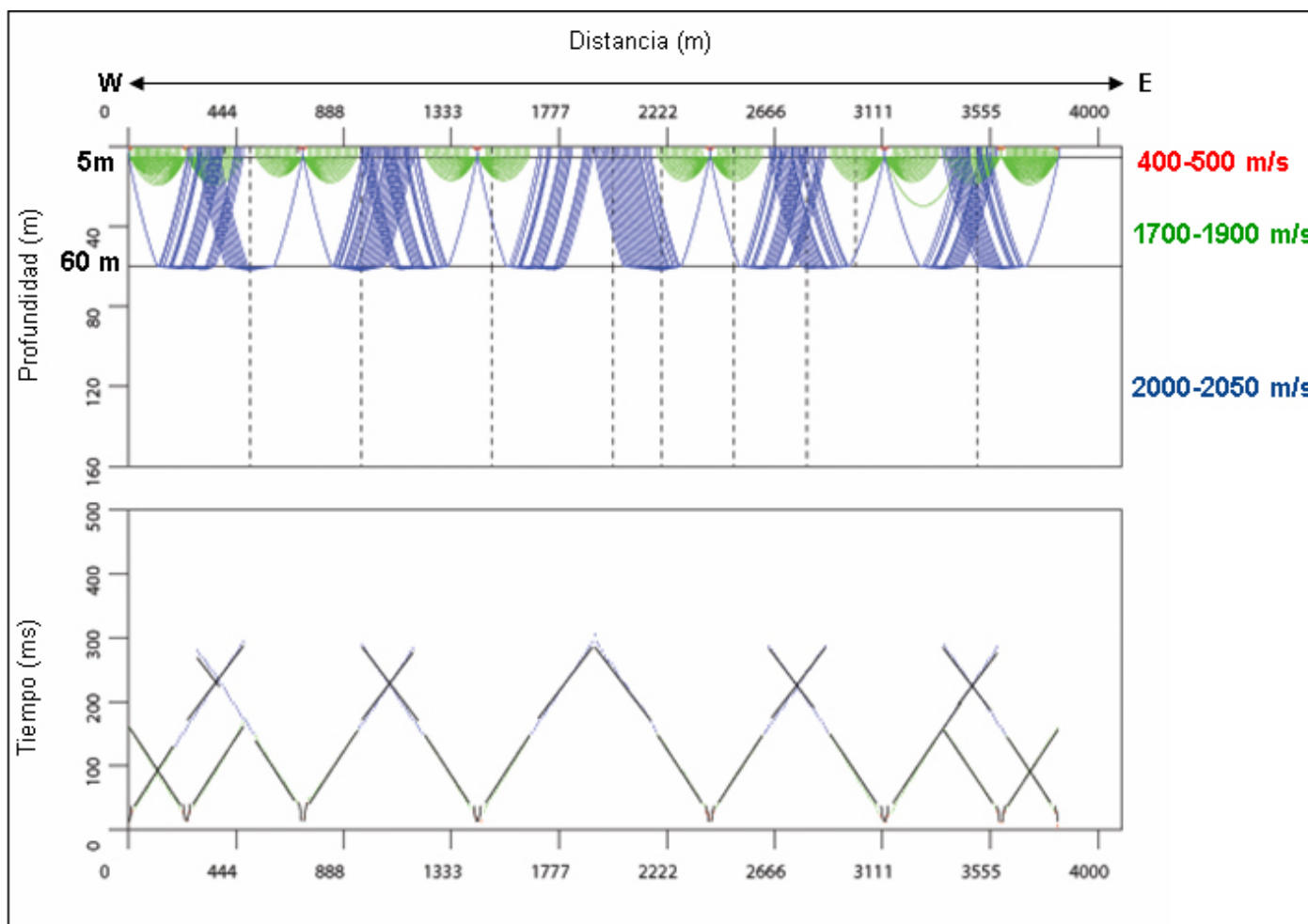


Figura 4.22. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas P del PERFIL 1, ubicado a lo largo de la vía principal de acceso a la carretera de Caicara.

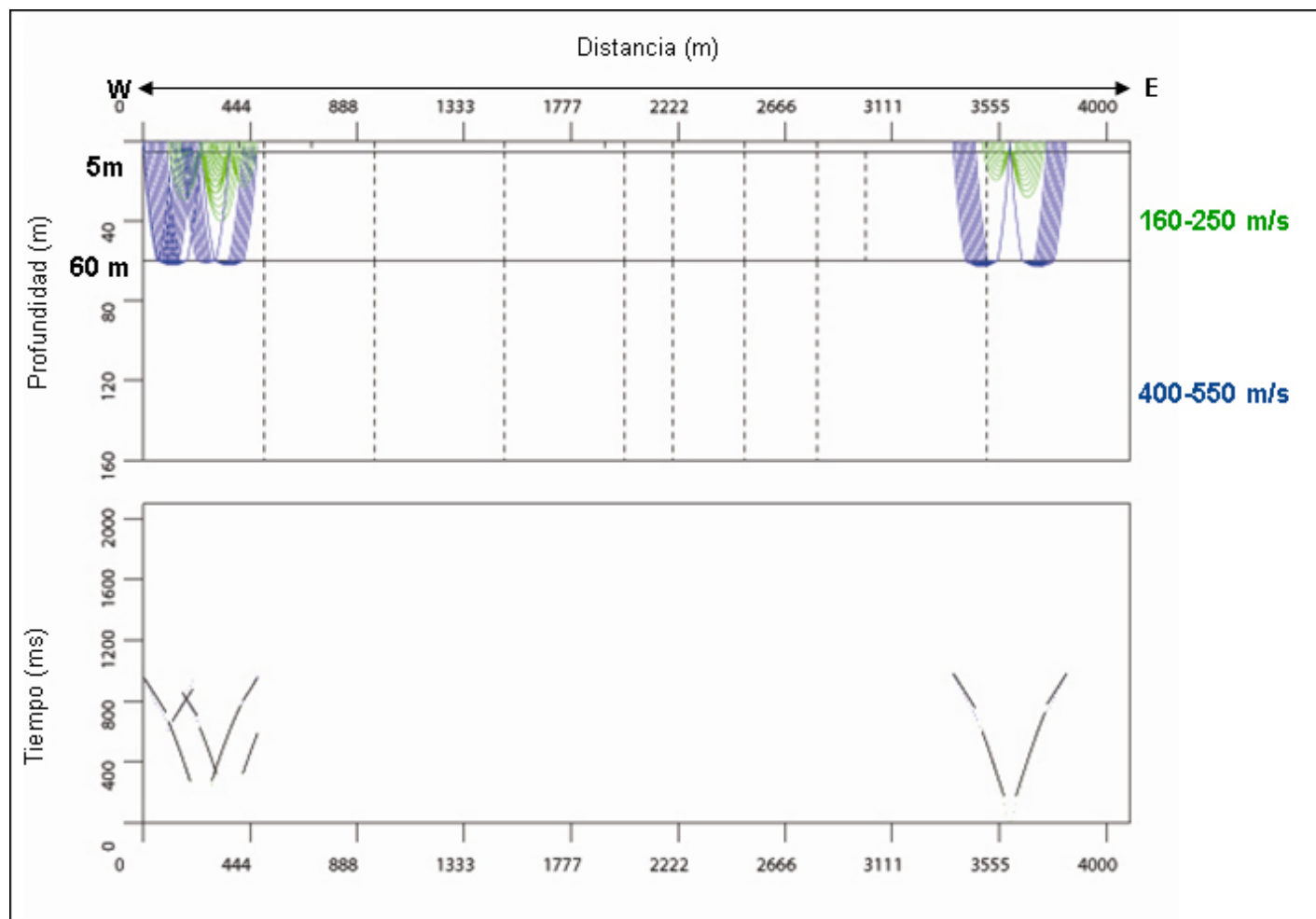


Figura 4.23. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas S del PERFIL 1, ubicado a lo largo de la vía principal de acceso a la carretera de Caicara

4.3.2 PERFIL 2.

UBICACIÓN: en los límites de la empresa camaronera Siembramar, exactamente en el lado sur-este.

ORIENTACIÓN: Latitud: 312862 – 313675 UTM
Longitud: 1116175 – 1116825 UTM

Nº TENDIDOS: 2, (SW – NE).

LONGITUD: 960 m.

INTERPRETACIÓN: En el modelo 2D de ondas P, la primera capa se presenta como un estrato horizontal con un espesor variable de 7.7- 9 metros de profundidad aumentando hacia el noreste del perfil, siendo la velocidad superficial entre 400 m/s y 500 m/s. La segunda posee valores aproximados 1.700 m/s y 1.800 m/s constante a lo largo del perfil, dicha capa se observa también en incremento en la profundidad entre 28 y 36 metros de profundidad. La última capa se encuentra a 100 metros de profundidad con velocidades de 1.850 y 2.000 m/s. Mientras que para las ondas S, en la capa superior las velocidades se encuentran comprendidas entre 180 y 280 m/s, el estrato inferior se caracteriza por velocidades entre 300 y 360 m/s y la ultima capa con velocidades promedio de 430 m/s. (Figuras 4.25 y 4.26).

INTERPRETACIÓN LITOLÓGICA: Sedimentos blandos, arcillosos a arenosos, en superficies secas.

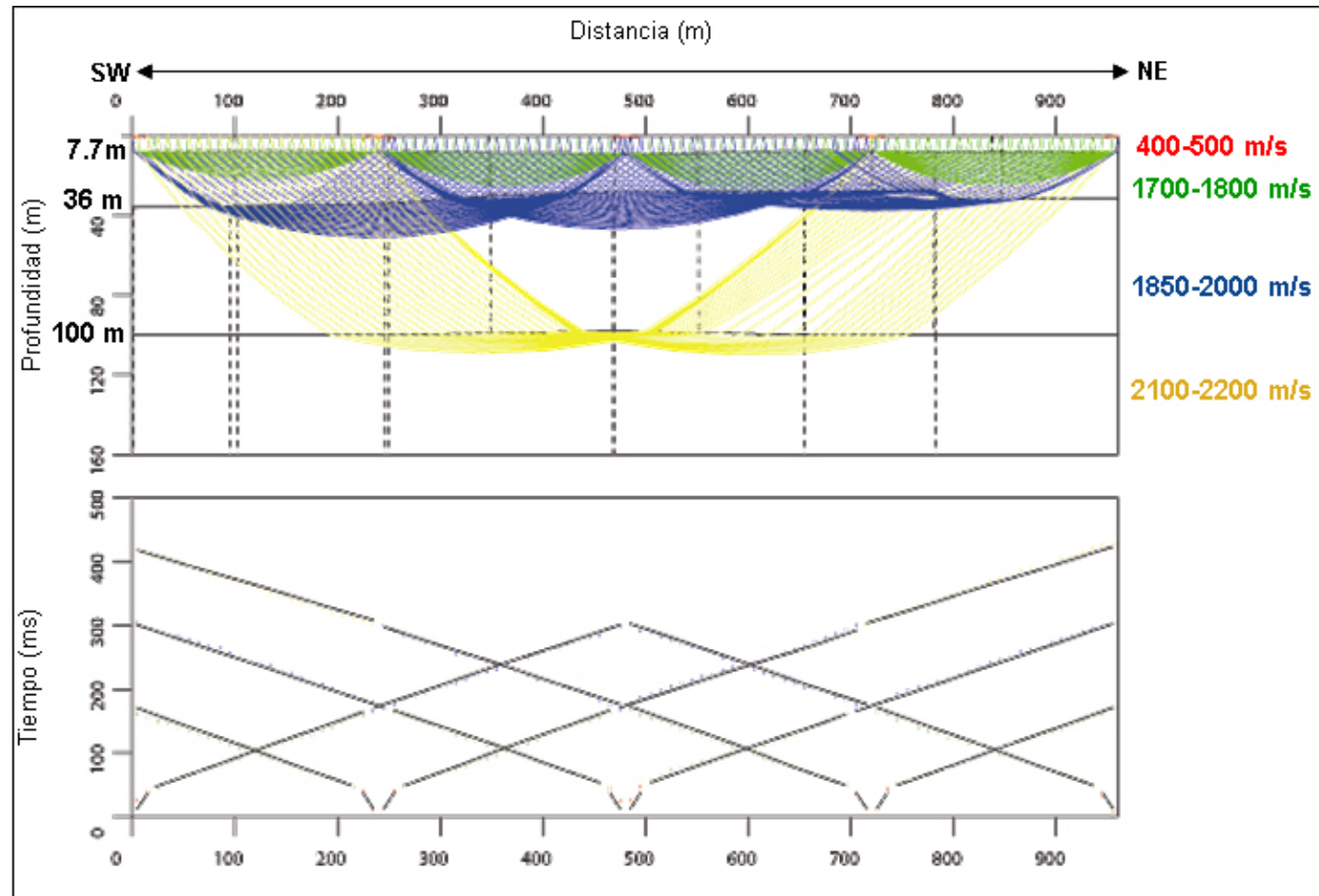


Figura 4.24. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas P del PERFIL 2, ubicado en los límites de la empresa camaronera Siembramar.

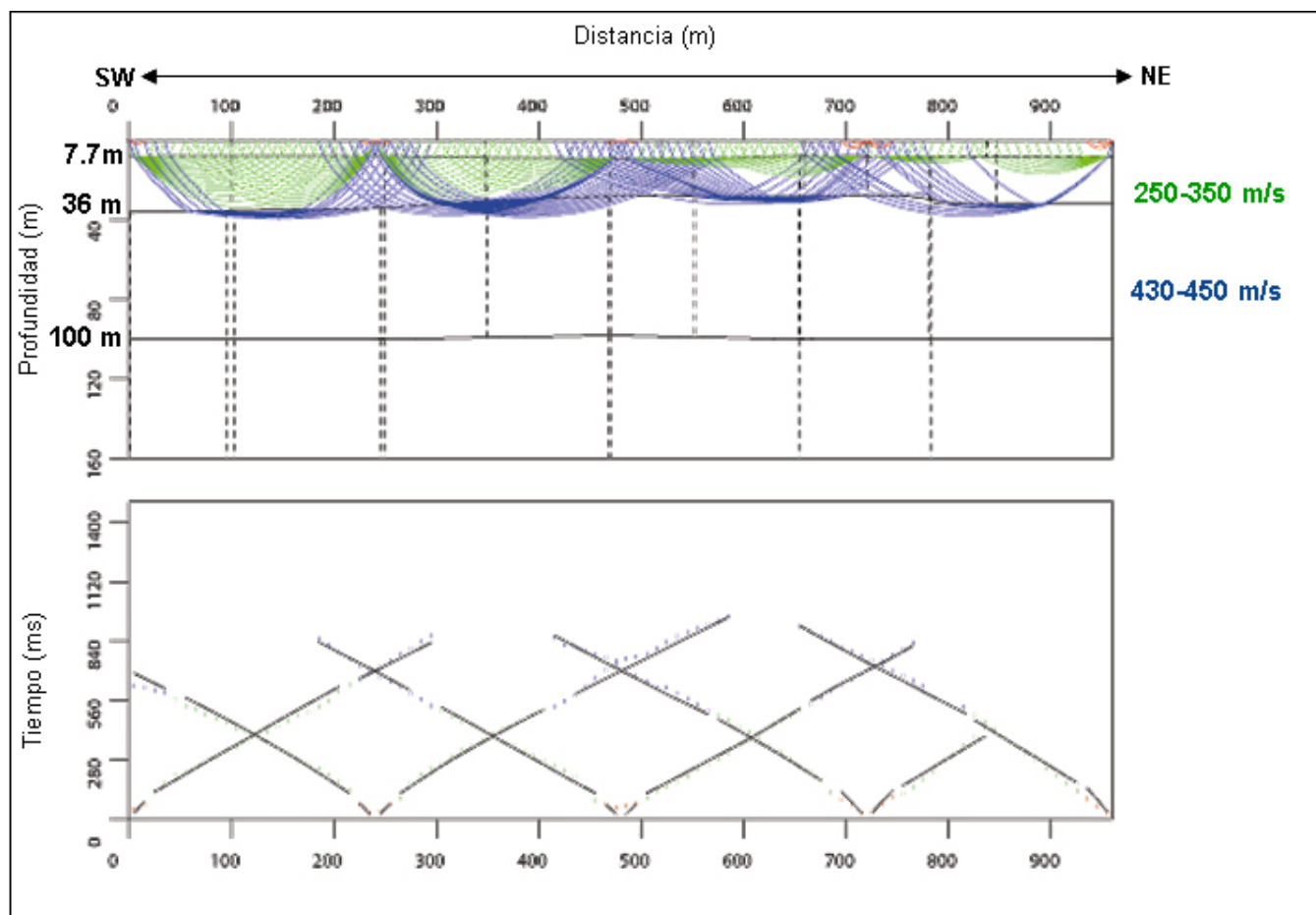


Figura 4.25. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas S del PERFIL 2, ubicado en los límites de la empresa camaronera Siembramar.

4.3.3 PERFIL 3.

UBICACIÓN: en los límites de la empresa camaronera Siembramar, lado nor-oeste.

ORIENTACIÓN: Latitud: 310250 – 309350 UTM
Longitud: 1116850 – 1117875 UTM

Nº TENDIDOS: 2, (SE – NW).

LONGITUD: 1.160 m.

INTERPRETACIÓN: En el modelo 2D de ondas P, la primera capa se presenta como un estrato con un espesor variable de 3-7 metros de profundidad disminuyendo hacia el nor-oeste del perfil, siendo la velocidad superficial entre 270 m/s y 400 m/s. La segunda capa posee valores entre 1.700 m/s y 1.900 m/s variables a lo largo del perfil; en dicha capa se observa también un incremento en la profundidad entre 30 y 50 metros de profundidad. La última capa se encuentra a 100 metros de profundidad. Mientras que para las ondas S, en la capa superior las velocidades se encuentran comprendidas entre 150 y 170 m/s, el estrato inferior se caracteriza por velocidades entre 260 y 320 m/s, mientras que en la tercera capa las velocidades son de 400-500 m/s y en el estrato más profundo se observa un aumento de las velocidades entre 550-600 m/s. (Figuras 4.27 y 4.28).

INTERPRETACIÓN LITOLÓGICA: Sedimentos blandos, arcillosos a arenosos. Nivel freático entre 3-5 metros de profundidad, lo que indica cercanía a la costa.

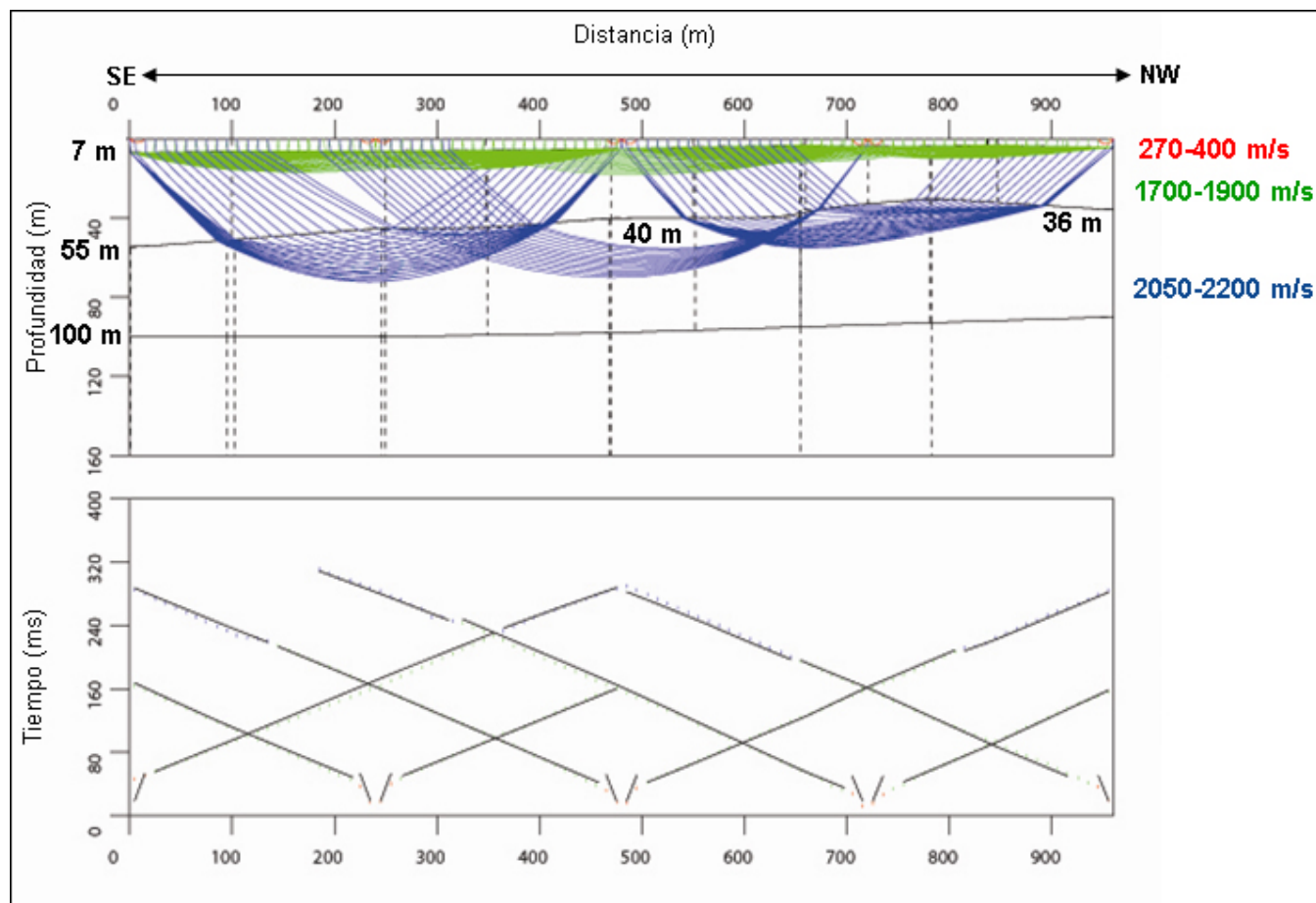


Figura 4.26. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas P del PERFIL 3, ubicado en los límites de la empresa camaronera Siembramar.

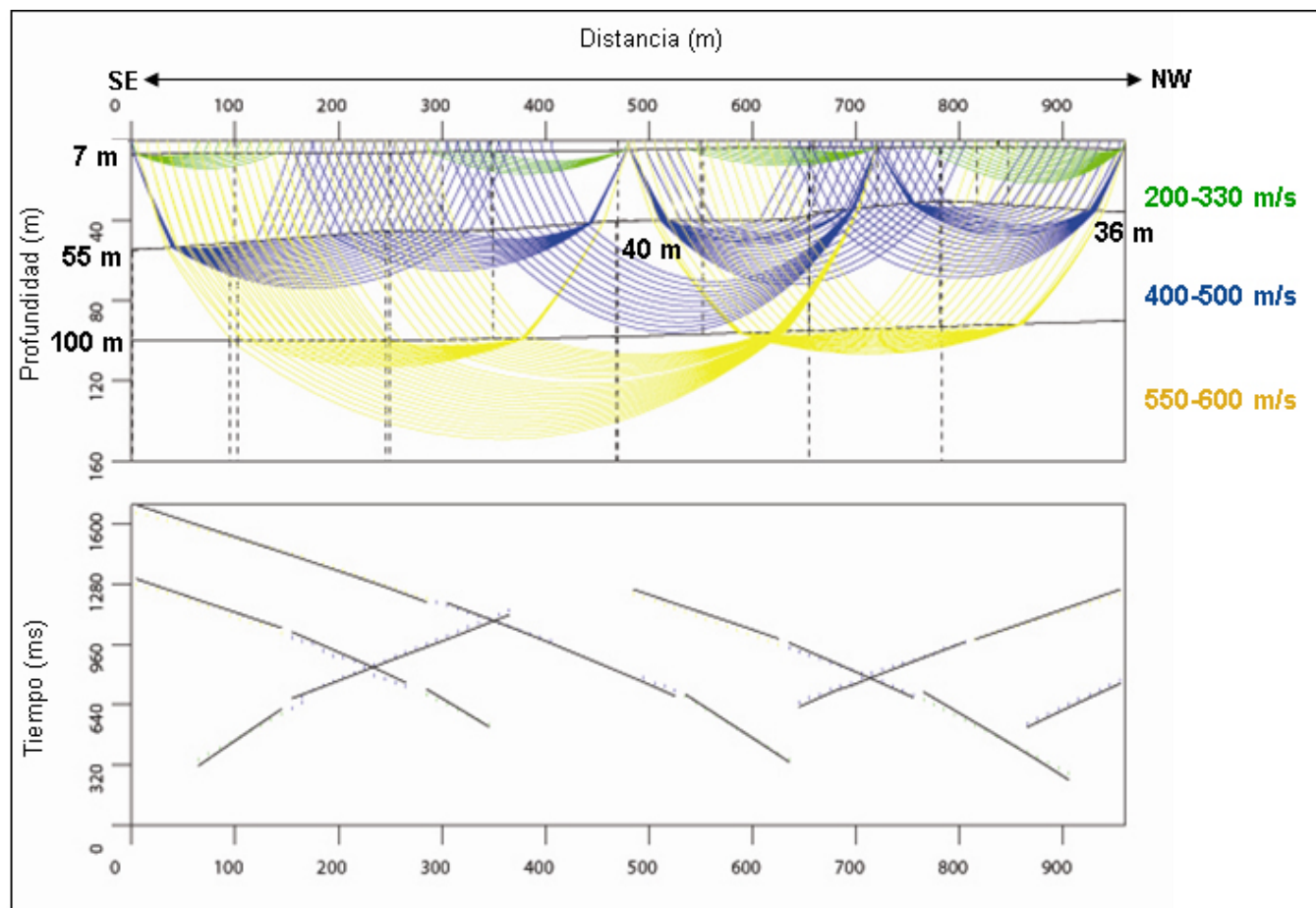


Figura 4.27. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas S del PERFIL 3, ubicado en los límites de la empresa camaronera Siembramar.

4.3.4 PERFIL 4.

UBICACIÓN: en los límites de la empresa camaronera Siembramar, lado sureste.

ORIENTACIÓN: Latitud: 313675 – 312412 UTM
Longitud: 1116825 – 1117975 UTM

Nº TENDIDOS: 2, (SE – NW).

LONGITUD: 1.435 m.

INTERPRETACIÓN: En el modelo 2D de ondas P, la primera capa se presenta como un estrato con un espesor variable de 5 metros en la parte norte del perfil aumentando hacia la parte sur hasta llegar a una profundidad de 8 metros, siendo la velocidad superficial entre 380 m/s y 450 m/s. La segunda capa posee valores de velocidad tope variable alrededor de 1.750 m/s y velocidad base fija de 1.850 m/s, dicha capa se observa horizontal con una leve variación en la profundidad entre 50 y 52 metros. La última capa se encuentra a 100 metros de profundidad, apreciando un adelgazamiento al los 470 metros de distancia del perfil. Con relación a las ondas S, en la capa superior las velocidades se encuentran comprendidas entre 100 y 220 m/s con una variación en el rango de velocidades a lo largo del perfil, el estrato inferior se caracteriza por velocidades entre 230 y 340 m/s, mientras que en la tercera capa las velocidades son de 250-420 m/s y en el estrato más profundo se observan velocidades entre 450-550 m/s. (Figuras 4.29 y 4.30).

INTERPRETACIÓN LITOLÓGICA: Sedimentos blandos, arcillosos a arenosos. Nivel freático baja de 5 metros en la parte norte aumentando de forma progresiva hasta los 8 metros de profundidad hacia el sur, lo que refleja el distanciamiento de la costa.

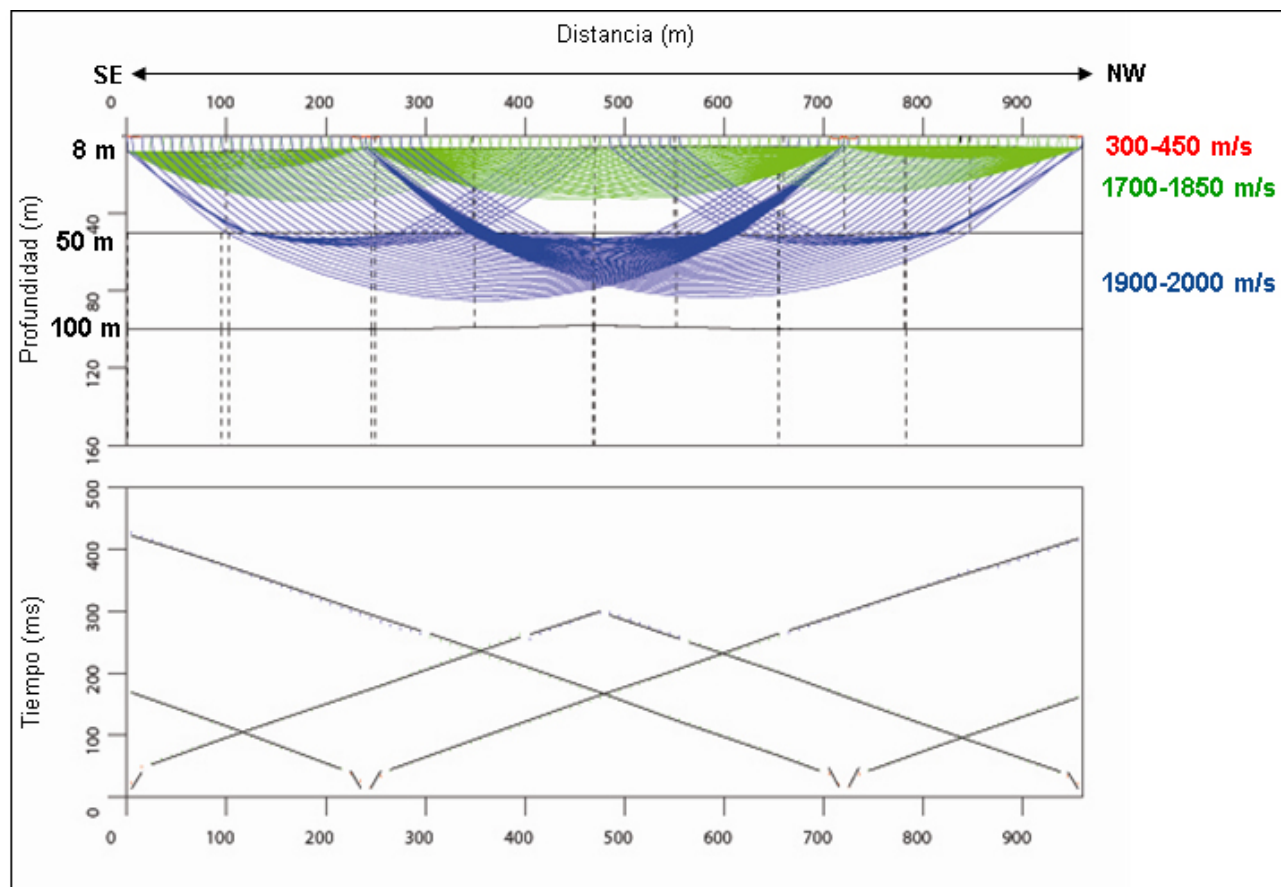


Figura 4.28. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas P del PERFIL 4, ubicado en los límites de la empresa camaronera Siembramar.

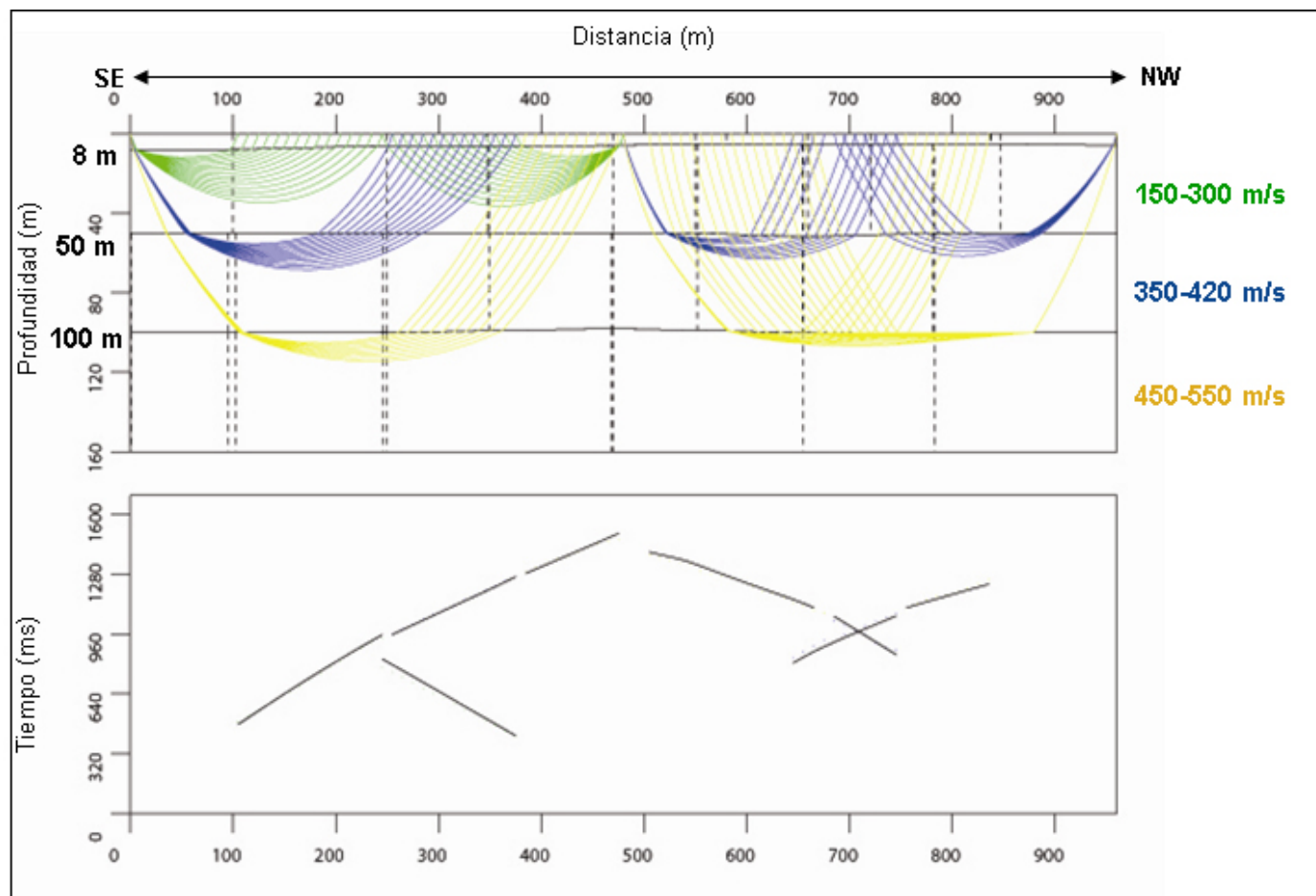


Figura 4.29. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas S del PERFIL 4, ubicado en los límites de la empresa camaronera Siembramar.

4.3.5 PERFIL 5.

UBICACIÓN: en los terrenos de la arenera, específicamente lado occidental, cruzando el río, paralelo a la autopista Barcelona - Píritu.

ORIENTACIÓN: Latitud: 311287 – 312312 UTM
Longitud: 1113750 – 1114350 UTM

Nº TENDIDOS: 2, (SW - NE).

LONGITUD: 1.200 m.

INTERPRETACIÓN: En el modelo 2D de ondas P, la primera capa se presenta como un estrato con un espesor variable de 5.8-7.5 metros profundidad, encontrándose la mínima profundidad a los 660 metros de distancia del perfil, siendo la velocidad superficial entre 380 m/s y 450 m/s. La segunda capa posee valores constantes de velocidad tope y base a lo largo del perfil entre 1.750 m/s y 1.800 m/s respectivamente, dicha capa se observa una brusca variación en la profundidad entre 22 y 52 metros, donde la menor profundidad de este estrato se observa hacia el nor-este del perfil, exactamente los últimos 300 metros de distancia. La última capa se encuentra a 100 metros de profundidad con velocidades de ondas P entre 1.900 y 2.250 m/s. Con relación a las ondas S, en la capa superior las velocidades de tope y base varía a lo largo del perfil, encontrándose entre 150 y 250 m/s, el estrato inferior se caracteriza por velocidades más altas entre 350 y 450 m/s, mientras que en la tercera capa las velocidades son de 500-550 m/s y en el estrato más profundo se observa un aumento de las velocidades entre 600-700 m/s. (Figuras 4.31 y 4.32).

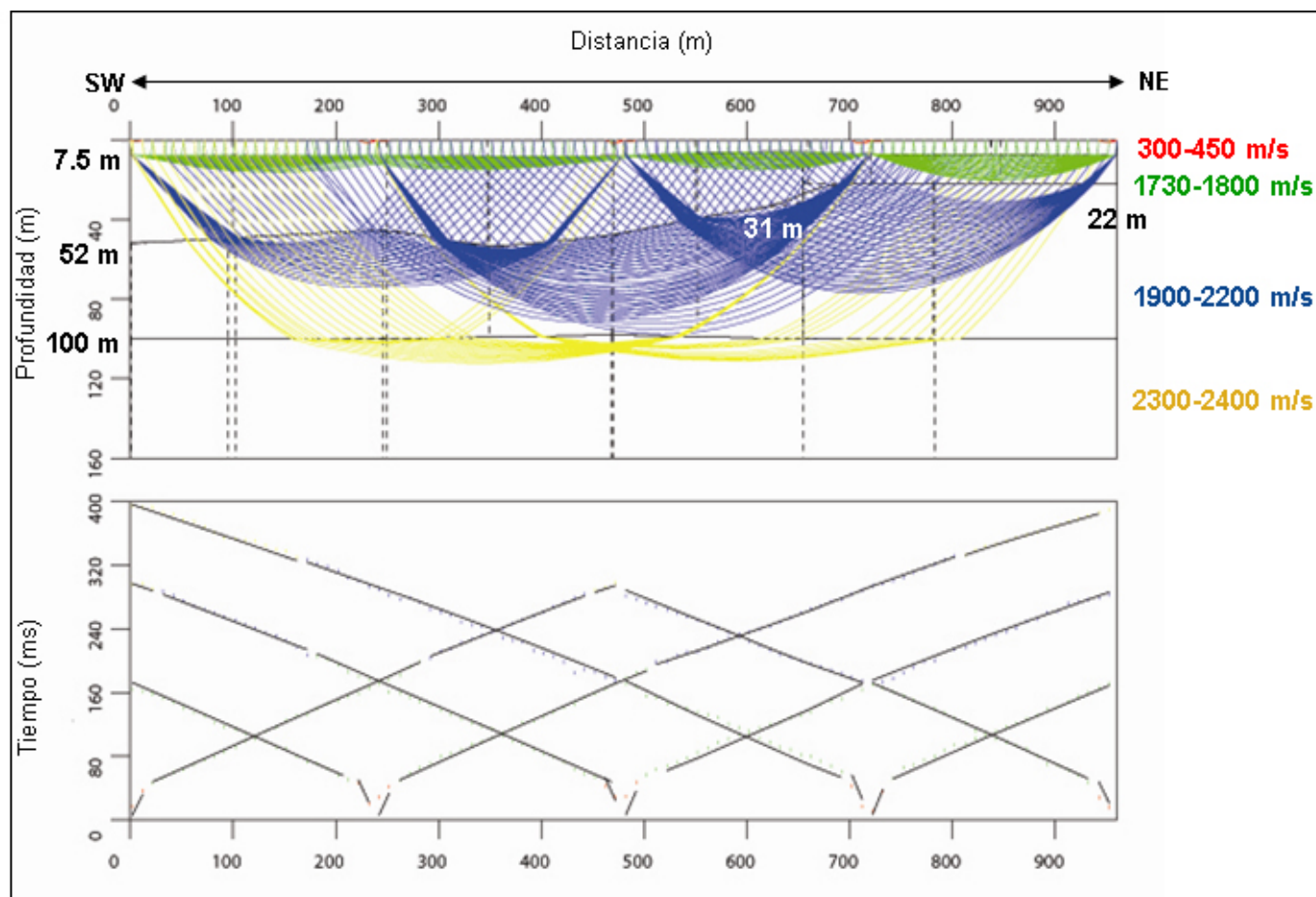


Figura 4.30. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas P del PERFIL 5, ubicado al lado oeste de la arenera, paralelo a la autopista Barcelona –Píritu.

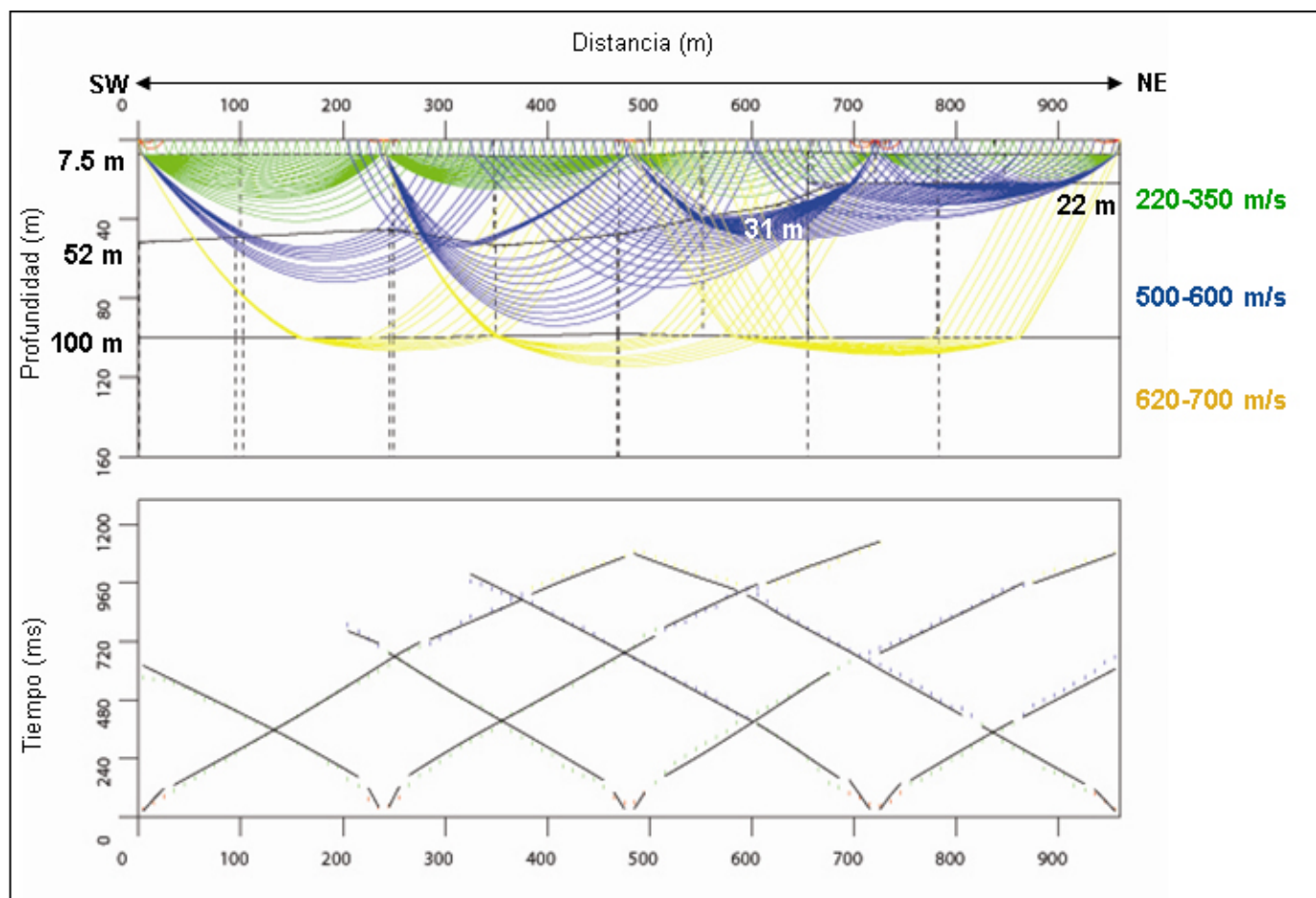


Figura 4.31. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas S del PERFIL 5, ubicado al lado oeste de la arenera, paralelo a la autopista Barcelona –Píritu.

4.3.6 PERFIL 6.

UBICACIÓN: lado norte de la arenera, perpendicular al límite sur de la empresa Camaronera Siembramar .

ORIENTACIÓN: Latitud: 313262 – 313512 UTM
Longitud: 1116137 – 1115130 UTM

Nº TENDIDOS: 2, (NW - SE).

LONGITUD: 960 m.

INTERPRETACIÓN: En el modelo 2D de ondas P, la primera capa se presenta como un estrato con un espesor variable de 5.5-7 metros de profundidad, encontrándose la máxima profundidad a los 250 metros de distancia del perfil, siendo la velocidad superficial entre 200 m/s y 450 m/s. La segunda capa posee valores variables de velocidad tope y base a lo largo del perfil entre 1.600 m/s y 2.000 m/s respectivamente, dicha capa se observa una brusca variación en la profundidad entre 65 y 80 metros, donde la menor profundidad de este estrato se observa hacia el nor-oeste del perfil y la mayor profundidad se encuentra al sur-este, observado entre ellos un máximo y mínimo significativo en la profundidad de 85 metros exactamente a los 400 metros de distancia y 60 metros exactamente a los 654 metros de distancia del perfil respectivamente. En relación con las ondas S, en la capa superior las velocidades de tope y base varía a lo largo del perfil, encontrándose entre 170 y 270 m/s, el estrato inferior se caracteriza por velocidades más altas entre 330 y 480 m/s y en el estrato más profundo se observa un aumento de las velocidades entre 500-750 m/s. (Figuras 4.33 y 4.34).

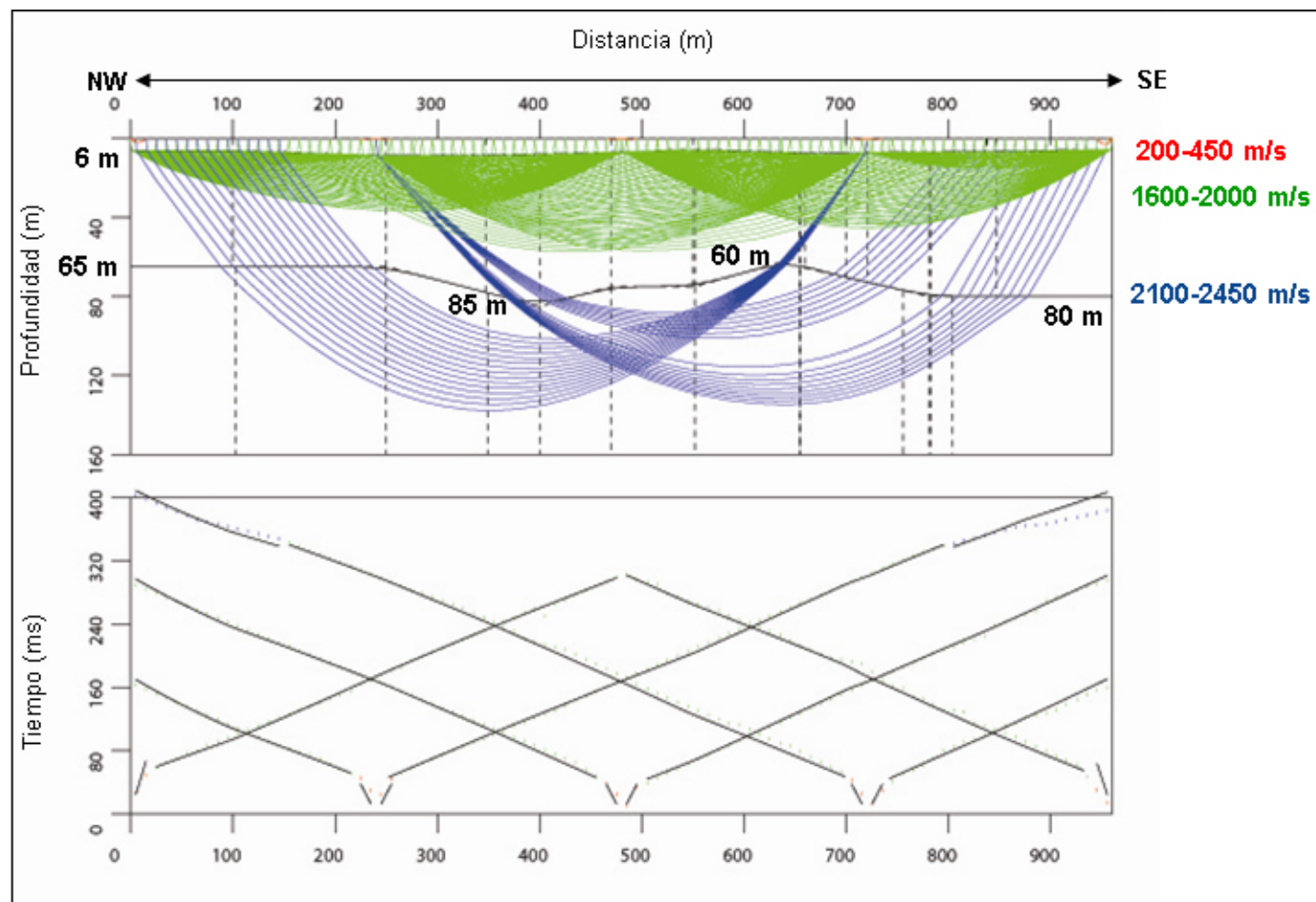


Figura 4.32. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas P del PERFIL 6, ubicado al lado norte de la arenera, perpendicular al límite sur de la camaronera.

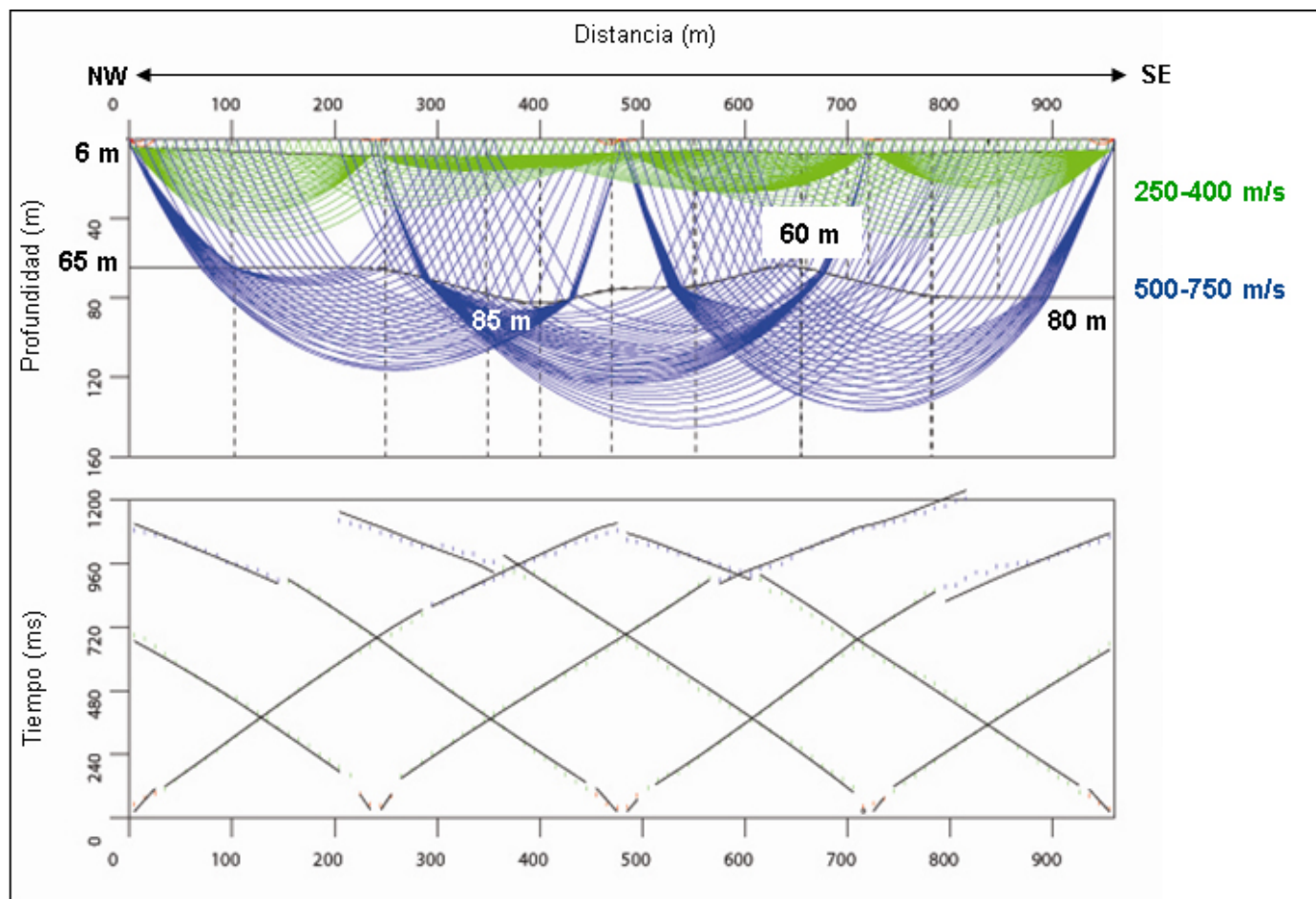


Figura 4.33. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas S del PERFIL 6, ubicado al lado norte de la arenera, perpendicular al límite sur de la camaronera.

4.3.7 PERFIL 7.

UBICACIÓN: límite sur-oeste de la empresa camaronera Siembramar

ORIENTACIÓN: Latitud: 311750 – 311712 UTM

Longitud: 1115250 – 1116162 UTM

Nº TENDIDOS: 2, (S - N).

LONGITUD: 960 m.

INTERPRETACIÓN: En el modelo 2D de ondas P, la primera capa se presenta como un estrato con un espesor variable de 5.9 y 8.3, siendo la velocidad superficial entre 300 m/s y 450 m/s. La segunda capa posee valores entre 1.850 m/s y 1.900 m/s constante a lo largo del perfil, dicha capa se observa también un incremento en la profundidad entre 44 y 67 metros de profundidad. Mientras que para las ondas S, en la capa superior las velocidades se encuentran comprendidas entre 200 y 300 m/s, el estrato inferior se caracteriza por velocidades entre 350 y 400 m/s. (Figuras 4.35 y 4.36).

INTERPRETACIÓN LITOLÓGICA: Sedimentos blandos, arcillosos a arenosos. El nivel freático se encuentra ubicado entre 5.9 y 8 metros de profundidad, inclinado hacia el sur.

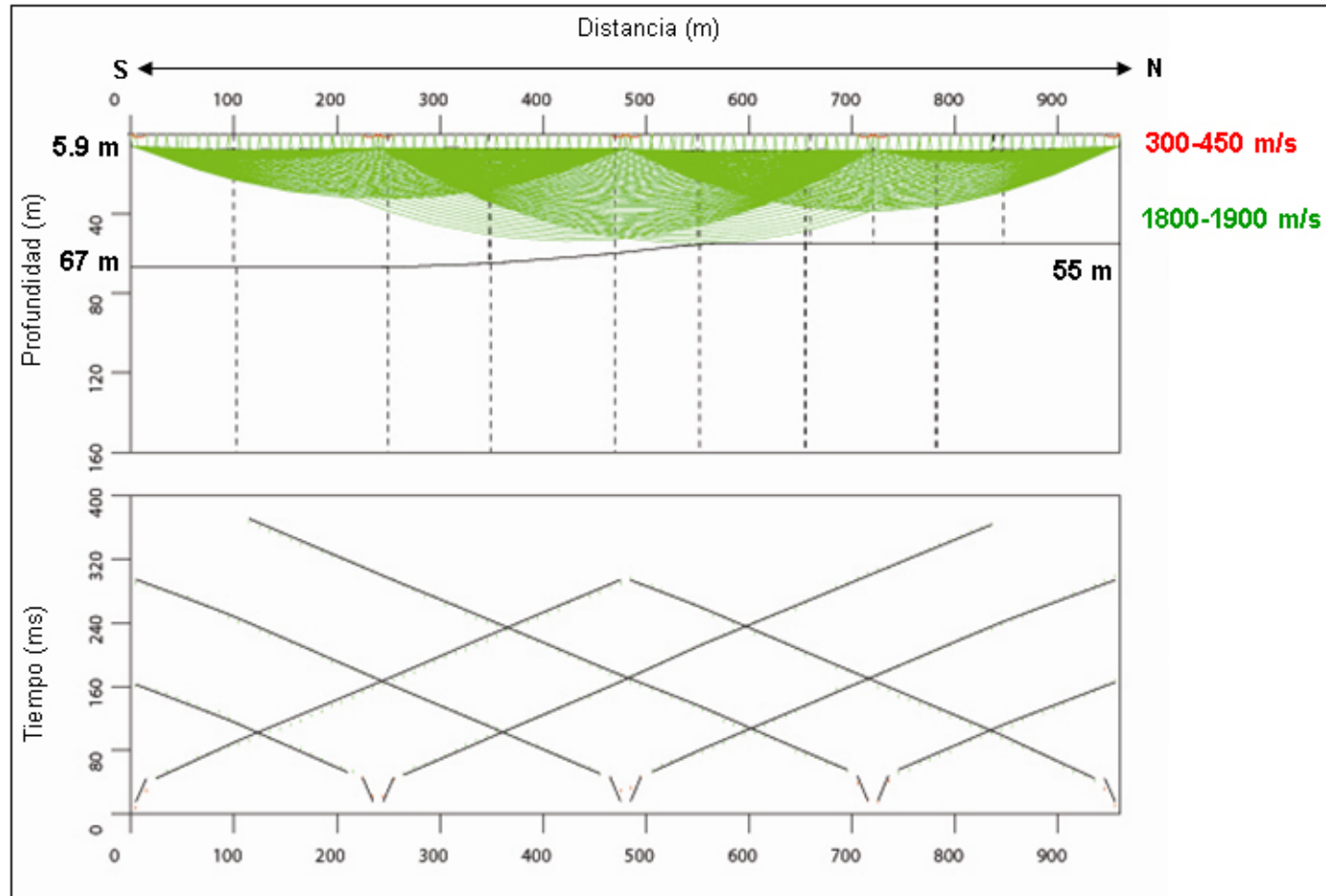


Figura 4.34. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas P del PERFIL 7, ubicado al lado sur de la empresa camaronera.

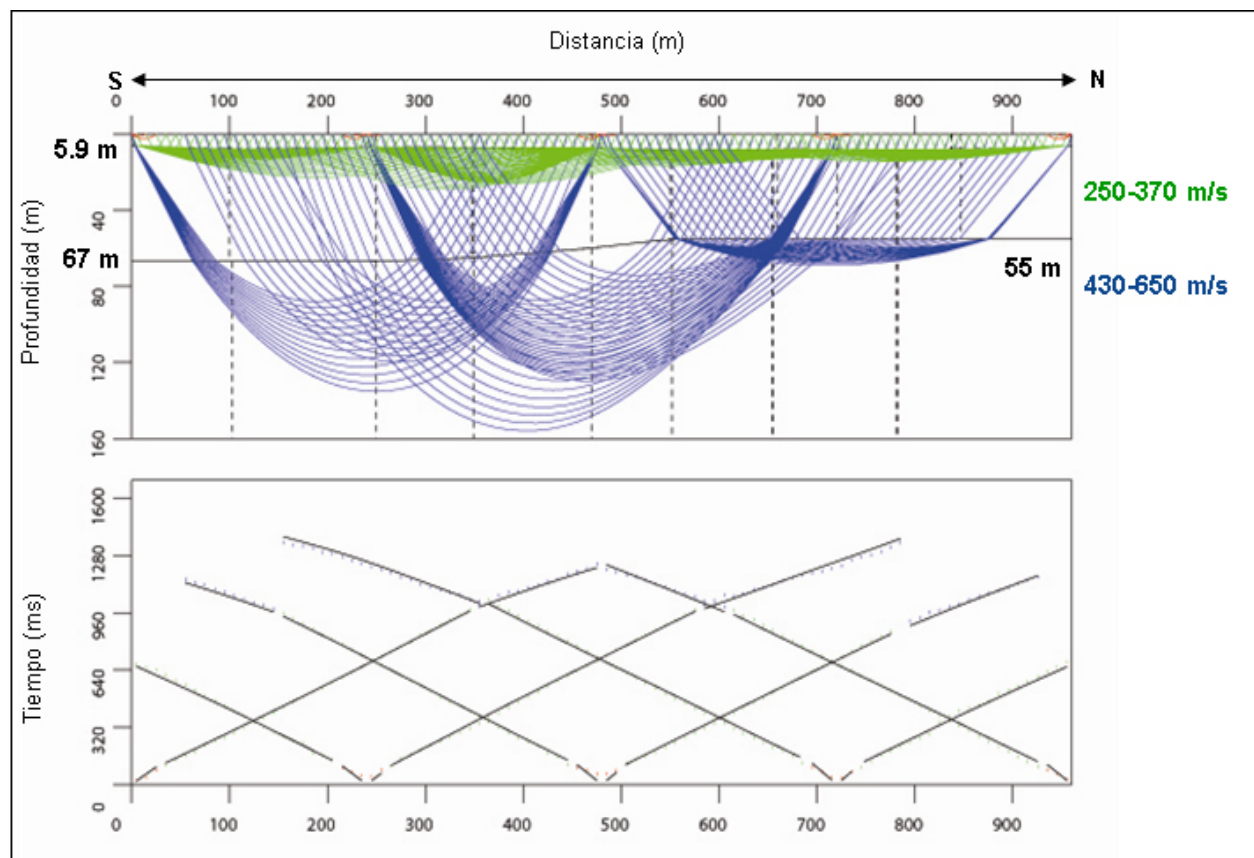


Figura 4.35. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas S del PERFIL 7, ubicado al lado sur de la empresa camaronera.

4.3.8 PERFIL 8.

UBICACIÓN: límite sur de la empresa camaronera Siembramar

ORIENTACIÓN: Latitud: 311712 – 312650 UTM

Longitud: 1116162 – 1116175 UTM

Nº TENDIDOS: 1, (W - E).

LONGITUD: 960 m.

INTERPRETACIÓN: En el modelo 2D de ondas P, la primera capa se presenta como un estrato con un espesor constante con una mínima variación de 5 y 8 metros de profundidad, siendo la velocidad superficial entre 400 m/s y 500 m/s, observando al final del perfil que la velocidad del tope y la base se salen de rango con valores de 250 m/s y 350 m/s respectivamente. La segunda capa posee valores constantes de velocidad tope y base a lo largo del perfil se encuentran entre 1.700 m/s y 2.000 m/s, dicha capa se presenta una profundidad constante a lo largo del perfil de 65 metros, Con relación a las ondas S, no fue posible realizar el modelo 2D de dichas ondas, debido a la mala calidad de los registros, ya que los pick de interés quedaban enmascarados con la onda de sonido o el golpe de aire se confunde con la llegadas de las ondas S. (Figura 4.36).

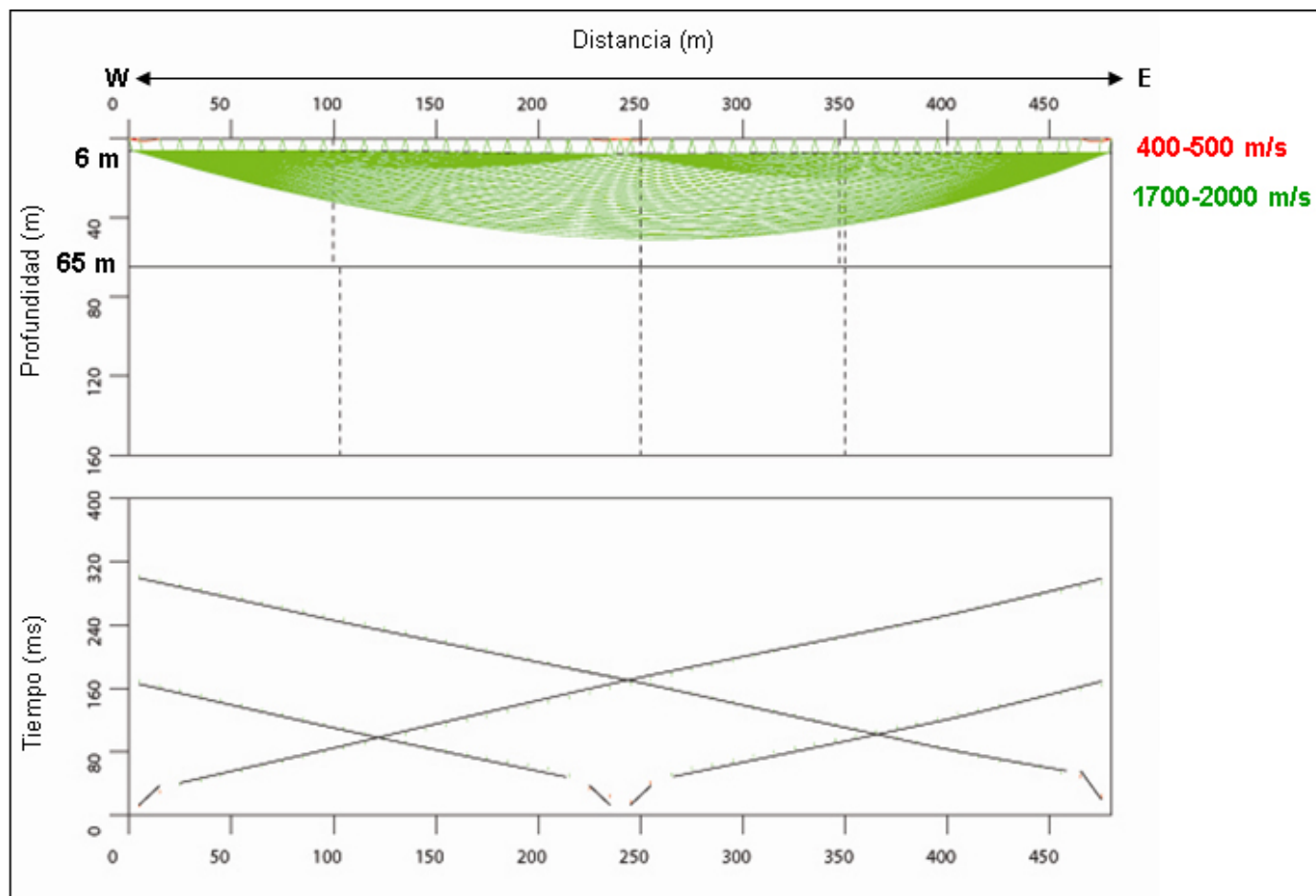


Figura 4.36. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas P del PERFIL 8, ubicado al lado sur de empresa camaronera, orientación S-N.

4.3.9 PERFIL 9.

UBICACIÓN: límite nor-este de la empresa camaronera Siembramar llegando a la carretera.

ORIENTACIÓN: Latitud: 311575 – 310862 UTM
Longitud: 1117555 – 1118387 UTM

Nº TENDIDOS: 2, (SE - NW).

LONGITUD: 1.200 m.

INTERPRETACIÓN: En el modelo 2D de ondas P, se observan tres capas dispuestas de la siguiente manera: la primera capa se presenta como un estrato horizontal con un espesor de 6 m, siendo la velocidad superficial entre 350 m/s y 450 m/s. La segunda posee valores de velocidad entre 1.800 m/s y 1.900 m/s constante a lo largo del perfil, a una profundidad de 50 y 40 metros, encontrando una disminución en la profundidad de 40 metros entre los 350 y 552 metros de distancia del perfil. La última capa observada se encuentra a 95 metros de profundidad. Mientras que para las ondas S, en la capa superior la velocidad de tope y base son constante a lo largo del perfil con valores de 150 y 180 m/s respectivamente, el segundo estrato se caracteriza por velocidades entre 230 y 300 m/s y la última capa presenta velocidad de tope y base constante a lo largo del perfil con valores de 480 y 550 m/s respectivamente. (Figuras 4.38 y 4.39).

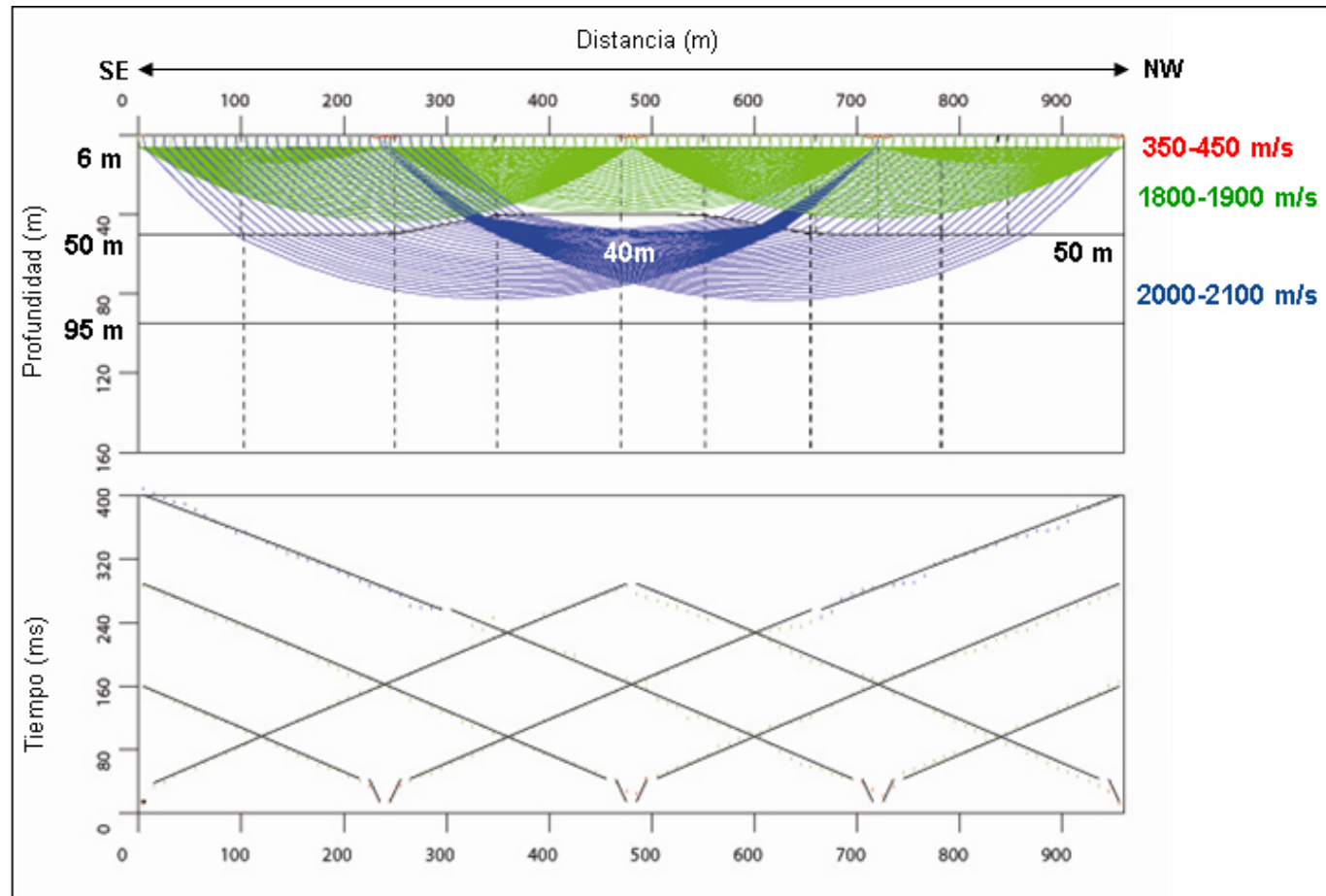


Figura 4.37. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas P del PERFIL 9, ubicado al lado NOR-ESTE de empresa camaronera, orientación S-N.

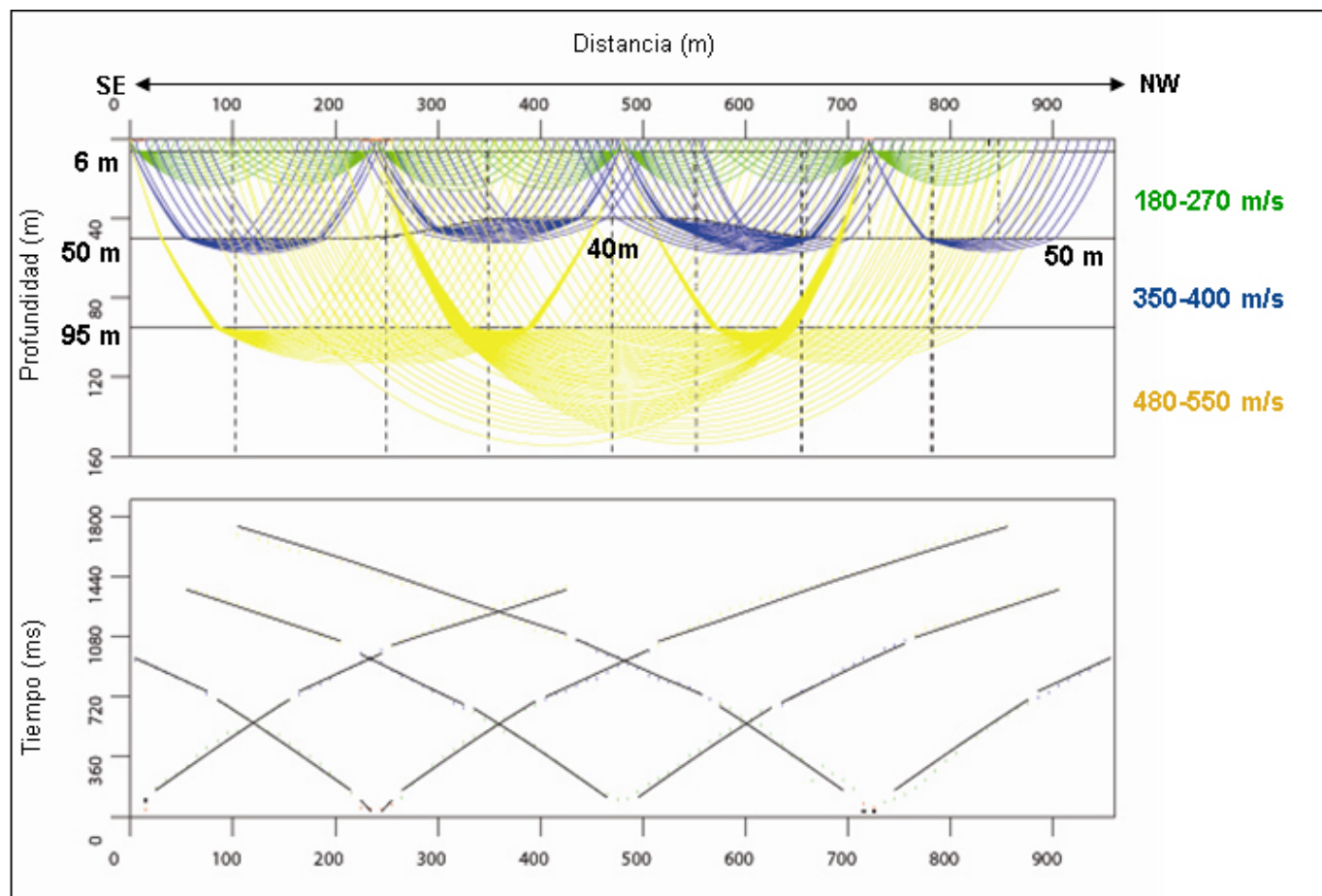


Figura 4.38. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas S del PERFIL 9, ubicado al lado NOR-ESTE de empresa camaronera, orientación S-N.

4.3.10 PERFIL 10.

UBICACIÓN: en los terrenos de la Finca el Trompillo, lado sur-oeste de la zona de estudio.

ORIENTACIÓN: Latitud: 309887 – 309737 UTM
Longitud: 1112200 – 1112575 UTM

Nº TENDIDOS: 1, (S - N).

LONGITUD: 440 m.

INTERPRETACIÓN: En el modelo 2D de ondas P, el primer estrato presenta un espesor de 6 a 8 metros profundidad, encontrándose la velocidad superficial entre 400 m/s y 600 m/s. La segunda capa posee valores de velocidad entre 1.800 m/s y 2.100 m/s, dicha capa se observa una profundidad constante de 45 metros. La última capa se encuentra a 100 metros de profundidad con velocidades de ondas P entre 2.100 y 2.200 m/s. Con relación a las ondas S, en la capa superior las velocidades de tope y base varía a lo largo del perfil, encontrándose entre 120 y 220 m/s, el estrato inferior se caracteriza por velocidades más altas entre 400 y 460 m/s, mientras que en la tercera capa las velocidades son de 505-650 m/s. (Figuras 4.40 y 4.41).

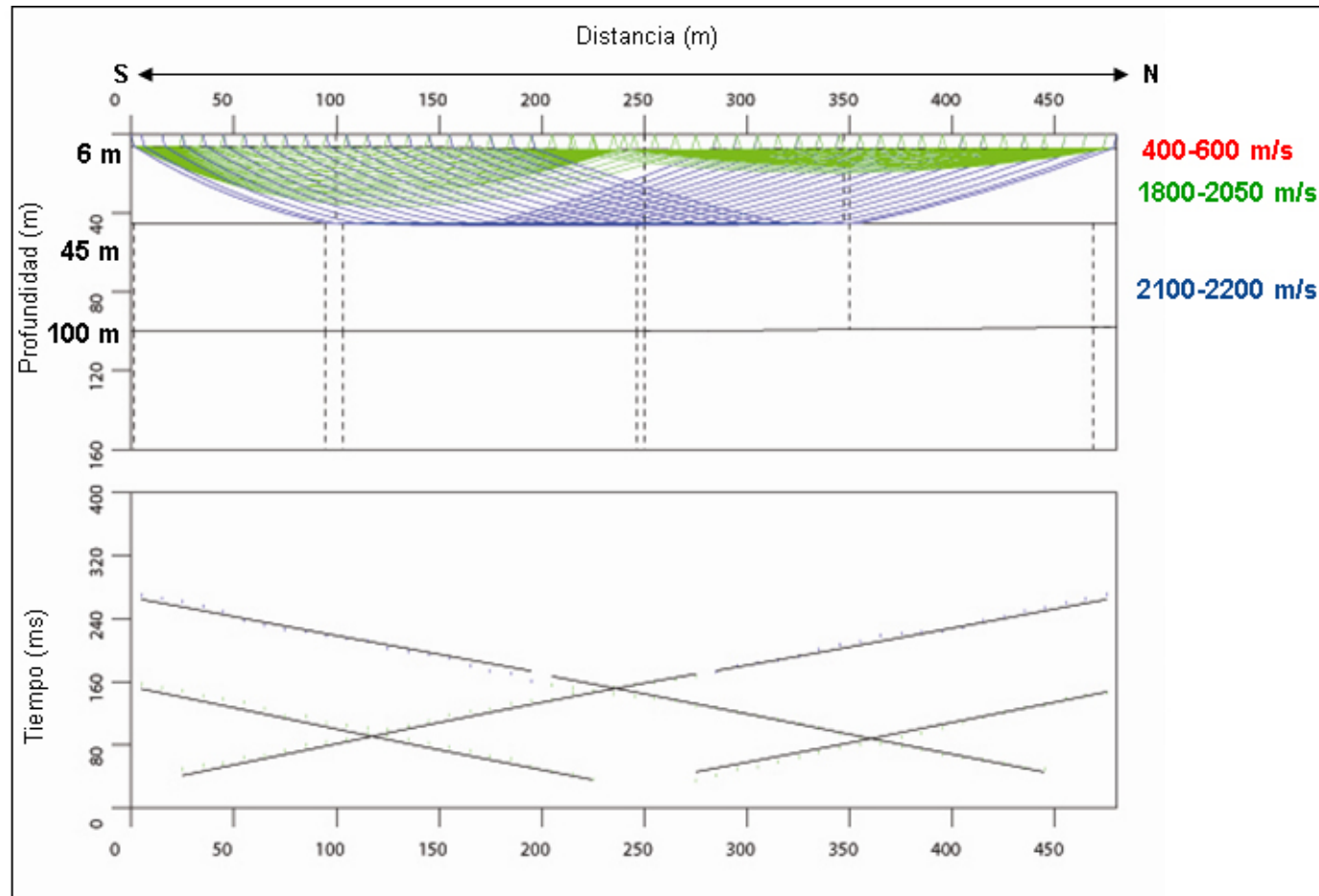


Figura 4.39. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas P del PERFIL 10, ubicado en los terrenos de la finca el Trompillo, lado sur-oeste de la zona de estudio.

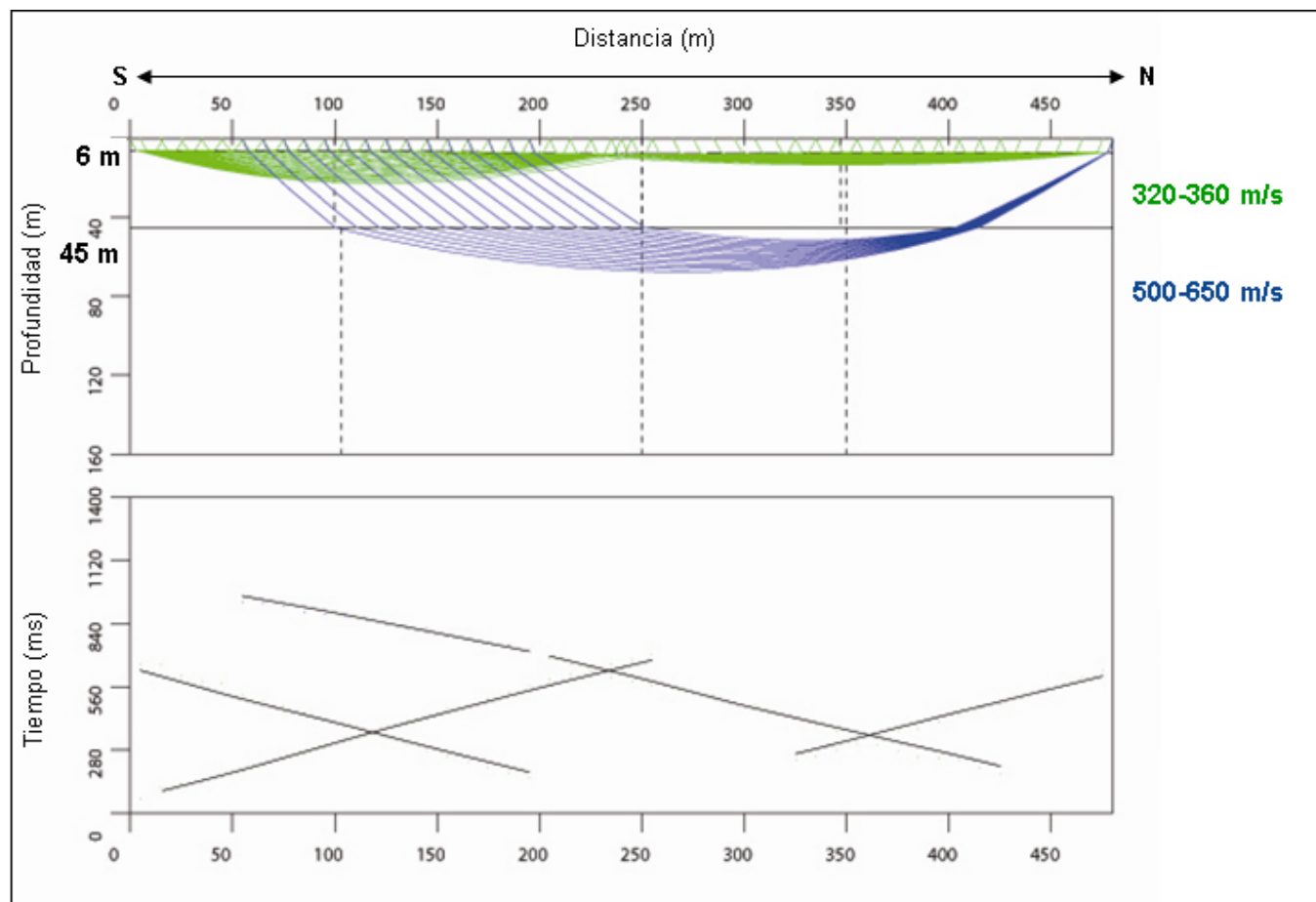


Figura 4.40. Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas S del PERFIL 10, ubicado en los terrenos de la finca el Trompillo, lado sur-oeste de la zona de estudio.

CONCLUSIONES

A partir del desarrollo de este trabajo y cubiertas las etapas de adquisición, procesamiento y análisis, se logró establecer las siguientes conclusiones:

► RUIDO AMBIENTAL.

En la zona de estudio los valores de período fundamental del suelo predominante se ubican entre 0.4 - 1.5 segundos, apoyado en la relación existente entre período fundamental y profundidad de sedimentos (Nakamura, 1989).

Se confirma que los períodos de vibración del suelo, obtenidos mediante mediciones de ruido ambiental, constituyen un parámetro para la caracterización del sitio basado en la interpretación de microtemores, el cual se debe a fuentes de ruido blanco, tales como las vibraciones de tráfico sin considerar cualquier contribución de fuentes profundas, y que el valor de H/V está controlado por la curva de polarización de ondas Rayleigh (Lachet y Bard, 1994).

La relación existente entre los valores de período y espesor de sedimentos, es que, a mayor valor de período mayor es el espesor de la columna sedimentaria.

Debido a la apariencia de varios picos, se puede asumir la existencia de varias capas en el subsuelo, lo que dificulta la identificación del período predominante de vibración del suelo además de resaltar una discrepancia entre los mapas obtenidos en la zona norte mediante los programas KNGW y SESAME, en donde se esperaban altos valores de períodos relacionados con un aumento de espesores de sedimentos.

De los programas empleados para procesar los datos de ruido, se concluye: que mediante el programa convencional Kanagawa, se puede observar que los resultados

son coherentes; esto se puede deber a la facilidad de definir parámetros o criterios a la hora de seleccionar la respuesta. Mientras que con el programa Sesame, la diferencia es considerable en comparación con la respuesta esperada, lo cual esto puede atribuirse a la falta de conocimiento de cómo trabaja el algoritmo del programa, además que es más eficiente con datos adquiridos en un tiempo de grabación de 10 minutos.

► SÍSMICA

Los valores de velocidades de propagación de ondas obtenidos a partir de los perfiles sísmicos de refracción indican que para el caso de las ondas P, las velocidades varían entre 250 y 500 m/s para una capa superficial caracterizada por arenas sueltas, para un estrato intermedio las velocidades se encuentran entre 1700 y 1900 m/s de sedimentos saturados, y en algunos sectores se observa un estrato profundo con velocidades de 2000 y 2500 m/s, indicativo de arenas más consolidadas por encontrarse a mayor profundidad.

Con relación a los valores de velocidades de propagación para las ondas S, se observa que el estrato más superficial identificado en las ondas S corresponde a una velocidad de 150 y 250 m/s; mientras que a mayor profundidad se pueden identificar discontinuidades en las ondas S, con velocidades comprendidas entre 400 y 900 m/s. La calidad de la información es muy variable entre los perfiles, dependiendo principalmente en la existencia o no de la onda del sonido, debido a que en muchos casos cae junto con las fases superficiales de la onda S y por lo tanto no se puede identificar con exactitud.

Los perfiles sísmicos indican que el espesor de la capa más superficial es de 4 a 9 m; esta interfase se interpreta como el cambio de los sedimentos blandos. El

estrato intermedio se encuentra a una profundidad de 25 a 60 m y en algunos perfiles hay indicios para una interfase profunda, de más de 100 m de profundidad.

Es importante destacar que para mayor facilidad a la hora de ajustar los modelos sísmicos para las ondas S, se dejaron fijas las profundidades de las capas obtenidas en los modelos de ondas P y se ajustó el modelo variando las velocidades de ondas S, por lo que no necesariamente se debe obtener las mismas capas en ambos modelos.

► GRAVIMETRÍA

El estudio estadístico aplicado a los datos de anomalías de Bouguer arrojó una distribución normal y los valores de medidas de tendencia central son muy semejantes entre si, ratificando así el comportamiento normal de la población. De igual manera, al aplicar la geoestadística se observó continuidad en la dirección de las curvas de anomalías de Bouguer, permitiendo una interpretación confiable del método.

Los valores de anomalías de Bouguer varían entre -40.5 y 31.9 miligales, estando los valores mínimos asociados a la mayor acumulación de sedimentos presentes hacia la zona cercana a la costa.

El ajuste de los modelos gravimétricos muestra de manera consistente y coherente el comportamiento de las secuencias sedimentarias en profundidad de la zona de estudio.

La zona en estudio presenta áreas planas que consisten de depósitos sedimentarios, aluviales y marinos, antiguos y recientes. Está formada por una gran variedad de rocas sedimentarias, cuya edad se sitúa entre el Cretácico y el Terciario inferior. En general se trata de lutitas y areniscas muy meteorizadas, a veces con

grandes espesores de roca descompuesta y suelos residuales de carácter terroso, lo cual hace muy complejo su estudio desde el punto de vista de caracterización de suelos. Los depósitos de suelos coluviales más importantes de la zona se encuentran al pie de la Cordillera, al oeste de Barcelona. Se trata de suelos depositados por torrentes, en abanicos o conos de deyección, que en corto recorrido entre el pie de la montaña y la costa, presentan una variada gama de suelos, que van desde gravas arcillosas hasta arcillas; por ello se puede apreciar una variación en los períodos fundamentales del suelo en la zona de estudio.

RECOMENDACIONES

A partir del desarrollo de este trabajo, se hacen las siguientes recomendaciones:

- ▶ Al momento de la adquisición, se tiene que evitar el posible factor errático, por lo que debe asegurarse bien que la masa se encuentre calibrada. Al igual que verificar que la sensibilidad del sensor se encuentre bien configurada, para estar seguro que los datos obtenidos en campo son confiables.
- ▶ Ampliar los tiempos de grabación durante la adquisición de ruido ambiental para obtener un mayor número de ventanas que permita una mejor selección de la respuesta.
- ▶ Se debería realizar una malla más detallada de 200x200 metros, con el fin de detectar con más precisión los cambios en los valores de períodos y los contrastes de densidad a lo largo de la zona de estudio.
- ▶ En el método de ruido ambiental, con el programa Sesame se recomienda revisar los archivos fuentes para conocer su funcionamiento.
- ▶ Al momento de construir edificaciones, el obtener una relación entre el período predominante del suelo y el período natural de una construcción es muy importante para evaluar el posible daño producido por un terremoto a futuro en viviendas.

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS CITADAS

ARNSTEIN, R., E. CABRERA, F. RUSSOMANNO y H. SÁNCHEZ (1985)
Revisión estratigráfica de la Cuenca Oriental de Venezuela. Mem., VI Congr.
Geol. Venez., Caracas, Soc. Venez. Geol. (1): 41-69.

AUDEMARD, F. A. (1991) Reconocimiento neotectónico del área de Jose y zonas circunvecinas. Vuelo de helicóptero. Cora/ 83 para CORPOVEN S.A. Informe Inédito. 14 p.

AUDEMARD, F. A. (1996) Observaciones geológicas preliminares complementarias sobre VEHOPE de Maraven- Conoco, en Jose, Edo. Anzoátegui. Informe Inédito para CORAL 83. 6 p.

AUDEMARD, F. A. (1997) Inspección neotectónica al Lote 4 del Complejo Petrolero y Petroquímico José Antonio Anzoátegui, Jose, Edo. Anzoátegui, Venezuela. Informe Inédito para CORAL 83. 4 p.

AUDEMARD, F. A. y A. ARZOLA (1995) Evaluación de la actividad tectónica de las fallas de sitio para el proyecto "Terminal de Almacenamiento y Embarque de Crudo por Jose" -TAECJ-, Fase II (Jose, Edo. Anzoátegui). Funvisis para Corpoven S.A. Informe inédito. 31 p + anexo.

AUDEMARD, F. A y A. ARZOLA (1995b) Evaluación preliminar del posible fallamiento activo en el sitio de presa propuesto para un embalse de almacenamiento de agua para las instalaciones del Condominio de Jose (Edo. Anzoátegui). FUNVISI. Informe Inédito para INTEVEP, S.A. 12 p + anexo.

- AUDEMARD, F. A y A. ARZOLA** (1995c) Geología de fallas activas para las futuras plantas de mejoramiento y almacenamiento de Maraven-Conoco y Maraven- Total (área de *Jose*, Edo. Anzoátegui). Funvisis para Maraven SA. Informe inédito. 32 p + 2 anexos.
- AUDEMARD, F. A y L. ACOSTA** (1998) Estudio de Neotetónica y Geología de Fallas Activas donde se construirá el Patio De Tanques Sur-Iose. FUNVISIS. Informe Inédito para INTEVEP, S.A. 37 p.
- ALBERDI, M. y F. PARNAUD** (1991). Geoquímica de roca madre en el transecto Chacopata-Uverito (Cuenca Oriental de Venezuela). INTEVEP S.A. Los Teques.
- ARNSTEIN, R., E. CABRERA, F. RUSSOMANO y H. SÁNCHEZ** (1985). Revisión Estratigráfica de la Cuenca de Venezuela Oriental. VI Congreso Geológico Venezolano, vol. 1.
- AYMARD, R., L. PIMENTEL, P. EITZ, A. CHAOUCH, J. NAVARRO, J. MIJARES, y J. G. PEREIRA** (1990) Geological integration and evaluation of Northern Monagas, Eastern Venezuela basin. En J. Brooks, ed., Classic petroleum provinces: Geological Society of London Special Publication N° 50, p. 37-53.
- BALLY, A. y S. SNELSON** (1980). Realms of subsidence. En: Mila, AD., Facts and principles of world petroleum occurrence: Canadian Society of Petroleum Geologists, Mem. 6.
- BELLIZZIA, A.** (1984). Marco Tectónico del Margen Continental de Venezuela. LAGOVEN S.A. Informe inédito. 41 p.

- BHATTACHARYYA, B.** (1966). Computer Modeling in Gravity and Magnetic Interpretation. *Geophysics*, 43 (5): 912-929.
- BLANCO, B., C. GIRALDO y N. CHIGNE** (2000). Marco Tectónico-Estratigráfico de la parte norte de los Estados Guarico y Anzoátegui: Implicaciones para la evaluación Petrolífera. *Petróleos de Venezuela*. Caracas. Venezuela.
- BOBLE, J.** (1962). Terrain Correction Table for Gravity, *Geophysics*, 27:715.
- BOTT, M. H. P.** (1971). The interior of the Earth. Arnold Boynton, C. H., G.K. Westbrook, M.H.P. Bott, y R.E. Long (1979). A seismic refraction investigation of crustal structure beneath the Lesser Antilles island arc: *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, v. 58, p. 371-393.
- CANTOS F., J.** (1974). “Tratado de Geofísica Aplicada” España. 520 p.
- CEPET** (1989) La Industria Venezolana de los hidrocarburos. Caracas, Venezuela. El Centro de Formación y Adiestramiento de Petróleos de Venezuela, 1: 754 p.
- DAAL, J.** (1992). Exploración Petrolera en las cuencas Subandinas. Análisis Estructural del Bloque alóctono de Pirital y su incidencia en la exploración petrolera. V Simposio Bolivariano.
- DALLMUS, K. F.** (1965) The geology and oil accumulations in the Eastern Venezuela basins. *Boletín Informativo. Asociación Venezolana de Geología, Minería y Petróleo* p. 5-32.

- DI CROCE, J.** (1995). Eastern Venezuela Basin: Sequence stratigraphy and structural evolution. Tesis de Doctorado, Rice University, Houston, Texas.
- DIXON WILFRID J., y HASSEY JR FRANK J.** (1966). Introducción al análisis estadístico. . Editorial McGraw-Hill. España. 489p.
- DOBRIN, M.** (1988) Introducción a la Prospección Geofísica, Barcelona, España, Ediciones Omega, 85-100n
- ERLICH, R. N. y S. F. BARRET** (1992). Petroleum geology of Venezuela Foreland Basin. En: Macqueen, R. W. y D.A., Leckie, eds., Foreland Basins and Fold Belt: American Association of Petroleum Geologists Mem. 55.
- ESPINOSA, E. y J. DAZA** (1985) Evaluación geológica y condiciones geotécnicas de las plataformas de Unare y La Tortuga-Margarita. VI Cong. Geol. Venezolano. Caracas; 7: 4591-4611.
- FEO CODECIDO, G., F. D. SMITH, N. ABOUT y E. GIACOMO** (1984). Basement and Paleozoic rocks of the Venezuela Llanos basin. En: Bonini, W.E., Hargraves, R. V. And R., Shagan Caribbean-South American plate boundary and regional tectonics. Geological Society of America, Mem 162.
- FREUND JOHN E. y SIMON GARY A.** (1992) .Estadística Elemental .Editorial Pearson Educación. México 566p.
- FUGRO-McCLELLAND** (1991) Geological and geotechnical investigation, Orimulsion docking facilities, Jose area, offshore Venezuela. *Unpublished Rpt.* N° 0201-1252 for CORPOVEN S.A. 1:1-49 + anexos. 2 Vol.

FUNVISIS (1994) Estudio de riesgo sísmico ferrocarril Caracas-Litoral. Informe Inédito para FERROCAR. 86 p + anexos.

GIRALDO, C., M. SCHMITZ, J. ARMINIO, F. AUDEMARD y A. MARTINS (2002). Un transepto La Blanquilla-cratón guayanés, Venezuela oriental: modelos corticales. XI Congreso Venezolano de Geofísica, Caracas.

GIRALDO, C. y C. BELTRÁN (1988). Evaluación Del campo de esfuerzos durante el Cuaternario en la región nororiental de Venezuela. Proyecto CONICIT S1-1161, FUNVISIS, informe inédito, 68 pp.

GEOSOFT (1996). Manual del usuario. MAGMAP y GM-SYS.

GONZÁLEZ DE JUANA, C., J. ITURRALDE DE AROZENA y X. PICARD-CADILLAT (1980). Geología de Venezuela y sus Cuencas Petrolíferas, Ediciones Foninves. Caracas.

GRAFFE, G. (2002). El Fenómeno de Licuación en el Subsuelo del Área Norte del Estado Anzoátegui, un enfoque actual de Evaluación y Análisis. Trabajo Especial de Grado, Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de Oriente.

GUTENBERG, B. (1959). Physics of the Earth's interior. Academic press.

JEFFREYS, H. (1959). The earth its origin and physical constitution. 4th ed. London, Cambridge.

LACHET, C. y P. BARD (1994). Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of Nakamura's technique. J. Phys. Earth, 42,377.

LAY, T. y T.C. WALLACE (1995). Modern global seismology. Academic Press.

Leet, D. y J. Sheldon (1997). Fundamentos de geología física. Editorial Lumusa, Mexico. 450 p.

LÉXICO ESTRATIGRÁFICO DE VENEZUELA, página web:
www.pdv.com/léxico.

LUGO, J. y P. MANN (1995). Jurassic-Eocene tectonic events of Maracaibo Basin Venezuela. En: Tankard A. J., R. Suarez y H. J. Welsink, (eds.) Petroleum Basins of South American. American Association of Petroleum Geologist, Mem 62:699-725.

MACSOTAY, O., A. BELLIZZIA, N. PIMENTEL de B. y V. VIVAS (1985). Tectónica Polifásica Cenozoica en el área Lecherías-Manare, Venezuela nor-oriental. VI Cong. Geol. Venez. , MS 32 pp.

MACSOTAY, O. (1977). Observaciones sobre el Neotectonismo Cuaternario en el Nororiente de Venezuela. Bol. Geol., (Caracas), Pub. Esp. 7(3): 1883.

MARTINS, A., M. SCHMITZ, J. ZANCHEZ y R. CASTILLA (2002). Adquisición de dos transeptos sísmicos profundos en el Oriente de Venezuela para investigar la corteza terrestre. Informe Preliminar, proyecto PDVSA-FUNVISIS

MASCLE, A., y P. LETOUZEY (1990) Geological map of the Caribbean, 1:2500000. París, Francia, Ediciones Technip.

MOONEY, W., G. LASKE y T. GUY MASTERS (1998). CRUST 5.1: A global crustal model at 5° x 5°. Journal of Geophysical Research, 103, 727-747.

MUNRO, S. E. y F. D. SMITH (1984). The Urica fault zone, northeastern Venezuela. GSA. Memoir 162, pags 213-216.

NAKAMURA, Y. (1989). A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface. QR of RTRI, vol 30, N° 1, Febrero, 1989.

OLLARVES V. y REINALDO J. (2002). Estudio tectónico-Estratigráfico del borde septentrional de la Cuenca de Barlovento, estado Miranda: implicaciones neotectónicas. Trabajo Especial de Grado, Geología. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela

OSTOS. M. (1990). Tectonic evolution of the South-Central Caribbean based on geochemical and structural data. Ph. D. Thesis. Dept. Geol. And Geoph., Rice University (Houston).

PARASNIS D. S. (1970). “Principio de Geofísica Aplicada”. Madrid, Paraninfo. 208 p.

PIMENTEL, P. (1982). Los Suelos de la zona Barcelona – Puerto la Cruz. VII Seminario de Mecánica de Suelos-Problema de Cimentación en áreas Urbanas de Venezuela. II Reunión de Profesores de Mecánica de Suelos y materias afines. p. 141-170

PINDELL, J. R y S.F. BARRET (1990). Geological Evolution of the Caribbean Region: A Plate-tectonic Perspective. En: Dengo, y the Caribbean region. Geological Society of America, The Geology of North América, vol. H: 405-432.

RIOS, K. (2002). Estimación de Espesores Sedimentarios en el Graben de Espino a lo largo de dos Transectos Regionales en el área de Anaco, Estado Anzoátegui. Trabajo Especial de Grado, Geofísica. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela

ROCABADO, V. (2000). Períodos Fundamentales del Suelo de la ciudad de Caracas a partir de Mediciones de Ruido Ambiental. Tesis de Grado. Universidad Central de Venezuela. Pp. 87.

ROMERO, L. (2002). Interpretación Estructural del Alto de Pirital, Norte de Monagas Cuenca Oriental de Venezuela, utilizando datos sísmicos, gravimétricos y magnéticos. Trabajo Especial de Grado, Geofísica. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela

ROSALES, H. (1972). La falla de San Francisco en el Oriente de Venezuela. Bol. Geol. (Caracas), Publ. Esp. 5(4): 2322-506.

ROD, E. (1959). Application of principles of wrench-faults tectonics of Moody and hill to Northern South America. Geol. Soc. Am. Bull. 69:933-936.

SEED, R. B. y CETIN, K. O. (2001). Recent Advances in Soil Liquefaction Engineering and Seismic site response Evaluation. College of Engineering University of California, Berkeley March, Paper SPL-2.

SHERIFF, R. Encyclopedic Dictionary of Exploration Geophysics. Society of Exploration Geophysicists. 3ª edición. pp 241.

SCHLUMBERGER. (1997). “Evaluación de Formaciones en Venezuela”. Caracas.

- STOVER, L.** (1967) Palynological Dating of the Carrizal Formation of eastern Venezuela. Boletín Informativo, Asociación Venezolana de Geología, Minería y Petróleo, 10: 288-290.
- SOULAS, J-P., A. SINGER y C. ROJAS** (1981) Evaluación de la actividad reciente del sistema de falla Urica-San Mateo. Muelle de Jose-Planta de gas licuado. FUNVISIS para CORPOVEN S.A. Informe Inédito. 34 p + anexos.
- STEPHAN, J. F.** (1990). Paleodynamic Maps of the Caribbean. 14 <steps from Lias to Present, en: Hung, E. (1997) Foredeep and Thrust Belt interpretation of Maturín Sub basin, Eastern Venezuela Basin. Thesis for the degree of Master of Arts. LAGOVEN. 125 P.
- SUBITA, J. A.** (1968). Miocene Correlation the Maturín Sub basin. Assoc. Venez. Petrol., Informe. 4:131-139.
- URRIOLA, P. y A. ZINCK** (1972) Estudio de suelos preliminar. Cuenca del río Neverí, Edo. Anzoátegui. *Informe interno M.O.P.*, Dir. Gral. de Recursos Hidráulicos, Div. Edafología. 286 p + anexos.
- VIVAS, V.** (1985). Contribución al estudio de la Serranía Oriental de Venezuela, estratigrafía y tectónica de la región de Bergantín-Santa Inés (Estado Anzoátegui). Thesis 3eme Cycle. Univ. Bretagne Occidente.
- YOUNG, G., A. BELLIZZIA, H. RENZ, F. JOHNSON, R. ROBIE, y J. VALL** (1956). Geología de las Cuencas Sedimentarias de Venezuela y de sus Campos Petrolíferos. Bol. Geol. (Caracas), Pub. Esp. 2:140p.

APÉNDICES

APÉNDICE A.

GRAVÍMETRO AUTOGRAV CG-3

El Autograv es un gravímetro automatizado basado en microprocesadores y que tiene un rango de medición hasta de 7000 miligales y una resolución de lectura de 0.005 miligales. Esto permite que el equipo pueda ser utilizado para investigaciones de campo detalladas y/o estudios de larga escala regional o geodésicos. (Manual de equipo).

El Autograv CG-3 obtiene una lectura promediando continuamente una serie de muestras de un segundo. La lectura es mostrada en una pantalla de cristal líquido directamente en miligales. Los datos son almacenados en una memoria física del equipo y puede ser enviada a una impresora o computadora.

Cuando se prepara al gravímetro para una lectura, los sensores de “tilts” (pandeo) electrónicos proveen gran precisión y son más sencillos que las burbujas de nivel. El gravímetro despliega en pantalla la desviación de los sensores, lo que permite una perfecta nivelación. Debido a que estos sensores están hechos de cuarzo no magnético, el Autograv no se ve afectado por variaciones del campo magnético.

Antes de iniciar la adquisición de los datos gravimétricos en la zona de estudio se llevaron a cabo algunos procedimientos para garantizar el correcto funcionamiento del instrumento utilizado y asegurar la calidad de los datos obtenidos en campo.

Uno de los pasos previos a la adquisición de datos es la calibración del gravímetro, con el objetivo de verificar y garantizar la precisión de las lecturas obtenidas como el correcto funcionamiento del equipo, los cuales se realizaron de la siguiente manera:

1. **Compensación de Temperatura:** debe ser revisada y ajustada para comprobar la estabilidad de la temperatura arrojando valores que se encuentre entre los rangos recomendados (+1,-1), de no ser así, se busca ajustar con el Potenciómetro de Ajuste Fino para la compensación de temperatura hasta lograr colocar el valor de temperatura en cero.
2. **Ajuste de la Corrección de los “Tilts”:** La condición perfecta para el ajuste de los tilts es que ellos coincidan en cero definidos por la lectura digital de los niveladores y los “tilts” referidos a la horizontal definidos por la máxima del sensor. Para ello, se debe ajustar la sensibilidad del equipo por medio del teclado numérico y los sensores se ajustaran mecánicamente.
3. **Corrección de Deriva:** Para ello se niveló perfectamente el gravímetro y se colocó en MODE CICLING de forma que el equipo toma medidas automáticamente cada 600 segundos (15 minutos) durante 24 horas. Luego se transfirió a la data a la computadora y se graficó la lectura contra el período de tiempo en minutos.

APÉNDICE B.

GEOESTADÍSTICA

En los últimos años, la industria se ha dado a la tarea de buscar herramientas alternas en campos de las ciencias básicas como la matemática y la estadística; las cuales han sido útiles para mostrar características cualitativas de una gran variedad de fenómenos naturales así como también dar respuestas cuantitativas a cuestiones muy específicas.

La geoestadística ofrece una manera de describir la variabilidad espacial de los datos, rasgo esencial de muchos fenómenos naturales, a los fines de adaptar a las clásicas técnicas de regresión y así aprovechar más eficientemente este factor generado por un crecimiento en las exigencias.

Un aspecto muy importante en la ingeniería, es que la descripción de propiedades de los datos, tiene un impacto directo en las decisiones económicas que se realizan sobre los proyectos de exploración, producción y expansión urbana, como la disponibilidad de muestras o datos reales y las complejidades geológicas del ambiente deposicional que reflejan las marcadas relaciones espaciales en la distribución de una propiedad intrínseca a cada información.

La geoestadística se encarga de estudiar la continuidad espacial de los datos para capitalizarla, usarla y modelarla a los fines de proporcionar caracterizaciones heterogéneas de los datos a través de métodos de estimación de “kriging” y los algoritmos de simulación condicional estocástica. Como disciplina, proporciona instrumentos para manejar satisfactoriamente la mayoría de los problemas encontrados en los datos y ha resultado un excelente puente de integración para equipos multidisciplinados ya que proporciona un lenguaje común utilizable tanto por geólogos, petrofísicos y geofísicos.

Técnica de Kriging.

Es una técnica que proporciona una estimación lineal como una función de los valores de la variable en las localizaciones cercanas. Es de gran ventaja, ya que la estimación se acompaña por una cuantificación de incertidumbre, es decir la varianza del Kriging y los pesos usados en la estimación son determinados como una función entre la distancia estructural del valor y la localización a ser estimada de cualquier otro par de datos.

Se obtiene además una estimación que tiene en cuenta la posible anisotropía de la continuidad espacial del atributo.

ESTADÍSTICA

Es una técnica o conjunto de técnicas y métodos que nos van permitir recopilar, obtener datos para extraer información de un conjunto de datos o de un conjunto más grande de donde provienen los datos, se analizan y ordenan para luego obtener conclusiones.

A continuación se expone un breve resumen de los conceptos básicos y las técnicas geoestadísticas utilizadas para facilitar la comparación o interpretación de los resultados obtenidos:

- **Población:** es el conjunto de datos o medidas que se tiene el resultado obtenido después de hacer una medida particular a cada uno de los elementos del universo.

- **Muestra:** es un sub-conjunto representativo de la población. En lugar de examinar el grupo entero llamado población o universo, se examina una pequeña parte del grupo llamada muestra, sometiendo a una población a los efectos de una variable x .
- **Dato estadístico:** es un número que surge de una operación u operaciones (media, mediana, moda, desviación estándar y varianza).
- **Medidas de Tendencia Central:** Un promedio es un valor que es típico o representativo de un conjunto de datos. Como tales valores tienden a situarse en el centro del conjunto de datos ordenados según su magnitud, los promedios se conocen también como medidas de centralización. Se pueden definir varios tipos de medidas de centralización, las más comunes son la media aritmética, la mediana, moda.
- **Media:** es una medida de tendencia central y se le concibe como el valor promedio de la distribución. Es en realidad una media muestral del valor esperado (o esperanza) de la media real de toda la población o variable aleatoria X .

$$X = \frac{\sum x}{n} \quad (\text{B.1})$$

- **Mediana:** La mediana de una colección de datos ordenados en orden de magnitud es el valor medio o la media aritmética de los valores

medios en una matriz de datos simétrica ó asimétrica. Para determinar la mediana de un conjunto de datos este tiene que ser ordenado de forma ascendente o descendente.

$$Mediana = X_{\left(\frac{n+1}{2}\right)} \quad (\text{B.2})$$

La parte de $[n/2 + 1/2]$ representa la posición.

- **Moda:** La moda de una serie de números es aquel valor que se presenta con la mayor frecuencia, es decir el valor más común. La moda puede no existir, incluso si existe puede no ser única.

Medidas de dispersión.

Son aquellas que permiten retratar la distancia de los valores de la variable a un cierto valor central, permite identificar la concentración de los datos en un cierto sector del recorrido de la variable. Se trata de coeficiente para variables cuantitativas.

- **Rango:** es la diferencia de los valores del dato mayor menos el dato menor. Indicando poca dispersión en el caso de un valor pequeño o mucha dispersión para valores grandes, como también la existencia de valores extremos.
- **Desviación típica o estándar:** es la medida de dispersión más utilizada tanto en aspectos descriptivos como analíticos. Se define por la raíz cuadrada positiva de la varianza.

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \right]} \quad (\text{B.3})$$

- **Varianza:** describe la tendencia de una variable aleatoria a descarriarse del valor de su media. Matemáticamente se le conoce como el segundo momento de la variable X alrededor de su valor esperado. Es muy importante debido a que se utiliza para discutir la magnitud de los posibles errores en cualquier predicción que se haga y siempre se debe considerársela como una manera de medir dispersión.

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \right] \quad (\text{B.4})$$

Coefficiente de sesgadura.

Se calcula para determinar si la distribución es simétrica respecto a su valor medio o para conocer si la cola de los datos se orienta hacia la izquierda (sesgo negativo) o se orienta hacia la derecha (sesgo positivo).

Distribuciones de Frecuencias.

Cuando se dispone de un gran número de datos, es útil distribuirlos en clases o categorías y determinar el número de individuos pertenecientes a cada clase, que es la frecuencia de cada clase. Una ordenación tabular de los datos en clases o categorías, reunidas las clases con las frecuencias correspondientes a cada una, se conoce como distribución de frecuencias o tabla de frecuencias.

Marca de Clase.

Es un punto intermedio, el cual se obtiene promediando los sucesivos límites de clase o las sucesivas fronteras de clase.

Intervalos de Clase y Límites de Clase.

Es un rango de valores que define una clase, tal como 60-62 se conoce como un intervalo de clase.

Histogramas.

Consiste en una serie de rectángulos adyacentes que tienen, sus bases sobre un eje horizontal (el eje X) con centros en las marcas de clase y longitud igual al tamaño de los intervalos de clase. Y superficies proporcionales a las frecuencias de clase.

Diagrama de caja “*Boxplot*”

Es una representación gráfica de los datos que permite analizar conjuntamente una serie de medidas numéricas, tales como el mínimo, el máximo, la media y los cuartiles. En este gráfico es posible observar características de los datos como simetría y posibles observaciones atípicas.

APÉNDICE C.

ANÁLISIS ESPECTRAL

El método de análisis espectral de los datos gravimétricos tienen como objetivo principal estimar las profundidades de origen de las fuentes de anomalía gravimétrica en función de las relaciones que existen entre la amplitud y la fase, la cual consiste en una Transformada de Fourier del conjunto de datos de entrada en el dominio espacial (o tiempo) al dominio de la frecuencia (o del número de ondas). Con esta información dentro del área de estudio, él interprete puede efectuar una mejor comprensión de las fuentes profundas con respecto a las fuentes superficiales.

El programa que nos permite determinar la profundidad a la cual está cada fuente se llama MAGMAP de GEOSOFT (modulo Oasismontaj), es un algoritmo matemático que se basa en la aplicación de filtros, en el dominio de Fourier, a una malla de datos en el dominio del espacio para transformarlo al dominio del número de ondas. Para discriminar el ruido de la información, es usado para resaltar información de interés en un modelo.

El algoritmo del espectro de estos datos puede ser interpretado para determinar estadísticamente la profundidad de los topes de las fuentes usando la siguiente relación:

$$\text{Log } E(r) = 4\pi hr \quad (\text{C.1})$$

La profundidad a que se encuentra la fuente anómala h , se determina por la siguiente expresión:

$$h = s / 4\pi \quad (\text{C.2})$$

donde, s es la pendiente de la recta tangente del logaritmo del espectro, que se obtiene a través de:

$$s = \arctg(\varphi) \quad (\text{C.3})$$

donde φ es el ángulo que forma la recta con el eje x .

Las estimaciones de profundidad obtenidas pueden ser utilizadas como una aproximación de las poblaciones de las fuentes gravimétricas. El programa permite crear una vista del espectro radialmente promediado y una curva de profundidades estimadas, la cual se obtiene usando cinco puntos del archivo para calcular la pendiente de cada punto que conforma la curva del espectro de energía.

Siguiendo lo expuesto por Battacharya (1966), cuando se grafica en una escala lineal la frecuencia versus el logaritmo de la energía, se distinguen intervalos de frecuencia donde la variación logarítmica de la energía con la frecuencia puede ser representado por una función lineal, con amplitudes decreciendo cuando se incrementa la frecuencia. Por lo tanto, la pendiente de una línea recta es proporcional a la profundidad del tope del cuerpo.

La Transformada de Fourier de una función en el dominio del espacio $f(x,y)$ se define matemáticamente por:

$$f(\mu, \nu) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x,y) * e^{-(\mu x + \nu y)} dx dy \quad (\text{C.4})$$

donde μ es número de ondas o frecuencia angular en la dirección de las X y ν es el número de ondas en la dirección de las Y , medidos en radianes por metro. Estos están relacionados con frecuencias espaciales f_x y f_y las cuales vienen expresadas en ciclos por metro.

A través del uso de la Transformada Rápida de Fourier (FFT) se puede cambiar el dominio de una malla dado en el espacio a un dominio en el número de ondas. Los datos llevados al dominio del número de ondas son llamados Transformada y está compuesta por números de onda, los cuales se expresan en unidad de ciclos/metros y tienen una componente real y una imaginaria. Al usar la Transformada Rápida de Fourier se cumple que una función en el dominio del espacio tiene una única respuesta en el dominio del número de ondas, y viceversa. Así mismo se tiene que la suma de dos funciones en el dominio del espacio es equivalente a la suma de sus Transformadas.

El espectro de energía es una función bidimensional de la energía relativa al número de onda y la dirección. Dicho espectro promediado radialmente es una función del número de onda y se calcula a partir del promedio de la energía en todas las direcciones para un mismo número de onda.

La Transformada de Fourier de un campo potencial causado por un cuerpo prismático tiene una amplitud de espectro. La ubicación de su punto máximo es una función de la profundidad de las superficies del tope y la base, y sus amplitudes son definidas por sus densidades o magnetización. El número de onda del punto máximo viene dado por la siguiente expresión:

$$\omega' = [\ln (h_b / h_t)] / [h_b - h_t] \quad (C.5)$$

donde ω' es el número de ondas del punto máximo en radianes/metros; h_b es la profundidad de la base y h_t es la profundidad del tope. Así mismo el espectro de un prisma con tope y base es:

$$f(\mu, \nu) = e^{-h_t * r} - e^{-h_b * r} \quad (C.6)$$

$$r = \sqrt{(\mu^2 + \nu^2)} \quad (C.7)$$

APÉNDICE D.

GM-SYS

La integración de la geología de superficie fue evaluada ensayando distintos contrastes de densidad en los modelos gravimétricos propuestos, con el fin de tener secciones geológicas del subsuelo ajustando a todos los datos disponibles del área. Para dicho proceso se utilizó el programa “GM-SYS” el cual permite calcular la respuesta gravimétrica a partir de modelos geológicos. GM-SYS representa una manera fácil e interactiva de crear y manipular los modelos a partir de los datos reales, con ayuda de una serie de comandos que permite manipular la geometría y los valores de densidad, permitiéndole al usuario crear diversas soluciones. Además, sus rápidos cálculos agilizan el proceso de interpretación y permiten probar rápidamente distintas alternativas, ya que cada modelo geológico hipotético genera una respuesta geofísica diferente.

El programa GM-SYS usa un modelo bidimensional y plano de la Tierra para los cálculos gravimétricos, pues cada bloque o unidad estructural tiene la particularidad de permitir extender los modelos al infinito negativo y positivo en dirección perpendicular al perfil, lo cual permite un mejor ajuste en las curvas observadas y calculadas o dejarlos con sus dimensiones exactas. La Tierra es asumida para tener topografía pero no curvatura.

El procedimiento empleado para calcular la gravedad se basa en los métodos de Talwani et al. (1959), y Talwani y Heirtzler (1964), y se utilizan algoritmos descritos en Won y Bevis (1987). Los cálculos bidimensionales están basados en Rasmussen y Pedersen (1979). Se han utilizado los Métodos de NGA para mejorar la eficiencia y velocidad de los cálculos y hacerlos más adaptados a un ambiente interactivo. Es compatible con Windows 95/NT, Windows 3.11, Unix y con la plataforma MS-DOS.

Para la utilización del programa GM-SYS se requiere utilizar tres archivos para poder generar el modelo geológico con los perfiles de gravedad observada y calculada, los cuales son los siguientes:

- ✓ **Archivo de Superficie “Surface (.SUR)”**: Permite crear la superficie del modelo, que unido con el archivo de dibujo describe la geología. Contiene la información de superficie de todos los datos relacionados con la descripción de la geología, como la orientación del perfil, rumbo de las estructuras, el número de capas, los valores máximos y mínimos de X, Y y Z, y el número de puntos de la superficie.
- ✓ **Archivo de Dibujo “Block (.BLK)”**: contiene la información relacionada con el número de cuerpos involucrados en el modelo con sus respectivas densidades.
- ✓ **Archivo de Gravedad “Gravity (.GRV)”**: contiene los datos almacenados de los perfiles tanto de gravedad observada como calculada, correspondientes a cada estación.

Con la integración de los tres archivos se procede de manera automática a realizar los cambios concernientes para lograr el ajuste de las curvas de gravedad teórica y calculada a través de las modificaciones en el modelo geológico propuesto (en cuanto a la geometría y densidades).

APÉNDICE E.

PROCESAMIENTO DE RUIDO AMBIENTAL

En esta etapa fue necesario convertir los datos del formato del sismógrafo ORION (cuyo formato interno de almacenamiento es un archivo RingBuffer preasignado), al formato ASCII, el cual es uno de los formatos de entrada del programa empleado para el procesamiento de datos de ruido ambiental; para lo cual es necesario realizar una secuencia de procesamiento que permita transformar estos datos en el formato de interés.

CONVERSIÓN DE DATOS ORION ASCII

RBTRIM: primer comando a ejecutar, consiste en extraer del buffer asignado de grabación los datos almacenados, reduciendo el tamaño de éstos si afectan la información original, precedidos de la letra R. Se generan de esta manera 4 archivos por cada punto de medición, los cuales son:

R620.BHE: correspondiente a la componente Este-Oeste

R620.BHN: correspondiente a la componente Norte-Sur

R620.BHZ: correspondiente a la componente vertical

R620.SOH: correspondiente a la información del estado del equipo.

Para una mayor organización se recomienda crear previamente unas carpetas individuales para agrupar cada una de las componentes.

EXTRACTP: recupera los datos que se encuentran en el buffer y crea un archivo por componente, en donde los archivos mantendrán su nombre, pero estarán precedidos por la letra X (formato X5 Nanometrics).

X620.BHE

X620.BHN

X 620.BHZ

X5DECOMP: descomprime los archivos de entrada del formato X5 Nanometrics obteniéndose como archivo de salida un archivo de formato Y5 Nanometrics, ahora estarán precedidos por la letra Y pero con el nombre original de entrada.

Y620.BHE

Y620.BHN

Y620.BHZ

Y5DUMP: convierte los archivos que se encuentran en formato Y5 Nanometrics finalmente en formato ASCII.

CONVERSIÓN DE DATOS ASCII A FORMATO UTILIZADO POR EL PROCESAMIENTO

1. Renombrar las carpetas que contienen los archivos ASCII en el siguiente orden:

1-bhz

2-bhe

3-bhn

2. Ejecutar el programa Convertir.vi: el cual posee una interfase grafica
3. Ejecutar el programa de modo continuo, esto quiere decir de manera sucesiva: 1-bhz luego 2-bhe y finalmente 3-bhn. Una vez concluida la lectura del programa, se procede automáticamente a guardar bajo una extensión .dat, los cuales serán guardados en una carpeta.
4. Con el programa Ultraedit, se realizan los ajustes finales a los datos procesados ya que permite trabajar con un gran volumen de datos en corto tiempo:
 - Cambiar el formato del separador decimal, que por defecto es una coma (,) a un punto (.)
 - Agregar un encabezado a cada uno de los archivos
 - Eliminar los datos superiores a 299.990 en todos los archivos.
 - Guardar los archivos con el mismo nombre y bajo la extensión .bat.
5. Utilizando el programa Kaleidagraph, se seleccionará a partir de un registro de 5 minutos, una o más ventanas de procesamiento a objeto de obtener la relación H/V.
 - En la selección de ventanas de procesamiento se utilizan los formatos 300.qpc, patrón de graficación utilizado por el segundo.
 - Posteriormente con el archivo 3ch.qpc, abrir uno a uno los datos contenidos en la carpeta, en donde aparecerá la siguiente ventana:
 - Finalmente seleccionamos Run y en ella observamos las tres componentes de grabación y es aquí donde se selecciona la ventana de 30 segundos de procesamiento para H/V y se buscan un mínimo de tres opciones para verificar cual es la más optima. Esta ventana se selecciona en donde las condiciones son estables, sin presencia de valores extremos (picos) (Figura E.1).

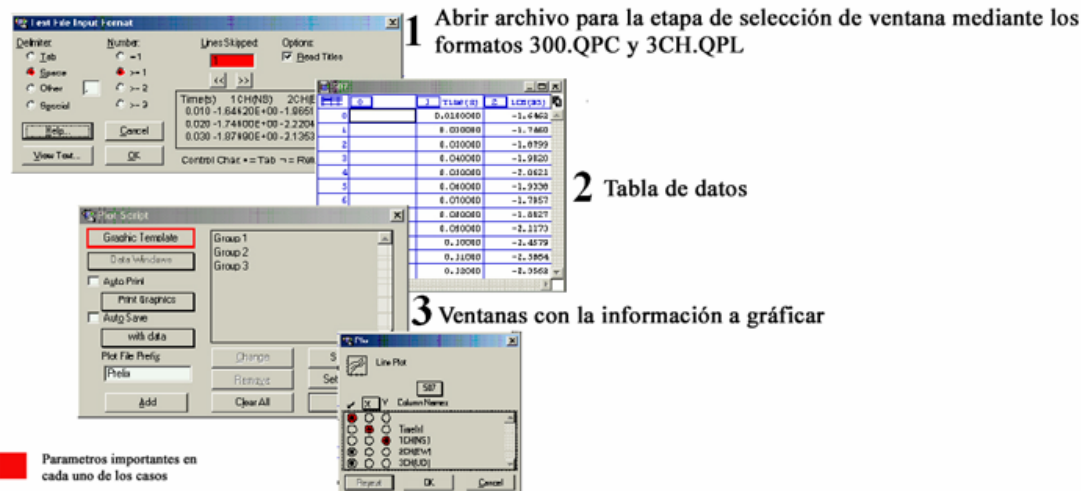


Figura E.1. Diferentes ventanas de trabajo utilizadas para el procesamiento de ruido ambiental, por el método convencional KNGW.

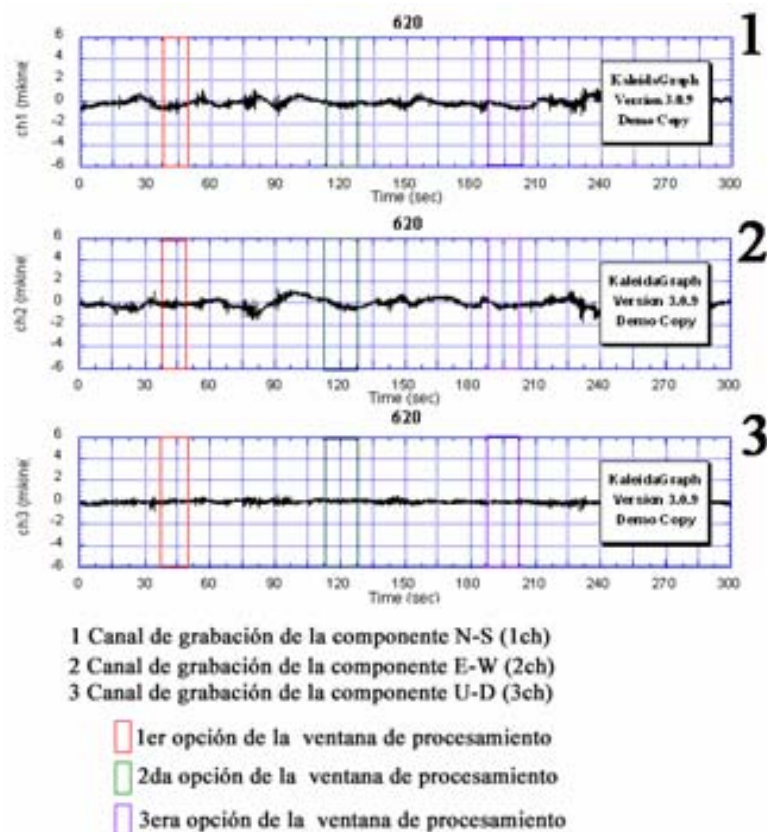


Figura E.2. Datos graficados de las tres componentes en una sola estación, se resaltó una de las opciones seleccionadas mediante una ventana.

OBTENCIÓN DE VALORES DE PERIODOS Y AMPLIFICACIÓN.

6. Seleccionado el rango de procesamiento es necesario editar un archivo de texto con la finalidad de indicar el número de archivos a procesar y los tiempos de inicio para cada una de las ventanas seleccionadas previamente, este file tiene el nombre de HV y no debe ser cambiado.
7. El archivo hv.exe es un archivo de entrada que se encarga de correr los datos a partir de los valores de tiempo inicial de procesamiento, por lo que debe encontrarse en la misma carpeta, generando archivos de salida de extensión .SP
8. Con los archivos obtenidos, se utiliza nuevamente el programa Kaleidagraph, en esta oportunidad con los formatos prediseñados:
 - 1.QPC: el cual genera los gráficos de Espectro de Fourier
 - 2.QPL: se obtienen los resultados unificados en una sola grafica. Ir a la carpeta que contiene los datos y abrir uno a uno.
 - Finalmente seleccionamos Run y obtenemos las siguientes graficas: en la grafica superior se aprecian los espectros de Fourier para cada una de las componentes, mientras que en la parte inferior se observa la relación H/V para el punto analizado, en donde se obtendrán los valores de periodo y amplificación relativa. Las consideraciones para obtener el valor del período se basan en los siguientes criterios:

Criterio 1: Los gráficos presentan una zona de ruido o altas frecuencias, donde las curvas de cada componente e inclusive la relación H/V, no son estables. Por lo tanto se deben considerar los valores que se encuentren fuera de la zona al obtener el valor del periodo.

Criterio 2: En la gráfica de Periodos vs. Espectro de Fourier, donde la curva de la componente UD presenta valores de factor de amplificación menores que los valores de las curvas de las

componentes horizontales (NS y EW), obteniendo el intervalo de tiempo.

Criterio 3: En la gráfica de Períodos vs. Relación H/V, se ubica el pico con mayor valor de amplificación de la curva dentro del intervalo de interés.

Criterio 4: Se tiene presente la ubicación de cada estación, considerando la disposición de los sedimentos con respecto a la roca, tales como: se esperan valores bajos de períodos en los puntos ubicados cerca de la roca (poco espesor de sedimentos) y altos valores de períodos en las zonas más cerca de la costa (grandes espesores de sedimentos).

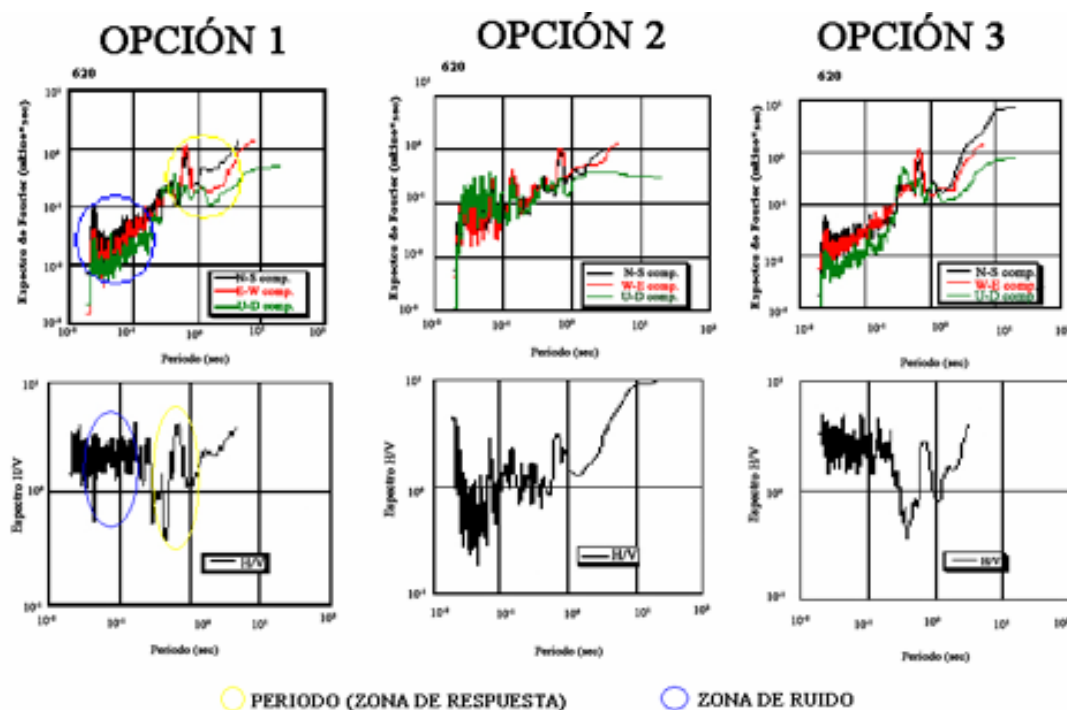


Figura E.3. Gráfico superior del espectro de Fourier para las componentes NS, EW, UD vs. Período y en el gráfico inferior se observa el Período vs. H/V.

9. Los valores de periodos del suelo fueron almacenados en una hoja de cálculo junto con el nombre de la estación y las coordenadas para realizar el mapa de periodos fundamentales de la zona de estudio.

PROCESAMIENTO DE RUIDO AMBIENTAL POR EL METODO SESAME

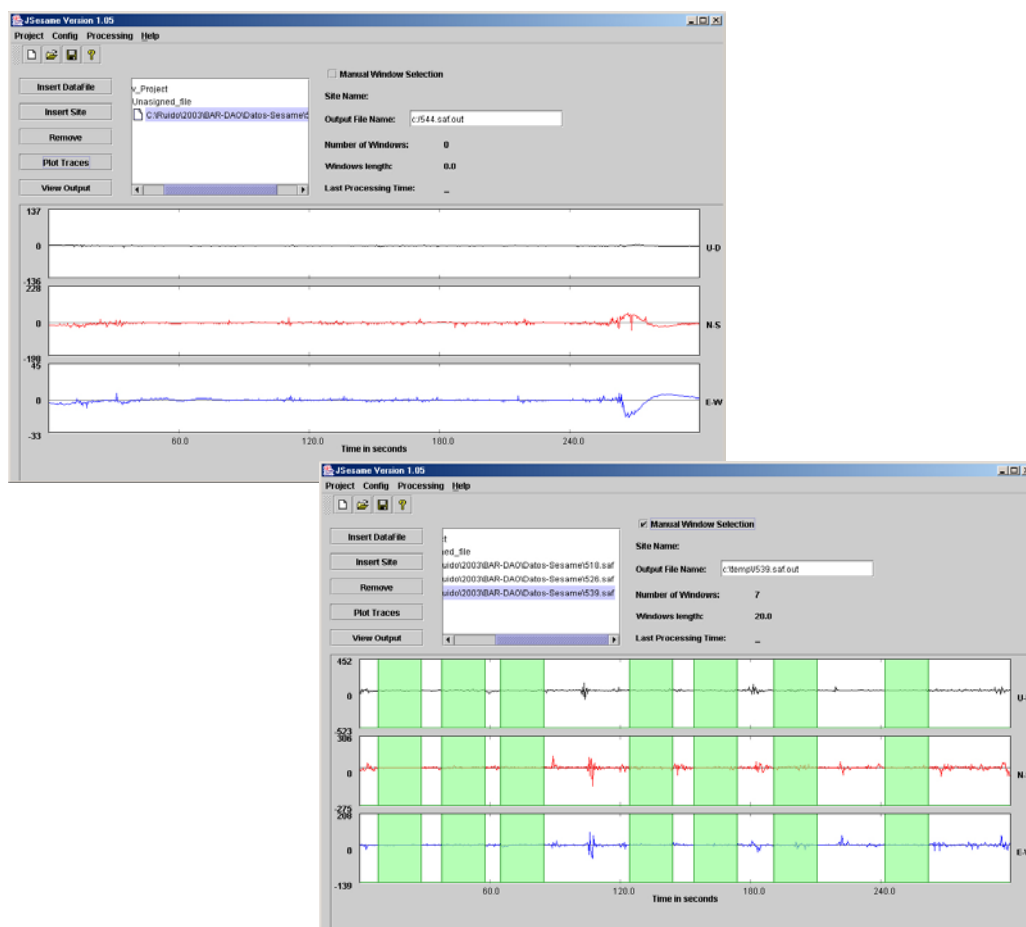


Figura E.4. Selección de ventanas para el procesamiento de dicha estación.

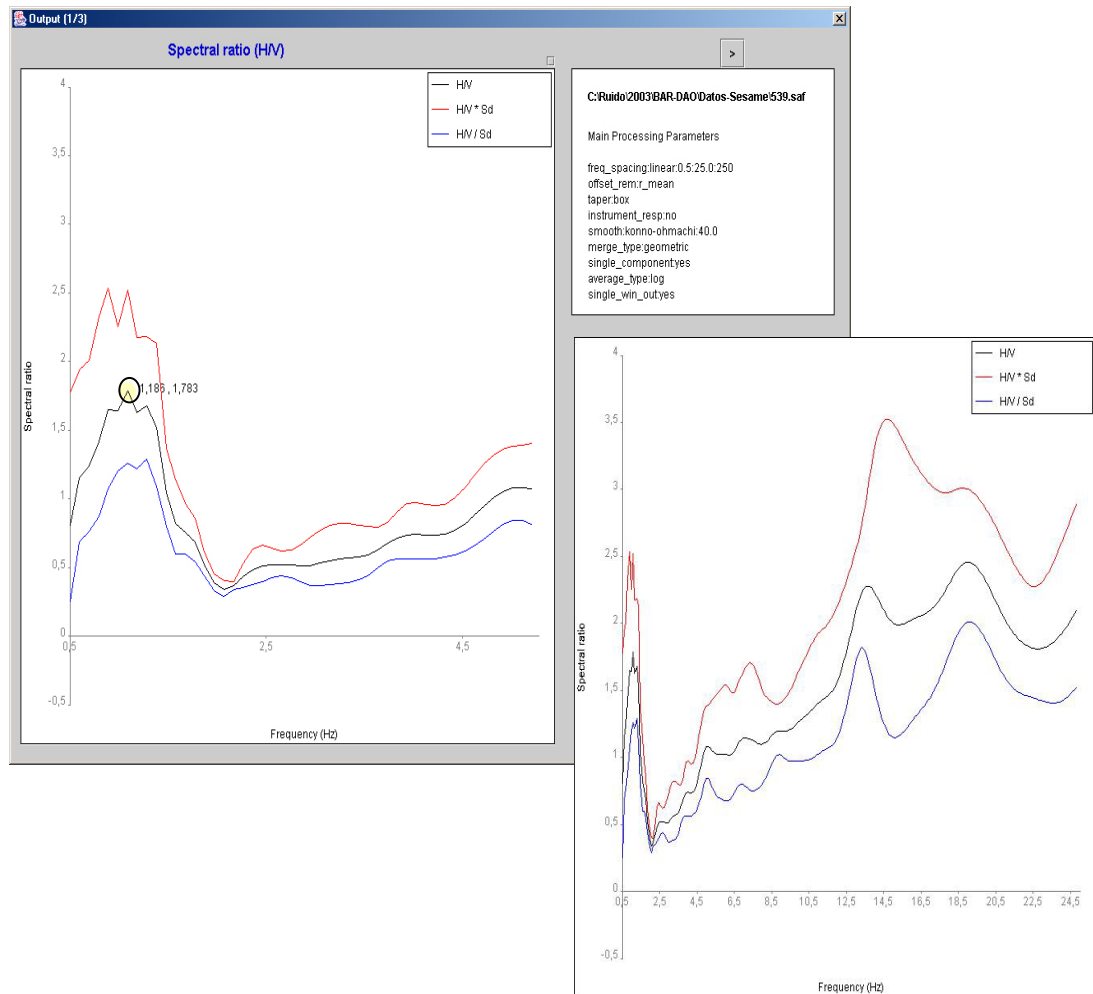


Figura E.5. Selección del periodo por medio del método SESAME

ANEXOS

ANEXO 1. PLANILLAS DE DATOS GEOTECNICOS

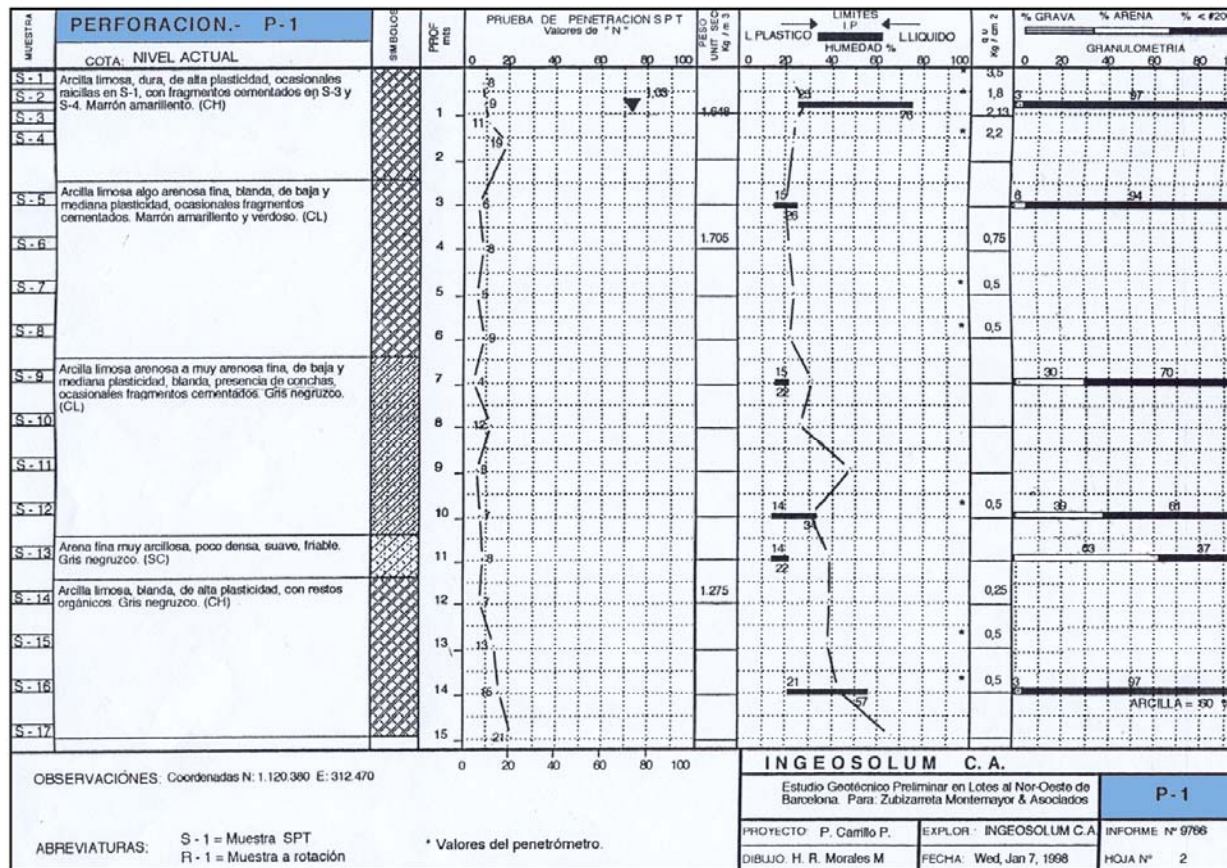


Figura 1. Planilla Geotécnica correspondiente a la perforación P-1.

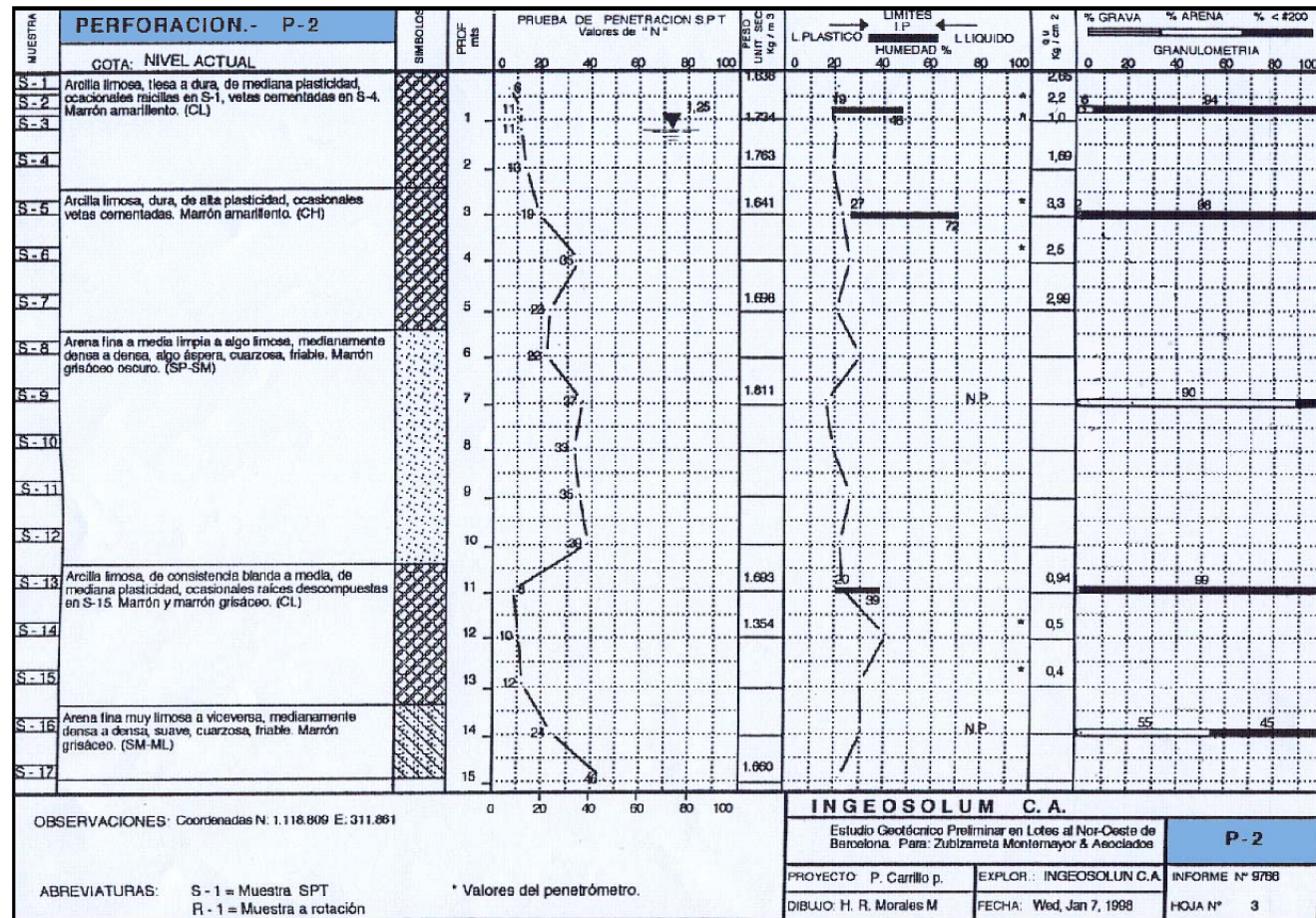


Figura 2. Planilla Geotécnica correspondiente a la perforación P-2.

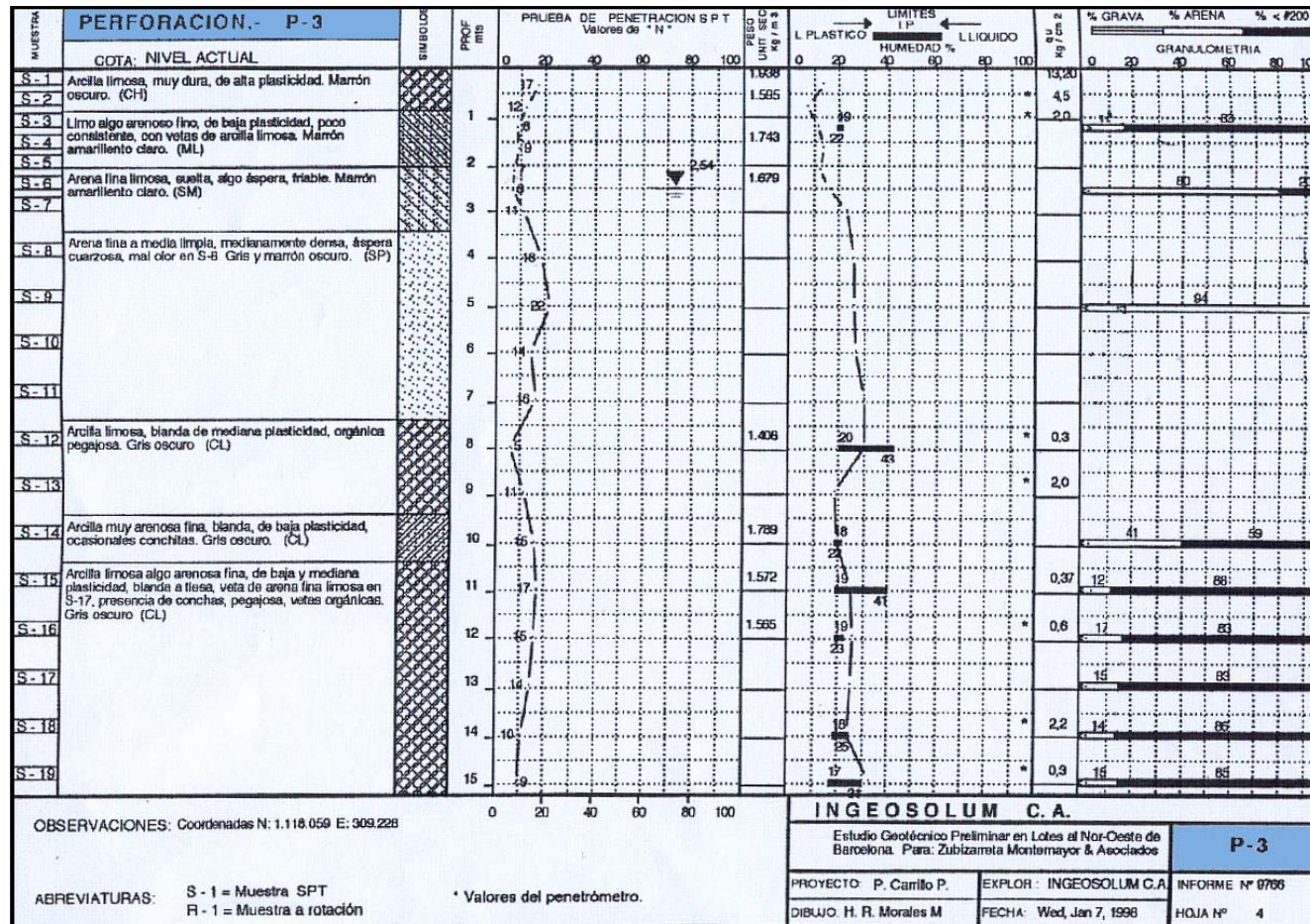


Figura 3. Planilla Geotécnica correspondiente a la perforación P-3.

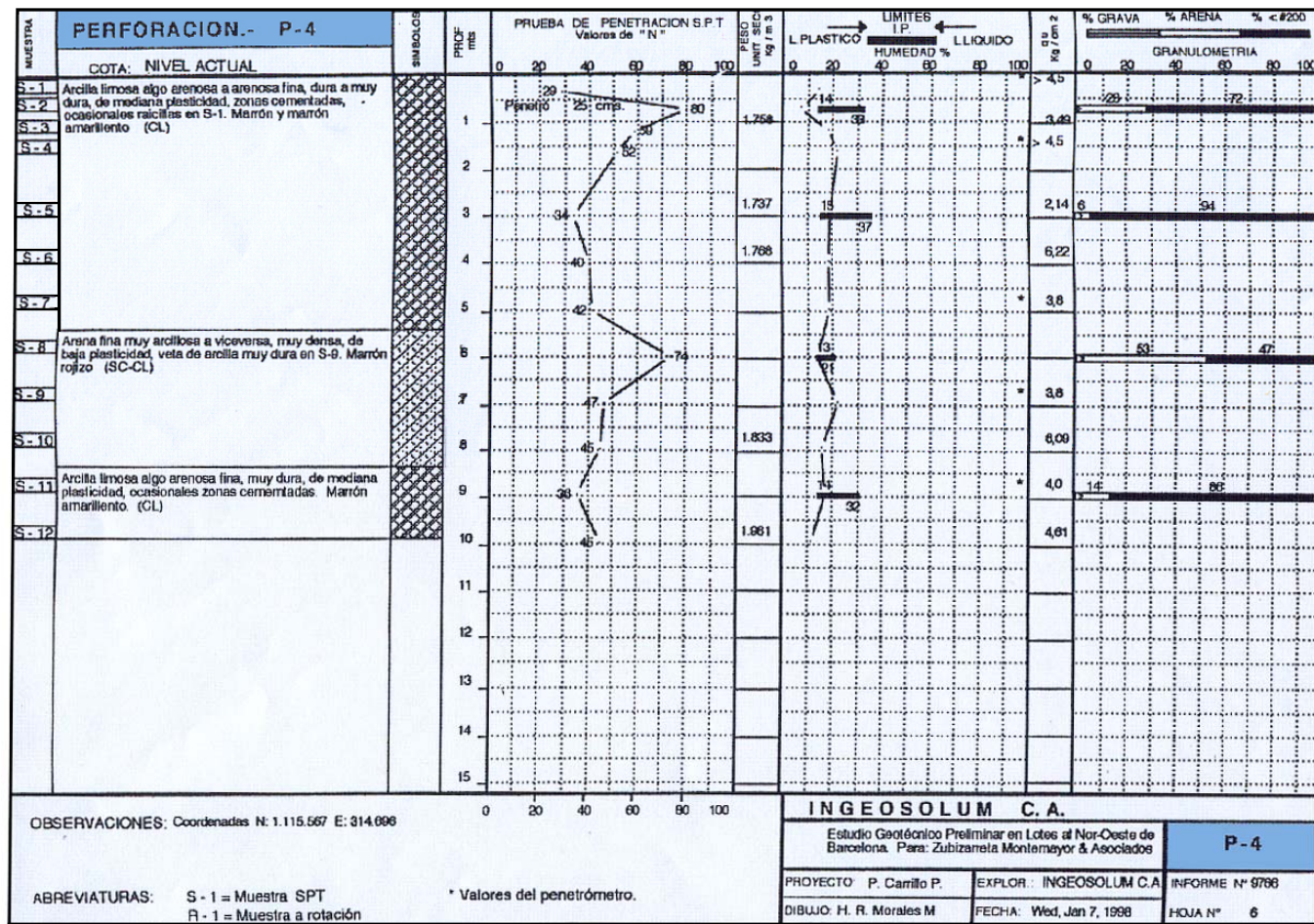


Figura 4. Planilla Geotécnica correspondiente a la perforación P-4.

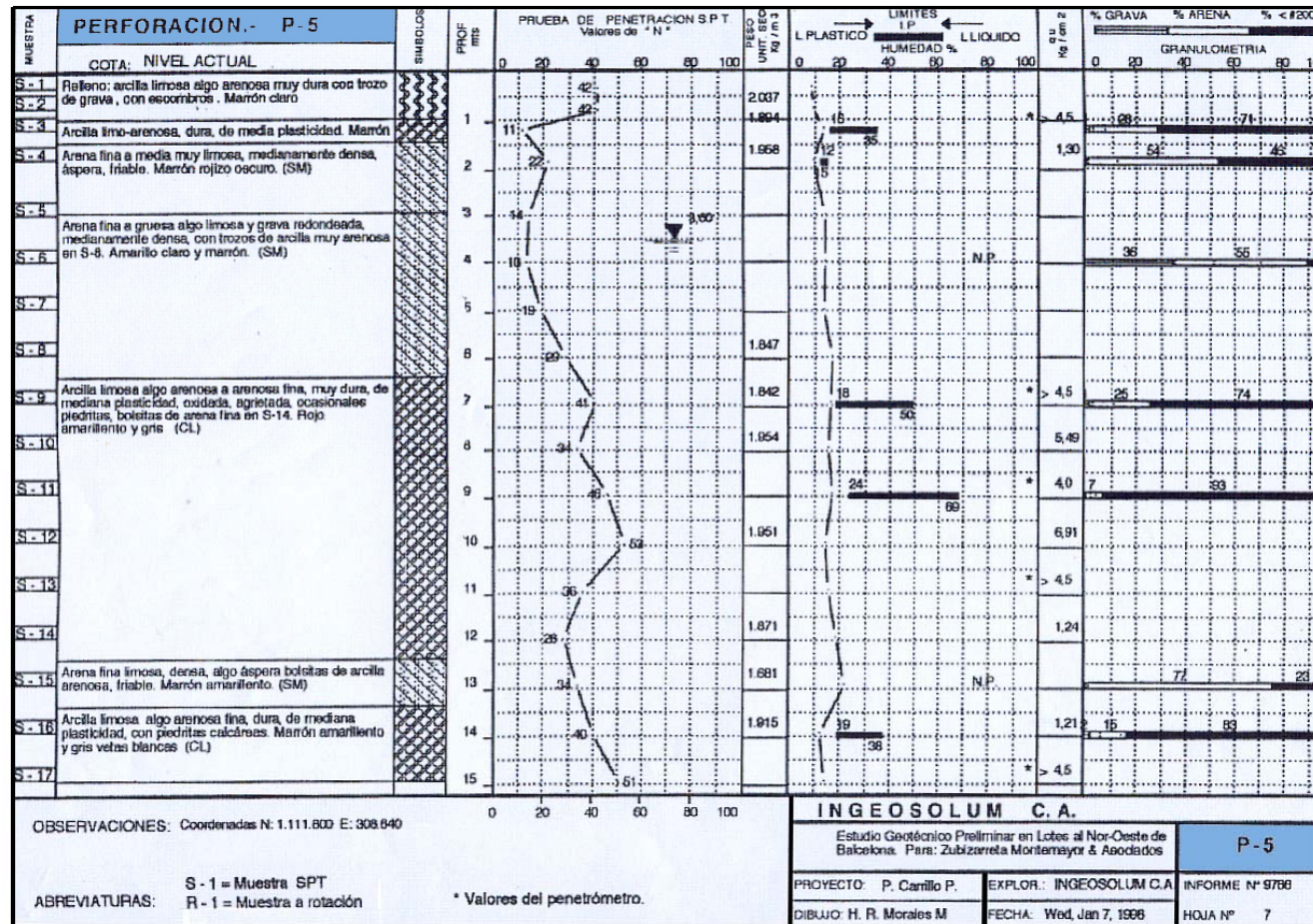


Figura 5. Planilla Geotécnica correspondiente a la perforación P-5.

MUESTRA	COTAS	DESCRIPCION	COMETURAS O SECUENCIAS RELATIVAS	GRAFICO DE PERFORACION		HUMEDADES Y PLASTICIDAD		GRANULOMETRIA		PROPIEDADES FISICAS				
				INDICE DE PERFORACION	RECUPERACION (%)	L. PLASTICO	L. LIQUIDO	% FINO	% ARENA	% GRAVA	q _s	δ	G	
		LITOLOGIA		IN	N	W _N	W _L	IP	mm	mm	mm	kg/cm ²	t/m ³	G
S-0	0	RELLENA + CAPA VEGETAL			15									
S-1	1	ARCILLA de medio a alta plasticidad, arenosa fina, con cristales de yeso diseminados. De color marrón con manchas rojizas y grises dispersas. (CL-CH)	Dura	1	25	50.2	23.5		98	2		15.0*	2.08	
S-2	2			40	26.1			14.6*						
S-3	3			19	46.2			4.2*						
S-4	4			9	23.0			1.3*						
S-5	5			19				1.0*	2.14					
S-6	6		Dura	6	19						2.2*			
S-7	7		Muy Dura	7	39						3.2*			
S-8	8	38					2.8*							
S-9	9	ARENA de grano fino, cuarzosa, algo arcilloso, de color marrón. (SC)	Compacto	9	30				12	88				
S-10	10	53												

Ubicación: AEROPUERTO DE BARCELONA EDO. ANZOATEGUI				CCI CONTEMPORANEO INTERNACIONAL INVERSIONES C.A.			
Progreso	Cota	Long	Nivel de agua	Ferre	Celda martillo	Peso	
		10.0 m	3.30 m	Bw	76 cm	635 kg	
Observaciones:							

SISTEMAS DE MUESTREO		AGUA		LABORATORIO	
S. Cuchara	perforada	✓	Nivel	G. Peso específico	W _c Compresión simple (o Penetrómetro)
R. Retalida	N. No recuperada	✓	Pérdida total	T. Pasa alfileres natural	α. Ángulo de fricción - c. cohesión
L. Per. Interno		✓	Pérdida parcial	T ₂ Pasa alfileres	

Revisado por:	ESTUDIO GEOTECNICO DEL SUBSUELO PARA EL DISEÑO DE FUNDACIONES		
Ingeniero de consulta:	ESTACION RADIO BASE AEROPUERTO DE BARCELONA ESTADO ANZOATEGUI		
Elab. J.M.	Totales	Perforación	Hoja 3
Fecha ABRIL 98	Nº 9804-5	P-1	

Figura 6. Planilla Geotécnica correspondiente a la perforación realizada en el aeropuerto de Barcelona.

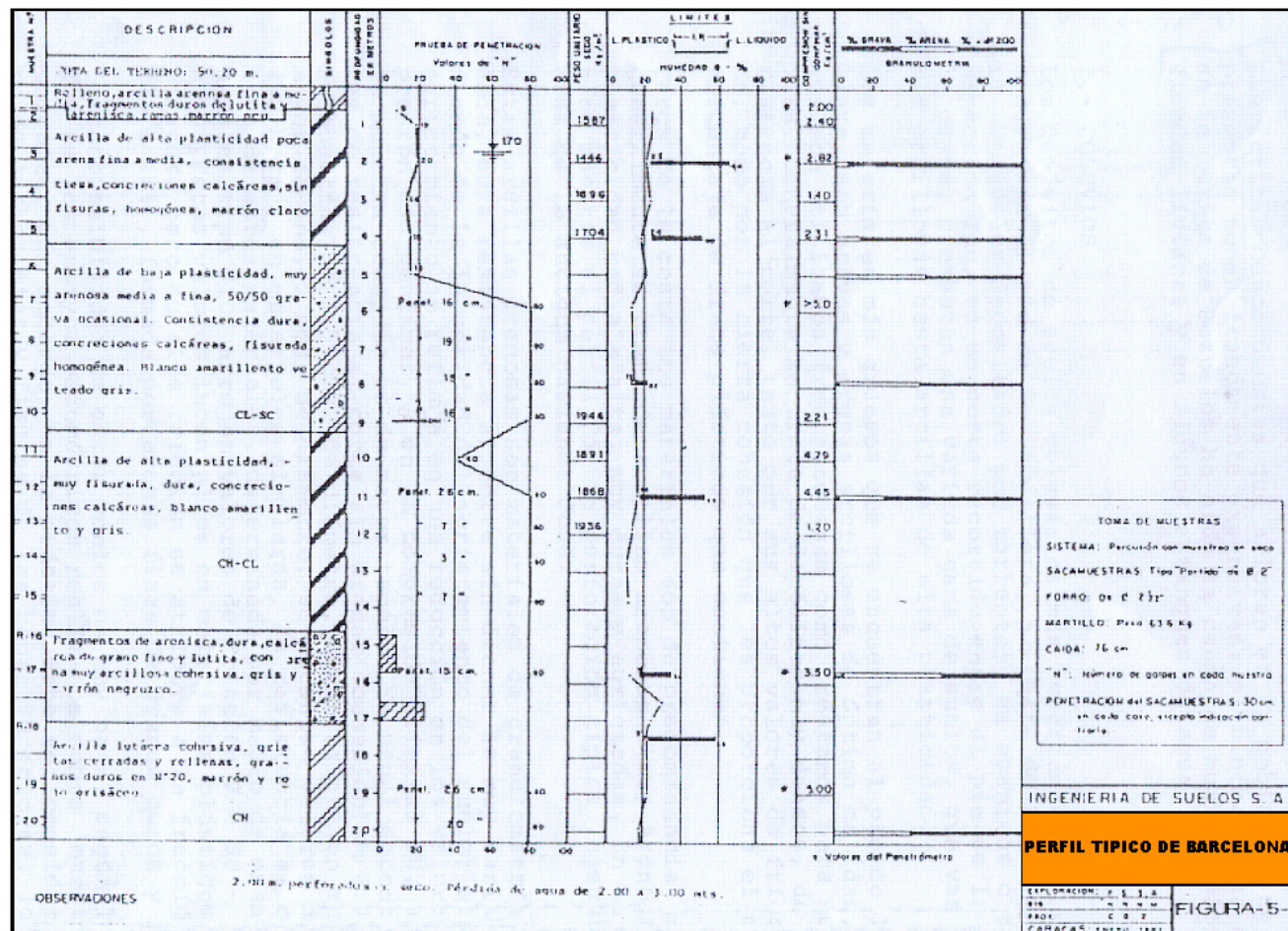


Figura 7. Planilla Geotécnica correspondiente al perfil típico de Barcelona.

ANEXO 2. DATOS DE ANOMALIAS DE BOUGUER

Tabla 12. Datos de Anomalías de Bouguer con sus respectivos Regionales y Residuales de cada una de las estaciones adquiridas.

Estación	Longitud (UTM)	Latitud (UTM)	Latitud	Longitud	Altura (m)	A. Bouguer (mgal)	A. Residual 2 (mgal)	A. Regional 2 (mgal)
AER-BARC	315464.800	1118197.458	-64.41087	10.06289	6.1	-38.393210	-2.9839360	-35.4092740
501	315765.447	1115039.228	-64.40583	10.04462	12.0	-33.682980	1.7716450	-35.4546250
502	315810.397	1114518.027	-64.40568	10.04292	12.0	-34.134450	1.2876890	-35.4221390
503	315854.750	1113994.456	-64.40552	10.04122	12.0	-34.072090	1.3120380	-35.3841280
504	315345.803	1113937.144	-64.41119	10.04102	12.0	-34.278580	0.7875595	-35.0661395
505	315900.454	1113504.700	-64.40536	10.03562	12.0	-34.222770	0.9542274	-35.1769974
506	315409.480	1113398.638	-64.41097	10.03527	12.0	-34.517040	0.2613907	-34.7784307
507	315493.446	1112916.991	-64.41069	10.0337	12.0	-35.044200	-0.3478470	-34.6963530
508	315925.306	1112961.649	-64.40527	10.03386	12.0	-34.881960	0.2175140	-35.0994740
509	315983.761	1112434.446	-64.40507	10.03214	12.0	-35.430530	-0.4006157	-35.0299143
510	315518.035	1112323.505	-64.4106	10.03177	12.0	-35.386680	-0.8095055	-34.5771745
511	317178.286	1112122.766	-64.40115	10.03115	11.0	-35.502690	0.0272102	-35.5299002
512	316602.906	1112072.891	-64.40303	10.03098	12.0	-35.582500	-0.3518181	-35.2306819
513	316017.528	1112023.669	-64.40495	10.03081	13.0	-35.411540	-0.4444656	-34.9670744
514	315517.949	1111963.336	-64.41059	10.0306	13.0	-35.132110	-0.6335602	-34.4985498
516	316087.110	1111486.324	-64.40472	10.02506	16.0	-34.648080	-0.0246239	-34.6234561
517	316134.988	1110959.177	-64.40455	10.02334	16.0	-34.778010	-0.2591820	-34.5188280
518	314989.138	1111936.981	-64.41233	10.03051	13.0	-34.962270	-0.5282822	-34.4339878
519	314935.874	1112442.206	-64.41251	10.03215	12.0	-35.154720	-0.6077080	-34.5470120
520	314427.672	1112419.908	-64.41418	10.03207	12.0	-35.251020	-0.7173729	-34.5336471
521	314894.393	1112950.931	-64.41266	10.0338	12.0	-34.902960	-0.2475204	-34.6554396
522	314850.491	1113446.021	-64.41281	10.03542	12.0	-34.686760	0.0692291	-34.7559891
523	314818.763	1113906.634	-64.41292	10.04091	12.0	-34.574890	0.4772873	-35.0521773
524	314753.686	1114513.386	-64.41315	10.04289	12.0	-34.441600	0.7003784	-35.1419784
525	311865.869	1110926.673	-64.43056	10.02317	14.0	-34.460410	0.9339638	-35.3943738
526	311820.333	1111440.177	-64.43073	10.02484	13.0	-33.871170	1.7645030	-35.6356730
527	311774.218	1111954.870	-64.43089	10.03051	9.0	-34.672860	1.6401670	-36.3130270
528	311700.496	1112699.343	-64.43114	10.03293	8.0	-34.502170	2.1164210	-36.6185910

Estación	Longitud (UTM)	Latitud (UTM)	Latitud	Longitud	Altura (m)	A. Bouguer (mgal)	A. Residual 2 (mgal)	A. Regional 2 (mgal)
529	312950.077	1110767.335	-64.423	10.02267	6.0	-35.358420	-1.1991460	-34.1592740
530	312880.185	1111575.864	-64.42325	10.0253	13.0	-34.627380	-0.1549873	-34.4723927
532	315195.837	1114844.573	-64.4117	10.04397	13.0	-34.320050	0.8608017	-35.1808517
533	312083.100	1112992.836	-64.42589	10.03389	9.0	-34.881550	0.7907562	-35.6723062
534	312834.920	1112030.619	-64.4234	10.03078	10.0	-35.416590	-0.3844566	-35.0321334
535	312792.352	1112551.224	-64.42355	10.03247	10.0	-35.191390	0.0125694	-35.2039594
536	312725.482	1113147.314	-64.42378	10.03441	10.0	-35.074190	0.3268166	-35.4010066
537	313186.608	1113616.043	-64.42228	10.03594	12.0	-35.515750	-0.1857109	-35.3300391
538	313577.286	1113883.399	-64.421	10.04082	12.0	-34.648850	0.8711433	-35.5199933
539	314113.458	1114199.845	-64.41525	10.04186	12.0	-34.838400	0.3101349	-35.1485349
542	313448.529	1110491.797	-64.42136	10.02178	15.0	-34.594730	-0.6861191	-33.9086109
543	313970.753	1110149.095	-64.41564	10.02067	15.0	-34.366500	-0.8243904	-33.5421096
544	316220.594	1109988.601	-64.40425	10.02019	18.0	-34.134260	0.1750183	-34.3092783
545	315671.085	1109945.129	-64.41006	10.02003	17.0	-34.264390	-0.6009979	-33.6633921
546	313643.499	1112819.150	-64.42076	10.03335	11.0	-34.594440	0.3668747	-34.9613147
547	313150.445	1112769.497	-64.42238	10.03319	10.0	-34.882310	0.2390442	-35.1213542
548	313860.351	1112337.993	-64.42004	10.03179	12.0	-34.833200	-0.0617371	-34.7714629
549	313915.306	1111821.481	-64.41586	10.03011	13.0	-35.221000	-0.8126793	-34.4083207
550	314451.292	1111869.738	-64.41409	10.03028	12.0	-35.201690	-0.8006592	-34.4010308
551	313410.564	1111788.498	-64.42151	10.026	13.0	-34.722790	-0.3551369	-34.3676531
552	313968.977	1111283.616	-64.41566	10.02436	15.0	-34.761320	-0.8552017	-33.9061183
553	314009.496	1110817.616	-64.41553	10.02285	15.0	-34.411680	-0.6505661	-33.7611139
554	313536.414	1110768.443	-64.42108	10.02268	15.0	-33.858230	0.1263466	-33.9845766
555	314519.621	1110866.010	-64.41385	10.02301	16.0	-34.514370	-0.7308197	-33.7835503
556	315058.955	1110876.879	-64.41208	10.02306	16.0	-34.370730	-0.5367851	-33.8339449
557	315125.820	1110384.640	-64.41185	10.02146	16.0	-34.181760	-0.4852486	-33.6965114
558	315162.079	1109887.217	-64.41173	10.01584	17.0	-33.772090	-0.6392250	-33.1328650
559	314654.937	1109849.477	-64.41339	10.01571	17.0	-33.213180	-0.1717720	-33.0414080
561	309596.402	1118123.232	-64.44215	10.06255	0.4	-40.673160	1.7530820	-42.4262420
562	309478.586	1118523.205	-64.44254	10.06385	0.4	-40.491740	-25.5724800	-14.9192600
563	310034.986	1118886.948	-64.44072	10.06504	0.4	-40.614690	-21.5669400	-19.0477500
564	310066.795	1118566.354	-64.44061	10.064	0.5	-40.293270	-37.3312600	-2.9620100
565	310072.696	1118238.779	-64.44058	10.06293	2.0	-40.042780	-40.9613000	0.9185200

Estación	Longitud (UTM)	Latitud (UTM)	Latitud	Longitud	Altura (m)	A. Bouguer (mgal)	A. Residual 2 (mgal)	A. Regional 2 (mgal)
566	310558.734	1118418.364	-64.43499	10.022670	2.0	-40.113830	-40.3746200	0.2607900
567	310628.886	1119228.543	-64.43478	10.025300	0.4	-40.298240	-37.9539800	-2.3442600
568	310455.446	1118898.360	-64.43534	10.043970	0.4	-40.274560	-24.4016400	-15.8729200
569	311057.966	1118536.767	-64.43335	10.033890	1.0	-40.262950	-37.6163900	-2.6465600
570	311768.922	1117885.643	-64.43101	10.030780	1.0	-39.938270	-37.1398200	-2.7984500
571	311716.296	1118275.766	-64.43118	10.032470	1.0	-39.926400	-23.1727800	-16.7536200
572	311550.216	1118670.048	-64.43174	10.034410	1.0	-40.012710	-38.5709000	-1.4418100
573	311977.063	1118889.719	-64.43034	10.035940	1.2	-39.740200	-27.4608400	-12.2793600
574	311556.278	1119929.154	-64.43174	10.040820	0.4	-38.138340	-32.0340100	-6.1043300
575	311076.778	1119535.911	-64.43331	10.041860	0.4	-39.495160	-30.3565600	-9.1386000
576	311358.786	1119273.334	-64.43238	10.021780	1.5	-39.625380	-30.3270400	-9.2983400
577	313420.438	1116960.821	-64.42156	10.020670	8.0	-37.781310	-30.6033800	-7.1779300
578	312690.194	1116295.912	-64.42395	10.020190	9.0	-36.656240	-30.2541600	-6.4020800
579	312977.403	1116570.919	-64.42301	10.020030	9.0	-36.823190	-26.1109600	-10.7122300
580	313078.502	1117351.263	-64.4227	10.033350	6.0	-38.852540	-25.8352900	-13.0172500
582	312775.188	1117704.718	-64.4237	10.033190	3.0	-39.585540	-22.6057700	-16.9797700
583	312675.476	1118200.111	-64.42403	10.031790	2.0	-40.176940	-46.3177600	6.1408200
584	312575.765	1118694.912	-64.42437	10.030110	1.9	-39.893830	-23.5374700	-16.3563600
585	312513.311	1119229.866	-64.42458	10.030280	1.4	-39.488050	-23.6090900	-15.8789600
586	312517.682	1119725.901	-64.42458	10.026000	1.4	-38.114270	-40.6899800	2.5757100
587	312440.804	1120200.409	-64.42484	10.024360	1.4	-35.971570	-41.7639900	5.7924200
591	314695.815	1115489.174	-64.41335	10.022850	10.0	-34.714730	-38.2736300	3.5589000
592	314827.492	1115140.782	-64.41291	10.022680	10.0	-34.757410	-43.9106100	9.1532000
593	315126.968	1115743.871	-64.41194	10.023010	10.0	-34.562680	-41.5791400	7.0164600
594	315362.552	1115475.643	-64.41116	10.023060	10.0	-34.639770	-39.6495700	5.0098000
595	315843.561	1115478.506	-64.40558	10.021460	10.0	-34.537380	-42.3991000	7.8617200
596	315639.767	1115868.799	-64.41026	10.015840	10.0	-34.422780	-42.2365400	7.8137600
597	315716.446	1116257.649	-64.41001	10.015710	10.0	-35.099950	-42.1194000	7.0194500
598	315936.653	1115857.777	-64.40528	10.062550	10.0	-34.392400	-30.1180200	-4.2743800
600	316126.167	1116464.403	-64.40467	10.063850	10.0	-35.524350	-12.9951500	-22.5292000
601	316207.448	1116948.760	-64.40441	10.065040	9.0	-36.909220	-23.6577500	-13.2514700
602	316210.510	1117429.959	-64.40441	10.064000	4.0	-38.648620	-22.0899200	-16.5587000
603	316228.385	1117933.036	-64.40436	10.062930	4.0	-38.556610	-18.0152400	-20.5413700

Estación	Longitud (UTM)	Latitud (UTM)	Latitud	Longitud	Altura (m)	A. Bouguer (mgal)	A. Residual 2 (mgal)	A. Regional 2 (mgal)
604	316221.061	1118452.263	-64.4044		4.0	-38.287050	-19.6797800	-18.6072700
605	316236.350	1118909.665	-64.40435	10.063530	5.0	-37.477720	-19.9224600	-17.5552600
606	316648.342	1118647.062	-64.40299	10.070160	4.0	-38.011390	-20.2399200	-17.7714700
607	316991.829	1117869.187	-64.40185	10.065090	4.0	-38.640540	-21.9938200	-16.6467200
609	316791.405	1116965.937	-64.4025	10.063920	8.0	-37.154130	-16.5665100	-20.5876200
910	316698.873	1116464.431	-64.40279	10.061810	9.0	-35.763570	-18.8286400	-16.9349300
611	316519.343	1115853.599	-64.40337	10.063080	10.0	-34.568610	-13.0940000	-21.4746100
612	316127.995	1115446.782	-64.40465	10.064360	10.0	-34.424240	-24.1380700	-10.2861700
614	311964.707	1119780.436	-64.4304	10.065080	1.5	-38.482290	-34.0877200	-4.3945700
615	312831.461	1120810.120	-64.42357	10.072460	1.0	-32.404110	-28.1650000	-4.2391100
616	313015.398	1120233.586	-64.42295	10.071170	1.0	-34.792480	-45.1125700	10.3200900
617	313083.663	1119797.102	-64.42272	10.070320	1.2	-37.220450	-47.9700000	10.7495500
618	313775.897	1120289.535	-64.42046	10.054830	3.0	-33.741910	-25.7918500	-7.9500600
619	314264.561	1119967.755	-64.41485	10.052650	5.0	-34.419830	-19.2903900	-15.1294400
620	313855.804	1119152.820	-64.42017	10.053550	1.8	-38.733160	-23.0942400	-15.6389200
621	313516.724	1119523.072	-64.4213	10.060100	1.4	-38.073230	-11.4380900	-26.6351400
622	314813.691	1119626.681	-64.41303	10.061240	5.0	-35.917220	-26.6351000	-9.2821200
623	315673.932	1119527.881	-64.41021	10.062850	5.0	-31.716300	-32.0617200	0.3454200
624	315677.288	1120290.927	-64.41021	10.064460	6.0	-32.595230	-25.9565400	-6.6386900
626	316226.191	1120247.151	-64.4044	10.070200	5.0	-31.568700	-28.1691700	-3.3995300
627	316241.087	1119829.349	-64.40435	10.071810	5.0	-33.566180	-28.1126100	-5.4535700
628	314839.412	1120277.468	-64.41296	10.073360	6.0	-32.256000	-25.8657900	-6.3902100
630	315796.321	1119091.128	-64.4058	10.050060	7.0	-36.485400	-29.9863600	-6.4990400
631	316361.126	1119505.943	-64.40395	10.044930	5.0	-35.317700	-29.3798600	-5.9378400
635	317194.934	1112620.506	-64.40109	10.050900	11.0	-34.836610	-31.9328200	-2.9037900
636	317488.412	1111355.169	-64.40011	10.050030	15.0	-34.895840	-33.7346300	-1.1612100
637	317207.505	1113125.981	-64.40106	10.050050	9.0	-34.718620	-36.8430100	2.1243900
638	317263.079	1113646.071	-64.40089	10.051310	9.0	-34.441440	-30.1181800	-4.3232600
639	316887.041	1114166.582	-64.40213	10.052580	9.0	-34.575050	-31.9919200	-2.5831300
640	316420.988	1114675.694	-64.40367	10.051280	9.0	-34.365910	-35.2075100	0.8416000
641	316563.675	1115210.171	-64.40321	10.053260	5.0	-34.973330	-33.7963200	-1.1770100
642	317181.162	1115685.259	-64.40119	10.054840	10.0	-34.017270	-43.0817500	9.0644800
643	317302.355	1116504.065	-64.40081	10.060400	8.0	-35.600010	-46.4762000	10.8761900

ANEXO 3. DATOS DE PERIODOS FUNDAMENTALES

Tabla 13. Datos de periodos fundamentales del suelo adquiridos en Barcelona.

ESTACIÓN	Longitud	Latitud	PERIODO		Profundidades	
	(UTM)	(UTM)	Sesame (seg)	KNGW (seg)	Sesame (m)	KNGW (m)
500	315464.80	1118197.46	1.010	1.359	88.00	133.31
501	315765.45	1115039.23	0.508	0.698	22.74	47.47
502	315810.40	1114518.03	0.724	0.717	50.79	49.94
503	315854.75	1113994.46	0.724	0.902	50.79	73.96
504	315345.80	1113937.14	0.780	0.836	58.12	65.39
505	315900.45	1113504.70	0.597	0.527	34.31	25.26
506	315409.48	1113398.64	1.002	0.615	86.95	36.69
507	315493.45	1112916.99	1.010	0.615	88.00	36.69
508	315925.31	1112961.65	1.178	0.879	109.79	70.97
509	315983.76	1112434.45	0.918	0.717	76.07	49.94
510	315518.03	1112323.51	1.121	0.857	102.41	68.12
511	317178.29	1112122.77	0.919	0.698	76.18	47.47
512	316602.91	1112072.89	0.919	0.902	76.18	73.96
513	316017.53	1112023.67	0.919	0.950	76.18	80.19
514	315517.95	1111963.34	0.919	1.000	76.18	86.69
516	316087.11	1111486.32	1.010	0.700	88.00	47.73
517	316134.99	1110959.18	0.919	0.740	76.18	52.92
518	314989.14	1111936.98	-----	0.836	-----	65.39
519	314935.87	1112442.21	1.010	0.774	88.00	57.34
520	314427.67	1112419.91	0.919	1.227	76.18	116.17
521	314894.39	1112950.93	1.259	1.430	120.38	142.53
522	314850.49	1113446.02	0.919	0.700	76.18	47.73
523	314818.76	1113906.63	0.919	0.950	76.18	80.19
524	314753.69	1114513.39	0.391	0.664	7.59	43.05
525	311865.87	1110926.67	0.597	0.514	34.31	23.57
526	311820.33	1111440.18	0.779	0.600	57.96	34.74
527	311774.22	1111954.87	-----	0.681	-----	45.26
528	311700.50	1112699.34	1.259	0.647	120.38	40.84
529	312950.08	1110767.34	0.676	0.814	44.57	62.53
530	312880.19	1111575.86	1.121	0.836	102.41	65.39
532	315195.84	1114844.57	0.597	0.857	34.31	68.12
533	312083.10	1112992.84	1.121	1.000	102.41	86.69
534	312834.92	1112030.62	1.259	0.902	120.38	73.96
535	312792.35	1112551.22	0.283	1.000	-6.47	86.69
536	312725.48	1113147.31	1.259	1.106	120.38	100.45
537	313186.61	1113616.04	-----	1.000	-----	86.69
538	313577.29	1113883.40	1.121	1.000	102.41	86.69
539	314113.46	1114199.85	0.843	1.000	66.32	86.69
542	313448.53	1110491.80	0.597	0.476	34.31	18.64
543	313970.75	1110149.10	1.121	0.429	102.41	12.53
544	316220.59	1109988.60	0.534	0.600	26.19	34.74

ESTACIÓN	Longitud	Latitud	PERIODO		Profundidades	
	(UTM)	(UTM)	Sesame (seg)	KNGW (seg)	Sesame (m)	KNGW (m)
545	315671.09	1109945.13	0.508	0.717	22.74	49.94
546	313643.50	1112819.15	1.121	0.900	102.41	73.70
547	313150.44	1112769.50	-----	1.000	-----	86.69
548	313860.35	1112337.99	0.919	1.000	76.18	86.69
549	313915.31	1111821.48	1.121	0.926	102.41	77.08
550	314451.29	1111869.74	1.010	0.836	88.00	65.39
551	313410.56	1111788.50	0.484	0.000	19.62	-43.18
552	313968.98	1111283.62	1.259	1.107	120.38	100.58
553	314009.50	1110817.62	1.010	1.000	88.00	86.69
554	313536.41	1110768.44	0.843	0.857	66.32	68.12
555	314519.62	1110866.01	0.843	1.320	66.32	128.25
556	315058.96	1110876.88	-----	0.000	-----	-43.18
557	315125.82	1110384.64	0.779	0.664	57.96	43.05
558	315162.08	1109887.22	0.564	0.735	30.03	52.27
559	314654.94	1109849.48	0.724	0.879	50.79	70.97
561	309596.40	1118123.23	0.724	0.794	50.79	59.94
562	309478.59	1118523.21	0.724	1.000	50.79	86.69
563	310034.99	1118886.95	0.564	0.926	30.03	77.08
564	310066.79	1118566.35	0.724	1.000	50.79	86.69
565	310072.70	1118238.78	0.724	0.000	50.79	-----
566	310558.73	1118418.36	0.843	0.000	66.32	-----
567	310628.89	1119228.54	0.724	0.814	50.79	62.53
568	310455.45	1118898.36	0.724	0.000	50.79	-----
569	311057.97	1118536.77	0.675	0.754	44.45	54.74
570	311768.92	1117885.64	0.675	0.681	44.45	45.26
571	311716.30	1118275.77	0.634	0.717	39.12	49.94
572	311550.22	1118670.05	0.562	1.136	29.86	104.35
573	311977.06	1118889.72	0.676	-----	44.57	-----
575	311556.28	1119929.15	0.724	0.000	50.79	-43.18
576	311076.78	1119535.91	0.676	1.000	44.57	86.69
577	311358.79	1119273.33	0.779	1.000	57.96	86.69
578	313420.44	1116960.82	0.597	1.100	34.31	99.68
579	312690.19	1116295.91	0.634	0.950	39.12	80.19
580	312977.40	1116570.92	0.779	1.000	57.96	86.69
582	313078.50	1117351.26	0.597	1.430	34.31	142.53
583	312775.19	1117704.72	0.634	1.350	39.12	132.14
584	312675.48	1118200.11	0.676	0.664	44.57	43.05
585	312575.77	1118694.91	0.534	0.814	26.19	62.53
586	312513.31	1119229.87	0.564	0.000	30.03	-----
587	312517.68	1119725.90	0.919	2.210	76.18	243.83
591	312440.80	1120200.41	0.919	1.050	76.18	93.18
592	314695.81	1115489.17	0.779	0.879	57.96	70.97
593	314827.49	1115140.78	0.843	0.814	66.32	62.53
594	315126.968	1115743.871	0.779	0.754	57.96	54.74
595	315362.55	1115475.64	0.597	0.879	34.31	70.97
596	315843.56	1115478.51	1.435	-----	143.15	-----

ESTACIÓN	Longitud	Latitud	PERIODO		Profundidades	
	(UTM)	(UTM)	Sesame (seg)	KNGW (seg)	Sesame (m)	KNGW (m)
597	315639.77	1115868.80	-----	0.902	-----	73.96
598	315716.45	1116257.65	-----	-----	-----	-----
600	315936.65	1115857.78	0.843	1.107	66.32	100.58
601	316126.17	1116464.40	1.010	0.794	88.00	59.94
602	316207.45	1116948.76	1.121	1.000	102.41	86.69
603	316210.51	1117429.96	1.010	1.000	88.00	86.69
604	316228.38	1117933.04	1.437	1.107	143.41	100.58
605	316221.06	1118452.26	1.437	0.754	143.41	54.74
606	316236.35	1118909.67	0.843	0.926	66.32	77.08
607	316648.34	1118647.06	0.339	0.000	0.84	-----
608	316991.83	1117869.19	0.919	0.664	76.18	43.05
609	316897.22	1117421.09	0.724	0.689	50.79	46.30
610	316791.41	1116965.94	0.442	0.774	14.18	57.34
611	316698.87	1116464.43	0.275	1.074	-7.46	96.30
612	316519.34	1115853.60	0.676	1.052	44.57	93.44
614	316128.00	1115446.78	0.724	0.717	50.79	49.94
615	311964.71	1119780.44	-----	0.664	-----	43.05
616	312831.46	1120810.12	0.676	0.681	44.57	45.26
617	313015.40	1120233.59	0.564	1.130	30.03	103.57
618	313083.66	1119797.10	-----	0.814	-----	62.53
619	313775.90	1120289.54	0.779	0.836	57.96	65.39
620	314264.56	1119967.76	0.723	1.250	50.65	119.16
621	313855.80	1119152.82	0.534	0.000	26.19	-----
622	313516.72	1119523.07	0.779	0.600	57.96	34.74
623	314813.69	1119626.68	0.779	0.717	57.96	49.94
624	315673.93	1119527.88	0.779	0.698	57.96	47.47
626	315677.29	1120290.93	0.724	0.681	50.79	45.26
627	316226.19	1120247.15	1.445	0.836	144.49	65.39
628	316241.09	1119829.35	0.724	0.698	50.79	47.47
629	314839.41	1120277.47	0.779	0.681	57.96	45.26
630	315845.34	1117879.23	0.779	0.698	57.96	47.47
631	315796.32	1119091.13	0.919	0.814	76.18	62.53
634	316361.13	1119505.94	0.779	0.836	57.96	65.39
635	317194.93	1112620.51	0.724	0.698	50.79	47.47
636	317488.41	1111355.17	0.597	0.630	34.31	38.64
637	317207.51	1113125.98	0.919	0.836	76.18	65.39
638	317263.08	1113646.07	0.564	0.527	30.03	25.26
639	316887.04	1114166.58	0.423	0.000	11.80	-----
640	316420.99	1114675.69	0.634	0.501	39.12	21.88
641	316563.67	1115210.17	0.508	0.488	22.74	20.19
642	317181.16	1115685.26	0.919	0.900	76.18	73.70

----- Canal muerto. No proporciona información.

ANEXO 4. VELOCIDADES Y ESPESORES DE LOS PERFILES SISMICOS.

Tabla 14. Velocidades y Espesores del Perfil 1.

ONDAS P	CAPA 1										
	Distancia (m)	0	400	700	960	4100					
	Velocidad del Tope (m/s)	0.4	0.35	0.35	0.4	0.4					
	Velocidad de la Base (m/s)	0.5	0.43	0.43	0.5	0.5					
	CAPA 2										
	Distancia (m)	0	500	960	1500	2000	2200	2500	2800	3500	4100
	Profundidad (m)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Velocidad del Tope (m/s)	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.75	1.75	1.7
	Velocidad de la Base (m/s)	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.95	1.95	1.9
	CAPA 3										
	Distancia (m)	0	500	960	1500	2000	2200	2500	2800	3500	4100
	Profundidad (m)	0	60	60	60	60	60	60	60	60	60
	Velocidad del Tope (m/s)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	Velocidad de la Base (m/s)	2.05	2.05	2.05	2.05	2.05	2.05	2.05	2.05		
ONDAS S	CAPA 1										
	Distancia (m)	0	400	700	960	4100					
	Velocidad del Tope (m/s)	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12					
	Velocidad de la Base (m/s)	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16					
	CAPA 2										
	Distancia (m)	0	500	960	1500	2000	2200	2500	2800	3500	4100
	Profundidad (m)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Velocidad del Tope (m/s)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	Velocidad de la Base (m/s)	0.35	0.35	0.3	0.3	0.3	0.3	0.32	0.32	0.32	0.32
	CAPA 3										
	Distancia (m)	0	500	960	1500	2000	2200	2500	2800	3500	4100
	Profundidad (m)	0	60	60	60	60	60	60	60	60	60
	Velocidad del Tope (m/s)	0.4	0.4	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.4	0.4	
	Velocidad de la Base (m/s)	0.45	0.45	0.42	0.42	0.42	0.42	0.45	0.45		

Tabla 15. Velocidades y Espesores del Perfil 2.

O N D A S P	CAPA 1										
	Distancia (m)	0	838	960							
	Velocidad del Tope (m/s)	0.4	0.4	0.4							
	Velocidad de la Base (m/s)	0.5	0.5	0.5							
	CAPA 2										
	Distancia (m)	0	99.9	250	347	470	550	659	720	846	960
	Profundidad (m)	7.7	7.7	7.7	8.7	9	9	7.5	8	8	8
	Velocidad del Tope (m/s)	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
	Velocidad de la Base (m/s)	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
	CAPA 3										
	Distancia (m)	0	250	350	470	552	654	655	781	783	960
	Profundidad (m)	36	34	30	28	28	28	28	27	32	32
	Velocidad del Tope (m/s)	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.82	1.8	
	Velocidad de la Base (m/s)	2	2	2	2	2	1.9	1.9	1.9		
	CAPA 4										
	Distancia (m)	0	1.07	94.5	103	246	250	468	470	655	960
	Profundidad (m)	100	100	100	100	100	100	98.1	98.1	100	100
	Velocidad del Tope (m/s)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.05	2	2			
	Velocidad de la Base (m/s)	2.2	2.2	2.2	2.2	2.15	2.15	2.15			
O N D A S S	CAPA 1										
	Distancia (m)	0	100	520	838	960					
	Velocidad del Tope (m/s)	0.18	0.2	0.22	0.16	0.16					
	Velocidad de la Base (m/s)	0.25	0.27	0.28	0.23	0.23					
	CAPA 2										
	Distancia (m)	0	99.9	250	347	470	550	659	720	846	960
	Profundidad (m)	7.7	7.7	7.7	8.7	9	9	7.5	8	8	8
	Velocidad del Tope (m/s)	0.35	0.35	0.3	0.35	0.38	0.4	0.32	0.37	0.33	0.34
	Velocidad de la Base (m/s)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.36	0.37	0.37	0.37
	CAPA 3										
	Distancia (m)	0	250	350	470	552	654	655	781	783	960
	Profundidad (m)	36	34	30	28	28	28	28	27	32	32
	Velocidad del Tope (m/s)	0.43	0.43	0.4	0.4	0.4	0.4	0.38	0.38	0.38	
	Velocidad de la Base (m/s)	0.45	0.45	0.45	0.45	0.43	0.43	0.43	0.43		
	CAPA 4										
	Distancia (m)	0	1.07	94.5	103	246	250	468	470	655	960
	Profundidad (m)	100	100	100	100	100	100	98.1	98.1	100	100
	Velocidad del Tope (m/s)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6			
	Velocidad de la Base (m/s)	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65			

Tabla 16. Velocidades y Espesores del Perfil 3.

O N D A S P	CAPA 1										
	Distancia (m)	0	838	960							
	Velocidad del Tope (m/s)	0.27	0.27	0.27							
	Velocidad de la Base (m/s)	0.4	0.4	0.4							
	CAPA 2										
	Distancia (m)	0	99.9	250	347	470	550	659	720	846	960
	Profundidad (m)	7	6	6.1	5.5	5	4	3	3.9	3	4.3
	Velocidad del Tope (m/s)	1.7	1.85	1.85	1.85	1.83	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
	Velocidad de la Base (m/s)	1.85	1.9	1.9	1.9	1.9	1.77	1.79	1.79	1.77	1.77
	CAPA 3										
	Distancia (m)	0	250	350	470	552	654	655	781	783	960
	Profundidad (m)	55	45	45	40	40	40	36	30	30	36
	Velocidad del Tope (m/s)	2.05	2.05	1.95	2.05	2.05	1.98	1.98	1.98	1.9	
	Velocidad de la Base (m/s)	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2	2		
	CAPA 4										
	Distancia (m)	0	1.07	94.5	103	246	250	468	470	655	960
	Profundidad (m)	100	100	100	100	100	100	98.1	98.1	95.1	90.1
	Velocidad del Tope (m/s)	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2			
	Velocidad de la Base (m/s)	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25			
O N D A S S	CAPA 1										
	Distancia (m)	0	838	960							
	Velocidad del Tope (m/s)	0.15	0.15	0.15							
	Velocidad de la Base (m/s)	0.17	0.17	0.2							
	CAPA 2										
	Distancia (m)	0	99.9	250	347	470	550	659	720	846	960
	Profundidad (m)	7	6	6.1	5.5	5	4	3	3.9	3	4.3
	Velocidad del Tope (m/s)	0.26	0.26	0.28	0.3	0.28	0.28	0.28	0.3	0.3	0.26
	Velocidad de la Base (m/s)	0.3	0.3	0.3	0.33	0.3	0.3	0.3	0.32	0.32	0.32
	CAPA 3										
	Distancia (m)	0	250	350	470	552	654	655	781	783	960
	Profundidad (m)	55	45	45	40	40	40	36	30	30	36
	Velocidad del Tope (m/s)	0.45	0.45	0.42	0.42	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	
	Velocidad de la Base (m/s)	0.5	0.5	0.48	0.48	0.5	0.5	0.5	0.5		
	CAPA 4										
	Distancia (m)	0	1.07	94.5	103	246	250	468	470	655	960
	Profundidad (m)	100	100	100	100	100	100	98.1	98.1	95.1	90.1
	Velocidad del Tope (m/s)	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55			
	Velocidad de la Base (m/s)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6			

Tabla 17. Velocidades y Espesores del Perfil 4.

O N D A S P	CAPA 1										
	Distancia (m)	0	838	960							
	Velocidad del Tope (m/s)	0.38	0.3	0.38							
	Velocidad de la Base (m/s)	0.45	0.4	0.45							
	CAPA 2										
	Distancia (m)	0	99.9	250	347	470	550	659	720	846	960
	Profundidad (m)	8.1	8	6	6	6	5	5.5	5	5	6
	Velocidad del Tope (m/s)	1.75	1.73	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.7	1.8	1.8
	Velocidad de la Base (m/s)	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85
	CAPA 3										
	Distancia (m)	0	250	350	470	552	654	655	781	783	960
	Profundidad (m)	50	50	50	50	50	52	52	50	50	50
	Velocidad del Tope (m/s)	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	
	Velocidad de la Base (m/s)	2	2	2	2	2	2	2	2		
	CAPA 4										
	Distancia (m)	0	1.07	94.5	103	246	250	468	470	655	960
	Profundidad (m)	100	100	100	100	100	100	98.1	98.1	100	100
	Velocidad del Tope (m/s)	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.5	2.5			
	Velocidad de la Base (m/s)	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6			

O N D A S S	CAPA 1										
	Distancia (m)	0	250	347	470	550	659	720	838	960	
	Velocidad del Tope (m/s)	0.15	0.17	0.2	0.15	0.13	0.1	0.11	0.16	0.2	
	Velocidad de la Base (m/s)	0.17	0.22	0.22	0.18	0.14	0.12	0.12	0.18	0.22	
	CAPA 2										
	Distancia (m)	0	99.9	250	347	470	550	659	720	846	960
	Profundidad (m)	8.1	8	6	6	6	5	5.5	5	5	6
	Velocidad del Tope (m/s)	0.26	0.26	0.28	0.3	0.28	0.2	0.2	0.23	0.25	0.28
	Velocidad de la Base (m/s)	0.3	0.3	0.35	0.37	0.34	0.25	0.25	0.26	0.34	0.34
	CAPA 3										
	Distancia (m)	0	250	350	470	552	654	655	781	783	960
	Profundidad (m)	50	50	50	50	50	52	52	50	50	50
	Velocidad del Tope (m/s)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	
	Velocidad de la Base (m/s)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.42	0.42		
	CAPA 4										
	Distancia (m)	0	1.07	94.5	103	246	250	468	470	655	960
	Profundidad (m)	100	100	100	100	100	100	98.1	98.1	100	100
	Velocidad del Tope (m/s)	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.55	0.55			
	Velocidad de la Base (m/s)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.55	0.55			

Tabla 18. Velocidades y Espesores del Perfil 5.

O N D A S P	CAPA 1										
	Distancia (m)	0	838	960							
	Velocidad del Tope (m/s)	0.38	0.3	0.38							
	Velocidad de la Base (m/s)	0.45	0.4	0.45							
	CAPA 2										
	Distancia (m)	0	99.9	250	347	470	550	659	720	846	960
	Profundidad (m)	7.5	7.5	7.5	8	8	6.2	5.8	7.1	7	7.5
	Velocidad del Tope (m/s)	1.75	1.73	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
	Velocidad de la Base (m/s)	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
	CAPA 3										
	Distancia (m)	0	250	350	470	552	654	655	781	783	960
	Profundidad (m)	52	45	54	48	39	31	22	22	22	22
	Velocidad del Tope (m/s)	1.9	1.9	2	2	2	2	1.9	1.9	1.9	
	Velocidad de la Base (m/s)	2.2	2.2	2.2	2.2	2.25	2.25	2.25	2.25		
	CAPA 4										
	Distancia (m)	0	1.07	94.5	103	246	250	468	470	655	960
	Profundidad (m)	100	100	100	100	100	100	98.1	98.1	100	100
	Velocidad del Tope (m/s)	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.5	2.5			
	Velocidad de la Base (m/s)	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4			
O N D A S S	CAPA 1										
	Distancia (m)	0	250	500	700	838	960				
	Velocidad del Tope (m/s)	0.2	0.12	0.15	0.15	0.22	0.22				
	Velocidad de la Base (m/s)	0.3	0.15	0.19	0.2	0.25	0.25	0.25			
	CAPA 2										
	Distancia (m)	0	99.9	250	347	470	550	659	720	846	960
	Profundidad (m)	7.5	7.5	7.5	8	8	6.2	5.8	7.1	7	7.5
	Velocidad del Tope (m/s)	0.45	0.45	0.35	0.43	0.4	0.38	0.32	0.38	0.4	0.43
	Velocidad de la Base (m/s)	0.5	0.5	0.45	0.45	0.45	0.42	0.4	0.4	0.45	0.45
	CAPA 3										
	Distancia (m)	0	250	350	470	552	654	655	781	783	960
	Profundidad (m)	52	45	54	48	39	31	22	22	22	22
	Velocidad del Tope (m/s)	0.5	0.5	0.5	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	
	Velocidad de la Base (m/s)	0.6	0.6	0.6	0.55	0.55	0.5	0.5	0.5		
	CAPA 4										
	Distancia (m)	0	1.07	94.5	103	246	250	468	470	655	960
	Profundidad (m)	100	100	100	100	100	100	98.1	98.1	100	100
	Velocidad del Tope (m/s)	0.62	0.62	0.62	0.6	0.65	0.65	0.65			
	Velocidad de la Base (m/s)	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.7	0.7			

Tabla 19. Velocidades y Espesores del Perfil 6.

ONDAS P	CAPA 1										
	Distancia (m)	0	100	838	900	960					
	Velocidad del Tope (m/s)	0.2	0.4	0.4	0.3	0.2					
	Velocidad de la Base (m/s)	0.3	0.45	0.45	0.35						
	CAPA 2										
	Distancia (m)	0	99.9	250	347	470	550	700	720	846	960
	Profundidad (m)	6	6	8.7	8.5	7	5.5	8	7	6.5	5.5
	Velocidad del Tope (m/s)	1.6	1.95	1.8	1.8	1.8	1.8	1.75	1.7	1.75	1.75
	Velocidad de la Base (m/s)	2	2	1.9	2	2	1.9	1.9	1.9	1.9	2
	CAPA 3										
	Distancia (m)	0	250	400	470	552	654	655	781	783	960
	Profundidad (m)	65	65	85	75	75	60	65	80	80	80
	Velocidad del Tope (m/s)	2.1	2.1	2	2	2.1	2.1	2	2.35	2.35	
	Velocidad de la Base (m/s)	2.35	2.35	2.45	2.35	2.35	2.45	2.45	2.45		
ONDAS S	CAPA 1										
	Distancia (m)	0	99.9	250	347	470	550	700	720	846	960
	Velocidad del Tope (m/s)	0.22	0.18	0.17	0.19	0.22	0.2	0.19	0.2	0.2	0.23
	Velocidad de la Base (m/s)	0.27	0.22	0.2	0.25	0.27	0.25	0.24	0.23	0.25	0.27
	CAPA 2										
	Distancia (m)	0	99.9	250	347	470	550	700	720	846	960
	Profundidad (m)	4	6	8.7	8.5	7	5.5	8	7	6.5	5.5
	Velocidad del Tope (m/s)	0.4	0.36	0.35	0.39	0.41	0.38	0.33	0.38	0.39	0.41
	Velocidad de la Base (m/s)	0.46	0.48	0.44	0.39	0.43	0.4	0.4	0.48	0.48	0.43
	CAPA 3										
	Distancia (m)	0	250	400	470	552	654	655	781	783	960
	Profundidad (m)	65	65	85	75	75	60	65	80	80	80
	Velocidad del Tope (m/s)	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.55	0.55	0.55	
	Velocidad de la Base (m/s)	0.65	0.65	0.65	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75		

Tabla 20. Velocidades y Espesores del Perfil 7.

ONDAS P	CAPA 1										
	Distancia (m)	0	838	960							
	Velocidad del Tope (m/s)	0.33	0.3	0.33							
	Velocidad de la Base (m/s)	0.45	0.45	0.45							
	CAPA 2										
	Distancia (m)	0	99.9	250	347	470	550	659	720	846	960
	Profundidad (m)	5.9	7.9	6.8	7	7	8.3	7.9	7.9	8	5.9
	Velocidad del Tope (m/s)	1.85	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.85
	Velocidad de la Base (m/s)	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
	CAPA 3										
	Distancia (m)	0	250	350	470	552	654	655	781	783	960
	Profundidad (m)	67	67	65	60	55	55	55	55	55	55
	Velocidad del Tope (m/s)	1.9	1.9	2	2	2.05	2.05	1.9	1.9	1.9	
	Velocidad de la Base (m/s)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1		
ONDAS S	CAPA 1										
	Distancia (m)	0	838	960							
	Velocidad del Tope (m/s)	0.25	0.2	0.22							
	Velocidad de la Base (m/s)	0.3	0.25	0.27							
	CAPA 2										
	Distancia (m)	0	99.9	250	347	470	550	659	720	846	960
	Profundidad (m)	5.9	7.9	6.8	7	7	8.3	7.9	7.9	8	5.9
	Velocidad del Tope (m/s)	0.4	0.38	0.35	0.35	0.37	0.37	0.37	0.38	0.38	0.4
	Velocidad de la Base (m/s)	0.41	0.4	0.38	0.4	0.38	0.38	0.38	0.39	0.39	0.4
	CAPA 3										
	Distancia (m)	0	250	350	470	552	654	655	781	783	960
	Profundidad (m)	67	67	65	60	55	55	55	55	55	55
	Velocidad del Tope (m/s)	0.45	0.45	0.43	0.43	0.43	0.45	0.45	0.45	0.45	
	Velocidad de la Base (m/s)	0.55	0.6	0.65	0.65	0.55	0.5	0.5	0.5		

Tabla 21. Velocidades y Espesores del Perfil 8.

P O N D A S	CAPA 1					
	Distancia (m)	0	400	480		
	Velocidad del Tope (m/s)	0.4	0.4	0.25		
	Velocidad de la Base (m/s)	0.5	0.5	0.35		
	CAPA 2					
	Distancia (m)	0	99.9	250	347	480
	Profundidad (m)	6	6	8	7	7
	Velocidad del Tope (m/s)	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8
	Velocidad de la Base (m/s)	1.8	1.8	2	2	2
	CAPA 3					
	Distancia (m)	0	250	350	480	
	Profundidad (m)	65	65	65	65	
	Velocidad del Tope (m/s)	1.9	1.9	2	2	2.05
	Velocidad de la Base (m/s)	2.1	2.1	2.1	2.1	

Tabla 22. Velocidades y Espesores del Perfil 9.

P O N D A S	CAPA 1										
	Distancia (m)	0	838	960							
	Velocidad del Tope (m/s)	0.35	0.35	0.35							
	Velocidad de la Base (m/s)	0.45	0.45	0.45							
	CAPA 2										
	Distancia (m)	0	99.9	250	347	470	550	659	720	846	960
	Profundidad (m)	6	6.3	6	6	6	6.2	6	6	6	6
	Velocidad del Tope (m/s)	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
	Velocidad de la Base (m/s)	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
	CAPA 3										
	Distancia (m)	0	250	350	470	552	654	655	781	783	960
	Profundidad (m)	50	50	40	40	40	50	50	50	50	50
	Velocidad del Tope (m/s)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	Velocidad de la Base (m/s)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1		
	CAPA 4										
	Distancia (m)	0	250	350	470	552	654	655	781	783	960
	Profundidad (m)	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
	Velocidad del Tope (m/s)	2.2	2.2	2.25	2.25	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	
	Velocidad de la Base (m/s)	2.25	2.25	2.25	2.25	2.3	2.3	2.3	2.3		
S O N D A S	CAPA 1										
	Distancia (m)	0	838	960							
	Velocidad del Tope (m/s)	0.15	0.15	0.15							
	Velocidad de la Base (m/s)	0.18	0.18	0.18							
	CAPA 2										
	Distancia (m)	0	99.9	250	347	470	550	659	720	846	960
	Profundidad (m)	6	6.3	6	6	6	6.2	6	6	6	6
	Velocidad del Tope (m/s)	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
	Velocidad de la Base (m/s)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	CAPA 3										
	Distancia (m)	0	250	350	470	552	654	655	781	783	960
	Profundidad (m)	50	50	40	40	40	50	50	50	50	50
	Velocidad del Tope (m/s)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	
	Velocidad de la Base (m/s)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4		
	CAPA 4										
	Distancia (m)	0	250	350	470	552	654	655	781	783	960
	Profundidad (m)	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
	Velocidad del Tope (m/s)	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	
	Velocidad de la Base (m/s)	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55		

Tabla 23. Velocidades y Espesores del Perfil 10.

ONDAS P	CAPA 1								
	Distancia (m)	0	250	480					
	Velocidad del Tope (m/s)	0.4	0.45	0.4					
	Velocidad de la Base (m/s)	0.45	0.65	0.6					
	CAPA 2								
	Distancia (m)	0	99.9	250	347	480			
	Profundidad (m)	6	6	8	7	7			
	Velocidad del Tope (m/s)	1.8	1.8	2	1.95	1.95			
	Velocidad de la Base (m/s)	2.1	2.1	2.1	2.05	2.05			
	CAPA 3								
	Distancia (m)	0	250	350	480				
	Profundidad (m)	45	45	45	45				
	Velocidad del Tope (m/s)	2.15	2.15	2.15	2.1	2.1			
	Velocidad de la Base (m/s)	2.2	2.2	2.15	2.15				
	CAPA 4								
	Distancia (m)	0	1.07	94.5	103	246	250	468	480
	Profundidad (m)	100	100	100	100	100	100	98.1	98.1
	Velocidad del Tope (m/s)	2.3	2.3	2.3	2.3				
	Velocidad de la Base (m/s)	2.6	2.6	2.6	2.6				

ONDAS S	CAPA 1								
	Distancia (m)	0	50	100	200	250	300	400	480
	Velocidad del Tope (m/s)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.16	0.2	0.12	0.12
	Velocidad de la Base (m/s)	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.22	0.2	0.2
	CAPA 2								
	Distancia (m)	0	99.9	250	347	480			
	Profundidad (m)	6	6	8	7	7			
	Velocidad del Tope (m/s)	0.4	0.4	0.45	0.45	0.44			
	Velocidad de la Base (m/s)	0.44	0.44	0.46	0.46	0.46			
	CAPA 3								
	Distancia (m)	0	250	350	480				
	Profundidad (m)	45	45	45	45				
	Velocidad del Tope (m/s)	0.55	0.55	0.55	0.5	0.5			
	Velocidad de la Base (m/s)	0.65	0.65	0.65	0.65				