

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA DE GUARENAS-GUATIRE, ESTADO
MIRANDA, MEDIANTE PERFILES DE REFRACCIÓN SÍSMICA**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Br. José A. Sánchez A.
Para optar al Título de
Ingeniero Geofísico

Caracas, 2016

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA DE GUARENAS-GUATIRE, ESTADO
MIRANDA, MEDIANTE PERFILES DE REFRACCIÓN SÍSMICA**

Tutor Académico: Prof. Michael Schmitz
Tutor Industrial: MSc. Cecilio Morales

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Br. José A. Sánchez A.
Para optar al Título de
Ingeniero Geofísico

Caracas, 2016

Caracas, enero 2016

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Geología Minas, y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller, titulado:

“Caracterización de la cuenca de Guarenas-Guatire, estado Miranda, mediante perfiles de refracción sísmica”

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

Prof. José Cavada
Jurado

Prof. Janckarlos Reyes
Jurado

Prof. Michael Schmitz
Tutor Académico

A Domiga y a Fabiola <3

AGRADECIMIENTOS

Durante la realización de este trabajo, tuve la fortuna de contar con la ayuda y dedicación de muchas personas que de mil maneras contribuyeron a que este trabajo haya llegado a término, en especial quiero agradecer:

A la Universidad Central de Venezuela, a la Facultad de Ingeniería y a la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, a sus profesores, a sus trabajadores y a mis amigos.

A la Fundación Venezolana de Investigaciones, los departamentos de Geofísica, de Ciencias de La Tierra y de Sistemas, quienes colaboraron en la planificación del proyecto y en la adquisición y procesamiento de los datos, admiro su forma de trabajar y servir al país con esa labor tan importante que llevan a cabo. Kenny García Edwin Amarís y Cristhian Sánchez especialmente colaboraron con sugerencias y recomendaciones y Claudia Quinteros con la realización del mapa geológico.

A mi tutor Dr. Michael Schmitz por su paciencia, al parecer inagotable, su actitud alentadora y su buen humor.

A mi tutor industrial Cecilio Morales, por toda la ayuda, consejos prácticos y trucos, sin los cuales todavía estuviera redactando el capítulo uno.

A Fabiola, por su apoyo incansable y a prueba de todo, todo lo que necesito para llegar a cualquier meta.

A Jesús y Karla, quienes repetidamente leyeron el manuscrito e hicieron sugerencias, corrigieron estilo, tablas, imágenes, leyendas, referencias, presentación y un largo etcétera. Por aparecer justo en la parte más difícil, por el empujón final y por hacerme *Trending Topic* en *Whatsapp*[®], estoy en deuda con ellos. #Gracias

Mención especial para Dominga, Justin, mi familia y la familia Rodríguez Medina, quienes sin ayudarme en nada en particular, en general, me ayudaron en todo. Y con frecuencia también obstaculizaban y entorpecían ¡pero los quiero! No los cambiaría por nada.

RESUMEN

Sánchez A., José A.

CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA DE GUARENAS-GUATIRE, ESTADO MIRANDA, MEDIANTE PERFILES DE REFRACCIÓN SÍSMICA

Tutor Académico: Prof. Michael Schmitz. Tutor Industrial: Ing. Cecilio Morales.

Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología Minas y

Geofísica. Año 2015, 87 p.

Palabras Claves: Sísmica de refracción, Formación Guatire, Cuenca Guarenas-Guatire, Microzonificación Sísmica, Modelo 2D.

Resumen. Para dar continuidad al proyecto de Microzonificación Sísmica que Funvisis se encuentra llevando a cabo en las ciudades más importantes del país, se ha realizado este estudio de Refracción Sísmica profunda en la cuenca de Guarenas-Guatire, distribuido en tres tendidos de longitudes que oscilan entre 2,5 y 4 kilómetros de longitud, distribuidos en las localidades de Guatire, Buenaventura y Guarenas.

Se utilizaron 45 grabadores sísmicos monocanal marca TEXAN para la adquisición de los datos durante tres jornadas de trabajo, dispuestos con una orientación aproximada N-S perpendicular a la dirección de la cuenca, mientras que como fuente de energía sísmica se utilizaron cargas de aproximadamente 30 kg de una mezcla de pentolita y anfoterita.

Con los datos registrados en campo se realizaron las secciones sísmicas y secciones 1D en el software Reflexw y se realizaron modelos 2D de velocidades V_p y V_s con el software Rayinvr. Así mismo se propusieron 3 perfiles geológicos.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	x
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Ubicación del área de estudio	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo general	4
1.3.2 Objetivos específicos	4
1.4 Justificación	4
2. CAPÍTULO II. MARCO TEORÍCO – MARCO GEOLÓGICO	6
2.1 Geología de las ciudades de Guarenas y Guatire	6
2.2 Ondas sísmicas	8
2.3 Método Sísmico de Refracción	9
3. CAPÍTULO III. ADQUISICIÓN	13
3.1 Metodología de la adquisición de datos sísmicos	13
3.2 Instrumentación	14
3.2.1 Grabadores sísmicos monocanal tipo Texan	14
3.2.2 GPS diferencial	15
3.3 Fuentes de energía	16
3.4 Geometría de los tendidos	16
4. CAPÍTULO IV. PROCESAMIENTO	17

4.1 Metodología del procesamiento de datos sísmicos	17
4.2 Conversión de formatos	17
4.3 Corrección de tiempo y aplicación de filtros a trazas individuales	18
4.4 Elaboración de secciones sísmicas	19
4.5 Selección de ondas primarias y secundarias	22
4.6 Elaboración de modelos 1D del subsuelo	24
4.7 Generación de modelos de velocidades	25
5. CAPÍTULO V. ANÁLISIS	29
5.1 Tendido Guatire	29
5.1.1 Primeras llegadas de ondas P	29
5.1.2 Modelo 1D	31
5.1.3 Modelo de velocidades de ondas P	32
5.1.4 Primeras llegadas de ondas S	34
5.1.5 Modelo de velocidades de ondas S	35
5.2 Tendido Buenaventura	38
5.2.1 Primeras llegadas de ondas P	38
5.2.2 Modelo 1D	38
5.2.3 Modelo de velocidades de ondas P	40
5.2.4 Primeras llegadas de ondas S	42
5.2.5 Modelo de velocidades de ondas S	42
5.3 Tendido Guarenas	44
5.3.1 Primeras llegadas de ondas P	44

5.3.2 Modelo 1D	46
5.3.3 Modelo de velocidades de ondas P	47
5.3.4 Primeras llegadas de ondas S	49
5.3.5 Modelo de velocidades de ondas S	50
6. CAPÍTULO VI CONCLUSIONES	53
Conclusiones	53
Recomendaciones	56
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
ANEXOS.	59

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio, perfiles de refracción sísmica	3
Figura 2. Ondas críticamente refractadas	10
Figura 3. Sección transversal de la trayectoria de las ondas cónicas	11
Figura 4. Dromocrónica.	12
Figura 5. Grabador sísmico portátil tipo Texan marca Reftek modelo 125A-01	14
Figura 6. Sistema Global de Navegación Satelital Marca Magellan Thales modelo Z-Max.Net utilizado para el posicionamiento de los datos sísmicos	15
Figura 7. Orientación de los perfiles sísmicos en la cuenca de Guarenas-Guatire	16
Figura 8. Esquema para el cálculo de distancia del punto de disparo al Trigger	18
Figura 9. Filtrado de trazas y corrección de tiempo en ReflexW	19
Figura 10. Archivo de encabezado .dst de la sección sísmica Guarenas Centro	20
Figura 11. Cargado del archivo de encabezado de la sección sísmica	21
Figura 12. Sección sísmica filtrada y corregida de Guatire disparo centro	21
Figura 13. Puntos de quiebre de onda primaria y polaridad del pulso de onda	22
Figura 14. Selección de quiebres, primeras llegadas de onda primaria y curva que une los quiebres, perfil Guatire centro	23
Figura 15. Selección de quiebres, primeras llegadas de onda secundaria y curva que une los quiebres, perfil Guatire centro	23
Figura 16. Elaboración de perfiles 1D a partir de secciones sísmicas corregidas	24
Figura 17. Formato del archivo TX.IN para el disparo Norte en trazado “Guarenas”.	26
Figura 18. Formato del archivo V.IN para el disparo Norte en trazado “Guarenas”	27
Figura 19. Formato del archivo VM.IN para el disparo Norte en trazado “Guarenas”	27
Figura 20. Formato del archivo R.IN para el disparo Norte en trazado “Guarenas”	28
Figura 21. Selección de primeras llegadas de ondas P en perfil Guatire disparo norte	29

	Pág.
Figura 22. Selección de primeras llegadas de ondas P en perfil Guatire disparo centro	30
Figura 23. Selección de primeras llegadas de ondas P en perfil Guatire disparo sur	30
Figura 24. Modelo 1D de velocidades V_p y espesores aparentes del disparo norte del tendido Guatire	31
Figura 25. Modelo 1D de velocidades V_p y espesores aparentes del disparo sur del tendido Guatire	32
Figura 26. Modelo de velocidades de ondas P con velocidades promedio, trazado Guatire, con velocidades promedio (V_p) de ondas P por capa	33
Figura 27. Selección de primeras llegadas de ondas S en perfil Guatire disparo norte	34
Figura 28. Selección de primeras llegadas de ondas S en perfil Guatire disparo centro	35
Figura 29. Selección de primeras llegadas de ondas S en perfil Guatire disparo sur	35
Figura 30. Modelo de velocidades de ondas S, trazado Guatire, con velocidades promedio (V_p) de ondas S por capa	36
Figura 31. Perfil geológico tendido Guatire	37
Figura 32. Selección de primeras llegadas de ondas P en perfil Buenaventura disparo norte	38
Figura 33. Selección de primeras llegadas de ondas P en perfil Buenaventura disparo norte	38
Figura 34. Modelo 1D de velocidades y espesores aparentes del disparo norte del tendido Buenaventura	39
Figura 35. Modelo 1D de velocidades y espesores aparentes para el disparo sur del tendido Buenaventura	40
Figura 36. Modelo de velocidades de ondas P, trazado Buenaventura, con velocidades promedio (V_p) de ondas P por capa	41
Figura 37. Selección de primeras llegadas de ondas S en perfil Buenaventura disparo norte	42

Figura 38. Selección de primeras llegadas de ondas S en perfil Buenaventura disparo sur	42
Figura 39. Modelo de velocidades de ondas S, trazado Buenaventura, con velocidades promedio (V_p) de ondas S por capa	43
Figura 40. Perfil geológico tendido Buenaventura	44
Figura 41. Selección de primeras llegadas de ondas P en perfil Guarenas disparo norte	45
Figura 42. Selección de primeras llegadas de ondas P en perfil Guarenas disparo centro	45
Figura 43. Selección de primeras llegadas de onda P en perfil Guarenas disparo sur	45
Figura 44. Modelo 1D de velocidades de ondas P y espesores aparentes para el disparo norte del tendido Guarenas	46
Figura 45. Modelo 1D de velocidades y espesores aparentes para el disparo sur del tendido Guarenas	47
Figura 46. Modelo de velocidades de ondas P, trazado Guarenas, con velocidades promedio (V_p) de ondas P por capa	48
Figura 47. Selección de primeras llegadas de ondas S en perfil Guarenas disparo norte	49
Figura 48. Selección de primeras llegadas de ondas S en perfil Guarenas disparo norte	50
Figura 49. Selección de primeras llegadas de ondas S en perfil Guarenas disparo norte	50
Figura 50. Modelo de velocidades de ondas S, trazado Guarenas, con velocidades promedio (V_p) de ondas S por capa	51
Figura 51. Perfil geológico tendido Guarenas	52

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Especificaciones técnicas de sismógrafos TEXAN <i>Ref Tek</i> modelo 125A-01	14
Tabla 2. Coordenadas UTM zona 19P de los puntos de disparo de los perfiles sísmicos	17
Tabla 3. Modelo de velocidad de onda P perfil Guatire	34
Tabla 4. Modelo de velocidad de onda S perfil Guatire	37
Tabla 5. Modelo de velocidad de onda P perfil Buenaventura	41
Tabla 6. Modelo de velocidad de onda S perfil Buenaventura	44
Tabla 7. Modelo de velocidad de onda P perfil Guarenas	49
Tabla 8. Modelo de velocidad de onda S perfil Guarenas	51

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

Las características geológicas de Venezuela, la sitúan en condiciones de especial amenaza sísmica, ya que nuestro territorio se encuentra en la zona de colisión de las placas sudamericana y Caribe. Existe un componente de convergencia en la interacción entre las dos placas, y por lo tanto nuestro país ha sido escenario de una persistente actividad sísmica de magnitud moderada a elevada, especialmente en las proximidades de las zonas costeras a lo largo de la parte norte del país (FUNVISIS, 1978). Por esta razón se hace necesario la prevención y mitigación de este riesgo asociado mediante construcciones sismo-resistentes, la concientización de la población que se encuentra en riesgo, y la caracterización del riesgo en una zona determinada, derivado de las condiciones geológicas locales.

Como parte de los trabajos de microzonificación sísmica que ha venido adelantando la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), se realizaron estudios sísmicos en la zona de la cuenca del valle donde se encuentran situadas las ciudades de Guarenas y Guatire (González *et al.*, 2009).

Para dar continuidad a los estudios iniciados en la zona por Hecht (2004), Amarís (2006), Morales *et al.* (2008), Noda (2008) y García (2012) se ha realizado este estudio de adquisición procesamiento e interpretación de tres perfiles de refracción sísmica profunda perpendiculares al valle situado entre el macizo de El Ávila y Cerro Colorado, que permitan determinar velocidades de ondas de corte y proponer un modelo preliminar del espesor de sedimentos y morfología de la cuenca, como base para trabajos posteriores de determinación de los parámetros elásticos para la microzonificación sísmica del área.

Durante los últimos 10 años, FUNVISIS ha venido adelantando proyectos de caracterización y modelado del subsuelo y microzonificación sísmica en las ciudades más importantes del país. El proyecto realizado en la zona de Guarenas y Guatire se inició con mediciones de gravimetría (Amarís, 2006) y ruido ambiental (Hecht, 2004), y con la aplicación de la sísmica de refracción somera en el modelado de las capas sedimentarias más superficiales o como método de determinación de la capa meteorizada (Rodríguez, 2006; Noda, 2008; García, 2012).

En la presente investigación se efectuó un modelado del relleno sedimentario de la cuenca mediante el método de refracción sísmica, para dar continuidad a los estudios iniciados en la zona por Hecht (2004), Amarís (2006), Noda (2008) y García (2012) que se enfocaron en las características más someras del subsuelo. Se realizó este estudio de adquisición, procesamiento e interpretación de tres perfiles de refracción sísmica perpendiculares a la dirección de orientación del valle, situado entre el macizo de El Ávila y el Cerro Colorado, de manera que permitieran determinar las velocidades de ondas de corte y para luego proponer un modelo preliminar del espesor de sedimentos y la morfología de la cuenca, como base para trabajos posteriores.

Esta investigación está enmarcada en el proyecto de microzonificación sísmica que adelanta FUNVISIS financiado por el Convenio de cooperación integral Cuba-Venezuela, y coordinado por FUNVISIS y el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas de Cuba CENAI, y servirá de punto de partida para la determinación de parámetros elásticos y de aceleración del suelo, que serán de utilidad en la planificación de obras civiles de interés social más seguras y sismorresistentes, como los servicios de transporte masivo proyectados para estas ciudades.

1.2 Ubicación del área en estudio

El área en estudio, es la cuenca delimitada por el Parque Nacional El Ávila hacia el norte y el Cerro Colorado hacia el sur, formando un valle donde se encuentran situadas las ciudades de Guarenas y Guatire. Este valle tiene una orientación aproximada E-O, por lo que la adquisición se diseñó con perfiles de orientación perpendicular N-S. En la figura 1 se presenta el mapa de la zona donde se realizó la adquisición.

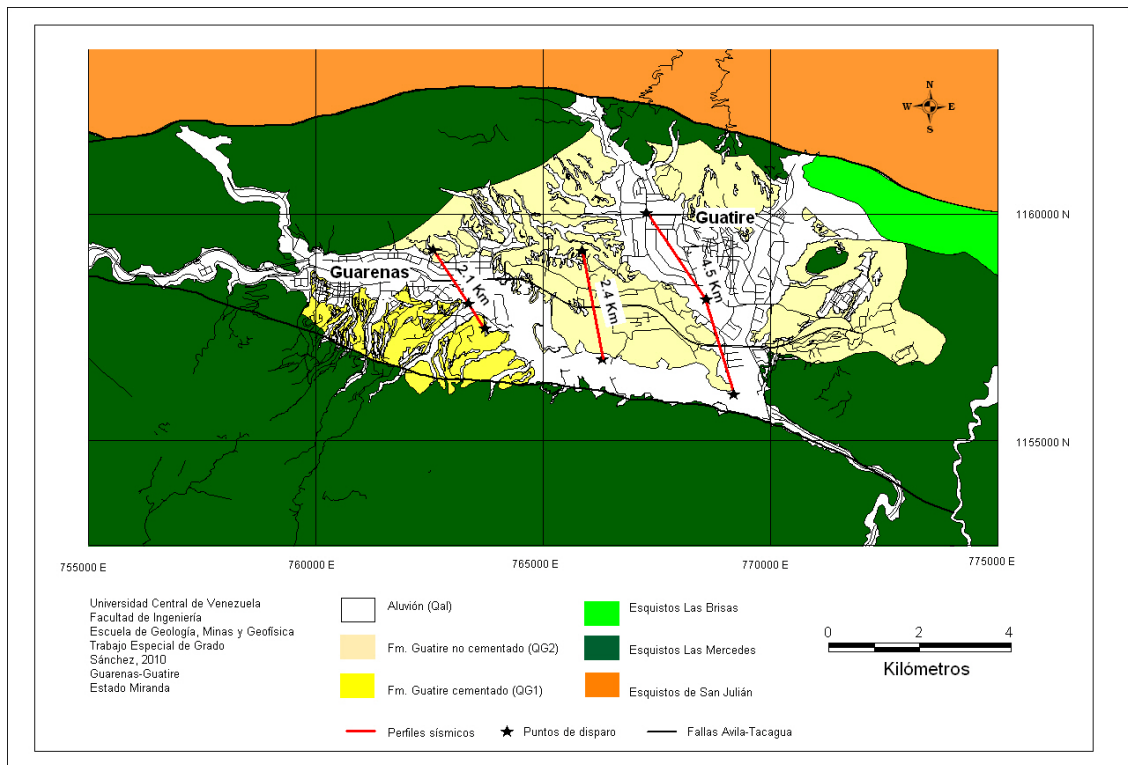


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio, perfiles de refracción sísmica.

Se realizaron tres tendidos sísmicos de longitudes diferentes (líneas rojas en la figura 1), el primero de ellos se encuentra en la ciudad de Guatire y tiene una longitud de 4,5 km a lo largo de los cuales se distribuyeron tres puntos de disparo con 30 Kg de Pentolita y Anfo cada uno, y 140 receptores entre geófonos conectados un sismógrafo GEODE y dispositivos portátiles TEXAN. Este tendido intersecta a la vía intercomunal Caracas-Guarenas a la altura de Villa Heroica. El segundo tendido de 2,4 Km y dos puntos de disparo con 30 Kg de explosivos, atraviesa la mencionada vía de comunicación entre el Centro Comercial Buenaventura y Makro Guarenas y cuenta con 136 receptores. El tercero de los tendidos intersecta a la avenida intercomunal a la altura del centro de almacenaje de Cervecería Polar C.A. y la Villa Panamericana, y tiene una longitud total de 2,1 Km con 139 receptores y tres puntos de disparo con 30 Kg de explosivos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general:

Generar un modelo estructural, de velocidades de propagación de ondas de corte y de espesores sedimentarios de la Cuenca de Guarenas-Guatire, estado Miranda, mediante perfiles de refracción sísmica.

1.3.2 Objetivos específicos

- Adquirir datos de refracción sísmica en la zona de estudio en dirección N-S, distribuidos entre las localidades de Guarenas, Buenaventura y Guatire.
- Elaborar las secciones sísmicas correspondientes a cada tendido.
- Obtener modelos tipo del subsuelo 1D en el área de estudio para el posterior modelado dinámico.
- Proponer modelos 2D a través del trazado de rayos y determinar velocidades de propagación de ondas sísmicas en los distintos niveles de profundidad del subsuelo.
- Realizar modelos de capas sedimentarias del subsuelo a través de la interpretación de los datos geofísicos y la información geológica disponible del área.

1.4 Justificación del problema

Este proyecto constituye una pieza importante enmarcada en el macroproyecto de microzonificación sísmica que lleva a cabo FUNVISIS en todo el territorio nacional. El proyecto en Guarenas y Guatire es financiado por el Convenio de Cooperación Integral Cuba-Venezuela, y coordinado por FUNVISIS y el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas de Cuba CENAI, proyecto que sirve para clasificar aquellas áreas urbanas cuyas respuestas dinámicas frente a sismos son semejantes, de manera que pueden definirse, recomendaciones precisas para el diseño y construcción de edificaciones sismorresistentes. La investigación se llevó a cabo utilizando la técnica de refracción sísmica para el modelado de la cuenca, y la integración con resultados de trabajos anteriores en los que la información proporcionada por la refracción somera ha sido complementada con gravimetría y mediciones de ruido sísmico.

Esta investigación reviste una gran prioridad ya que el eje urbano Guarenas-Guatire ha experimentado un auge habitacional en las últimas décadas que continúa con gran

cantidad de proyectos urbanos en curso, ya que según datos del Instituto Nacional de Estadística INE en la zona existen cerca de 21.000 viviendas en construcción (INE, 2001). Además de los desarrollos habitacionales, hay que destacar la construcción que se realiza del ferrocarril Guatire-Guarenas-Caracas, una obra cuya envergadura e importancia para las poblaciones beneficiadas, requiere de todas las previsiones ante la amenaza sísmica.

La proliferación de desarrollos habitacionales en las últimas décadas hacia este centro de expansión se deriva del crecimiento económico en la ciudad de Caracas y sus áreas circundantes, que incluye a estas ciudades, concretamente en el municipio Zamora y según datos del INE en el año 2001 este municipio experimentó un crecimiento de más de 60.000 habitantes con respecto al censo de 1990 (INE, 2001).

CAPÍTULO II

MARCO GEOLÓGICO

2.1 Geología de las ciudades de Guarenas y Guatire

El valle de la cuenca de Guarenas-Guatire está situado al sur de la Serranía del Litoral de la Cordillera de la Costa, estando enmarcado tectónicamente en la zona de interacción entre las placas tectónicas del Caribe y Suramericana, que tienen como límite entre sí a un conjunto de fallas transcurrentes dextrales, que en general se alinean en dirección E-O y se encuentran sísmicamente activas (Picard, 1976). Esta cordillera se encuentra delimitada hacia el occidente, en la región de Barquisimeto, por una depresión topográfica y estructural de los Andes venezolanos y hacia el oriente por el Golfo de Barcelona, hasta llegar a las penínsulas de Araya y Paria. En su extremo norte se encuentra el Mar Caribe con el sistema de fallas transcurrentes dextrales de San Sebastián y hacia el sur por una depresión perteneciente a la Serranía del Interior (González de Juana et al., 1981).

La cuenca de Guarenas–Guatire se caracteriza por no tener salidas de agua en el momento actual, es decir, es de tipo cerrada y su área de drenaje incluye rocas metamórficas en zonas de facies de los esquistos verdes de la Cordillera de la Costa, lo que influye en su contenido sedimentario. Según Picard (1976), la distribución geográfica de sedimentos dentro de la cuenca se encuentra en una zona de influencia norte con conos aluviales piedemontinos, que a medida que avanzan en dirección sur, se intercalan con sedimentos fluviales y lacustres con contenido de carbonatos. Las rocas que afloran en la zona en estudio pertenecen principalmente a la Formación Guatire la cual se depositó en una cuenca lacustre de origen Plioceno y fue rellenándose de norte a sur y de oeste a este, dejando una paleopendiente sureste, para el régimen fluvial que continuó después del relleno del lago. Esta formación, de edad Pleistoceno Temprano a Medio, está constituida en un 40 % de su volumen por lutitas de color gris amarillento, compuestas de caolinita y clorita, también son de importancia los conglomerados basales de grano mal escogido predominantes hacia el noreste con cerca de un tercio del volumen total de la formación. Las arenas y limos representan poco más del 20 % y se presentan en capas de espesores variables de hasta 6 m con estratificación interna pobre, con colores que van del gris amarillento al gris verdoso, frecuentemente oxidadas compuestas por arenas líticas arcósicas, mal escogidas y con asimetría hacia lo fino.

Esta cuenca se considera un paleo-lago de origen tectónico, cortado en la actualidad por el río Guarenas. Aquí afloran la Formación Guatire, terrazas aluvionales levantadas y aluviones cuaternarios. La Formación Guatire constituye la unidad geológica representativa de la cuenca, siendo ésta erosionalmente discordante sobre las rocas metamórficas de la Asociación Metasedimentaria Caracas infrayacente (Picard, 1976), compuestas mayormente por el esquisto de la Formación Las Mercedes y en su parte oeste sobre el esquisto de la Formación Las Brisas, en una cuenca sinclinal recubierta por aluviones. Hacia el norte abundan conglomerados, areniscas y limos poco consolidados transportados desde el Macizo del Ávila y Cabo Codera, acumulados como conos aluviales piedemontinos que cubren gran parte de la cuenca. Al avanzar hacia el suroeste se encuentra una franja de rocas clásticas cementadas por calcita, arcilla y limos calcáreos, calizas fosilíferas y limos con vegetales fósiles; esta asociación puede representar el borde sur de la cuenca lacustre, influenciada por la fuente de sedimentos de los esquistos de la Formación Las Mercedes expuesta en la Fila de Mariche. Hacia el centro de la cuenca, coincidiendo con la zona más profunda, hay acumulación de arcillas recubiertas por secuencia fluvial (Picard, 1976).

La cuenca de Guarenas - Guatire se formó como consecuencia de la acción tectónica del levantamiento de la Cordillera de la Costa. El norte de Venezuela constituye uno de los márgenes límite de la placa tectónica suramericana y la placa tectónica del Caribe, siendo este un cinturón compuesto de unidades tectónicas amalgamadas de corteza tanto oceánica como continental, acrecionadas, con dirección hacia el sur desde el Cretácico Tardío (Ostos, 1990). De acuerdo a quienes proponen un modelo alóctono, se considera que ha ocurrido el emplazamiento de unidades ofiolíticas, entendiéndose por éstas una columna de rocas que se trasladan como una sola unidad, siendo el traslado tectónico por gravedad o por compresión cortical. De esta manera, hacia la zona del litoral central del país se encuentran un conjunto de napas ofiolíticas. Las columnas de sedimentos que afloran en la cuenca de Guarenas-Guatire componen los depósitos más recientes sobre la napa de Caracas depositados en un sinclinal de edad entre Plioceno y Pleistoceno, emplazados en su mayor parte en discordancia erosional sobre los esquistos de la Formación Las Mercedes y al oeste sobre una pequeña porción de los esquistos de la Formación Las Brisas (Urbani y Rodríguez, 2004).

MARCO TEÓRICO

2.2 Ondas sísmicas

Las ondas sísmicas son la manifestación física de la transferencia de energía de deformación elástica de una partícula a otra, estas ondas se propagan a partir de una fuente sísmica que puede ser de origen natural como una fractura en una roca sometida a esfuerzos, un derrumbe, actividad geotérmica entre otras; y también pueden ser de origen artificial como explosiones, cañones de aire y vibradores. Las fuentes más convenientes para la prospección sísmica son aquellas que generan trenes de onda cortos o impulsos, que en general contienen un amplio espectro de frecuencias. En el caso de las explosiones, las deformaciones causadas por el tránsito de un impulso sísmico pueden ser consideradas elásticas en la cercanía de los receptores de la señal, pero no en la zona inmediata a la fuente. Estas ondas viajan tanto por el subsuelo como en la superficie causando deformaciones reversibles a su paso, y según el tipo de movimiento que describan las partículas, las ondas pueden ser clasificadas como:

Ondas P

Las ondas P, longitudinales o de compresión son generadas por un movimiento alternante de compresión y dilatación de las partículas a lo largo de la dirección de propagación de la onda. Estas ondas viajan a través de los cuerpos de las rocas en el subsuelo y se dice que son internas, de volumen o corpóreas (Telford et al., 1976).

Ondas S

Las ondas S, transversal o de cizalla tienen un movimiento de oscilación perpendicular a la dirección de propagación. Se pueden separar sus componentes S_h , cuyas partículas oscilan en el plano horizontal perpendicularmente a la dirección de propagación, y S_v cuyas partículas oscilan en el plano vertical perpendicularmente a la dirección de propagación. Son ondas de volumen (Telford et al., 1976).

Ondas Rayleigh (R)

Las ondas Rayleigh tienen un movimiento llamado elíptico retrógrado, parecido a las olas del mar, sus partículas se mueven describiendo trayectorias elípticas en el plano vertical paralelo a la dirección de propagación. En superficie, el movimiento de las partículas es

retrógrado con respecto a la dirección de las ondas por lo que la velocidad de estas ondas es menor que la velocidad de las ondas transversales (Telford et al., 1976).

Ondas Love (L)

Son ondas transversales o de cizalla, que oscilan sólo en el plano horizontal de la superficie y son conocidas por ser las más destructivas en caso de terremotos, pero no son de utilidad en los estudios de sísmica de refracción (Telford et al, 1976).

2.3 Método sísmico de refracción

Los métodos sísmicos de exploración geofísica se basan en el hecho de que las ondas elásticas viajan con velocidades diferentes en medios diferentes. El principio consiste en generar tales ondas en un punto fuente, y determinar en un cierto número de puntos receptores el tiempo de llegada de la energía que ha sido refractada o reflejada por las discontinuidades entre diferentes formaciones rocosas. Esto permite deducir la profundidad y los espesores de los cuerpos sedimentarios rocosos (Parasnis, 1970).

Existen dos grandes campos dentro de los métodos sísmicos: sísmica de refracción y sísmica de reflexión. Como lo indican sus nombres, el primero se encarga de analizar las señales que son refractadas mientras que el segundo estudia y analiza las ondas que son reflejadas. Existen varias diferencias entre los mismos, como por ejemplo las distancias fuente-receptor empleadas, que son mayores en el método de refracción debido a que las trayectorias que siguen los rayos refractados son mayores a las trayectorias que siguen los rayos reflejados (Dobrin, 1960).

En la geofísica aplicada, los estudios de refracción son utilizados comúnmente en la industria petrolera y de construcciones civiles para fines tan variados como realizar el cálculo de la capa para la corrección en prospección por reflexión, estudios geotécnicos para obras, estimación de parámetros elásticos del suelo, cálculo de volumen de material explotable en minas, obtención del espesor de sedimentos hasta el basamento en una cuenca (Cavada, 2000), o como en el caso de este trabajo, para determinar las velocidades y espesores de estratos sedimentarios a profundidad, con una menor resolución dentro de cada paquete. Los métodos de refracción también son utilizados a gran escala en

sismología para investigaciones referentes a la estructura interna de la tierra, principalmente con fuentes sísmica naturales, es decir, aquellos producidos por sismos a partir del movimiento de las placas tectónicas.

El fundamento teórico de este método está en la medición del tiempo de viaje desde la fuente hasta los receptores, de las ondas sísmicas críticamente refractadas a lo largo de la interfaz de un par de estratos que tengan un fuerte contraste en sus velocidades, de acuerdo con Cavada (2000), es deseable que la velocidad del estrato inferior tenga una magnitud al menos dos veces mayor a la magnitud de la velocidad de la capa inmediatamente superior.

La refracción crítica se da cuando el ángulo de refracción es igual a 90° y la onda viaja a lo largo de la interfaz a la velocidad mayor de la capa inferior tal como se ilustra en la figura 2.

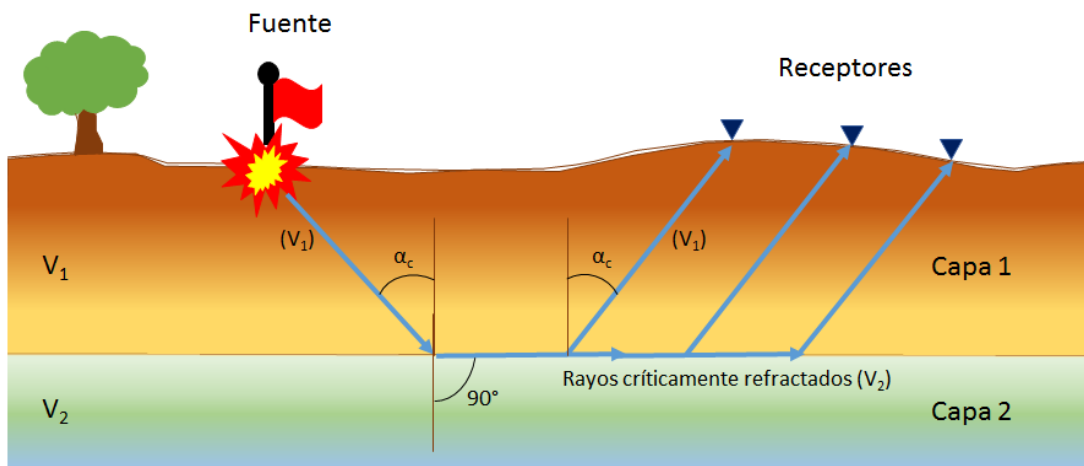


Figura 2: Ondas críticamente refractadas

Los rayos o frentes de onda que incidan sobre la interfaz con ángulo crítico α_c y velocidad V_1 del primer estrato, se refractarán a 90° viajando por esa misma interfaz con velocidad V_2 del segundo estrato, $V_2 > V_1$

Este ángulo crítico α_c puede expresarse en términos de las velocidades de ambas capas por medio de la Ley de Snell, como se muestra en la ecuación 1.

$$\frac{\sin \alpha_c}{V_1} = \frac{\sin 90^\circ}{V_2} = \frac{1}{V_2} \text{ (ecuación 1)}$$

$$\alpha_c = \sin^{-1} \frac{V_1}{V_2} \text{ (ecuación 2)}$$

En un modelo idealizado de la tierra consistente en capas horizontalmente homogéneas y con interfaces paralelas entre sí, las ondas refractadas críticamente viajarán a lo largo de la superficie de contacto entre dos capas, generando en todos los puntos de la interfaz por donde viaja el frente de ondas perturbaciones oscilantes que emergen hacia la capa superior con un ángulo α_c y viajando a la velocidad V_1 , puede demostrarse que el tiempo de viaje de estas ondas desde la fuente al receptor se expresa en los siguientes términos (Cavada, 2000).

$$t_v = \frac{2V_1}{h \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2}} + \overline{AD} \cdot V_2 \text{ (ecuación 3)}$$

En el caso en que dicha onda viaje en una primera capa de espesor h , seguirá una trayectoria como la que se muestra en la figura 3.

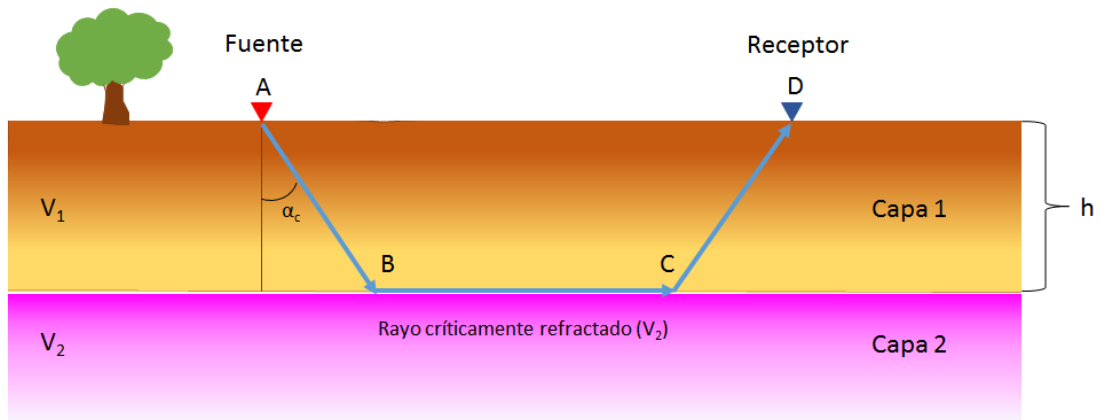


Figura 3: Sección transversal de la trayectoria de las ondas cónicas

Igualmente, puede demostrarse, para este caso que, en términos de las velocidades y los tiempos de llegadas, el espesor de la primera capa bajo el punto de disparo A es (Cavada, 2000):

$$h_{1a} = \frac{V_1 \cdot t_{iA}}{2 \cos \alpha_c} \text{ (ecuación 4)}$$

Donde t_{iA} es el llamado “tiempo de intercepto” que en una sección sísmica representa la intersección con el origen de la recta de la dromocrónica para esa capa. Esto puede ser representado por un gráfico como el de la figura 4, que muestra en el eje de las abscisas la distancia de los receptores a la fuente, y en el eje de las ordenadas el tiempo t donde se deben escoger las llegadas de los distintos tipos de onda.

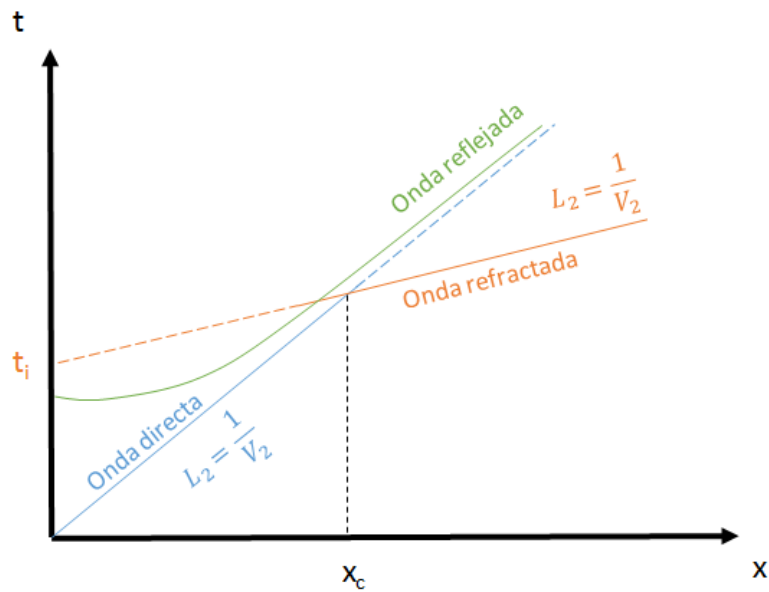


Figura 4: Dromocrónica.

CAPÍTULO III

ADQUISICIÓN

La fase de adquisición de los datos de refracción sísmica consistió en 3 perfiles perpendiculares a la autopista intercomunal Guarenas-Guatire.

La ubicación de los tendidos, la ubicación de los puntos de disparo, y obtención de la permisos municipales correspondientes, fueron realizadas por FUNVISIS, tomando en cuenta la orientación de la cuenca, vías de acceso, y comunidades cercanas. Para la manipulación de las cargas explosivas se contó con la colaboración y experticia de CAVIM.

3.1 Metodología de la adquisición de datos sísmicos

En primer lugar se realizó un reconocimiento físico directo en la zona propuesta, con el que se determinó que los trazados más convenientes por su accesibilidad, orientación y continuidad a través de la cuenca, se encontraban en Villa Heroica, Buenaventura y Cervecería Polar, como se detalla en la figura 1.

Una vez que se determinaron los puntos de disparo, se contrató a una empresa de obras civiles y geotecnia para la perforación de los pozos donde se colocaría la carga explosiva, para ello se utilizaron mechas de 12 cm de ancho y 2 m de largo, y un taladro hidráulico. Estos pozos fueron posteriormente encamisados con un recubrimiento de policloruro de vinilo (PVC) y en el fondo se colocó la carga explosiva de 30 kg de una mezcla de Pentolita y Anfoterita.

3.2 Instrumentación

3.2.1 Grabadores sísmicos monocanal tipo Texan

Para la grabación de los datos sísmicos se utilizaron sismógrafos portátiles a batería tipo Texan, marca Ref Tek de un solo canal. Estos sismógrafos portátiles fueron diseñados por un consorcio de universidades estadounidenses en el estado de Texas para ser utilizados en campañas sísmicas a gran escala, o en donde no sea práctica la utilización de cámaras sísmicas convencionales con cables. Estos dispositivos se instalan en el suelo y se conectan a un geófono, y proporcionan sismogramas en ventanas de tiempo

previamente programadas. En la figura 5 se muestra una instalación típica de uno de estos dispositivos.



Figura 5. Grabador sísmico portátil tipo Texan marca Reftek modelo 125A-01

Las especificaciones técnicas de estos aparatos se describen en la tabla 1:

Tabla 1. Especificaciones técnicas de sismógrafos TEXAN Ref Tek modelo 125A-01

Baterías	2 pilas alcalinas “D”
Voltaje	1.6 VDC-3.0 VDC
Tasa de muestreo	1000, 500, 250, 200, 125, 100, 50, 25 muestras por segundo
Tamaño por letra	24-bit 2 complementos (3 bytes por muestra)
Capacidad	128, 256, 512 Mbyte
Longitud de grabación	Tiempo mínimo de 1 segundo a un máximo de tiempo almacenado que será determinado por el usuario
Frecuencia	2.048 MHz, Control electrónico
Formato	Formato de grabación PASSCAL

A cada Texan se conectaron geófonos de componente vertical los cuales se colocaron en el sedimento y se tomaron sus coordenadas UTM (*Universal Transverse Mercator*) con un GPS diferencial. Además se utilizó un Texan adicional en cada tendido el cual sirvió de *uphole* (tiempo cero) y se instaló a 5 m de distancia del pozo con la carga explosiva.

Para cada perfil se colocaron 45 de estos dispositivos distribuidos a lo largo de la longitud de los tendidos.

3.2.2 GPS diferencial

Una parte primordial en la obtención de datos sísmicos es la ubicación geográfica de cada equipo de registro con una precisión de pocos centímetros. Para estos fines se utilizó un Sistema Global de Navegación Satelital GNSS (*Global Navigation Satellite System*) de tipo GPS diferencial, marca Magellan Thales modelo Z-Max.Net como el que se muestra en la figura 6.



Figura 6. Sistema Global de Navegación Satelital Marca Magellan Thales modelo Z-Max.Net utilizado para el posicionamiento de los datos sísmicos.

Este sistema consiste en un módulo GPS con consola, una antena receptora GNSS y un terminal móvil con el que se opera la configuración del aparato y de donde se toman las lecturas de ubicación.

3.3 Fuentes de energía

En los puntos de disparo se introdujeron cargas explosivas de pentolita y anfoterita, el primero de ellos se introdujo en barras cilíndricas de 1 kg, 5 cm de diámetro, 0,5 m de largo y 1 kg de peso, posteriormente se relleno el espacio vacío entre cilindros con anfo granulada y finalmente los detonadores conectados en paralelo a un sensor accionador en el exterior, todo el procedimiento de detonación de las cargas fue llevado a cabo por personal de la Compañía Anónima Venezolana de Industrias Militares (CAVIM).

3.4 Geometría de los tendidos

Los perfiles fueron colocados con una orientación aproximada norte-sur, ya que como es usual en estudios de refracción similares a este, se procuró que el rumbo de las líneas sísmicas fuese perpendicular a la dirección geográfica o rumbo del valle de la cuenca de Guarenas-Guatire. La figura 7 muestra la disposición final de los puntos de disparo con relación a la orientación del valle de la cuenca.

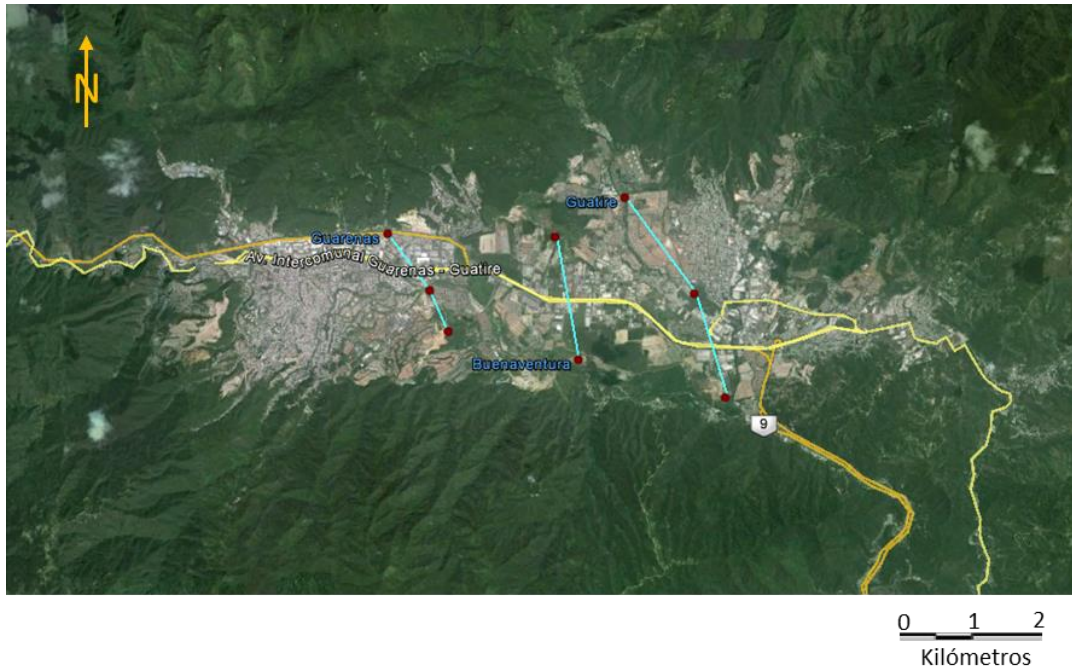


Figura 7. Orientación de los perfiles sísmicos en la cuenca de Guarenas-Guatire.

La tabla 2 muestra las coordenadas UTM zona 19P, de los puntos de disparo.

Tabla 2. Coordenadas UTM zona 19P de los puntos de disparo de los perfiles sísmicos

		Norte	Centro	Sur
Buenaventura	x	765851	—	766306
	y	1159198	—	1156812
Guatire	x	767194	768594	769227
	y	1159993	1158125	1156105
Guarenas	x	762567	763377	763750
	y	1159224	1158126	1157351

CAPÍTULO IV

PROCESAMIENTO

Para el procesamiento de los datos adquiridos se utilizó el *software Reflexw* desarrollado por Sandmeier (1998). Con características modulares, posee numerosas configuraciones posibles que se adaptan a las necesidades del usuario, por ejemplo, los módulos opcionales de procesamiento de datos 2D, interpretación de datos 3D, modelado, Simulación/Inversión. En el caso de este trabajo se utilizó únicamente el módulo de procesamiento de datos 2D. Para la interpretación de los datos se utilizó el *software* libre *RayInvr* (Zelt et al, 1992).

4.1 Metodología del procesamiento de datos sísmicos

El procesamiento de los datos sísmicos se llevó a cabo siguiendo los pasos que se detallan a continuación.

1. Conversión de formatos de archivos de grabación de datos sísmicos al estándar SEG-Y.
2. Corrección de tiempo y aplicación de filtros a trazas individuales.
3. Elaboración de secciones sísmicas.
4. Selección de llegadas de ondas primarias y secundarias.
5. Generación de modelos de velocidades del subsuelo con velocidades de ondas primarias.
6. Ajuste de los modelos con velocidades de ondas secundarias.

Adicional a estos pasos pueden encontrarse procedimientos opcionales que sólo se aplican según el caso y que se detallan en las trazas individuales, como por ejemplo: el remuestreo de una sección sísmica para fines de procesamiento, o la combinación de dos secciones para mejor determinación de llegadas de ondas secundarias

4.2 Conversión de formatos

Antes de iniciar el procesamiento de los datos, fue necesario realizar la conversión de los datos originales, extraídos de los receptores TEXAN 125a en formato .TRD, con la finalidad de transformarlos a un tipo de formato admitido por los *software* de procesamiento de datos sísmicos, en este caso ReflexW, que admite archivos tipo SEG-Y. Para ello, se empleó una serie de rutinas en MSDOS proporcionadas para tal fin por el

fabricante de los receptores TEXAN, que permiten transformar los archivos mediante una serie de pasos previos. Inicialmente la rutina “125_pas” permite generar archivos con formato .DAT, los cuales son posteriormente descomprimidos con la rutina “arcwrite”. Luego se utiliza “arcfetch” para extraer ventanas de 30 segundos desde el registro de los datos. Estas ventanas extraídas se definen de acuerdo a la hora GMT y día juliano en el que se realizaron los disparos, lo que da como resultado archivos con terminación .RT. Finalmente se emplea la rutina “rt2segy” para convertir los datos finales de cada equipo al formato SEG-Y deseado.

4.3 Corrección de tiempo y aplicación de filtros a trazas individuales

El cálculo de la corrección estática de tiempo t_{est} , que se utiliza para corregir todas las trazas desplazando el inicio de la grabación al instante $t = 0$, se realizó mediante la idealización de un triángulo pitagórico en donde se conoce la profundidad del pozo y la distancia de este al receptor *uphole*, constantes para todos los pozos con valores $y = 10m$ y $x = 5m$, como se muestra en la figura 8.

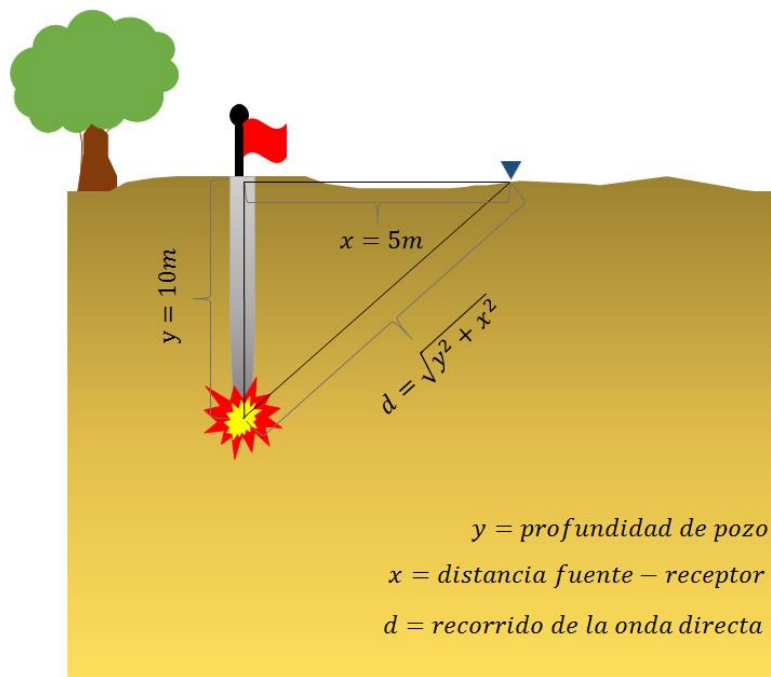


Figura 8. Esquema para el cálculo de d .

De donde se despeja la distancia de la carga explosiva al *trigger*.

$$d = \sqrt{y^2 + x^2} = 11,18 m \text{ (ecuación 6)}$$

Analizando las primeras llegadas en las secciones sísmicas, se encontró que las velocidades de la onda directa en los 20 m más superficiales de roca meteorizada presentaron velocidades entre 500 y 600 m/s, de manera que:

$$t_{est} = \frac{d}{v} = \frac{11,8m}{550 \frac{m}{s}} = 0,020s \text{ (ecuación 7)}$$

Este valor fue el utilizado para las correcciones de tiempo en todas las secciones sísmicas, utilizando la herramienta informática ReflexW, módulo *2D-data-analysis*, en la pestaña *Processing* → *StaticCorrection/muting* → *move start time*, en la figura 9 se muestra una captura de pantalla.

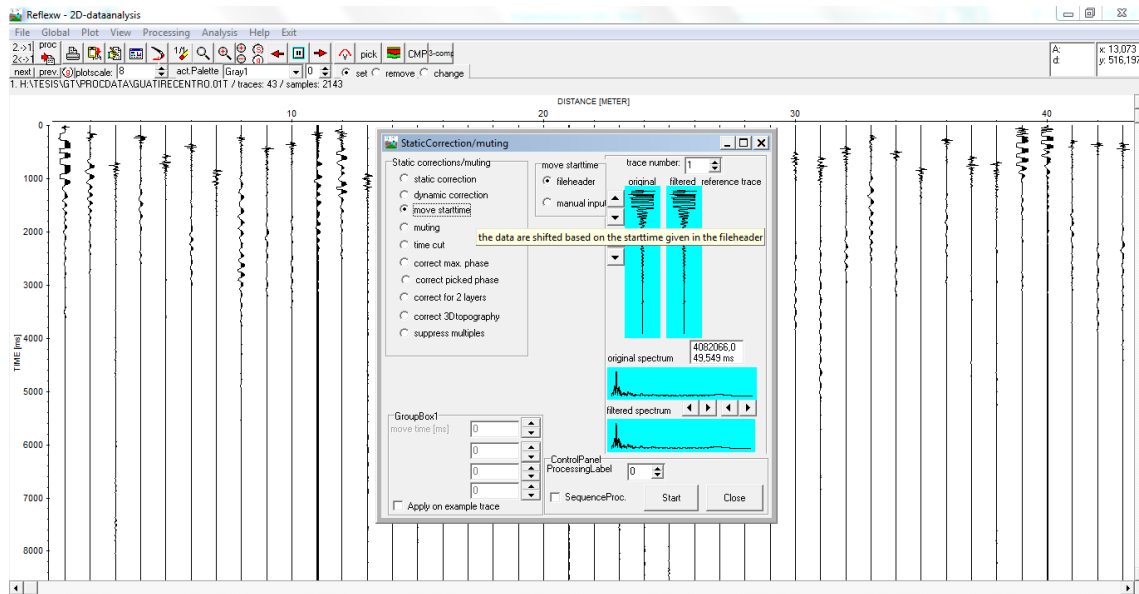


Figura 9. Filtrado de trazas y corrección de tiempo en ReflexW.

Una vez corregidas todas las trazas individuales por este tiempo, se identificaron las trazas ruidosas y se le aplicaron filtros pasabanda utilizando el módulo *2D-data-analysis*. Para la selección de los filtros se eligieron los rangos de frecuencias más prominentes, escogidos a partir de los espectros de frecuencias de las trazas individuales generalmente entre 4,5 y 30 Hz.

4.4 Elaboración de secciones sísmicas

Una vez llevado a cabo el filtrado de las trazas y corrección de tiempo, se procedió a elaborar las secciones sísmicas, que consisten en el ordenamiento de las trazas individuales con la misma configuración geométrica que se utilizó para su instalación en campo, midiendo las distancias desde el pozo más al norte del trazado. Las mediciones

de las distancias se calcularon utilizando los datos de latitud y longitud de cada dispositivo de grabación TEXAN, obtenidos en campo con el GPS diferencial, en coordenadas UTM, lo que permitió hacer el cálculo de las distancias directamente en metros, por medio de la ecuación 7.

$$d = \sqrt{(x_T - x_P)^2 + (y_T - y_P)^2} \quad (\text{ecuación 8})$$

Dónde:

P: $(X_P; Y_P)$ es el pozo más al norte del trazado

T: $(X_T; Y_T)$ es el receptor TEXAN

Luego de calculadas todas las distancias se procedió a elaborar con el programa *UltraEdit*, un archivo de encabezado, de extensión *.dst con el que se asignó a cada traza su ubicación en metros en el perfil. En la figura 10 se muestra una vista parcial del archivo de encabezado para el perfil de Guarenas en su disparo Centro.

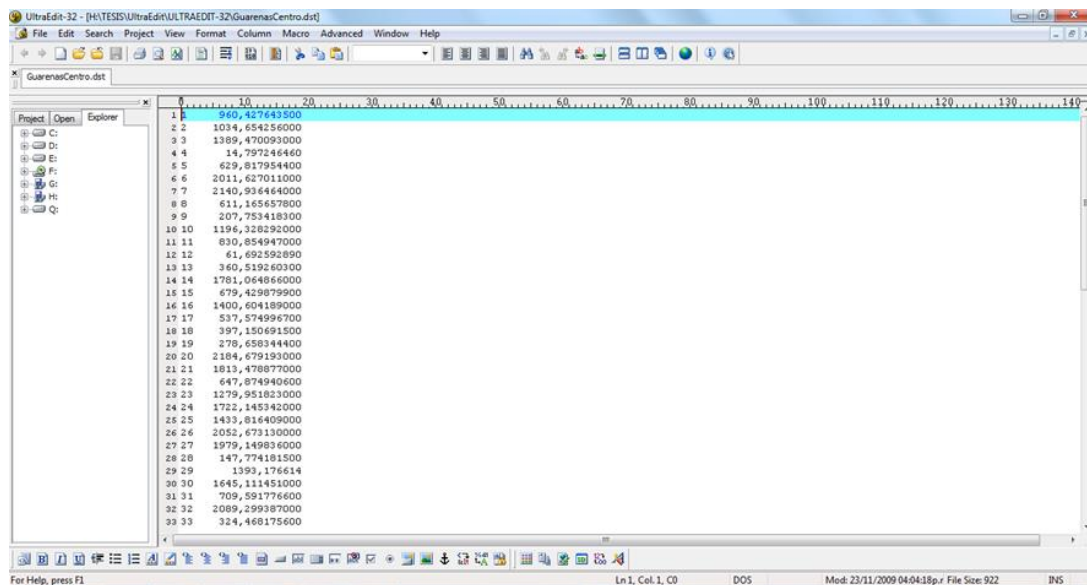


Figura 10. Archivo de encabezado .dst de la sección sísmica Guarenas Centro.

En la figura 11 se muestra la realización de estos archivos de encabezados o *headers* individuales para cada sección, junto con las correcciones de tiempo para todas las trazas permitieron elaborar las secciones sísmicas en ReflexW en la barra de herramientas principal, siguiendo la secuencia *Edit file header of the actual line* → *Show trace header* → *Update* y eligiendo la ubicación del archivo .dst correspondiente y finalmente se obtiene la sección sísmica filtrada y corregida tal como se muestra en la figura 12.

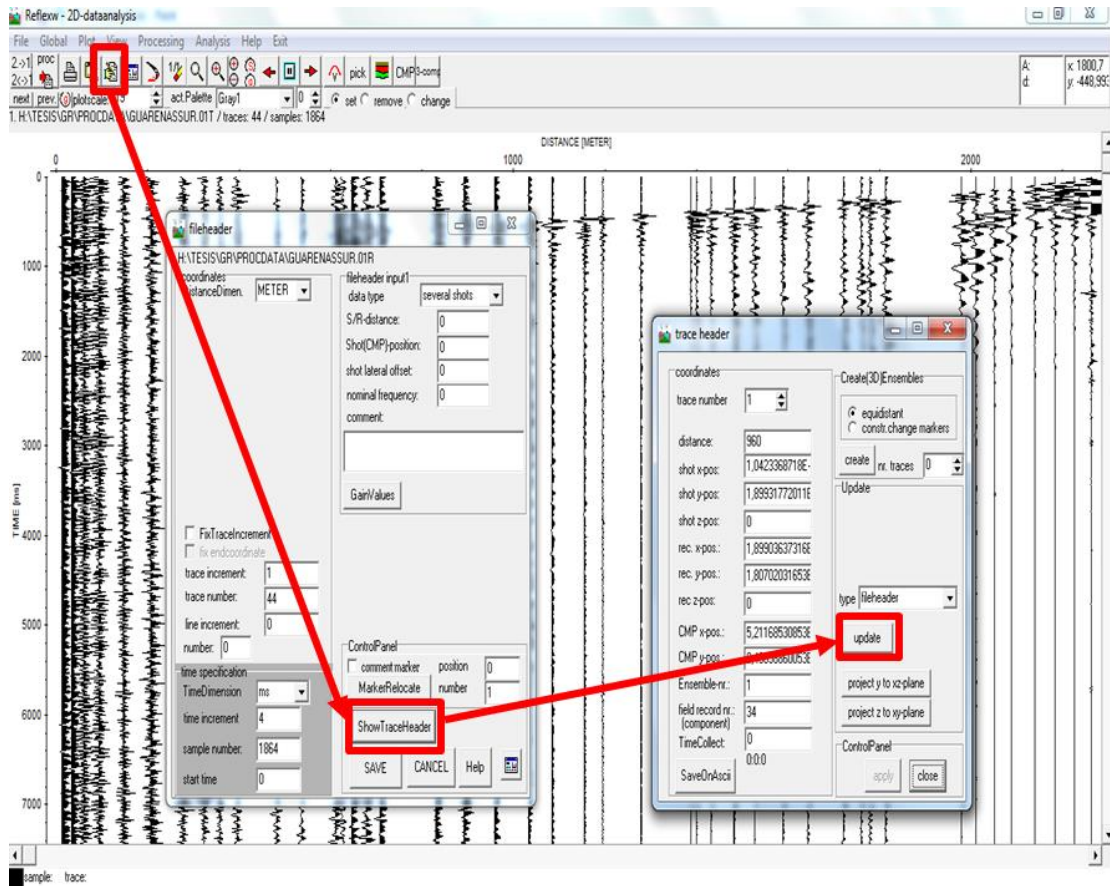


Figura 11. Cargado del archivo de encabezado de la sección sísmica.

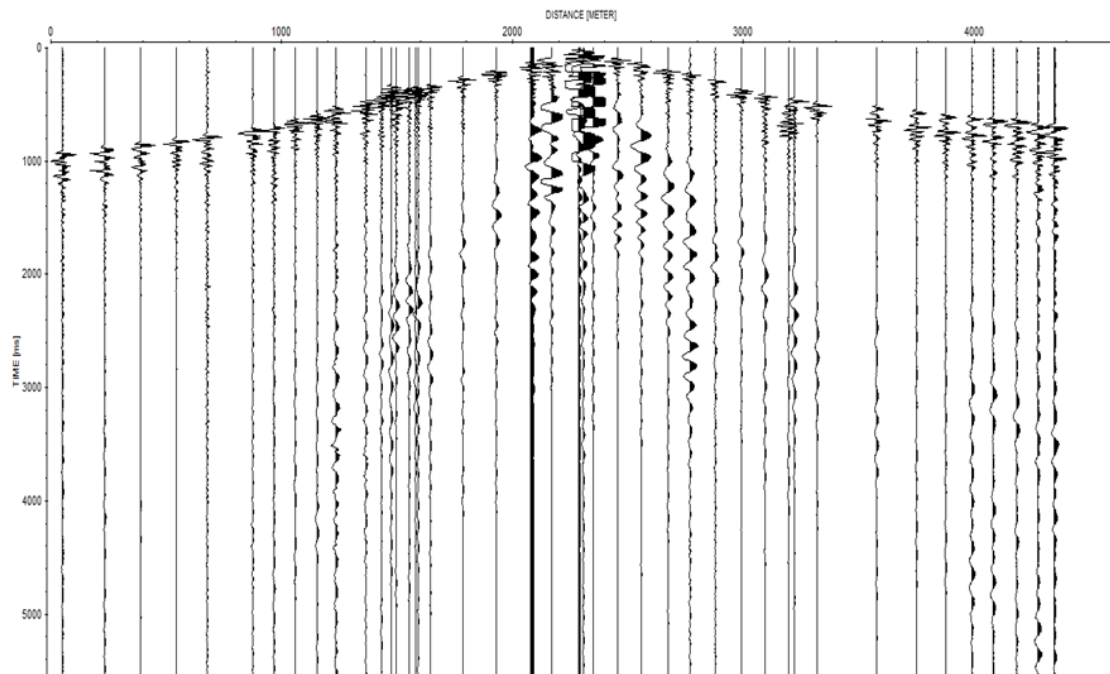


Figura 12. Sección sísmica filtrada y corregida de Guatire disparo centro.

Sobre estas secciones corregidas y filtradas se realizó la selección de las primeras llegadas de ondas primarias y secundarias y las estimaciones de las velocidades para la interpretación del subsuelo.

4.5 Selección de llegadas de ondas primarias y secundarias.

Una vez que se elaboraron las secciones sísmicas definitivas, se seleccionaron los quiebres de llegada de las ondas primarias y secundarias, en cada traza individual. Esto se hizo con especial cuidado dado que la cantidad de ruido inherente a este tipo de adquisiciones, puede llevar a confusiones debido a los varios frentes de ondas recogidos por los receptores, por lo que se debió discriminar ondas primarias, y ondas secundarias y *Ground Roll*.

El procedimiento que se llevó a cabo en ReflexW para determinar las primeras llegadas consistió en hacer acercamientos de hasta 5400 % en las trazas individuales, con lo que se identificaron los puntos de quiebre y la polaridad con la que llegó la onda al receptor, como se muestra en la figura 13.

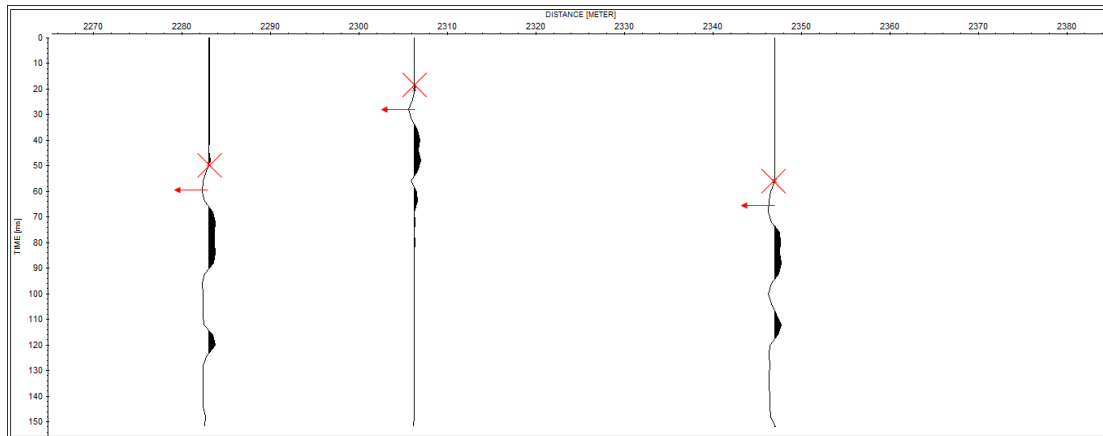


Figura 13. Puntos de quiebre de onda primaria y polaridad del pulso de onda.

Posteriormente, utilizando el programa ReflexW, con la función de selección y edición de quiebres, presionando en la barra de herramientas principal el botón *Pick* → *Pick breaks* → *set, edit, remove picks* (figura 14) que permite crear un archivo de formato *.pck que contiene todas las llegadas de las ondas de interés, en este caso, se crearon archivos separados para ondas primarias y secundarias. Estos archivos *.pck, pueden ser cargados posteriormente a la sección sísmica para ser editados, y contienen los valores de tiempo de llegada de trazas sucesivas que permiten las estimaciones de velocidades que se utilizaron como punto de partida para la elaboración de los modelos de velocidades del subsuelo.

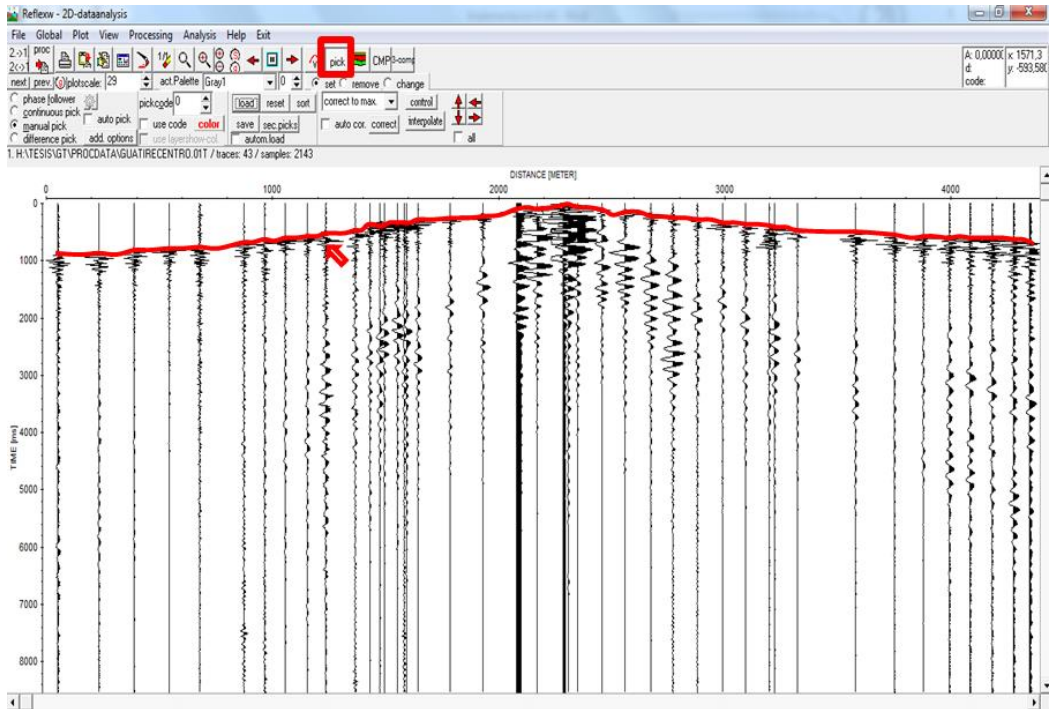


Figura 14. Selección de quiebres, primeras llegadas de onda primaria y dromocrónica en color rojo, perfil Guatire centro.

El mismo procedimiento se siguió para la elección de los quiebres correspondientes a las primeras llegadas de las ondas secundarias, teniendo en cuenta que estas son registradas en los receptores en un tiempo posterior a las ondas primarias, y anterior a la onda directa, es decir, que las ondas secundarias se encuentran siempre acotadas entre las ondas primarias y el *Ground Roll*. En la figura 15 se puede observar un ejemplo de las selecciones de los quiebres para ondas S, unidos por una curva azul suavizada.

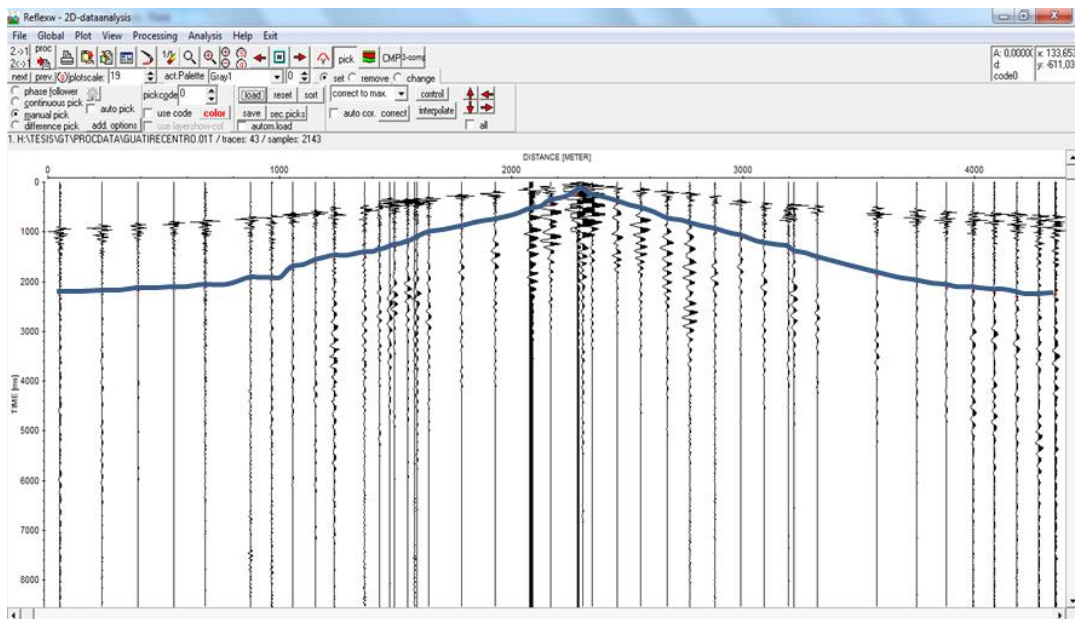


Figura 15. Selección de quiebres, primeras llegadas de onda secundaria y dromocrónica en color azul, perfil Guatire centro

4.6 Elaboración de modelos 1D del subsuelo.

Para la generación de los modelos 1D del subsuelo se utilizó el módulo CMP (1D)-velocity analysis del *software* Reflexw, en el cual la secuencia *File* → *Load data* → *procdata* desplegará la sección sísmica que se elija en la porción derecha de la pantalla y la porción izquierda un modelo 1D que se construye arrastrando el cursor a lo largo de la línea imaginaria que une las primeras llegadas como se muestra en la Figura 16.

Estos modelos pueden interpretarse como representaciones del subsuelo simplificadas de capas de espesores uniformes y velocidades constantes en la región del subsuelo comprendida entre la fuente de energía sísmica y el receptor más alejado de dicha fuente. De la misma forma en la que pueden deducirse espesores y velocidades referenciales a partir de las dromocrónicas de las secciones sísmica utilizando métodos de tiempo intercepto (Sandmeier, 1998).

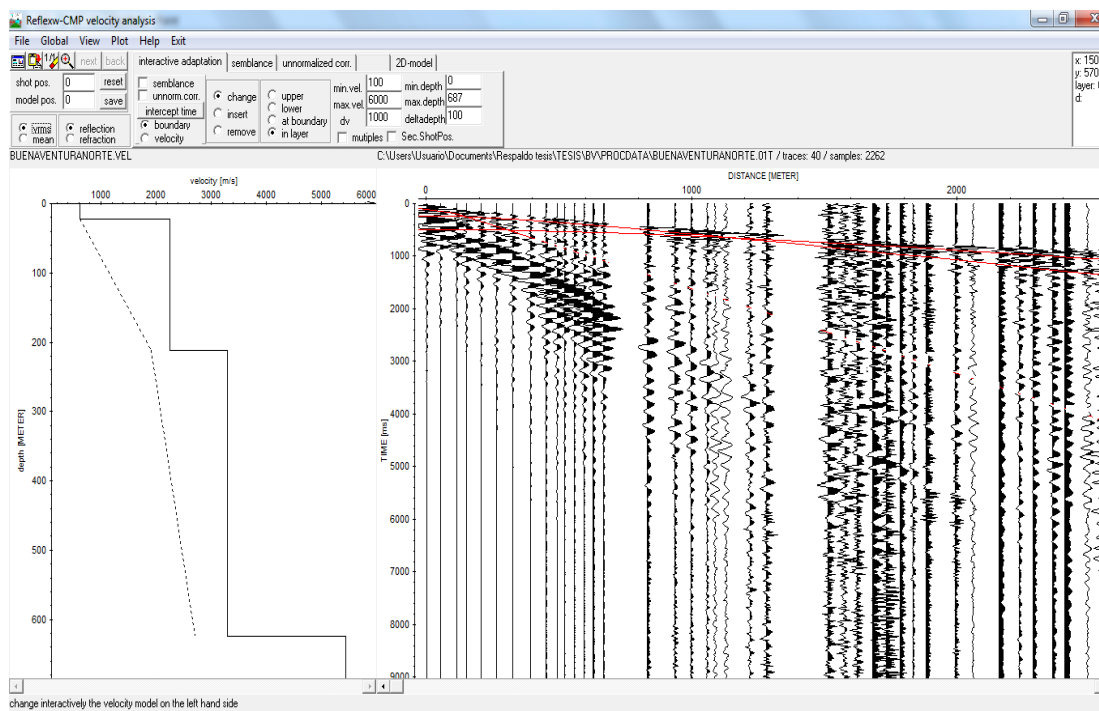


Figura 16. Elaboración de perfiles 1D a partir de secciones sísmicas corregidas

A medida que se va ajustando la línea roja a lo largo del contorno de las primeras llegadas, el programa va generando un gráfico que asigna un espesor y una velocidad específica a cada capa, y cada cambio en la pendiente de la sección sísmica, representa un escalón en el modelo 1D, lo que a su vez representa una nueva capa, por ejemplo, en la imagen de muestra de la Figura 16 se pueden diferenciar tres capas de aproximadamente 10, 200 y

610 m de espesor y con velocidades V_p aproximadas de 600, 2200 y 3400 m/s respectivamente.

4.7 Generación de modelos de velocidades.

Para la generación de los modelos bidimensionales de velocidad se utilizó el programa RAYINVR, que corre en ambiente Linux haciendo uso de un sistema de archivos específicos donde se crean y modifican los modelos bidimensionales y los parámetros de graficación. Los archivos indispensables para el funcionamiento de este programa son:

- TX.IN: contiene las coordenadas de los primeros quiebres de la onda de acuerdo a la interpretación de la señal obtenida en campo, y también relaciona cada traza a un estrato en particular.
- V.IN: contiene el modelo bidimensional de velocidades y espesores de cada estrato. Este es el archivo que debe modificarse hasta obtener un modelo que se ajuste a la interpretación de la señal de campo reflejada en el archivo TX.IN.
- VM.IN: contiene los parámetros de graficación, longitud, posición y numeración de los ejes, rango de la gráfica entre otros.
- R.IN: contiene los parámetros secundarios de graficación tales como el color de las líneas, y controla la información mostrada en la gráfica, como velocidad de cada estrato, etc.

Los archivos mencionados deben estar contruidos de una manera muy específica, para que el código pueda reconocerlos, en las figuras que siguen en las páginas siguientes se muestran ejemplos de estos archivos y cómo deben ser contruidos y modificados.

3577.137	1213.361	10.000	4
3748.610	1221.687	10.000	4
3874.868	1266.340	10.000	4
3989.540	1274.487	10.000	4
4081.357	1291.718	10.000	4
4180.910	1307.782	10.000	4
4275.462	1340.614	10.000	4
4345.866	1340.372	10.000	4
2306.000	-1.000	0.000	0
232.334	852.342	10.000	2
386.723	808.409	10.000	2
541.211	796.878	10.000	2
675.286	758.744	10.000	2
874.326	702.790	10.000	2
964.797	658.026	10.000	2
1055.530	606.548	10.000	2
1152.348	561.784	10.000	2
1234.507	517.020	10.000	2
1365.425	474.495	10.000	2
1429.756	425.255	10.000	2
1472.003	414.064	10.000	2
1493.032	409.587	10.000	2
1552.376	360.347	10.000	2
1580.672	346.918	10.000	2
1590.736	342.442	10.000	2
1641.355	329.013	10.000	2
1783.431	261.867	10.000	2
2078.051	127.576	10.000	2
2168.082	98.480	10.000	1
2283.055	49.240	10.000	1
2306.000	1.000	0.000	0
2306.272	20.143	10.000	1
2347.004	55.954	10.000	1
2454.666	96.241	10.000	1
2557.616	141.005	10.000	2
2672.769	196.960	10.000	2
2768.352	232.771	10.000	2
2877.642	284.249	10.000	2
2988.852	364.824	10.000	2

Figura 17. Formato del archivo TX.IN para el disparo Norte en trazado “Guarenas”.

En la figura 17 se muestra una vista parcial del formato que debe tener un archivo TX.IN, debe cumplirse que desde el principio de una columna hasta el principio de la siguiente columna haya separación de 10 caracteres. La primera columna indica la posición de la traza medido de norte a sur y se mide en metros, la segunda columna representa el tiempo t del primer quiebre de la onda en la traza correspondiente, la tercera columna corresponde a la tolerancia de ajuste entre el modelo de velocidades y los *picks* de primeras llegadas, y la última columna indica el estrato al que pertenece cada quiebre. Se debe resaltar que en este archivo cada disparo debe tener un encabezado que debe reflejar en su primera columna su posición a lo largo del tendido, mientras que en su segunda columna debe tener el número 1.000 o -1.000 dependiendo del sentido de viaje de las ondas en el tendido, por ejemplo, en el disparo más al norte las ondas viajan hacia el sur hasta los receptores y se utiliza 1.000, mientras que en el disparo más al sur las ondas viajan hacia el norte hasta los receptores por lo que debe utilizarse -1.000. En el caso de disparos intermedios deben dividirse en un encabezado para ondas que viajen hacia el norte y otro para ondas que viajen hacia el sur, como se muestra. El detalle de estos archivos y su construcción puede encontrarse más adelante en los apéndices.

```

1 0.00 490.55 981.111471.661962.222452.772943.333433.883924.444415.00
0 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
1 0.00 490.55 981.111471.661962.222452.772943.333433.883924.444415.00
0 1.30 1.59 1.58 1.57 1.56 1.56 1.59 1.58 1.59 1.80
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
1 0.00 490.55 981.111471.661962.222452.772943.333433.883924.444415.00
0 1.41 1.71 1.71 1.71 1.71 1.71 1.71 1.71 1.71 1.90
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
2 0.00 490.55 981.111471.661962.222452.772943.333433.883924.444415.00
0 10.00 10.00 10.00 2.00 20.00 20.00 10.00 10.00 15.00 20.00
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
2 0.00 490.55 981.111471.661962.222452.772943.333433.883924.444415.00
0 2.35 2.35 2.35 2.33 2.32 2.30 2.55 2.50 2.45 2.45
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
2 0.00 490.55 981.111471.661962.222452.772943.333433.883924.444415.00
0 2.86 2.80 2.95 2.90 2.75 2.75 2.95 2.95 2.95 2.85
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
3 0.00 490.55 981.111471.661962.222452.772943.333433.883924.444415.00
0 370.00 365.00 360.00 356.00 315.00 295.00 291.00 280.00 230.00 220.00
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
3 0.00 490.55 981.111471.661962.222452.772943.333433.883924.444415.00
0 2.98 2.98 2.98 2.98 2.98 2.98 2.98 2.98 2.98 2.98
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
3 0.00 490.55 981.111471.661962.222452.772943.333433.883924.444415.00
0 3.30 3.30 3.30 3.30 3.30 3.30 3.30 3.30 3.30 3.30
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
4 0.00 490.55 981.111471.661962.222452.772943.333433.883924.444415.00
0 760.00 750.00 740.00 730.00 710.00 700.00 700.00 680.00 650.00 640.00
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
4 0.00 490.55 981.111471.661962.222452.772943.333433.883924.444415.00
0 3.98 3.98 3.98 3.98 3.98 3.98 3.98 3.98 3.98 3.98
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
4 0.00 490.55 981.111471.661962.222452.772943.333433.883924.444415.00
0 4.30 4.30 4.30 4.30 4.30 4.30 4.30 4.30 4.30 4.30
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
5 4415.00
0 1013.00

```

Figura 18. Formato del archivo V.IN para el disparo Norte en trazado “Guarenas”.

La figura 18 muestra una vista del- archivo V.IN, mediante el cual se construye el modelo de velocidades del subsuelo, modificando profundidades, velocidades y cantidad de nodos y estratos del modelo, en lugar de asignar una velocidad específica a determinado estrato, es posible asignar velocidades distintas para el tope y la base de la capa, lo que hace el modelado más realista.

```

&pltpar imod=1, idash=0, ival=1, velht=.9, xtinc=.2,
        izort=0, idcol=1, ibcol=5,
        xwindow=240., ywindow=170.,
        idump=1,
&end

&axepar xmin=0, xmax=900., xmn=200.0,
        zmin=0, zmax=150., zmn=50.,
        tmin=0., tmax=350., tmn=70.,
        albht=3.5, iaxlab=1,
&end

&modpar dvvmax=1., dlvmax=.10, dsmax=20.,
        velmax=20.00,
        iorder=1,
        ivuint=1,
        izint=1,
&end

```

Figura 19. Formato del archivo VM.IN para el disparo Norte en trazado “Guarenas”.

```

&pltpar isep=0, itx=1, idata=1,
        imod=1, irays=2,
        xwindow=200., ywindow=140.,
        ircol=3, itcol=1, ifcol=1, ibcol=1,
        iroute=2, idot=0, ibreak=1,
        itxout=3, isum=3, vred=0,
        dvmax=1, ivel=0, itxbox=0,
        iplot=2, idump=1, ibnd=1, symht=1.1,
        modout=1, dxmod=10, dzmod=5, colour=6,7,8,9

&send
&saxepar xmin=0., xmax=4415.00, xmm=180.0,
        xtmin=0, xtmax=4415, ntickx=5,
        zmin=0., zmax=1013., zmm=50., ntickz=4
        tmin=0, tmax=1500., tmm=50., ntickt=3
        albht=2.9, orig=12., sep=10,

&send
&strapar imodf=1, ibsmth=2, i2pt=1, n2pt=80, x2pt=1,
        ishot=1,2,-1 xshot=0.,2306.,4415.,
        ray=1.1,2.1,3.1,4.1,
        nsmax=30, idiff=1,
        nray=3
        space=1.0,1.0,1.0, ifast=1,
        amin=10., aamin=0.25,
        amax=50., aamax=50,

&send
&invpar invr=1,
        ivray=1,2,3,4,

&send

```

Figura 20. Formato del archivo R.IN para el disparo Norte en trazado “Guarenas”.

Las figuras 19 y 20 muestran los archivos R.IN y VM.IN con los cuales se controlan los parámetros de la ventana de graficación, el formato de los ejes, colores de los rayos en el modelo y tamaño de la fuente. El archivo R.IN es el que controla la mayor cantidad de atributos por lo que es conveniente modificarlo antes de modificar el VM.IN, y siempre modificando un archivo existente cuyo funcionamiento esté comprobado, ya que el sistema es extremadamente sensible a pequeños cambios o errores de sintaxis.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS

A continuación se presenta el análisis cualitativo y cuantitativo de los modelos de velocidades generados en el Capítulo IV. Se trata de relacionar las velocidades estimadas con la geología conocida de la zona, en el caso de la zona de estudio de este trabajo, se trata de sedimentos cuaternarios cubriendo sedimentos pleistocenos de la Formación Guatire, conformados principalmente por lutitas y areniscas.

5.1 Tendido Guatire

5.1.1 Primeras llegadas de ondas P

Como primer paso en la interpretación de resultados, se eligieron las primeras llegadas de las ondas P en las secciones sísmicas correspondientes a los tres disparos. En los tres casos se observaron claramente las llegadas de onda primaria. En las figuras 21 a 23, se muestra una vista parcial ampliada de las secciones sísmicas ampliadas, con los picks demarcados con una cruz roja (x).

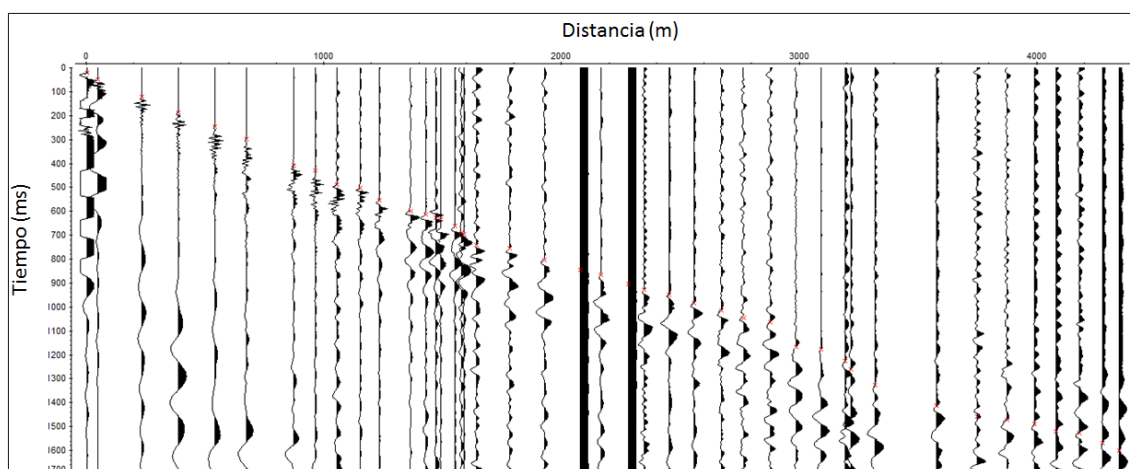


Figura 21. Selección de primeras llegadas de ondas P en perfil Guatire disparo norte.

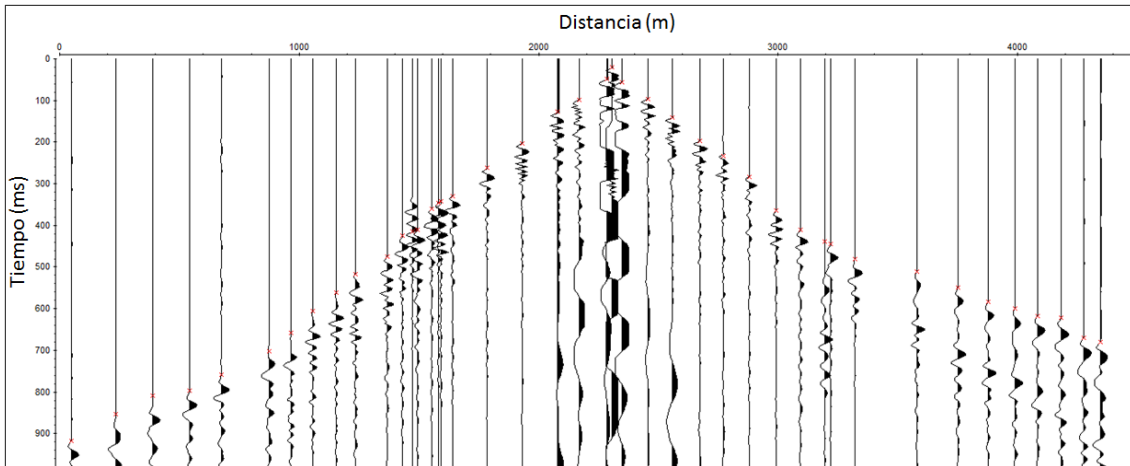


Figura 22. Selección de primeras llegadas de ondas P en perfil Guatire disparo centro.

Como se puede ver en las dos figuras anteriores, la relación señal/ruido se mantuvo en proporciones que permitieron la fácil identificación de los quiebres. Para el caso del disparo sur (figura 23), el contenido de ruido fue tal que se hizo necesario aumentar la amplitud de las trazas por un factor de 30 hasta ver los quiebres.

En relación con los otros perfiles de analizados, el de Guatire presentó la mayor proporción de ruido, debido a que la adquisición de los datos se realizó en una zona de población considerable y que está atravesada en varios puntos por las principales avenidas de la ciudad, como se ve en el mapa geológico de la figura 1

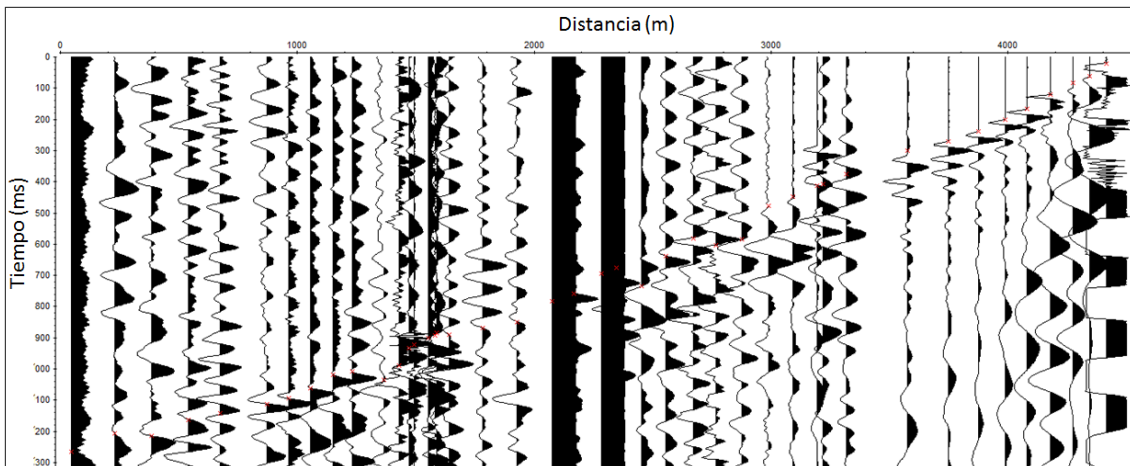


Figura 23. Selección de primeras llegadas de ondas P en perfil Guatire disparo sur.

5.1.2 Modelo 1D

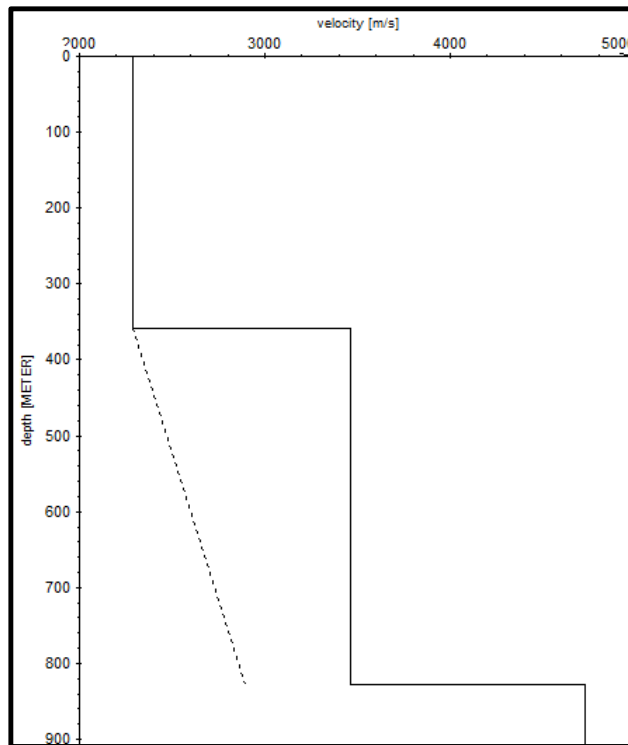


Figura 24. Modelo 1D de velocidades V_p y espesores aparentes del disparo norte del tendido Guatire.

Los modelos 1D pueden ser interpretados como los modelos de espesores y velocidades aparentes que se pueden calcular mediante métodos como el de tiempo intercepto. Usando la pendiente de la línea envolvente de los quiebres y la intersección de esta con los ejes se puede hallar un modelo escalonado (figura 24), en el cual cada escalón representa una aproximación de la velocidad y el espesor de las primeras capas suponiendo una uniformidad de propiedades elásticas en el subsuelo. El modelo 1D para el disparo norte del tendido Guatire puede interpretarse como punto de arranque para el modelado 2D. Entre los 300 y 400 metros de profundidad las velocidades superan los 3000 m/s. El modelo 1D para el disparo sur en la figura 25 sugiere que a la profundidad aproximada de 800 m bajo la superficie, pueden encontrarse velocidades de onda P cercanas a los 3800 m/s.

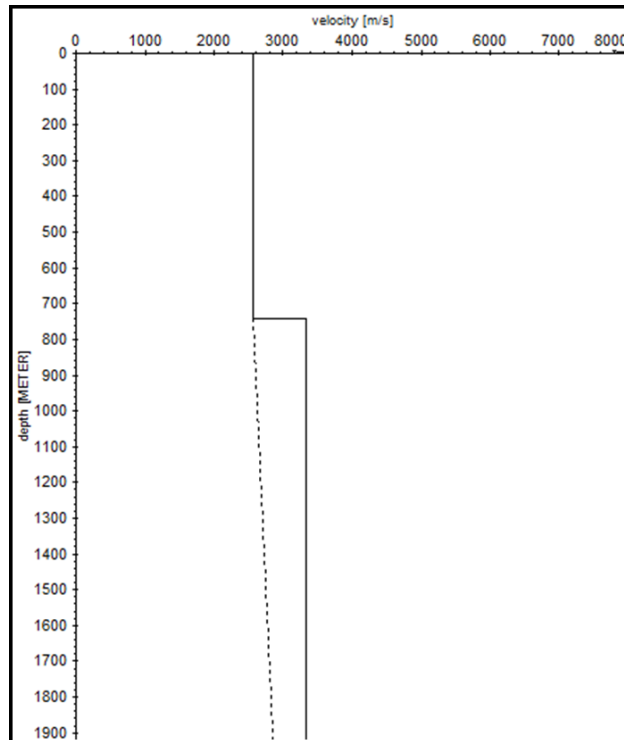


Figura 25. Modelo 1D de velocidades V_p y espesores aparentes del disparo sur del tendido Guatire

Las eventuales discrepancias que existen entre los modelos 1D de extremos opuestos de un mismo tendido se deben generalmente a variaciones laterales de las propiedades elásticas del subsuelo, o en algunos casos a rasgos geométricos de las capas, fracturas etc.

5.1.3 Modelo de velocidades de ondas P

En primer lugar se observa que los tiempos finales en los disparos extremos son similares entre sí y difieren en menos de 6 milisegundos, lo que representa una proporción de menos del 0,5% del tiempo total de viaje de las ondas sísmicas de un extremo del tendido al otro, con lo cual queda establecida la calidad de los datos adquiridos.

En el caso del disparo central se puede notar una asimetría en las llegadas ya que las ondas toman menos tiempo para llegar al extremo sur del tendido lo que significa que las capas buzan hacia el norte, como puede verse en la figura 26 que representa el modelo de velocidades de onda p en el trazado Guatire.

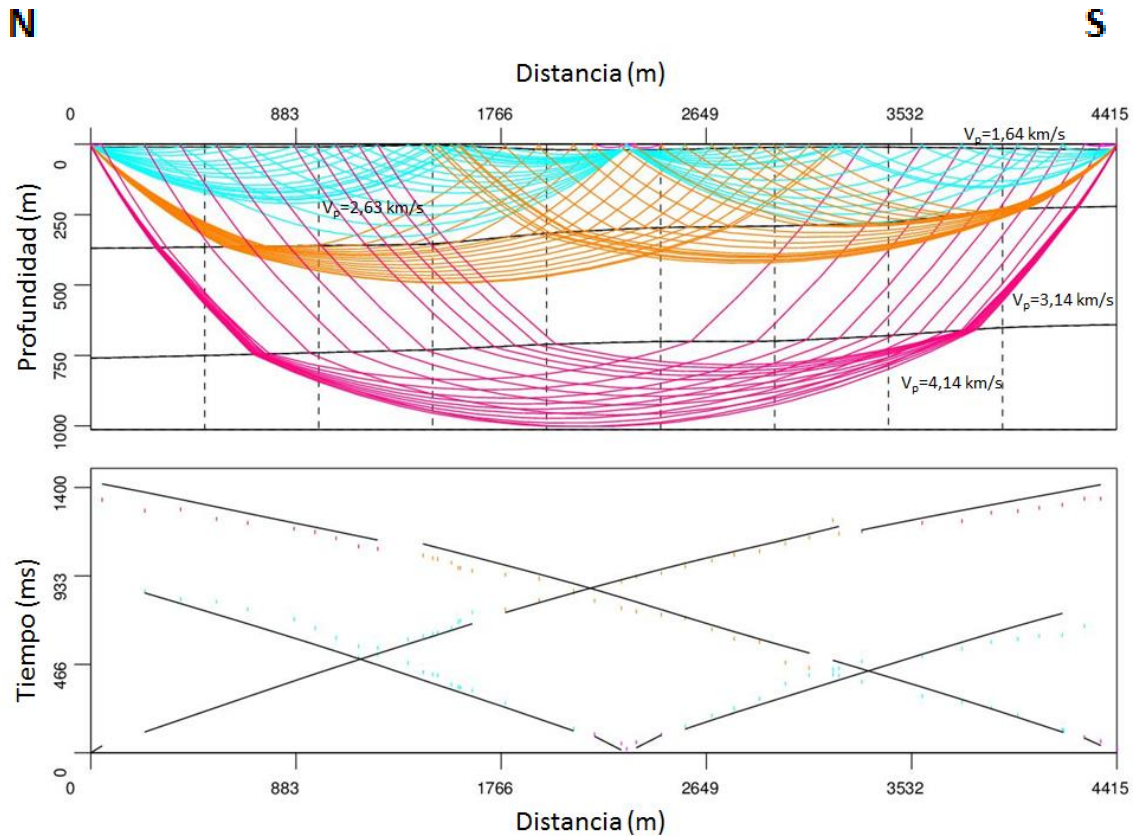


Figura 26. Modelo de velocidades de ondas P con velocidades promedio, trazado Guatire, con velocidades promedio (V_p) de ondas P por capa.

A partir de los datos sísmicos se interpretó una capa inicial de sedimentos poco consolidados de espesor variable entre los 10 y 20 metros con velocidades de onda primaria que oscilan entre 1400 m/s y 1700 m/s, seguido por un estrato de forma acuñada con espesores entre 200 y 350 metros con velocidades entre 2300 y 3000 m/s, espesores que concuerdan con valores propuestos en trabajos previos en el área (Amarís, 2006). La siguiente capa con aproximadamente 400 metros de espesor uniforme pero que aumenta en profundidad hacia el norte, tiene velocidades de onda primaria que oscilan entre los 3000 y los 3300 m/s y finalmente la última capa de espesor desconocido pero superior a 250 metros cuenta con velocidades entre los 4000 y los 4300 m/s.

En la tabla 3 se puede ver el modelo de velocidades detallado por capas, donde se detalla la profundidad de cada capa y las velocidades de ondas P en la base y el tope de cada estrato.

Tabla 3. Modelo de velocidad de ondas P perfil Guatire.

capa	distancia (m)	0	490.55	981.11	1471.66	1962.22	2452.77	2943.33	3433.88	3924.44	4415
1	profundidad (m)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	velocidad tope (km/s)	1.3	1.59	1.58	1.57	1.56	1.56	1.59	1.58	1.59	1.8
	velocidad base (km/s)	1.41	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.9
2	profundidad (m)	10	10	10	2	20	20	10	10	15	20
	velocidad tope (km/s)	2.35	2.35	2.35	2.33	2.32	2.3	2.55	2.5	2.45	2.45
	velocidad base (km/s)	2.86	2.8	2.95	2.9	2.75	2.75	2.95	2.95	2.95	2.85
3	profundidad (m)	370	365	360	356	315	295	291	280	230	220
	velocidad tope (km/s)	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98
	velocidad base (km/s)	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
4	profundidad (m)	760	750	740	730	710	700	680	650	640	
	velocidad tope (km/s)	3.98	3.98	3.98	3.98	3.98	3.98	3.98	3.98	3.98	3.98
	velocidad base (km/s)	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3

5.1.4 Primeras llegadas de ondas S

La selección de las primeras llegadas de onda secundaria se realizó sobre las mismas secciones sísmicas anteriores, en general las llegadas no son tan claras como las ondas primarias y en ocasiones debieron interpolarse entre trazas con llegadas visibles

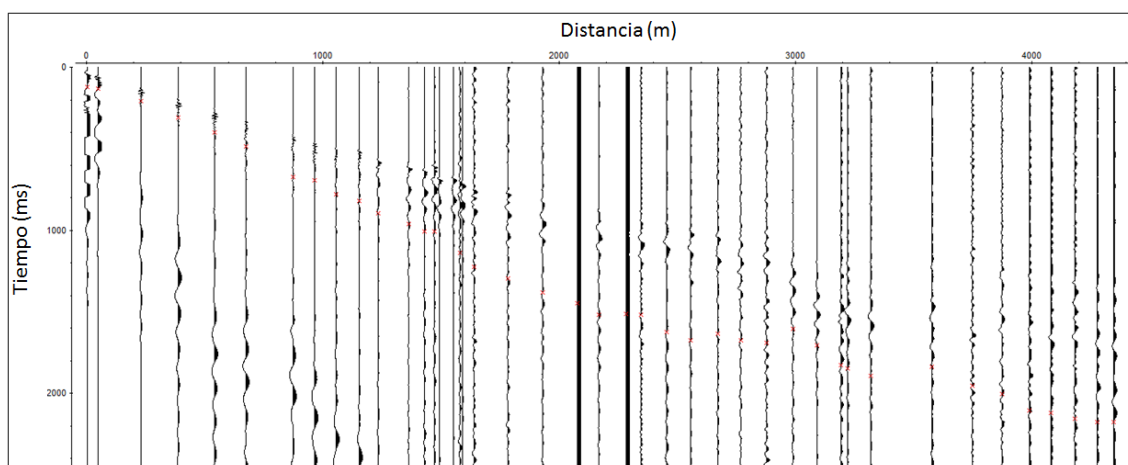


Figura 27. Selección de primeras llegadas de ondas S en perfil Guatire disparo norte.

Por la cantidad de ruido presente en la sección sísmica correspondiente al disparo norte en la figura 27 anterior, la llegada de onda secundaria se encuentra atenuada especialmente más allá de los 2000 m de distancia desde el punto de disparo, sin embargo en las secciones correspondientes a los disparos centro y sur, dichas llegadas se observan sin problema en toda la longitud del tendido.

En las figuras 28 y 29 en la siguiente página, pueden verse la selección de llegada de onda secundaria en los disparos centro y sur.

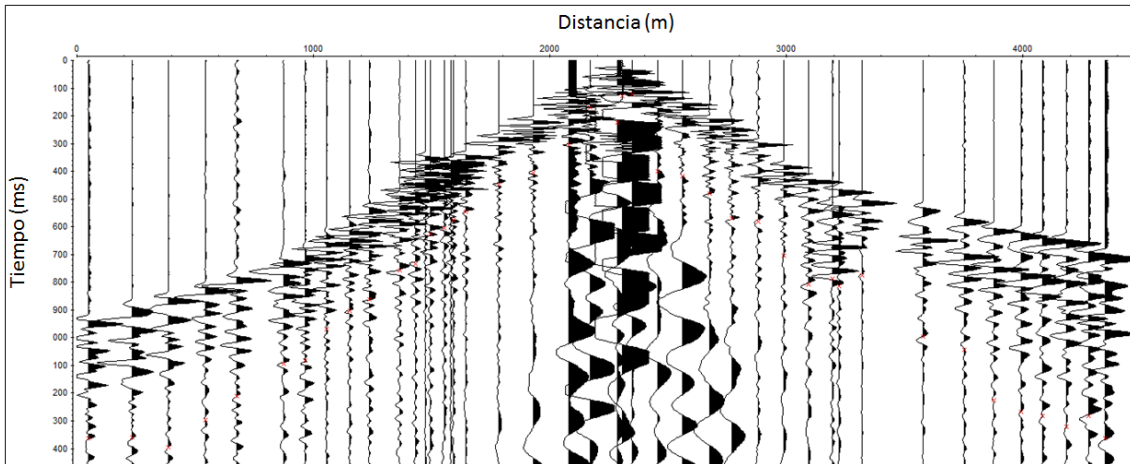


Figura 28. Selección de primeras llegadas de ondas S en perfil Guatire disparo centro.

En la figura 29 puede verse que a pesar de la considerable cantidad de ruido, la llegada de ondas secundarias puede identificarse en la mayoría de las trazas en toda la longitud del tendido.

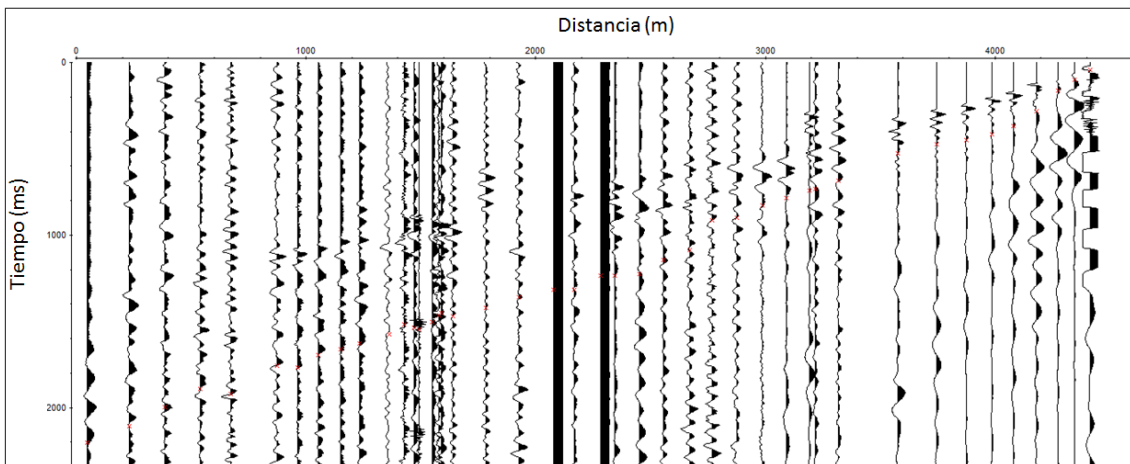


Figura 29. Selección de primeras llegadas de ondas S en perfil Guatire disparo sur.

5.1.5 Modelo de velocidades de ondas S

En el caso de las primeras llegadas de ondas S, con frecuencia no se encontraron con claridad a lo largo de todo el tendido, por lo que en varias oportunidades se hizo necesario identificar el quiebre en algunas trazas y a partir de esta información interpolar hacia las otras trazas con llegadas menos claras.

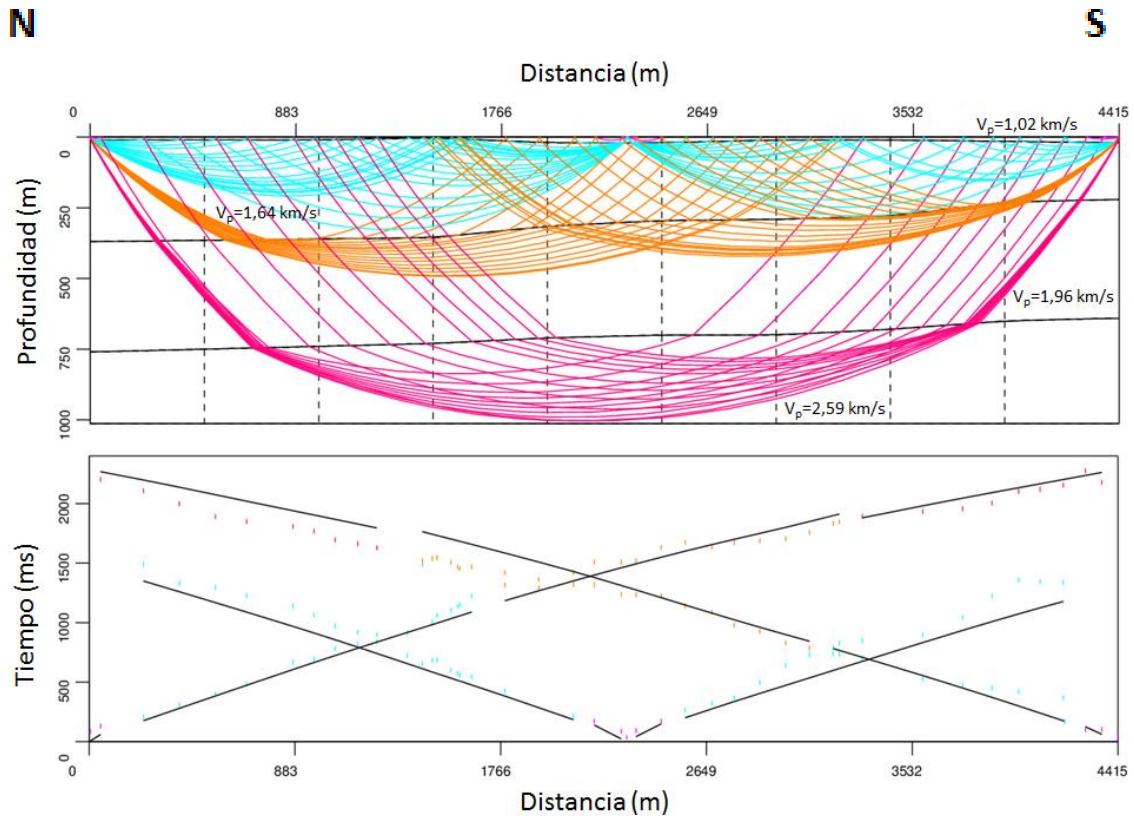


Figura 30. Modelo de velocidades de ondas S, trazado Guatire, con velocidades promedio (V_p) de ondas S por capa.

Según el modelo de velocidades que se determinó para el trazado de Guatire, las velocidades en la capa más someras de sedimentos cuaternarios no consolidados se encuentran en torno a los 800 m/s, en su parte más somera y aumentan hasta aproximadamente 900 a 1000 m/s en la base, lo que coincide con el trabajo de García (2012).

El siguiente estrato, que incluye la zona de profundidad igual a 30 m, posee velocidades de ondas S que van desde 1500 m/s hasta 1800 m/s aproximadamente. Estas velocidades pueden corresponder a rocas de la Formación Guatire subyacente. En el siguiente estrato, las velocidades se encuentran cercanas a los 2000 m/s, que teniendo en cuenta las velocidades V_p discutidas anteriormente, pueden corresponder con el basamento metamórfico compuesto de rocas levemente meteorizadas pertenecientes a los Esquistos de Las Mercedes y Las Brisas (Sánchez, 2005).

Después de los 700 m se encuentra un estrato que exhibe velocidades de onda s a partir de los 2500-2700 m/s y que se encuentran asociadas a las mismas unidades metamórficas.

El modelo detallado de velocidades de onda s y espesores se encuentra en la tabla 4 de la siguiente página.

Tabla 4. Modelo de velocidad de ondas S perfil Guatire.

capa	distancia (m)	0	490.55	981.11	1471.66	1962.22	2452.77	2943.33	3433.88	3924.44	4415
1	profundidad (m)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	velocidad tope (km/s)	0.81	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.13
	velocidad base (km/s)	0.88	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.19
2	profundidad (m)	10	10	10	2	20	10	10	10	15	20
	velocidad tope (km/s)	1.47	1.47	1.47	1.46	1.45	1.44	1.59	1.56	1.53	1.53
	velocidad base (km/s)	1.79	1.75	1.84	1.81	1.72	1.72	1.84	1.84	1.84	1.78
3	profundidad (m)	370	365	360	356	315	295	291	280	230	220
	velocidad tope (km/s)	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86
	velocidad base (km/s)	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06
4	profundidad (m)	760	750	740	730	710	700	700	680	650	640
	velocidad tope (km/s)	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49
	velocidad base (km/s)	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69

En la figura 31 se muestra un perfil geológico propuesto para este tendido construido con los espesores de los modelos de velocidades anteriores, donde se las correlaciona con las formaciones y litologías observadas en el área y con el basamento infrayacente.

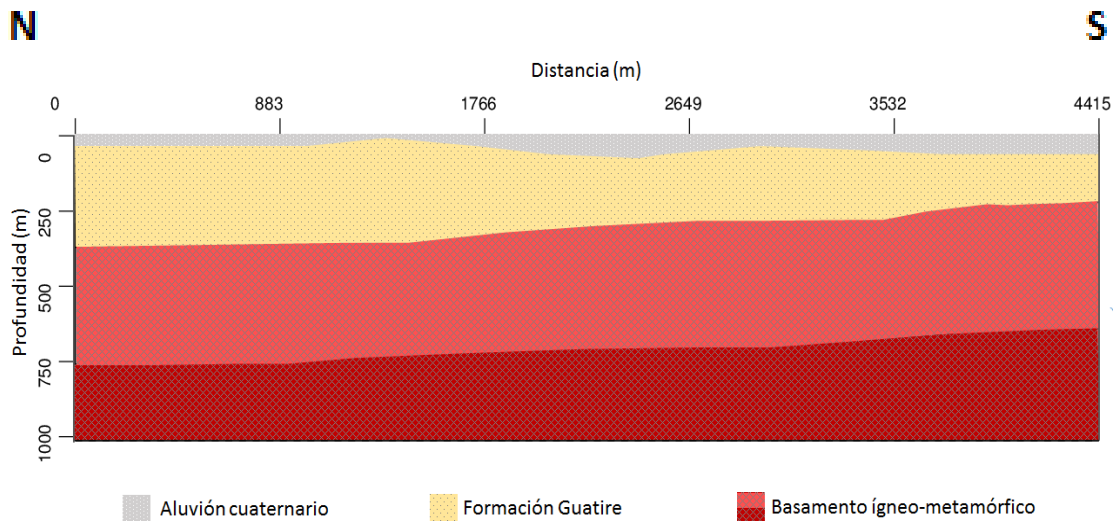


Figura 31. Perfil geológico tendido Guatire.

5.2 Tendido Buenaventura

5.2.1. Primeras llegadas de ondas P

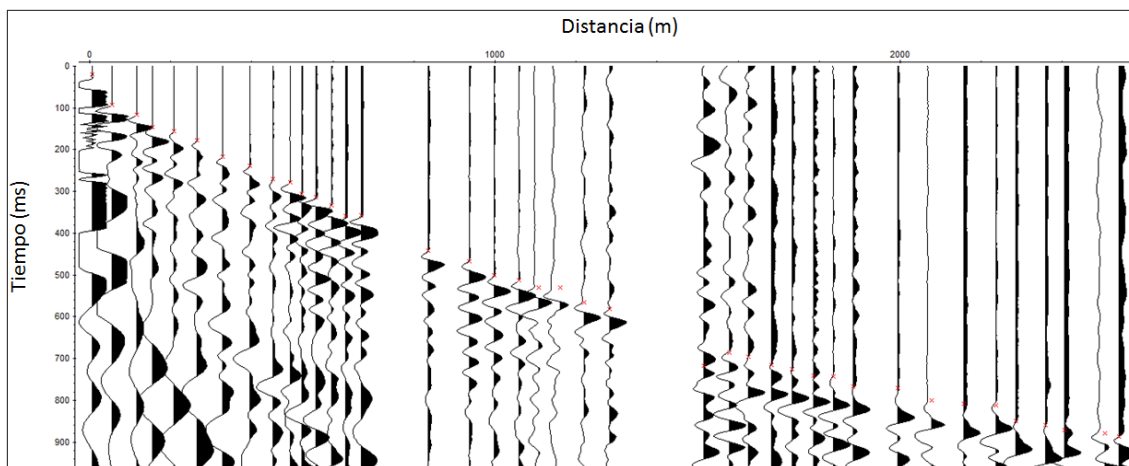


Figura 32. Selección de primeras llegadas de ondas P en perfil Buenaventura disparo norte.

Las secciones sísmicas de este perfil se caracterizan por la calidad de la señal y la claridad de los quiebres en toda la longitud del tendido.

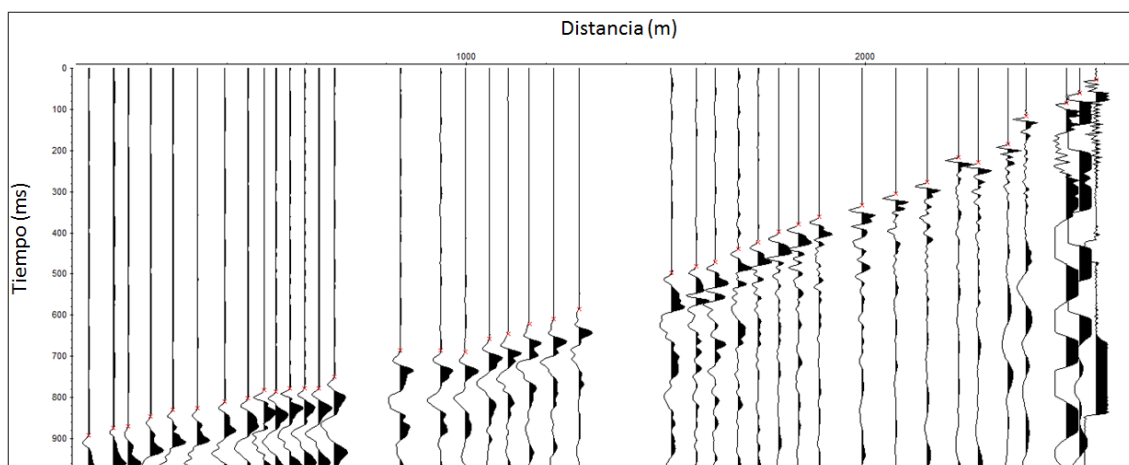


Figura 33. Selección de primeras llegadas de ondas P en perfil Buenaventura disparo norte.

5.2.2 Modelo 1D

Las velocidades en las capas más someras con profundidades inferiores a los 20 metros, presentan bajas velocidades de onda P en torno a los 600 m/s, lo que generalmente es indicativo de sedimentos poco consolidados o aluvión (figura 34). Aumentando en profundidad hacia los 200 metros las velocidades se incrementan hasta 3500 m/s. Finalmente, para profundidades superiores a los 600 metros, se pueden encontrar velocidades de más de 4000 m/s. Este modelo 1D es el que más se ajusta a el modelo de velocidades de ondas S construido posteriormente.

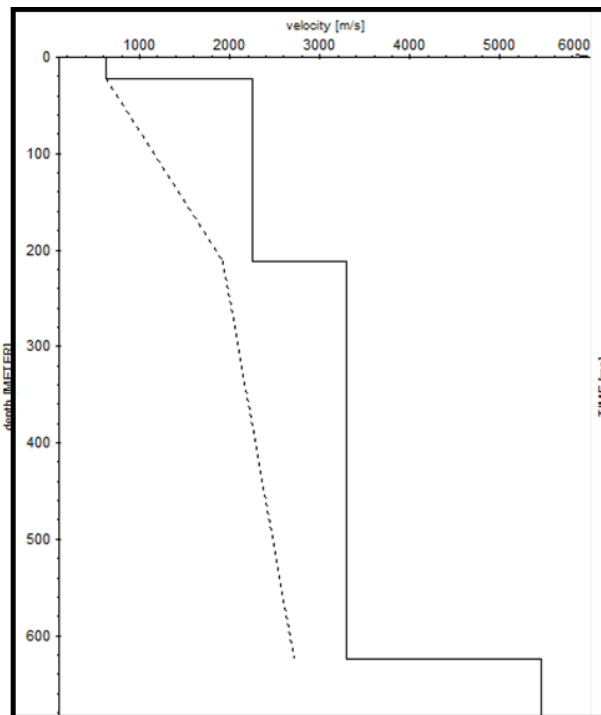


Figura 34. Modelo 1D de velocidades y espesores aparentes del disparo norte del tendido Buenaventura.

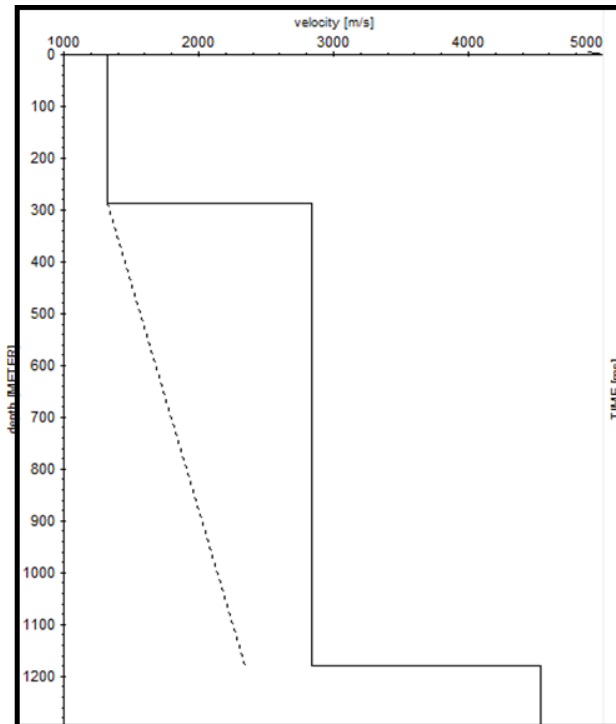


Figura 35. Modelo 1D de velocidades y espesores aparentes para el disparo sur del tendido Buenaventura

Este modelo arroja velocidades un poco más bajas para profundidades cercanas a los 300 metros.

5.2.3 Modelo de velocidades de ondas P.

Como paso previo a la interpretación se debe asegurar la calidad de los datos sísmicos adquiridos, corroborando que los tiempos de viaje de las ondas de un extremo a otro sean iguales. En el caso de este tendido los tiempos de viaje difieren en menos de una decena de milisegundos, lo que para tiempos totales de $\cong 890 \text{ ms}$ representa menos de 1%.

El modelado para este tendido puede observarse en la figura 28, en este se modeló un capa inicial con espesores oscilantes entre 15 y 30 metros y velocidades de ondas primarias entre los 500 y los 1400 m/s en concordancia con el modelo 1D del disparo norte como ya se mencionó y que posiblemente corresponda a una combinación de sedimentos no cementados con aluviones cuaternarios de baja velocidad. Debajo de esta capa se encuentra un estrato de aproximadamente 150 metros de espesor con velocidades en torno a los 2000 – 2200 m/s. La siguiente es una capa de aproximadamente 350 metros de espesor uniforme y tampoco muestra ningún buzamiento o acuñaamiento apreciable, se

interpretaron velocidades entre a los 2700 – 3500 m/s correspondiente al basamento metamórfico de la Formación Las Mercedes.

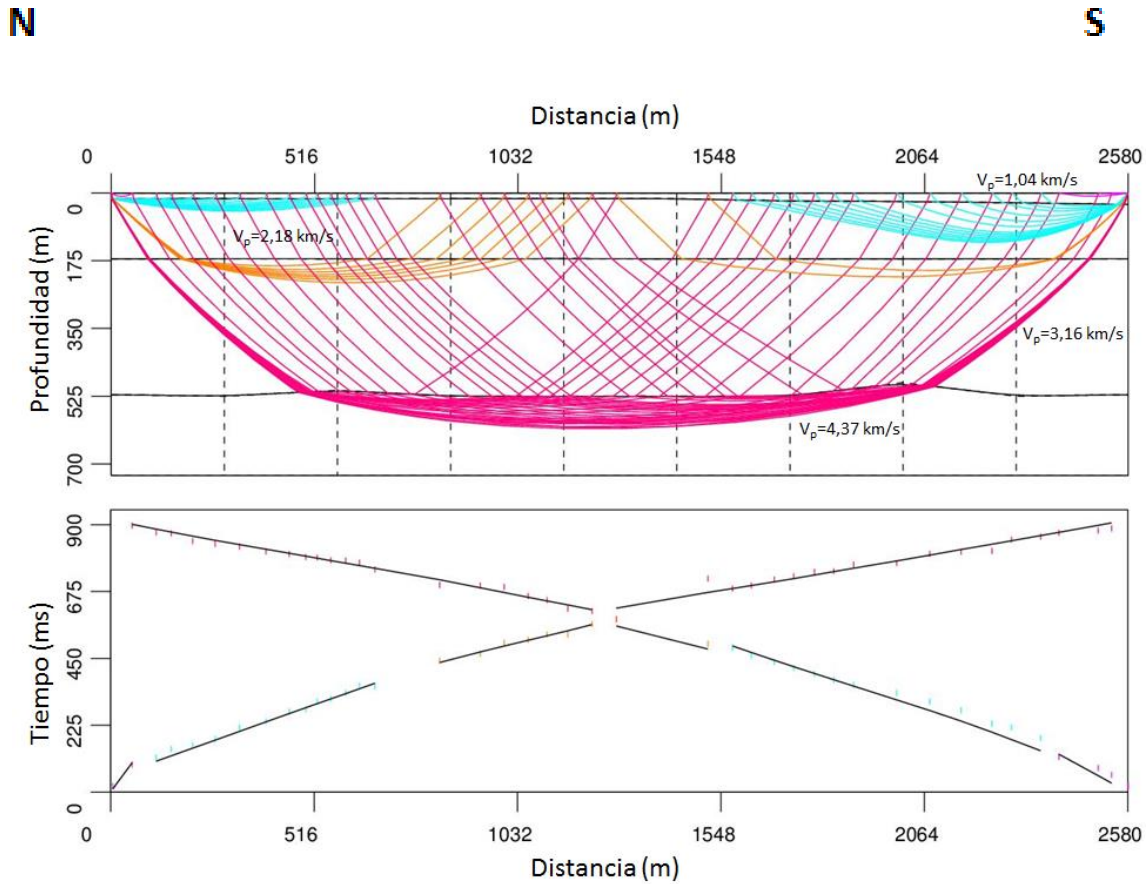


Figura 36. Modelo de velocidades de ondas P, trazado Buenaventura, con velocidades promedio (V_p) de ondas P por capa.

Finalmente una capa de roca con altas velocidades de hasta 4500 m/s y un espesor de al menos 2 m. Esta capa ha sido interpretada como como otro nivel de velocidades del mismo basamento sedimentario de la cuenca y se corresponde con los esquistos de Las Mercedes que aflora hacia el sur en la cercana ciudad de Santa Lucía (Léxico, 1998).

En la tabla 5 se muestra el modelo detallado de velocidades y espesores de capa hallado para el perfil de Buenaventura.

Tabla 5. Modelo de velocidad de ondas P perfil Buenaventura.

capa	distancia (m)	0	287	574	861	1148	1435	1722	2009	2296	2580
1	profundidad (m)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	velocidad tope (km/s)	0.49	0.7	0.73	0.72	0.97	0.82	1.29	1.33	1.39	1.35
	velocidad base (km/s)	0.71	0.8	0.88	0.88	1.06	0.94	1.41	1.5	1.49	1.43
2	profundidad (m)	15.32	15	15	15	15	15	21	22	25	30
	velocidad tope (km/s)	1.99	2.04	2.11	2.04	2.17	2.15	2.25	2.23	1.88	2.05
	velocidad base (km/s)	2.21	2.26	2.21	2.15	2.22	2.19	2.23	2.32	2.48	2.42
3	profundidad (m)	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
	velocidad tope (km/s)	2.77	2.78	2.82	2.78	2.88	2.97	3.04	3.05	2.78	2.94
	velocidad base (km/s)	3.48	3.5	3.44	3.4	3.49	3.34	3.35	3.48	3.49	3.5
4	profundidad (m)	521	525	510	525	525	525	525	490	525	521
	velocidad tope (km/s)	4.22	4.24	4.12	4.23	4.26	4.23	4.21	4.22	4.25	4.22
	velocidad base (km/s)	4.5	4.54	4.55	4.54	4.52	4.5	4.52	4.55	4.56	4.5

5.2.4 Primeras llegadas de ondas S

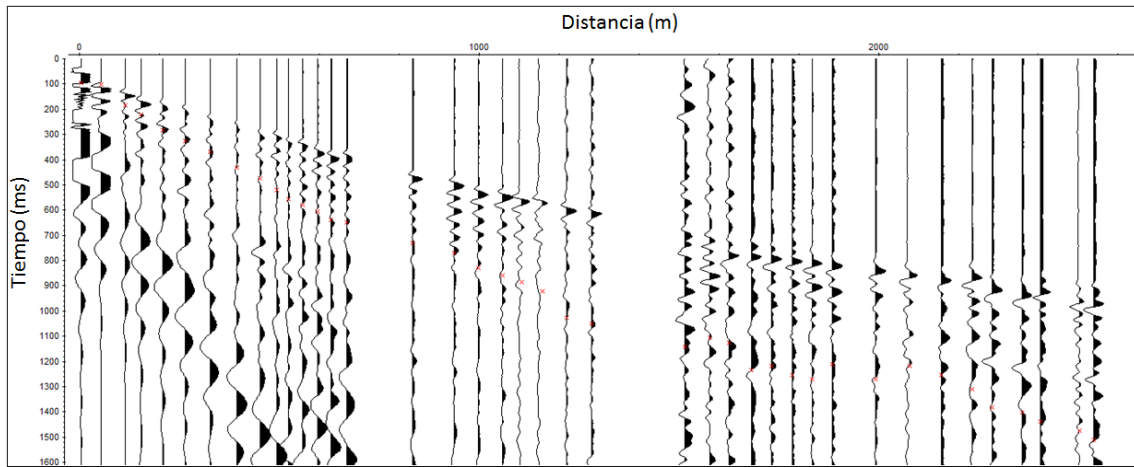


Figura 37. Selección de primeras llegadas de ondas S en perfil Buenaventura disparo norte.

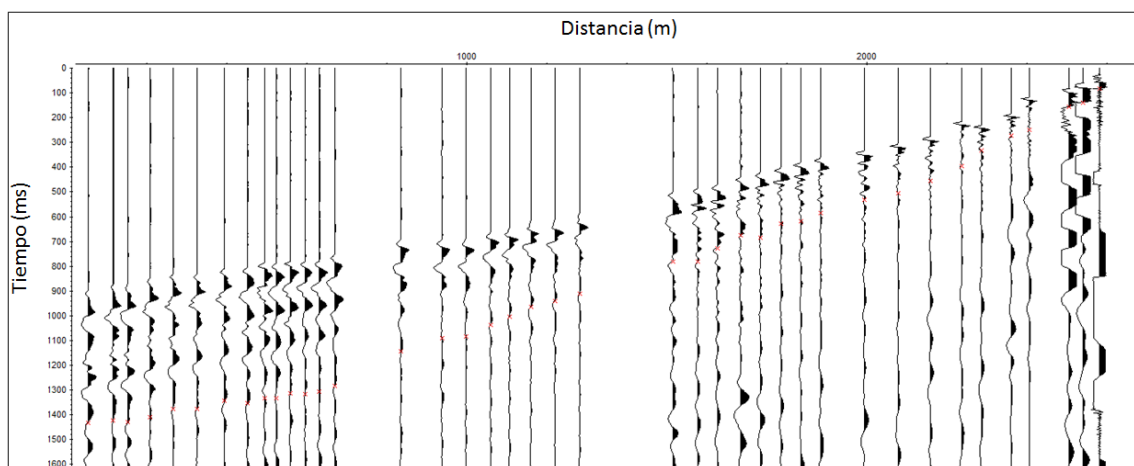


Figura 38. Selección de primeras llegadas de ondas S en perfil Buenaventura disparo sur.

5.2.5 Modelo de velocidades de ondas S

Según el modelo de velocidades de ondas S creado (figura 28) la velocidad V_{s30} se encuentra en torno a los 1000-1200 m/s donde la velocidad aumenta de norte a sur. En la capa superficial de aluvión cuaternario se encuentran velocidades hasta los 900 m/s en concordancia con las velocidades halladas en los otros tendidos de esta capa que cubre toda la zona de estudio.

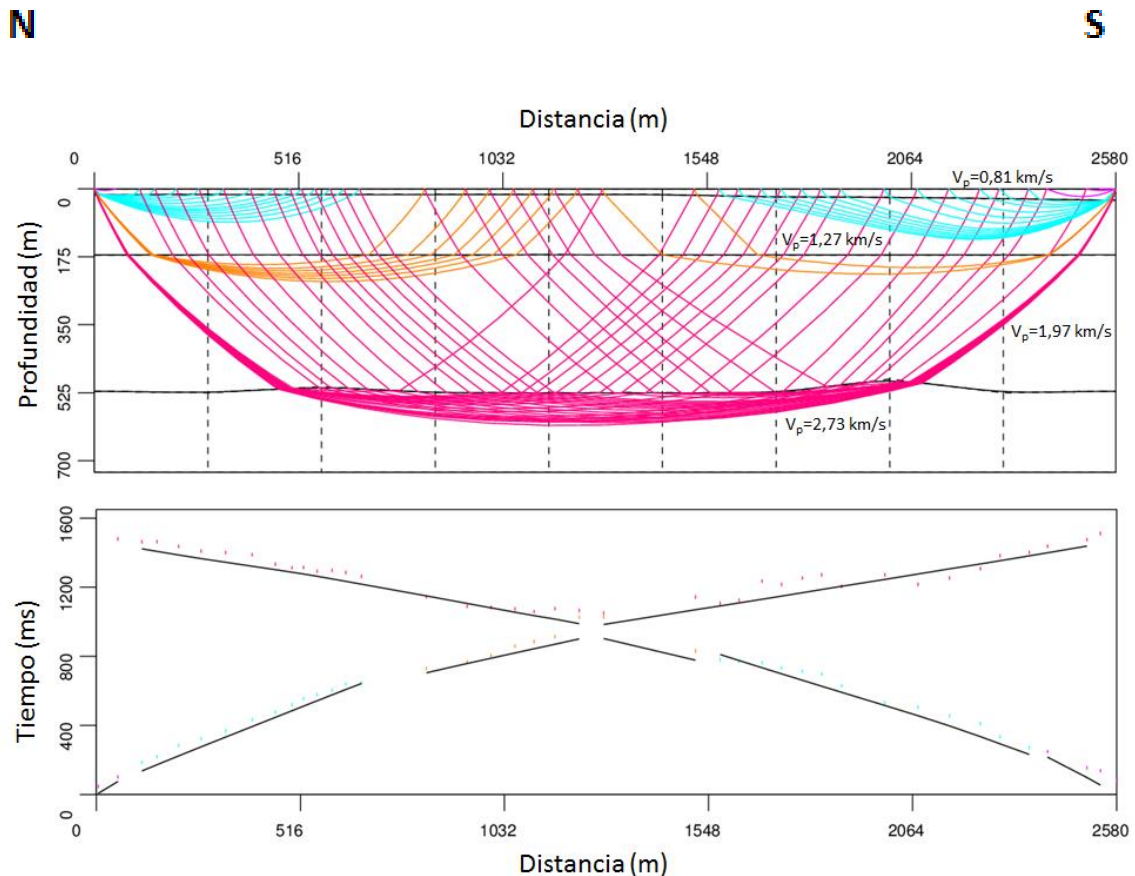


Figura 39. Modelo de velocidades de ondas S, trazado Buenaventura, con velocidades promedio (V_p) de ondas S por capa.

El siguiente estrato posee velocidades desde 1700-2100 m/s antes de los 500 m de profundidad y se corresponde con la interpretación de basamento sedimentario consolidado perteneciente a la Formación Guatire. Más allá de los 525 m de profundidad las velocidades de onda s ascienden a más de 2600-2800 m/s, correspondiéndose con velocidades probables del basamento metamórfico.

La tabla 6 de la siguiente página muestra el detalle de las velocidades y las profundidades del modelo de ondas secundarias generado para este perfil.

Tabla 6. Modelo de velocidad de ondas S perfil Buenaventura.

capa	distancia (m)	0	287	574	861	1148	1435	1722	2009	2296	2580
1	profundidad (m)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	velocidad tope (km/s)	0.71	0.74	0.76	0.75	0.71	0.71	0.81	0.83	0.87	0.74
	velocidad base (km/s)	0.84	0.8	0.85	0.85	0.86	0.89	0.98	0.94	0.93	0.89
2	profundidad (m)	15.32	15	15	15	15	15	21	22	25	30
	velocidad tope (km/s)	1.04	1.08	1.02	1.08	1.26	1.29	1.36	1.34	1.13	1.23
	velocidad base (km/s)	1.28	1.31	1.28	1.34	1.39	1.32	1.34	1.4	1.5	1.46
3	profundidad (m)	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
	velocidad tope (km/s)	1.73	1.74	1.76	1.74	1.8	1.86	1.9	1.91	1.74	1.84
	velocidad base (km/s)	2.18	2.19	2.15	2.13	2.18	2.09	2.09	2.18	2.18	2.19
4	profundidad (m)	521	525	510	525	525	525	490	525	525	521
	velocidad tope (km/s)	2.64	2.65	2.58	2.64	2.66	2.64	2.63	2.64	2.66	2.64
	velocidad base (km/s)	2.81	2.84	2.84	2.84	2.83	2.81	2.83	2.84	2.85	2.81

En la figura 40 se encuentra el perfil que correlaciona las velocidades obtenidas en los modelos anteriores con las posibles litologías presentes.

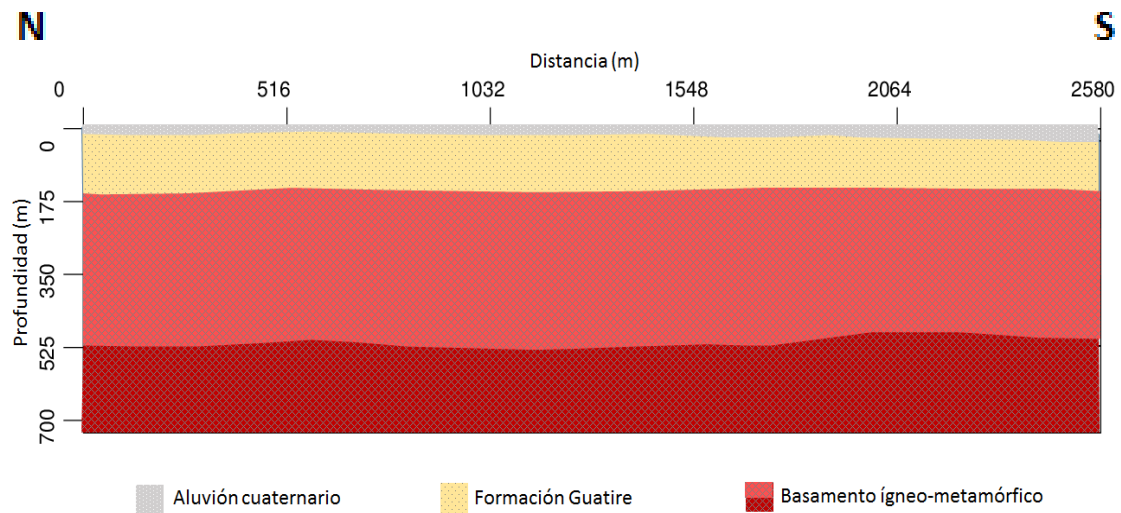


Figura 40. Perfil geológico tendido Buenaventura.

5.3 Tendido Guarenas

5.3.1 Primeras llegadas de ondas P

En la siguiente página se muestran las secciones sísmicas correspondientes al perfil Guarenas en las figuras 41 a 43, nuevamente las primeras llegadas de las ondas primarias se pudieron identificar claramente en toda la longitud del tendido, incluyendo las trazas más ruidosas en los extremos.

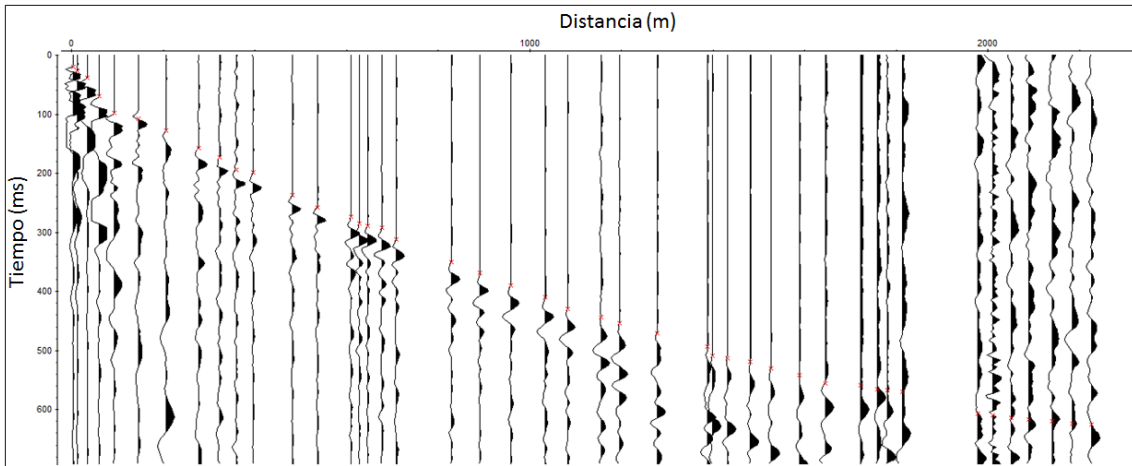


Figura 41. Selección de primeras llegadas de ondas P en perfil Guarenas disparo norte.

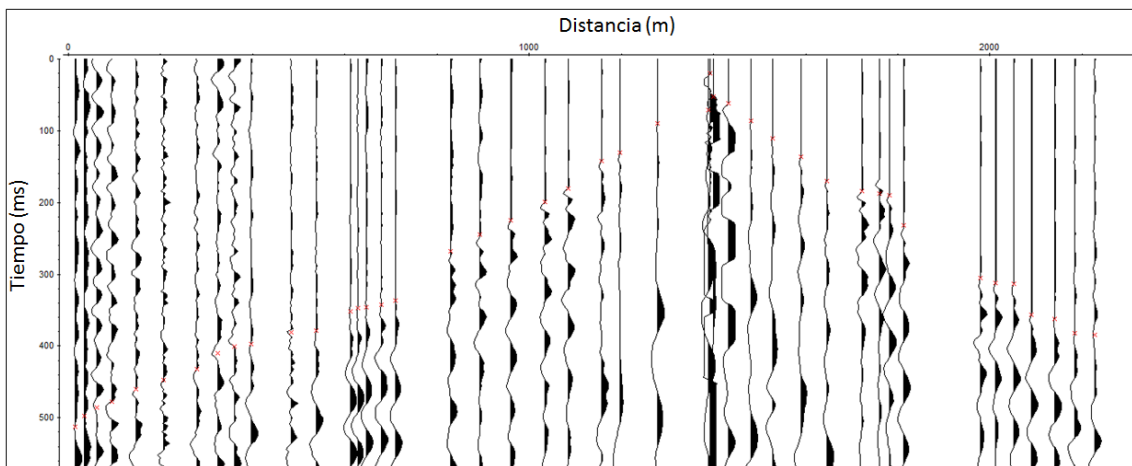


Figura 42. Selección de primeras llegadas de ondas P en perfil Guarenas disparo centro.

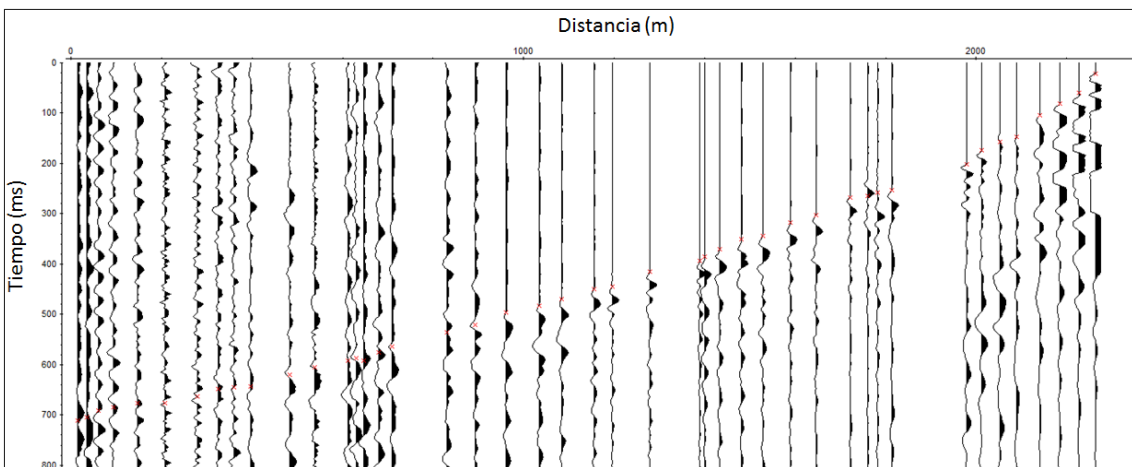


Figura 43. Selección de primeras llegadas de onda P en perfil Guarenas disparo sur.

5.3.2 Modelo 1D

En la figura 31 se puede observar el modelo 1D para el disparo más al norte del tendido de Guarenas, el cual sugiere velocidades de ondas P con magnitudes a partir de los 1000 m/s en torno a los 40 m de profundidad, en tanto que a profundidades mayores a los 450 m, sugiere velocidades desde los 3500 m/s hasta velocidades superiores a los 6000 m/s. En el modelado posterior con Rayinvr se utilizaron velocidades no mayores a los 6500 m/s en los estratos más profundos a más de 500 m de profundidad.

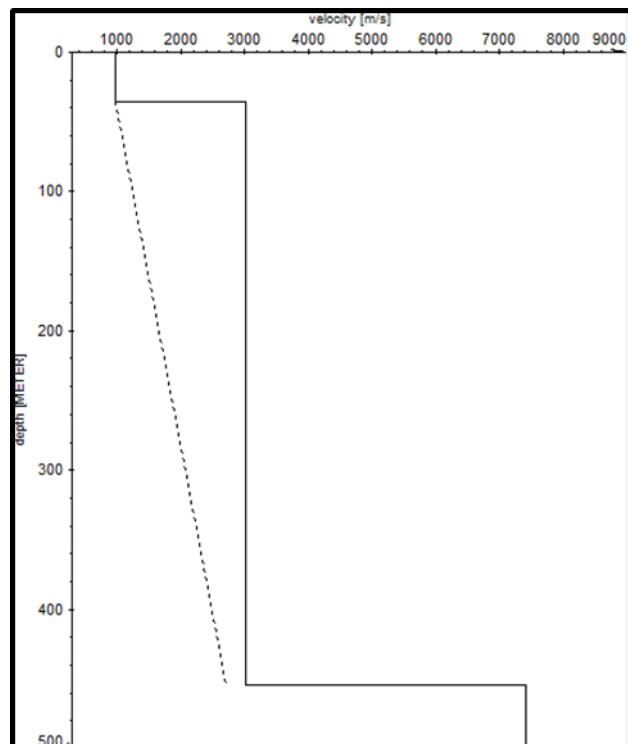


Figura 44. Modelo 1D de velocidades de ondas P y espesores aparentes para el disparo norte del tendido Guarenas.

En la figura 45 de la página siguiente se observa el modelo 1D para el disparo sur del mismo tendido, según el cual a profundidades mayores a los 400 metros las ondas P pueden tener velocidades hasta los 400 m/s.

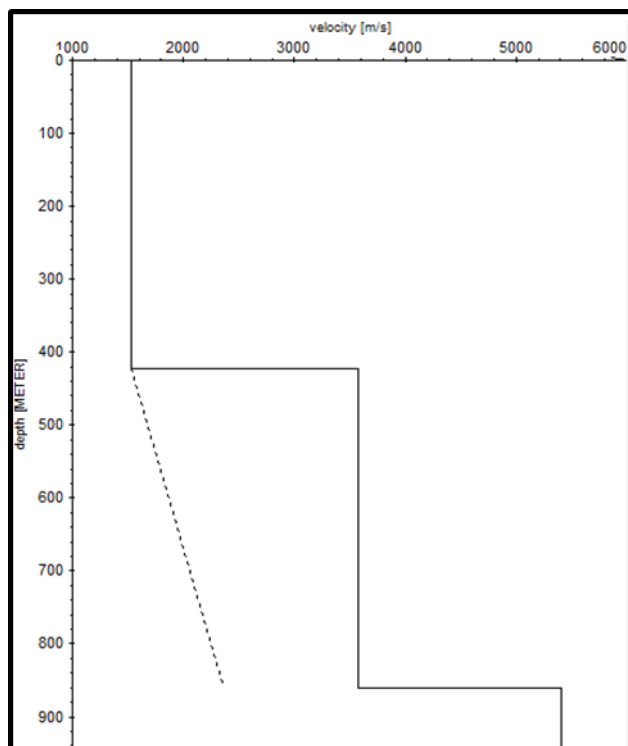


Figura 45. Modelo 1D de velocidades y espesores aparentes para el disparo sur del tendido Guarenas.

5.3.3 Modelo de velocidades de ondas P.

En primer lugar antes de comenzar con la interpretación de los primeros quiebres, deben analizarse los tiempos de viaje de las ondas sísmicas de un extremo del trazado al otro. En teoría estos tiempos de viaje deben ser iguales. En el caso de los datos adquiridos para este tendido, los tiempos de viaje de los extremos difieren sólo en pocas decenas de milisegundos por lo que se encuentran dentro de los límites aceptables de calidad de los datos.

El modelo de velocidades de ondas P propuesto para este tendido puede verse en la figura 46, y geoméricamente consiste en cuatro capas de espesores variables hasta los 800 metros de profundidad aproximadamente. Notablemente, las capas en este perfil tienen espesores menos uniformes que los modelos anteriores, debido a la mayor complejidad geológica del sitio, como se evidencia en el mapa geológico de la zona de estudio en la figura 1.

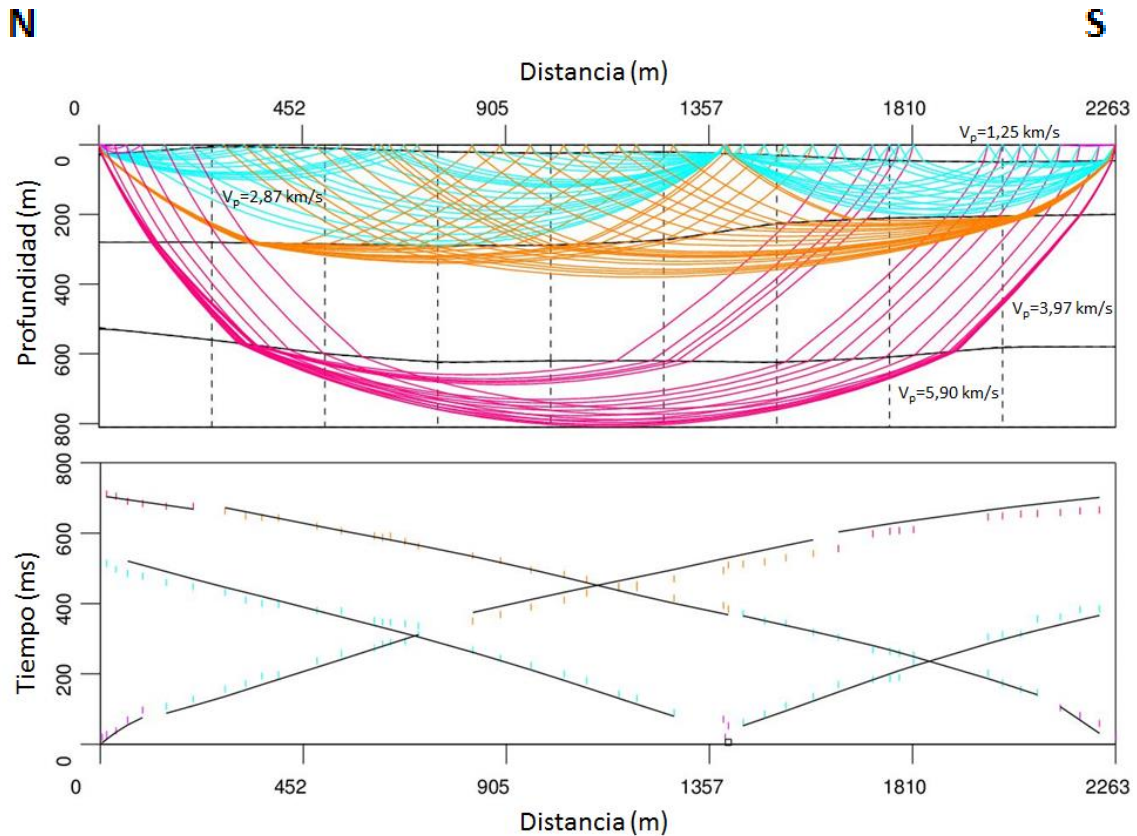


Figura 46. Modelo de velocidades de ondas P, trazado Guarenas, con velocidades promedio (V_p) de ondas P por capa.

Para la capa más somera se tienen espesores que varían entre los 20 y 40 m con espesores mayores hacia el sur. Esta capa muestra velocidades bajas entre los 900 y 1400 m/s del suelo superficial o aluvión no consolidado. Sigue una capa de espesor variable entre los 250 y 150 m que pierde espesor hacia el sur y muestra velocidades entre los 2200 y los 3300 m/s correspondiente a sedimentos de la Formación Guatire, los cuales presentan afloramientos cercanos a la zona sur del tendido según el mapa geológico de la figura 1 y que pueden ser la causa de los aumentos de velocidades a menores profundidades hacia el sur del modelo de la figura 46. Los estratos subyacentes correspondientes al basamento cristalino presentan dos niveles de velocidades, el primero de ellos presenta velocidades entre 3600 y 4300 m/s y espesores que varían entre los 240 y 380 m, similares a los propuestos por Amarís (2006) en el área, ganando espesor hacia el sur. Por último se tiene un segundo nivel con un espesor de al menos 200 m y velocidades de ondas P desde los 5500 m/s hasta los 6300 m/s, que son velocidades que pueden ser típicas de rocas metamórficas densas o ígneas de gran profundidad.

En la tabla 7 que se muestra en la siguiente página, se encuentran los valores de velocidades y profundidad discriminados por capa, hallados para este perfil.

Tabla 7. Modelo de velocidad de ondas P perfil Guarenas.

capa	distancia (m)	0	251	503	754	1006	1257	1509	1760	2012	2263
1	profundidad (m)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	velocidad tope (km/s)	0.95	1.4	1.4	1.1	1.19	1.15	1.19	1.15	1.15	1.15
	velocidad base (km/s)	1.8	1.5	1.5	1.25	1.3	1.3	1.3	1.25	1.25	1.25
2	profundidad (m)	30	5	10	20	25	20	30	46	50	46
	velocidad tope (km/s)	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
	velocidad base (km/s)	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35
3	profundidad (m)	280	280	285	289	289	275	225	210	205	200
	velocidad tope (km/s)	3.65	3.65	3.65	3.65	3.65	3.65	3.65	3.65	3.65	3.65
	velocidad base (km/s)	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3
4	profundidad (m)	525	560	600	625	620	620	625	610	580	580
	velocidad tope (km/s)	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
	velocidad base (km/s)	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3

5.3.4 Primeras llegadas de ondas S

La selección de los quiebres de ondas secundarias para el perfil de Guatire se muestra en las figuras 47 a 49 siguientes sobre las secciones sísmicas correspondientes.

Para esta selección se utilizó una magnificación de la amplitud de las trazas en de factor de 12 en los disparos norte y sur, y de 30 en el disparo norte, debido a la atenuación de la señal especialmente en las trazas hacia el extremo más distante del punto de disparo.

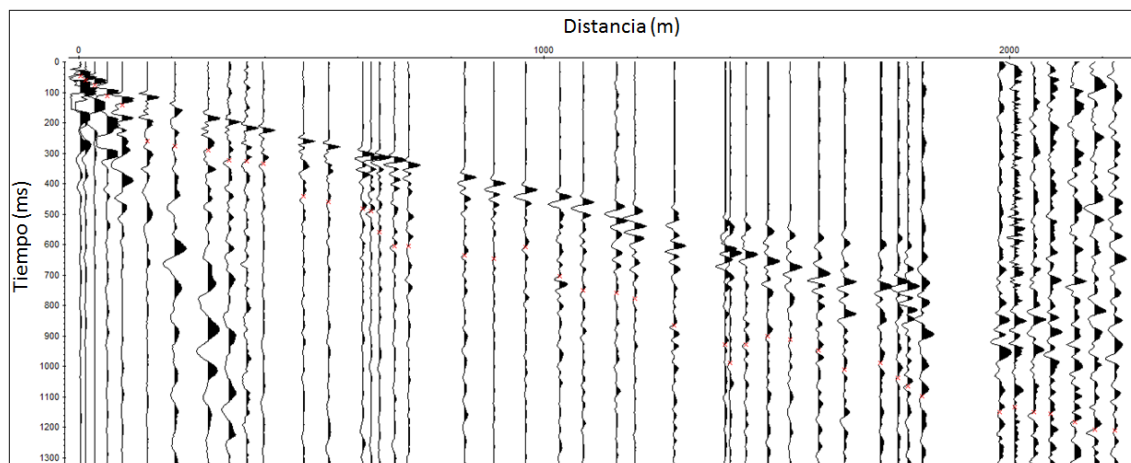


Figura 47. Selección de primeras llegadas de ondas S en perfil Guarenas disparo norte.

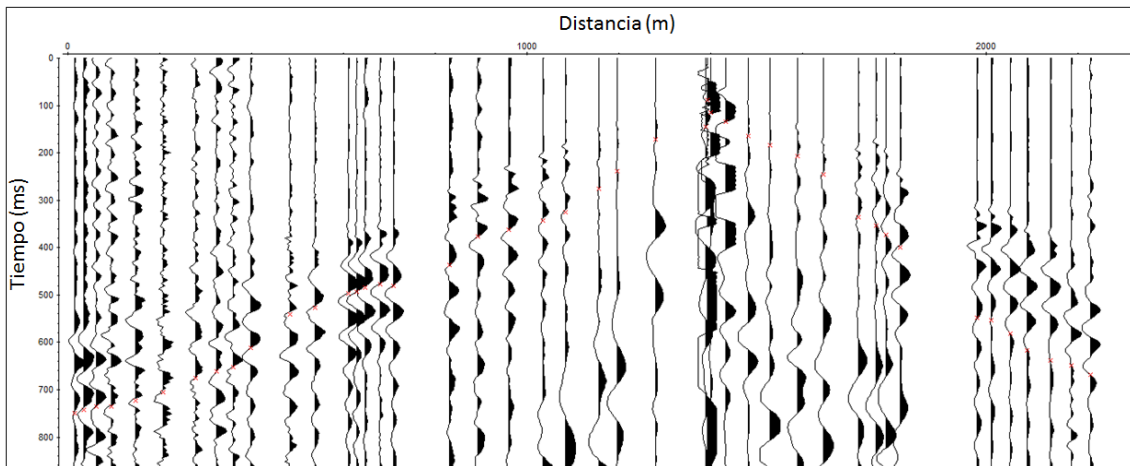


Figura 48. Selección de primeras llegadas de ondas S en perfil Guarenas disparo norte.

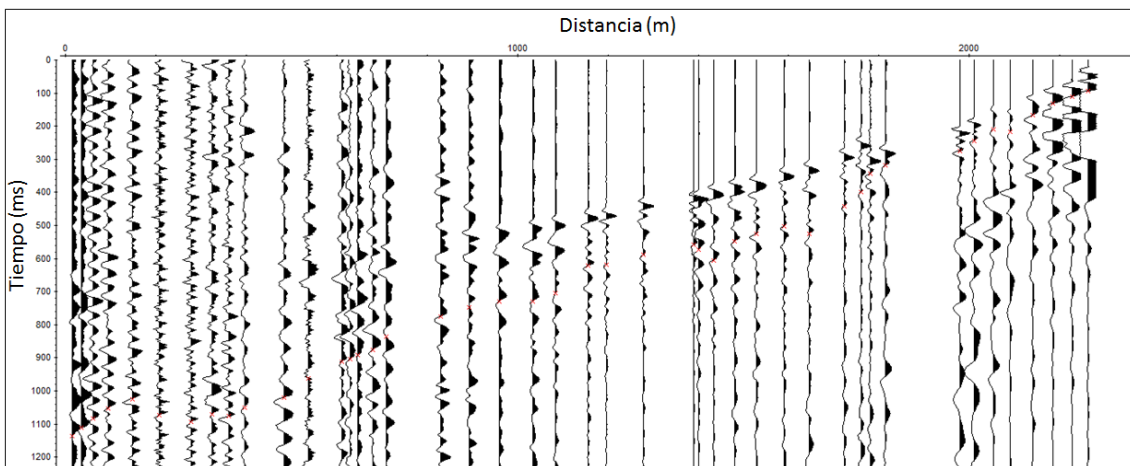


Figura 49. Selección de primeras llegadas de ondas S en perfil Guarenas disparo norte.

5.3.5 Modelo de velocidades de ondas S

El modelo de velocidades de ondas S para el trazado Guarenas se encuentra en la figura 34, de él puede interpretarse una capa de sedimentos superficiales con velocidades de ondas s entre los 700 y 800 m/s aunque por la naturaleza reológica de estos sedimentos estas velocidades pueden variar, y más por la ausencia de datos de quiebres de ondas secundarias en el centro del tendido. En concordancia con los tendidos anteriores, se puede interpretar que la velocidad de ondas S en torno a los 30 m de profundidad está cercana a los 1100 m/s.

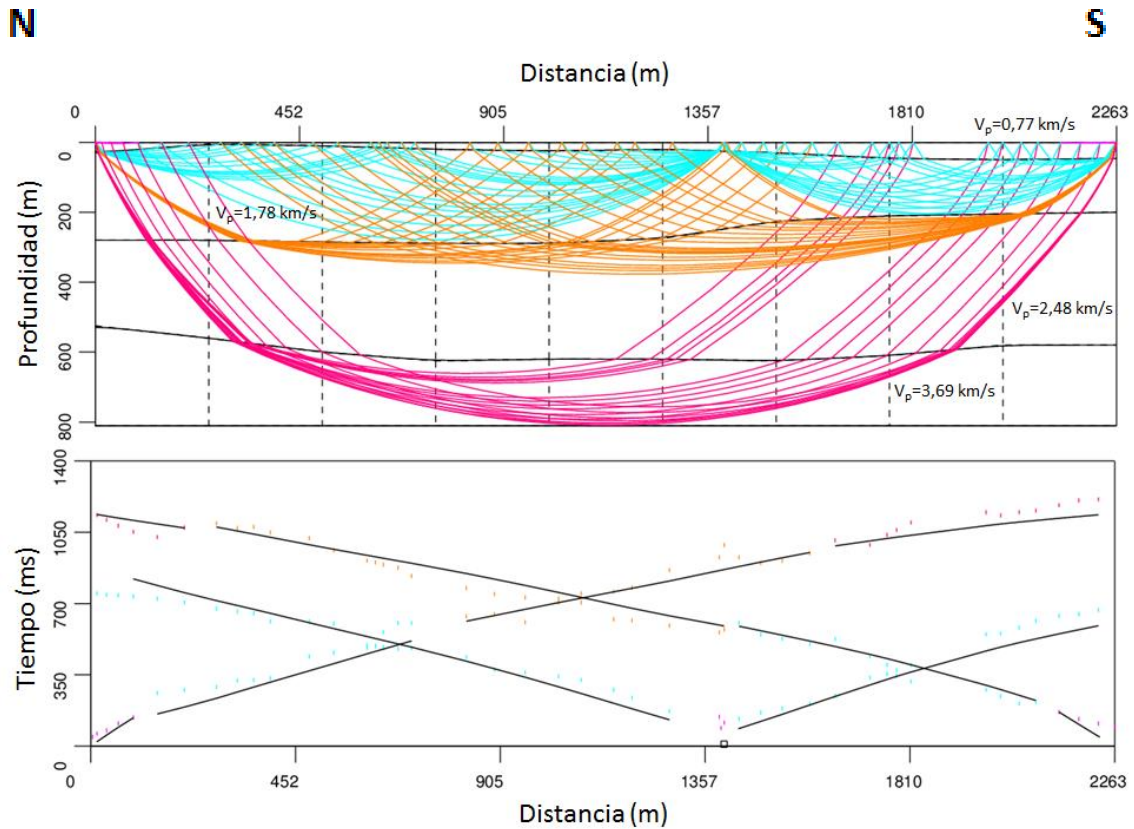


Figura 50. Modelo de velocidades de ondas S, trazado Guarenas, con velocidades promedio (V_p) de ondas S por capa.

En las capas subsiguientes pueden verse velocidades de onda s entre los 1500 a 2000 m/s hasta los 300 m de profundidad. Luego se alcanzan velocidades de hasta 2600 m/s en el tercer estrato que llega hasta aproximadamente 500 metros de profundidad. Y por último, a profundidades mayores a 525 m, las velocidades de ondas S exceden los 3500 m/s.

En la tabla 8 siguiente se encuentran los valores detallados de velocidad de ondas secundarias por cada estrato, así como la profundidad de estos

Tabla 8. Modelo de velocidad de ondas S perfil Guarenas.

capa	distancia (m)	0	251	503	754	1006	1257	1509	1760	2012	2263
1	profundidad (m)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	velocidad tope (km/s)	0.63	0.88	0.88	0.69	0.74	0.71	0.72	0.71	0.69	0.75
	velocidad base (km/s)	0.68	0.94	0.94	0.78	0.81	0.8	0.79	0.77	0.76	0.78
2	profundidad (m)	30	5	10	20	25	20	30	46	50	46
	velocidad tope (km/s)	1.42	1.45	1.48	1.52	1.52	1.5	1.45	1.47	1.49	1.53
	velocidad base (km/s)	2.06	2.07	2.1	2.12	2.12	2.11	2.08	2.06	2.08	2.1
3	profundidad (m)	280	280	285	289	289	275	225	210	205	200
	velocidad tope (km/s)	2.27	2.27	2.27	2.26	2.27	2.29	2.3	2.3	2.29	2.28
	velocidad base (km/s)	2.69	2.68	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.68	2.69	2.69
4	profundidad (m)	525	560	600	625	620	620	625	610	580	580
	velocidad tope (km/s)	3.44	3.44	3.43	3.44	3.44	3.44	3.44	3.44	3.44	3.44
	velocidad base (km/s)	3.94	3.94	3.94	3.94	3.93	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94

La figura 51 corresponde a un perfil geológico que proporciona una relación entre las velocidades interpretadas y las litologías conocidas en el área en estudio.

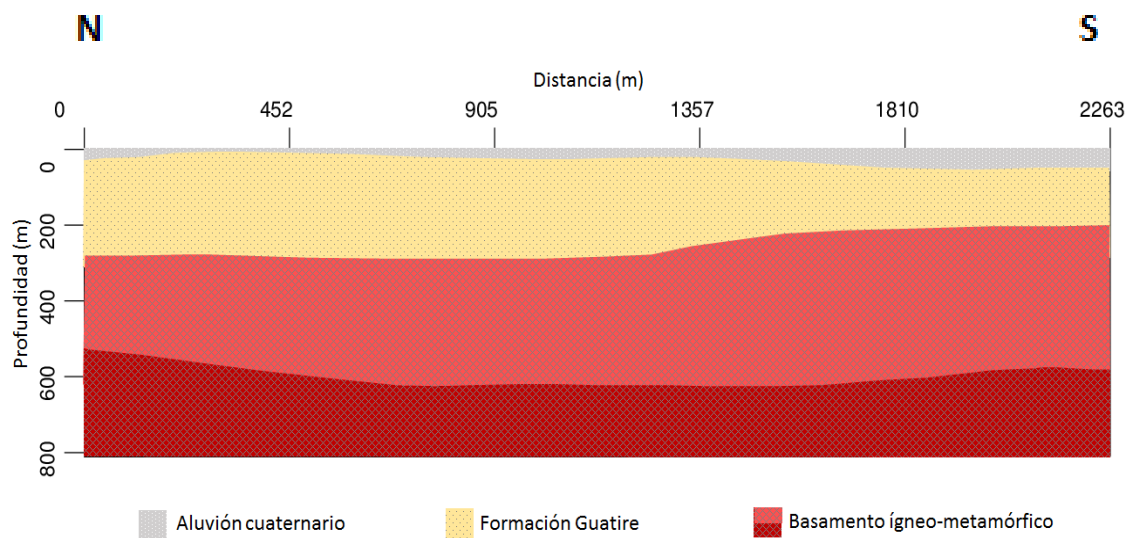


Figura 51. Perfil geológico tendido Guarenas.

Para ver las secciones sísmica completas, se pueden consultar las imágenes en el **Capítulo VIII** de Anexos.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

1. La calidad de los datos sísmicos adquiridos fue asegurada por medio de controles de tiempo, en todos los casos, la variación en los tiempos de viaje no superó el 1% en las diferencias de las velocidades de onda P
2. Se encontró que los sedimentos de la cuenca de Guarenas-Guatire en general presentan un buzamiento en dirección norte, con valores de espesor de sedimentos hasta el basamento cristalino que pueden oscilar entre aproximadamente 170 m hasta 300 m aunque no de manera uniforme ya que el espesor promedio se encuentra alrededor de los 245 m. En dirección E-O la profundidad de los sedimentos es más irregular, sin embargo los menores espesores se encontraron hacia el centro del área estudio y los mayores espesores hacia el este de dicha zona.
3. Se hallaron cuatro niveles de velocidades de ondas P que presentan cierta continuidad a lo largo de la cuenca aunque con espesores variables en cada tendido, y se propone que estos niveles corresponden, en orden descendente, a una capa superficial de sedimentos no consolidados o aluvión cuaternario de bajas velocidad promedio de 1,30 km/s, seguidos por rocas de la Formación Guatire infrayacente con velocidades alrededor de 2,60 km/s y por último el basamento rocoso cristalino con dos niveles distintos de velocidades de 3,4 km/s y 4,80 km/s.
4. Similarmente se hallaron cuatro niveles continuos a lo largo de la cuenca de velocidades de ondas secundarias, que se corresponde con la misma secuencia estratigráfica mencionada en el punto anterior, con velocidades promedio de 0,87 km/s para los sedimentos superficiales, 1,56 km/s para las rocas de la Formación Guatire y finalmente 2,11 km/s y 3,00 km/s para los dos niveles de velocidades del basamento rocoso cristalino.
5. Se observó la similitud de los datos obtenidos con aquellos de trabajos anteriores consultados durante la investigación bibliográfica, en las zonas donde se solapan las áreas en estudio, especialmente con García (2012) en la zona de Guatire y

Amarís (2006) en la zona más al oeste del área del presente trabajo. Adicionalmente se hallaron similitudes en las velocidades de ondas sísmicas superficiales con el trabajo de Skrainka (2009)

RECOMENDACIONES

- Realizar pozos a lo largo de la ubicación de los perfiles para correlacionar las velocidades encontradas en los modelos con las formaciones geológicas que no afloran.
- Realizar trabajos de refracción sísmica en tendidos que coincidan con las ubicaciones de otros trabajos (Skrainka, 2009; Noda, 2008; García, 2012; Hecht, 2004) realizados con diferentes metodologías, a efectos de comparar y calibrar la metodología de interpretación y modelado de este trabajo.
- Realizar perfiles de refracción paralelos, con una mayor cantidad de receptores y con la utilización de geófonos horizontales para una mejor detección de ondas S ya que a mayores profundidades estas se encuentran progresivamente atenuadas y no se observan con claridad las llegadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Amarís, E. (2006). Estudio geofísico de la zona de expansión este de la ciudad de Caracas (municipio Sucre y municipio Plaza). Trabajo Especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas

Cavada, J., 2000. Guía de Prospección Sísmica por Refracción. Universidad Central de Venezuela. Versión 1

Dobrin, M.B. (1960) Introducción a la Prospección Geofísica. Edit. McGraw Hill, New York, 630 p.

FUNVISIS (1978). Segunda fase del estudio del sismo ocurrido en Caracas el 29 de julio de 1967. Ministerio de obras públicas, Comisión presidencial para el estudio del sismo, FUNVISIS, Caracas, Venezuela, Vol. A: 517.

García, K. (2012). Caracterización geofísica en Guarenas-Guatire mediante la aplicación de técnicas de arreglos de vibraciones naturales. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas

Gonzalez de Juana, C.; Iturralde de Arozena.; J. Picard, X. (1981) Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas. Ediciones FONINVES. Caracas

González, M.; Alvarez, L.; Schmitz, M.; González, O.; Rodriguez, L.; Morfe, J.; Guasch, F.; Zapata, J.; Aguilar, A.; Singer, A.; Miró, C.; Viète, H. (2009) Principales avances del proyecto microzonificación para la planificación urbana y la gestión local de riesgo en Guarenas y Guatire, Venezuela. III Simposio de Sismología y riesgos geológicos. La Habana

Hecht, J. (2004) caracterización geofísica mediante estudios de ruido sísmico ambiental y gravimétricos del municipio Zamora (Guatire), estado Miranda. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas

INE, Censo de Población y Vivienda 2001. Primeros resultados del censo por entidad, estado Miranda. Instituto Nacional de Estadística. Caracas

Morales, C.; Reinoza, C.; Sánchez, C.; Ávila, J.; Schmitz, M. (2008) Modelado sísmico bidimensional de las cuencas de Barquisimeto y Cabudare en el Edo. Lara Venezuela, a través del análisis de perfiles de refracción sísmica: XIV Congreso Venezolano de Geofísica. 8 p.

Noda, F. (2008) Estudio geofísico a lo largo de la ruta del ferrocarril Caracas-Guarenas-Guatire. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas

Ostos, M. (1990). Evolución tectónica del margen Sur-Central del Caribe, basados en datos geoquímicos. Escuela Geología, Minas y Geofísica, Caracas, Geos. 30:1 –294

Parasnis, D. S. (1970) Principios de Geofísica Aplicada. Edit. Paraninfo. Madrid, 367 p.

Picard, X. (1976). Geología de la Cuenca Guarenas-Guatire, sedimentación continental intracordillerana. Mem. Bol. Geol., Publicación Especial, 7(2): 965-984

PDVSA (1998). III Léxico estratigráficos de las cuencas petroleras de Venezuela. Petróleos de Venezuela. Página web <http://www.pdvsa.com/lexico/lexicoh.htm>

Rodríguez, S. (2006). Caracterización Geofísica mediante estudios de ruido sísmico ambiental y gravimétrico del municipio Plaza (Guarenas), Estado Miranda. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas

Sánchez, J. (2005). Estudio Geofísico de la Cuenca de Guarenas-Guatire y la Zona de Expansión de la Ciudad de Caracas (Municipios Sucre y Plaza, Distrito Capital).

Sandmeier, K. J. (1998). REFRA Program for processing and interpretation of refraction seismic data, Karlsruhe, Germany 168 p.

Sandmeier, K.J. 2005 Inédito. REFLEXW Version 5.0. Karlsruhe. Alemania

Skrainka, J. (2009) Estudio comparativo de V_s utilizando estudios geofísicos y geotécnicos en la zona Guarenas - Guatire. Informa de Pasantía. Universidad Simón Bolívar. Caracas

Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R. E., Keys, D. A. (1976) Applied Geophysics. Cambridge University Press. Londres. 877 p.

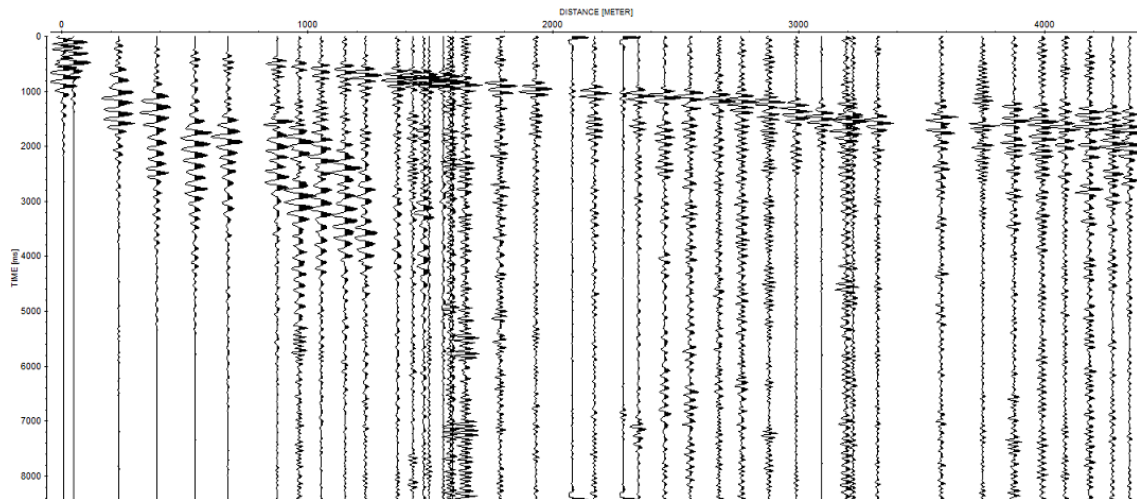
Urbani, F. y Rodríguez, J.A. (2004). Atlas geológico de la Cordillera de la Costa, Venezuela. Edic. Fundación Geos, U.C.V.

Zelt, C. and Smith, R., 1992, Seismic travelttime inversion for 2-D crustal velocity structure. Geophysical Journal International, vol. 108: 16-34

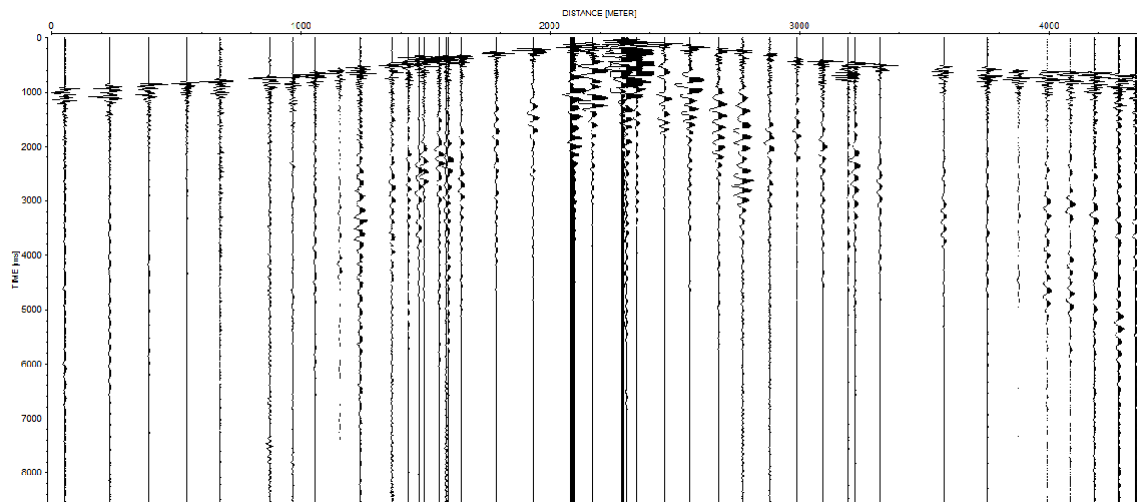
ANEXOS

SECCIONES SÍSMICAS Y PICKS DE ONDAS P Y S

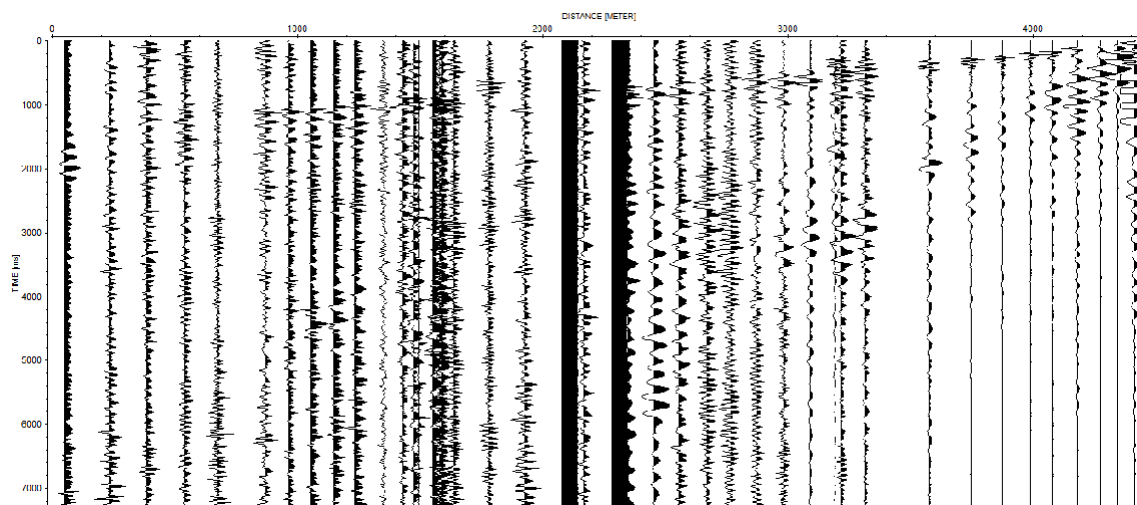
GUATIRE



Sección sísmica del perfil Guatire, disparo norte



Sección sísmica del perfil Guatire, disparo centro



Sección sísmica del perfil Guatire, disparo sur

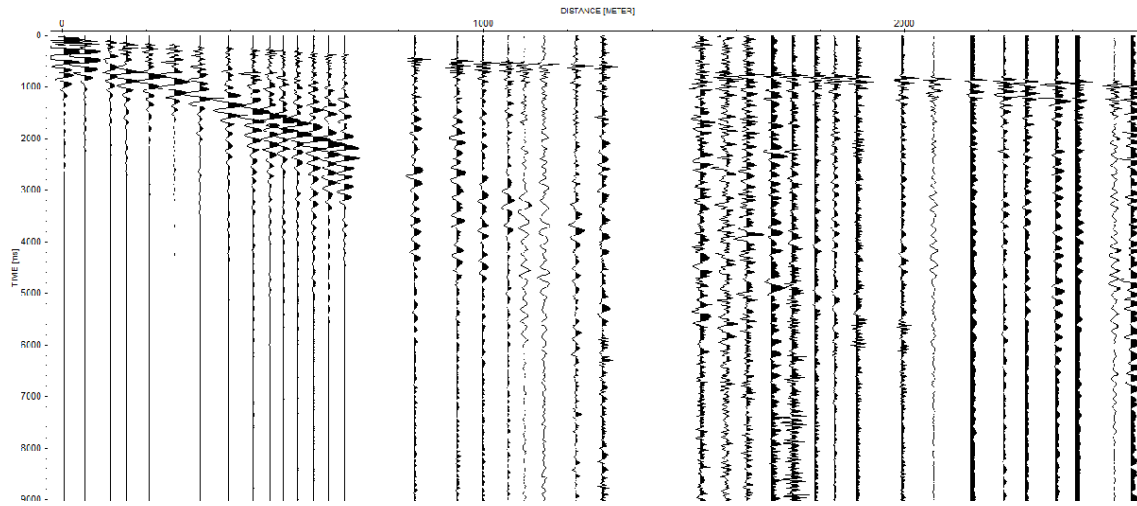
0	1	0	0	2306	-1	0	0	4415	-1	0	0
5	20.627	0	1	232.334	852.342	10	2	48.635	1334.938	10	4
48.635	48.756	0	1	386.723	808.409	10	2	232.334	1276.718	10	4
232.334	120.015	0	2	541.211	796.878	10	2	386.723	1284.331	10	4
386.723	187.523	0	2	675.286	758.744	10	2	541.211	1233.217	10	4
541.211	245.655	0	2	874.326	702.79	10	2	675.286	1212.525	10	4
675.286	298.162	0	2	964.797	658.026	10	2	874.326	1182.394	10	4
874.326	408.801	0	2	1055.53	606.548	10	2	964.797	1164.666	10	4
964.797	429.429	0	2	1152.348	561.784	10	2	1055.53	1131.743	10	4
1055.53	487.561	0	2	1234.507	517.02	10	2	1152.348	1088.689	10	4
1152.348	502.563	10	2	1365.425	474.495	10	2	1234.507	1076.51	10	4
1234.507	553.194	10	2	1429.756	425.255	10	2	1365.425	1040.949	10	3
1365.425	598.2	10	2	1472.003	414.064	10	2	1429.756	1026.683	10	3
1429.756	613.202	10	2	1493.032	409.587	10	2	1472.003	1022.333	10	3
1472.003	628.204	10	2	1552.376	360.347	10	2	1493.032	1003.223	10	3
1493.032	631.954	10	2	1580.672	346.918	10	2	1552.376	975.188	10	3
1552.376	660.083	10	2	1590.736	342.442	10	2	1580.672	975.903	10	3
1580.672	690.086	10	2	1641.355	329.013	10	2	1590.736	959.973	10	3
1590.736	697.587	10	2	1783.431	261.867	10	2	1641.355	939.333	10	3
1641.355	740.718	10	2	1783.431	261.867	10	2	1783.431	918.432	10	3
1783.431	755.72	10	3	2078.051	127.576	10	2	1929.127	853.858	10	3
1929.127	804.476	10	3	2168.082	98.48	10	1	2078.051	802.258	10	3
2078.051	844.778	10	3	2283.055	49.24	10	1	2168.082	764.592	10	3
2168.082	866.359	10	3					2283.055	745.203	10	3
2283.055	902.911	10	3	2306	1	0	0	2347.004	728.793	10	3
2347.004	929.164	10	3	2306.272	20.143	10	1	2454.666	708.554	10	3
2454.666	947.916	10	3	2347.004	55.954	10	1	2557.616	651.944	10	3
2557.616	982.359	10	3	2454.666	96.241	10	1	2672.769	601.757	10	3
2672.769	1014.117	10	3	2557.616	141.005	10	2	2768.352	584.864	10	3
2768.352	1045.875	10	3	2672.769	196.96	10	2	2877.642	476.052	10	3
2877.642	1064.022	10	3	2768.352	232.771	10	2	2988.852	448.849	10	3
2988.852	1103.87	10	3	2877.642	284.249	10	2	3091.318	413.437	10	2
3091.318	1136.456	10	3	2988.852	364.824	10	2	3193.393	406.942	10	2
3193.393	1227.349	10	3	3091.318	409.587	10	2	3219.352	374.465	10	2
3219.352	1156.107	10	3	3193.393	438.684	10	2	3318.023	299.232	10	2
3318.023	1169.16	10	4	3219.352	445.398	10	2	3577.137	269.661	10	2
3577.137	1213.361	10	4	3318.023	481.209	10	2	3748.61	237.4	10	2
3748.61	1221.687	10	4	3577.137	510.306	10	2	3874.868	199.91	10	2
3874.868	1266.34	10	4	3748.61	548.355	10	2	3989.54	121.675	10	2
3989.54	1274.487	10	4	3874.868	584.166	10	2	4180.91	118.726	10	2
4081.357	1291.718	10	4	3989.54	599.833	10	2	4185.9	82.592	10	1
4180.91	1307.782	10	4	4081.357	617.739	10	2	4275.9	60.469	10	1
4275.462	1340.614	10	4	4180.91	622.215	10	2	4345.9	20.648	10	1
4345.866	1340.372	10	4	4275.462	669.217	10	2	4415.901	0	0	-1

Valores de tiempo y distancia de archivo TX.IN de Rayinvr, con picks de ondas P. Perfil Guatire

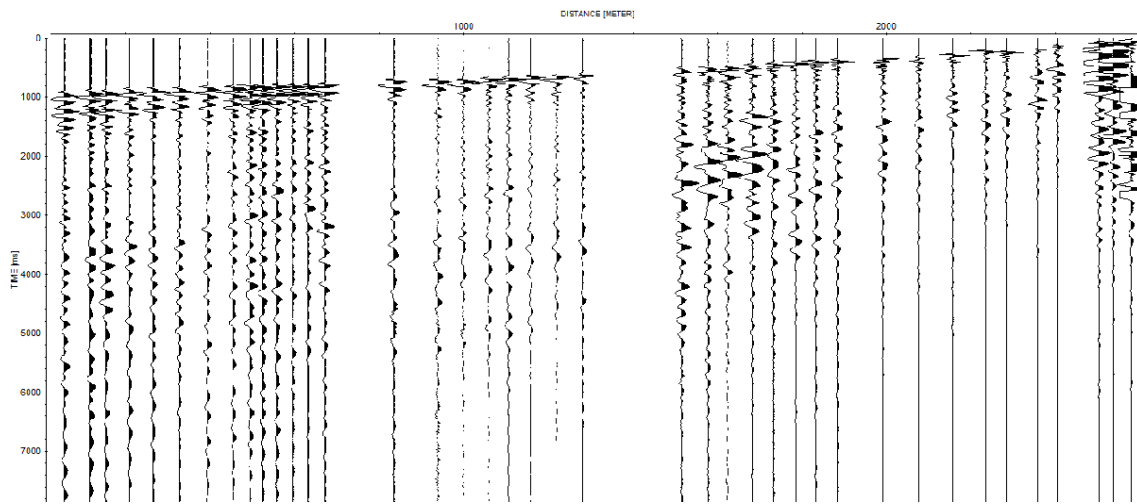
0	1	0	0	2306	-1	0	0	4415	-1	0	0
5	84.93	20	1	232.334	1489.86	20	2	48.635	2203.441	20	4
48.635	130.912	20	1	386.723	1331.009	20	2	232.334	2108.231	20	4
232.334	209.675	20	2	541.211	1295.047	20	2	386.723	1999.419	20	4
386.723	308.761	20	2	675.286	1228.158	20	2	541.211	1890.883	20	4
541.211	399.328	20	2	874.326	1142.494	20	2	675.286	1849.803	20	4
675.286	482.376	20	2	964.797	1062.494	20	2	874.326	1808.998	20	4
874.326	664.912	20	2	1055.53	969.978	20	2	964.797	1767.866	20	4
964.797	693.451	20	2	1152.348	917.238	20	2	1055.53	1696.79	20	4
1055.53	779.065	20	2	1234.507	836.462	20	2	1152.348	1663.985	20	4
1152.348	820.063	20	2	1365.425	724.648	20	2	1234.507	1628.447	20	4
1234.507	895.216	20	2	1429.756	652.871	20	2	1429.756	1519.099	20	3
1365.425	913.101	20	2	1472.003	681.214	20	2	1472.003	1536.968	20	3
1429.756	1487.6	20	2	1493.032	687.021	20	2	1493.032	1546.436	20	3
1472.003	1004.369	20	2	1552.376	602.244	20	2	1552.376	1505.43	20	3
1493.032	1060.588	20	2	1580.672	571.43	20	2	1580.672	1467.158	20	3
1552.376	1103.918	20	2	1590.736	563.616	20	2	1590.736	1453.49	20	3
1580.672	1136.291	20	2	1641.355	543.877	20	2	1641.355	1468.961	20	3
1590.736	1147.937	20	2	1783.431	427.25	20	2	1783.431	1420.685	20	3
1641.355	1222.136	20	2	2078.051	214.734	20	2	1929.127	1360.149	20	3
1783.431	1315.596	20	3	2168.082	171.069	20	1	2078.051	1319.344	20	3
1929.127	1289.88	20	3	2283.055	87.479	20	1	2168.082	1319.344	20	3
2078.051	1421.749	20	3					2283.055	1237.736	20	3
2168.082	1509.825	20	3					2347.004	1233.609	20	3
2283.055	1510.132	20	3	2306	1	0	0	2454.666	1224.134	20	3
2347.004	1520.823	20	3	2306.272	36.559	20	1	2557.616	1142.525	20	3
2454.666	1631.361	20	3	2347.004	93.516	20	1	2672.769	1088.119	20	3
2557.616	1674.668	20	3	2454.666	172.069	20	1	2768.352	979.307	20	3
2672.769	1636.514	20	3	2557.616	263.808	20	2	2877.642	927.039	20	3
2768.352	1672.898	20	3	2672.769	320.324	20	2	2988.852	831.032	20	3
2877.642	1686.974	20	3	2768.352	368.063	20	2	3091.318	786.778	20	3
2988.852	1704.512	20	3	2877.642	496.691	20	2	3193.393	740.693	20	2
3091.318	1757.819	20	3	2988.852	639.43	20	2	3219.352	734.48	20	2
3193.393	1834.279	20	3	3091.318	733.132	20	2	3318.023	698.615	20	2
3219.352	1846.587	20	3	3193.393	791.065	20	2	3577.137	528.32	20	2
3318.023	1892.663	20	4	3219.352	830.041	20	2	3748.61	473.318	20	2
3577.137	1935.509	20	4	3318.023	849.017	20	2	3874.868	452.164	20	2
3748.61	1956.661	20	4	3577.137	895.68	20	2	3989.54	418.317	20	2
3874.868	2004.507	20	4	3748.61	1044.382	20	2	4180.91	368.32	20	2
3989.54	2104.352	20	4	3874.868	1222.121	20	2	4185.9	164.35	20	2
4081.357	2119.659	20	4	3989.54	1358.009	20	2	4275.9	99.784	20	1
4180.91	2155.967	20	4	4081.357	1345.898	20	2	4345.9	101.251	20	1
4275.462	2275.736	20	4	4180.91	1338.711	20	2	4415.901	41.088	20	1
4345.866	2178.505	20	4								
								0	0	0	-1

Valores de tiempo y distancia de archivo TX.IN de Rayinvr, con picks de ondas S.
Perfil Guatire

BUENAVENTURA



Sección sísmica del perfil Buenaventura, disparo norte



Sección sísmica del perfil Buenaventura, disparo sur

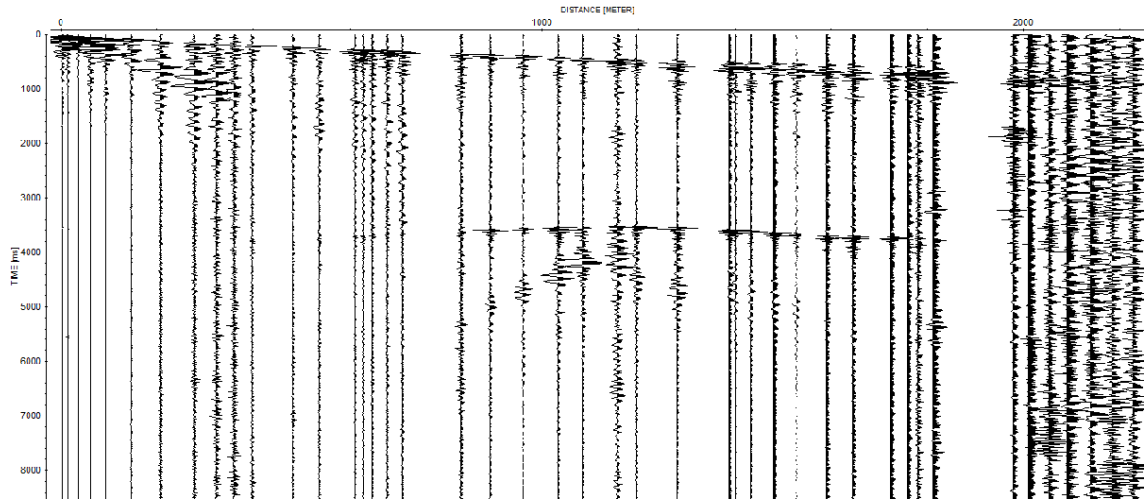
0	1	0	0	2580	-1	0	0
5	20.461	10	1	54.617	896.747	10	4
54.617	93.005	10	1	115.283	873.869	10	4
115.283	117.187	10	2	153.848	870.26	10	4
153.848	145.088	10	2	208.176	845.217	10	4
208.176	156.249	10	2	265.334	834.782	10	4
265.334	177.95	10	2	326.959	826.434	10	4
326.959	217.013	10	2	394.129	809.739	10	4
394.129	238.094	10	2	452.67	801.391	10	4
452.67	270.336	10	2	494.93	790.956	10	4
494.93	278.396	10	2	523.777	788.869	10	4
523.777	305.058	10	2	558.374	780.521	10	4
558.374	314.381	10	2	596.179	778.434	10	4
596.179	333.603	10	2	630.682	772.173	10	4
630.682	358.404	10	2	670.203	749.217	10	4
670.203	355.924	10	2	834.58	697.043	10	4
834.58	442.109	10	3	937.56	694.956	10	4
937.56	466.291	10	3	998.203	690.782	10	4
998.203	501.633	10	3	1058.851	659.478	10	4
1058.851	512.793	10	3	1107.08	646.018	10	4
1107.08	530.155	10	3	1159.742	616.665	10	4
1159.742	530.428	10	3	1220.719	609.391	10	4
1220.719	565.497	10	3	1282.952	582.26	10	3
1282.952	581.534	10	4	1515.001	498.782	10	3
1515.001	718.366	10	4	1577.491	486.26	10	2
1577.491	685.119	10	4	1625.358	459.13	10	2
1625.358	695.221	10	4	1683.113	438.26	10	2
1683.113	715.425	10	4	1732.648	417.391	10	2
1732.648	725.527	10	4	1785.067	398.608	10	2
1785.067	740.68	10	4	1833.963	377.739	10	2
1833.963	743.206	10	4	1884.412	361.043	10	2
1884.412	765.935	10	4	1993.518	333.913	10	2
1993.518	770.986	10	4	2077.539	304.695	10	2
2077.539	801.293	10	4	2157.21	275.478	10	2
2157.21	808.869	10	4	2235.706	229.565	10	2
2235.706	811.395	10	4	2285.027	217.869	10	2
2285.027	849.277	10	4	2359.164	181.565	10	2
2359.164	859.379	10	4	2405.08	118.956	10	1
2405.08	872.302	10	4	2504.548	81.391	10	1
2504.548	879.584	10	4	2538.646	58.434	10	1
2538.646	887.16	10	4	2580.796	20.869	10	1
				0	0	0	-1

Valores de tiempo y distancia de archivo TX.IN de Rayinvr, con picks de ondas P.
Perfil Buenaventura

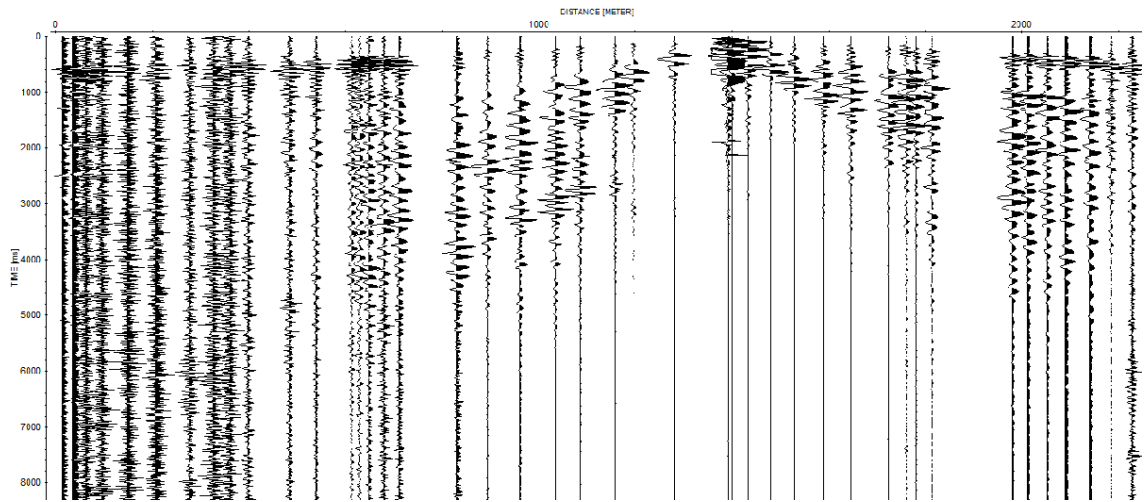
0	1	0	0	2580	-1	0	0
5	46.343	10	1	54.617	1479.62	10	4
54.617	102.987	10	1	115.283	1462.905	10	4
115.283	185.341	10	2	153.848	1463.888	10	4
153.848	219.039	10	2	208.176	1436.358	10	4
208.176	283.285	10	2	265.334	1408.827	10	4
265.334	323.832	10	2	326.959	1400.961	10	4
326.959	368.626	10	2	394.129	1388.179	10	4
394.129	432.871	10	2	452.67	1333.117	10	4
452.67	476.328	10	2	494.93	1312.469	10	4
494.93	519.721	10	2	523.777	1314.436	10	4
523.777	554.533	10	2	558.374	1291.821	10	4
558.374	579.16	10	2	596.179	1297.721	10	4
596.179	604.432	10	2	630.682	1285.333	10	4
630.682	639.348	10	2	670.203	1262.324	10	4
670.203	645.993	10	2	834.58	1144	10	4
834.58	730.101	10	3	937.56	1089.914	10	4
937.56	767.3	10	3	998.203	1083.188	10	4
998.203	804.758	10	3	1058.851	1074.22	10	4
1058.851	859.235	10	3	1107.08	1058.525	10	4
1107.08	884.933	10	3	1159.742	1076.462	10	4
1159.742	914.421	10	3	1220.719	1065.251	10	4
1220.719	1025.337	10	3	1282.952	1027.136	10	3
1282.952	1050.397	10	4	1515.001	831.881	10	3
1515.001	1142.201	10	4	1577.491	781.274	10	2
1577.491	1105.916	10	4	1625.358	771.858	10	2
1625.358	1124.981	10	4	1683.113	762.667	10	2
1683.113	1234.989	10	4	1732.648	733.021	10	2
1732.648	1216.374	10	4	1785.067	713.013	10	2
1785.067	1253.013	10	4	1833.963	697.713	10	2
1833.963	1271.464	10	4	1884.412	630.667	10	2
1884.412	1205.486	10	4	1993.518	532.179	10	2
1993.518	1271.156	10	4	2077.539	505.14	10	2
2077.539	1216.151	10	4	2157.21	454.667	10	2
2157.21	1253.676	10	4	2235.706	410.503	10	2
2235.706	1308.028	10	4	2285.027	333.073	10	2
2285.027	1382.374	10	4	2359.164	272.849	10	2
2359.164	1400.849	10	4	2405.08	249.333	10	1
2405.08	1437.503	10	4	2504.548	154.86	10	1
2504.548	1474.872	10	4	2538.646	138.883	10	1
2538.646	1511.24	10	4	2580.796	82.346	10	1
				0	0	0	-1

Valores de tiempo y distancia de archivo TX.IN de Rayinvr, con picks de ondas S.
Perfil Buenaventura

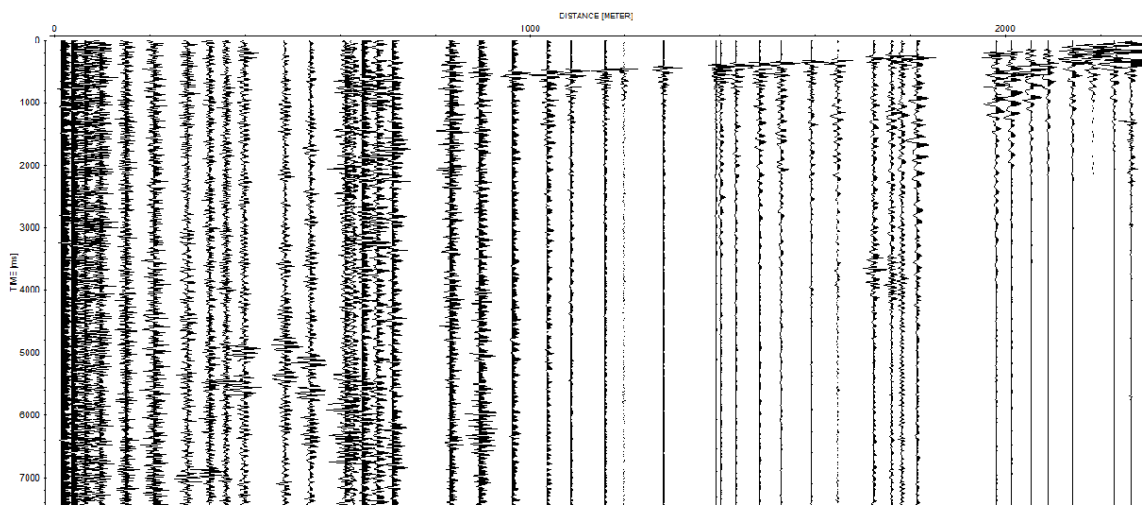
GUARENAS



Sección sísmica del perfil Guarenas, disparo norte



Sección sísmica del perfil Guarenas, disparo centro



Sección sísmica del perfil Guarenas, disparo sur

0	1	0	0	1393	-1	0	0	2263	-1	0	0
4	20.483	10	1	14	512.937	10	2	14	710.835	10	4
14	27.311	10	1	35	497.739	10	2	35	704.725	10	4
35	38.041	10	1	61	485.58	10	2	61	690.631	10	4
61	69.255	10	1	94	477.981	10	2	94	684.763	10	4
94	97.542	10	1	147	459.742	10	2	147	676.536	10	4
147	108.272	10	2	207	447.584	10	2	207	676.536	10	4
207	127.78	10	2	278	432.385	10	2	278	662.442	10	3
278	157.043	10	2	324	409.587	10	2	324	648.347	10	3
324	172.65	10	2	360	400.468	10	2	360	645.459	10	3
360	194.109	10	2	397	397.429	10	2	397	643.75	10	3
397	198.011	10	2	483	380.71	10	2	483	620.158	10	3
483	237.028	10	2	537	379.19	10	2	537	606.064	10	3
537	257.512	10	2	611	351.833	10	2	611	591.969	10	3
611	273.119	10	2	629	347.274	10	2	629	587.558	10	3
629	284.824	10	2	647	346.344	10	2	647	591.969	10	3
647	288.725	10	2	679	342.714	10	2	679	576.249	10	3
679	292.627	10	2	709	336.635	10	2	709	563.78	10	3
709	312.136	10	2	830	267.629	10	2	830	535.591	10	3
830	350.177	10	3	892	244.96	10	2	892	521.497	10	3
892	368.71	10	3	960	224.771	10	2	960	495.379	10	3
960	390.17	10	3	1034	199.198	10	2	1034	482.926	10	3
1034	409.678	10	3	1084	180.355	10	2	1084	469.088	10	3
1084	430.162	10	3	1156	142.669	10	2	1156	449.716	10	3
1156	443.19	10	3	1196	130.555	10	2	1196	445.565	10	3
1196	452.945	10	3	1279	90.177	10	2	1279	415.122	10	3
1279	470.502	10	3	1389	71.334	10	1	1389	394.366	10	3
1389	493.913	10	3	1393	20.189	10	1	1400	384.68	10	3
1400	509.519	10	3	1400	52.491	10	1	1433	370.843	10	2
1433	512.446	10	3	1433	61.913	10	2	1481	350.086	10	2
1481	518.298	10	3	1481	86.139	10	2	1528	343.168	10	2
1528	530.003	10	3	1528	110.366	10	2	1589	318.26	10	2
1589	541.708	10	3	1589	135.939	10	2	1645	303.039	10	2
1645	556.34	10	4	1645	169.587	10	2	1722	268.446	10	2
1722	598.593	10	4	1722	184.393	10	2	1760	264.294	10	2
1760	605.557	10	4	1760	187.085	10	2	1781	258.759	10	2
1781	607.44	10	4	1781	189.776	10	2	1813	253.224	10	2
1813	610.094	10	4	1813	231.5	10	2	1979	202.026	10	2
1979	646.366	10	4	1979	305.043	10	2	2011	174.351	10	2
2011	649.02	10	4	2011	312.347	10	2	2052	156.362	10	2
2052	654.328	10	4	2052	313.391	10	2	2089	146.676	10	2
2089	656.098	10	4	2089	356.173	10	2	2140	103.78	10	1
2140	658.752	10	4	2140	362.086	10	2	2184	81.64	10	1
2184	663.175	10	4	2184	382.26	10	2	2227	59.5	10	1
2227	665.829	10	4	2227	384.347	10	2	2263	20.756	10	1
								0	0	0	-1

Valores de tiempo y distancia de archivo TX.IN de Rayinvr, con picks de ondas P.
Perfil Guarenas

0	1	0	0	1393	-1	0	0	2263	-1	0	0
4	45.27	10	1	14	749.821	10	2	14	1135.145	10	4
14	61.149	10	1	35	742.788	10	2	35	1111.376	10	4
35	76.955	10	1	61	740.263	10	2	61	1082.376	10	4
61	111.909	10	1	94	735.263	10	2	94	1052.607	10	4
94	141.058	10	1	147	723.771	10	2	147	1026.723	10	4
147	260.888	10	2	207	705.229	10	2	207	1073.069	10	4
207	275.6	10	2	278	675.737	10	2	278	1094.069	10	3
278	290.46	10	2	324	660.721	10	2	324	1070.953	10	3
324	321.823	10	2	360	652.229	10	2	360	1076.3	10	3
360	325.14	10	2	397	611.721	10	2	397	1049.3	10	3
397	333.804	10	2	483	611.704	10	2	483	1020.993	10	3
483	440.547	10	2	537	600.687	10	2	537	961.108	10	3
537	459.352	10	2	611	496.654	10	2	611	911.108	10	3
611	482.903	10	2	629	492.039	10	2	629	902.108	10	3
629	490.52	10	2	647	485.983	10	2	647	891.108	10	3
647	559.089	10	2	679	477.112	10	2	679	876.108	10	3
679	604.654	10	2	709	481.168	10	2	709	835.339	10	3
709	604.33	10	2	830	436.952	10	2	830	776.339	10	3
830	636.339	10	3	892	376.307	10	2	892	746.57	10	3
892	647.112	10	3	960	361.203	10	2	960	729.916	10	3
960	608.937	10	3	1034	343.047	10	2	1034	725.186	10	3
1034	704.959	10	3	1084	324.59	10	2	1084	705.648	10	3
1084	750.175	10	3	1156	276.162	10	2	1156	623.11	10	3
1156	758.609	10	3	1196	238.246	10	2	1196	617.11	10	3
1196	777.445	10	3	1279	171.657	10	2	1279	591.803	10	3
1279	865.084	10	3	1389	144.447	10	1	1389	558.149	10	3
1389	926.983	10	3					1400	573.264	10	3
1400	987.544	10	3	1393	1	0	0	1433	605.669	10	2
1433	926.724	10	3	1393	88.775	10	1	1481	547.538	10	2
1481	899.471	10	3	1400	115.106	10	1	1528	526.94	10	2
1528	911.216	10	3	1433	134.667	10	2	1589	502.637	10	2
1589	945.827	10	3	1481	165.754	10	2	1645	526.034	10	2
1645	1010.449	10	4	1528	184.78	10	2	1722	441.047	10	2
1722	987.642	10	4	1589	208.693	10	2	1760	399.978	10	2
1760	1037.642	10	4	1645	246.348	10	2	1781	344.032	10	2
1781	1060.819	10	4	1722	336.76	10	2	1813	317.497	10	2
1813	1098.568	10	4	1760	354.268	10	2	1979	276.447	10	2
1979	1148.233	10	4	1781	373.602	10	2	2011	244.006	10	2
2011	1133.233	10	4	1813	398.81	10	2	2052	208.775	10	2
2052	1148.749	10	4	1979	548.59	10	2	2089	217.799	10	2
2089	1156.601	10	4	2011	553.419	10	2	2140	167.691	10	1
2140	1183.16	10	4	2052	582.436	10	2	2184	132.793	10	1
2184	1206.16	10	4	2089	615.453	10	2	2227	111.153	10	1
2227	1211.823	10	4	2140	638.462	10	2	2263	94.235	10	1
				2184	648.978	10	2				
				2227	667.978	10	2	0	0	0	-1

Valores de tiempo y distancia de archivo TX.IN de Rayinvr, con picks de ondas S.
Perfil Guarenas