

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **MODELADO BIDIMENSIONAL DEL SUBSUELO EN LAS CIUDADES DE MARACAY, EDO. ARAGUA Y VALENCIA, EDO. CARABOBO, A TRAVES DE DATOS DE SISMICA DE REFRACCION SOMERA.**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por el Br. Meza V., Jaime A.  
Para optar al Título de  
Ingeniero Geofísico

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **MODELADO BIDIMENSIONAL DEL SUBSUELO EN LAS CIUDADES DE MARACAY, EDO. ARAGUA Y VALENCIA, EDO. CARABOBO, A TRAVES DE DATOS DE SISMICA DE REFRACCION SOMERA.**

TUTOR ACADÉMICO: Dr. Michael Schmitz  
TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Cristian Sánchez

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por el Br. Meza V., Jaime A.  
Para optar al Título de  
Ingeniero Geofísico

Caracas, abril de 2010

## CONSTANCIA DE APROBACION

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 Jaime Antonio Meza Velásquez, titulado:

**“MODELADO BIDIMENSIONAL DEL SUBSUELO EN LAS CIUDADES DE MARACAY, EDO. ARAGUA Y VALENCIA, EDO. CARABOBO, A TRAVES DE DATOS DE SISMICA DE REFRACCION SOMERA”**

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(a). Nuris Orihuela

Jurado

---

Prof. Jesús González

Jurado

---

Dr. **Michael Schmitz**

Tutor Académico

**Meza V., Jaime A.**

**MODELADO BIDIMENSIONAL DEL SUBSUELO EN LAS CIUDADES DE MARACAY,  
EDO. ARAGUA Y VALENCIA, EDO. CARABOBO, A TRAVÉS DE DATOS DE  
SÍSMICA DE REFRACCIÓN SOMERA.**

**Tutor académico: Dr. Michael Schmitz Tutor Industrial: Ing. Ing. Cristian Sánchez  
Caracas, U. C. V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica.**

**Año 2010, 140 p.**

**Palabras claves:** Refracción sísmica-somera, Velocidad de onda P, Velocidad de onda S, Modelo dos dimensiones, Sedimento-espesor.

**Resumen.**

En el marco del Proyecto de investigación aplicada a la gestión integral del riesgo en espacios urbanos, desarrollado por la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) en las ciudades de Valencia y Maracay (ubicadas sobre la cuenca del Lago de Valencia), se llevo a cabo un estudio del subsuelo en estas zonas, utilizando el método de sísmica de refracción somera con el fin de aportar información para determinar el riesgo sísmico presente en la región.

Para la obtención de los datos se realizaron cuatro 4 perfiles de sísmica de refracción, 2 de ellos en la ciudad de Valencia: el primero en la Parroquia Negro Primero cerca de Ciudad Plaza y el segundo en las cercanías del Aeropuerto Arturo Michelena. Ambos perfiles con una longitud promedio de 1500 m; los otros dos perfiles se realizaron en la ciudad de Maracay en el sector Guasimal al lado del Parque Metropolitano, con una longitud promedio de 1500 m y en la base área Sucre con una longitud promedio de 2000 m, ambos sectores pertenecen al municipio Girardot.

A partir de los datos obtenidos del análisis de onda P, se generaron modelos bidimensionales que permitieron la caracterización del subsuelo en cada perfil, logrando estimar las fases presentes para el alcance de los perfiles, así como el espesor de

sedimentos en el área y su buzamiento, determinar la velocidad promedio de onda P.

De igual manera se construyó un modelo bidimensional de ondas S, basado en la estructura del modelo de velocidad de onda p y ajustando los valores de velocidad de S observadas en las secciones sísmicas, permitiendo establecer una velocidad promedio de onda S para cada ciudad, ya que las observaciones de onda S en la mayoría de los perfiles no poseen la densidad suficiente para la determinación de la profundidad de la cuenca.

Se lograron identificar tres 3 fases en los modelos de ondas P, en los 4 perfiles, lo que permite estimar que la caracterización de la cuenca del lago de Valencia en sus primeros 400 mts de profundidad está representada por una primera fase con un promedio de  $V_p = 600$  m/s, una segunda fase  $V_p = 1800$  m/s y una tercera fase con una  $V_p = 3800$  ms. Interpretamos la primera fase como sedimentos pocos consolidados, la segunda fase como sedimentos saturados y la tercera fase como está basamento perteneciente a los Esquistos de Las Mercedes.

El promedio de  $V_s$  obtenido para la ciudad de Maracay es de 200 m/s para los sedimentos con un espesor (135 m a 270 m) y para el basamento rocoso es de 1100 m/s; para la ciudad de Valencia el promedio de  $V_s$  obtenido es de 420 m/s para los sedimentos con un espesor (210 m a 280 m) y 1250 m/s para el basamento rocoso.

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo a mis hijos, como ejemplo de la dedicación y constancia ante lo que se quiere en la vida; a mis padres por haberme brindado la formación y la educación que me sirvieron de instrumentos para concluir esta etapa de mi vida, a mi adorada esposa quien con su infinito amor, estuvo siempre a mi lado apoyándome incondicionalmente, convirtiéndose uno de los pilares fundamentales en el éxito alcanzado.

Para ustedes, con todo mi amor...

## AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer enormemente a la máxima casa de estudio, La Universidad Central de Venezuela, por haberme permitido pasar por sus aulas y poder enriquecerme no solo de conocimientos técnicos sino también de la calidez humana y la mística demostrada por los profesores, trabajadores, obreros y estudiantes; vivencias que complementan el aprendizaje profesional y que nos caracteriza con esa calidad humana que solo ofrece un ucevista.

Gracias a mi apreciado tutor académico Dr. Michael Schmitz, por su paciencia, por tener siempre un tiempo para atenderme, por su preocupación, por su ayuda, por permitirme el privilegio de ser su estudiante, por enseñarme que lo más grande que posee un ser humano es la humildad, Dios lo bendiga siempre.

Gracias a FUNVISIS por darme la oportunidad de poder emprender este proyecto, gracias al Dr. Gustavo Malave, gracias al departamento de geofísica por su apoyo, al Ing. Jesús Ávila, Ing. Cecilio Morales, Ing. Cristian Sánchez, Ing. Carlos Reinoza, Ing. Kenny García e Ing. Edwin Amaras. Gracias a la Ing. Claudia Quintero e Ing. Alberto Moncada por su preocupación y cordialidad, al departamento de informática, por su atención y receptividad ante cualquier solicitud, a servicios generales por ese buen humor que siempre los caracteriza, a todo el personal, gracias por su calidez, por hacerme sentir parte de ustedes y permitirme conocerlos un poco, gracias por todas sus atenciones.

Gracias a mis hijos, por ser mi inspiración, a mi esposa por su apoyo incondicional, a mis padres y hermanas por siempre estar presentes, a mis suegros por toda la ayuda en esos momentos de necesidad, a Pinita por contar siempre contigo, a Riczul, Tony y Jan mis queridas cuñadas y a todas aquellas personas que de una manera u otra contribuyeron en el logro de mi graduación como Ingeniero Geofísico.

Les estaré por siempre agradecido.

# ÍNDICE GENERAL

Pág.

RESUMEN.....	iii
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE TABLAS.....	xvi

## 1. CAPITULO I.

INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Localización del área de estudio.....	2
1.3. Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivo general.....	5
1.3.2 Objetivos específicos.....	5
1.4. Justificación.....	5

## 2. CAPITULO II.

ARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes.....	7
2.2. Ondas sísmicas.....	14
2.2.1 Tipos de ondas internas o de volúmen.....	15
2.2.2 Tipos de ondas superficiales.....	15
2.3 Método de Refracción sísmica.....	16
2.3.1 Refracción crítica.....	20
2.4 Equipos.....	26
2.4.1 Fuentes de energía explosiva.....	26
2.4.2 Geófonos.....	27
2.4.3 Cables de transmisión.....	28
2.4.4 Sismógrafo.....	29
2.5 Marco geológico.....	30
2.5.1 Sistema de fallas.....	31

2.5.1.1 Sistema de Fallas La Victoria.....	32
2.5.1.1.1 Falla Guacamaya.....	32
2.5.1.1.2 Falla La Cabrera.....	32
2.5.1.1.3 Falla El Horno.....	33
2.5.1.1.4 Falla La Victoria.....	33
2.5.1.1.5 Falla Pichao.....	34
2.5.1.2 Sistema de Fallas Río Guárico.....	34
2.5.1.2.1 Falla Norte del Río Guárico.....	35
2.5.1.2.2 Falla Sur del Río Guárico.....	35
2.5.1.3 Sistema de Fallas Tacagua- El Ávila.....	36
2.5.1.3.1 Falla Tacagua.....	36
2.5.1.3.2 Falla El Ávila.....	36
2.5.1.4 Falla Túcata.....	37
2.5.1.5 Falla Píritu.....	37
2.5.1.6 Falla San Sebastián.....	38
2.5.2 Formaciones geológicas.....	39

### **3. CAPITULO III.**

METODOLOGÍA.....	45
3.1 Adquisición sísmica.....	45
3.1.1 Perforación de pozos.....	45
3.1.2 Adquisición de los datos sísmicos.....	48
3.2 Procesamiento de las secciones sísmicas.....	54
3.2.1 Secciones sísmicas generadas por Texan.....	54
3.2.2 Secciones sísmicas generadas por los Geodes.....	65
3.3 Procesamiento de los modelos 2D del subsuelo.....	68

#### 4. CAPITULO IV.

RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	72
4.1 Perfil Ciudad Plaza.....	72
4.1.1 Modelo Bidimensional Ondas P.....	72
4.1.2 Análisis de Ondas p en las secciones sísmicas.....	74
4.1.2.1 Disparo 1.....	74
4.1.2.2 Disparo 2.....	74
4.1.2.3 Disparo 3.....	74
4.1.2.4 Disparo 4.....	75
4.1.3 Análisis del Modelo Bidimensional.....	75
4.1.4 Modelo Bidimensional Ondas S.....	76
4.1.5 Análisis de Ondas S en las secciones sísmicas.....	77
4.1.5.1 Disparo 1.....	77
4.1.5.2 Disparo 2.....	78
4.1.5.3 Disparo 3.....	78
4.1.5.4 Disparo 4.....	79
4.1.6 Análisis del Modelo Bidimensional.....	79
4.2 Perfil Aeropuerto.....	79
4.2.1 Modelo Bidimensional Ondas P.....	79
4.2.2 Análisis de Ondas P en la sección sísmica.....	80
4.2.2.1 Disparo 1.....	80
4.2.2.2 Disparo 2.....	81
4.2.2.3 Disparo 3.....	82
4.2.3 Análisis del Modelo Bidimensional.....	82
4.2.4 Modelo Bidimensional Ondas S.....	83
4.2.5 Análisis de Ondas S en las secciones sísmicas.....	84
4.2.5.1 Disparo 1.....	84
4.2.5.2 Disparo 2.....	85
4.2.5.3 Disparo 3.....	85
4.2.6 Análisis Modelo Bidimensional.....	85

4.3 Perfil Parque Metropolitano.....	86
4.3.1 Modelo Bidimensional Ondas P.....	86
4.3.2 Análisis de Ondas P en las secciones sísmicas.....	87
4.3.2.1 Disparo 1.....	87
4.3.2.2 Disparo 2.....	88
4.3.2.3 Disparo 3.....	88
4.3.2.4 Disparo 4.....	88
4.3.3 Análisis Modelo Bidimensional.....	89
4.3.4 Modelo Bidimensional Ondas S.....	89
4.3.5 Análisis de Ondas S en las secciones sísmicas.....	90
4.3.5.1 Disparo 1.....	90
4.3.5.2 Disparo 2.....	91
4.3.5.3 Disparo 3.....	92
4.3.5.4 Disparo 4.....	92
4.3.6 Análisis Modelo Bidimensional.....	93
4.4 Perfil Base Sucre.....	93
4.4.1 Modelo Bidimensional Ondas P.....	93
4.4.2 Análisis de Ondas P en las secciones sísmicas.....	95
4.4.2.1 Disparo 1.....	95
4.4.2.2 Disparo 2.....	95
4.4.2.3 Disparo 3.....	95
4.4.2.4 Disparo 4.....	96
4.4.3 Análisis Modelo Bidimensional.....	97
4.4.4 Modelo Bidimensional Ondas S.....	97
4.4.5 Análisis de Ondas S en las secciones sísmicas.....	98
4.4.5.1 Disparo 1.....	98
4.4.5.2 Disparo 2.....	99
4.4.5.3 Disparo 3.....	99
4.4.5.4 Disparo 4.....	100
4.4.6 Análisis Modelo Bidimensional.....	101

**5. CAPITULO V.**

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES.....102

**6. CAPITULO VI.**

REFERENCIAS.....104

**ANEXO 1 (Secciones sísmicas ondas P y S).....107**

**ANEXOS 2 (Secciones sísmicas generadas por Geodes).....125**

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura No.</b>	<b>Título de la Figura</b>	<b>Pág.</b>
1.1	Ubicación del Área de Estudio.....	2
1.2	Red Urbana de la ciudad de Maracay y ubicación de los perfiles sísmicos.....	3
1.3	Red Urbana de la ciudad de Valencia y ubicación de los perfiles sísmicos.....	4
2.1	Proyección del ascenso del Lago de Valencia.....	8
2.2	Secciones del relleno Aluvial Cuaternario de la Cuenca del Lago de Valencia (Tahal, 1970).....	9
2.3	Perfil Geoeléctrico 3, del subsuelo aluvial al este de la Cuenca de Valencia (Tahal, 1970).....	10
2.4	Perfil Geoeléctrico 6, del subsuelo aluvial al noreste de la Cuenca de Valencia (Tahal, 1970).....	10
2.5	Mapa de Espesores de Sedimentos del Valle de Caracas (Sánchez, et al., 2005).....	12
2.6	Mapa de Espesores de Sedimentos de la Ciudad de Maracay (Rojas, 2008).....	14
2.7	Conversión de una onda incidente P, ecuación del parámetro de Rayo P.....	17
2.8	Modelo de dos capas.....	18
2.9	Rayo p que incide oblicuamente sobre una interfase con contraste de impedancia acústica.....	21
2.10	Rayos sísmicos generados por una fuente ubicada en superficie...	22
2.11	Dromocrónica para la onda directa, reflejada y refractada.....	23

2.12	Estrato con capa buzante.....	24
2.13	Domocrónica de doble disparo.....	25
2.14	Mapa de Falla Cuaternaria de la zona nor-central de Venezuela.....	31
2.15	Mapa geológico de la cuenca del Lago de Valencia.....	4
3.1	Taladro y mechas usadas en las perforaciones.....	46
3.2	Perforación del pozo.....	47
3.3	Procedimiento para el sellado del Tubo antes de ser colocado dentro del pozo.....	46
3.4	Encamisado del pozo.....	46
3.5	Pantalla de configuración de los Texan.....	50
3.6	Geodes de 24 canales cada uno.....	51
3.7	GPS Diferencial Marca Thales Modelo Z-Max.Net.....	52
3.8	Colocación de la carga explosiva dentro del pozo.....	53
3.9	Ejemplo de una pantalla con la información por evento contenida en los Texan.....	54
3.10	Traza obtenida por un Texan.....	55
3.11	Sección sísmica perfil Aeropuerto, disparo 1. Generada a partir de los RT.....	55
3.12	Pantalla de Directorio de Reflexw.....	55
3.13	Ejemplo de Cálculo de Distancia entre P1 y Texan más cercano, en perfil Aeropuerto.....	57

3.14	Sección sísmica perfil Aeropuerto, disparo 1.....	58
3.15	Espectro de amplitud de la sección sísmica del perfil Aeropuerto disparo 1.....	59
3.16	Sección sísmica Perfil Aeropuerto, disparo 1 con filtro pasabanda de 4.5, 9, 18 y 36 Hz.....	59
3.17	Esquema para el Cálculo de D.....	60
3.18	Ejemplo de Cálculo de V en Sección del perfil Aeropuerto disparo 1.....	60
3.19	Sección Sísmica construida a partir de los Up-Hole.....	62
3.20	Primeras llegadas de Onda P, perfil Aeropuerto disparo 1.....	63
3.21	Cálculo de Velocidades aparentes perfil Aeropuerto disparo 1.....	63
3.22	Control del Tiempo, perfil Aeropuerto disparo 1, ondas p.....	64
3.23	Análisis de tiempos de llegada, formato ASCII, primeras llegadas perfil Aeropuerto, disparo 1 ondas p.....	65
3.24	Ventana del reflex para la conversión de .SEG2 a .SEGY.....	66
3.25	Muestra del Archivo tx.in del perfil Aeropuerto.....	68
3.26	Archivo r.in.....	69
3.27	Archivo v.in.....	70
3.28	Ejemplo del Modelo de velocidad perfil Aeropuerto.....	71
4.1	Esquema perfil Ciudad Plaza.....	72
4.2	Sección sísmica y Primeras llegadas de ondas p, disparo 1.....	72

4.3	Modelo bidimensional de ondas p.....	72
4.4	Primeras llegadas de ondas s, disparo 1.....	76
4.5	Modelo bidimensional de ondas s, disparo 1.....	77
4.6	Esquema perfil Aeropuerto.....	79
4.7	Primeras llegadas Sección sísmica de Ondas p, disparo 1.....	80
4.8	Modelo bidimensional de Ondas p, disparo 1.....	81
4.9	Sección sísmica primeras llegadas de Ondas s, disparo 1.....	83
4.10	Modelo bidimensional de Ondas s, disparo 1.....	84
4.11	Esquema perfil Parque Metropolitano.....	86
4.12	Sección sísmica primeras llegadas de Ondas p, perfil Parque Metropolitano, disparo 1.....	86
4.13	Modelo bidimensional de Ondas p, Parque Metropolitano, disparo 1.....	87
4.14	Sección sísmica de Ondas s, Parque Metropolitano, disparo 1.....	89
4.15	Modelo bidimensional de Ondas s, Parque Metropolitano, disparo 1.....	90
4.16	Esquema perfil Base Sucre.....	94
4.17	Primeras llegadas de Ondas p, Base Sucre, disparo 1.....	94
4.18	Modelo bidimensional de Ondas p, Base Sucre.....	94
4.19	Sección sísmica de Ondas s, Base Sucre, disparo 1.....	97
4.20	Modelo bidimensional de Ondas s, Base Sucre, disparo 1.....	98

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla No.</b>	<b>Título de la Tabla</b>	<b>Pág.</b>
2.1	Descripción de Fallas Cuaternarias de la zona nor-central de Venezuela.....	31
3.1	Ubicación espacial de los pozos.....	45
3.2	Profundidad de los pozos.....	48
3.3	Carga Explosiva por pozos.....	53
3.4	Ejemplo del Cálculo de las distancias de los texan sobre el perfil Aeropuerto....	57
3.5	Cálculo de T para los Up Hole.....	61
3.6	Ejemplo de Valores adquiridos por el GPS diferencial para el g1 y g24 del primer cable conectado al geodes ubicado al norte del perfil Aeropuerto.....	66
3.7	Cálculo para la interpolación de los geófonos entre g1 y g24 del Geode más al norte, perfil Aeropuerto.....	67
3.8	Cálculo de la distancia con respecto al punto inicial del g1 hasta g24 del Geode al norte, perfil Aeropuerto.....	67

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN.

### 1.1 Planteamiento del problema.

El terremoto ocurrido en 1967 en la ciudad de Caracas originó una serie de estudios para determinar cuales fueron las condiciones presentes en el subsuelo que pudieron haber sido responsables de los altos índices de los daños registrados, desde entonces la necesidad de poder cuantificar el nivel de riesgo sísmico en las principales ciudades ha sido una prioridad.

La definición de zonas de riesgo sísmico apunta directamente a la descentralización del eje Andino – Norte Costero del país, no solo por concentrarse en esa zona la mayor población debido a la ubicación de las ciudades mas importantes del territorio, también por ser este eje, la ubicación de los principales accidentes de fallas geológicas activas en Venezuela.

La Fundación Venezolana de Investigación Sismológica (FUNVISIS), desarrolla en la actualidad el proyecto de investigación aplicada a la gestión integral del riesgo en espacios urbanos: conformación de redes de actores, en las áreas metropolitanas de Mérida, Valencia, Maracay, Barcelona y Puerto La Cruz, con el fin de contribuir a la toma de decisiones, al manejo de recursos asociados y a la prevención de riesgos de accidentes y catástrofes, en zonas de alto riesgo (amenaza sísmica, geomorfológicas e hidrometereológicas), (Schmitz, et al., 2009).

Dentro de este proyecto existe la necesidad de determinar el espesor de sedimentos sobre el basamento cristalino y la geometría en la Cuenca del Lago de Valencia, donde se encuentran localizadas las ciudades de Maracay, en el Edo. Aragua y Valencia, en el Edo. Carabobo; inicialmente se utilizará el método de sísmica de refracción somera y los resultados obtenidos con este método, contribuirán al levantamiento de mapas de microzonificación sísmica.

## 1.2 Localización del área de estudio.

El área de estudio estuvo comprendida sobre la cuenca del Lago de Valencia hacia el noreste en: la ciudad de Maracay, Edo. Aragua y al suroeste en la ciudad Valencia, Edo. Carabobo; en Venezuela (figura 1.1).

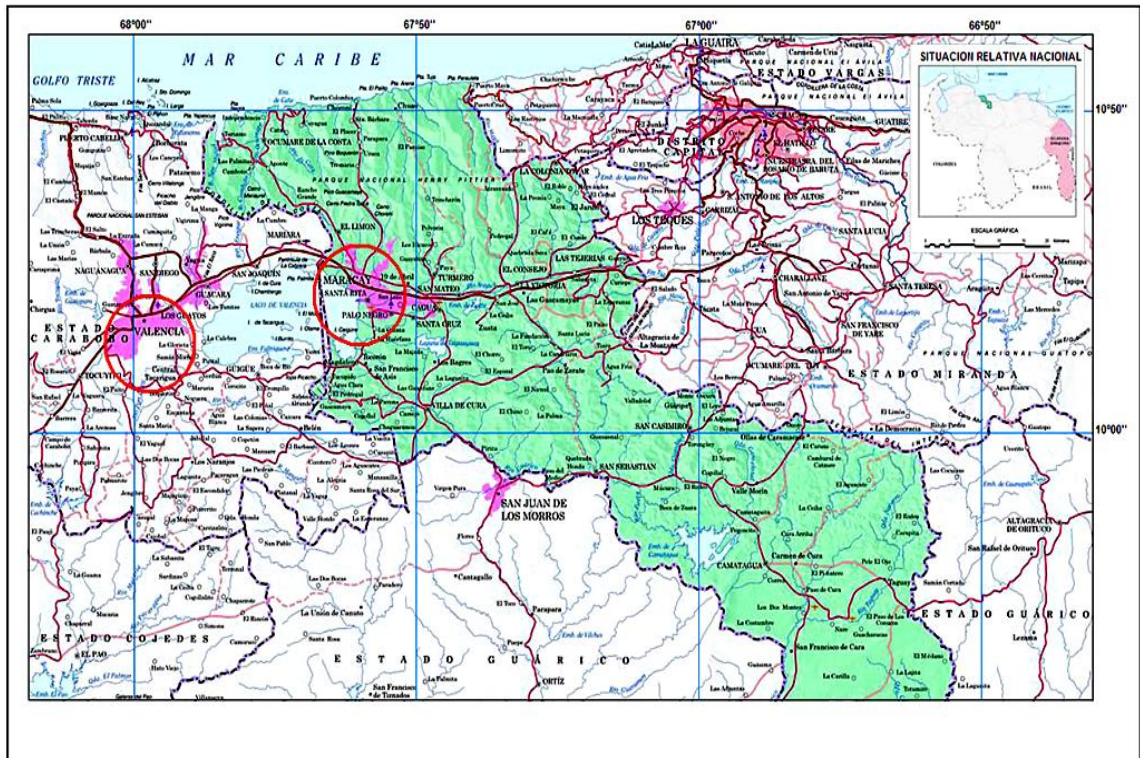


Figura 1.1. Ubicación del área de estudio. Tomado de [www.igvsb.gov.ve](http://www.igvsb.gov.ve).

En la ciudad de Maracay, las áreas de estudio fueron en las localidades de Guasimal y Base aérea Sucre pertenecientes al municipio Girardot, donde se realizaron los perfiles base sucre y parque metropolitano, respectivamente, con rumbo noreste y longitudes de 2000 m para base sucre y 1500 m para parque metropolitano (figura 1.2). En la ciudad Valencia, en la parroquia Negro Primero y en la zona industrial, al lado del aeropuerto Arturo Michelena pertenecientes al municipio Valencia, donde se realizaron los perfiles Ciudad Plaza y Aeropuerto con rumbo noroeste y una longitud de 1500 m para ambos perfiles (figura 1.3).

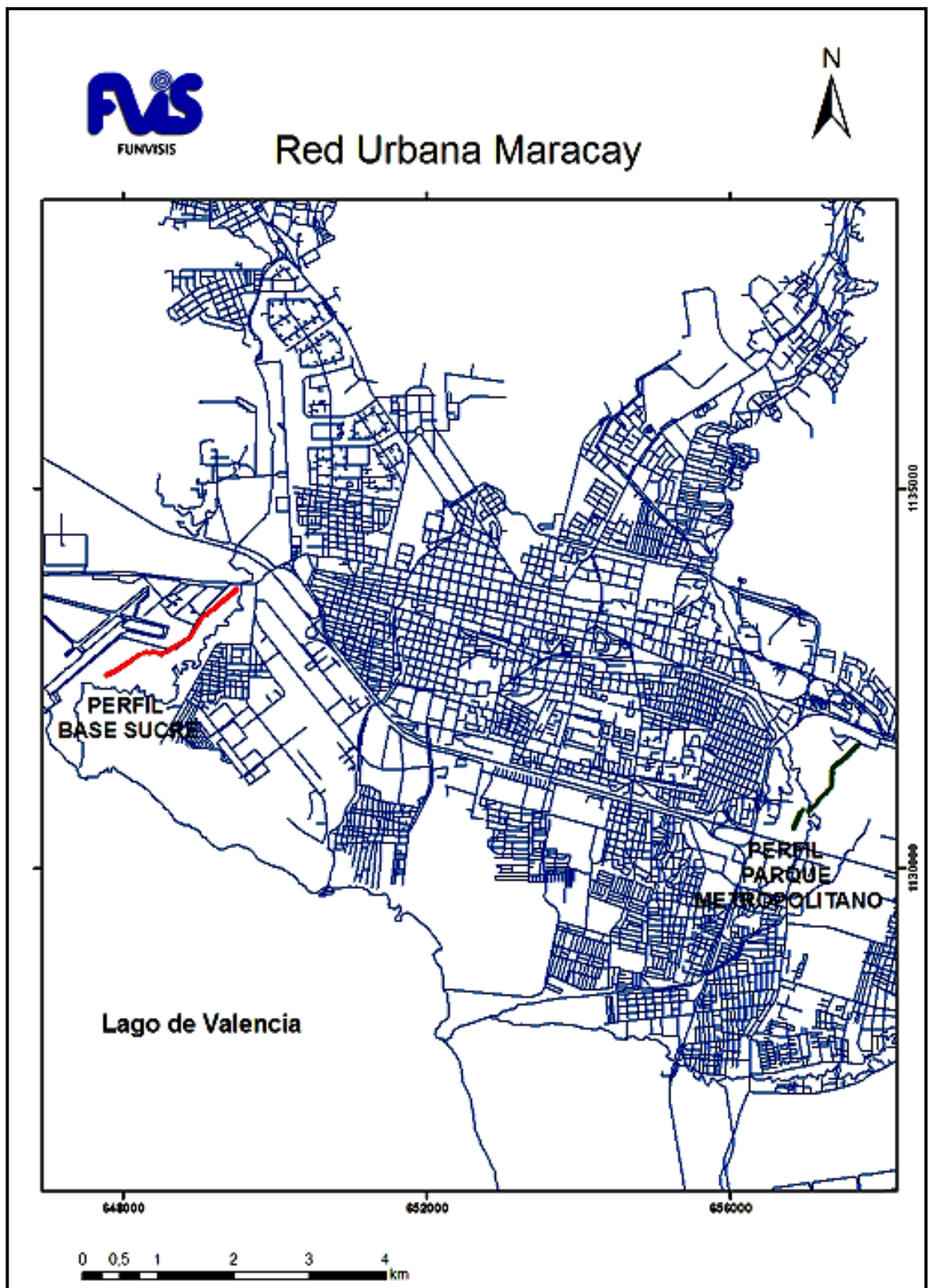


Figura 1.2. Red urbana de la ciudad de Maracay.

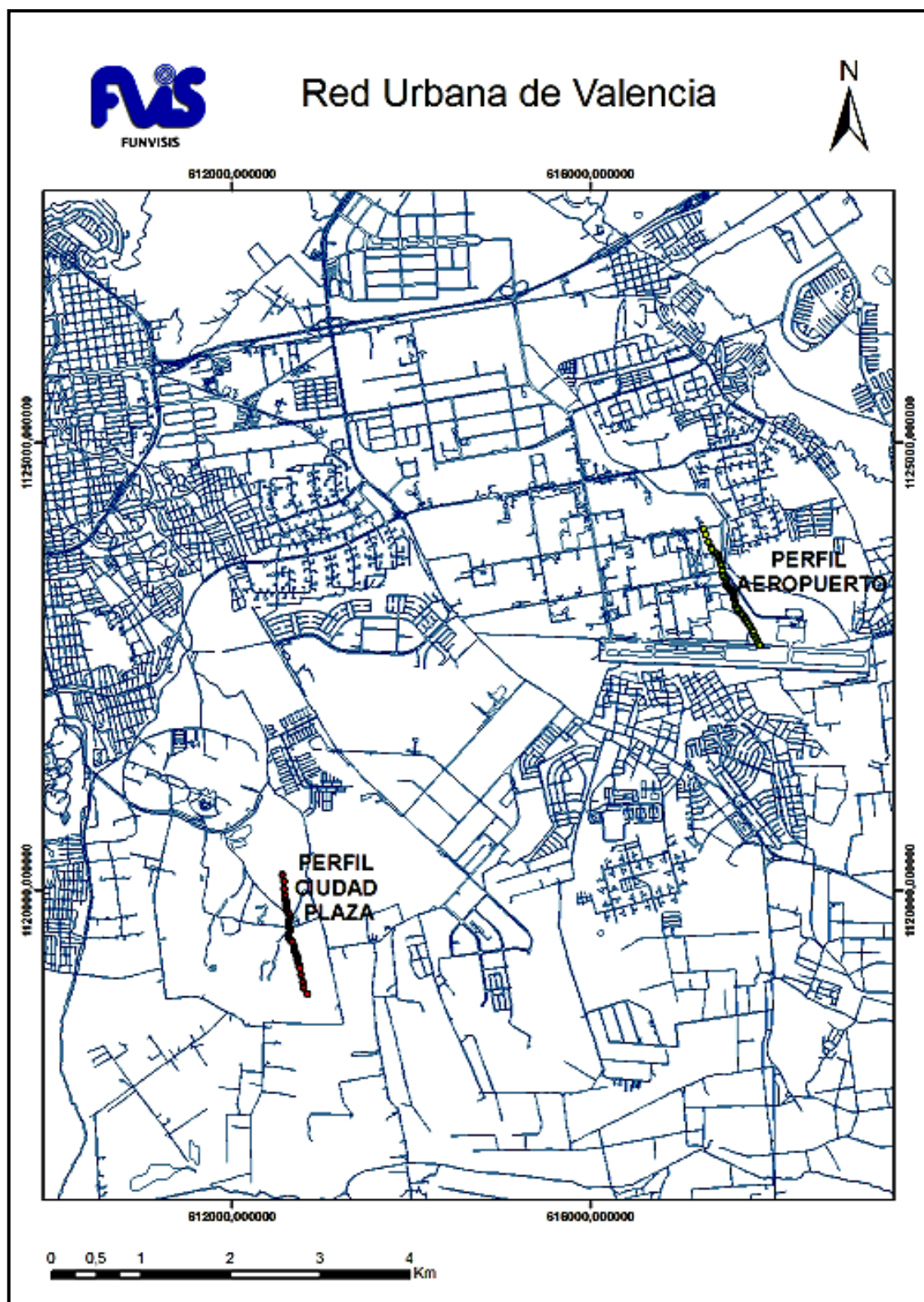


Figura 1.3. Red urbana de la ciudad de Valencia.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general.**

Establecer un modelo bidimensional del subsuelo en las localidades de las ciudades de Maracay y Valencia en los estados Aragua y Carabobo, respectivamente, a través de la obtención de datos de sismica de refracción somera, para determinar espesor de sedimentos sobre el basamento cristalino y la velocidad de propagación de las ondas sísmicas.

### **1.3.2 Objetivos específicos.**

- Obtener los espesores de sedimentos en cada uno de los perfiles.
- Determinar valores de velocidad de ondas P y S.
- Obtener y modelar las secciones sísmicas para cada uno de los perfiles.
- Integrar los datos dentro de un sistema de información geográfica.

## **1.4 Justificación.**

Uno de los terremotos más destructivos ocurridos en la ciudad de Caracas fue, el de 1967 con una magnitud de 6.6, causando el colapso de 4 edificios (FUNVISIS, 1978). A través de estudios multidisciplinarios, se evidenciaron importantes efectos de sitio en el Valle de Caracas, que indican que los grandes espesores de sedimentos son parcialmente responsables de los daños ocurridos (FUNVISIS, 1978). Sin embargo, los parámetros principales que controlan la respuesta sísmica, como el espesor de sedimentos hasta el basamento rocoso y la geometría de la cuenca, no están considerados en la norma venezolana de edificaciones sismo resistentes (COVENIN, 2001), y ameritaron el desarrollo de un proyecto de microzonificación para la ciudad de Caracas en el año 2005, en el cual se realizaron amplias investigaciones geológicas, geomorfológicas, geotécnicas y geofísicas para determinar la distribución de las diferentes unidades geológicas dentro del valle, incluyendo la perforación de pozos profundos, y posteriores

desarrollos de ingeniería sísmica (Schmitz, et al., 2008).

Los resultados presentados en este proyecto permiten asignar espectros de respuesta modificados para las diferentes regiones del área de estudio con sus recomendaciones correspondientes para su futura aplicación, en complemento de las indicaciones de la norma venezolana. Estos resultados pueden implementarse de una vez por las municipalidades, ya que la norma sísmica permite que estudios especiales autorizados, como los correspondientes al Proyecto de Microzonificación, sustituyan parcialmente a sus especificaciones. Toda la información recopilada y generada en el marco del proyecto se manejó en un Sistema de Información Geográfico (SIG) que permite la implementación de las recomendaciones y actualización de la información por parte de las instituciones locales (Schmitz, et al., 2008).

El método de refracción sísmica es considerado como uno de los métodos geofísicos que permite cuantificar los tiempos de viajes de las ondas refractadas críticamente, con lo que se pueden determinar espesores y velocidades de las formaciones en el subsuelo donde ocurre un importante cambio de impedancia acústica. A través de este método se pueden emplear receptores de componente vertical y componente horizontal que nos permite cuantificar las velocidades de onda P y onda S, respectivamente, que se utilizan para su posterior estudio, en el aporte de información para el proyecto de microzonificación.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes.**

La cuenca hidrográfica de Lago de Valencia está ubicada geográficamente al centro – norte de Venezuela y abarca parte de los estados Aragua y Carabobo, incluyendo la superficie total, o parcial, de 11 municipios del estado Aragua y 9 del estado Carabobo, 22 ríos fluyen sus aguas en él, esta cuenca ocupa una extensión aproximada de 3.140 km<sup>2</sup>, que representa el 0,35% del territorio nacional, en esta área habitan cerca de 2,3 millones de personas, lo cual la convierte en una de las regiones más densamente poblada, esto ha originado la construcción de infraestructuras sobre la planicie aluvial del lago, ocupando tierras de características agrícolas, convirtiéndolas en espacios para fines de uso urbano e industrial sobre suelos lacustritos poco consolidados, originados por la retirada de las aguas del lago desde principio del siglo 18, cuando el nivel del mismo se acercaba a la cota 420 m., un poco más de 10 m. de la cota que tenía en los años 70.

La tasa promedio de ascenso del nivel de las aguas desde 1978, del orden de 0,5 m. por año (figura 2.1) y la aparición de frecuentes problemas de índole geotécnico como agrietamientos y asentamientos en construcciones tanto residenciales como educativas e industriales así como en las áreas adyacentes de servicios (vías, aceras, etc.), creó serias expectativas acerca de la magnitud de los daños que podrían registrarse a corto plazo, como consecuencia de una posible generalización de los problemas geotécnicos del suelo en las áreas construidas, bajo cargas estáticas y más aun, bajo cargas dinámicas de origen sísmico (Ramírez, et al., 1986). Esta situación se encuentra agravada por la perspectiva de una posible subida de la mesa de agua (nivel freático) en el subsuelo de las áreas afectadas, como consecuencia del ascenso del nivel del lago, debido a la desviación del cauce del río Cabriales hacia el lago.

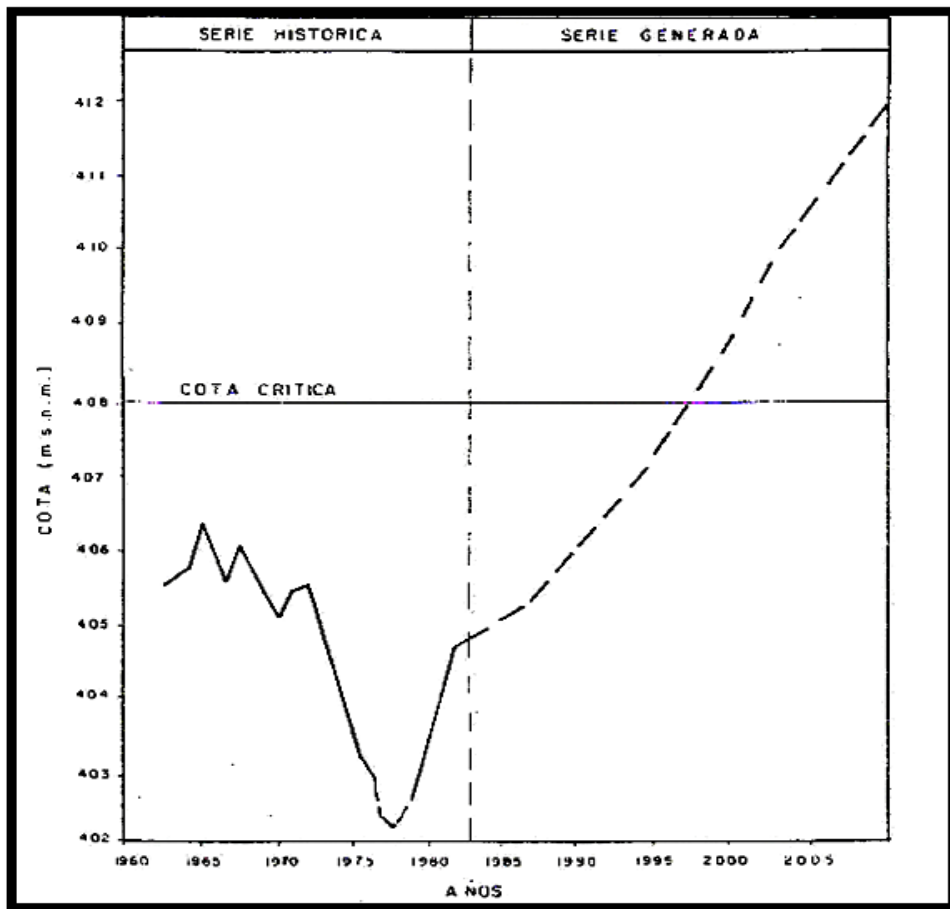


Figura 2.1. Proyección del ascenso del lago de Valencia realizada en 1984 por M.A.R.N.R.

El Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS), para 1970 contrató a la empresa Consultores Tahal, para realizar la restitución topográfica del lecho rocoso en el Lago de Valencia, trabajo que llevo el nombre de: “Estudio para el Desarrollo de los Recursos de Aguas Subterráneas en las regiones de Valencia, Barquisimeto, Coro, Pedregal y Maracaibo”, en este estudio se realizaron investigaciones geofísicas y perforaciones de pozos, con fines de evaluación de los acuíferos de la cuenca, de este trabajo podemos tomar como información relevante para nuestro estudio lo siguiente:

El espesor máximo de sedimento alcanzado en perforación es de 402 m. y correspondió a un pozo de exploración perforado a 8 km. al SE de Valencia, cerca de El Roble. Las secciones geofísicas N-S del relleno aluvial (Figura 2.2) de la cuenca muestran un aparente engrosamiento del mismo, hasta espesores de 300 m. a 450 m.

En la Costa Oriental del Lago de Valencia (figura 2.4), y en particular en la vertical de las Urbanizaciones: La Punta y Mata Redonda (figura 2.3), el espesor máximo de sedimentos podría alcanzar valores en el orden de 200 m. a 250 m. y en Palo Negro hasta 400 m, al SE de estas urbanizaciones.

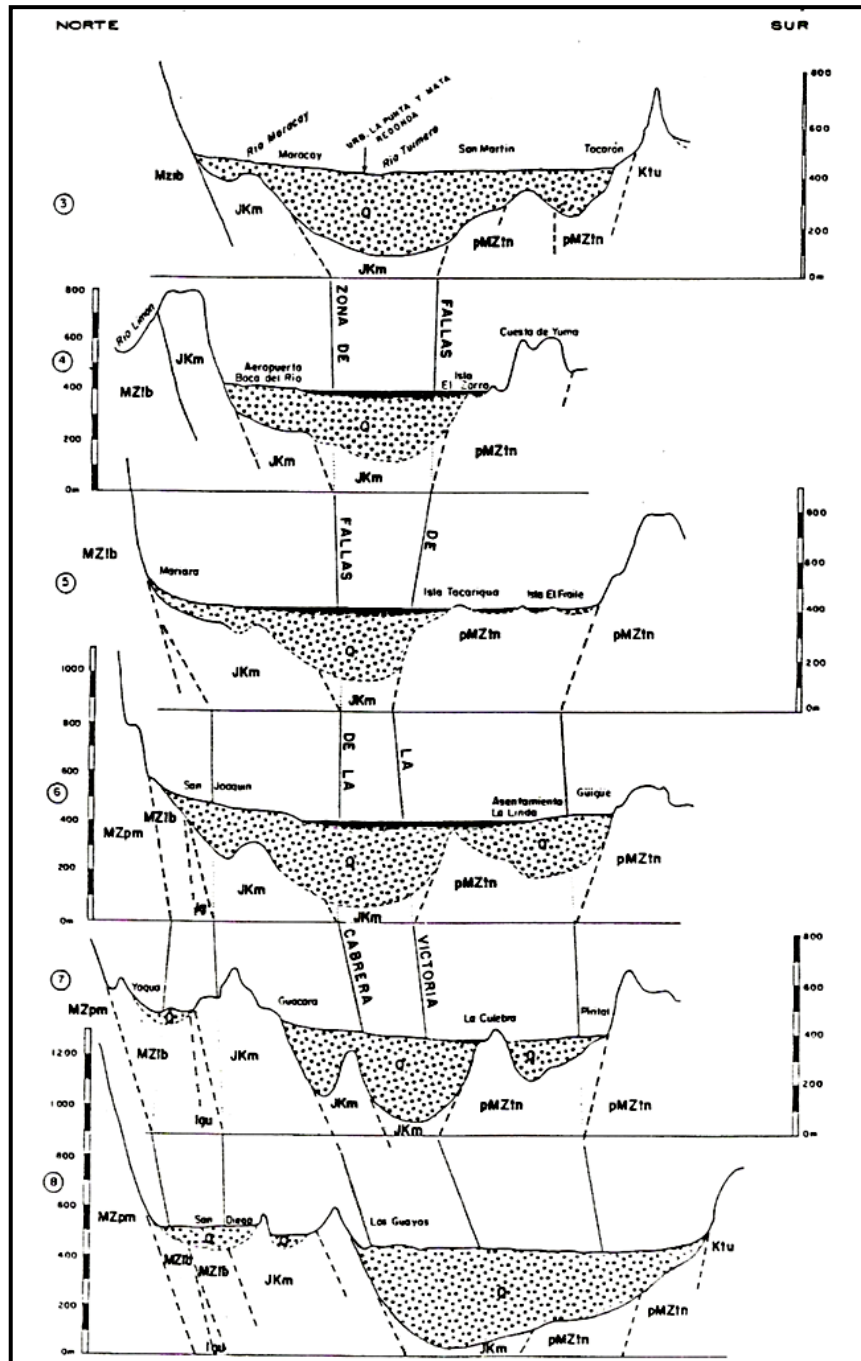


Figura 2.2. Secciones del relleno Aluvial Cuaternario de la cuenca del Lago de Valencia, (Tahal, 1970).

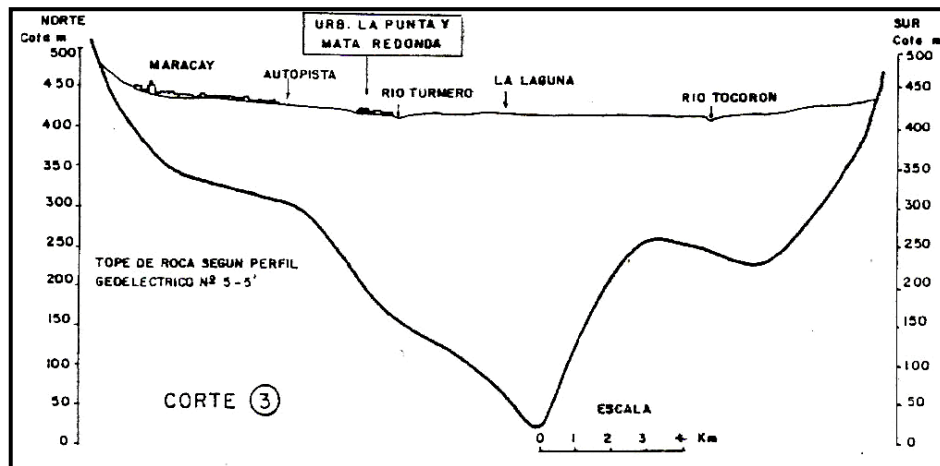


Figura 2.3. Perfil geoelectrico 3 del subsuelo aluvial al este de la cuenca de Valencia (Tahal, 1970).

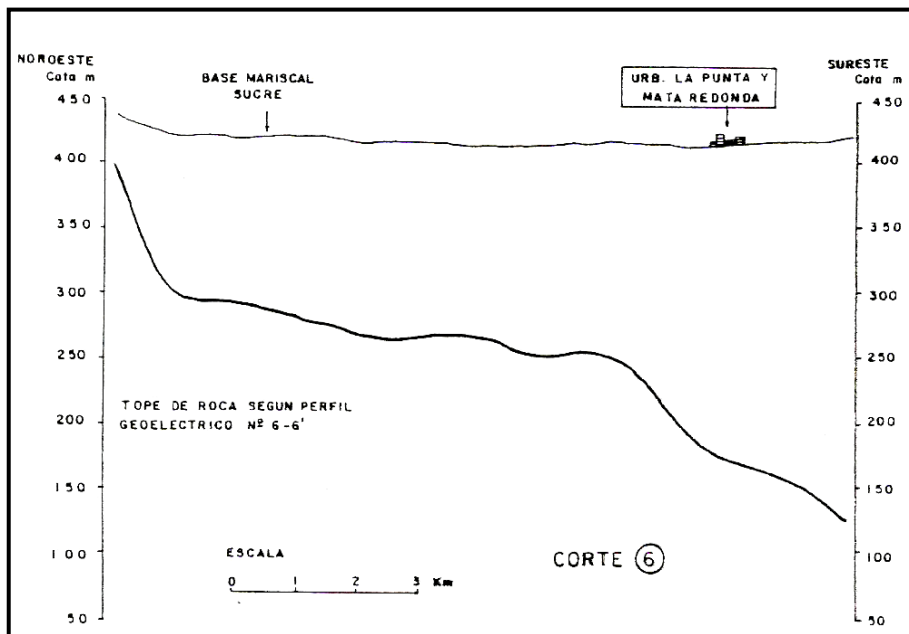


Figura 2.4. Perfil geoelectrico 6 del subsuelo aluvial al noreste de la cuenca de Valencia (Tahal, 1970).

Con el propósito de aportar soluciones a la problemática antes mencionada en el año 1988 el Ministerio del Desarrollo Urbano (MINDUR), solicitó la colaboración de FUNVISIS, organismo adscrito a esta entidad ministerial, para que efectuara un estudio piloto de amenaza sísmica centrado sobre las urbanizaciones de la parte oriental del lago.

Dicho estudio recibió el nombre de Estudio de Amenaza Sísmica para las Urbanizaciones La Punta y Mata Redonda (Audemard, et al., 1988) al sur de Maracay,

entre las conclusiones más representativas para este trabajo encontramos:

Las limitaciones geotécnicas conciernen a las unidades de suelos correspondientes a materiales recientemente emergidos del lago, ubicados en el nivel intermedio de terrazas lacustres en cotas que por lo general, no superan los 410 m. a 412 m. de altura.

El material natural del estrato superficial consiste en un limo arenoso orgánico con muy bajas velocidades, tanto para las ondas primarias como para las de corte. Para los efectos de este trabajo, los materiales del estrato superficial se consideró como un suelo granular fino muy suelto. Los estudios geofísicos efectuados en el presente estudio, indican velocidades de ondas de corte inferiores a los 150 m/s.

El módulo de corte máximo GMX, corresponde a los suelos por debajo de los 20 m de profundidad, sugiere la presencia de un material granular muy denso donde  $V_s$  es superior a 1000 m/s, el cual se puede considerar tan rígido como una roca.

En junio del 2001, se realizó el Estudio Cortical de Caracas (ECCAR), durante el cual se adquirieron 8 perfiles sísmicos de refracción en el área Metropolitana de Caracas, extendiéndose entre las poblaciones de Caraballeda (en la costa) y Ocumare del Tuy (50 km al Sur), con el objetivo de determinar el espesor de la capa de sedimentos que recubre el basamento rocoso y la evaluación de las velocidades sísmicas, con miras a recopilar nueva información para el proyecto de Microzonificación Sísmica del área Metropolitana de Caracas. En los modelos sísmicos para velocidades de ondas P se observa en el sur de Caracas un estrato superficial con espesor entre 10 y 15 m y una velocidad  $V_p$  de 1,8 km/s y un estrato infrayacente que posee una velocidad  $V_p$  de 2.1-2.4 km/s con un espesor máximo de 380 m, correspondiendo estos estratos a los sedimentos aluviales del valle de Caracas. A mayor profundidad, sigue un estrato con una velocidad  $V_p$  de 3.8 km/s, correspondiente a los Esquistos de Las Mercedes y de Las Brisas, levemente meteorizadas. A partir de 700 m de profundidad, se encuentran velocidades mayores a 5.1 m/s, que se asocian a las mismas unidades metamórficas. A partir de una profundidad de 3 km, se observa un aumento de la velocidad a 6.1 km/s, lo que se interpreta como el basamento cristalino. Dicha información permitió actualizar el

mapa del espesor de sedimentos de Caracas (figura 2.5) a través de un Sistema de Información Geográfico (SIG), que evidenció una alta complejidad de la interfase sedimentos/basamento en el Sureste de la cuenca de Los Palos Grandes; información esencial para el modelado de la respuesta sísmica. En el modelo generado para velocidades de ondas S, no se pudo detallar todos los estratos identificados en el modelo para velocidades de ondas P, pero se identificaron dos estratos con velocidades de 0,45 y 0,85 km/s, correspondientes a los sedimentos del valle de Caracas, seguidos por un tercer estrato de 1,5-1,6 km/s correspondiente al basamento rocoso (Sánchez, et al., 2005).

A partir de la información obtenida con el modelado bidimensional de los datos sísmicos, se realizó una actualización del mapa de espesores de sedimentos de Caracas con el fin de mejorar la estimación de la profundidad de la roca en el área de Chacao realizado por Kantak (2001), el cual es el producto de la integración (SIG) de datos geológicos y geofísicos generados principalmente antes y después el sismo de Caracas de 1967.

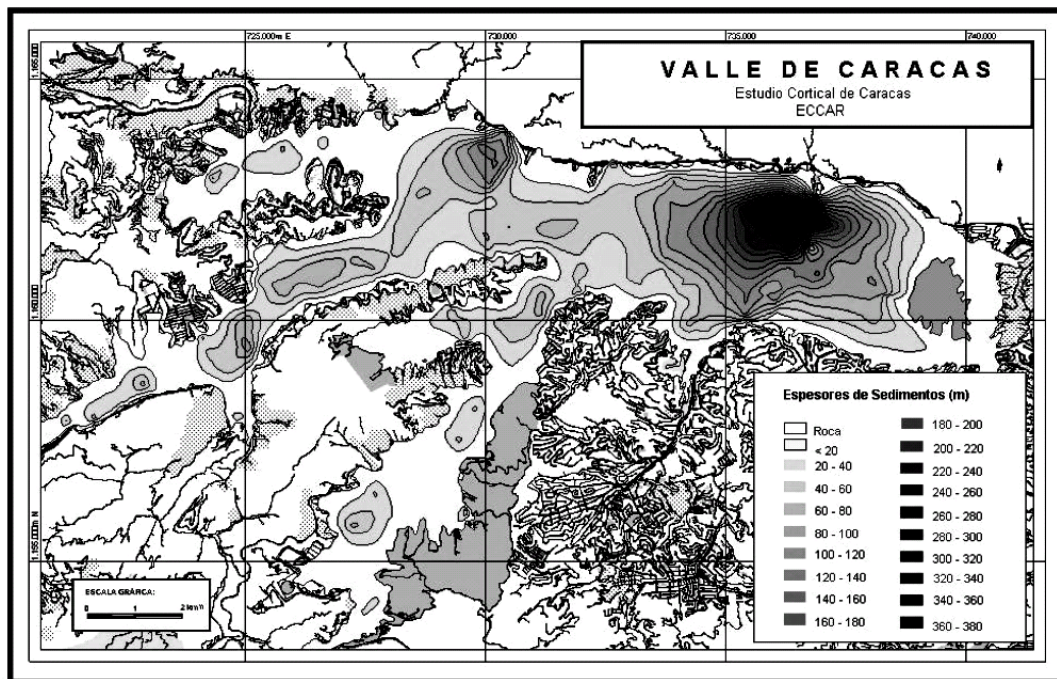


Figura 2.5. Mapa de espesores de sedimentos del valle de Caracas (Sánchez, et al., 2005).

Debido a la importancia de los resultados del proyecto de Microzonificación Sísmica de Caracas, FUNVISIS decidió llevar a cabo el Proyecto de Microzonificación Sísmica aplicada a la gestión integral de riesgos en espacios urbanos: conformación de redes de actores (Schmitz, et al., 2009) en la ciudad de Maracay, contemplando en su fase inicial la caracterización del subsuelo aplicando métodos geofísicos.

Donde el primer método empleado fue el análisis de microtemblores a través de la obtención de los períodos fundamentales de vibración del suelo en dicha ciudad, empleando para tal fin el Método de Nakamura o relación espectral H/V (Rojas, 2008).

Durante la etapa de la adquisición se obtuvieron 315 mediciones de ruido sísmico ambiental distribuidas a lo largo de la ciudad, con un espaciamiento promedio de 500 m entre cada estación, obteniendo los siguientes resultados: Los valores de período varían entre 0,13 s a 2,88 s, con los mayores valores al sur de la zona de estudio, disminuyendo hacia el norte. Para la zona norte, los valores de período se encuentran en un rango de 0,2 s a 0,69 s. Para la zona del centro, los valores de período se encuentran en un rango de 0,69 s a 1,78 s. Por último para la zona sur, los valores de período se encuentran en un rango de 1,78 a 2,88 s (Rojas, 2008).

A partir de estos periodos se calculó el espesor de sedimentos en cada una de las estaciones, utilizando la fórmula propuesta por (Rocabado, 2000), obteniéndose que los valores de espesores de sedimentos son menores hacia el norte de la ciudad (figura 2.6), debido a la cercanía de la Cordillera de la Costa, con un espesor máximo aproximado de 60 m., en la zona central, los espesores de sedimento aumentan y tienen un valor máximo de 120 m. Luego hacia el sur los espesores continúan aumentando, debido a la cercanía del Lago de Valencia, encontrándose un espesor máximo de 220 m. Por último los valores de espesor de sedimentos hacia el sur de la ciudad, poseen un espesor máximo de 320 m. y más, correspondientes a las urbanizaciones: La Punta, Brisas del Lago, Mata Redonda y Paraparal.

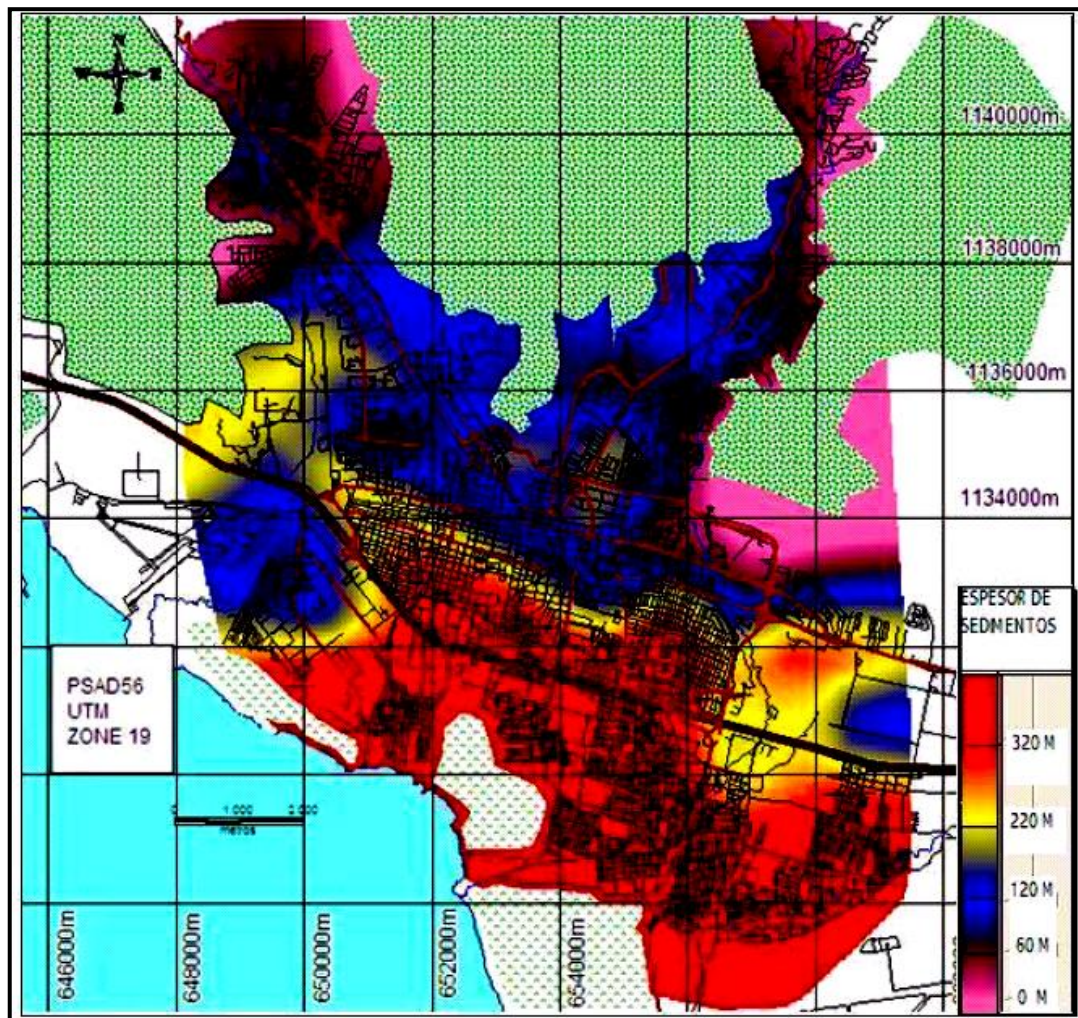


Figura 2.6. Mapa de espesores de sedimentos de la ciudad de Maracay (Rojas, 2008).

## 2.2 Ondas sísmicas.

Las ondas sísmicas están formadas por energía de deformación elástica que se propagan a partir de una fuente sísmica; las fuentes más apropiadas para la prospección sísmica son aquellas que generan trenes de onda de corta vida conocidos como impulsos, que típicamente contienen un amplio rango de frecuencias. Las deformaciones asociadas con el paso de un pulso sísmico se pueden considerar elásticas, excepto el de la zona inmediata a la fuente. Con esta suposición, de las velocidades de propagación de los pulsos sísmicos, tenemos: las ondas internas o de volumen y las ondas superficiales.

### **2.2.1 Tipos de ondas internas o de volumen.**

#### **Ondas P.**

Las ondas P, longitudinal o de compresión son transmitidas por el movimiento de compresión y dilatación de las partículas a lo largo de la dirección de propagación de la onda.

#### **Ondas S.**

Las ondas S, transversal o de cizalla oscilan perpendicularmente a la dirección de propagación. Se pueden observar las ondas Sh, cuyas partículas oscilan en el plano horizontal y perpendicular a la dirección de propagación, y las ondas Sv, cuyas partículas oscilan en el plano vertical y perpendicular a la dirección de propagación.

### **2.2.2 Tipos de ondas superficiales.**

#### **Ondas Rayleigh (R).**

Las ondas Rayleigh causan un movimiento parecido a las ondas del mar y sus partículas se mueven en forma elíptica en el plano vertical, que pasa por la dirección de propagación. En la superficie, el movimiento de las partículas es retrogrado con respecto al avance de las ondas y la velocidad de las ondas Rayleigh es menor que la velocidad de las ondas s (transversales).

#### **Ondas Love (L).**

Love en 1.911 descubrió la onda superficial, que lleva su nombre estudiando el efecto de vibraciones elásticas a una capa superficial, originadas en la interfase de dos medios con propiedades mecánicas diferentes. Las ondas Love requieren la existencia de una capa superficial de menor velocidad en comparación a las formaciones subyacentes o un

gradiente de velocidad positivo (incremento de velocidad) con la profundidad, las ondas Love son ondas cizalla, que oscilan solo en el plano horizontal.

### **2.3 Método de Refracción Sísmica.**

Es probablemente el método geofísico más utilizado para obtener datos para Geotecnia del subsuelo somero. En este método la fuente y los detectores se encuentran alineados en la superficie del terreno. Se obtienen registros de las ondas que viajan desde la fuente hasta los detectores a través del subsuelo siguiendo diversas trayectorias o caminos (Cavada, 2000). El método se basa en la medición del tiempo de viaje de las ondas refractadas críticamente en las interfases entre las capas con diferentes propiedades físicas.

En particular aquí interesan aquellas ondas que siguen la trayectoria de tiempo mínimo y que son las primeras que llegan a cada detector. Con ellas se dibuja un gráfico donde las abscisas son distancias desde la fuente hasta cada detector y el eje de las ordenadas son los respectivos tiempos de primera llegada. Este gráfico se denomina: Gráfico tiempo-distancia, y las curvas representadas son las dromocrónicas. En principio, a partir de este gráfico es posible calcular el perfil de espesores y la velocidad de propagación de las ondas sísmicas primarias de cada estrato en el subsuelo.

Las leyes de la refracción como la de reflexión, se derivan del principio de Huygens cuando se considera un frente de onda que incide sobre una interfase plana. El resultado final es que ambas leyes se combinan en un único planteamiento: en una interfase el parámetro de rayo,  $p$ , (figura 2.7), debe tener el mismo valor para las ondas incidentes, reflejadas y refractadas. Si el medio consta de capas planas, la ley de Snell establece que el parámetro de rayo ( $p$ ), tiene que ser el mismo para todos los rayos reflejados y refractados resultantes de un rayo inicial dado.

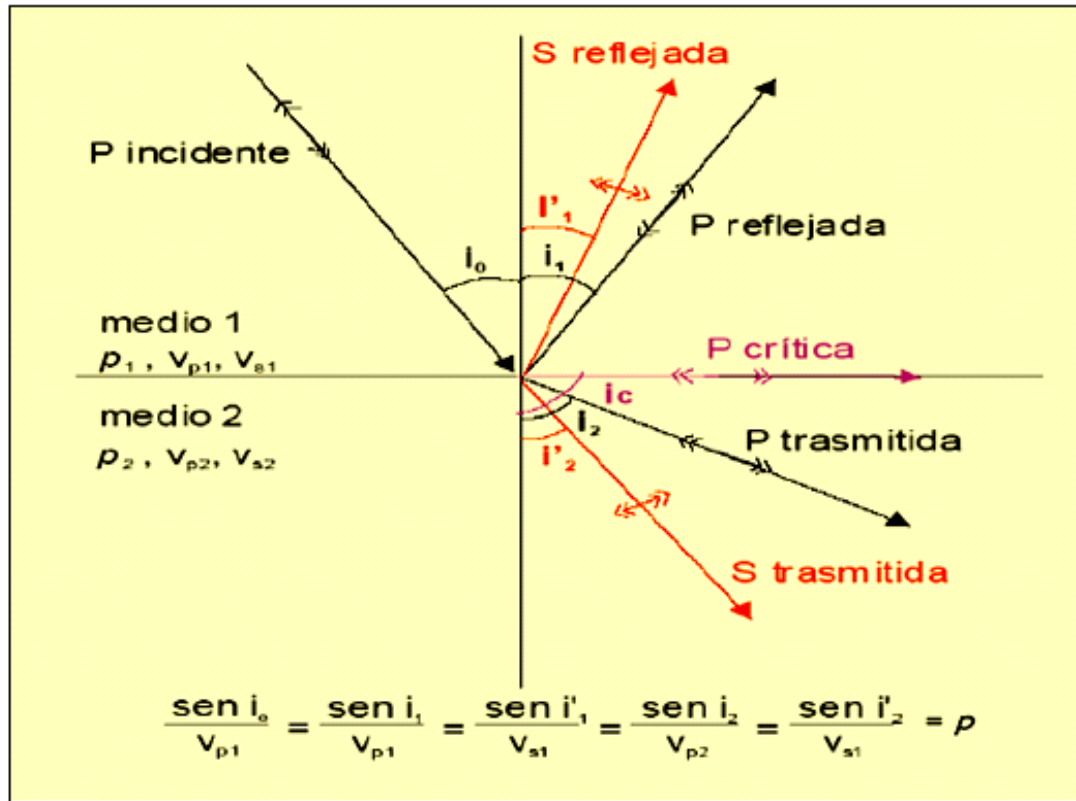


Figura 2.7. Conversión de una onda incidente P, ecuación del parámetro de Rayo P. Tomado de [www.demecanica.com/geotecnia/](http://www.demecanica.com/geotecnia/).

La ley de Snell proporciona información sobre las trayectorias de los rayos, los tiempos de llegada y la posición de los refractores, pero no proporciona información alguna sobre las amplitudes de las ondas. Para explicar la trayectoria de las ondas en el método de refracción sísmica consideramos un medio con velocidad  $V_1$ , que suprayace un medio semi-infinito, con velocidad  $V_2$  mayor que  $V_1$ , al generar las ondas en el punto de disparo, estas empiezan a viajar por el medio superior conformando unos frentes de onda en el espacio.

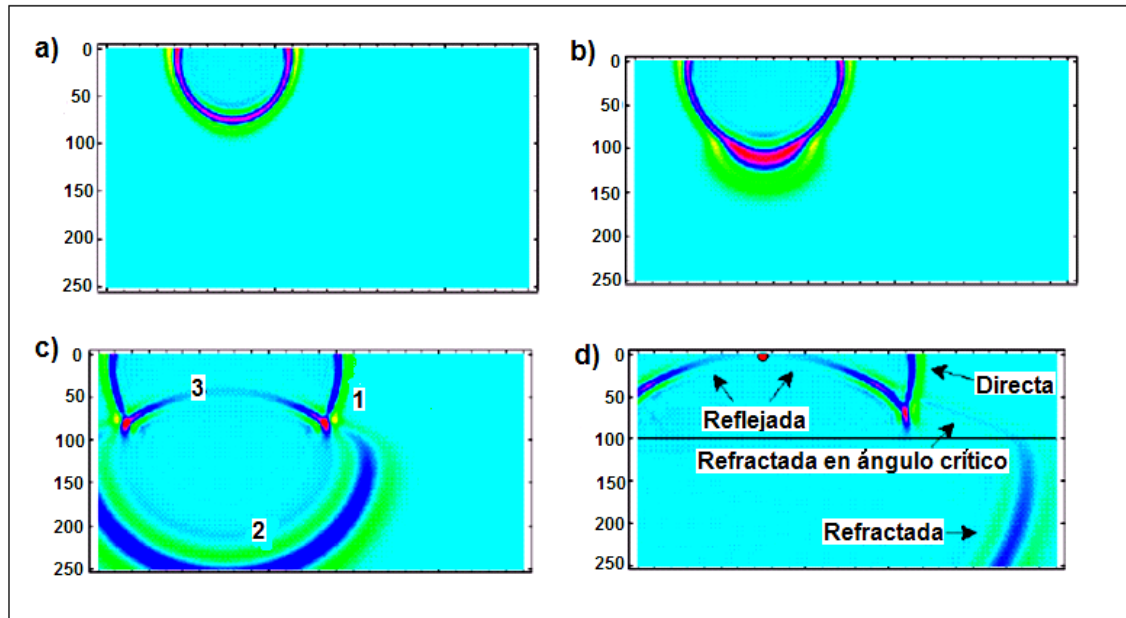


Figura 2.8. Modelo de dos capas. Tomado de [www.minelinks.com/seismic/info es.html](http://www.minelinks.com/seismic/info_es.html).

Como se puede observar en la figura 2.8 en su parte (a) se observa el frente de onda conocido como: frente de ondas directas, en la parte (b) el frente de onda encuentra el límite de los medios y ocurren las primeras refracciones hacia la capa inferior, en la parte (c) ha transcurrido más tiempo y se puede observar con claridad 3 frentes de onda:

- 1.- Ondas Directas
- 2.- Ondas Refractadas hacia una capa inferior y
- 3.- Ondas reflejadas hacia la capa superior.

Al observar con detalle se puede identificar un cuarto frente de onda, el de la onda refractada con ángulo crítico. El frente de ondas refractado hacia la capa inferior, no tiene una curvatura constante, de tal manera que se generan dos frentes de onda el que se refracta hacia abajo y el que se refracta hacia la capa superior, este frente de ondas está más lejano del punto de disparo que el frente de ondas directas en la primera capa, por lo que llegará más rápido a los geófonos donde aún no había llegado frente de ondas directas. En la parte (d), ha transcurrido más tiempo desde el momento del disparo, y podemos diferenciar claramente los 4 frentes de ondas.

La mayor aplicación del método es explorar el subsuelo con fines geotécnicos o mineros a profundidades entre 0 y 100 m. Es efectivo para delimitar la interfase entre medios elásticos con un fuerte contraste de velocidad (mayor que 2:1), tal como el que existe entre el basamento de roca inalterada y el material de recubrimiento constituido por aluvión o por roca meteorizada. No suele ser de utilidad para delimitar estratos sedimentarios entre si (Cavada, 2000).

El método proporciona información de los espesores y velocidades de los estratos del subsuelo. Esto puede resultar de utilidad principalmente en geología aplicada a obras civiles (Geotecnia) tales como en la construcción de edificios, puentes, represas, carreteras, taludes en los que interesa la profundidad de la roca inalterada, el grado de meteorización del recubrimiento, localizar materiales de construcción y grado de fractura o de facilidad de fracturación de la roca y evaluar el riesgo sísmico. En minería para calcular volúmenes de material explotable y en Hidrogeología para ayudar a determinar la continuidad y extensión de acuíferos. En general, el método se aplica para:

1. Obtener perfiles del espesor de sedimentos hasta el basamento en una cuenca sedimentaria.
2. Localizar fallas, paleocauces, zonas de fracturas en el basamento rocoso somero.
3. Obtener un perfil de espesores y velocidades hasta la roca fresca, diferenciando suelo, roca meteorizada, roca submeteorizada y roca inalterada.
4. Calcular volumen de material explotable principalmente en minas de arena, caliza, oro de aluvión, ocre, caolín.
5. Determinar la continuidad de estratos acuíferos.
6. Calcular los tiempos de tránsito de las ondas a través de las capas de baja velocidad cercanas a la superficie, para corrección estática de campo en prospección por reflexión.

El método de refracción de ondas sísmicas también se utiliza en Sismología para determinar la estructura interna de la Tierra, en estudios de la corteza terrestre (con fuentes sísmicas naturales o artificiales) y en las décadas de los años 30 a 50 se utilizó en prospección de hidrocarburos, principalmente para ubicar domos salinos a los cuales suelen estar asociadas trampas de petróleo. Actualmente prácticamente no se utiliza en prospección de hidrocarburos, excepto indirectamente para calcular la corrección estática de campo (Cavada, 2000).

### 2.3.1 Refracción crítica.

Cuando la velocidad de la capa inferior es mayor, existe un ángulo de incidencia conocido como ángulo crítico ( $i_c$ ), para el cual el ángulo de refracción ( $i_2$ ) es de  $90^\circ$ . Esto da lugar a un ángulo refractado crítico, que viene dado por la siguiente ecuación:  $i_1 = \text{Sen}^{-1}(V_1/V_2)$ , que viaja a lo largo de la interfase a la velocidad mayor ( $V_2$ ). Para cualquier ángulo mayor que el ángulo crítico existe una reflexión total interna de la energía incidente (Dobrin, 1961). Este ángulo viene dado por:

$$\frac{\text{Sen}(i_c)}{V_1} = \frac{\text{Sin}(90^\circ)}{V_2} = \frac{1}{V_2}$$

Por lo que:

$$i_c = \text{sen}^{-1}\left(\frac{V_1}{V_2}\right)$$

El paso del rayo críticamente refractado a lo largo del tope de la capa inferior causa una perturbación en la capa superior que viaja hacia adelante a la velocidad  $V_2$ , la cual es mayor que la velocidad de la capa superior  $V_1$ . En prospección sísmica esta onda de choque presenta una inclinación igual al ángulo crítico ( $i_c$ ) con respecto a la interfase entre los dos medios.

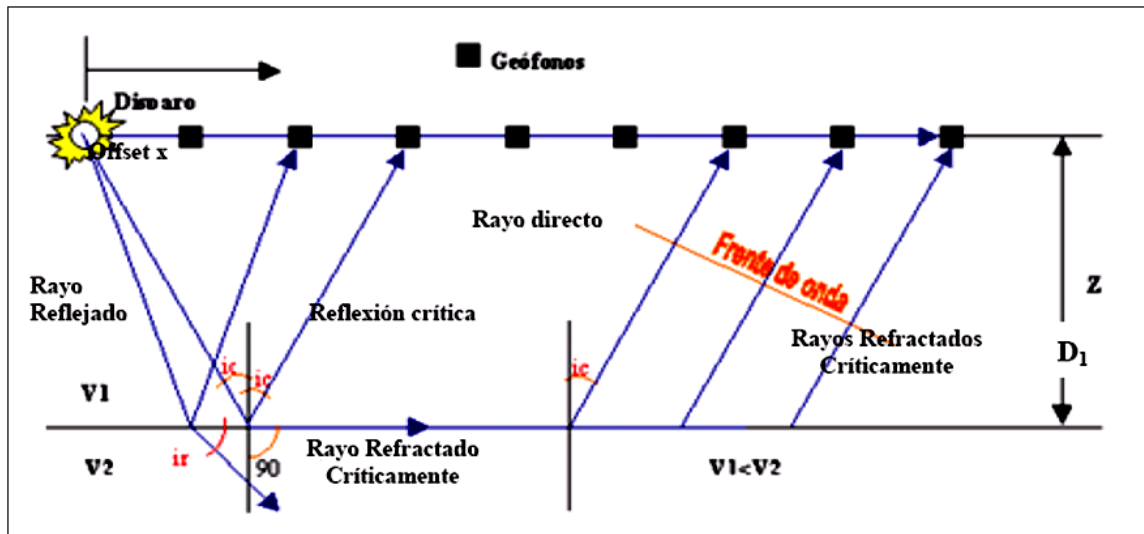


Figura 2.9. Rayo p que incide oblicuamente sobre una interfase con contraste de impedancia acústica.

Tomado de [www.demecanica.com/Geotecnia/geotecnia.htm](http://www.demecanica.com/Geotecnia/geotecnia.htm).

### Refracción de ondas sísmicas, caso idealizado.

En este caso asumimos que la tierra esta conformada por capas horizontales homogéneas, lateralmente de igual velocidad dentro de cada capa y con la velocidad de la primera capa menor que la velocidad de la segunda capa. El ángulo crítico se define como un punto en el cual incide un rayo sísmico (punto b figura 2.9) que genera una onda refractada con un ángulo de \$90^\circ\$ con la vertical. De la ley de Snell se tiene:

$$\frac{\text{Sen}(i_c)}{V_1} = \frac{1}{V_2}$$

El rayo empieza a desplazarse por la superficie de separación de ambos medios con la velocidad del medio inferior (Dobrin, 1961) El ángulo critico es aquel ángulo del rayo incidente con la vertical que genera el rayo refractado que viaja en la superficie de separación de ambos medios (segmento BC en la Figura 2.10). Entonces el rayo AB cuyo ángulo de incidencia es el ángulo critico se refracta de modo que \$i\_2 = 90^\circ\$ y viaja a lo largo del límite entre los dos medios. Esto es posible solo si \$V\_1 < V\_2\$. Debido a este rayo, la interfaz o superficie limite está sometida a un esfuerzo oscilante y cada punto de ella emite otras ondas secundarias y los rayos tales como CD emergen a la capa superior alcanzando al geófono con un ángulo \$i\_c\$ (ángulo critico).

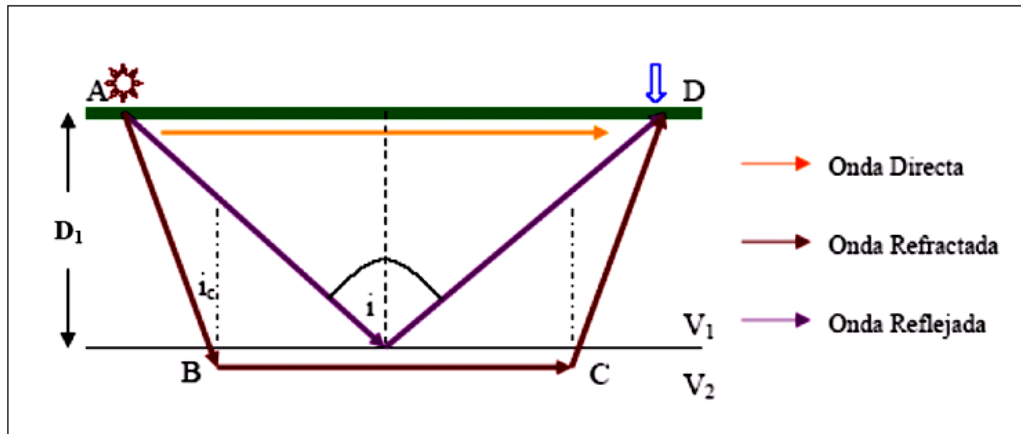


Figura 2.10. Rayos sísmicos generados por una fuente ubicada en superficie.

Si el punto D del registro (figura 2.10) está próximo al punto de tiro, el primer impulso del sismómetro será debido a la llegada de la onda directa (AD).

Después de algún tiempo se observara un segundo impulso que corresponderá a la onda refractada. Sin embargo, si la distancia entre la fuente y el receptor es suficientemente grande la primera llegada corresponderá a la onda refractada con el ángulo crítico que sigue la trayectoria ABCD, la cual habrá adelantado a la onda directa a causa de la mayor velocidad a lo largo del segmento BC.

El tiempo de llegada de la onda directa, entonces será:

$$t = \frac{x}{v_1}$$

Donde x, es la distancia desde la fuente hasta el geófono. La representación grafica de esta onda en un grafico de distancia contra tiempo, será una línea recta que pasa por el origen con la pendiente de  $1/v_1$ .

Recordando que  $\text{sen } i_c = v_1/v_2$  se prueba que la ecuación para la onda refractada será:

$$T_{sr} = \left( \frac{1}{v_2} \right) D_{sr} + 2D_1 \left( v_2^2 - v_1^2 \right)^{1/2} / (v_1 v_2)$$

Donde:

$T_{sr}$  = Tiempo de viaje desde la fuente al receptor.

$D_{sr}$  = Distancia desde la fuente al receptor.

$V_1$  o  $V_2$  = Velocidad de la capa 1 o 2

$D_1$  = Profundidad de la primera capa.

Igualando la anterior ecuación con  $x/V_1$  obtenemos la distancia o abscisa de la intersección de las dos rectas mas allá de esta distancia crítica ( $X_c$ ) la onda refractada es la que primero llega al receptor. Obteniendo la siguiente expresión:

$$x_c = 2h \left( \frac{(v_2 + v_1)}{(v_2 - v_1)} \right)^{1/2}$$

De esta manera el grafico tiempo vs distancia mejor conocida con el nombre de Dromocrónica (Figura 2.11), de las primeras llegadas a los receptores colocados a distancias de la fuente, presentara dos tramos rectos con un punto en común y cuyas pendientes nos dan  $1/V_1$  y  $1/V_2$ . El punto de intercepción ( $x_c$ ) suministra el valor de espesor de la capa superior. Alternativamente “h” puede calcularse también a partir del tiempo interceptado sobre el eje t.

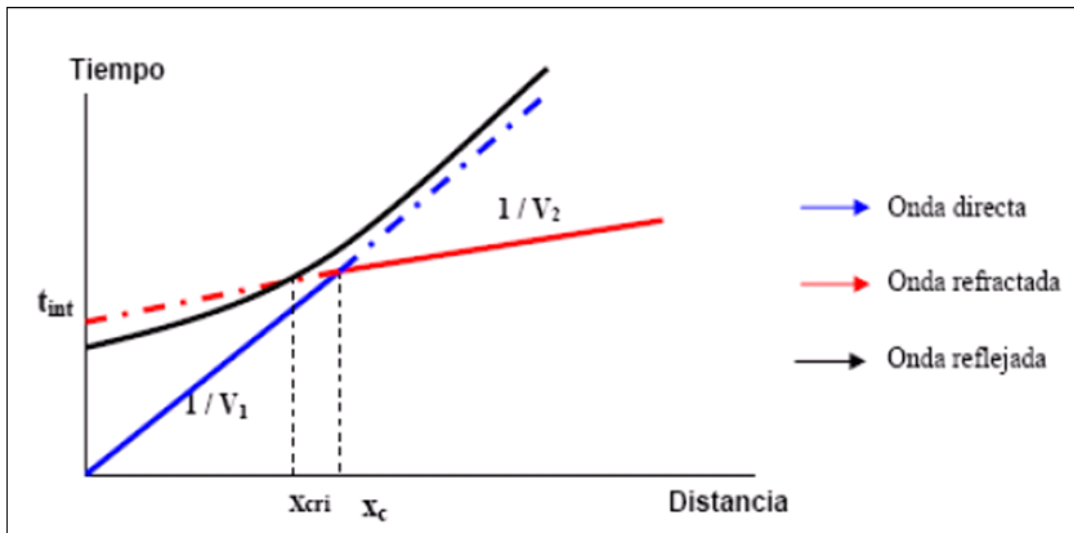


Figura 2.11. Dromocrónica para la onda directa, reflejada y refractada.

**Refracción de ondas sísmicas en capas buzantes con interfases planas.**

Consideramos ahora el caso en el cual el estrato, tiene cierta inclinación a lo largo del perfil como se muestra en la figura 2.12.

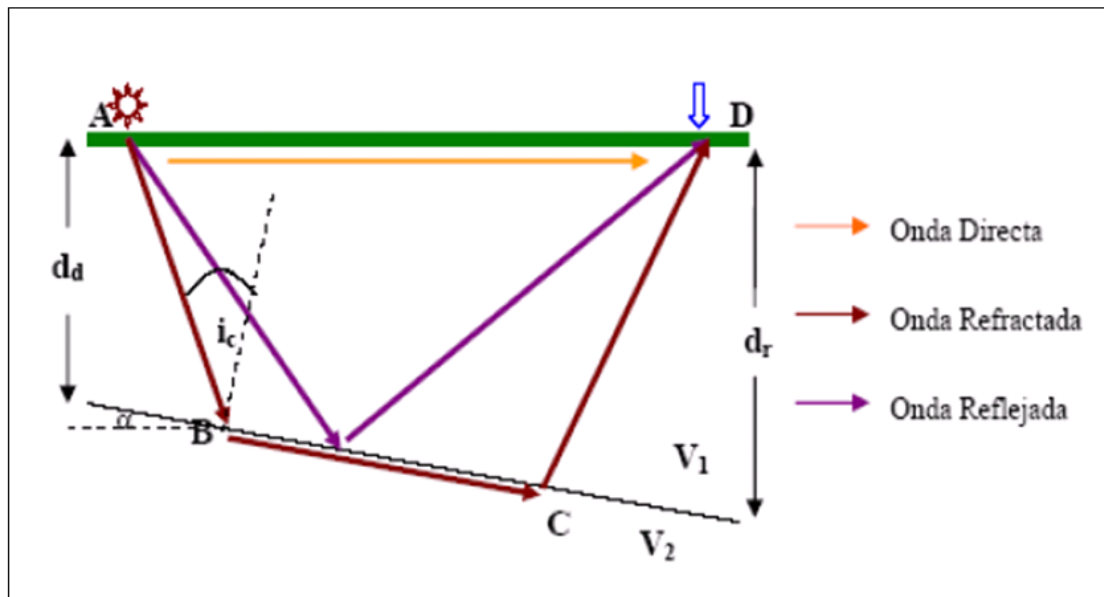


Figura 2.12. Estrato con capa buzante.

En los modelos de capas buzantes como en el de las paralelas, se cumple la condición de reciprocidad, afirmando que los tiempos de viaje de las ondas son los mismos al intercambiar la posición de las fuentes y receptores. En la figura 2.12 se observa la condición de reciprocidad, ilustrando que el tiempo directo  $t_d$  es igual al tiempo reverso  $t_r$ .

La expresión del tiempo de viaje en una trayectoria en dirección buzamiento abajo es la siguiente:

$$t_{id} = \frac{x \cos(\alpha)}{V_2} + \frac{(2d_d + x \sin(\alpha))x \cos i}{V_1}$$

La expresión de tiempo de viaje para una trayectoria buzamiento arriba es la siguiente:

$$t_{ir} = \frac{x \cos(\alpha)}{V_2} + \frac{(2d_r + x \sin(\alpha))x \cos i}{V_1}$$

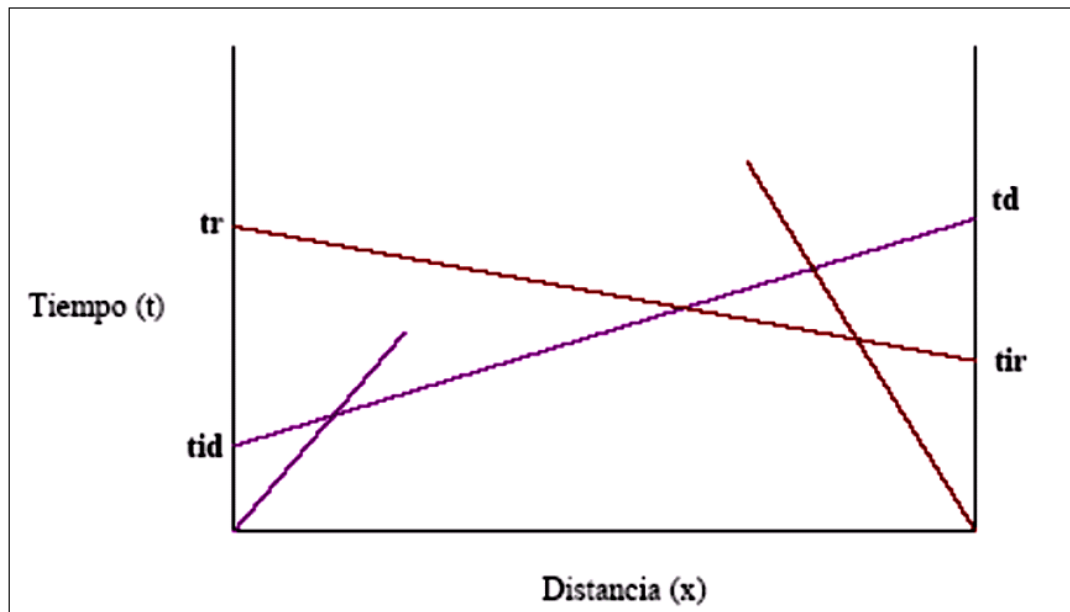


Figura 2.13. Dromocrónica de doble disparo.

En las dos expresiones “i” representa en ángulo de incidencia medido respecto a la vertical y  $\alpha$  el ángulo de buzamiento.

En este caso se cumple la condición de reciprocidad de forma tal que  $t_d = t_r$  pero, de las expresiones de tiempo de viaje se observa que,  $t_{ir} > t_{id}$  debido a que  $d_{ir} > d_{id}$ . En la figura 2.13, se observa que la línea de tiempo de viaje que se extiende desde  $t_{id}$  hasta  $t_d$  representa el tiempo de viaje para ondas refractadas buzamiento abajo, cuya pendiente determina el inverso de la velocidad aparente  $1/V_1$ . El mismo argumento se maneja para ondas refractadas buzamiento arriba. De acuerdo con las observaciones anteriores, se debe cumplir que las velocidades aparentes de las ondas que se propagan buzamiento arriba son mayores que las homologas opuestas.

Si se calcula el tiempo de llegada con el receptor ubicado a una distancia media entre las dos fuentes, podrá notarse que  $t_{ir} > t_{id}$ , debido a que la trayectoria de los rayos que se desplazan buzamiento abajo, a pesar de tener un camino de bajada por la capa mucho menor, la trayectoria seguida por el refractor es mucho más larga que los rayos que se desplazan en dirección contraria.

## **2.4 Equipos.**

### **2.4.1 Fuentes de Energía Explosiva.**

Fuentes de energía explosiva pueden ser apropiadas cuando las profundidades de investigación así lo requieran o sea necesario grandes energías. Los explosivos proporcionan un pulso o vibración de corta duración, alta densidad y fase mínima, todas ellas características deseables. La duración corta del pulso de explosión implica que contiene una banda espectral de frecuencias anchas y ello es deseable para tener buena resolución y unos tiempos de primera llegada bien definidos. La alta intensidad es necesaria para poder observar refracciones o reflexiones de estratos profundos y receptores alejados de la fuente. Cuanto mayor sea la distancia que tenga que recorrer la onda sísmica desde la fuente hasta el receptor mas se atenuara, reduciendo de esta forma la relación señal/ruido. Por ello cuanto más largo sea el tendido o más atenuante el material se requerirá mayor cantidad de explosivo por disparo.

Las fuentes explosivas deben ser detonadas en un hoyo con el fin de mejorar el rendimiento de la explosión, el objetivo es lograr la mayor cantidad de ondas elásticas, por tal razón es mejor la explosión que ocurre sin ningún efecto visible en la superficie, para optimizar la energía del explosivo, en la generación de ondas elásticas, esta debe estar lo mejor confinada posible y existir rigidez en el material que lo rodea. Al ocurrir la explosión, los gases se expanden deformando el material del entorno. Hasta cierto radio desde el punto de la explosión la deformación es plástica o anelástica, la energía se pierde en el calor y en romper, comprimir y deformar el material dentro del rango no elástico, esta energía no se aprovecha para generar ondas sísmicas. A partir de cierta distancia, la presión de la explosión disminuye lo suficiente para que los materiales se deformen dentro del rango que se considera lineal, que es donde comienzan a propagarse ondas elásticas. Cuanto mas rígido sea el material mejor resistirá la presión de la explosión sin romperse ni deformarse en forma no lineal. También por esta razón las cargas pequeñas tienen un mejor rendimiento por peso de explosivo, aunque en términos absolutos generen menos energía.

Durante su viaje las ondas mueven las partículas del medio que recorren produciendo sobre estas velocidades, desplazamientos y aceleraciones que se pueden registrar en los aparatos destinados para este fin. Los registros de desplazamiento, velocidad y aceleración de partículas generados por las voladuras tienen tres características primordiales: la amplitud, el contenido de frecuencia y la duración.

La amplitud depende de la cantidad de material detonado y de la distancia al punto de registro, el contenido frecuencial depende de la fuente de perturbación y del camino recorrido y por último, la duración depende de la cantidad de material detonado y de la distancia entre la detonación y el punto de registro (Sarría, 2004).

#### **2.4.2 Geófonos.**

Los geófonos son unos transductores que convierten el movimiento vibratorio del terreno en señales eléctricas. Físicamente están descritos por un oscilador mecánico simple, de un solo grado de libertad que comprende una masa, un resorte y un amortiguador

viscoso. Eléctricamente es un oscilador descrito por un sistema RLC (compuesto por una resistencia, condensador y una bobina). Consta de una bobina y un imán, siendo el imán la masa inercial. Al paso de la onda, la bobina se mueve con relación al imán, originando por inducción una corriente eléctrica proporcional a la velocidad del movimiento relativo.

Los geófonos detectan las componentes de un campo vectorial como lo son: el desplazamiento, la velocidad y la aceleración de las partículas del terreno. La mayoría de los geófonos usados en prospección sísmica son geófonos de velocidad, estos dan una respuestas espectral plana a la velocidad de la partícula en una banda usualmente comprendida entre 10 y 500 Hz, siendo la velocidad de la partícula la velocidad con que se mueve una determinada partícula del suelo al paso de una onda sísmica, esta velocidad depende del material de la partícula, la potencia de la fuente, la distancia a la fuente y la atenuación, mientras que la velocidad de onda se refiere a la velocidad con que se transmite o propaga una perturbación sísmica por un medio material, esta velocidad solo depende de las propiedades elásticas del material y no de la potencia de la fuente.

La mayoría de los geófonos que se fabrican son de componente vertical, están diseñados solo para responder a la componente vertical de la partícula, por esta razón es importante colocarlo lo mas vertical posible para evitar que pierda sensibilidad. Si el terreno está inclinado, deben colocarse verticales según la gravedad y no perpendicular al suelo. También existen geófonos de tres componentes ortogonales: una vertical y dos horizontales, en realidad se trata de tres geófonos independientes ensamblados dentro de una misma carcasa.

### **2.4.3 Cables de Transmisión.**

La señal eléctrica generada por los geófonos es transmitida mediante un conductor eléctrico hasta el sismógrafo. La señal de cada detector a una distancia dada a la fuente es independiente de la de otros detectores hasta el sismógrafo la señal de cada detector a una distancia dada a la fuente es independiente de la de otros detectores a otras

distancias; por ello, por cada uno se requiere un par de conductores eléctricos aislados. Cada par de conductores lleva la señal a un canal de amplificación y registro en el sismógrafo. La distancia entre los puntos de conexión es fija de fábrica y se pueden encontrar separaciones típicas de 5 m, 10 m, 30 m o 50 m. Los conductores eléctricos dentro del cable de transmisión deben ser aislados y blindados: El blindaje es para evitar que ocurra el paso de la señal de los conductores de un canal a los de otro por inducción electromagnética, además contribuye a evitar que el cable de transmisión se convierta en una gran antena de 60 m o 300 m de largo que capte señales electromagnéticas emitidas por estaciones de radio, líneas eléctricas, tormentas atmosféricas, etc.

#### **2.4.4 Sismógrafo.**

Son aparatos electrónicos que amplifican, filtran y registran las señales eléctricas generadas por los detectores de ondas sísmicas; los sismógrafos usados actualmente en refracción tienen 12, 24, 48 o 64 canales, cada canal recibe una señal eléctrica independiente y tiene su propio módulo de amplificación, filtrado y memoria. Si un canal se daña o suprime los demás no se ven afectados.

Disponen de filtros pasabajo, pasoalto, pasabanda, rechazabanda y filtro estrecho (nocth) de 60 Hz. Estos filtros en la prospección por refracción, están destinados principalmente a eliminar el ruido ambiental (ruido no generado por la fuente sísmica). Los sismógrafos poseen un monitor en el cual se observan las oscilaciones de las ondas registradas, se pueden observar las señales recibidas de los detectores en tiempo real. La gráfica de las oscilaciones recibidas en un canal se denomina traza, en el monitor aparecerán tantas trazas como canales disponga el sismógrafo.

Los sismógrafos digitales poseen dos características importantes:

- La señal eléctrica recibida de cada canal es muestreada a intervalos regulares de tiempo. Cada muestra es un valor de amplitud de la señal, medido en micro-voltios, de esta manera no se tiene un registro continuo de la señal, sino valores numéricos de su amplitud a intervalos de, por ejemplo, 0.5 ms. Si se efectúa un registro de 1 segundo de

duración, con un intervalo de muestreo de 0.5 ms entonces se tendrá 2000 valores de amplitud por cada traza.

- Los valores de amplitud de las muestras solo pueden ser valores enteros dentro de cierto rango, la señal esta cuantificada. La representación digital de amplitudes es en base 2 debido a la lógica binaria de los circuitos electrónicos. El rango de valores de amplitud que puede manejar el sismógrafo dependerá de cuantos bits se usen por muestra. Valores típicos son 8, 10, 12 y 16 bits por muestra. Cuantos más bits, mayor es el rango de amplitudes, menor es la posibilidad de que una señal supere el valor máximo representable y mas costoso es el sismógrafo.

Los sismógrafos digitales tiene capacidad de apilar después que se efectúe un registro, este queda guardado en la memoria electrónica del sismógrafo, de forma que si se realiza un segundo registro este último se puede sumar al anterior, e igualmente se puede hacer con registros sucesivos. Esta técnica se usa para mejorar la relación señal/ruido.

Actualmente los sismógrafos poseen un procesador de computadora, lo que permite procesar los datos en campo en el momento de la adquisición. Los programas necesarios pueden ser cargados desde una unidad de disco. Algunos de los procesos que pueden efectuar son: selección automática de los tiempos de primeras llegadas en refracción, calculo de velocidades y espesores, aplicar filtros a las trazas en memoria, etc.

## **2.5 Marco geológico.**

La cuenca del Lago de Valencia es una depresión ubicada entre dos importantes unidades tectónicas: la Cordillera de la Costa al norte y la Serranía del Interior al sur. La casi totalidad de la Cordillera de la Costa y una gran parte de la Serranía del Interior central están formadas por un conjunto de rocas ígneas y metamórficas que se consideran de edad Jurásico-Cretácico, al norte aflora básicamente la Asociación Metasedimentaria Caracas, considerado de origen sedimentario en general y al sur el Grupo Villa de Cura, de origen principalmente volcánico.

## 2.5.1 Sistema de fallas.

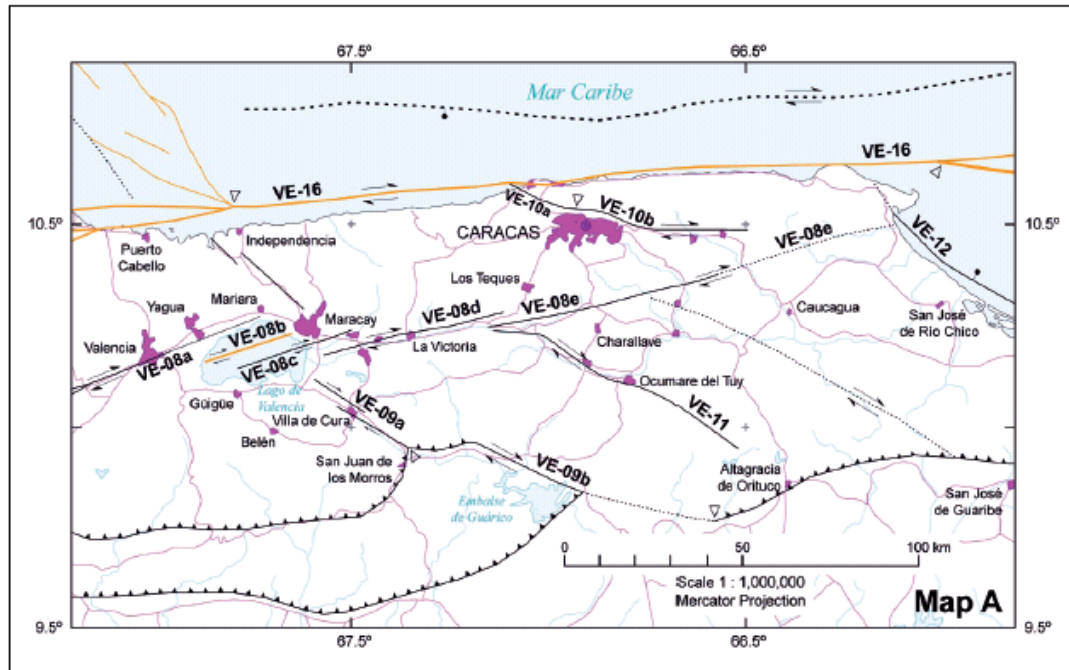


Figura 2.14. Mapa de Falla Cuaternaria de la zona nor-central de Venezuela. (Audemard, et al., 2000).

Tabla 2.1. Descripción de Fallas Cuaternarias de la zona nor-central de Venezuela.

NUMERO	NOMBRE DE LA ESTRUCTURA	SENTIDO DEL MOVIMIENTO	TASA DE MOVIMIENTO mm/año
VE-08	Sistema de Falla la Victoria		
VE-08a	Falla Guacamaya	Lateral-Derecho	0.60
VE-08b	Falla La Cabrera	Lateral-Derecho	1.10
VE-08c	Falla El Horno	Lateral-Derecho	0.50
VE-08d	Falla La Victoria	Lateral-Derecho	0.55
VE-08e	Falla Pichao	Lateral-Derecho Normal	0.40
VE-09	Sistema de Falla Rio Guárico		
VE-09a	Sección Norte	Lateral-Derecho	0.3
VE-09b	Sección Sur	Lateral-Derecho	0.3
VE-10	Sistema de Falla Tacagua-El Avila		
VE-10a	Falla Tacagua	Lateral-Derecho Normal	0.4
VE-10b	Falla El Avila	Lateral-Derecho Normal	0.4
VE-11	Falla Tacatá	Lateral-Derecho	0.4
VE-12	Falla Piritu	Lateral-Derecho	0.30 - 0.40
VE-16	Falla San Sebastián	Lateral-Derecho	3-5?

### **2.5.1.1 Sistema de Fallas La Victoria.**

**Sinopsis y ambiente geológico:** El sistema de fallas La Victoria, se extiende hacia el este unos 350 km desde del sur de Barquisimeto a Cabo Codera, cruza la Cordillera de la Costa al norte de Venezuela, principalmente cortando el manto metamórfico Mesozoico emplazados durante la colisión oblicua entre el arco proto-Caribe y el margen pasivo de América del Sur. El sistema de falla limita con la cuenca del río Tuy al norte y atraviesa la cuenca del Lago de Valencia. El sistema de fallas es paralelo a la estructura de la Cordillera de la Costa y está conformado por las fallas: Guacamaya, El Horno, La Cabrera, La Victoria y Pichao.

#### **Geometría de la falla:**

- Longitud de extremo a extremo 354 km. (acumulado 466 km).
- Rumbo promedio: N. 78° E.

#### **2.5.1.1.1 Falla Guacamaya**

La falla se extiende desde Gamelotal Guacamaya (cerca de la Cordillera de los Andes) hasta Valencia, al noroeste del Lago de Valencia.

#### **Geometría de la falla:**

- Longitud de extremo a extremo 146 km (acumulado 235 km).
- Rumbo promedio: N. 80° E.  $\pm$  22°.
- Inclinación promedio: subverticales.
- Sentido del movimiento: Derecho-lateral.
- Tasa de movimiento: 0.6 mm/año.

#### **2.5.1.1.2 Falla La Cabrera.**

Esta falla se encuentra por debajo de la superficie del Lago de Valencia y está enteramente dentro de su cuenca Cuaternario.

**Geometría de la falla:**

- Longitud de extremo a extremo 26 km (acumulado 26 km).
- Rumbo promedio: N. 72° E. ± 0°.
- Inclinación promedio: subverticales.
- Sentido del movimiento: lateral.
- Tasa de movimiento: 1.1 mm/año.

**Expresión geomorfológica:** Su traza es totalmente bajo el agua. La falla interrumpe el fondo del lago y sus depósitos lacustres del Holoceno.

**2.5.1.1.3 Falla El Horno.**

Esta falla se encuentra por debajo de la superficie del Lago de Valencia y está enteramente dentro de su cuenca Cuaternario.

**Geometría de la falla:**

- Longitud de extremo a extremo 34 km (acumulado 34 km).
- Rumbo promedio: N. 72° ± 2° E.
- Inclinación promedio: subverticales.
- Sentido del movimiento: Derecho-lateral.
- Tasa de movimiento: 0.5 mm/año.

**Expresión geomorfológica:** Oculto, traza es completamente bajo el agua. La falla interrumpe depósitos lacustres en el piso del Lago de Valencia.

**2.5.1.1.4 Falla La Victoria.**

Esta sección de la falla se extiende entre las ciudades de Maracay (al oeste) y Las Tejerías (al este). Lleva el nombre de La Victoria, una ciudad al oeste-suroeste de Caracas.

**Geometría de la falla:**

- Longitud: de extremo a extremo 52 kilómetros (acumulado 52 km).
- Rumbo promedio: N.  $77^{\circ}$  E.  $\pm 3^{\circ}$ .
- Inclinación promedio: Sub-vertical.
- Sentido del movimiento: Derecho-lateral.
- Tasa de Movimiento: 0.55 mm/año.

**Expresión geomorfológica:** Formas geomorfológicas características sobre rocas metamórficas del Mesozoico, al este de Maracay: Estos incluyen el desplazamiento lateral-derecho de los drenajes, la desviación de ríos, grabens, pop-ups, drenajes y valles lineales (como el Valle de Aragua). Expresión en sedimentos Cuaternarios, a lo largo de los Valles de Aragua, es pobre debido a que la tasa de sedimentación es más rápida que la tasa de deslizamiento de la falla.

**2.5.1.1.5 Falla Pichao.**

Esta sección de la falla se extiende desde Las Tejerías (en el oeste) hasta Cabo Codera (en la costa, al este).

**Geometría de la falla:**

- Longitud de extremo a extremo 118 km (acumulado 118 km).
- Rumbo Promedio: N.  $76^{\circ}$  E.  $\pm 3^{\circ}$ .
- Inclinación Promedio: Sub-vertical.
- Sentido del movimiento: lateral; algún componente normal.
- Tasa de Movimiento: 0.4 mm/año.

**2.5.1.2 Sistema de Fallas Río Guárico.**

**Sinopsis y ambiente geológico:** La falla del Río Guárico cruza la Cordillera de la Costa al norte de Venezuela en dirección oblicua, principalmente corta las rocas metamórficas

del Mesozoico (mantos) emplazadas durante la colisión oblicua entre el arco proto-Caribe y América del Sur el margen pasivo. Esta falla se extiende del sureste de la cuenca del Lago de Valencia hasta el área volcada (empuje) situado al suroeste de Altigracia de Orituco. La falla se compone de dos secciones NW-SE sorprendentemente conectados por una falla de empuje, lo que sugiere una geometría de escalón derecho. La falla Río Guárico parece actuar como una rampa lateral. Este sistema está compuesto por dos fallas: Norte del Río Guárico y Sur del Río Guárico.

**Geometría de la falla:**

- Longitud: de extremo a extremo a 120 km (131 km acumulada).
- Rumbo Promedio: N.  $71^{\circ}$  W.  $\pm 19^{\circ}$ .

**2.5.1.2.1 Falla Norte del Río Guárico.**

Esta sección de la falla se extiende desde la costa sureste del Lago de Valencia a la ciudad de San Juan de Los Morros.

**Geometría de la falla:**

- Longitud de extremo a extremo 33 km (acumulado 40 km).
- Rumbo promedio: N.  $59^{\circ} \pm 2^{\circ}$  W.
- Inclinación promedio: Desconocida.
- Sentido de los movimientos: Derecho-lateral.
- Tasa de movimiento: 0.3 mm/año.

**2.5.1.2.2 Falla Sur del Río Guárico.**

Esta sección de la falla se extiende desde San Sebastián de Los Reyes al reservorio de Camatagua.

**Geometría de la falla:**

- Longitud de extremo a extremo 89 km (acumulado 91 km).

- Rumbo promedio: N.  $77^\circ \pm 18^\circ$  W.
- Inclinación promedio: Desconocida.
- Sentido del movimiento: lateral.
- Tasa de movimiento: 0.3 mm/año.

### **2.5.1.3 Sistema de Fallas Tacagua- El Ávila.**

**Sinopsis y ambiente geológico:** El sistema de falla Tacagua-El Ávila cruza la Cordillera de la Costa del norte de Venezuela de una manera oblicua. Esta exclusivamente dentro del cinturón de Cordillera de la costa, sobre todo de corte Mesozoico rocas sedimentarias esquistos verdes meta-emplazado durante la colisión oblicua de la proto-Caribe arco y el margen pasivo de América del Sur. Este sistema de fallas se extiende al sudeste de la ciudad de Arrecife (en la costa) hasta Araira y limita al norte con las depresiones de Caracas y Guarenas-Guatire. Para el sistema de fallas de Tacagua-El Ávila se definieron dos fallas: Tacagua y El Ávila.

#### **Geometría de la falla:**

- Longitud: de extremo a extremo 67.6 km (acumulado 70.2 km)
- Rumbo promedio: N.  $77^\circ$  W.  $\pm 13^\circ$ . El valor aproximado de toda falla.

#### **2.5.1.3.1 Falla Tacagua.**

Esta falla se extiende desde Arrecife (en la costa) a Caracas.

#### **Geometría de la falla:**

- Longitud de extremo a extremo 19.7 kilómetros (acumulado 20.1 kilómetros).
- Rumbo promedio: cerca de N.  $71^\circ$  W.
- Inclinación promedio: inmersión de alta en el sur.
- Sentido del movimiento: derecho-lateral con componente normal importante.
- Tasa de movimiento: 0.17 mm/año.

#### **2.5.1.3.2 Falla El Ávila.**

La falla se extiende desde Caracas a Araira.

**Geometría de la falla:**

- Longitud: de extremo a extremo 48.8 km (acumulado 50.1 km).
- Promedio rumbo: Acerca de N. 83° W.
- Inclinación promedio: inmersión de alta en el sur.
- Sentido del movimiento: Derecho-lateral con componente normal importante.
- Tasa de movimiento: 0.4 mm/año.

**2.5.1.4 Falla Túcata.**

La falla Túcata ha sido erróneamente nombrada como: "Charallave" en algunos mapas.

**Sinopsis y ambiente geológico:** La falla Túcata cruza la Costa al norte de Venezuela de una manera oblicua, principalmente el corte de las rocas metamórficas del Mesozoico (mantos) emplazadas durante colisión oblicua entre el arco proto-Caribe y América del Sur el margen pasivo.

Esta falla se aparta de la falla de La Victoria en Las Tejas y se extiende desde el sureste hasta Altagracia de Orituco. La falla Túcata delimita el Plioceno-Cuaternario cuenca del río Tuy en el sudoeste y es responsable de su formación.

**Geometría de la falla:**

- Longitud de extremo a extremo 78 km (acumulado 80 km).
- Rumbo promedio: N. 64° ± 10° W.
- Inclinación promedio: inmersión de alta en el norte.
- Sentido del movimiento: lateral.
- Tasa de movimiento: 0.4 mm/año.

**2.5.1.5 Falla Píritu**

También conocida incorrectamente como la de Santa Inés o falla de La Costa.

**Sinopsis y ambiente geológico:** El error de Píritu se ejecuta en alta mar a lo largo de la costa de la depresión de Barlovento en el centro de Venezuela. Una breve sección de los cultivos de falla hacia el este de la ciudad de Píritu, donde el deslizamiento lateral rampas falla a una falla inversa y las plegables en el bloque norte en su oriental "punta". La punta transpresional demuestra el carácter dextral de esta falla.

En alta mar, la ubicación de la falla se ha establecido de ambos perfiles sísmicos y la correlación de pozos con afloramientos. La falla Píritu yuxtapone rocas metamórficas del Mesozoico (mantos) y frontal en rocas sedimentarias del Terciario de la Cordillera de la Costa (en el bloque occidental) frente a la plataforma Neógeno-Cuaternario de la secuencia sedimentaria Barcelona Bahía de cuenca (en el bloque oriental). Esta falla es responsable de la formación de la cuenca de la Bahía de Barcelona.

**Geometría de la falla:**

- Longitud de extremo a extremo 157 km (acumulado 166 km).
- Rumbo promedio: N. 65° W. ± 14°.
- Inclinación promedio: inmersión de alta en el norte.
- Sentido del movimiento: lateral.
- Tasa de movimiento: 0.3-0.4 mm/año.

**2.5.1.6 Falla San Sebastián**

Una pequeña parte de la falla de San Sebastián también se conoce como la falla Bruscas. La falla San Sebastián se extiende mar adentro (norte) de la Cordillera de la Costa de Venezuela, su ubicación es poco conocida, sobre todo por no contar con publicaciones de estudios geofísicos marinos.

**Sinopsis y ambiente geológico:** Poco se sabe acerca de la edad o las tasas de actividad de los casi 500 kilómetros de falla de San Sebastián. La falla se ejecuta en alta mar a lo largo de la costa norte-central de Venezuela, de delimitación (al norte) del esquistos verde rocas metamórficas de la Cordillera de la costa del cinturón. Se considera como parte de la frontera principal de rumbo entre las placas del Caribe y América del Sur,

junto con Boconó, El Pilar, y Los Bajos; la falla sólo aflora en una distancia muy corta en el Aeropuerto Internacional de Maiquetía, donde se le conoce como la falla Bruscas. En este ámbito, la falla trae Mioceno Superior-Plioceno marino rocas sedimentarias en la superficie.

**Geometría de la falla:**

- Longitud: de extremo a extremo 483 km (acumulado 529 km).
- Rumbo promedio: N. 86° E. ± 11°.
- Inclinación promedio: subverticales.
- Sentido del movimiento: derecho-lateral.
- Tasa de movimiento: 3-5 (?) mm/año.

**2.5.2 Formaciones geológicas.**

La cuenca del Lago de Valencia es una depresión ubicada entre dos importantes unidades tectónicas: la Cordillera de la Costa al norte y la Serranía del Interior al sur (figura 2.15). La casi totalidad de la Cordillera de la Costa y una gran parte de la Serranía del Interior central están formadas por un conjunto de rocas ígneas y metamórficas que se consideran de edad Jurásico-Cretácico, al norte aflora básicamente la Asociación Metasedimentaria Caracas, considerado de origen sedimentario en general y al sur el Grupo Villa de Cura, de origen principalmente volcánico.

## Principales formaciones

- ✓ Asociación Metamórfica Ávila
- ❖ Mármol de Antímano
- ❖ Gneis Granítico de Choroní
- ❖ Augengneis de Peña de Mora
- ❖ Complejo San Julián
  - ✓ Asociación Metasedimentaria Caracas
- ❖ Esquistos de Las Brisas
- ❖ Esquistos de Las Mercedes
  - ✓ Grupo Villa de Cura
- ❖ Formación El Caño
- ❖ Formación El Carmen
- ❖ Formación El Chino
- ❖ Formación Santa Isabel
  - ✓ Formación Paracotos
  - ✓ Formación Tucutunemo
  - ✓ Granito de Guaremal
  - ✓ Fase Nirgua (Complejo de la Costa).
  - ✓ Gneis Cabriales

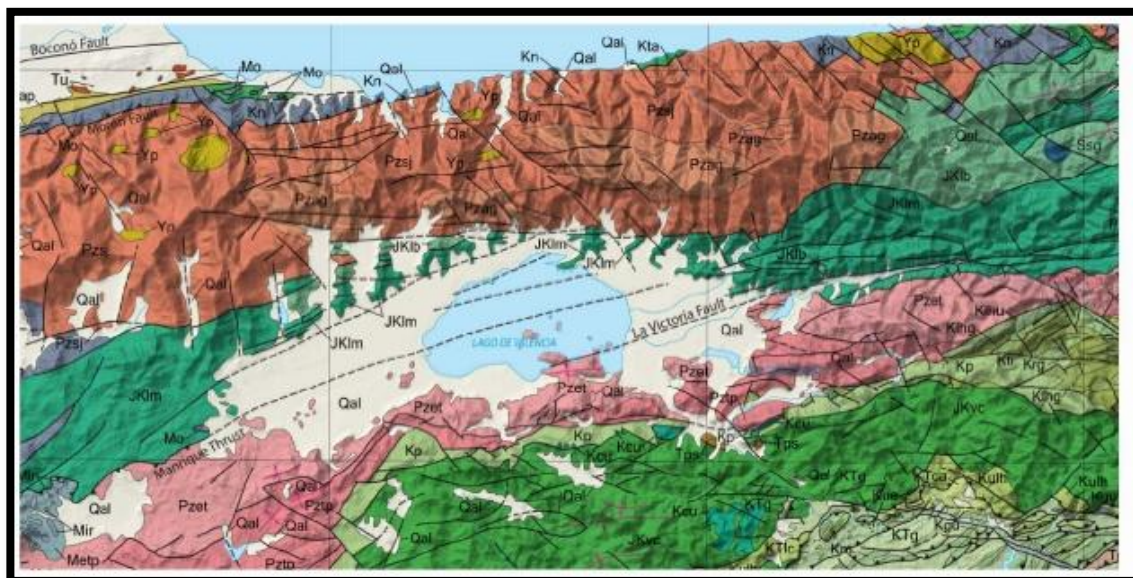


Figura 2.15. Mapa geológico de la cuenca del lago de Valencia (Hackley P.C., et al, 2005).

### Leyenda

Formaciones	Estructuras
<span style="background-color: yellow; border: 1px solid black; padding: 2px;">Yp</span> Augengneis de Peña de Mora, Suite Metamórfica Ávila (Proterozoico Medio)	— Fallas, contactos
<span style="background-color: pink; border: 1px solid black; padding: 2px;">Pzet</span> Complejo El Tinaco (Paleozoico)	- - - Fallas inferidas
<span style="background-color: orange; border: 1px solid black; padding: 2px;">Pzsj</span> Complejo San Julián, Suite Metamórfica Ávila (Paleozoico)	▲▲ Corrimientos
<span style="background-color: red; border: 1px solid black; padding: 2px;">Pzag</span> Rocas Metagraníticas, Suite Metamórfica Ávila (Paleozoico)	
<span style="background-color: blue; border: 1px solid black; padding: 2px;">Mo</span> Rocas Ultramáficas (Mesozoico)	
<span style="background-color: purple; border: 1px solid black; padding: 2px;">Kn</span> Complejo Nirgua, Suite Metamórfica La Costa (Cretácico)	
<span style="background-color: teal; border: 1px solid black; padding: 2px;">Kcu</span> Ultramáficas de Chacao (Cretácico)	
<span style="background-color: green; border: 1px solid black; padding: 2px;">JKlm</span> Esquisto de Las Mercedes, Suite Metasedimentaria Caracas (Jurásico-Cretácico)	
<span style="background-color: lightgreen; border: 1px solid black; padding: 2px;">JKlb</span> Esquisto de Las Brisas, Suite Metasedimentaria Caracas (Jurásico-Cretácico)	
<span style="background-color: limegreen; border: 1px solid black; padding: 2px;">Kp</span> Filita de Paracotos (Cretácico Inferior)	
<span style="background-color: yellowgreen; border: 1px solid black; padding: 2px;">KTg</span> Fm. Guarico (Cretácico a Eoceno)	
<span style="background-color: white; border: 1px solid black; padding: 2px;">Qal</span> Aluvión cuaternario (Pleistoceno-Holoceno)	
<span style="background-color: orange; border: 1px solid black; padding: 2px;">Tps</span> Rocas sedimentarias sin nombre (Paleoceno)	

Para el área de estudio del presente trabajo es de interés la formación: Asociación Metasedimentaria Caracas y el grupo Villa de Cura, por encontrarse alrededor de nuestra zona de interés, a continuación una breve explicación.

### **Asociación Metasedimentaria Caracas.**

Integra la Napa Caracas que forma parte de la Cordillera de la Costa. Menéndez, 1966 y Bellizzia, et al., 1976, interpretan las unidades mencionadas como “Formación Las Brisas” y “Formación las Mercedes” al sur de la falla de la Victoria como pertenecientes al Complejo El Tinaco. Urbani, 2000, propone el cambio de nombre de Formación las Brisas a Esquisto de Las Brisas e igualmente propone el nombre original de Esquisto de Las Mercedes para la “Formación las Mercedes”.

### **Esquisto de Las Brisas.**

MESOZOICO (Jurásico Tardío)

*Extensión geográfica:* A todo lo largo del macizo central de la Cordillera de la Costa, entre el Cabo Codera y el graben del río Yaracuy.

*Descripción litológica:* Wehrmann, 1972, afirma que la Formación Las Brisas, está constituida en un 90% de esquistos cuarzo-feldespático-moscovíticos; el 10% restante lo constituyen, en orden de abundancia, esquistos cuarzo- feldespáticos, epidóticos o cloríticos, calizas, cuarcitas y metaconglomerados. Menciona igualmente, mineralizaciones pobres de cobre en algunas calizas, en forma de sulfuros y sulfatos.

### **Esquisto de Las Mercedes.**

MESOZOICO (Jurásico - Cretácico)

*Extensión geográfica:* En toda la extensión y en los flancos del macizo central de la Cordillera de la Costa, entre Carenero, estado Miranda, hasta el estado Cojedes.

*Descripción litológica:* Según Wehrmann, 1972, y la revisión de González de Juana et al., 1980, la litología predominante consiste en esquisto cuarzo - muscovítico - calcítico - grafitoso con intercalaciones de mármol grafitoso en forma de lentes, que cuando alcanza gruesos espesores se ha denominado "Caliza de Los Colorados".

Wehrmann (1972), menciona metaconglomerados en su base, esquistos cloríticos y una sección en el tope, de filitas negras, poco metamorfizadas, con nódulos de mármol

negro. Este mismo autor, indica que el tope de la formación se hace más cuarzoso y menos calcáreo en su transición hacia la Formación Chuspita. Seiders (1961), menciona además, meta-areniscas puras, feldespáticas y cuarzosas.

### **Grupo Villa de Cura**

JURASICO – CRETACICO

Estado Aragua

*Descripción litológica:* está compuesto de rocas metavolcánicas y metasedimentarias de granulometría variable y se ha dividido en cinco formaciones, que de norte a sur son El Chino, El Caño, El Carmen, Santa Isabel y Las Hermanas.

El Caño consiste en metatobas afaníticas finamente laminadas, con cantidades menores de metalavas basálticas y andesíticas. La Formación El Carmen presenta una espesa serie de metalavas basálticas con fenocristales de augita, intercalados con metatoba, granofel, metaftanitas y filitas grafitosas. La Formación Santa Isabel consiste en granofel cuarzo - feldespático - epidótico con intercalaciones de esquistos clorítico y cantidades menores de metalavas piroxénica y metaftanitas. La Formación Las Hermanas consiste de metatoba, metalava y aglomerados volcánicos.

### **Sedimentos cuaternarios de la cuenca de Valencia**

La cuenca del Lago de Valencia está rellena por sedimentos aluviales y fluviales cuya fuente principal es la Cordillera de la Costa y la Serranía del Interior. Igualmente, existen depósitos lacustres de origen orgánico formados por conchas de diatomeas y otros microorganismos. Estos depósitos están constituidos por una alternancia irregular de capas de arcillas, limos, arenas y gravas de granulometría variable. Autores como Peeters (1968) y Bockh (1956) y exploraciones del Ministerio del Ambiente, consideran que estos sedimentos fluvio-lacustres alcanzan un espesor máximo de unos 400 metros en la parte central de la cuenca, aunque es variable hacia el norte y mucho menor espesor hacia el sur.

Las extensas planicies formadas por los sedimentos lacustres están constituidas en buena parte por conchas de diatomeas que en periodos mas fríos de la historia geológica de la cuenta se reprodujeron en masivas cantidades en las aguas del lago. Estos sedimentos, conocidos como “tierra de diatomeas”, son de importante valor económico aunque sus yacimientos se encuentran intercalados por depósitos aluviales y contaminados con materia orgánica.

## CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

### 3.1 Adquisición Sísmica.

#### 3.1.1 Perforación de pozos.

El 12 de junio de 2008, se llevo a cabo un reconocimiento de las zonas donde se realizarían los distintos perfiles, entre las ciudades de Maracay y Valencia, se determino la mejor orientación de los tendidos en función de las interferencias que pudieran ocasionar la ubicación de tuberías de gas, transito vehicular, edificaciones, torres de alta tensión, entre otras.

Cabe destacar que la ubicación de los perfiles así como la longitud de cada uno fue determinado en FUNVISIS, realizando los transmites de permisología, inspección de la zona, enlaces con las comunidades y posible ubicación de los perfiles.

Los valores de longitud de cada perfil, así como la cantidad de puntos de disparo sobre el mismo y la ubicación espacial de cada uno se reflejan en el siguiente cuadro:

Tabla 3.1. Ubicación espacial de los pozos.

Perfil	Pozo	Longitud	Latitud	Distancia a D=0 (mts)
Base Sucre	1	649521	1133691	0
	2	649090	1133336	558
	3	648773	1132976	1037
	4	648252	1132833	1578
	5	647765	1132556	2139
Parque Metropolitano	1	657726	1131662	0
	2	657368	1131334	438
	3	657142	1130846	976
	4	656834	1130513	1430
Ciudad Plaza	1	612540	1120234	0
	2	612630	1119738	504
	3	612653	1119220	1022
	4	612876	1118766	1528
Aeropuerto	1	617897	1122720	0
	2	617623	1123163	949
	3	617262	1124040	1469

Los pozos ubicados al extremo norte de cada perfil se llamaron 1 y los ubicados más al sur son los valores más altos de la enumeración de pozos, en cada perfil.

Entre el 16 al 25 de Junio de 2008 se llevo a cabo la supervisión de las perforaciones para los pozos de los diferentes tendidos, para la realización de este trabajo FUNVISIS contrató un tercero, quien utilizo mechas de 4 pulgadas de 1.25 mts de longitud y un taladro hidráulico portátil.



Figura 3.1. Taladro y mechas usados en las perforaciones.

El procedimiento en la perforación se baso en la ubicación de punto del disparo definido sobre el perfil, se comenzaba a taladrar hasta llegar a la profundidad requerida (figura 3.2), luego se tomaba un tubo PVC de 3 pulgadas de diámetro se sellaba un extremo de la tubería y se introducía hasta el final de la perforación (figura 3.3), se colocaba material extraído en el área entre el tubo y las paredes del pozo hasta que la tubería quedara firme y por último se tapaba la boca del tubo para evitar la entrada de agua o algún otro contaminante dentro del pozo (figura 3.3).



Figura 3.2. Perforación de pozo.



Figura 3.3. Procedimiento para el sellado del tubo antes de ser colocado dentro del pozo.



Figura 3.4. Encamisando el pozo.

Las profundidades alcanzadas en los distintos pozos fueron las siguientes (Tabla 3.2):

Tabla 3.2. Profundidad de los pozos.

Perfil	Pozo	Profundidad (mts.)
Base Sucre	1	10
	2	12
	3	10
	4	12
	5	13.5
Parque Metropolitano	1	14
	2	12.5
	3	14.5
	4	13.6
Ciudad Plaza	1	13.4
	2	11.3
	3	10
	4	12.3
Aeropuerto	1	10
	2	10
	3	10

### 3.1.2 Adquisición de los datos sísmicos.

La adquisición se ejecuto en el marco del proyecto de investigación aplicada a la gestión integral del riesgo en espacios urbanos: conformación de redes, que lleva a cabo FUNVISIS en las ciudades de Valencia, Edo Carabobo y Maracay, Edo. Aragua.

Se realizaron 2 perfiles en la ciudad de Valencia, el perfil Ciudad Plaza, ubicado en el sector Santa Inés, con un rumbo noroeste, donde se colocaron 4 puntos de disparos; y el perfil Aeropuerto, ubicado en el aeropuerto Arturo Michelena con rumbo noroeste, donde se colocaron 3 puntos de disparo.

En la ciudad de Maracay se realizaron 2 perfiles: el perfil del parque Metropolitano ubicado en el sector de Guasimal, con cuatro 4 puntos de disparo, con rumbo noroeste; y el perfil Base Sucre ubicado en la base Militar del mismo nombre con cinco 5 puntos de disparo y con rumbo noreste.

Para la realización de este estudio se utilizaron cuarenta y siete (47) Texan (sismómetros independientes de un solo canal con geófonos verticales de 4,5 Hz), 4 Geode Geométricas de veinticuatro (24) canales cada uno, 2 rollos de cables de transmisión con separaciones de 10 m entre receptores y dos 2 rollos con separación de 5 m, 2 sismógrafos marca Geometrics Strataview, 96 geófonos de componente horizontal de 28 Hz como fuente se utilizo cargas explosivas (mezcla de pentolita y anfo) entre 10 kg y 25 kg dichas cargas fueron introducidas en pozos de 3” de diámetro entre 8 m y 14 m de profundidad. Para la ubicación geográfica de los puntos de tiros como de los receptores, se utilizo un GPS diferencial doble frecuencia marca Thales modelo Z-MAX.NET y un GPS V marca Garmin. La adquisición de los datos sísmicos se realizo desde el 04 al 07 de Julio de 2008.

La noche antes de las adquisiciones se armaba la estación de trabajo con la que se programaban los Texan, para el registro de los datos; esta estación de trabajo consta de un equipo de distribución de GPS, una interface de PC, un centro de distribución para los Texan (125A HUB) y un PC portátil, en esta programación se asignaban parámetros de adquisición tales como: muestreo de frecuencia, ganancia, intervalo de tiempo para cada evento, longitud de la ventana para dicho evento, fecha y hora de inicio para la adquisición, así como el numero de eventos que se deseaban registrar, tal como se indica en la figura 3.5:

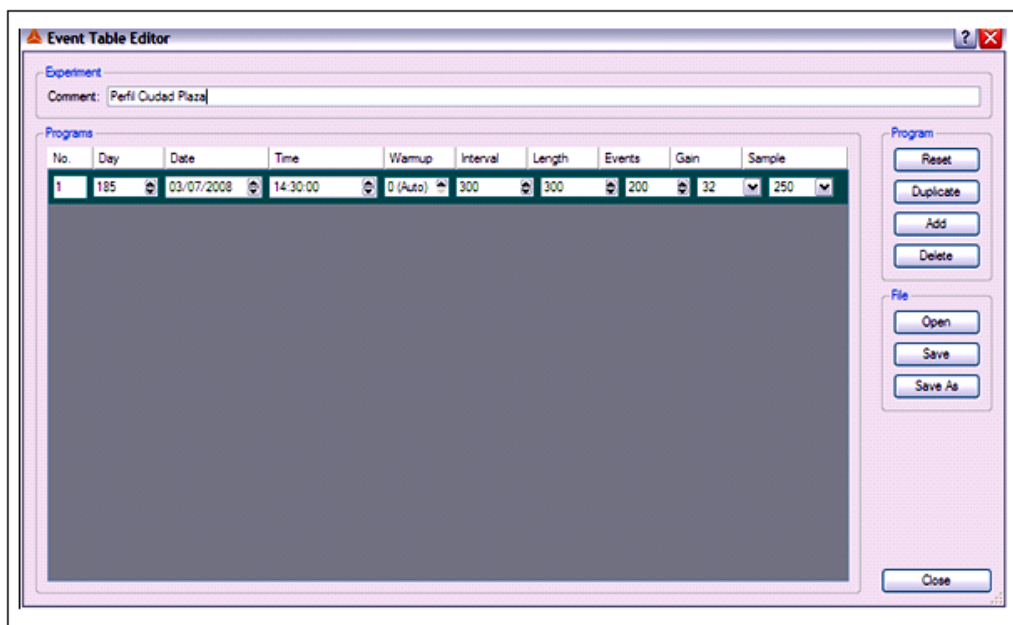


Figura 3.5. Pantalla de configuracion de los Texan.

La ventana y el intervalo de inicio del evento, se expresan en segundos, el día hace referencia al día juliano, en la fecha debe colocarse la del calendario, en la hora se refleja la GMT, por lo que se debió tomar en cuenta la diferencia de 4:30 hrs, con respecto al uso horario en Venezuela, por lo que se resto dicha cantidad a la hora reflejada en el GPS, estimando la hora en que se realizaría el primer disparo.

En la estación de trabajo se realizaban otros tipos de controles, tales como: verificación del voltaje de las 2 pilas que utilizan cada sismógrafo (baterías de celda D recargable), memoria disponible (posee hasta 33 Mb), descarga de los datos adquiridos al PC portátil, borrar espacio en la memoria; una vez programado los sismógrafos quedan activados para comenzar a grabar a la hora y fecha indicada, estos dispositivos se encienden de manera automática.

En el área de adquisición, se formaron 5 grupos, los cuales 2 se encargaron de la ubicación de los Geodes en los extremos del perfil; otros 2 de los Texan en la zona central del perfil de forma equidistante; uno de los Texan identificado con el código 3110 fue asignado como up-hole, este se colocaba a 3 mts del punto de tiro y se iba moviendo a cada punto de disparo antes de que este se efectuase, y 1 apoyado en el GPS

diferencial marca Thales modelo Z-MAX.NET (figura 3.7), midieron la ubicación de los Texan, así como los geófonos ubicados en los extremos de cada cable de transmisión y los puntos de disparo. Este GPS tiene una precisión de 5 mm en horizontal y 10 mm en vertical en modo estático y estático rápido, las mediciones de las coordenadas fueron referenciadas a WGS84.

Se ubico un par de Geodes de 24 canales cada uno (figura 3.6), conectados entre si para un total de 48 canales vinculados a un sismógrafo Geometrics en cada extremo del perfil, con un retraso de -0.10, una tasa de muestreo de 0.10 ms y una ganancia fija de 24 db, los geófonos fueron conectados a los Geodes a través de 2 cables de transmisión, algunos Texan se colocaron solapando ciertos geófonos del Geode, se utilizo trigger en el perfil de Ciudad Plaza en los disparos 1, 2 y 5, lamentablemente por razones técnicas no se pudo usar esta herramienta en el resto de los perfiles, debido a las grandes distancias entre los disparos y la localización de los equipos de registro Geode. En estos casos se sincronizó el tiempo de disparo para el inicio del registro de los Geodes a través de comunicación por radio de corta frecuencia.



Figura 3.6. Geodes de 24 canales cada uno.



Figura 3.7. GPS diferencial marca Thales modelo Z-MAX.NET.

Las cargas explosivas introducidas en los puntos de disparo (figura 3.8) fueron una mezcla de anfo y pentolita, primero se introdujo en el pozo el anfo en forma cilíndrica de aproximadamente 5 cm de diámetro, medio metro de largo y un kilogramo de peso, luego la pentolita en forma de granos pequeños de color rosado, por último se introdujo en el pozo el o los detonadores según fuera el caso, cada detonador se activaba con 0,03 ohmios, de ser más de uno se conectaban en paralelo, del detonador salía un cable que se conectaba en la caja donde se encontraba la perilla que accionaba el detonador, mecanismo que puede activar hasta 50 detonadores en paralelo, este procedimiento estuvo a cargo del personal de la Compañía Anónima Venezolana de Industrias Militares (CAVIM).

Se contó con el apoyo de Defensa Civil y los bomberos de los Estados Aragua y Carabobo respectivamente; para el despeje de la zona de trabajo, también colaboraron estudiantes y profesores de la Universidad de los Andes (ULA), de la Universidad de

Carabobo y de la Universidad Nacional Experimental de las Fuerzas Armadas (UNEFA) de Maracay, y para los registros se conto con los equipos de FUNVISIS y la Universidad de Los Andes (ULA), quien facilitó uno de los Geode usado en la adquisición.



Figura 3.8. Colocación de la carga explosiva dentro del pozo.

En la tabla 3.3 se puede observar la cantidad de explosivos colocados por pozo en cada perfil.

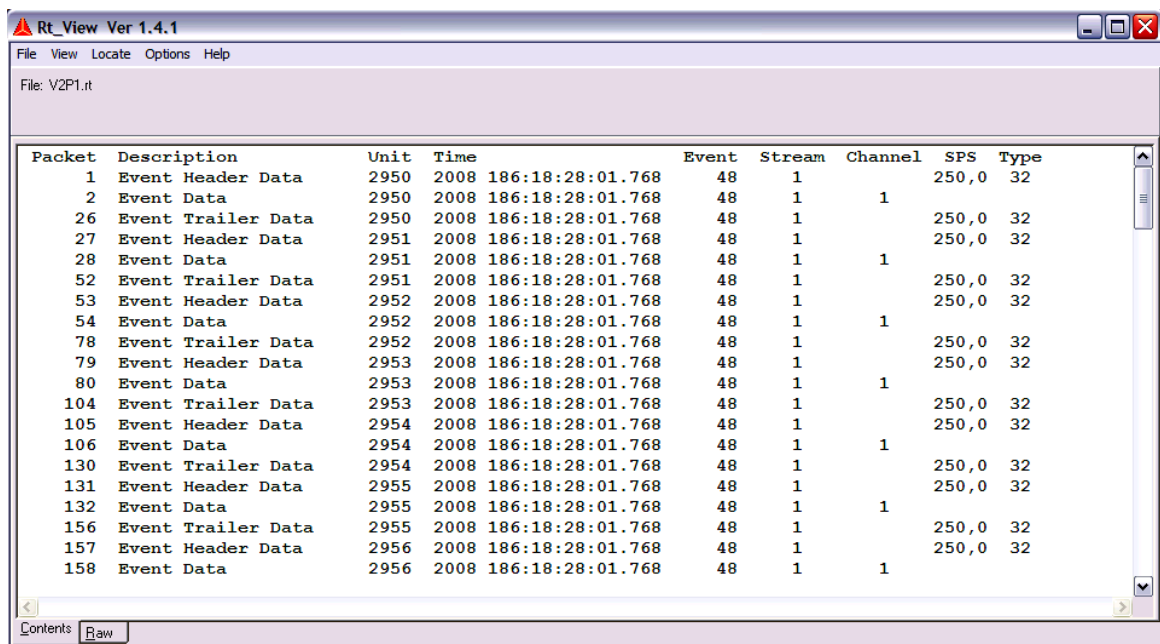
Tabla 3.3. Carga explosiva por pozos.

Perfil	Pozo	Pentonita (Kgrs.)	Anfo (Kgrs.)	Total Carga (Kgrs.)
Base Sucre	1	6	4	10
	2	11	11	22
	3	8	8	16
	4	11	11	22
	5	14	16	30
Parque Metropolitano	1	9	4	13
	2	8	2	10
	3	11	0	11
	4	11	4	15
Ciudad Plaza	1	16	14	30
	2	10	0	10
	3	10	12	22
	4	10	8	18
Aeropuerto	1	6	4	10
	2	6	4	10
	3	6	4	10

## 3.2 Procesamiento de las Secciones Sísmicas

### 3.2.1 Secciones Generadas por Texan.

Los datos adquiridos por los Texan fueron de extensión .TRD, utilizando la aplicación de MS-DOS, bajo ambiente Windows se transformaron a una extensión .DAT y luego a .RT, una vez obtenidos los archivos .RT que se encontraban en carpetas identificadas por números que representaban el año y el día juliano de la adquisición, se seleccionaba la traza del Texan que represento el up-hole en las diferentes adquisiciones, con los registros de los tiempos de disparo se estipulaba el tiempo en que comenzó a grabar y a esa hora se le restaba un segundo. Esto por la diferencia entre los relojes de los Texan, a partir de ese tiempo estipulado se le asignó una longitud de 15 s a cada traza, de esta manera se separaban los eventos por disparo realizado, dentro de una misma adquisición, en cada Texan como se observa en la figura 3.9, obteniendo de esta manera la traza generada en cada evento por texan como se ve en la figura 3.10.



The screenshot shows a window titled "Rt\_View Ver 1.4.1" with a menu bar (File, View, Locate, Options, Help) and a file path "File: V2P1.rt". The main area contains a table with the following columns: Packet, Description, Unit, Time, Event, Stream, Channel, SPS, and Type. The table lists 18 packets (1-158) representing event data and trailers, with timestamps from 2008-186:18:28:01.768 to 2008-186:18:28:01.768. The SPS column shows values of 250,0 and 32. The bottom of the window has "Contents" and "Raw" buttons.

Packet	Description	Unit	Time	Event	Stream	Channel	SPS	Type
1	Event Header Data	2950	2008 186:18:28:01.768	48	1		250,0	32
2	Event Data	2950	2008 186:18:28:01.768	48	1	1		
26	Event Trailer Data	2950	2008 186:18:28:01.768	48	1		250,0	32
27	Event Header Data	2951	2008 186:18:28:01.768	48	1		250,0	32
28	Event Data	2951	2008 186:18:28:01.768	48	1	1		
52	Event Trailer Data	2951	2008 186:18:28:01.768	48	1		250,0	32
53	Event Header Data	2952	2008 186:18:28:01.768	48	1		250,0	32
54	Event Data	2952	2008 186:18:28:01.768	48	1	1		
78	Event Trailer Data	2952	2008 186:18:28:01.768	48	1		250,0	32
79	Event Header Data	2953	2008 186:18:28:01.768	48	1		250,0	32
80	Event Data	2953	2008 186:18:28:01.768	48	1	1		
104	Event Trailer Data	2953	2008 186:18:28:01.768	48	1		250,0	32
105	Event Header Data	2954	2008 186:18:28:01.768	48	1		250,0	32
106	Event Data	2954	2008 186:18:28:01.768	48	1	1		
130	Event Trailer Data	2954	2008 186:18:28:01.768	48	1		250,0	32
131	Event Header Data	2955	2008 186:18:28:01.768	48	1		250,0	32
132	Event Data	2955	2008 186:18:28:01.768	48	1	1		
156	Event Trailer Data	2955	2008 186:18:28:01.768	48	1		250,0	32
157	Event Header Data	2956	2008 186:18:28:01.768	48	1		250,0	32
158	Event Data	2956	2008 186:18:28:01.768	48	1	1		

Figura 3.9. Ejemplo de una pantalla con la información por evento contenida en los Texan.

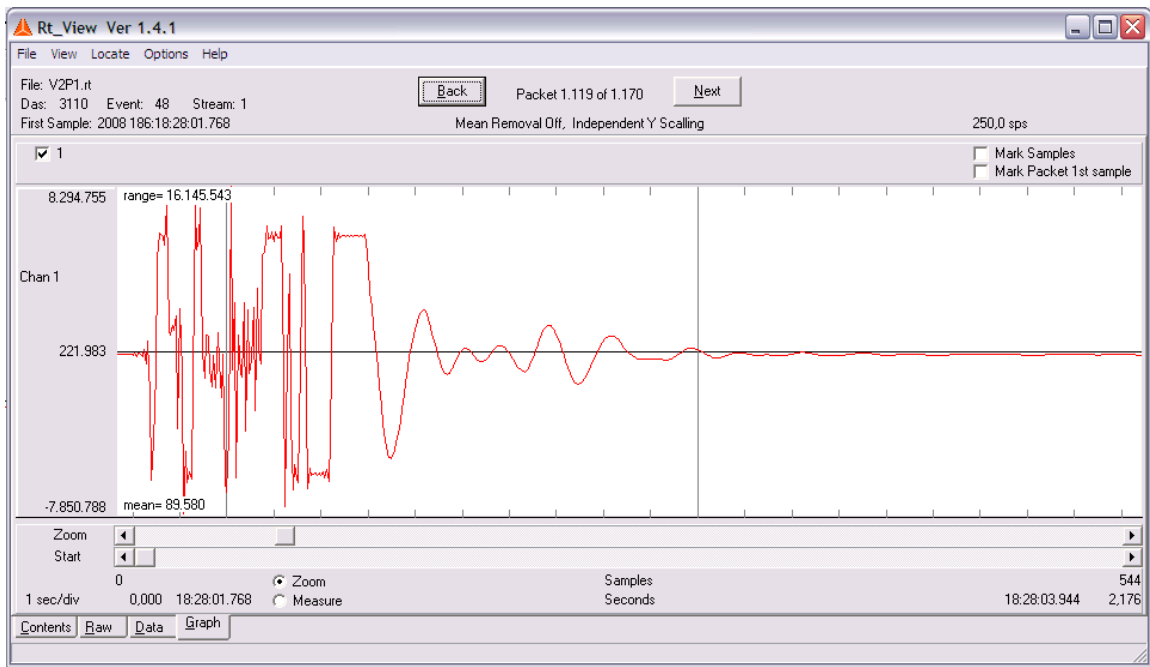


Figura 3.10. Traza obtenida por un Texan.

Los archivos RT se transformaron en formato SEGY, bajo ambiente de LINUX usando el programa de UNIX, originando de esta manera las secciones sísmicas de los perfiles en sus respectivos disparos (figura 3.11), para luego poder ser procesadas en el programa REFLEXW, que funciona bajo ambiente Windows.

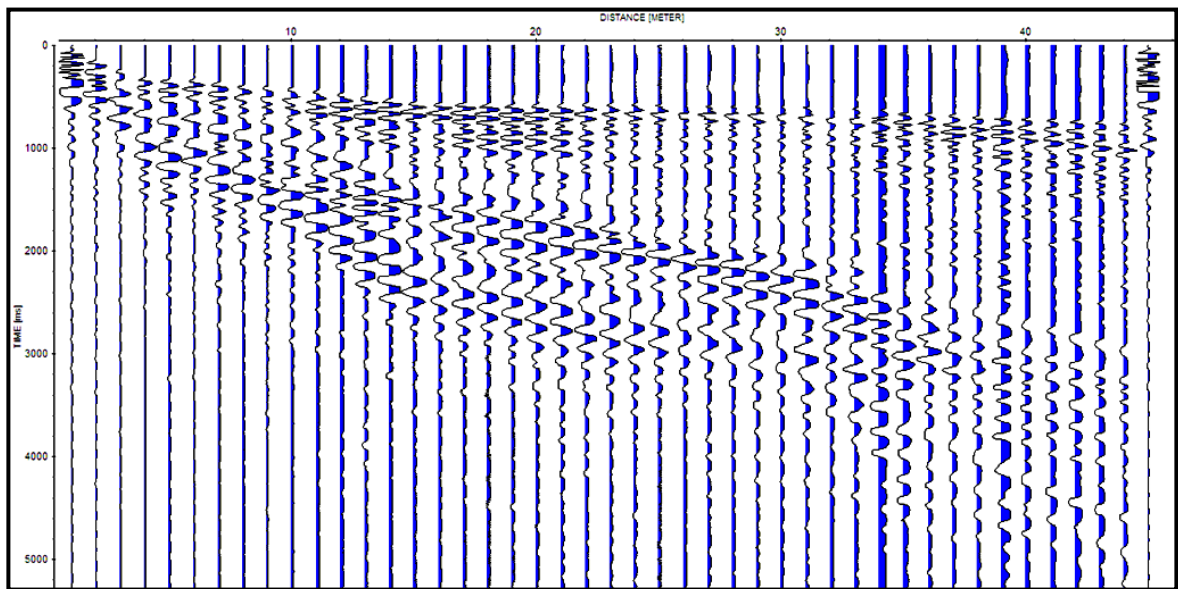


Figura 3.11. Sección sísmica perfil Aeropuerto, disparo 1, generada a partir de los archivos RT.

Para cada perfil se creó una carpeta que era reconocida por el programa como proyecto, y a su vez les asignaba seis sub carpetas a cada proyecto, como lo muestra la figura 3.12:

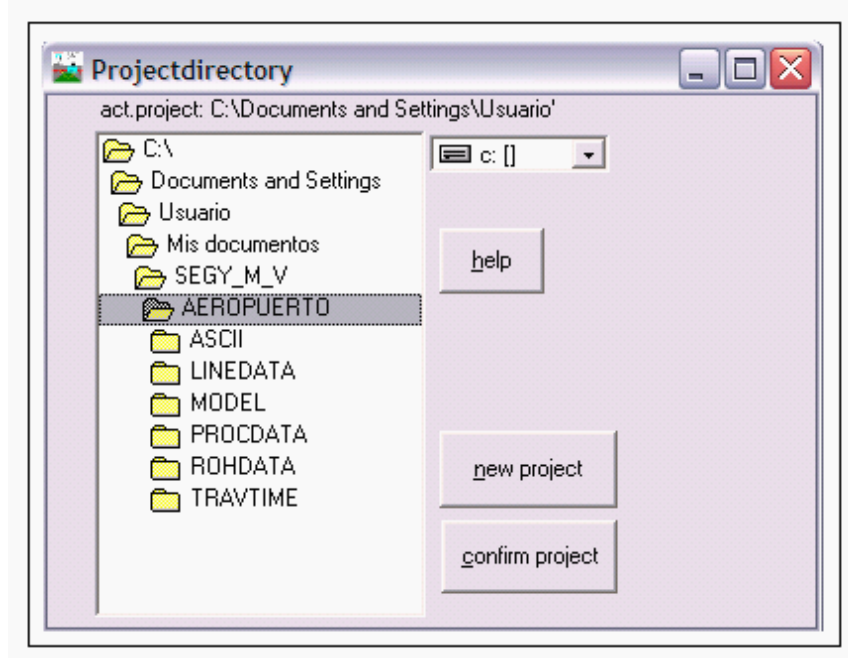


Figura 3.12. Pantalla de directorio de Reflew.

Cada sub carpeta fue empleada por el programa para fines distintos que se explican a continuación:

- ASCII: almacena los datos de las primeras llegadas en formato ASCII-columns.
- LINEDATA: almacena los datos de los tiempos establecidos como primeras llegadas (picks).
- MODEL: almacena los modelos 2D generados a partir de los tiempos de primeras llegadas y modelos 1D.
- PROCDATA: almacena los datos que han sido modificados para mejorar la imagen de las secciones sísmicas, como aplicación de filtro, edición de trazas, corrección del tiempo inicial, entre otras.
- ROHDATA: almacena los datos importados, como originalmente se llevaron al programa y los modelos 1D generados luego del análisis de tiempo.

- TRAVTIME: almacena en otro formato los datos de las primeras llegadas (picks). Para establecer los headers en cada perfil, se calculo la distancia entre el pozo 1 y el Texan mas cercano con los datos de longitud y latitud medidos en el campo con el GPS diferencial, usando la formula de Pitágoras, estos cálculos se realizaron en formato de Excel como muestra la figura 3.13:

		Estacion	Longitud	Latitud	Altura		
4		P1	617261.8	1124040	419.399	Distancia entre P1 y 2968	
5		2968	617265.2	1124035	419.3808	5.737451653	

Figura 3.13. Ejemplo de cálculo de distancia entre P1 y Texan más cercano en perfil Aeropuerto.

Una vez obtenida la distancia antes mencionada se determinaba con el mismo procedimiento la distancia existente entre el texan anterior y el siguiente, sumando la distancia calculada para establecer la separación entre el nuevo Texan y el P1 que fue considerado el punto 0 de la longitud del perfil, como se observa en la tabla 3.4.

Tabla 3.4. Ejemplo del cálculo de las distancias de los texan sobre el perfil Aeropuerto.

<i>Texan</i>			
<i>Código</i>	<i>Longitud E</i>	<i>Latitud N</i>	<i>Distancia a D=0 (m)</i>
2968	617265,239	1124035,201	5,737
2961	617289,068	1123964,188	80,642
2973	617319,697	1123890,08	160,643
2962	617351,462	1123822,031	235,740
2960	617367,883	1123784,265	276,923
3108	617360,654	1123802,212	296,271
2979	617407,229	1123754,221	363,147
3094	617426,924	1123721,443	401,387
3109	617445,157	1123691,668	436,301
2969	617446,299	1123664,045	463,947
2971	617465,476	1123623,989	508,357
2963	617467,899	1123565,626	566,771

Una vez calculadas todas las distancias, se importaron a el reflexw y se le asignaron a cada sección (figura 3.14), el header para cada perfil era el mismo lo único que cambiaba con respecto a los disparos era la ubicación del up-hole, que en campo se ubicaba a una distancia de aproximadamente 3 m del punto de disparo, en algunos casos hacia el norte otros hacia el sur; lo que se hizo fue sumar o restar, según sea el caso esa cantidad, a la distancia determinada en el punto de disparo y se le asignaba a la ultima traza de la sección dicho valor, ya que representaba el up-hole.

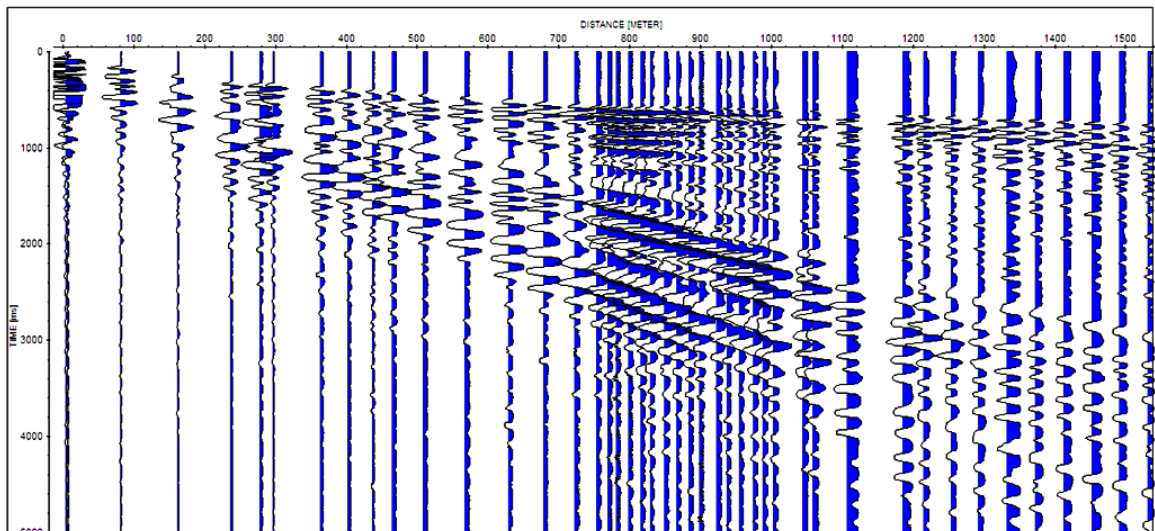


Figura 3.14. Sección sísmica perfil Aeropuerto, disparo 1.

Para determinar la selección del filtro pasaban aplicada para cada sección sísmica se analizaron las diferentes imágenes de espectro de amplitud (figura 3.15) relacionadas con cada una usando el software de uso libre Geogiga Front End.

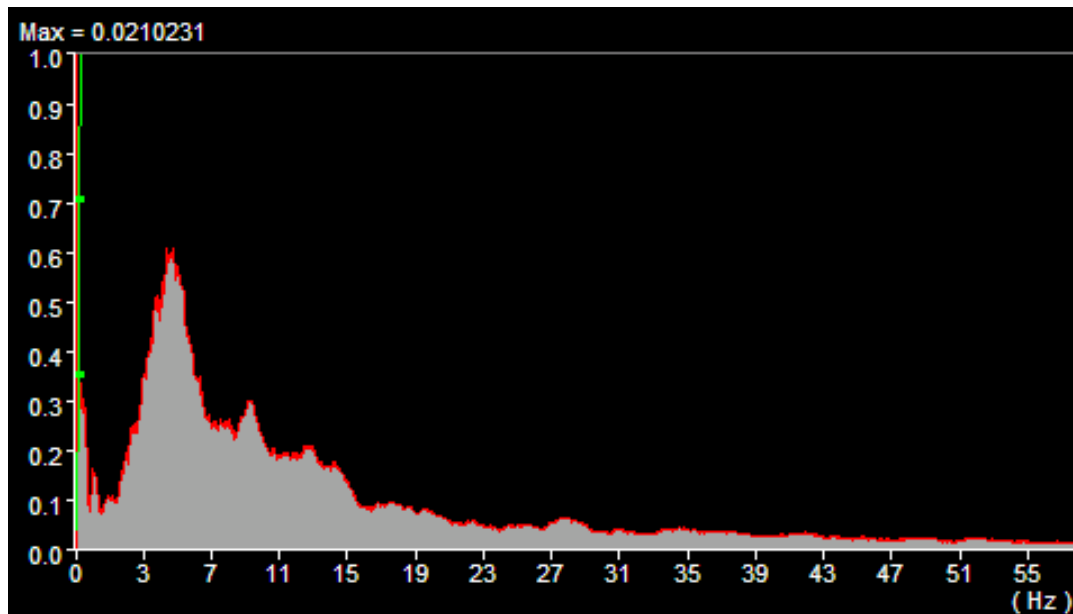


Figura 3.15. Espectro de amplitud de la sección sísmica del perfil Aeropuerto disparo 1.

En la gráfica anterior se observan que las amplitudes mas prominentes se encuentran entre los 3 y 30 Hz, sin embargo, para establecer el rango del filtro pasa banda se tomaron valores entre 4.5 y 38 Hz, ya que la frecuencia natural de los geófonos receptores era de 4.5 Hz a partir de este valor se establecían los demás parámetros en función de la gráfica del espectro de amplitud, dicho parámetros se aplicaron en el reflex para dar origen a las secciones filtradas como se puede observar en la figura 3.16.

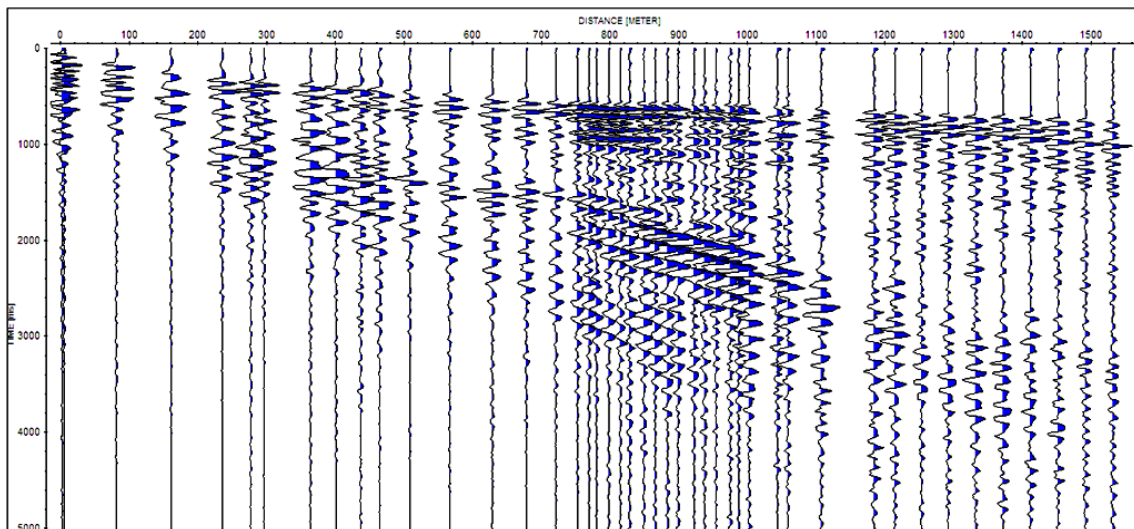


Figura-3.16. Sección sísmica perfil Aeropuerto, disparo 1, con filtro pasabanda de 4.5, 9,18 y 36 Hz.

Para determinar el tiempo inicial de los up-hole se realizaron dos procedimientos:

1) Conociendo la profundidad de la carga en cada disparo, la separación sobre el perfil del up-hole con el pozo, se calculo la distancia (D) entre la carga del pozo y el up-hole (figura 3.17). Determinando la velocidad aparente (V) de la primera capa sobre cada sección sísmica (figura 3.18) se calculo el tiempo (T) aproximado del recorrido de la onda desde la carga hasta el up-hole, usando la formula  $V = D/T$  como se observa en la tabla 3.5.

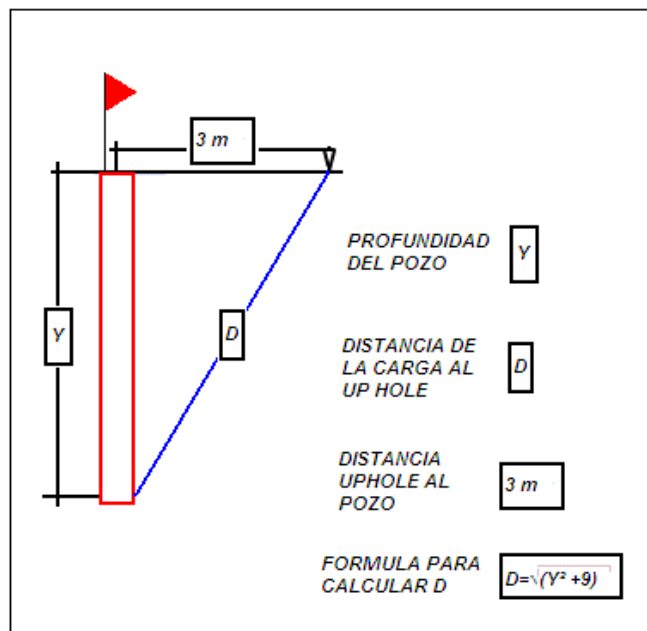


Figura-3.17. Esquema para el cálculo de D.

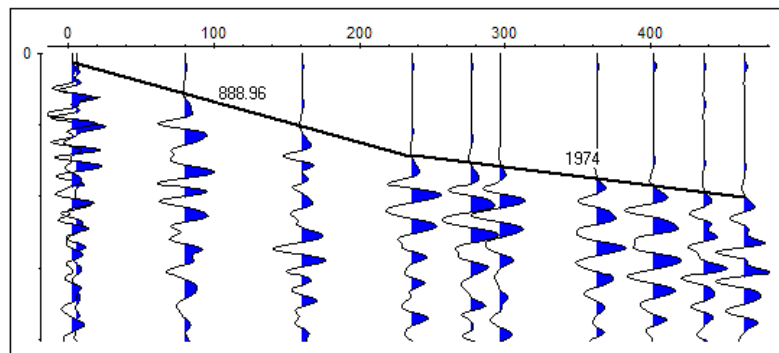


Figura 3.18. Ejemplo de cálculo de V en sección del perfil Aeropuerto, disparo 1.

Tabla 3.5. Cálculo de T para los “Up-Hole”.

PERFIL	POZO	Profundidad y (m)	Distancia d (m)	Velocidad v (m/s)	Tiempo t(s)
<b>CIUDAD PLAZA</b>					
	P1	13.4	13.7317	870	0.0157
	P2	11.3	11.6914	760	0.0153
	P3	10	10.4403	690	0.0151
	P4	12.3	12.6605	610	0.0207
<b>AEROPUERTO</b>					
	P1	10	10.4403	888	0.0117
	P2	10	10.4403	550	0.0189
	P3	10	10.4403	683	0.0152
<b>PARQUE METROPOLITANO</b>					
	P1	14	14.3178	915	0.0156
	P2	12.5	12.8549	580	0.0221
	P3	14.5	14.8070	570	0.0259
	P4	13.6	13.9269	840	0.0165
<b>BASE SUCRE</b>					
	P1	10	10.4403	1900	0.0054
	P2	12	12.3693	860	0.0143
	P3	10	10.4403	670	0.0155
	P4	12	12.3693	660	0.0187

Se estableció el promedio entre los t calculados para los diferentes disparos en las distintas secciones obteniendo un promedio de aproximadamente 0,017 s. Es importante mencionar que el t del disparo 1 de Base Sucre no fue tomado en cuenta ya que en este punto se encontraba el paso de un rio acuífero y mostró anomalías de tiempo.

2) Se compararon las trazas generadas por los Texan en los disparos 1 y 4 del perfil Ciudad Plaza que solapaban las trazas generadas por los Geodes ubicados al norte en el disparo 1 y al sur en el disparo 4. Con estas comparaciones se determinó un tiempo entre el inicio del registro (trigger de los Geodes) con las primeras llegadas identificadas en los registros *up-hole* de 28 ms.

Como siguiente paso se construyó una sección sísmica con las trazas de los *up-hole* de los diferentes disparos de los 4 perfiles (figura 3.19), para establecer una comparación entre las trazas calibradas con *trigger* y aquellas trazas donde no se tuvo un control para el tiempo inicial.

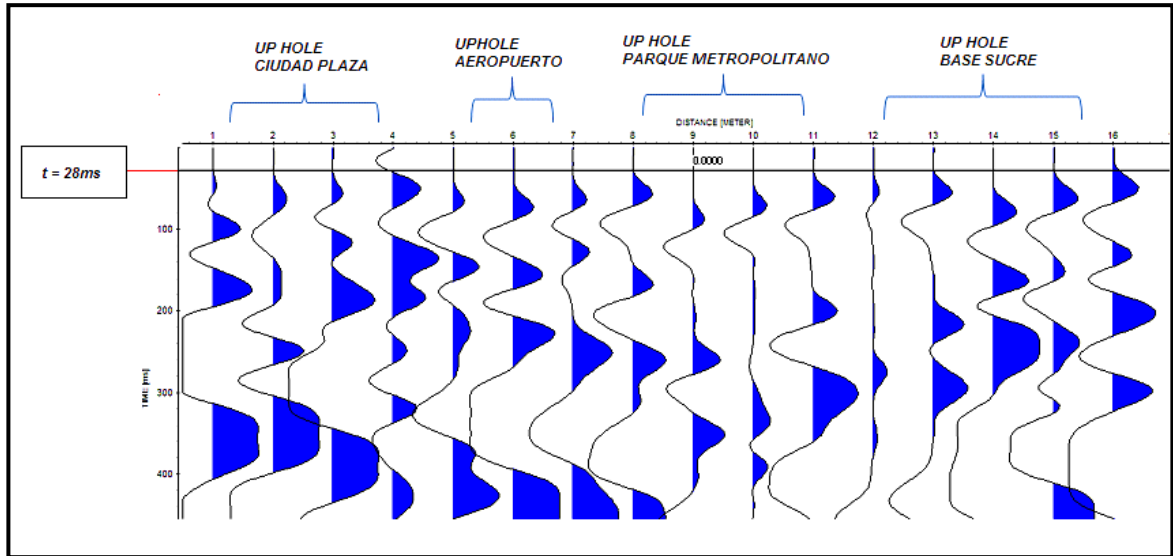


Figura 3.19. Sección sísmica construida a partir de los Up-Hole.

Con los valores obtenidos gráficamente (28 ms aproximadamente) y numéricamente (17 ms aproximadamente) se promediaron obteniendo un valor de tiempo inicial de 23 ms aproximadamente, estableciendo este valor como el valor del tiempo inicial de los *up-hole*.

Una vez corregido el tiempo del *up-hole* en cada sección sísmica se establecieron las primeras llegadas para las ondas P (figura 3.20) y para las ondas S, empleando la aplicación del REFLEXW, marcando el inicio de la primera ondicula en cada tren de onda correspondiente a la onda P y el correspondiente a la S, en cada sección sísmica.

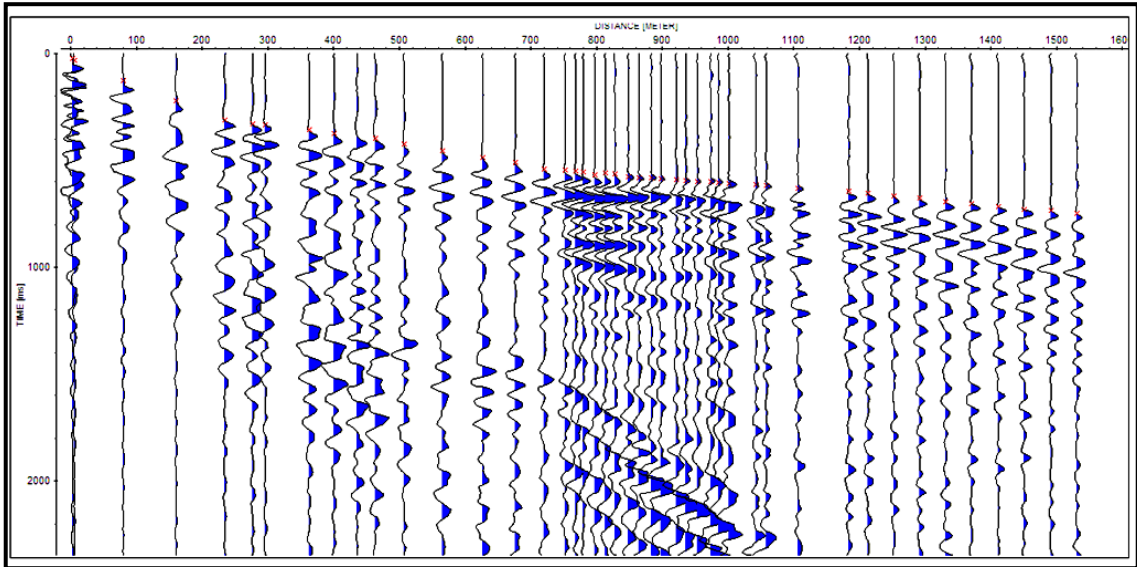


Figura 3.20. Primeras llegadas de onda P perfil Aeropuerto, disparo 1.

A partir de las primeras llegadas, se cálculo las velocidades aparentes, usando el módulo de análisis de velocidades del Reflex, como muestra la figura 3.21:

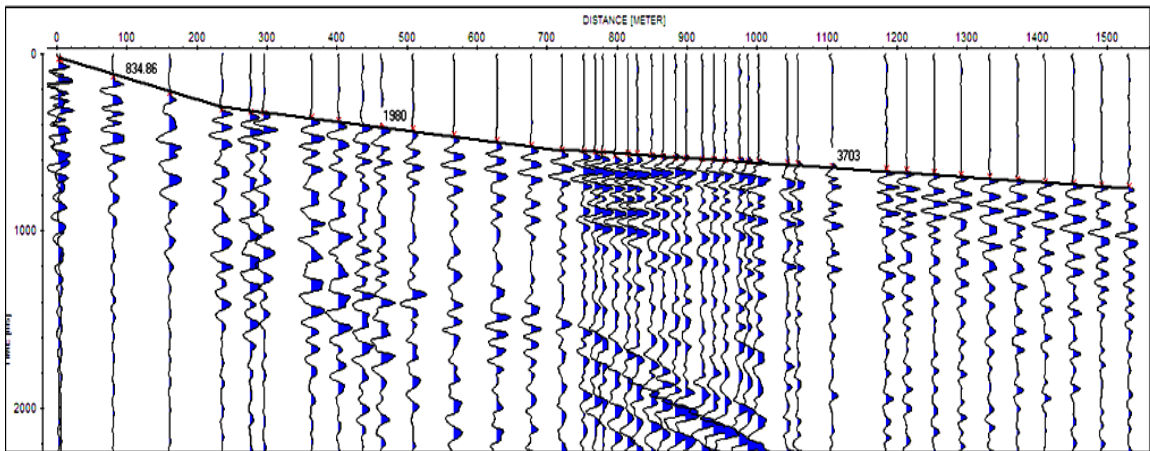


Figura 3.21. Calculo de velocidades aparentes perfil Aeropuerto, disparo 1.

Una vez seleccionadas las primeras llegadas en las secciones sísmicas de un mismo perfil se procedió a establecer el control del tiempo (figura 3.22), usando el modulo de análisis del tiempo de viaje 2D del reflex, para de esta manera verificar la condición de reciprocidad y paralelismo.

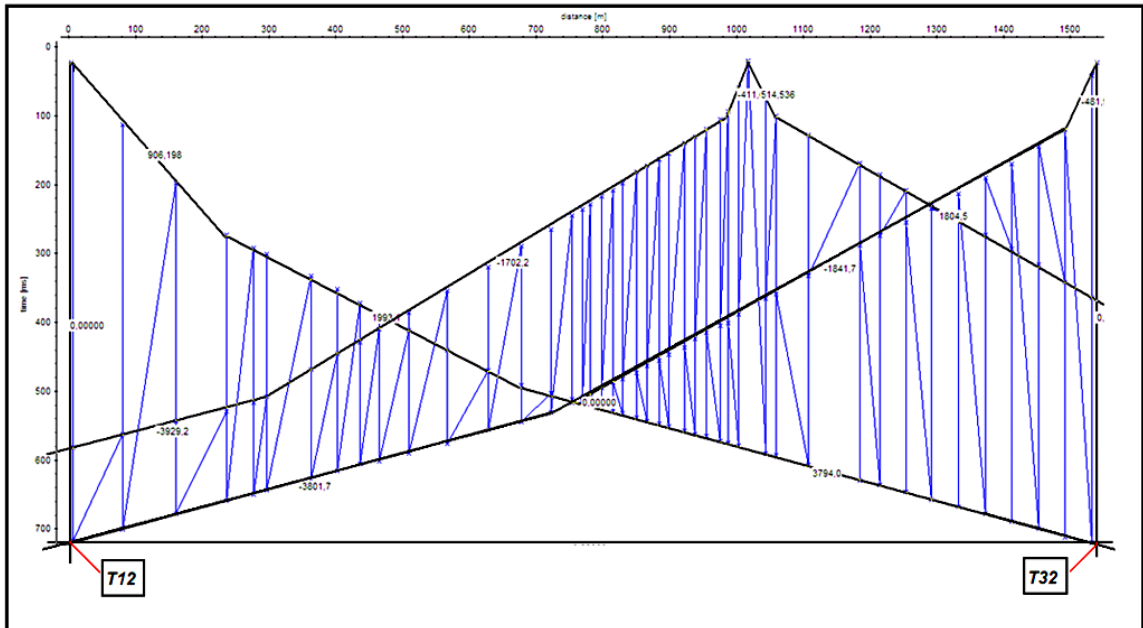


Fig. 3.22. Control del tiempo perfil Aeropuerto, disparo 1 ondas P.

Como se puede observar en la grafica anterior el T12 (tiempo disparo 1, capa 2) es igual al tiempo T32, lo que cumple con la condición de reciprocidad ya que se toma el tiempo en las respectivas distancias, el disparo 1 y el disparo 3 son simétricos entre si, también podemos observar la condición de paralelismo entre las pendientes que describen la velocidad de una misma capa. Al finalizar el control del tiempo en cada perfil, se importaron los datos de primeras llegadas de las secciones sísmicas a formato ASCII-columns, esto con la finalidad de poder crear los archivos que se utilizaron para poder correr el programa RAYNVR, (Zelt y Smith, 1992) bajo ambiente LINUX, donde se generaron los modelos de los perfiles.

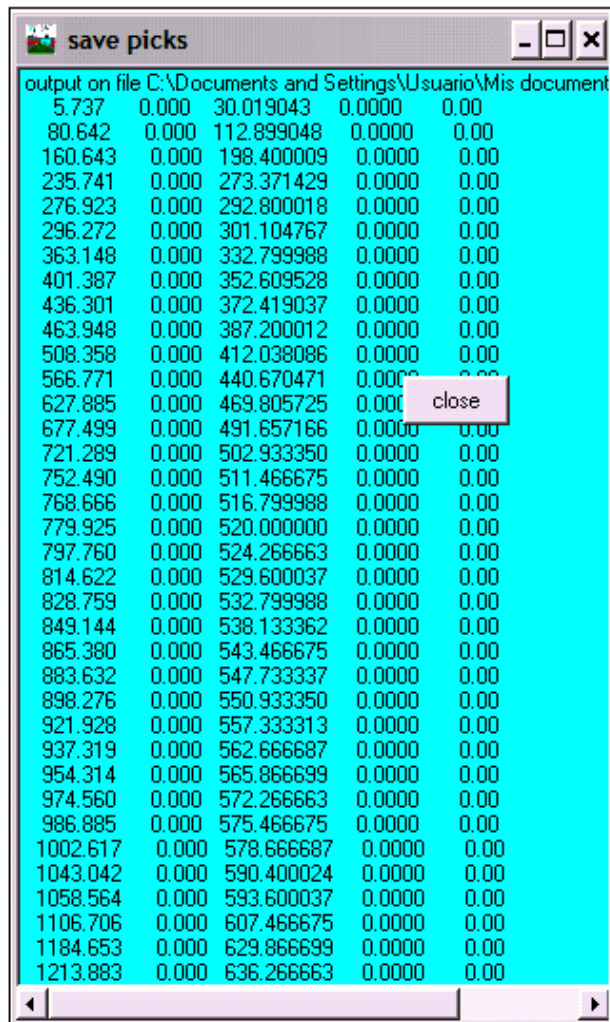


Figura 3.23. Análisis de tiempos de llegada, formato ASCII, primeras llegadas perfil Aeropuerto, disparo 1 ondas p.

### 3.2.2 Secciones sísmicas generadas por los Geodes.

Los datos registrados por el sismógrafo eran de extensión .SEG2 y se importaron a .SEGY, a través del programa Reflex, como muestra en la figura 3.24:

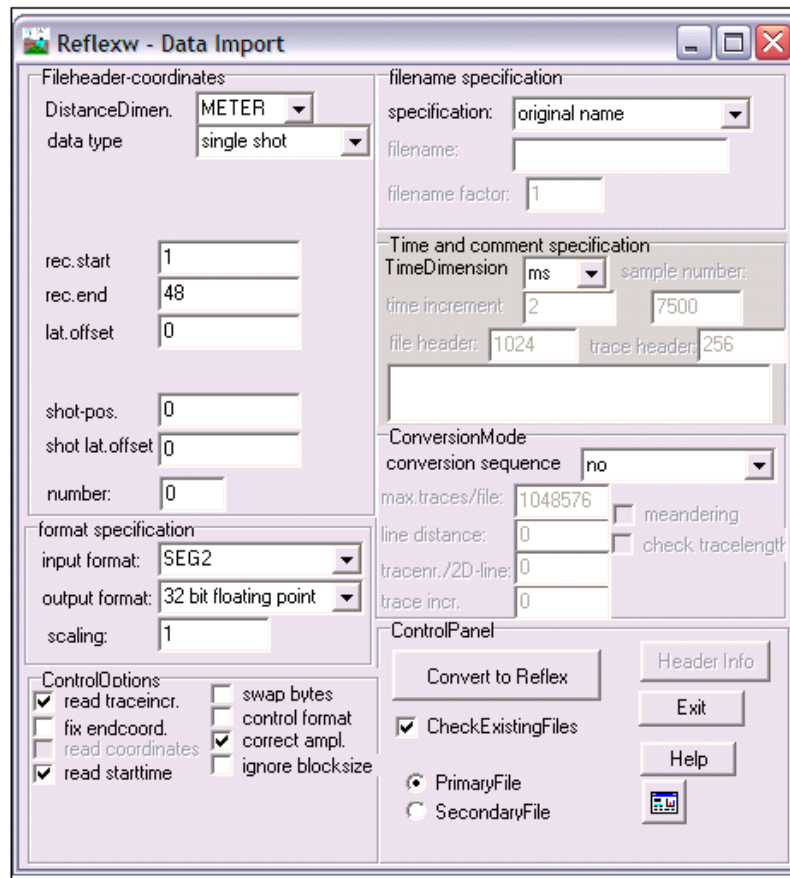


Figura 3.24. Ventana del reflex para la conversión de .SEG2 a .SEGY.

A partir de las mediciones hechas por el GPS diferencial sobre la ubicación de los geófonos inicial y final en cada cable sismográfico conectado al Geodes, se interpolaron entre si los valores de longitud y latitud para determinar de forma teórica la ubicación de cada geófono entre el inicial y final como lo muestran las tablas 3.6 y 3.7:

Tabla 3.6. Ejemplo de valores adquiridos por el GPS diferencial al norte del perfil Aeropuerto.

<b><i>Estación</i></b>	<b><i>Longitud</i></b>	<b><i>Latitud</i></b>
p1	617261,8	1124040
2968	617265,2	1124035
g1	617265,2	1124035
2961	617288,8	1123964
g24	617301,8	1123926

Tabla 3.7. Cálculo para la interpolación de los geófonos entre g1 y g24 del Geode más al norte, perfil Aeropuerto.

<b>Geode al Norte</b>						
<b>Geofonos</b>	<b>Dif. De Long.Gi-Gf</b>	<b>Dif. De Lat.Gi-Gf</b>	<b>Dist. Entre Gi-Gf</b>	<b>Dist. Entre Geofonos</b>	<b>Dif. De Long.en geofonos</b>	<b>Dif. De Lat.en geofonos</b>
G1 al G24	-36,53761	108,88698	114,8536954	4,993638933	1,588591739	4,734216522

Al determinar la ubicación geográfica de cada geófono a lo largo del primer cable sísmico se realizó el mismo procedimiento explicado anteriormente en los Texan, para determinar la distancia de cada geófono con respecto al punto inicial del perfil (tabla 3.8), para luego poder crear el header para cada sección sísmica generada por los Geode.

Tabla 3.8. Cálculo de la distancia del g1 hasta g21 del Geodes al norte, perfil Aeropuerto.

<b>Geodes al Norte</b>			
<b>Geófonos</b>	<b>Longitud E</b>	<b>Latitud N</b>	<b>Distancia a D=0 (m)</b>
1	617265,239	1124035,201	5,737
2	617266,828	1124030,467	10,731
3	617268,416	1124025,733	15,724
4	617270,005	1124020,999	20,718
5	617271,59	1124016,264	25,712
6	617273,186	1124011,53	30,705
7	617274,771	1124006,796	35,699
8	617276,359	1124002,062	40,692
9	617277,948	1123997,328	45,686
10	617279,536	1123992,593	50,680
11	617281,125	1123987,859	55,673
12	617282,714	1123983,125	60,667
13	617284,302	1123978,391	65,661
14	617285,891	1123973,657	70,654
15	617287,479	1123968,922	75,648
16	617289,068	1123964,188	80,642
17	617290,657	1123959,454	85,635
18	617292,245	1123954,72	90,629
19	617293,834	1123949,985	95,622
20	617295,422	1123945,251	100,616
21	617297,011	1123940,517	105,610

Para la unión de las secciones sísmicas obtenidas por los Geodes con las generadas por los Texan, se tomaron en cuenta las llegadas de onda p de los Texan y las llegadas de ondas p de los Geodes, llevando el tiempo de los Geodes al tiempo de los Texan, en aquellas trazas donde existió solapamiento entre el Texan y el Geodes.

En aquellos casos en donde se hizo difícil determinar las primeras llegadas de onda p en el Geode estas se calibraron con la sección sísmica generada por los Texan a partir del tiempo de llegada de las ondas s.

### 3.3 Procesamiento de los modelos 2D del subsuelo.

En cada perfil se utilizaron las de primeras llegadas de las secciones sísmicas en formato ASCII-columns y se crearon tres archivos: tx.in, r.in y v.in que se utilizaron para poder correr el programa RAYNVR, bajo ambiente LINUX, donde se generaron los modelos de los perfiles. El archivo tx.in (figura 3.25) está conformado por un número de listas, que dependerán de la cantidad de disparos realizados sobre el perfil, cada lista contiene las distancias de los receptores sobre el perfil con su respectivos tiempos de primera llegada observado en la traza asociada a cada receptor, así como la ubicación del up-hole sobre el perfil.

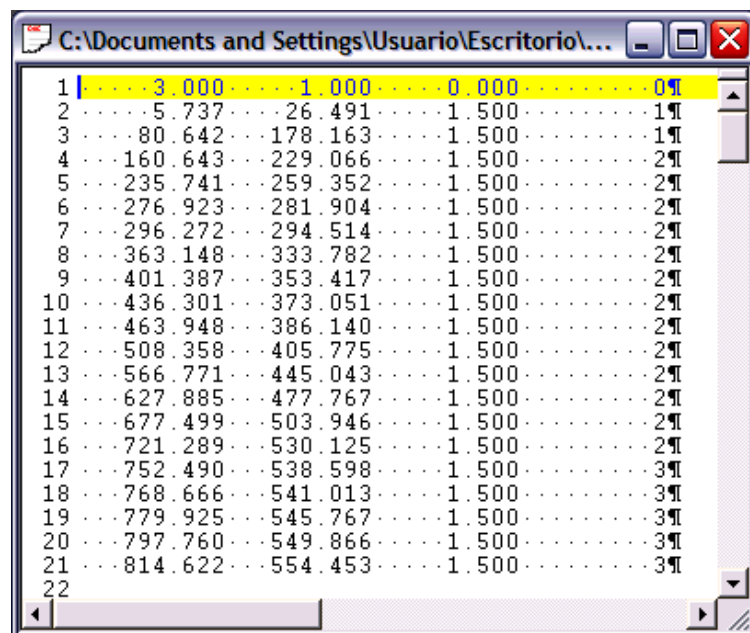


Figura 3.25. Muestra del archivo tx.in del perfil Aeropuerto.

El archivo r.in (figura 3.26) contiene el programa de entrada conformado por cinco parámetros:

- PLTPAR: contiene parámetros relacionados con el ploteo.
- AXEPAR: contiene parámetros relacionados con los ejes.
- TRAPAR: contiene parámetros relacionados con la trayectoria de los rayos.
- INVPAR: contiene parámetros relacionados con la inversión.

```

1  ..&pltpar  .isep=0, .itx=1, .idata=1, ¶
2  .....imod=1, .irays=2, ¶
3  .....xwindow=260, .ywindow=170, ¶
4  .....ircol=3, .itcol=1, .ifcol=1, .ibcol=1, ¶
5  .....iroute=2, .idot=0, .ibreak=1, ¶
6  .....itxout=3, .isum=3, .vred=0, ¶
7  .....dymax=1, .ivel=0, .itxbox=0, ¶
8  .....iplot=2, .idump=1, .ibnd=1, .symht=1.1, ¶
9  .....modout=1, .dxmod=20, .dzmod=10, .colour=2,4,6,3 ¶
10 ¶
11  ..&end¶
12  ..&axepar  .xmin=0, .xmax=1540, .xmm=230.0, ¶
13  .....xtmin=0, .xtmax=1540, .ntickx=10, ¶
14  .....zmin=0, .zmax=500, .zmm=60, ¶
15  .....tmin=0, .tmax=800, .tmm=70, ¶
16  .....albht=3.5, .orig=15, .sep=8.5, ¶
17  ..&end¶
18  ..&trapar  .imodf=1, .ibsmth=2, .i2pt=1, .n2pt=80, .x2pt=1, ¶
19  .....ishot=1,2,-1 .xshot=3, 1016.773,1539.748, ¶
20  .....ray=1.1,2.1,3.1,4.1 ¶
21  .....nsmax=30, .idiff=1, ¶
22  .....nray=100,40,80, ¶
23  .....space=1.0,1.0,1.0, .ifast=1, ¶
24  .....amin=10, .aamin=0.25, ¶
25  .....amax=50, .aamax=50, ¶
26  ..&end¶
27  ..&invpar  .invr=1, ¶
28  .....ivray=1,2,3,4, ¶
29  ..&end¶
30

```

Figura 3.26. Archivo r.in.

El archivo v.in, contiene el modelo de velocidad, como se puede apreciar en la figura 3.27, donde el numero de columnas del archivo dependerá de la cantidad de nodos establecidos en el modelo, quienes serán puntos de control; las filas están relacionadas con la cantidad de capas propuestas en el modelo, cada capa viene representada por 3 tríos de filas, la primera fila en cada trío indica la distancia (m) del nodo sobre el perfil,

la segunda fila del primer trío indica los valores de profundidad de la interfase superior a la capa; la segunda fila del segundo trío indica los valores de velocidad (km/s) en la interfase superior de la capa; la segunda fila del tercer trío indica los valores de velocidad (km/s) en la interfase inferior de la capa; la ultima fila de los tríos compuesta de ceros son mecanismo de control al momento de correr el programa los ceros impiden que el programa haga aproximaciones por si mismo modificando los valores dentro del modelo, en el caso que se desee permitir lo antes mencionado debe reemplazarse el cero por el uno en aquel nodo en que se desee permitir esta acción, la penúltima fila contiene el valor (m) del punto inicial y final del perfil la ultima línea indica la máxima profundidad alcanzada en el modelo.

```

1 1 0.00 200.00 700.00 1250.00 1540.00
2 0 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
3 0 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
4 1 0.00 200.00 700.00 1250.00 1540.00
5 0 0.35 0.38 0.38 0.38 0.38
6 0 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
7 1 0.00 200.00 700.00 1250.00 1540.00
8 0 0.49 0.48 0.48 0.48 0.48
9 0 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
10 2 0.00 200.00 700.00 1250.00 1540.00
11 0 25.00 25.00 20.00 15.00 10.00
12 0 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
13 2 0.00 200.00 700.00 1250.00 1540.00
14 0 1.60 1.60 1.60 1.60 1.60
15 0 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
16 2 0.00 200.00 700.00 1250.00 1540.00
17 0 2.20 2.20 2.20 2.20 2.20
18 0 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
19 3 0.00 200.00 700.00 1250.00 1540.00
20 0 290.00 280.00 260.00 250.00 240.00
21 0 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
22 3 0.00 200.00 700.00 1250.00 1540.00
23 0 3.40 3.45 3.65 3.60 3.65
24 0 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
25 3 0.00 500.00 1000.00 1250.00 1540.00
26 0 4.10 4.10 4.10 3.95 4.10
27 0 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
28 4 0.00 1540.00
29 0 500.00 500.00
30

```

Figura 3.27. Archivo v.in.

Al momento de construir los modelos se fueron variando los valores de velocidad en las distintas interfases así como las profundidades de las interfases superiores a las capas, para poder ajustar el modelo de la manera mas optima, las primeras llegadas son reflejadas dentro del modelo por puntos cuyo colores varían según la capa a la cual estén asociados y los valores dentro del modelo están representadas por rectas, la finalidad del modelado es poder hacer coincidir la rectas sobre los puntos de la manera más exacta posible como muestra en la figura 3.28:

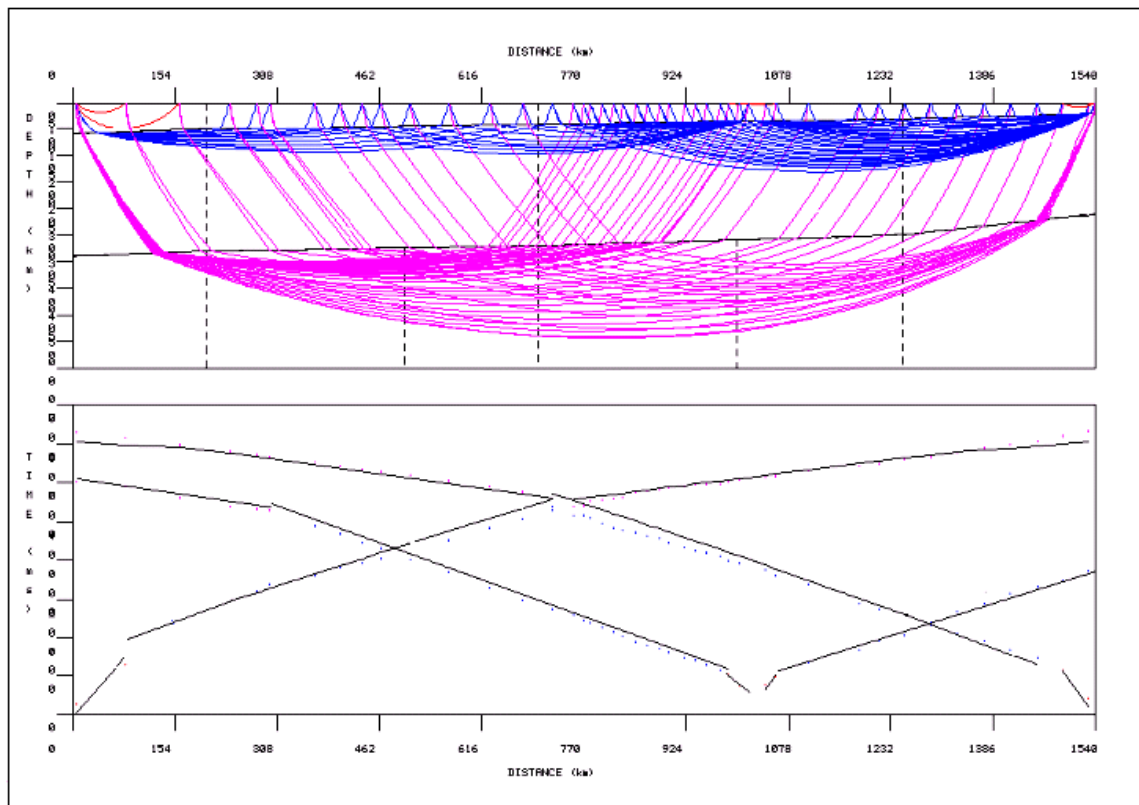


Figura 3.28. Ejemplo del Modelo de Velocidades del perfil Aeropuerto.

## **CAPÍTULO IV.**

### **RESULTADOS Y ANÁLISIS.**

Para cada perfil, se muestra el modelo bidimensional obtenido de ondas P y de ondas S, así como una sección sísmica relacionada con el disparo 1 de cada perfil, esto con la intención de poder ilustrar la selección de las primeras llegadas que generaron los modelos; el resto de las secciones sísmicas generadas tanto para los Texan como los Geodes se encuentran en el anexo 1 y 2, respectivamente. En estas secciones sísmicas se pueden apreciar la selección de los tiempos de llegada para ondas P y ondas S así como las fases obtenidas en cada disparo de cada perfil

El modelo de velocidades de onda S, se construyó basado en la estructura del modelo de velocidades de onda P y ajustando los valores de velocidad hasta hacerlos coincidir con las fases identificadas en las secciones sísmicas, ya que las observaciones de las ondas S en la mayoría de los perfiles no tienen la densidad suficiente para la determinar las diferentes fases a lo largo de la sección sísmica generada en cada disparo, debido a que la parte central de los perfiles los geófonos usados son de componente vertical. Para el análisis de ondas P se utilizó únicamente las trazas generadas por los texan y en análisis de ondas S se tomaron en cuenta tanto las trazas generadas por los texan como las generadas por los Geodes.

#### **4.1 Perfil Ciudad Plaza.**

##### **4.1.1. Modelo bidimensional de ondas P.**

El perfil tiene una longitud de 1530 m. aproximadamente con 4 disparos (figura 4.1).

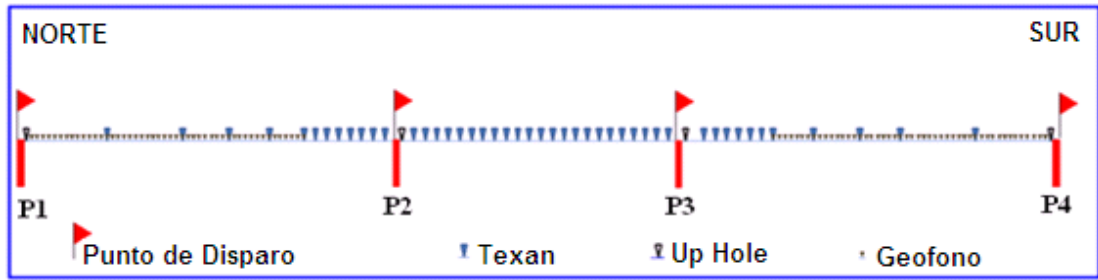


Figura. 4.1. Esquema del perfil Ciudad Plaza.

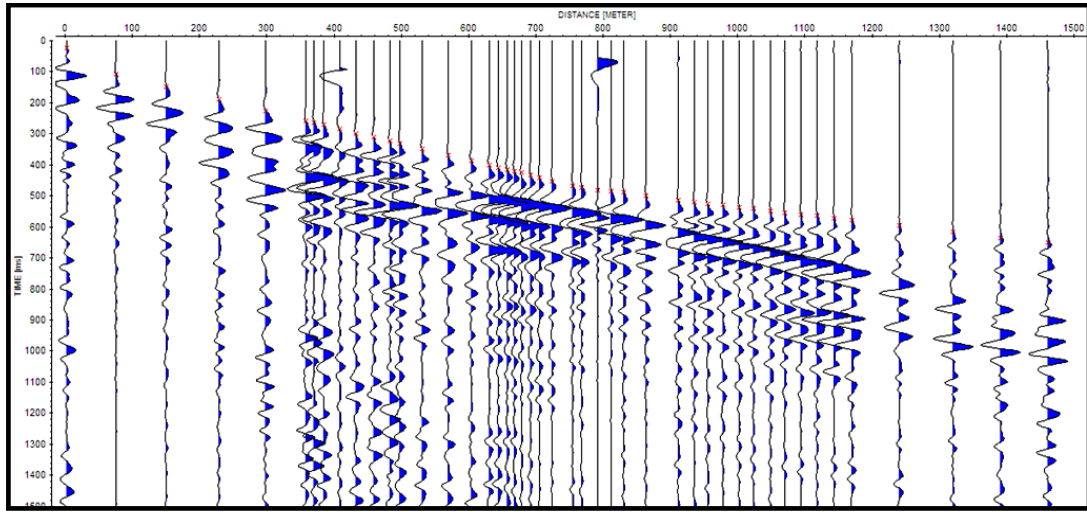


Figura. 4.2. Sección sísmica y primeras llegadas de ondas P, disparo 1.

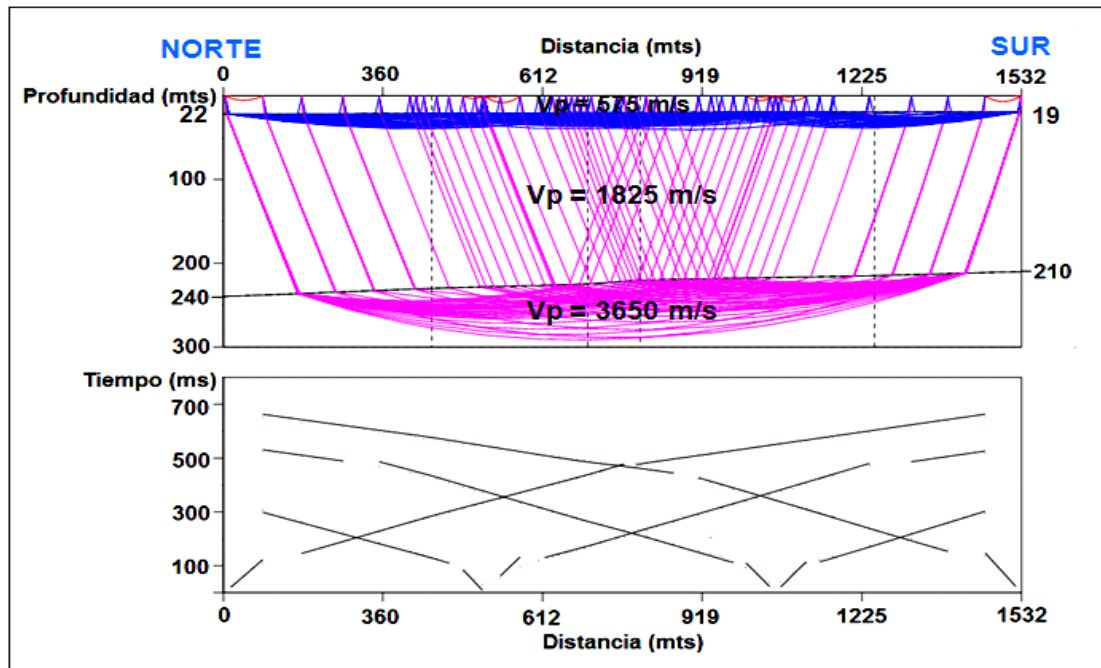


Figura 4.3. Modelo bidimensional de ondas P, perfil ciudad plaza.

## **4.1.2 Análisis de Ondas P en las secciones sísmicas.**

### **4.1.2.1 Disparo 1**

Este disparo (figura 4.2) se encuentra ubicado en la parte inicial hacia el norte del perfil, se observan 3 fases hacia el sur, la primera desde el punto de disparo hasta 75 m aproximadamente, con registros de tiempo de 23 ms y 113 ms respectivamente con una velocidad aparente de 779 m/s; la segunda se observa entre 75 m hasta 790 m aproximadamente, con tiempos de llegada de 113 ms y 484 ms respectivamente y una velocidad aparente de 1913 m/s; la tercera fase se observa entre los 790 m y 1463 m, con registros de tiempo de 484 ms y 655 ms respectivamente y con una velocidad aparente de 3904 m/s.

### **4.1.2.2 Disparo 2**

Este disparo se encuentra ubicado aproximadamente a 500 m hacia el sur, se observan dos fases hacia el norte, desde el punto de disparo hasta 67 m aproximadamente, con tiempos de llegada de 23 ms y 116 ms respectivamente y una velocidad aparente de 687 m/s; y en una longitud aproximada entre 67 m y 425 m, con tiempos de llegada de 116 ms y 309 ms respectivamente, con una velocidad aparente de 1828 m/s. Hacia el sur del perfil se observa 3 fases, la primera entre la posición del disparo y 570 m con tiempos de registro de 23 ms y 105 ms y una velocidad aparente de 893 m/s, la segunda se observa entre los 69 m hasta 739 m aproximadamente con un registro del tiempo de 105 ms y 467 ms y con una velocidad aparente 1854 m/s y la tercera fase se observa entre los 739 m y 961 m aproximadamente con un registro de tiempo de 467 ms y 519 ms respectivamente y una velocidad aparente de 3888 m/s.

### **4.1.2.3 Disparo 3**

Este disparo se encuentra ubicado a 1059 m hacia el sur del perfil, se observan 3 fases hacia el norte del perfil, la primera desde el punto de disparo hasta 56 m

aproximadamente con tiempos de llegada de 23 ms y 94 ms respectivamente con una velocidad aparente de 640 m/s; la segunda fase se observa en una longitud aproximada entre 56 m y 702 m, con tiempos de llegada de 94 ms y 447 ms respectivamente, con una velocidad aparente de 1875 m/s, y la tercera fase en una longitud aproximada entre 702 m/s y 985 m/s con tiempos de llegada de 447 ms y 518 ms respectivamente con una velocidad aparente de 3798 m/s. Hacia el sur del perfil se observan 2 fases, la primera desde el punto del disparo hasta 58 m, con tiempos de llegada de 23 ms y 106 ms respectivamente con una velocidad aparente de 610 m/s y la segunda se observa en una longitud aproximada entre de 50 m hasta 402 m con un tiempo de llegada de 106 m/s y 282 m/s respectivamente y una velocidad de 1842 m/s.

#### **4.1.2.4 Disparo 4**

Este disparo se encuentra ubicado a 1531 m al sur del perfil, se observan 3 fases hacia el norte, la primera fase desde el punto de disparo hasta 70 m aproximadamente, con registros de tiempo de 23 ms y 133 ms respectivamente y con una velocidad aparente de 575 ms; la segunda se logra observar entre 70 m hasta 667 m, con tiempos de llegada de 133 ms y 447 ms respectivamente con una velocidad aparente de 1908 m/s; finalmente se puede observa la tercera fase entre los 667 m y 1455 m, con registros de tiempo de 447 ms y 655 ms, con una velocidad aparente de 3810 m/s; se observa una guía de onda entre 138 m hasta 1171 m hacia el norte con un tiempo de llegada de 562 ms. y 3404 ms respectivamente con una velocidad aparente de 366 m/s., esta guía de onda pudiera estar representando la velocidad de la onda de aire.

#### **4.1.3 Análisis del modelo bidimensional.**

Las primeras llegadas analizadas anteriormente corresponden a las ondas directas y refractadas de los sedimentos de la cuenca del Lago de Valencia, y al basamento Rocoso, estas primeras llegadas evidenciaron un alto nivel de energía

En el modelo bidimensional del perfil Ciudad Plaza muestra la caracterización de 3 capas una primera capa con una velocidad promedio de 575 m/s relacionada a sedimentos poco consolidados de la cuenca del Lago de Valencia, la segunda capa con una velocidad promedio de 1825 m/s relacionada a sedimentos saturados y la tercera capa con una velocidad promedio de 3650 m/s relacionada al basamento rocoso perteneciente a esquistos de Las Mercedes, siendo esta la máxima velocidad observada. El espesor de sedimentos varía entre los 210 m y 240 m a lo largo del perfil, con un leve buzamiento hacia el norte.

#### 4.1.4. Modelo bidimensional de ondas S.

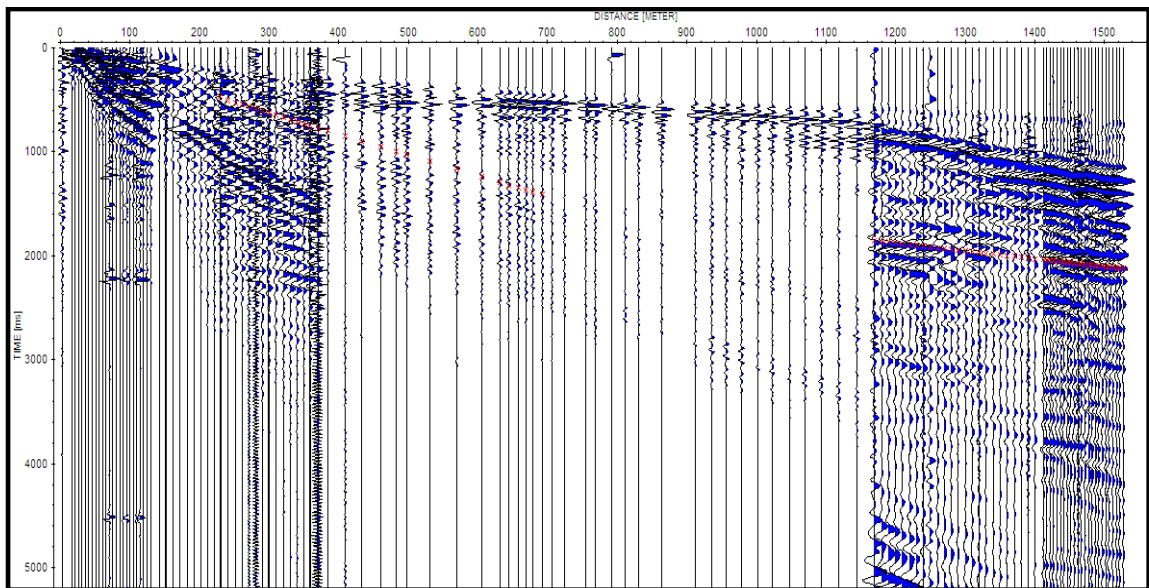


Figura 4.4. Primeras llegadas de ondas S, disparo 1.

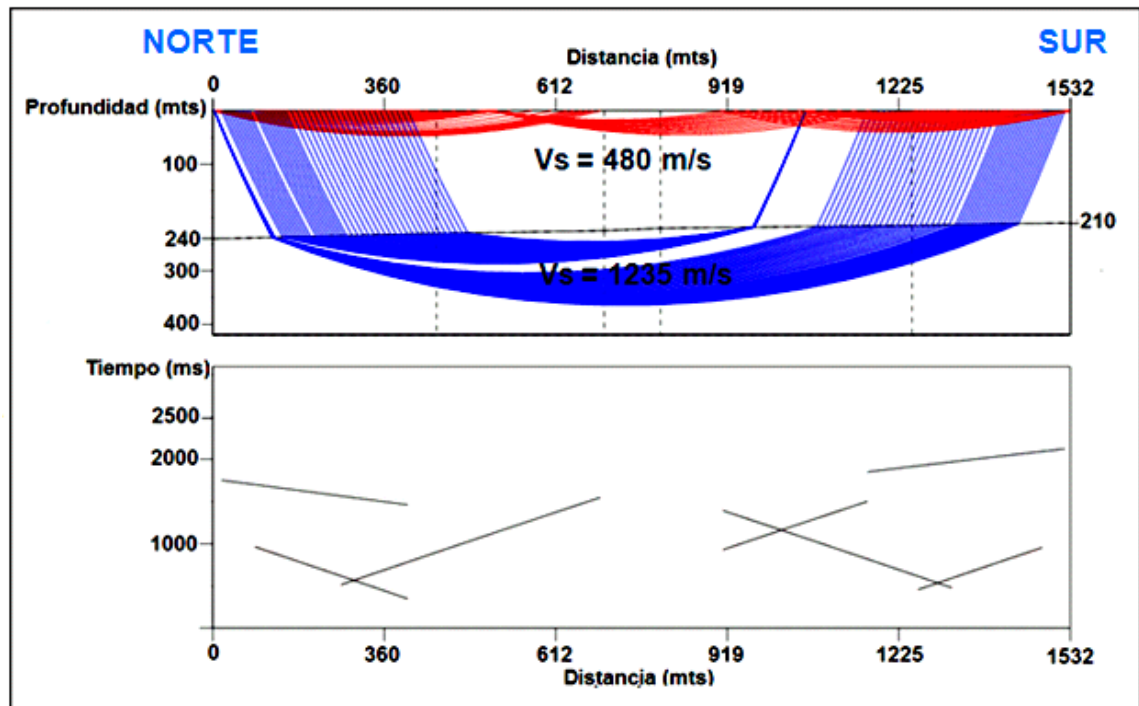


Figura 4.5. Modelo bidimensional de ondas S, perfil ciudad plaza.

#### 4.1.5. Análisis de ondas S en las secciones sísmicas.

##### 4.1.5.1. Disparo 1

Ubicado en la parte inicial del perfil, se puede observar, una fase entre los 227 m hasta los 368 m hacia el sur del perfil, en las trazas obtenidas por el Geode ubicado al norte; con un tiempo aproximado de llegada de 469 ms y 762 ms, respectivamente, con una velocidad aparente de 481 m/s, se observa una guía de onda entre los 171 metros y 362 metros hacia el sur del perfil con un tiempo de llegada 704 ms y 1387 ms a una velocidad aparente de 274 m/s, pudiendo estar relacionada con la velocidad de una onda superficial.

En las trazas generadas por el Geodes ubicado hacia el sur, se observa una segunda fase entre los 1170 m hasta 1527 m aproximadamente hacia el sur del perfil, con un registro de tiempo de 1891 ms y 2126 ms respectivamente, con una velocidad aparente de 1283 m/s.

En las trazas obtenidas de los Texan, se observa una fase hacia el sur del perfil entre los 384 m hasta 693 m aproximadamente, con un tiempo de llegada de 808 ms y 1434 ms respectivamente, con una velocidad aparente de 481 m/s, siendo esta fase la misma observada en los Geodes ubicado al norte, la relación señal/ruido en los Texan va disminuyendo hacia el sur, lo que dificulta distinguir las primeras llegadas de onda s.

#### **4.1.5.2. Disparo 2**

Este disparo se encuentra ubicado aproximadamente a 500 m hacia el sur, en las trazas generadas por el Geodes ubicado al norte se observa una fase entre 150 m y 429 m hacia el norte; con un tiempo aproximado de llegada de 374 ms y 978 ms respectivamente; con una velocidad aparente de 472 m/s se observa una guía de ondas entre 167 m y 573 m con dirección hacia el norte con unos registros de tiempo de 769 ms y 2008 ms respectivamente con una velocidad aparente de 260 m/s, lo que puede representar una onda superficial. En los Geodes ubicados al sur, se observa una fase entre 739 m y 1025 m aproximadamente hacia el sur del perfil, con un tiempo de llegada de 1532 ms y 1763 ms respectivamente con una velocidad aparente de 1314 ms, e las trazas generadas por los Texan, se observan una fase al sur del perfil entre los 412 m hasta 670 m, con un tiempo de llegada de 915 ms y 1456 ms respectivamente, con una velocidad aparente de 466 m/s.

#### **4.1.5.3. Disparo 3**

Este disparo se encuentra ubicado a 1059 m hacia el sur del perfil, se observa una fase hacia el norte en las trazas obtenidas del Geodes, entre 711 m y 1043 m con un tiempo de llegada de 1502 ms y 1775 ms respectivamente con una velocidad de 1223 m/s. Hacia el sur del perfil, se observa una fase en las trazas generadas por el Geodes entre 203 m hasta 433 m aproximadamente, con un registro de tiempo de 400 ms y 836 ms respectivamente, con una velocidad aparente de 533 m/s. También se observa una guía de onda entre 131 m y 468 m, con un tiempo de llegada de 812 ms y 2290 ms con una

velocidad aparente de 240 m/s, lo que pudiera representar la velocidad de onda superficial.

#### **4.1.5.4. Disparo 4**

Este disparo se encuentra ubicado a 1531 m al sur del perfil, hacia el norte se observa en las trazas generadas por los Texan, una fase entre 210 m y 619 m, con registros de tiempo de 498 ms y 1437 ms respectivamente con una velocidad aparente de 427 m/s. Las trazas generadas por el Geode ubicado al norte, poseen una relación/señal ruido muy baja lo que impide observar las primeras llegadas para onda S. Hacia el sur se observa una fase en las trazas obtenidas en el Geode entre 1187 m y 1516 m, con unos tiempos de llegada de 2321 ms y 2631 ms respectivamente con una velocidad aparente de 1048 m/s.

#### **4.1.6. Análisis del modelo bidimensional**

El modelo de velocidades de las ondas S se construyó basado en la estructura obtenida en el modelo de velocidades de ondas P ajustando los valores de velocidad hasta que coincidieran con las llegadas identificadas en las secciones sísmicas para las ondas S, por lo que las características estructurales reflejadas en el modelo de ondas P se mantienen en este modelo. La variación está en la determinación de las velocidades de ondas S, en el perfil Ciudad Plaza se distinguen 2 tipos de capas, la velocidad promedio para la primera capa es de 480 m/s y corresponde a sedimentos medianamente consolidados; la velocidad promedio de la segunda capa es de 1.235 m/s y esta asociada al basamento rocoso perteneciente a esquistos de Las Mercedes. El espesor de sedimentos varía entre los 210 m y 240 m a lo largo del perfil, con un leve buzamiento hacia el norte.

## 4.2 Perfil Aeropuerto.

### 4.2.1 Modelo Bidimensional de Ondas P.

Este perfil tiene una longitud de 1500 m aproximadamente con 3 disparos (figura 4.6).

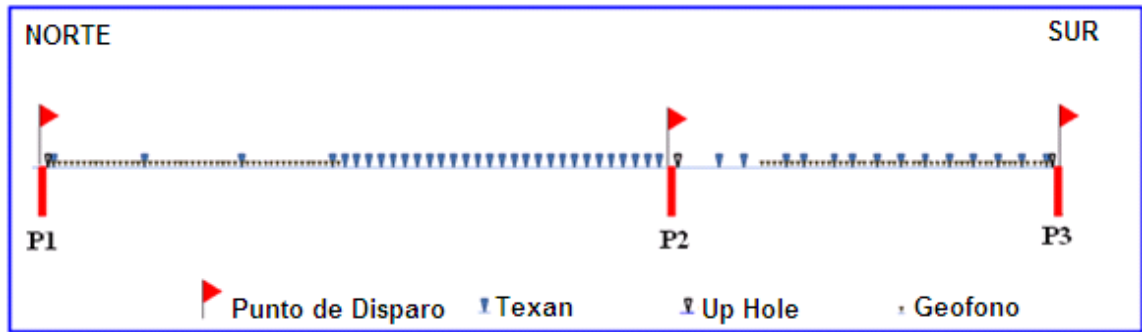


Figura 4.6. Esquema del perfil Aeropuerto.

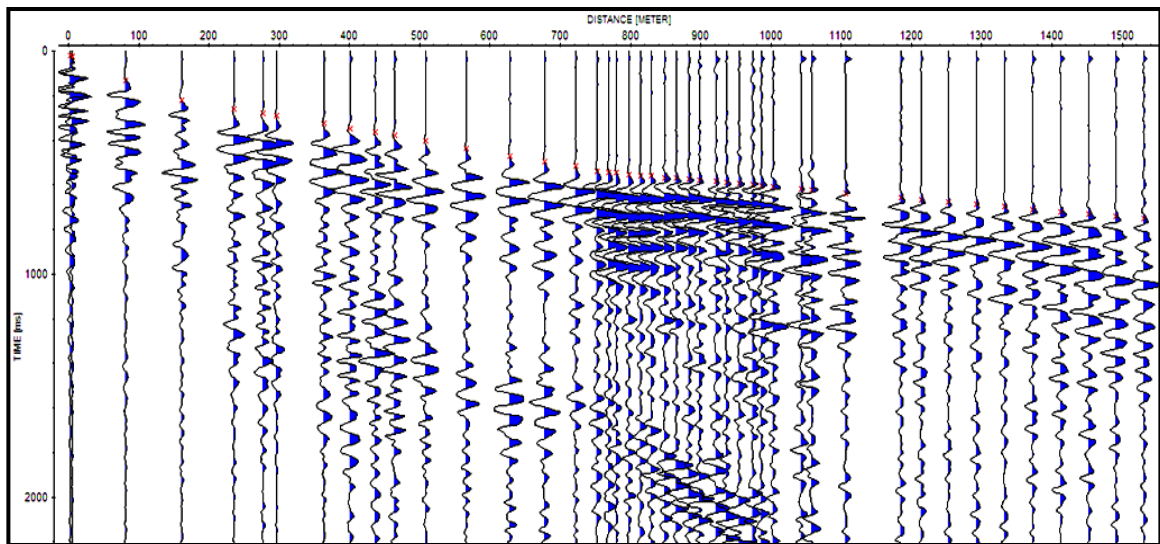


Figura 4.7. Primeras llegadas Sección sísmica de ondas P, disparo 1.

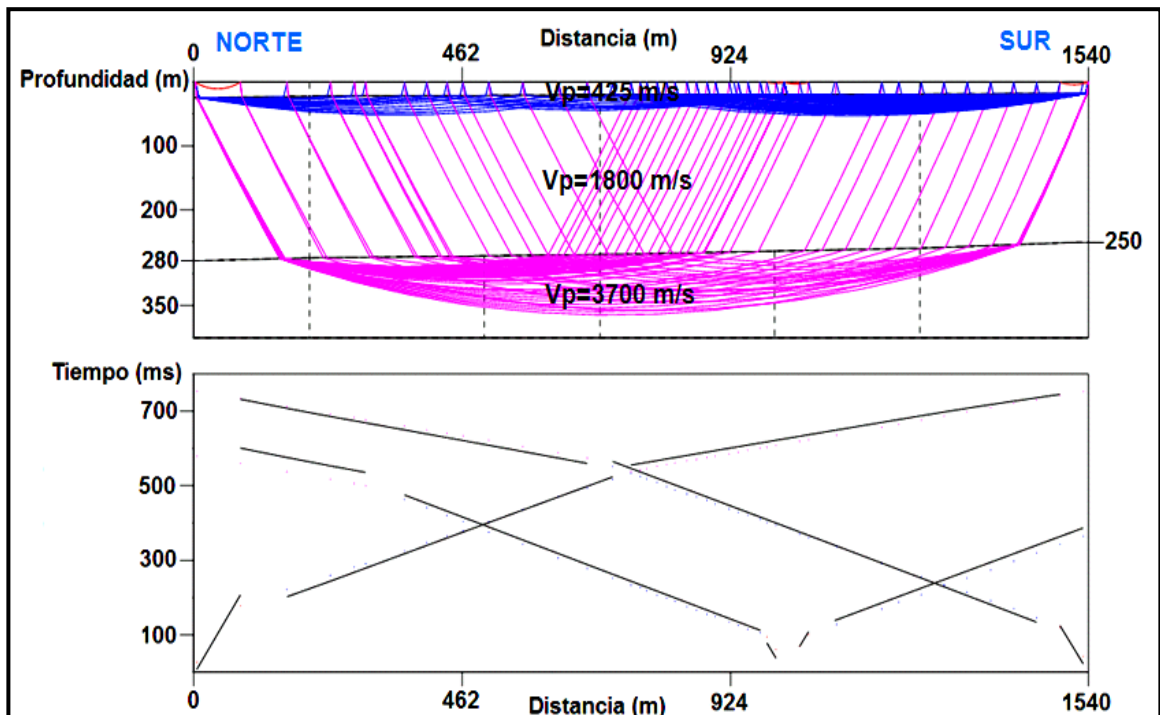


Figura 4.8. Modelo bidimensional ondas P, perfil aeropuerto.

## 4.2.2 Análisis de ondas P en la sección sísmica.

### 4.2.2.1 Disparo 1

Este disparo se encuentra ubicado en la parte inicial hacia el norte del perfil, se observa hacia el sur 3 fases, la primera entre el punto inicial del disparo y 78 m aproximadamente, con registros de tiempo de 23 ms y 184 ms respectivamente con una velocidad aparente de 467 m/s; la segunda se observa entre 78 m y 771 m con tiempos de llegada de 184 ms y 547 ms respectivamente con una velocidad aparente de 1881 m/s y la tercera entre los 771 m y 1493 m aproximadamente, con registros de tiempo de 547 ms y 736 ms con una velocidad aparente de 3763 m/s, siendo esta la mayor fase observada.

#### **4.2.2.2 Disparo 2**

Este disparo se encuentra ubicado a 1016 m hacia el sur del perfil, se observa hacia el norte 2 fases, la primera desde el punto de disparo hasta 42 metros aproximadamente con tiempos de llegada de 23 ms y 98 ms respectivamente y una velocidad aparente de 574 m/s, la segunda se observa entre 42 m y 515 m, con tiempos de llegada de 98 ms. y 358 ms. respectivamente con una velocidad aparente de 1816 m/s. Hacia el sur del perfil se observan 3 fases, la primera entre la posición del disparo y 30 m, con tiempos de llegada de 23 ms y 85 ms y una velocidad aparente de 407 m/s, la segunda entre los 30 m hasta 720 m con un registro del tiempo de 85 ms y 501 ms respectivamente, con una velocidad aparente 1635 m/s, y la tercera fase entre 720 m y 936 m con un registro de tiempo de 501 ms y 557 ms con una velocidad aparente de 3823 m/s, siendo esta la mayor fase observada.

#### **4.2.2.3 Disparo 3**

Este disparo se encuentra ubicado a 1.540 metros hacia el sur del perfil, se observan 3 fases hacia el norte, la primera entre el punto de disparo y 49 m aproximadamente. con tiempos de llegada de 23 ms y 119 ms respectivamente y una velocidad aparente de 470 m/s; la segunda entre 49 m y 862 m y con tiempos de llegada de 119 ms y 574 ms respectivamente, una velocidad aparente de 1779 m/s y la tercera fase entre 862 m y 1535m con tiempos de llegada de 574 ms y 748 ms respectivamente con una velocidad aparente de 3708 m/s, siendo esta la mayor fase observada.

#### **4.2.3 Análisis del modelo bidimensional.**

Las primeras llegadas analizadas anteriormente corresponden a las ondas directas y refractadas de los sedimentos de la cuenca del Lago de Valencia, y al basamento rocoso, estas primeras llegadas evidenciaron un alto nivel de energía.

En el modelo bidimensional del perfil Aeropuerto se muestra la caracterización de 3 capas, una primera capa con una velocidad promedio de 425 m/s relacionada a sedimentos pocos consolidados de la cuenca del Lago de Valencia, la segunda capa con velocidad promedio de 1800 m/s relacionada a sedimentos saturados y la tercera capa con una velocidad promedio de 3.700 m/s relacionada al basamento rocoso perteneciente a los esquistos de Las Mercedes, siendo esta la máxima velocidad observada. El espesor de sedimentos varía entre los 250 m y 280 m a lo largo del perfil, con un leve buzamiento hacia el norte.

#### 4.2.4 Modelo bidimensional de ondas S.

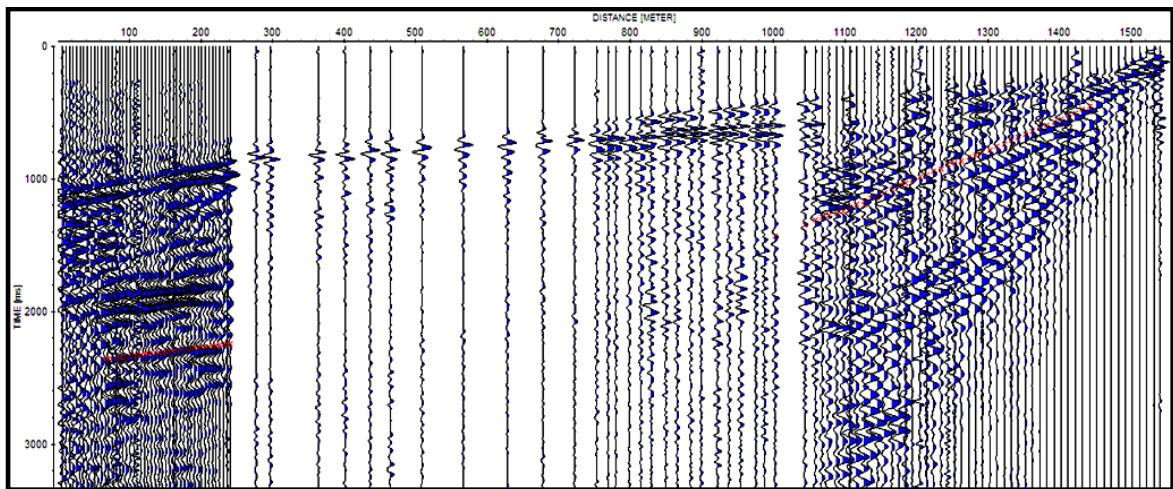


Figura 4.9. Sección sísmica primeras llegadas de ondas S, disparo 1.

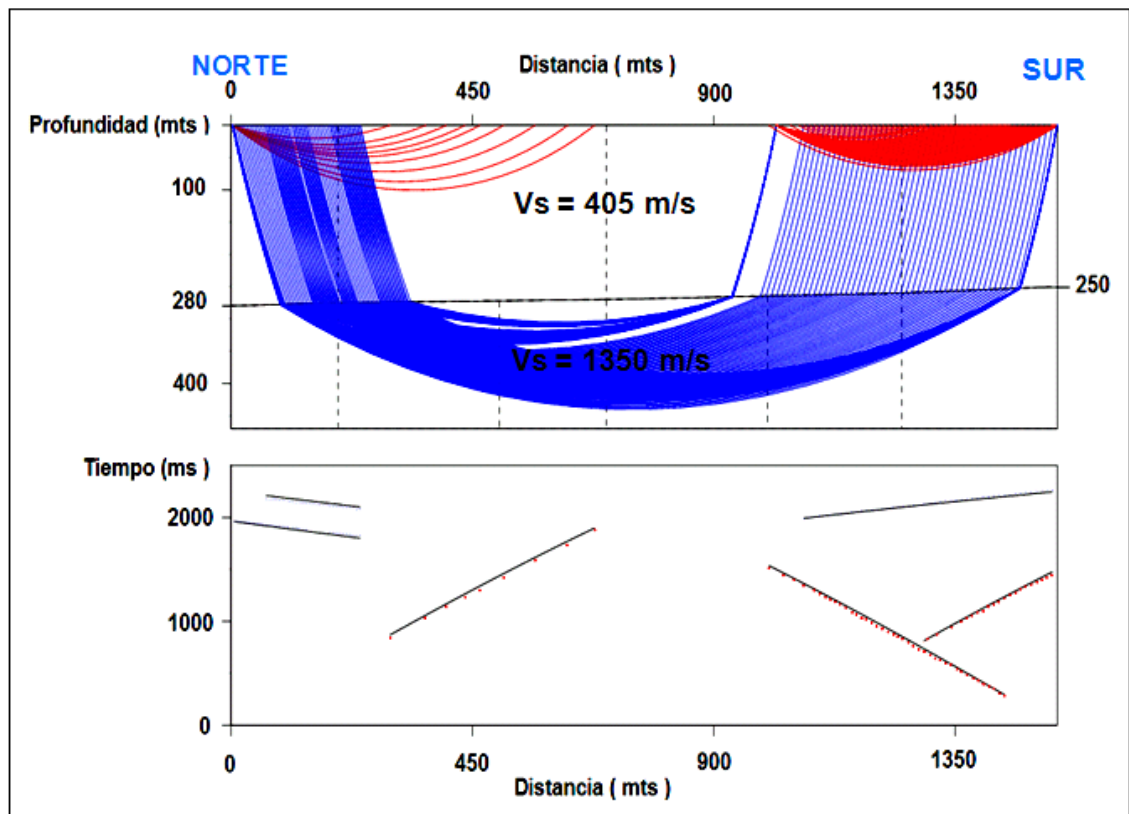


Figura 4.10. Modelo bidimensional ondas S, perfil aeropuerto.

#### 4.2.5 Análisis de ondas S en la sección sísmica.

##### 4.2.5.1 Disparo 1

Este disparo se encuentra ubicado en la parte inicial hacia el norte del perfil. En las trazas generadas por los texan, se observa una fase desde 297 m hasta 770 m hacia el sur, con un tiempo de llegada de 697 ms y 1556 ms. respectivamente, con una velocidad aparente de 509 m/s, la relación señal/ruido en los texan va disminuyendo hacia el sur, lo que dificulta distinguir las primeras llegadas de onda S. El Geodes ubicado hacia el norte del perfil, no obtuvo registros por error del operador al momento de grabar los datos. Se observa en las trazas generadas por el Geodes ubicado hacia el sur, una fase entre 1068 m hasta los 1533 m hacia el norte; con un tiempo aproximado de llegada de 2114 ms y 2460 ms respectivamente; con una velocidad aparente de 1310 m/s.

#### **4.2.5.2 Disparo 2**

Ubicado a 1016 m hacia el sur del perfil, se observa hacia el norte una fase en las trazas generadas por el Geodes entre 777 m hasta los 946 m, con un tiempo de llegada de 1935 ms y 2.055 ms respectivamente; con una velocidad aparente de 1354 m/s. se observa un claro tren de onda entre 777 m y 1008 m con dirección hacia el norte con unos registros de tiempo de 2069 ms y 2735 ms respectivamente con una velocidad aparente de 353m/s, lo que pudiera representar una onda superficial o la velocidad de onda de aire. No podemos afirmar que sea una onda de aire ya que, en la sección sísmica generada por los texan no se aprecia la onda de aire. Hacia el sur del perfil se observa una fase en las trazas generadas por el Geode entre 276 m hasta 515 m, hacia el sur del perfil, con un registro de tiempo de 901 ms y 1455 ms respectivamente, con una velocidad aparente de 412 m/s. En las trazas generadas por los texan no se logra apreciar las primeras llegadas de onda S.

#### **4.2.5.3 Disparo 3**

Este disparo se encuentra ubicado a 1540 m hacia el sur del perfil. Hacia En el norte se observan 2 fases, la primera en las trazas generadas por el Geodes ubicado al sur entre 98 m hasta 496 m aproximadamente, con un registro de tiempo de 400 ms y 1354 ms respectivamente, con una velocidad aparente de 429 m/s, la segunda en las trazas obtenidas del Geodes ubicado al norte entre 1299 m y 1474 m, con un registro de tiempo de 2240 ms y 2363 ms con una velocidad aparente de 1309 m/s.

#### **4.2.6 Análisis del modelo bidimensional.**

El modelo de velocidades de las ondas S se construyo basado en la estructura obtenida en el modelo de velocidades de ondas P, ajustando los valores de velocidad hasta que coincidieran con las llegadas identificadas en las secciones sísmicas para las ondas S, por lo que las características estructurales reflejadas en el modelo de ondas P se mantienen en este modelo, la variación está en la determinación de las velocidades de ondas S. En el perfil Aeropuerto, se distinguen 2 tipos de capas, cuya velocidad

promedio para la primera capa es de 405 m/s y para la segunda capa es de 1.350 m/s, en funcion de los valores de velocidad podemos asociar la primera capa a sedimentos medianamente consolidados y la segunda a basamento rocoso perteneciente a los esquistos de Las Mercedes. El espesor de sedimentos varía entre los 250 m y 280 m a lo largo del perfil, con un leve buzamiento hacia el norte.

### 4.3 Perfil Parque Metropolitano.

#### 4.3.1 Modelo bidimensional de ondas P.

Este perfil tiene una longitud de 1430 m aproximadamente con 4 disparos (figura 4.11)

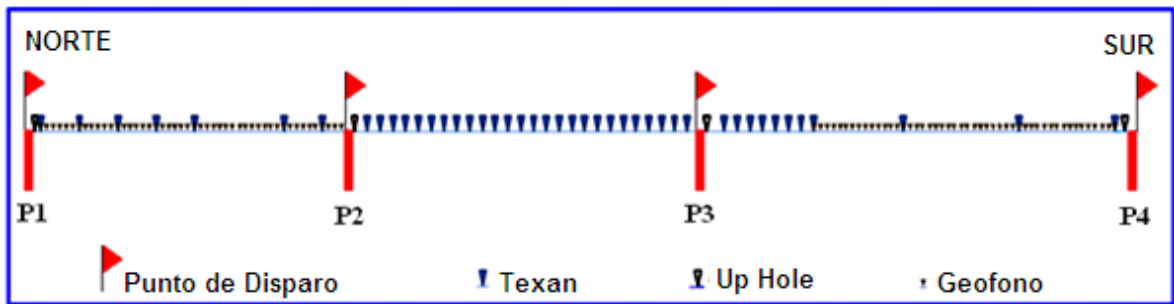


Figura 4.11. Esquema del perfil Parque Metropolitano.

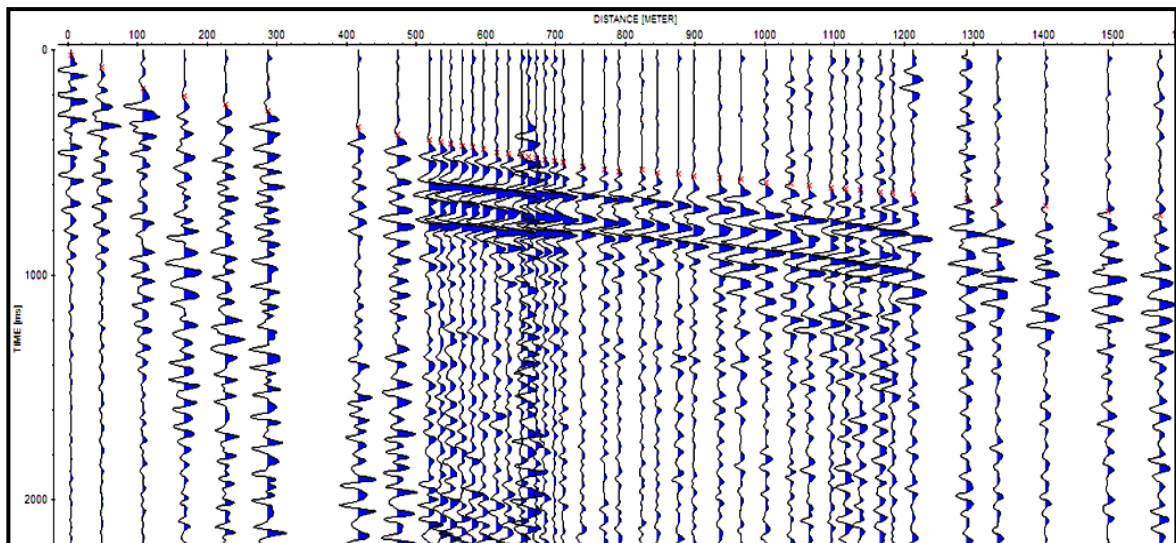


Figura 4.12. Sección sísmica primeras llegadas de ondas P, perfil Parque Metropolitano, disparo 1.

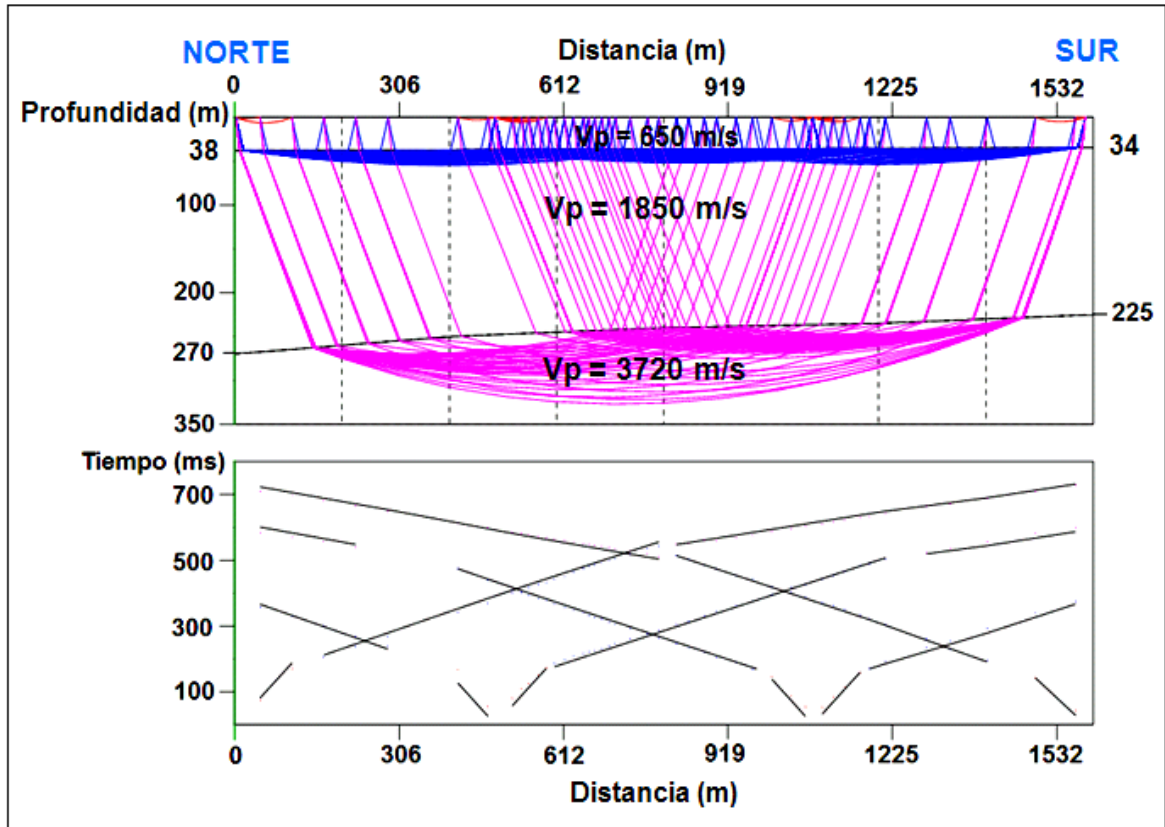


Figura 4.13. Modelo bidimensional ondas P, perfil parque metropolitano.

### 4.3.2 Análisis de ondas P en las secciones sísmicas.

#### 4.3.2.1 Disparo 1

Este disparo se encuentra ubicado en la parte inicial hacia el norte del perfil, se observan 3 fases hacia el sur, la primera desde el punto de disparo hasta 108 m, con registros de tiempo de 23 ms y 166 ms respectivamente con una velocidad aparente de 707 m/s; la segunda entre 108 m hasta 769 m, con tiempos de llegada de 532 ms y 1666 ms respectivamente, una velocidad aparente de 1802 m/s, y la tercera fase entre los 769 m y 1566 m con registros de tiempo de 532 ms y 737 ms respectivamente, con una velocidad aparente de 3804 m/s.

#### **4.3.2.2. Disparo 2**

Este disparo se encuentra ubicado a 486 m hacia el sur del perfil, se observan 2 fases hacia el norte, la primera desde el punto de disparo hasta 416 m con tiempos de llegada de 23 ms y 166 ms respectivamente con una velocidad aparente de 484 m/s; y la segunda fase entre 70 m y 443 m con tiempos de llegada de 166 ms y 356 ms respectivamente, una velocidad aparente de 1932 m/s. Hacia el sur del perfil se observan 3 fases, la primera entre la posición del disparo y 96 m con tiempos de registro de 23 ms y 171 ms con una velocidad aparente de 642 m/s, la segunda entre 96 m hasta 727 m con un registro del tiempo de 171 ms y 502 ms con una velocidad aparente 1900 m/s y la tercera fase entre 727 m y 1078 m con un registro de tiempo de 502 ms y 603 ms y una velocidad aparente de 3576 m/s.

#### **4.3.2.3 Disparo 3**

Este disparo se encuentra ubicado a 1079 m hacia el sur del perfil, se observan 3 fases hacia el norte , la primera desde el punto de disparo hasta 79 m aproximadamente, con tiempos de llegada de 23 ms y 145 ms respectivamente y una velocidad aparente de 642 m/s; la segunda entre 70 m y 664 m y con tiempos de llegada de 145 ms y 486 ms respectivamente, una velocidad aparente de 1716 m/s y la tercera fase entre 664 m y 1038 con tiempos de llegada de 486 ms y 586 ms respectivamente con una velocidad aparente de 3743 m/s. Hacia el sur del perfil se observan 2 fases, la primera desde el punto del disparo hasta 84 m, con tiempos de llegada de 23 ms. y 157 ms respectivamente con una velocidad aparente de 654 m/s y la segunda entre 84 m hasta 488 m con un tiempo de llegada de 157 ms y 371 ms respectivamente con una velocidad aparente de 1863 m/s.

#### **4.3.2.4 Disparo 4**

Este disparo se encuentra ubicado a 1585 m al sur del perfil, se observan 3 fases hacia el norte, la primera desde el punto de disparo hasta 92 m aproximadamente, con registros de tiempo de 23 ms y 142 ms respectivamente, con una velocidad aparente de 751 m/s;

la segunda se logra observar entre 92 m hasta 761 m, con tiempos de llegada de 142 ms y 512 ms respectivamente, con una velocidad aparente de 1798 m/s; la tercera fase se observa entre los 761 metros y 1.534 metros y con registros de tiempo de 512 ms y 711 ms hacia el norte del perfil, una velocidad aparente de 3.875 m/s.

#### 4.3.3 Análisis del modelo bidimensional.

Las primeras llegadas analizadas anteriormente corresponden a las ondas directas y refractadas de los sedimentos de la cuenca del Lago de Valencia, y al basamento rocoso, estas primeras llegadas evidenciaron un alto nivel de energía.

En el modelo bidimensional del perfil Parque Metropolitano muestra la caracterización de 3 capas una primera capa con una velocidad promedio de 650 m/s relacionada a sedimentos poco consolidados de la cuenca del Lago de Valencia, la segunda capa con una velocidad promedio de 1850 m/s relacionada a sedimentos saturados y la tercera capa con una velocidad promedio de 3720 m/s relacionada al basamento rocoso, siendo esta la máxima velocidad observada. El espesor de sedimentos varía entre los 225 m y 270 m a lo largo del perfil, con un leve buzamiento hacia el norte.

#### 4.3.4 Modelo Bidimensional de Ondas S.

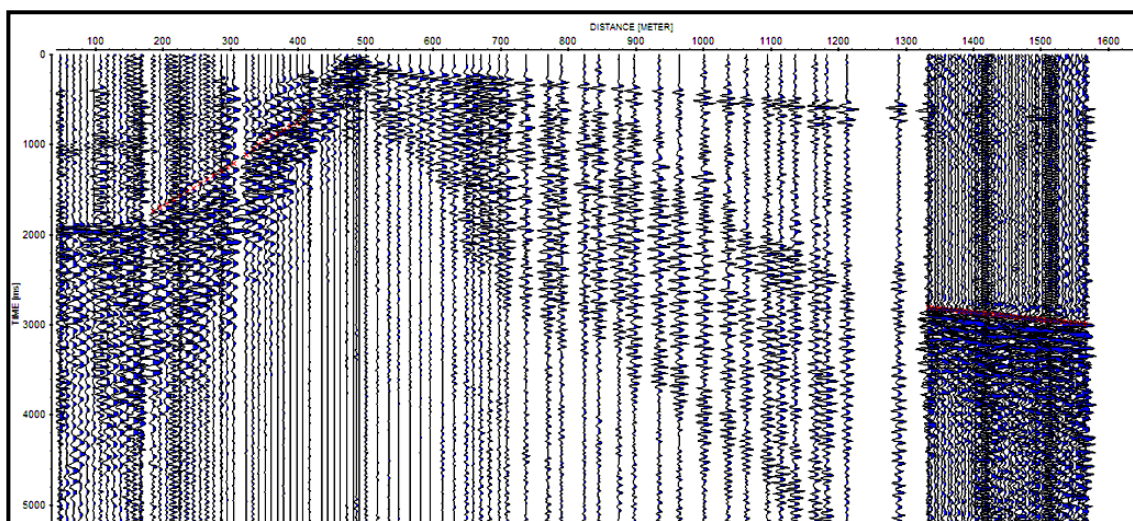


Figura 4.14. Sección sísmica de ondas s, parque metropolitano, disparo 1.

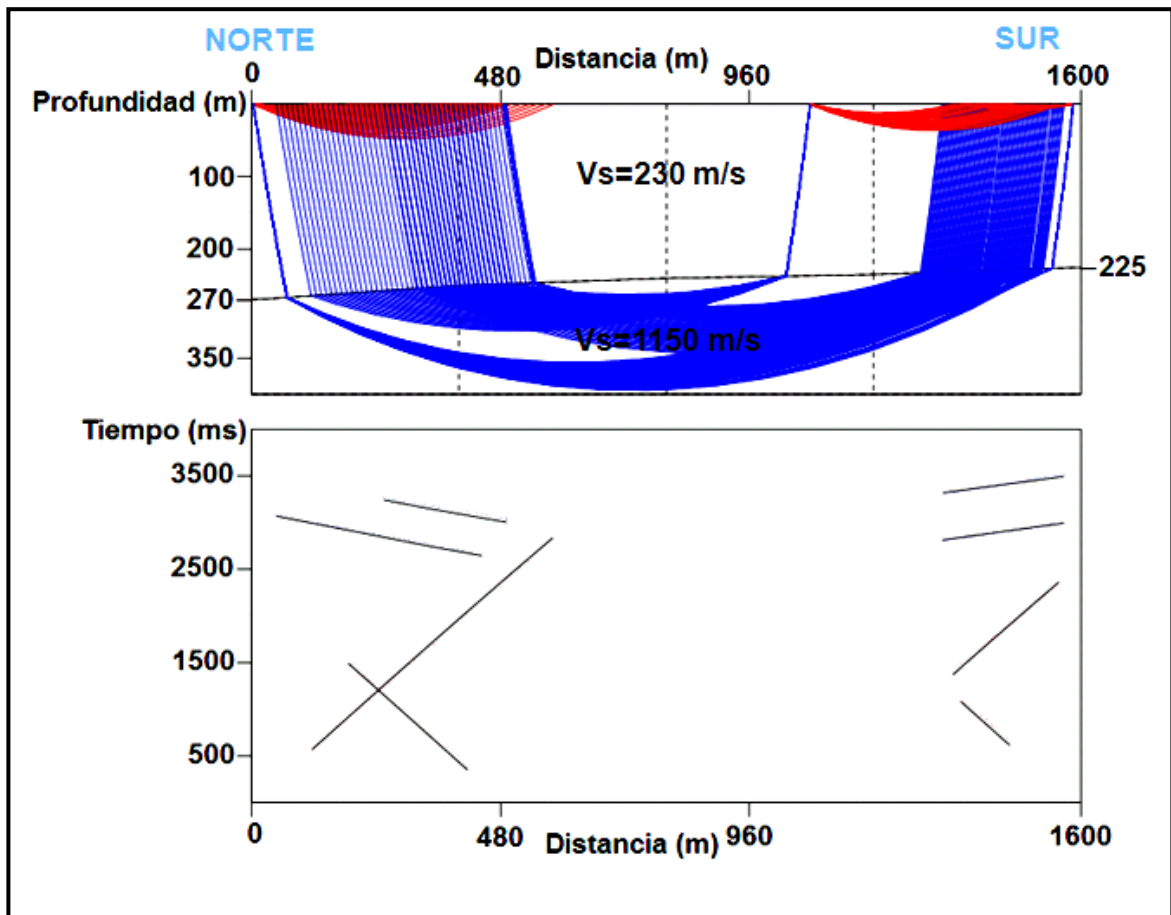


Figura 4.15. Modelo bidimensional ondas S, perfil parque metropolitano.

### 4.3.5. Análisis de Ondas S en las Secciones Sísmicas.

#### 4.3.5.1 Disparo 1.

Este disparo se encuentra ubicado en la parte inicial hacia el norte del perfil. Se puede observar, hacia el sur, en las trazas generadas por los Geode ubicados hacia el norte, un claro tren de onda relacionado con las primeras llegadas de ondas S, en una ubicación aproximada entre los 115 m hasta los 490 m con un tiempo de llegada de 785 ms y 2406 ms respectivamente con una velocidad aparente de 204 m/s; sin embargo, entre 315 m hasta 490 m al sur se observa una guía de onda con un tiempo de llegada entre 1620 ms y 1695 ms respectivamente, con una velocidad aparente de 1800 m/s, la cual pudiera ser una multiplicidad de la onda P, ya que tiene un valor muy parecido en la velocidad aparente obtenida en el modelo de onda P para la segunda capa, esta guía de onda no

puede ser relacionada con las primeras llegadas de onda S, ya que no coinciden con las interfases obtenidas en el modelo de onda P, donde en dirección hacia el sur del perfil, entre los 100 m y 790 m describe una capa con una velocidad aparente de 1.800 m/s.

En los Geodes ubicados hacia el sur, se observan primeras llegadas de onda S en una longitud aproximada entre 1334 m hasta 1567 m hacia el sur del perfil, con un tiempo de llegada entre 3.300 ms y 3520 ms respectivamente, con una velocidad aparente de 1056 m/s.

En los Texan, se observan unas primeras llegadas, de onda s en una longitud aproximada desde 165 metros hasta 740 metros hacia el sur del perfil, con un tiempo de llegada de 744 ms y 3576 ms respectivamente, con una velocidad aparente de 206 ms la relación señal/ ruido en los texan va disminuyendo hacia el sur, lo que dificulta distinguir las primeras llegadas de onda S.

#### **4.3.5.2 Disparo 2.**

Se puede observar, en las trazas obtenidas del Geode ubicado hacia el norte del perfil, un claro tren de onda relacionado con las primeras llegadas de ondas S, en una trayectoria de 70 m hasta 291 m hacia el norte , con un tiempo de llegada de 627 ms y 1707 ms respectivamente y con una velocidad aparente de 204 m/s; sin embargo, entre 330 m hasta 439 m hacia el norte se observa una guía de onda con un tiempo de llegada entre 1834 ms y 1890 ms respectivamente, con una velocidad aparente de 1913 m/s, esta guía de onda, no puede ser relacionada con las primeras llegadas de onda S por no coincidir con las fases determinadas en el modelo de onda P.

En los Geodes ubicados hacia el sur, se observan primeras llegadas de onda s en una longitud aproximada entre 846 metros hasta 1081 m, hacia el sur del perfil, con un tiempo de llegada de 2814 ms y 2991 ms respectivamente y con una velocidad aparente de 1366 m/s.

En los Texan, se observa una guía de onda entre 392 m y 726 m hacia el sur del perfil, con registros de tiempo de 1409 ms y 2207 ms con una velocidad aparente de 343 m/s, esta guía de onda puede estar relacionada a la onda de aire.

#### **4.3.5.3 Disparo 3**

Este disparo se encuentra ubicado a 1079 m hacia el sur del perfil, en las trazas obtenidas del Geode ubicado al norte, se puede observar el tren de onda relacionado con las ondas S, entre 635 m y 1032 m con un tiempo de llegada de 2673 ms y 3088 ms respectivamente con una velocidad aparente de 1087 m/s.

En los Geode ubicados hacia el sur, se observan primeras llegadas de onda s en una longitud aproximada entre 272 m hasta 480 m, hacia el sur del perfil, con un registro de tiempo de llegada de 1462 ms y 2277 ms respectivamente, con una velocidad aparente de 251 m/s.

En la sección generada por los Texan en el disparo 3, no se logra distinguir el tren de onda relacionado con las ondas S, solo se observa una guía de onda desde el punto de disparo hasta 1030 m hacia el norte del perfil, con un tiempo de llegada de 23 ms y 3226 ms respectivamente. Con una velocidad aparente de 339 m/s, lo que pudiera representar la velocidad de onda de aire.

#### **4.3.5.4 Disparo 4**

En las trazas obtenidas por el Geodes ubicado hacia el norte, se observan primeras llegadas entre 3147 m hasta 3367 m aproximadamente, hacia el norte del perfil, con un tiempo de llegada de 1096 ms y 1331 ms respectivamente y una velocidad aparente de 1048 m/s.

En las trazas generadas por el Geodes ubicado hacia el sur, se observan primeras llegadas de onda S entre 122 m hasta 217 m aproximadamente. Hacia el norte del perfil,

con un tiempo de llegada de 863 ms y 1251 ms respectivamente, con una velocidad aparente de 248 m/s. En la sección generada por los Texan en el disparo 4, no se puede apreciar con claridad las primeras llegadas de onda S.

#### **4.3.6 Análisis Modelo Bidimensional.**

El modelo de velocidades de las ondas S se construyó basado en la estructura obtenida en el modelo de velocidades de ondas P, ajustando los valores de velocidad hasta que coincidieran con las llegadas identificadas en las secciones sísmicas para las ondas S, por lo que las características estructurales reflejadas en el modelo de ondas P, se mantienen en este modelo; la variación está en la determinación de las velocidades de ondas S. En el perfil Parque Metropolitano, se distinguen 2 tipos de capas, cuya velocidad promedio para la primera capa es de 230 m/s y la velocidad promedio de la segunda capa es de 1.150 m/s. En función de estas velocidades podemos relacionar la primera capa con sedimentos pocos consolidados y la segunda con el basamento rocoso pertenecientes a los esquistos de Las Mercedes. El espesor de sedimentos varía entre los 225 m y 270 m a lo largo del perfil, con un leve buzamiento hacia el norte.

#### **4.4 Perfil Base Sucre.**

##### **4.4.1 Modelo Bidimensional de Ondas P.**

Este perfil tiene una longitud de 2140 m aproximadamente con 5 puntos de disparos (figura 4.16), cabe destacar que la sección sísmica generada por el disparo 5 no fue tomada en cuenta para el análisis del perfil, esta sección presentó problemas en la conversión de datos lo que impidió poder hacer el análisis.

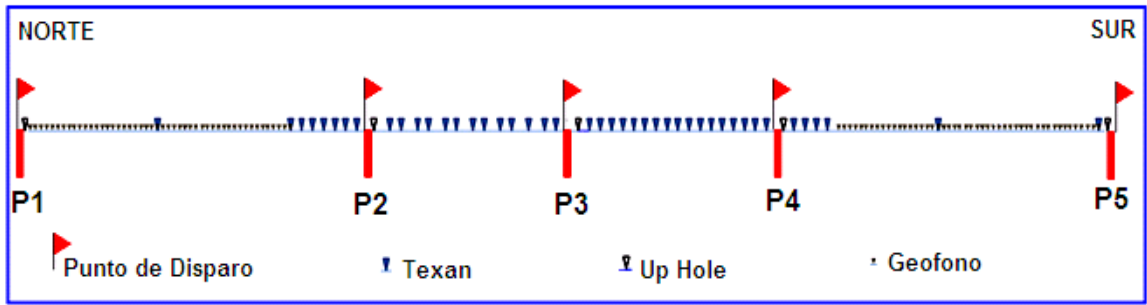


Figura 4.16. Esquema del perfil Base Sucre.

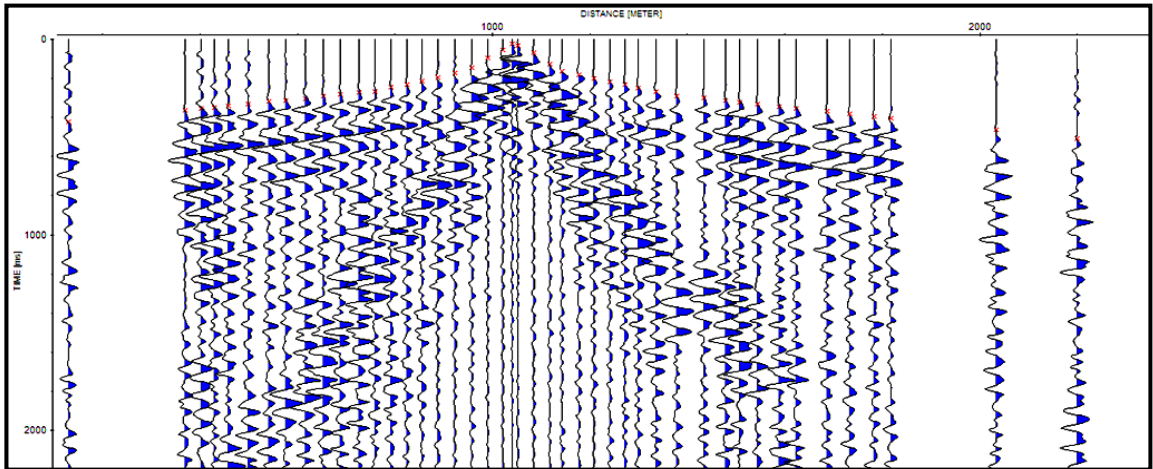


Figura 4.17. Primeras llegadas ondas P, base sucre, disparo 1.

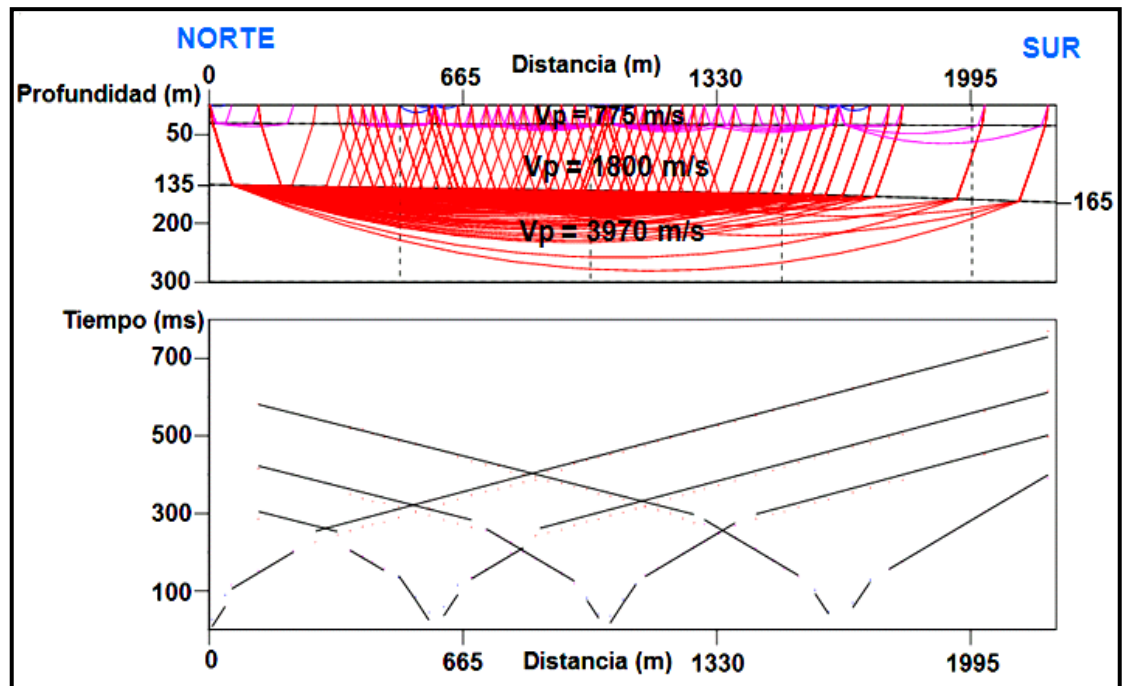


Figura 4.18. Modelo bidimensional ondas P, perfil base sucre.

## **4.4.2 Analisis de ondas P en las secciones sismicas.**

### **4.4.2.1 Disparo 1**

Este disparo se encuentra ubicado en la parte inicial al norte del perfil, se logra observar guías de onda P, que permiten identificar 3 fases hacia el sur, la primera desde el punto de disparo, hasta 37 m, con registros de tiempo de 23 ms y 101 ms respectivamente con una velocidad aparente de 536 m/s; la segunda entre 37 m hasta 403 m, con tiempos de llegada de 101 ms y 253 ms respectivamente con una velocidad aparente de 1987 m/s, y la tercera fase se observa entre los 403 m y 2198 m aproximadamente y con registros de tiempo de 253 ms y 702 ms con una velocidad aparente de 3984 m/s.

### **4.4.2.2 Disparo 2**

Este disparo se encuentra ubicado a 589 m aproximadamente. hacia el sur del perfil, se observan primeras llegadas de onda P hacia el norte, que permiten describir 2 fases, la primera desde el punto de disparo, hasta 90 m aproximadamente con tiempos de llegada de 23 ms. y 128 ms. respectivamente y una velocidad aparente de 806 m/s; la segunda entre 90 m y 562 m aproximadamente, con tiempos de llegada de 128 ms y 381 ms respectivamente con una velocidad aparente de 1823 m/s. Hacia el sur del perfil se observan 3 fases , la primera entre la posición del disparo y 100 m, con tiempos de registro de 23 ms y 154 ms y una velocidad aparente de 714 m/s, la segunda entre 100 m hasta 374 m, con un registro del tiempo de 154 ms y 292 ms, con una velocidad aparente 1987 m/s y la tercera fase se observa entre 374 m y 1611 m con un registro de tiempo de 294 ms y 612 ms y una velocidad aparente de 3846 m/s.

### **4.4.2.3 Disparo 3**

Este disparo se encuentra ubicado a 1040 m aproximadamente hacia el sur del perfil, se observan unas primeras llegadas de ondas P hacia el norte, donde se logra distinguir 3 fases, la primera desde el punto de disparo, hasta 81 m aproximadamente con tiempos de llegada de 23 ms y 143 ms respectivamente con una velocidad aparente de 623 m/s; la

segunda entre 81 m hasta 280 m, con tiempos de llegada de 143 ms y 265 ms respectivamente y una velocidad aparente de 1711 m/s, y la tercera fase se ubica entre 280 m y 909 m aproximadamente, con tiempos de llegada de 265 ms y 425 ms, respectivamente con una velocidad aparente de 3978 m/s.

Hacia el sur del perfil se observan 3 fases, la primera desde el punto del disparo hasta 100 m, con tiempos de llegada de 23 ms y 161 ms respectivamente y una velocidad aparente de 751 m/s; la segunda fase entre 100 m y 333 m, con un tiempo de llegada de 161 ms y 289 ms respectivamente y una velocidad aparente de 1878 m/s, y la tercera fase se observa entre 333 m y 1157 m, con tiempos de llegada de 289 ms y 508 ms, respectivamente con una velocidad aparente de 3712 m/s.

#### **4.4.2.4 Disparo 4**

Este disparo se encuentra ubicado a 1640 m aproximadamente hacia el sur del perfil, observando hacia el norte, primeras llegadas de ondas P que permiten identificar 3 fases, la primera desde el punto de disparo, hasta 53 m aproximadamente, con registros de tiempo de 23 ms y 111 ms respectivamente con una velocidad aparente de 623 m/s; la segunda entre 53 m hasta 463 m, con tiempos de llegada de 111 ms y 317 ms respectivamente, con una velocidad aparente de 1959 m/s; la tercera fase se observa entre 463 m y 1515 m, con registros de tiempo de 317 ms y 574 ms respectivamente, con una velocidad aparente de 3962 m/s.

Hacia el sur se observan primeras llegadas de ondas P, que permiten identificar 2 fases, la primera desde el punto de disparo hasta 92 m aproximadamente con registros de tiempo de 23 ms y 137 ms respectivamente, con una velocidad aparente de 696 m/s; la segunda se observa entre 92 m hasta 557 m, con tiempos de llegada de 137 ms y 379 ms respectivamente y con una velocidad aparente de 1890 m/s.

#### 4.4.3 Análisis Modelo Bidimensional

Las primeras llegadas analizadas anteriormente corresponden a las ondas directas y refractadas de los sedimentos de la cuenca del Lago de Valencia, y al basamento rocoso, estas primeras llegadas evidenciaron un alto nivel de energía.

En el modelo bidimensional del perfil Base Sucre se muestra la caracterización de 3 capas: una primera capa con una velocidad promedio de 775 m/s relacionada a sedimentos pocos consolidados de la cuenca del Lago de Valencia, la segunda capa con una velocidad promedio de 1800 m/s relacionada a sedimentos saturados y la tercera capa con una velocidad promedio de 3970 m/s, relacionada al basamento rocoso perteneciente a los esquito de Las Mercedes, siendo esta la máxima velocidad observada. El espesor de sedimentos varía entre los 135 m y 165 m a lo largo del perfil, con un leve buzamiento hacia el sur.

#### 4.4.4 Modelo bidimensional ondas S

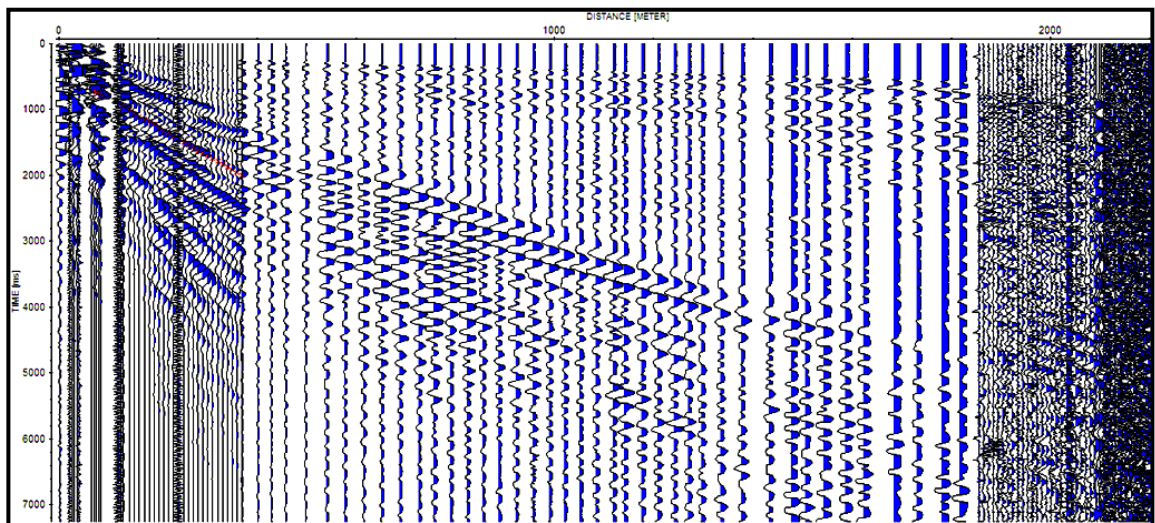


Figura 4.19. Sección sísmica de ondas S, base sucre, disparo 1.

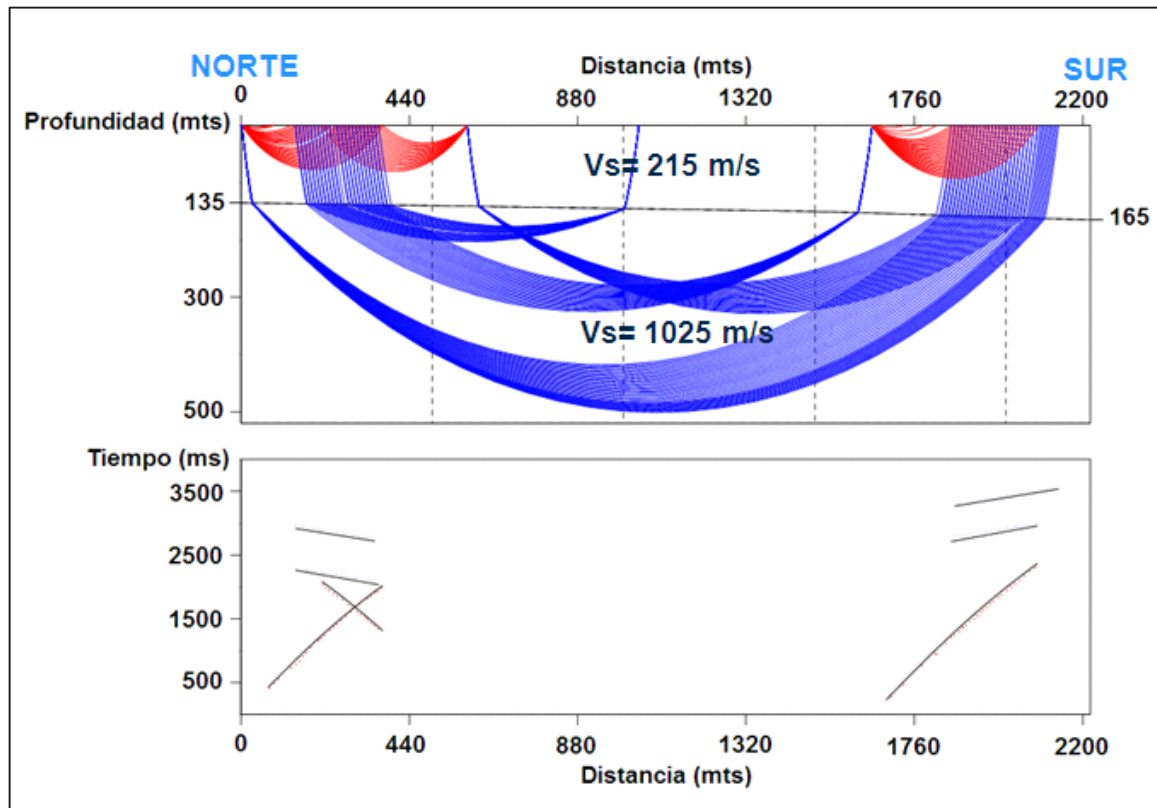


Figura 4.20. Modelo bidimensional ondas S, perfil base sucre.

#### 4.4.5 Analisis de ondas S en las secciones sísmicas.

##### 4.4.5.1 Disparo 1

Este disparo se encuentra ubicado en la parte inicial al norte del perfil. Se observa hacia el sur, primeras llegadas de ondas S, en las trazas generadas por el Geodes ubicado al norte, describiendo una fase entre 241 m hasta 435 m aproximadamente, con un tiempo de llegada de 1223 ms. y 2061 ms. con una velocidad aparente de 220 m/s. En las trazas obtenidas en el Geodes ubicado hacia el sur, se observan una segunda fase entre 1866 m hasta 2136 m aproximadamente, con un registro de tiempo de 3285 ms y 3530 ms respectivamente, con una velocidad aparente de 1087 m/s.

En los texan, se observan una guía de onda en una longitud aproximadamente entre 376 m y 958 m con un registro de tiempo de llegada de 1380 ms. y 2690 ms.

respectivamente, con una velocidad aparente de 439 m/s, esta guía de onda no se puede relacionar como una fase de onda S, por no ser congruente con las fases obtenidas en el modelo de onda P.

#### **4.4.5.2 Disparo 2**

Este disparo se encuentra ubicado a 589 m aproximadamente hacia el sur del perfil, se pueden observar primeras llegadas de ondas S hacia el norte, en las trazas generadas por el Geodes ubicado hacia el norte, permitiendo describir una fase entre de 241 m hasta 435 m aproximadamente, con un tiempo de llegada de 1223 ms y 2061 ms. con una velocidad aparente de 220 m/s

Hacia el sur, se observan primeras llegadas de onda S en las trazas generadas por el Geodes identificando una fase entre 1274 m hasta 1490 m aproximadamente con un registro de tiempo de llegada de 2797 ms y 2990 ms respectivamente, con una velocidad aparente de 1094 m/s.

En los texan, se observa hacia el sur del perfil, una guía de onda entre los 170 m y 621 m, con registros de tiempo de 883 ms. y 1.812 ms respectivamente, con una velocidad aparente de 473 m/s., esta guía de onda no coincide con la interfase obtenida en el modelo de onda "P", por lo que no se puede relacionar como una velocidad de onda S de una de las fases determinadas; se observa además entre 589 m y 1141 m hacia el sur del perfil con registros de tiempo de 2978 ms y 4745 ms respectivamente, con una velocidad aparente de 315 m/s, una guía de onda que estar relacionada con la velocidad de onda de aire.

#### **4.4.5.3 Disparo 3**

Este disparo se encuentra ubicado a 1040 m aproximadamente hacia el sur del perfil. Hacia el norte, se observan primeras llegadas de ondas S en las trazas generadas por el Geodes, describiendo una fase entre 678 m hasta 916 m aproximadamente, con un

registro de tiempo de llegada de 2122 ms. y 2337 ms. respectivamente, con una velocidad aparente de 1094 m/s.

Hacia el sur se observa en las trazas generadas por el Geodes primeras llegadas de ondas S, identificando una fase entre 826 m y 1062 m aproximadamente, con un tiempo de llegada de 2126 ms y 2413 ms respectivamente, con una velocidad aparente de 1062 m/s.

En la sección generada por los texan se observa hacia el norte del perfil, una guía de onda entre los 181 m y 636 m, con registros de tiempo de 872 ms. y 1777 ms. con una velocidad aparente de 486 m/s. y hacia el sur de esta sección se observa una guía de onda, desde 506 m hasta 992 m, con un tiempo de llegada de 1616 ms. y 2747 ms. respectivamente con una velocidad aparente de 426 m/s.

#### **4.4.5.4 Disparo 4**

Este disparo se encuentra ubicado a 1640 m aproximadamente hacia el sur del perfil. Hacia el sur, se pueden visualizar primeras llegadas de onda S, en las trazas generadas por el Geodes ubicado en el sur, se logra distinguir una fase entre 215 m hasta 476 m aproximadamente, con un registro de tiempo de llegada de 1041 ms. y 2352 ms, con una velocidad aparente de 200 m/s.

En el Geodes ubicado hacia el norte, se observa una segunda fase entre 1300 m hasta 1507 m aproximadamente hacia el sur del perfil, con un registro de tiempo de llegada de 2755 ms. y 2967 ms, con una velocidad aparente de 1025 m/s.

En la sección generada por los texan se puede observar una guía de onda, hacia el norte del perfil, en una longitud aproximada entre el punto de disparo hasta 1263 m, con registros de tiempo de 23 ms. y 3620 ms. respectivamente, con una velocidad aparente de 353 m/s. esta velocidad pudiera estar relacionada con la velocidad de onda de aire.

#### **4.4.6 Análisis Modelo Bidimensional**

El modelo de velocidades de las ondas S, se construyó basado en la estructura obtenida en el modelo de velocidades de ondas P, ajustando los valores de velocidad hasta que coincidieran con las llegadas identificadas en las secciones sísmicas para las ondas S, por lo que las características estructurales reflejadas en el modelo de ondas P, se mantienen en este modelo, la variación está en la determinación de las velocidades de ondas S. En el perfil de Base Sucre, se distinguen 2 tipos de capas, cuya velocidad promedio para la primera capa es de 215 m/s y esta relacionada a sedimentos poco consolidados y la velocidad promedio de la segunda capa es de 1.025 m/s, relacionada al basamento rocoso perteneciente a los esquistos de Las Mercedes. El espesor de sedimentos varía entre los 135 m y 165 m a lo largo del perfil, con un leve buzamiento hacia el sur.

## CAPÍTULO V.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De los modelos bidimensionales de onda P y S generados en el presente trabajo podemos concluir:

- Por la similitud de los valores de velocidad promedio obtenidos para los modelos de onda P en los 4 perfiles, podemos estimar que la caracterización de la cuenca del Lago de Valencia en sus primeros 300 m de profundidad esta representada por tres capas, cuyas  $V_p$  son 600 m/s para la primera, 1800 m/s para la segunda y 3800 m/s para la tercera, por lo que podemos concluir que la primera capa esta asociada a sedimentos poco consolidados, la segunda a sedimentos saturados y la tercera esta relacionada al basamento rocoso perteneciente a los Esquistos de Las Mercedes.
- Para la capa de sedimentos, la velocidad promedio de onda S, en la ciudad de Maracay es de 220 m/s y para la ciudad de Valencia es de 430 m/s, lo que indica la presencia de sedimentos poco consolidados en Maracay y en Valencia sedimentos de mayor consolidación.
- Para la estructura en profundidad de los modelos, es decir, el espesor de sedimentos, se apoyo en los resultados de los modelos de las ondas P, ya que las observaciones de las ondas S, en la mayoría de los perfiles, no tienen la densidad suficiente para la determinación de esta interfase.
- Los espesores de sedimentos en los perfiles de Valencia varían entre 210 y 280 m, en ambos perfiles con un leve buzamiento hacia el norte.
- La variación del espesor de sedimentos (135-165) m y buzamiento (hacia el sur) obtenido en el análisis del perfil Base Sucre en el presente trabajo coincide con el perfil geoelectrico 6 realizado por Tahal (1970), donde la variación de espesor de sedimentos es de 125-170 m con buzamiento hacia el sur.

- La variación del espesor de sedimentos (225-270 m) y el buzamiento (hacia el norte) obtenido en el presente estudio en el perfil Parque Metropolitano coincide con el mapa de espesores elaborado por Rojas (2008), basado en el análisis de los períodos fundamentales, donde la variación de sedimentos para esa área es de 220-330 m con buzamiento hacia el norte.
- El control del tiempo inicial obtenido de 23 ms, se calculo a través del promedio entre los valores prácticos obtenidos en campo (17 ms) y de la calibración de las secciones sísmicas generadas por los Geodes en los disparo 1 y 4 del perfil Ciudad Plaza (donde se utilizo trigger) con los up-hole de los mismos disparos (28 ms).

Como recomendaciones podemos mencionar:

- La adquisición de datos gravimétricos sobre los perfiles y en la cuenca, permitiría realizar la integración de un modelo gravimétrico con el modelo sísmico obtenido para poder ampliar la información sobre los sedimentos de la cuenca del Lago de Valencia.
- Evitar espaciamentos muy largos entre los receptores, ya que esto trae inconvenientes para determinar los cambios de fase. Igualmente se recomienda un espaciamiento lo más equidistante posible para los equipos Texan.
- Realizar la adquisición de ruido sísmico para la determinación de los períodos fundamentales en las áreas donde se realizó el estudio, ya que no hay mediciones de gran densidad en la cercanía de los perfiles.
- Intercalar geófonos para ondas P y geófonos para ondas S en los Geodes, esto permitiría establecer un mejor control de las primeras llegadas de onda P en las trazas generadas por los Geodes.

## **CAPÍTULO VI.**

### **REFERENCIAS.**

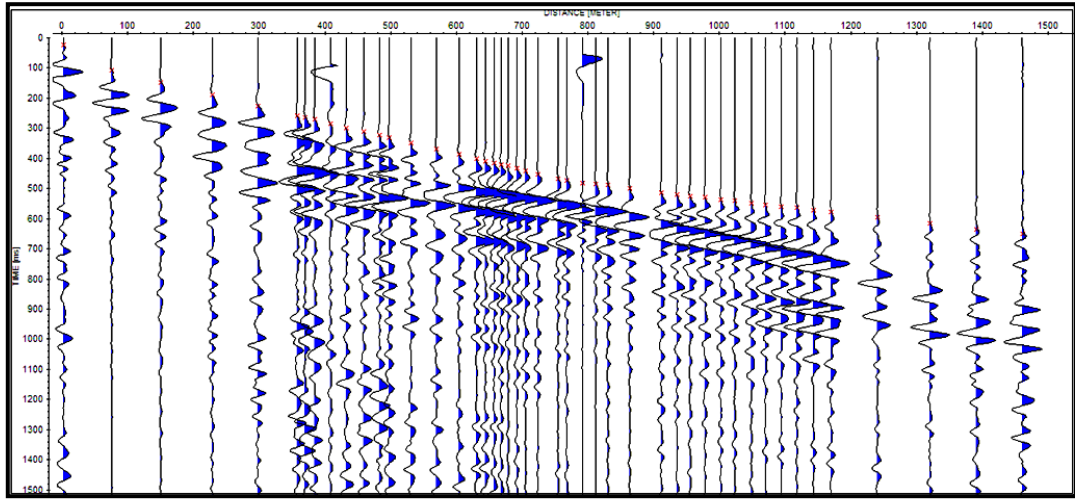
- Audemard, F.; De Santis, F.; Lugo, M., (1988). Estudio de Amenaza Sísmica para las Urbanizaciones La Punta y Mata Redonda al sur de Maracay, Vol. I, FUNVISIS.
- Bellizzia A., Pimentel N., y Bajo O. (1976). Mapa geológico estructural de Venezuela Ediciones Foninves, Caracas, Escala 1: 500.000.
- Bockh, H., (1956). El desecamiento del Lago de Valencia. Caracas. Ediciones de la Fundación Eugenio Mendoza, 246 p.
- Cavada, J., (2000). Guía de Prospección Sísmica por Refracción. Universidad Central de Venezuela. Versión 1.
- COVENIN, 1756-01, (2001).Edificaciones Sismoresistentes, Ministerio de Desarrollo Urbano – FUNVISIS, 71 PP.
- Dobrin, M., (1961). Introducción a la Prospección Geofísica. Ediciones Omega. Barcelona, España, 48 sp.
- FUNVISIS, (1978). Segunda Fase 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, Volumen A, pp.517.
- González de Juana, C., De Iturralde, J. y Picacard, X., (1980). Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas. Caracas: Foninves.
- Hackley P.C., F., Urbani, A.W. Karlsen y C. P. Garrity, (2005). Geologic Shaded Relief Map of Venezuela. U.S. Geological Survey, Open File Report 2005–1038 (pubs.usgs.gov/of/2005/1038).

- Kantak P., (2001). Espesores de los Sedimentos y Principales Unidades Geológicas del Valle de Caracas. International Workshop “Study on Countermeasures for Earthquake Disaster in Caracas” (1999 – 2001), Caracas, Venezuela, Serie Técnica N° 01-2001, FUNVISIS, 99-104.
- Menéndez, V., (1966). Tectónica de la parte central de las montañas occidentales del Caribe, Venezuela. Bol. Geol., 8 (15): 116 – 139.
- Peeters, L., (1968). Origen y evolución de la Cuenca del Lago de Valencia, Venezuela. Caracas. Instituto para la conservación del Lago de Valencia. 66 p.
- Ramírez, O. y Acosta, R., (1986). Propuesta para un estudio de la problemática de los suelos de la cuenca del lago de Valencia; Cámara de Industriales del Estado Carabobo, Valencia, 17 p.
- Rocabado, V., (2000). Períodos Fundamentales de la ciudad de Caracas a partir de mediciones de ruido ambiental. Trabajo especial de grado. Publicado en CD, GEOS 35, 2002, UCV.
- Rojas, C., (2008). Determinación de Los Periodos Fundamentales del subsuelo de la Ciudad de Maracay, Edo. Aragua. Tesis de grado, UCV, 132 pp.
- Sánchez, J., Schmitz, M., Cano, V., (2005). Mediciones Sísmicas profundas en Caracas para la determinación del espesor de Sedimentos y Velocidades Sísmicas como aporte para el estudio de Microzonificación Sísmica. FUNVISIS. Boletín técnico IMME 43 N° 2, 10 p.
- Sarria, A., (2004). Investigación no destructiva y cargas extremas en estructuras, Ediciones Uniandes, Bogotá, Colombia

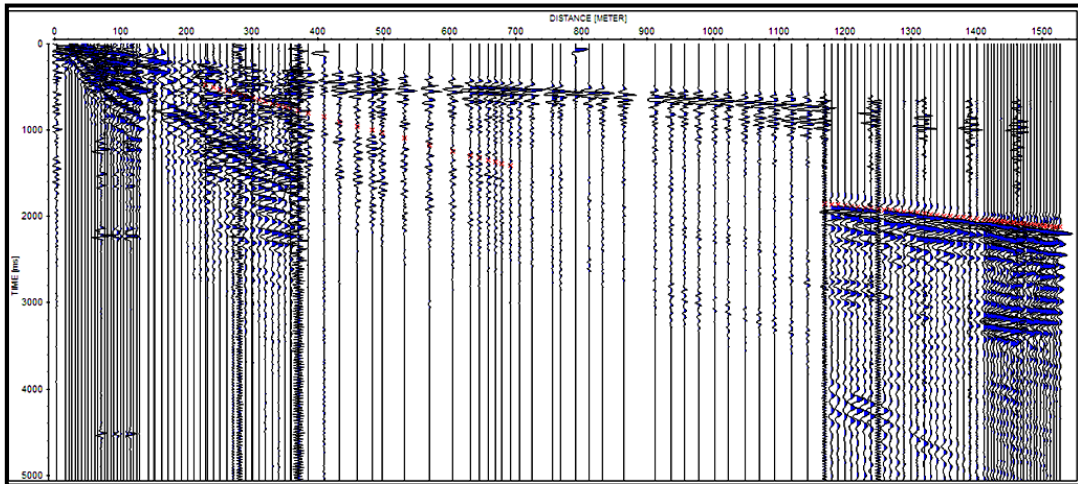
- Schmitz, M., et al., (2009). Proyecto de investigación aplicada a la gestión integral del riesgo en espacios urbanos: conformación de redes de actores. Quinto coloquio sobre Microzonificación Sísmica, Caracas. 1-3.
- Schmitz, M., Hernández J., Morales, Domínguez, J., et al., (2008). Principales resultados y Recomendaciones del proyecto de microzonificación sísmica en Caracas.
- Seiders, F., (1965). Geología de Miranda Central, Venezuela. Bd. Geol., Caracas, 6 (12): 289-416.
- TAHAL Ingenieros de Venezuela, S.A., (1970). Estudio para el desarrollo de los Recursos de aguas subterráneas en las regiones de Valencia, Barquisimeto, Coro, Pedregal, Maracaibo, Región de Valencia. Vol. II, INOS.
- Urbani, F., (2000). Revisión de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera de la Costa, Venezuela. Geos, UCV, Caracas, 33: 1 – 170.
- Wehrmann, M., (1972). Geología de la región de Guatire – Colonia Tovar. Cong. Geol. Venezuela. IV, Noviembre de 1969. Caracas, Mem. Bol. Geol. Caracas. Publ. Esp. 5, IV: 2093- 2119.

# **ANEXOS 1**

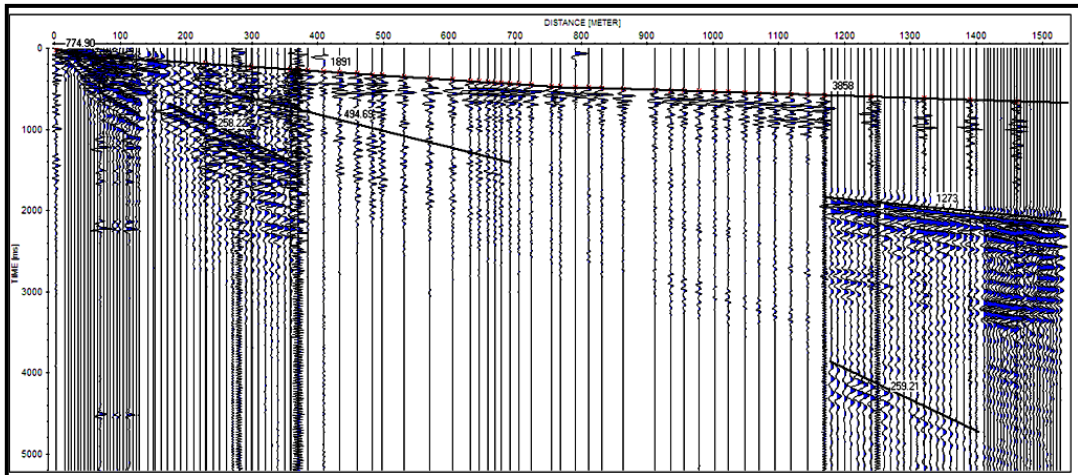
**(Secciones sísmicas ondas P y S)**



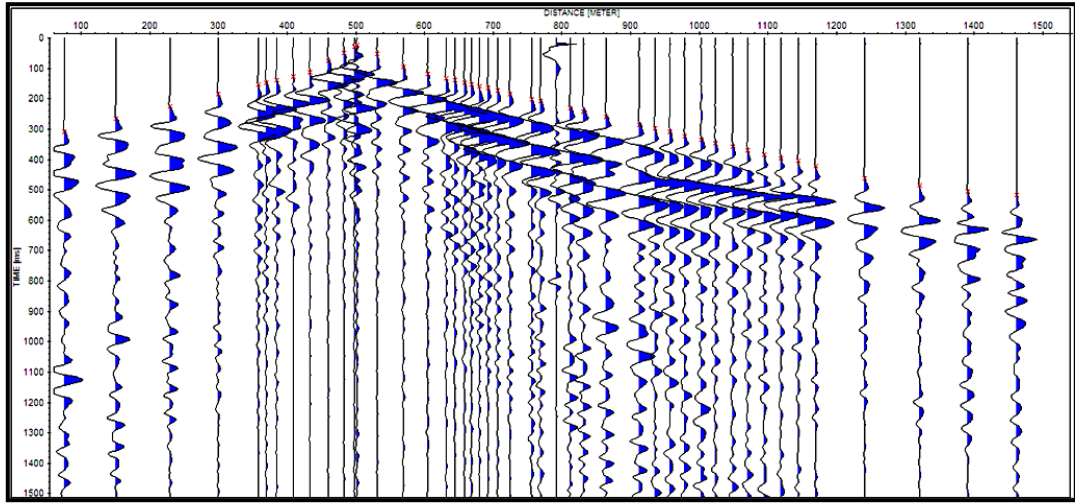
Primeras llegadas de onda P, perfil ciudad plaza, disparo 1.



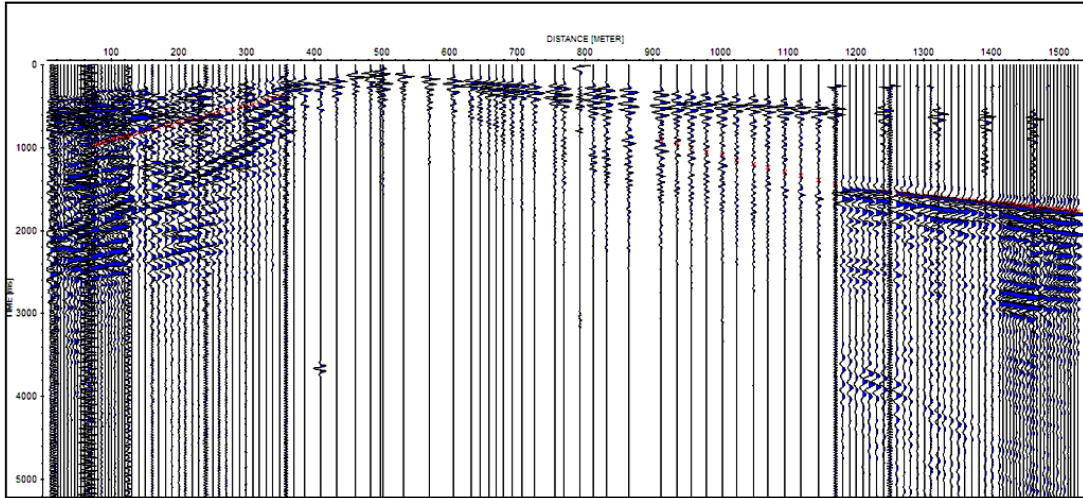
Primeras llegadas de onda S, perfil ciudad plaza, disparo 1.



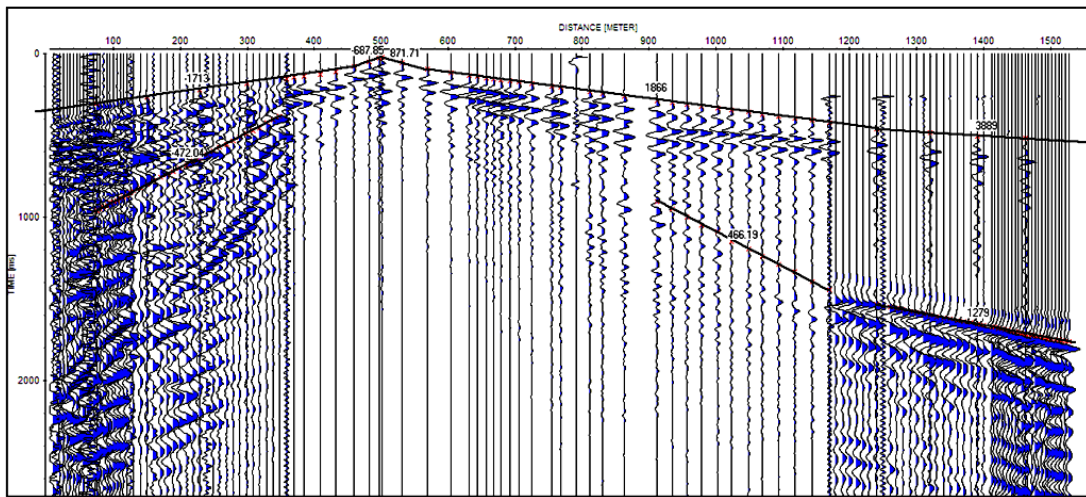
Velocidades aparentes de ondas P y S, perfil ciudad plaza, disparo 1.



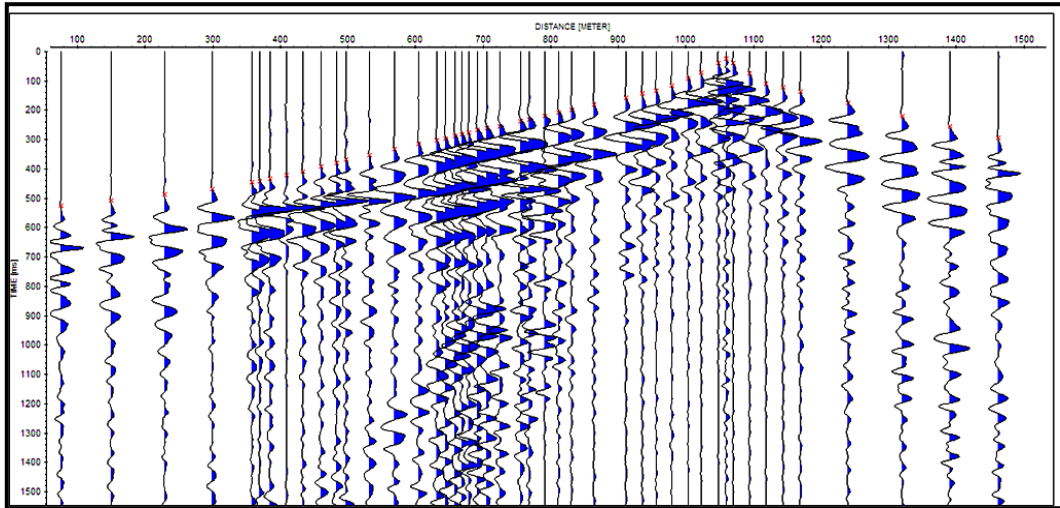
Primeras llegadas de onda P, perfil ciudad plaza, disparo 2.



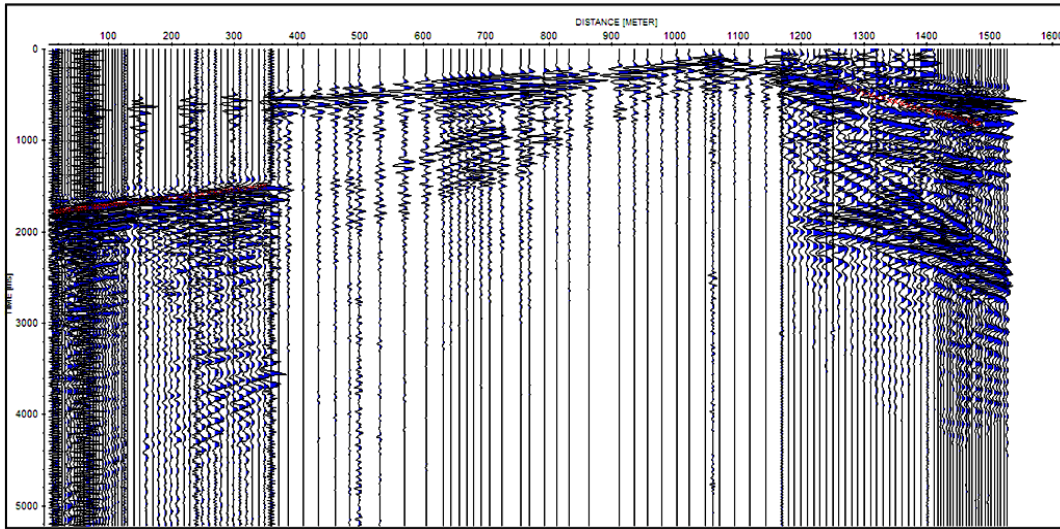
Primeras llegadas de onda S, perfil ciudad plaza, disparo 2.



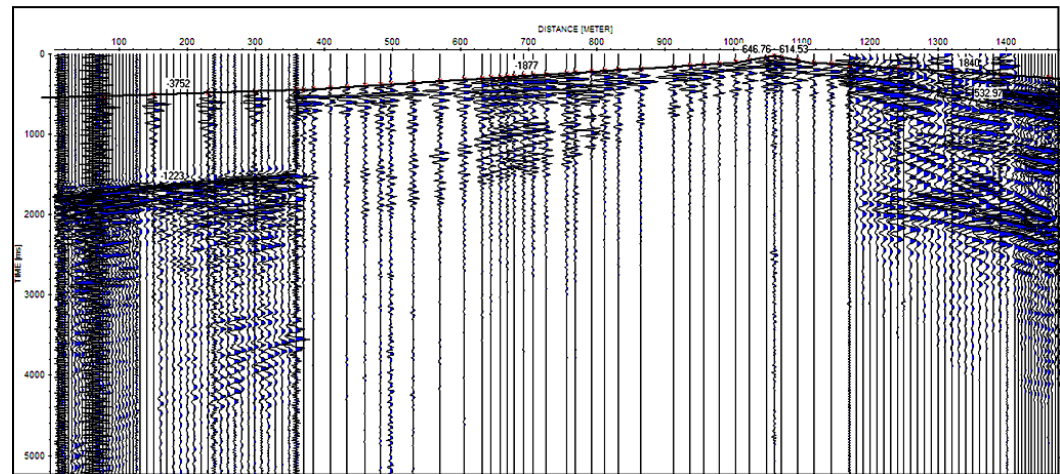
Velocidades aparentes de ondas P y S, perfil ciudad plaza, disparo 2.



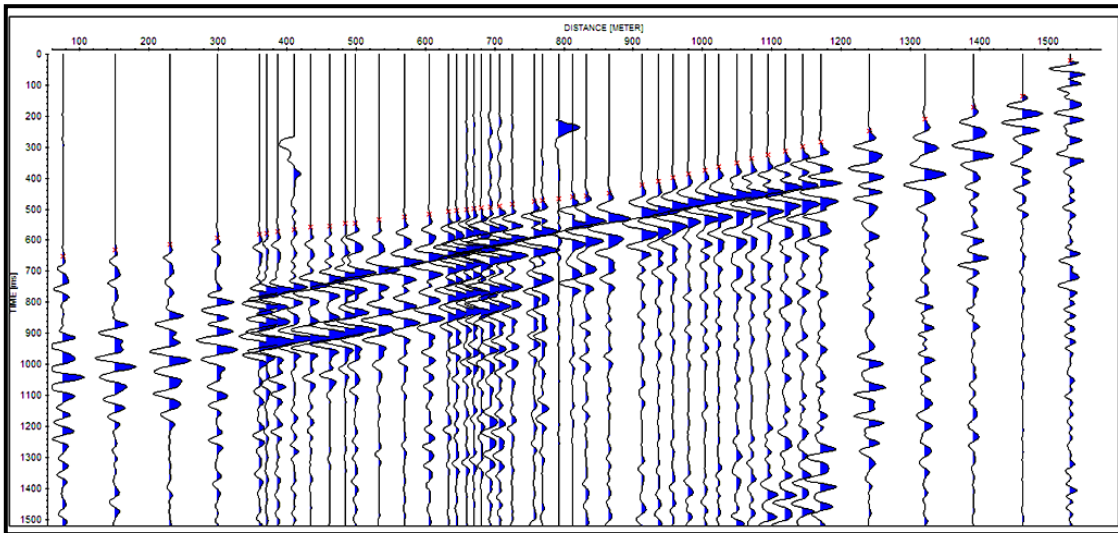
Primeras llegadas de onda P, perfil ciudad plaza, disparo 3.



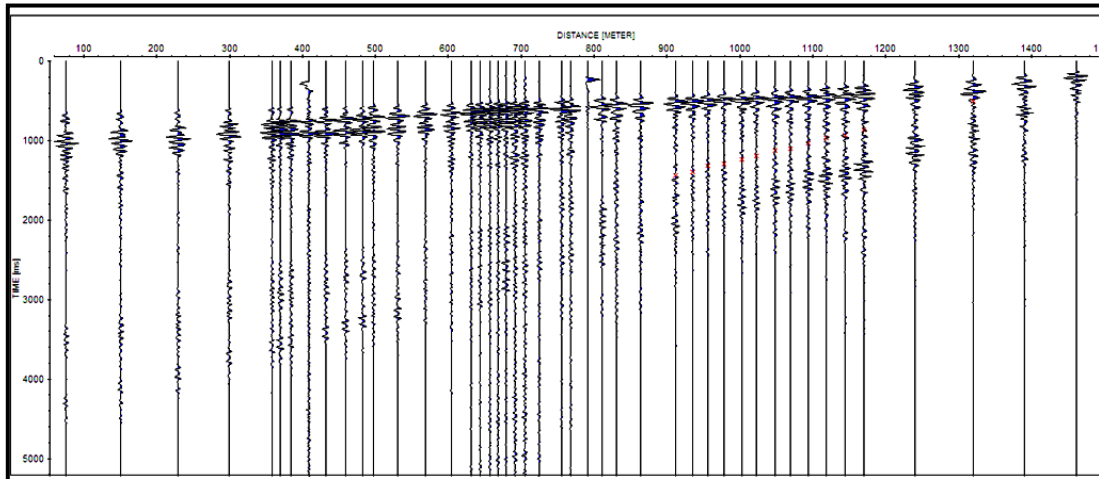
Primeras llegadas de onda S, perfil ciudad plaza, disparo 3.



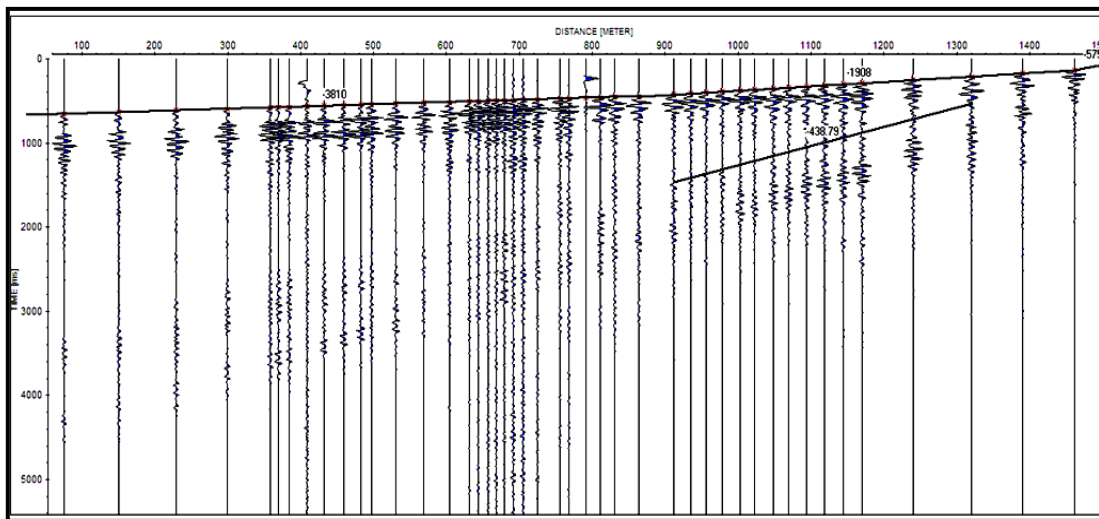
Velocidades aparentes de ondas P y S, perfil ciudad plaza, disparo 3.



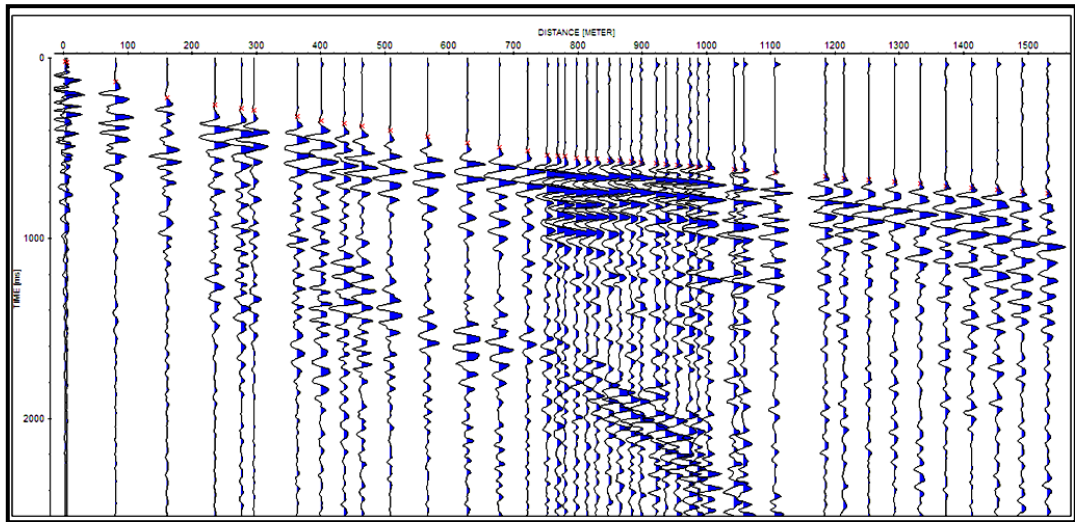
Primeras llegadas de onda P, perfil ciudad plaza, disparo 4.



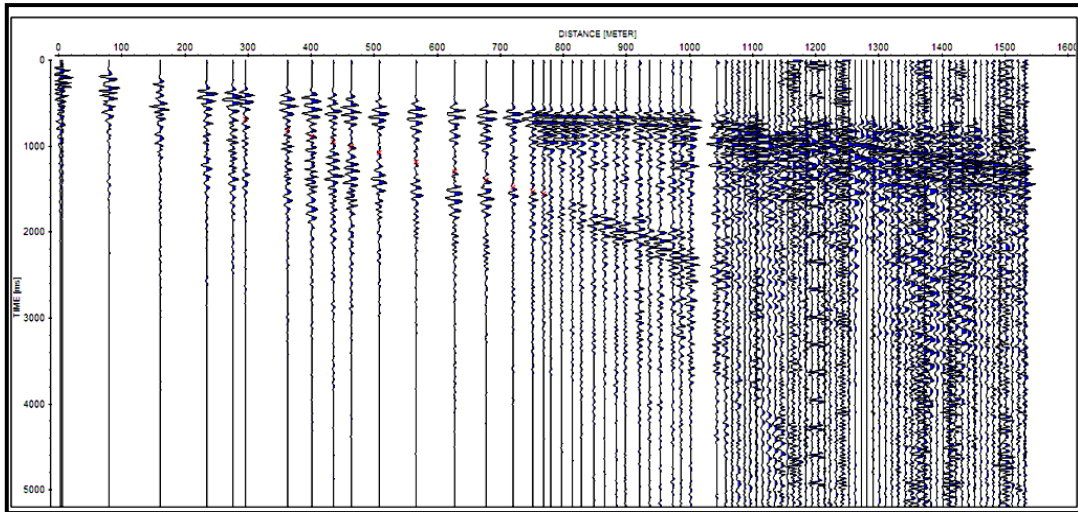
Primeras llegadas de onda S, perfil ciudad plaza, disparo 4.



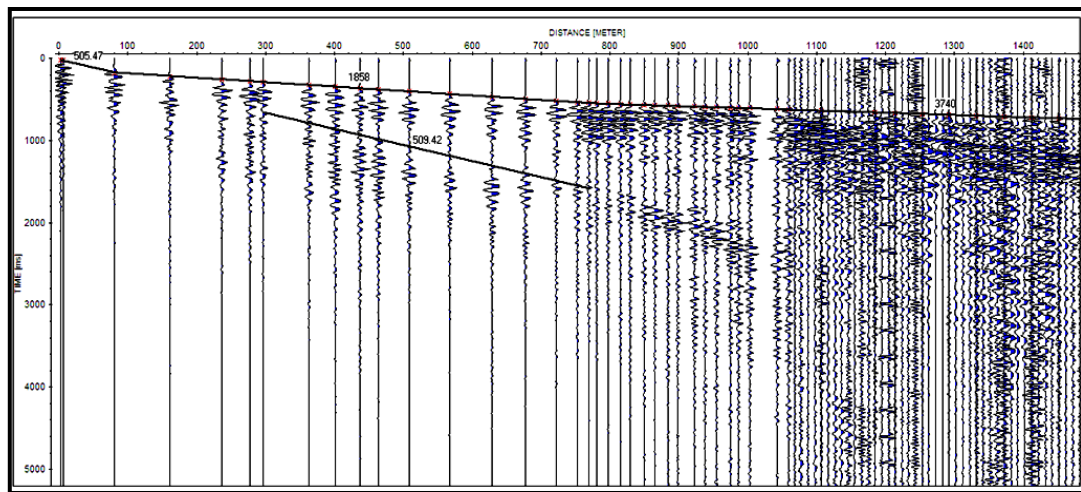
Velocidades aparentes de ondas P y S, perfil ciudad plaza, disparo 4.



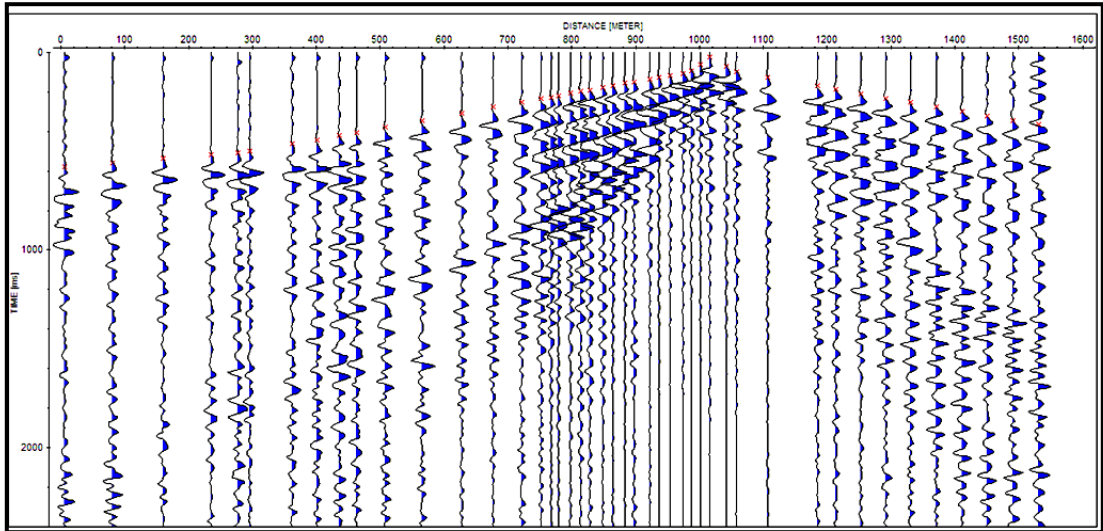
Primeras llegadas de onda P, perfil aeropuerto, disparo 1.



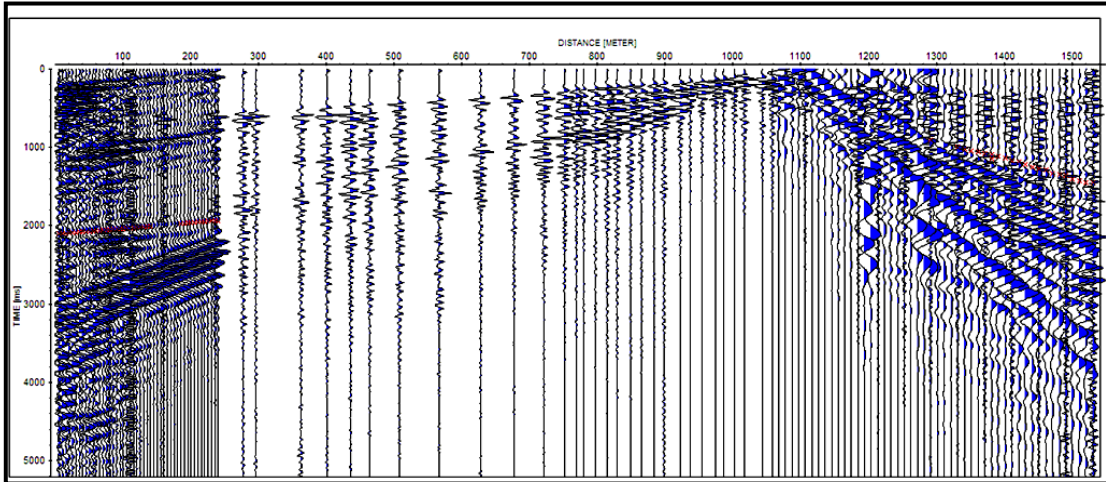
Primeras llegadas de onda S perfil aeropuerto, disparo 1.



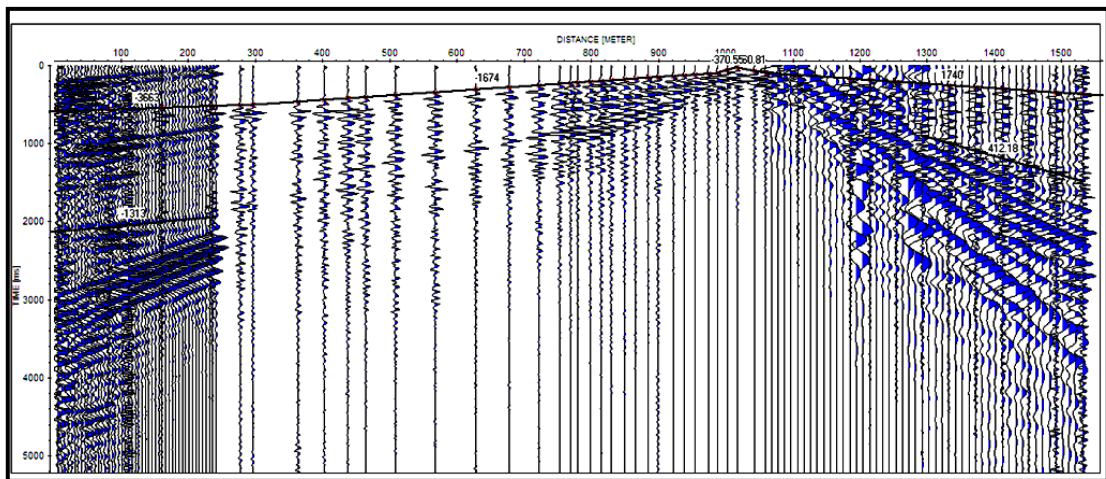
Velocidades aparentes de ondas P y S, perfil aeropuerto, disparo 1.



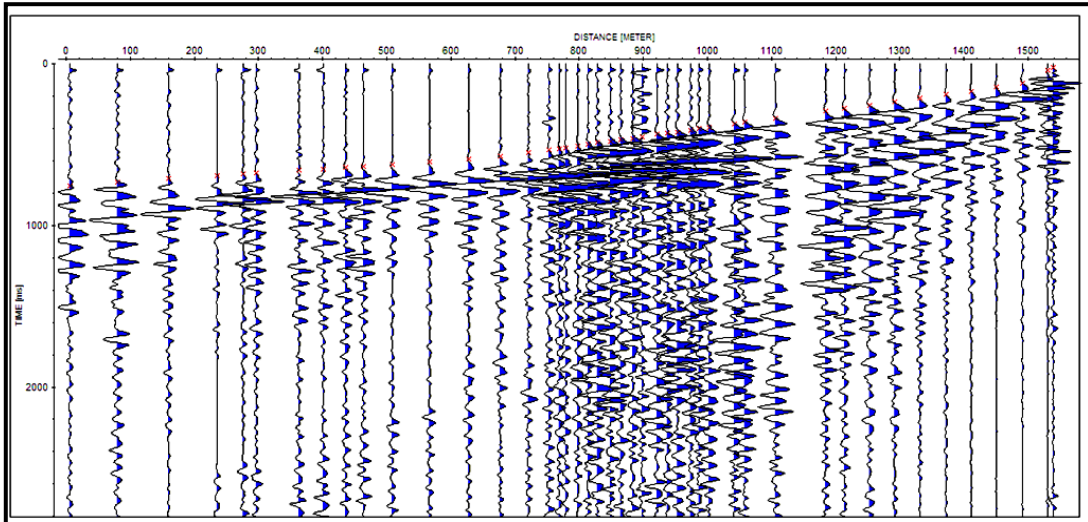
Primeras llegadas de onda P, perfil Aeropuerto, disparo 2.



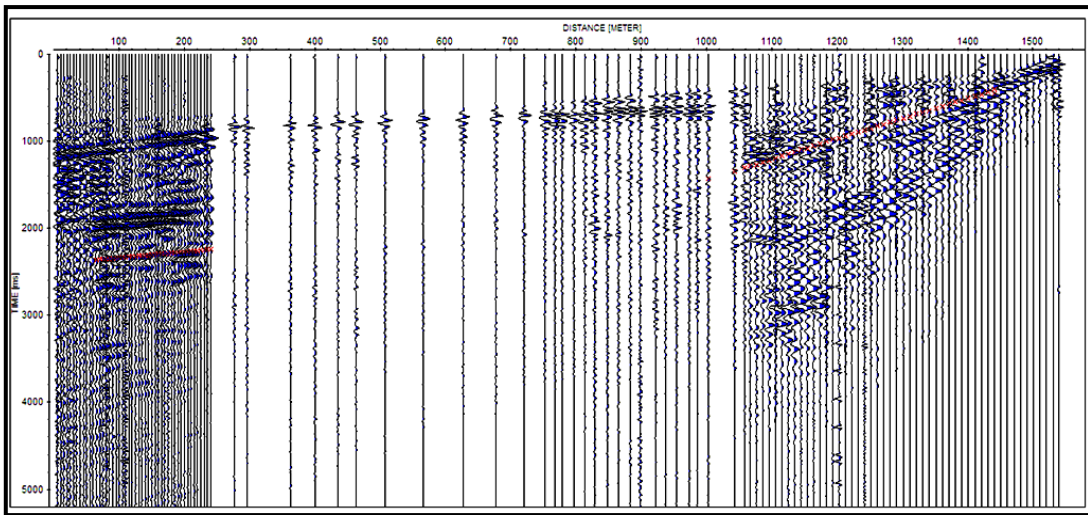
Primeras llegadas de onda S, perfil Aeropuerto, disparo 2.



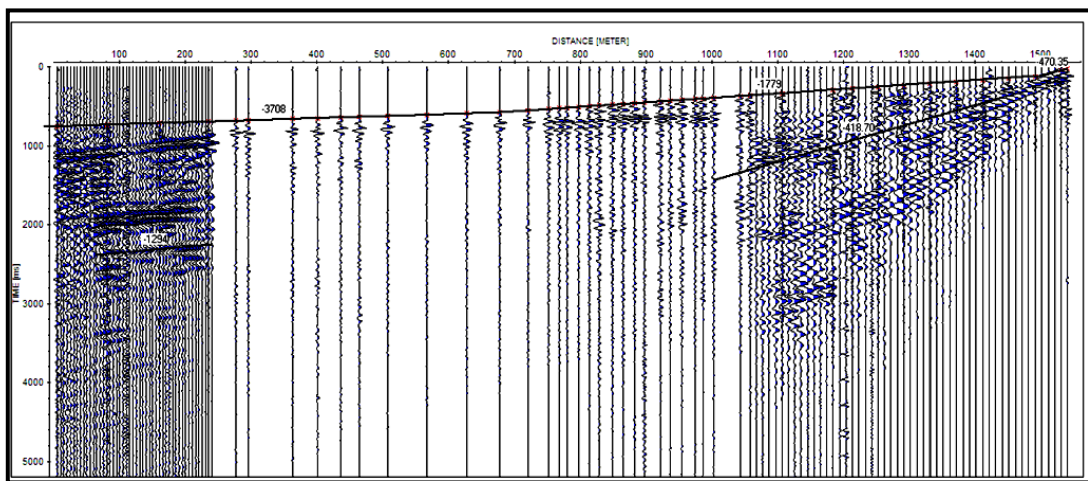
Velocidades aparentes de ondas P y S, perfil Aeropuerto, disparo 2.



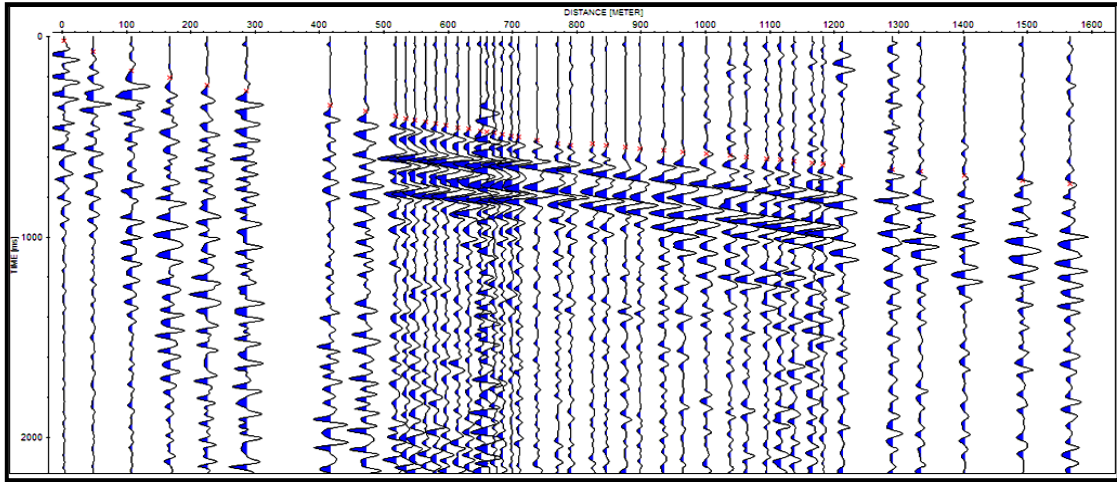
Primeras llegadas de onda P, perfil Aeropuerto, disparo 3.



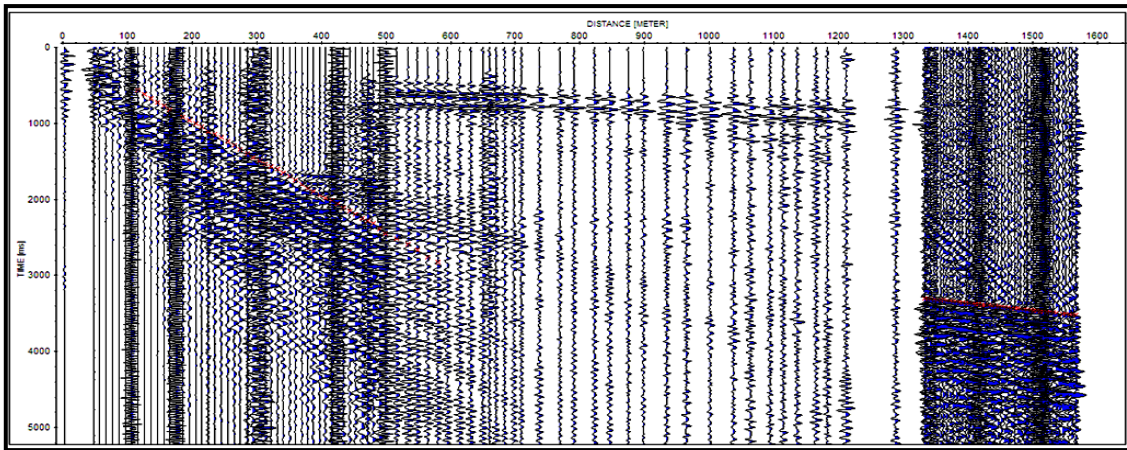
Primeras llegadas de onda S perfil Aeropuerto, disparo 3.



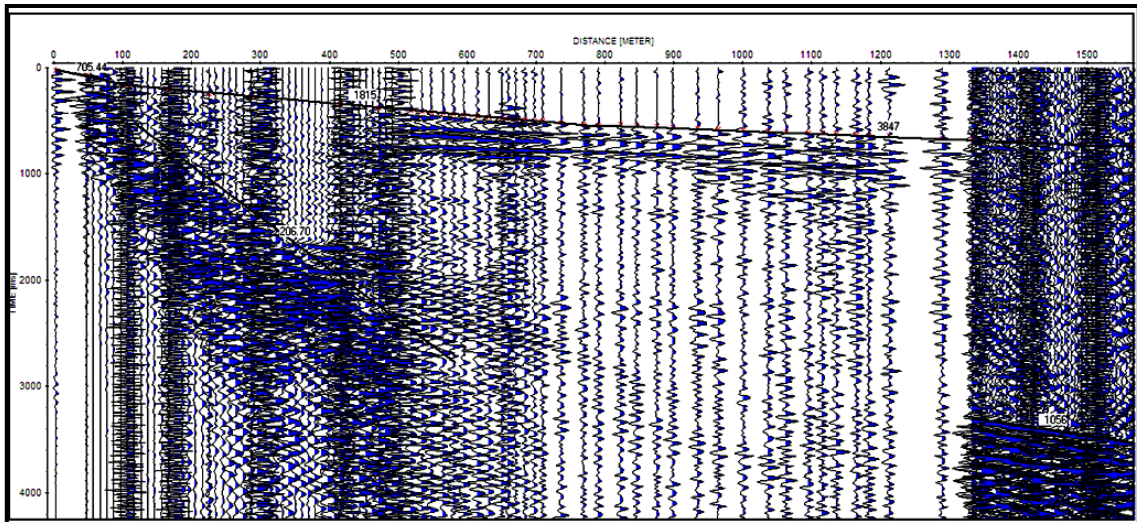
Velocidades aparentes de ondas P y S, perfil Aeropuerto, disparo 3.



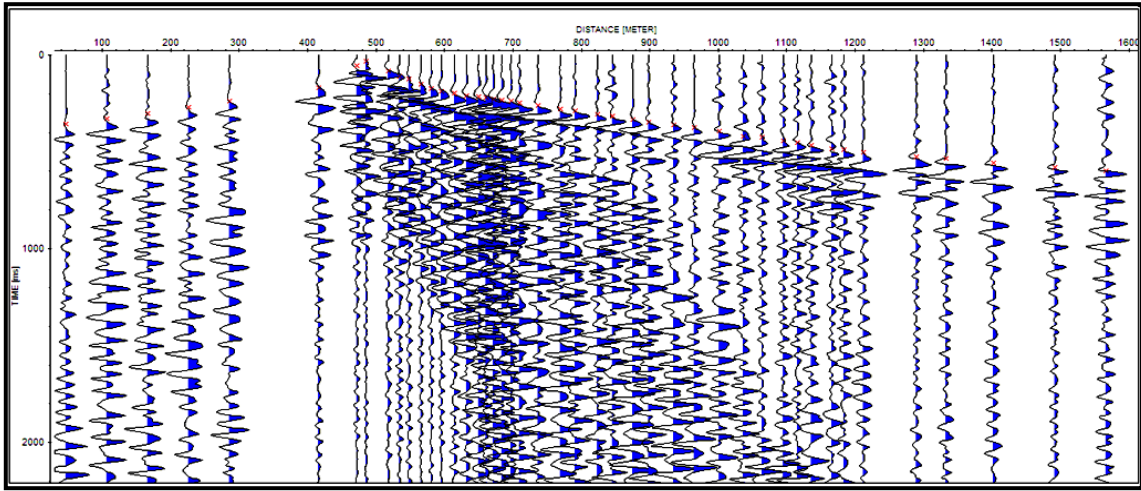
Primeras llegadas de onda P, perfil Parque Metropolitano, disparo 1.



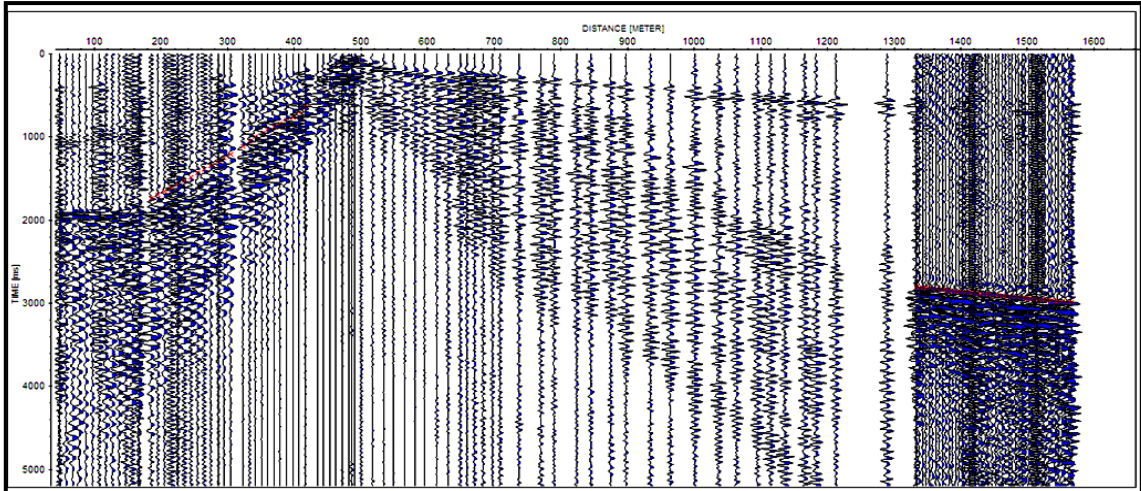
Primeras llegadas de onda S, perfil Parque Metropolitano disparo 1.



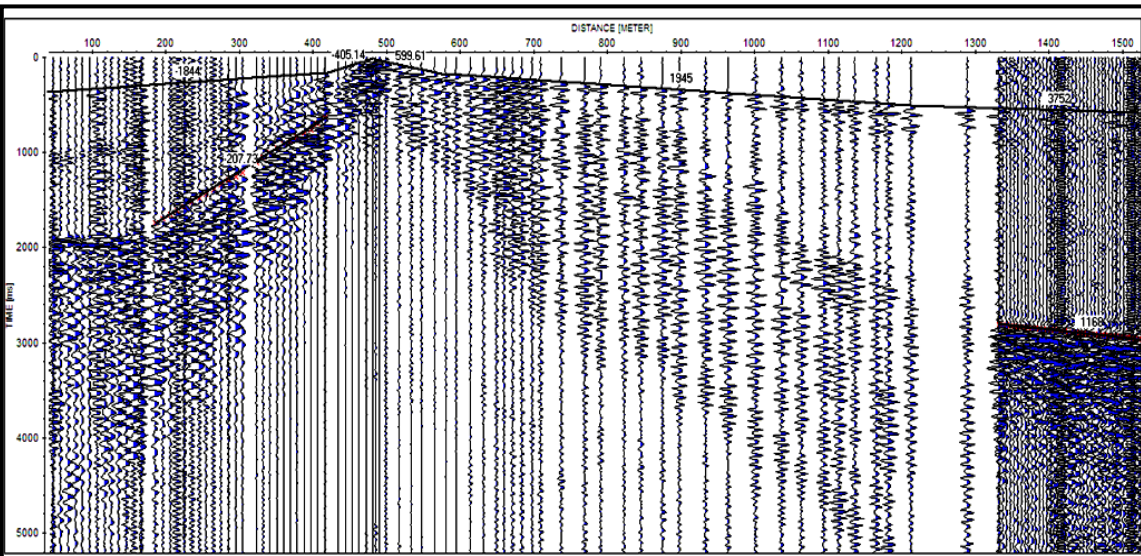
Velocidades aparentes de ondas P y S, perfil Parque Metropolitano, disparo 1.



Primeras llegadas de onda P, perfil Parque Metropolitano, disparo 2.

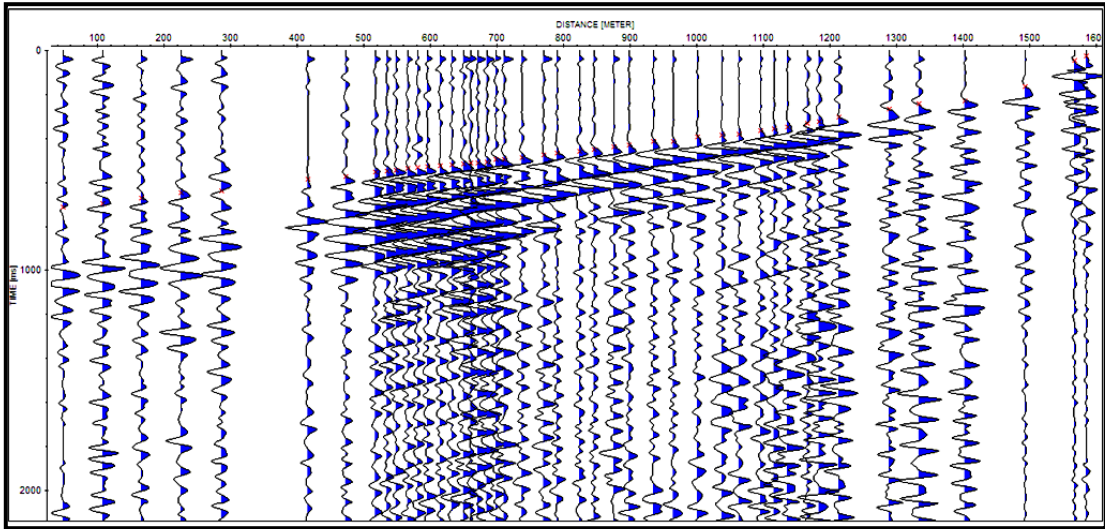


Primeras llegadas de onda S, perfil Parque Metropolitano, disparo 2.

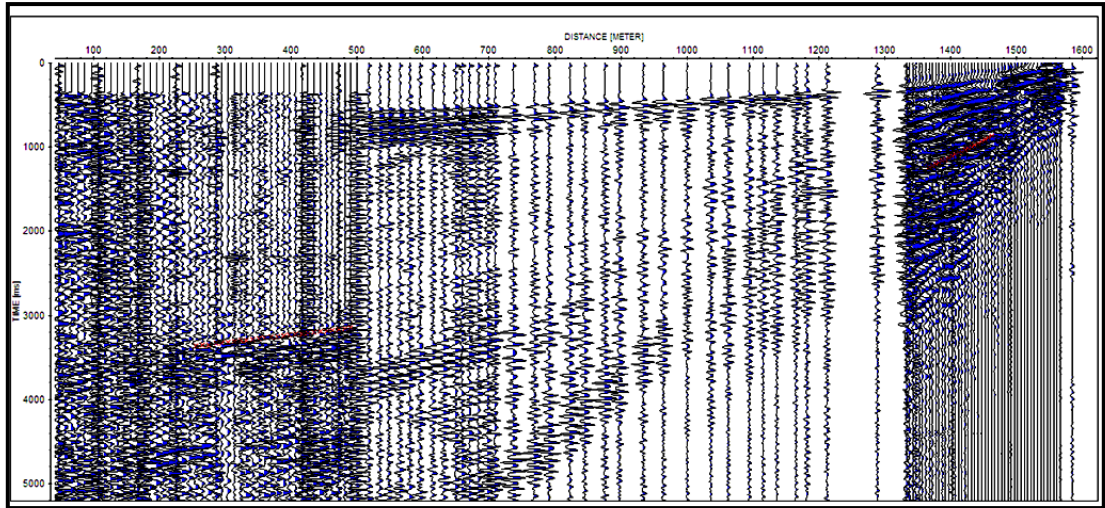


Velocidades aparentes de ondas P y S, perfil Parque Metropolitano, disparo 2.

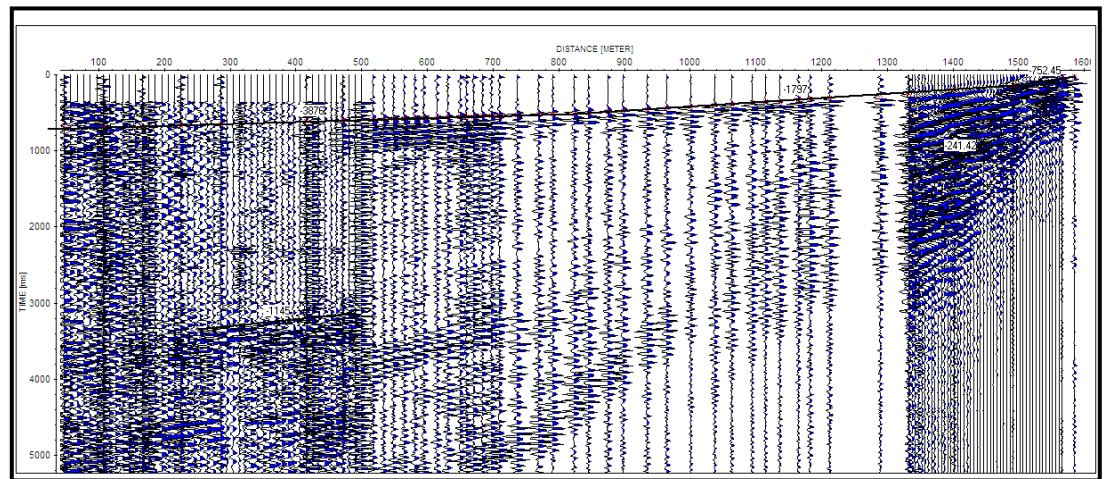




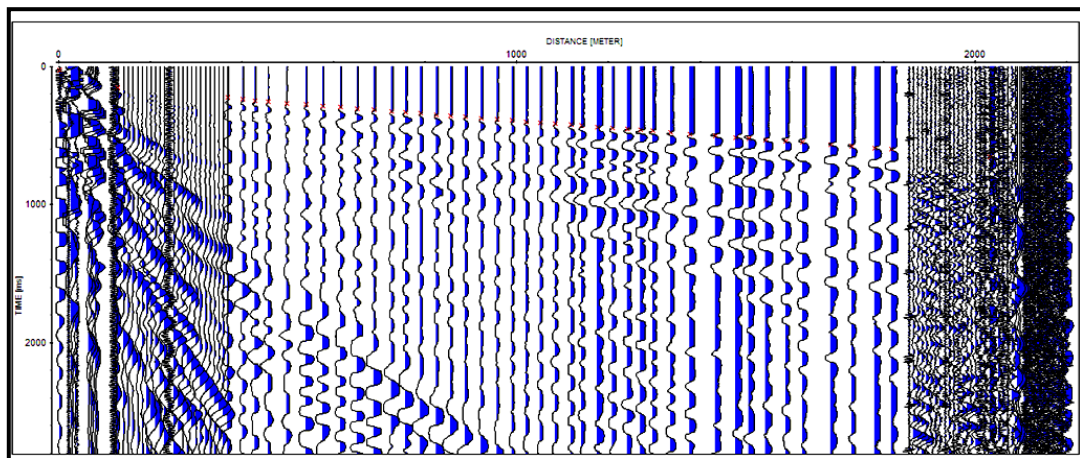
Primeras llegadas de onda P, perfil Parque Metropolitano, disparo 4.



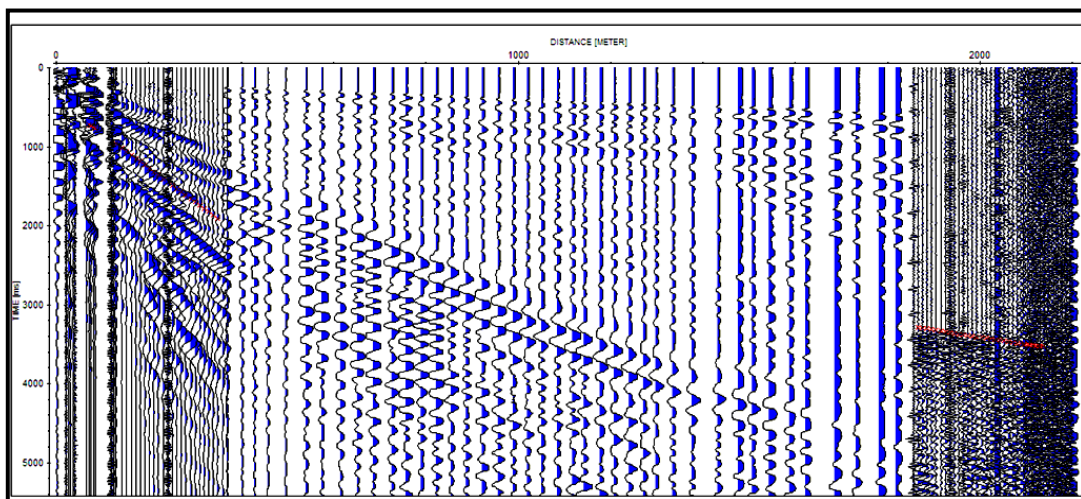
Primeras llegadas de onda S, perfil Parque Metropolitano, disparo 4.



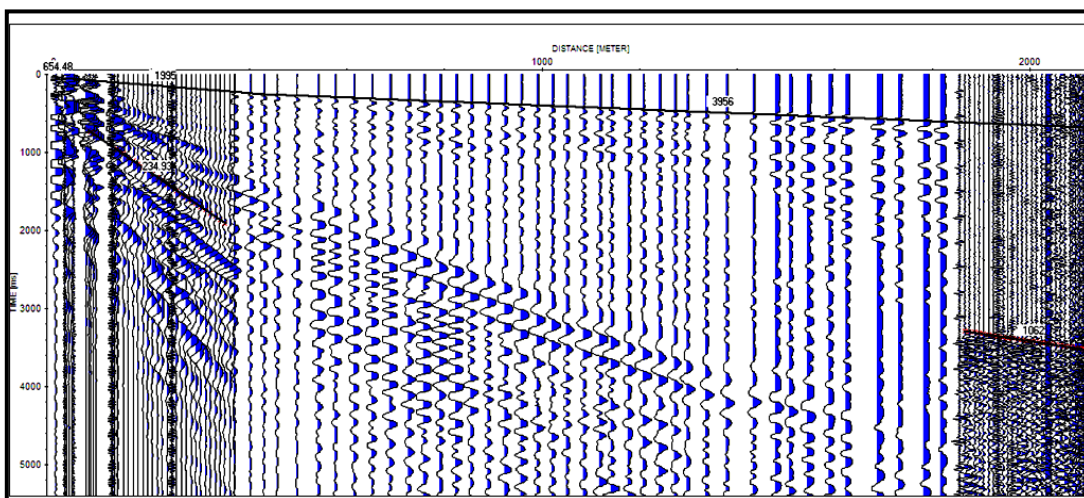
Velocidades aparentes de ondas P y S, perfil Parque Metropolitano, disparo 4.



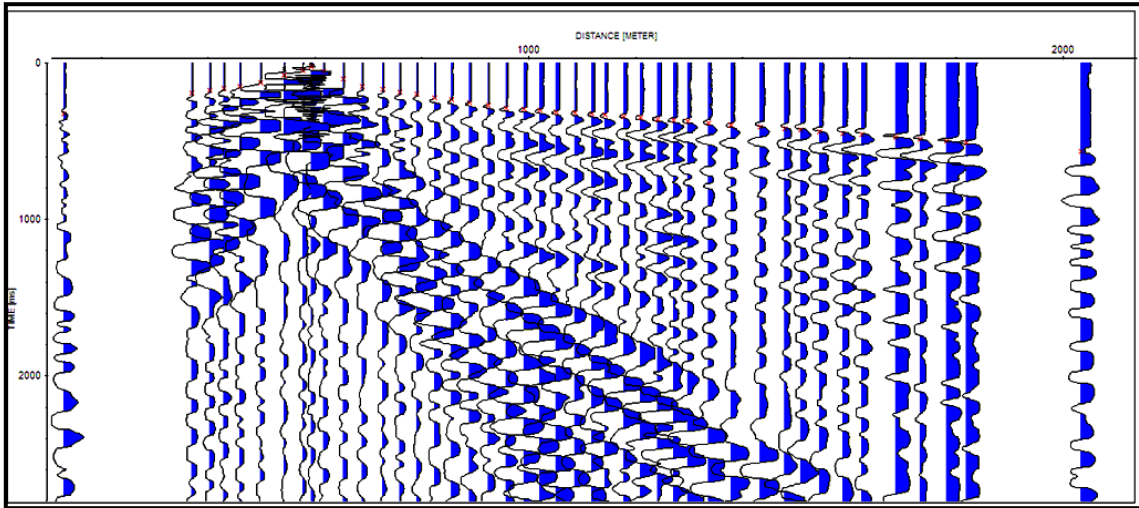
Primeras llegadas de onda P, perfil Base Sucre, disparo 1.



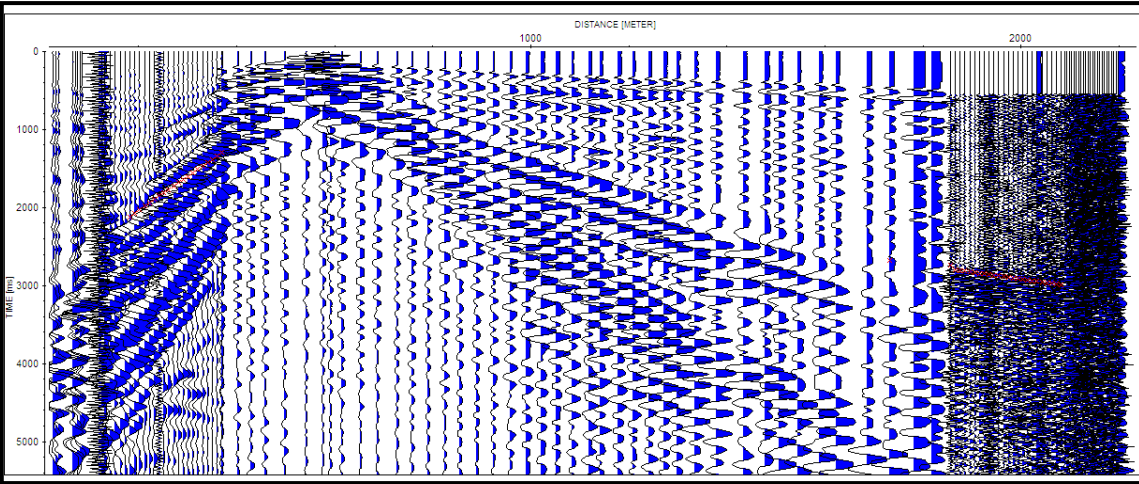
Primeras llegadas de onda S, perfil Base Sucre, disparo 1.



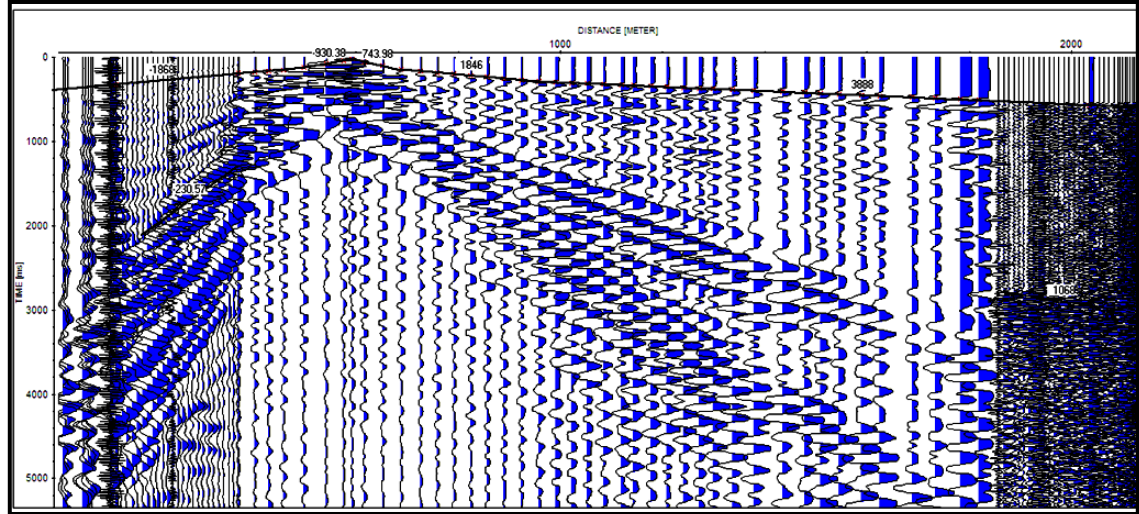
Velocidades aparentes de ondas P y S, perfil Base Sucre, disparo 1.



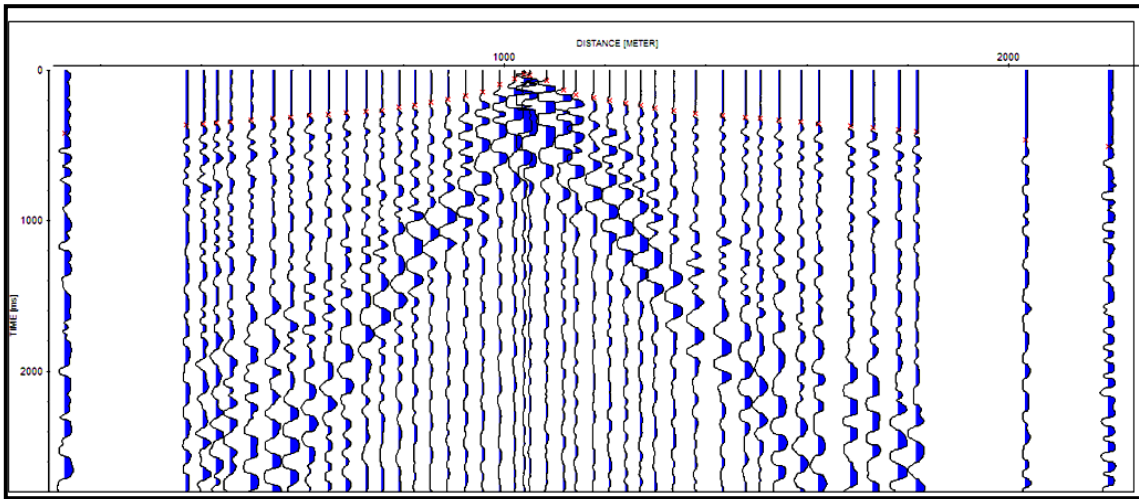
Primeras llegadas de onda P, perfil Base Sucre, disparo 2.



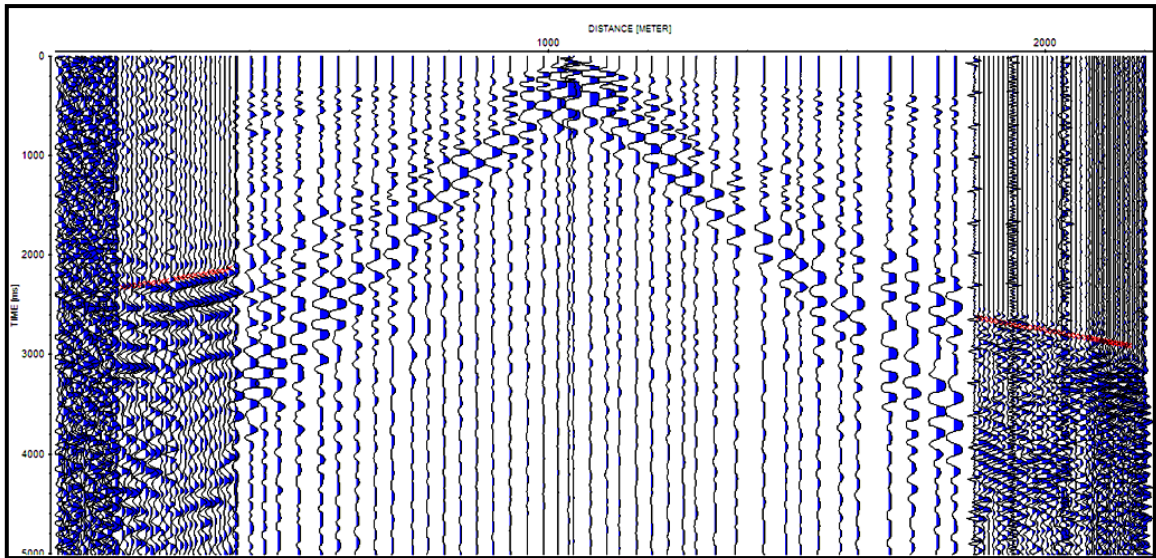
Primeras llegadas de onda S, perfil Base Sucre, disparo 2.



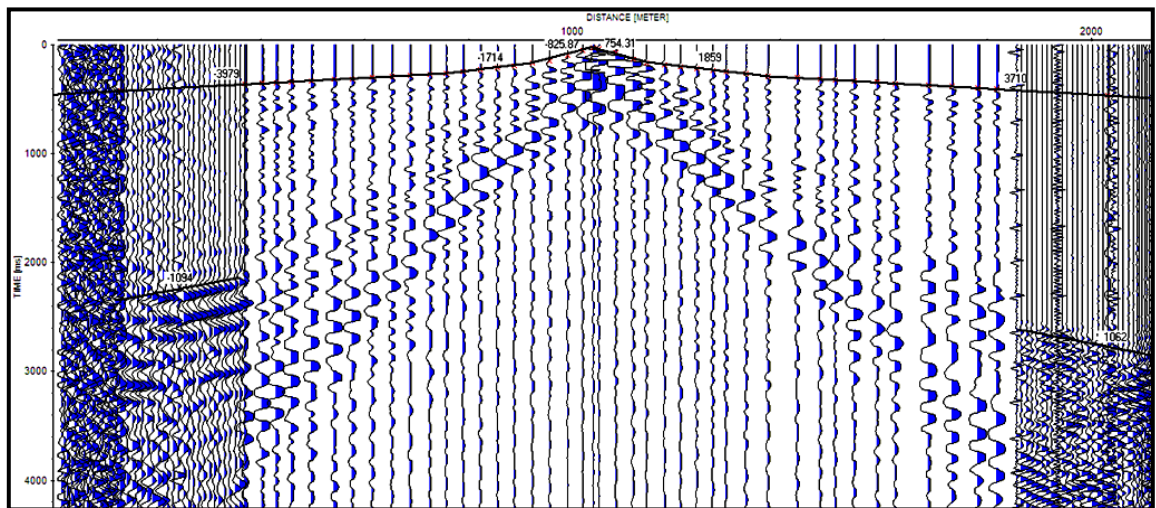
Velocidades aparentes de ondas P y S, perfil Base Sucre, disparo 2.



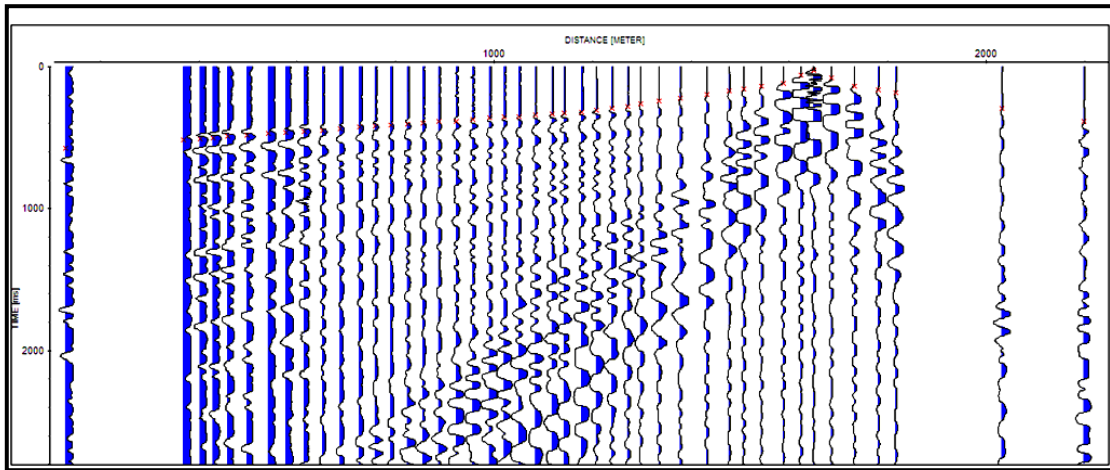
Primeras llegadas de onda P, perfil Base Sucre, disparo 3.



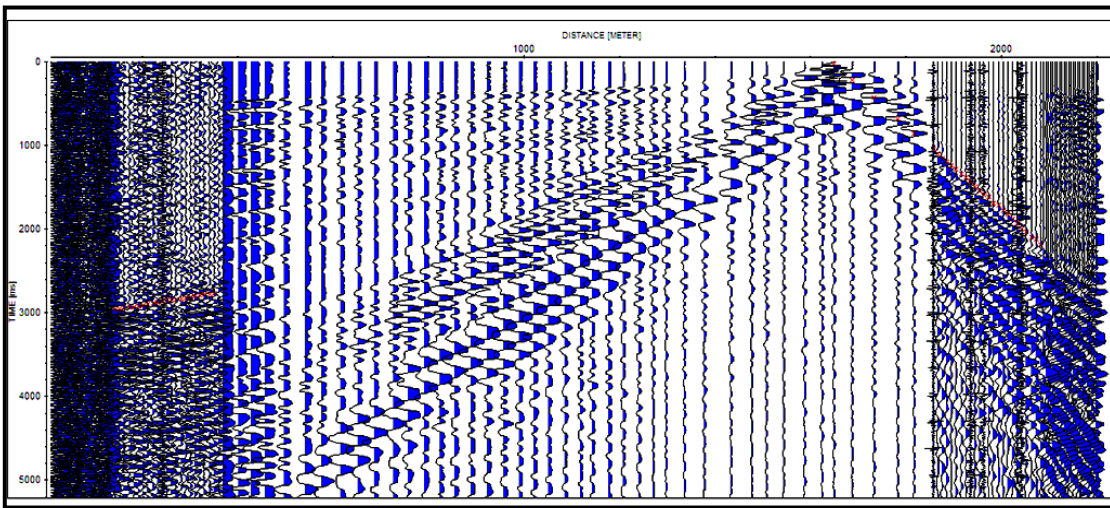
Primeras llegadas de onda S, perfil Base Sucre, disparo 3.



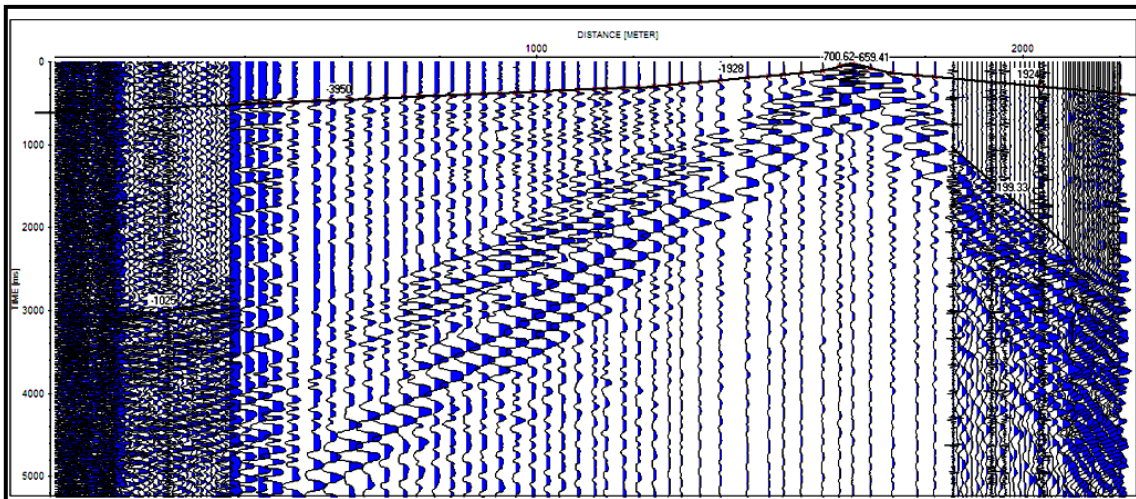
Velocidades aparentes de ondas P y S, perfil Base Sucre, disparo 3.



Primeras llegadas de onda P, perfil Base Sucre, disparo 4.



Primeras llegadas de onda S, perfil Base Sucre, disparo 4.



Velocidades aparentes de ondas P y S, perfil Base Sucre, disparo 4.

Capa	Distancia ( mts.)	0.00	400.00	700.00	800.00	1250.00	1532.00
1	Profundidad (mts.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Velocidad en tope ( Km/s)	0.60	0.45	0.55	0.50	0.50	0.45
	Velocidad en Base (Km/s)	0.70	0.60	0.70	0.65	0.65	0.55
2	Profundidad (mts.)	22.00	21.00	20.00	20.00	19.50	19.50
	Velocidad en tope ( Km/s)	1.85	1.85	1.85	1.80	1.70	1.75
	Velocidad en Base (Km/s)	1.95	1.95	1.95	1.90	1.85	1.85
3	Profundidad (mts.)	240.00	230.00	225.00	220.00	215.00	210.00
	Velocidad en tope ( Km/s)	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60
	Velocidad en Base (Km/s)	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70

Modelo de Velocidad Onda P Perfil Ciudad Plaza

Capa	Distancia ( mts.)	0.00	400.00	700.00	800.00	1250.00	1532.00
1	Profundidad (mts.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Velocidad en tope ( Km/s)	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44
	Velocidad en Base (Km/s)	0.53	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
2	Profundidad (mts.)	240.00	230.00	225.00	220.00	215.00	210.00
	Velocidad en tope ( Km/s)	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16
	Velocidad en Base (Km/s)	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31

Modelo de Velocidad Onda S Perfil Ciudad Plaza

Capa	Distancia ( mts.)	0.00	200.00	700.00	1250.00	1540.00
1	Profundidad (mts.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Velocidad en tope ( Km/s)	0.35	0.38	0.38	0.38	0.38
	Velocidad en Base (Km/s)	0.49	0.48	0.48	0.48	0.48
2	Profundidad (mts.)	25.00	22.00	20.00	19.00	18.00
	Velocidad en tope ( Km/s)	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
	Velocidad en Base (Km/s)	1.90	1.90	1.90	1.85	1.95
3	Profundidad (mts.)	280.00	275.00	270.00	260.00	250.00
	Velocidad en tope ( Km/s)	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60
	Velocidad en Base (Km/s)	3.90	3.85	3.85	3.85	3.90

Modelo de Velocidad Onda P Perfil Aeropuerto

Capa	Distancia ( mts.)	0.00	200.00	700.00	1250.00	1540.00
1	Profundidad (mts.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Velocidad en tope ( Km/s)	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
	Velocidad en Base (Km/s)	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
2	Profundidad (mts.)	280.00	275.00	270.00	260.00	250.00
	Velocidad en tope ( Km/s)	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
	Velocidad en Base (Km/s)	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45

Modelo de Velocidad Onda S Perfil Aeropuerto

Capa	Distancia ( mts.)	0.00	200.00	400.00	600.00	800.00	1200.00	1400.00	1600.00
1	Profundidad (mts.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Velocidad en tope ( Km/s)	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.65	0.65
	Velocidad en Base (Km/s)	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.75	0.75
2	Profundidad (mts.)	38.00	37.50	37.00	36.50	36.00	35.50	35.00	34.50
	Velocidad en tope ( Km/s)	1.76	1.76	1.76	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85
	Velocidad en Base (Km/s)	1.85	1.85	1.85	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95
3	Profundidad (mts.)	270.00	260.00	250.00	245.00	240.00	235.00	230.00	225.00
	Velocidad en tope ( Km/s)	3.65	3.65	3.65	3.65	3.65	3.65	3.65	3.65
	Velocidad en Base (Km/s)	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80

Modelo de velocidad onda P, perfil Parque Metropolitano.

Capa	Distancia ( mts.)	0.00	400.00	800.00	1200.00	1600.00
1	Profundidad (mts.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Velocidad en tope ( Km/s)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
	Velocidad en Base (Km/s)	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
2	Profundidad (mts.)	270.00	250.00	240.00	235.00	225.00
	Velocidad en tope ( Km/s)	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
	Velocidad en Base (Km/s)	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20

Modelo de velocidad onda S, perfil Parque Metropolitano.

Capa	Distancia ( mts.)	0.00	500.00	1000.00	1500.00	2000.00	2220.00
1	Profundidad (mts.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Velocidad en tope ( Km/s)	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
	Velocidad en Base (Km/s)	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
2	Profundidad (mts.)	31.00	32.00	33.00	33.50	34.00	35.00
	Velocidad en tope ( Km/s)	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
	Velocidad en Base (Km/s)	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90
3	Profundidad (mts.)	135.00	140.00	145.00	150.00	160.00	165.00
	Velocidad en tope ( Km/s)	3.90	3.90	3.90	3.90	3.90	3.90
	Velocidad en Base (Km/s)	4.05	4.05	4.05	4.05	4.05	4.05

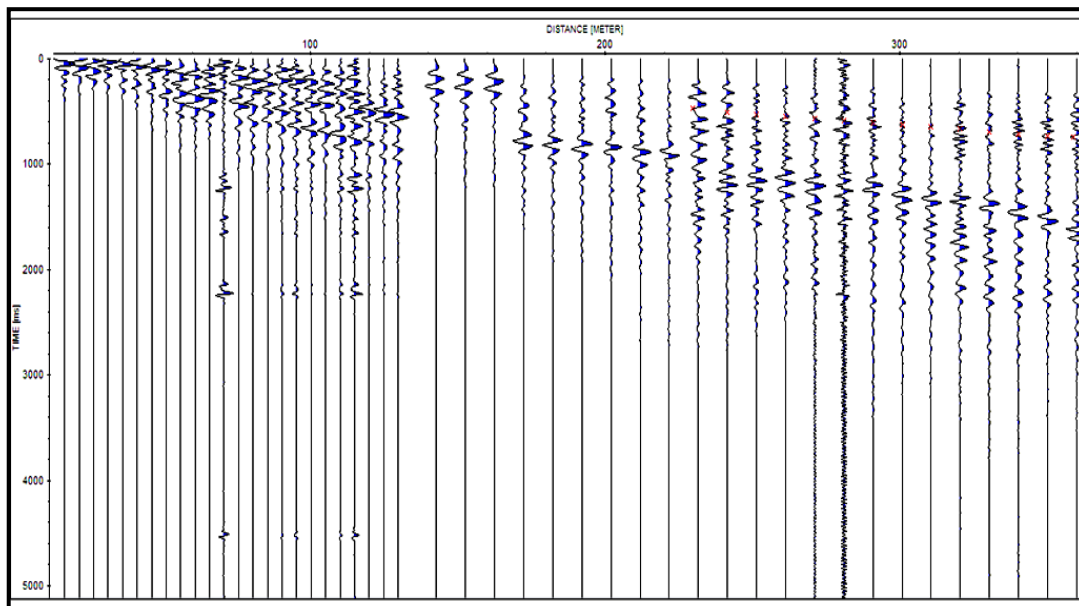
Modelo de Velocidad Onda P Base Sucre

Capa	Distancia ( mts.)	0.00	500.00	1000.00	1500.00	2000.00	2220.00
1	Profundidad (mts.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Velocidad en tope ( Km/s)	0.18	0.18	0.18	0.18	0.19	0.19
	Velocidad en Base (Km/s)	0.23	0.23	0.23	0.23	0.26	0.26
2	Profundidad (mts.)	135.00	140.00	145.00	150.00	160.00	165.00
	Velocidad en tope ( Km/s)	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	Velocidad en Base (Km/s)	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15

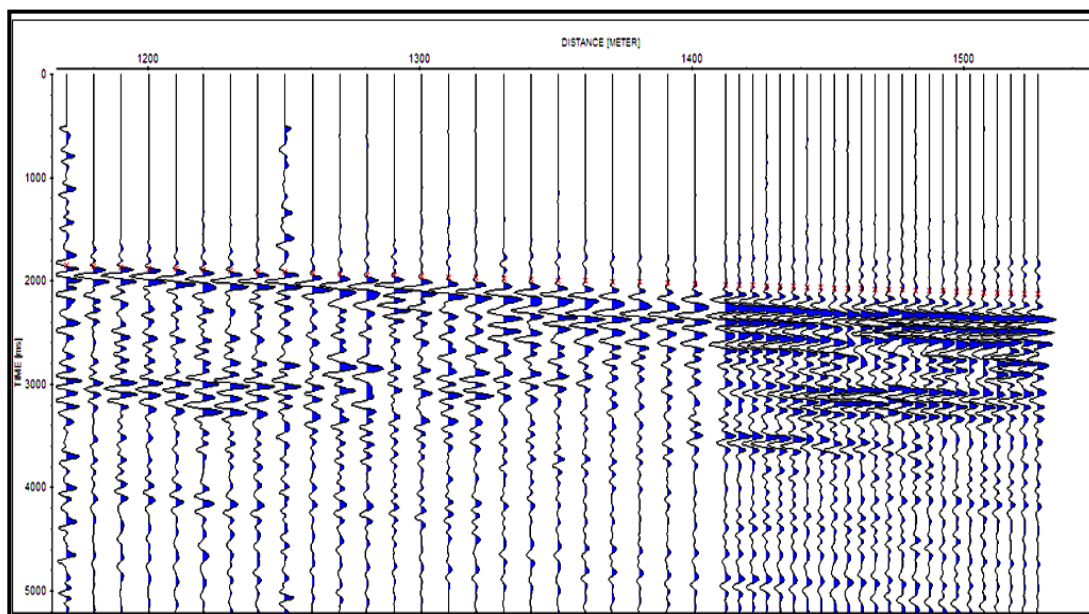
Modelo de Velocidad Onda S Base Sucre

# **ANEXOS 2**

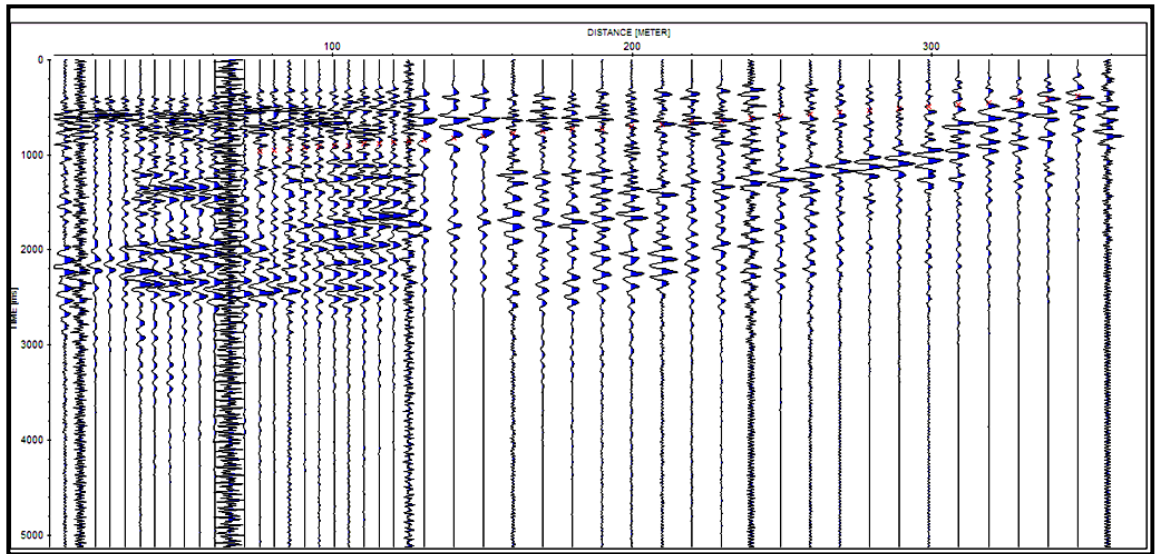
**(Secciones sísmicas generadas por  
Geodes)**



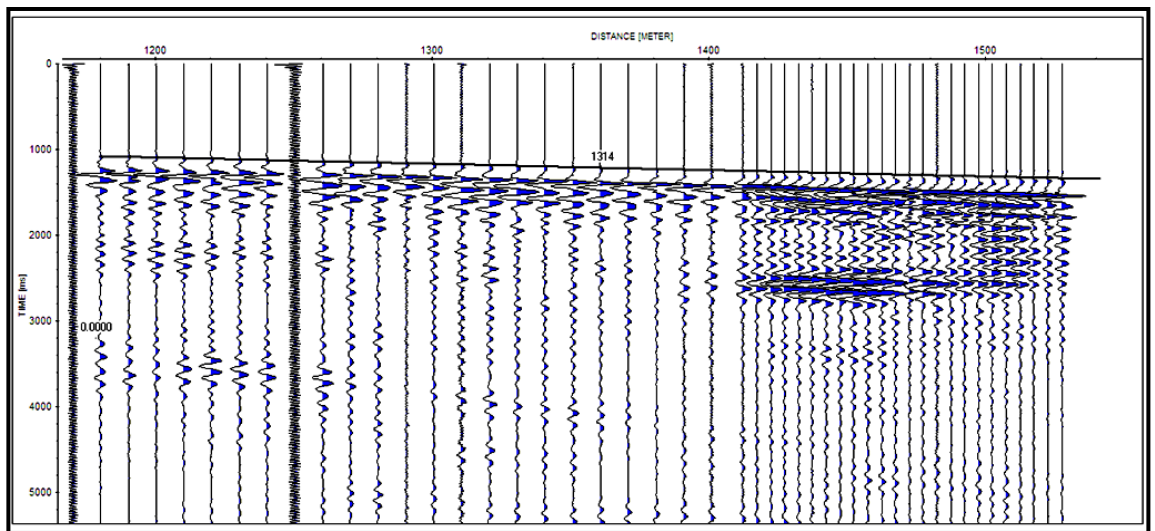
Geodes al norte del disparo 1, con corrección de t, perfil ciudad plaza



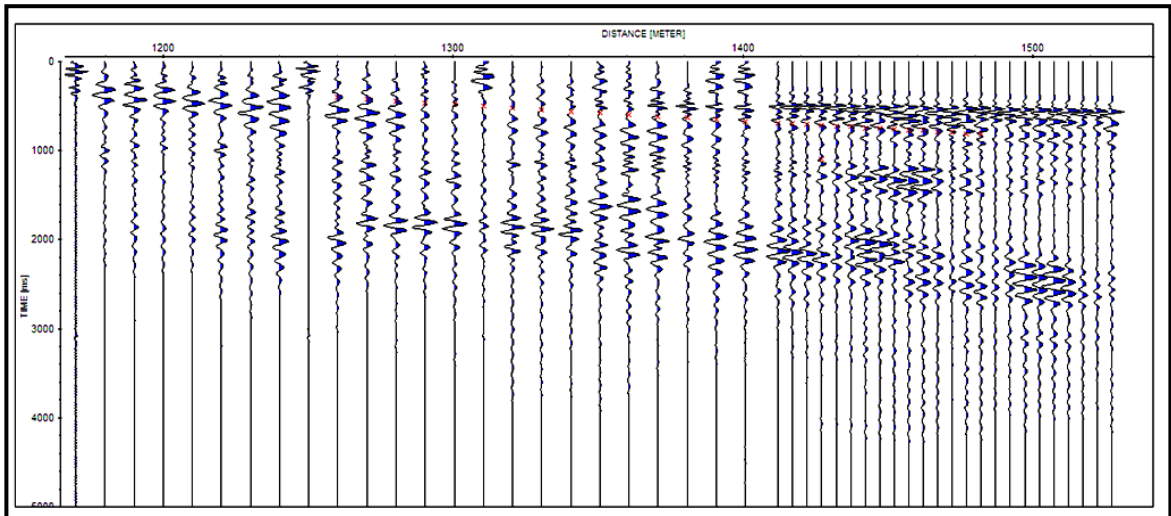
Geodes al sur del disparo 1, con corrección de t, perfil ciudad plaza



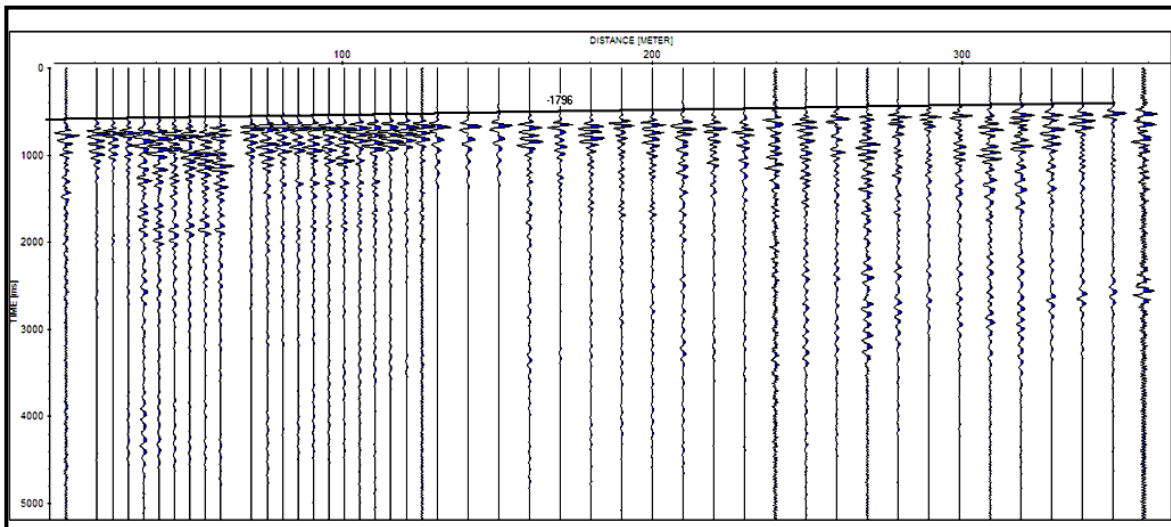
Geodes al norte del disparo 2, con corrección de t, perfil ciudad plaza



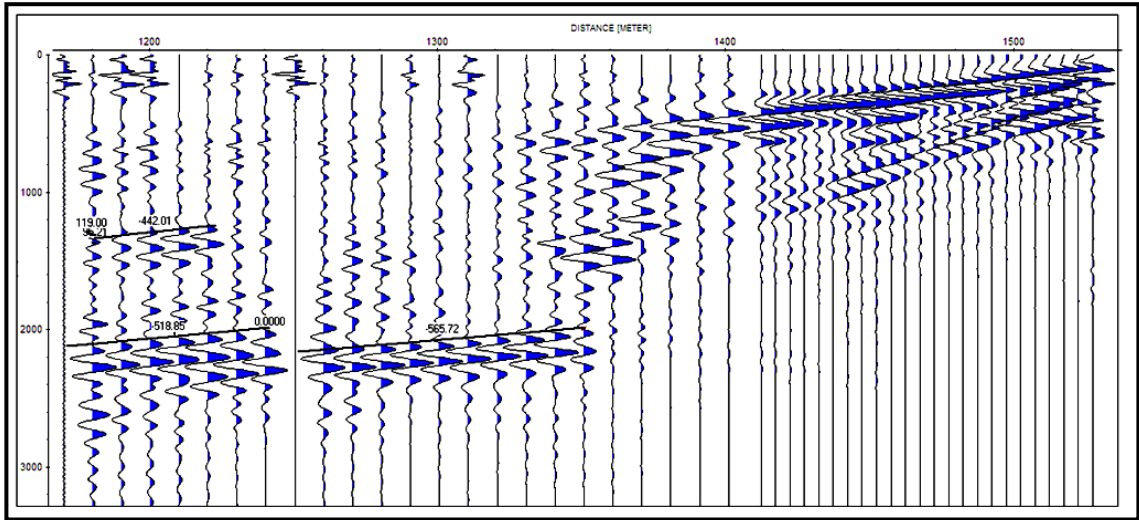
Geodes al sur del disparo 2, sin corrección de t, perfil ciudad plaza



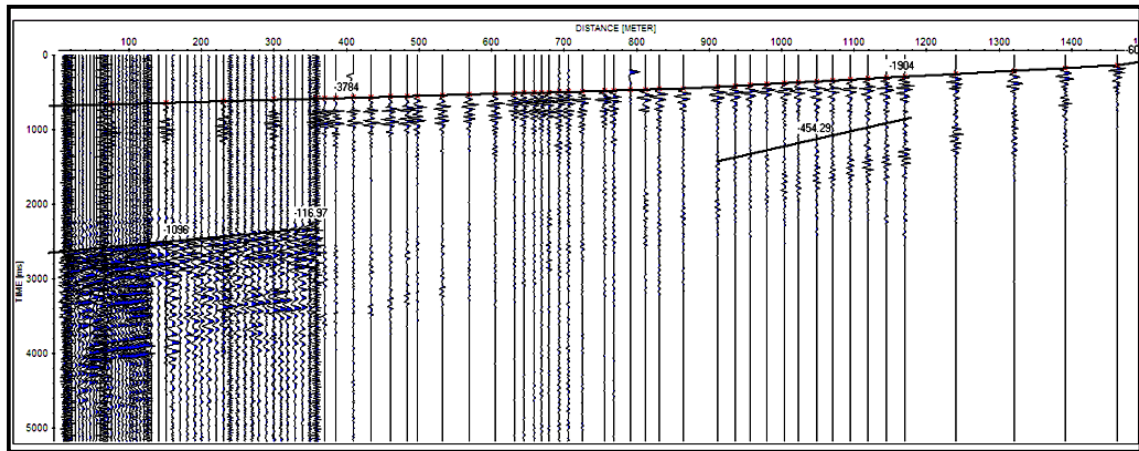
Geodes al sur del disparo 3, con corrección de t, perfil ciudad plaza



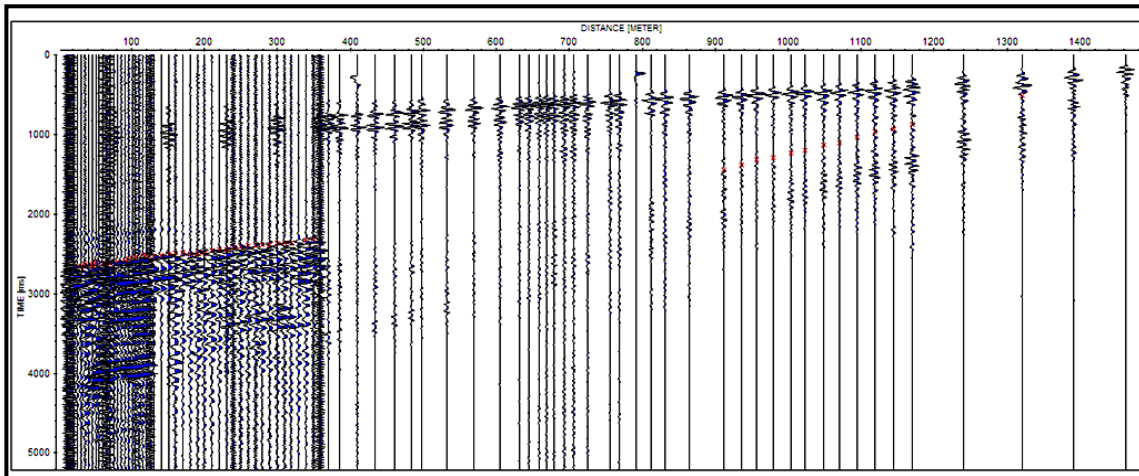
Geodes al norte del disparo 3, sin corrección de t, perfil ciudad plaza



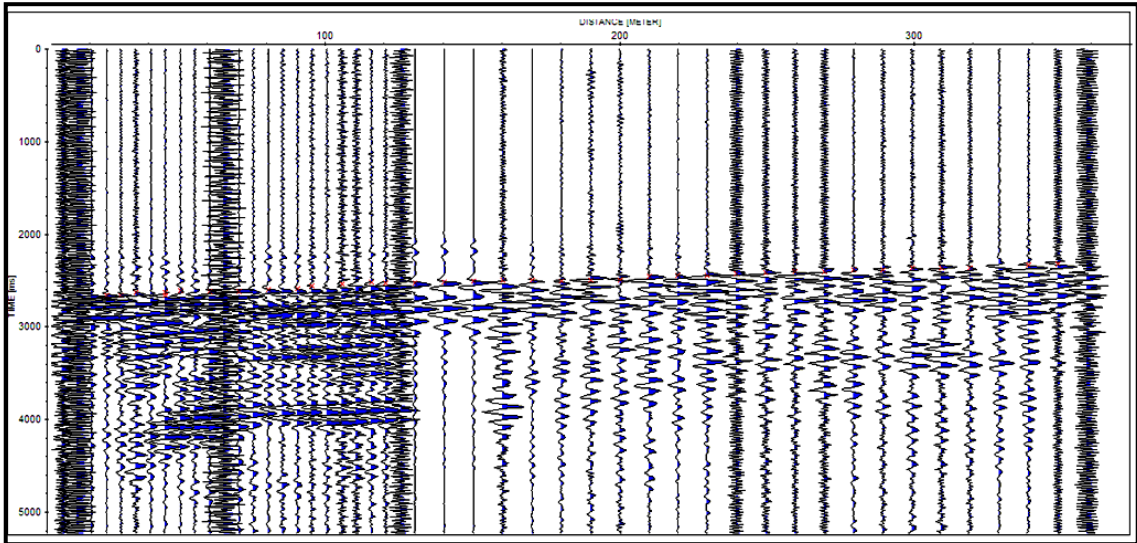
Geodes al sur del disparo 4, con corrección de t, perfil ciudad plaza



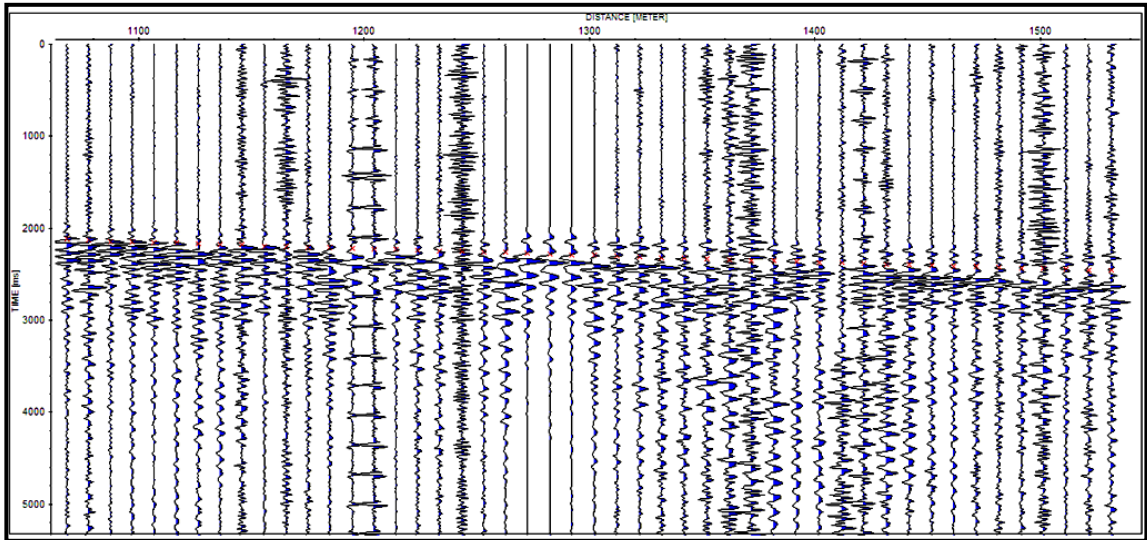
Velocidades aparentes perfil ciudad plaza dispa4



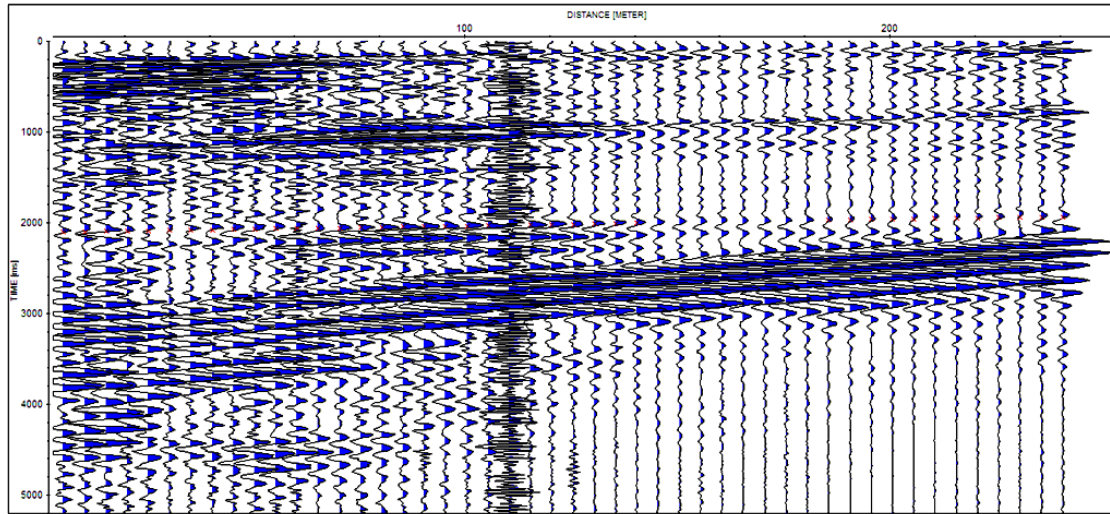
Primeras llegadas ondas s perfil ciudad plaza disparo 4



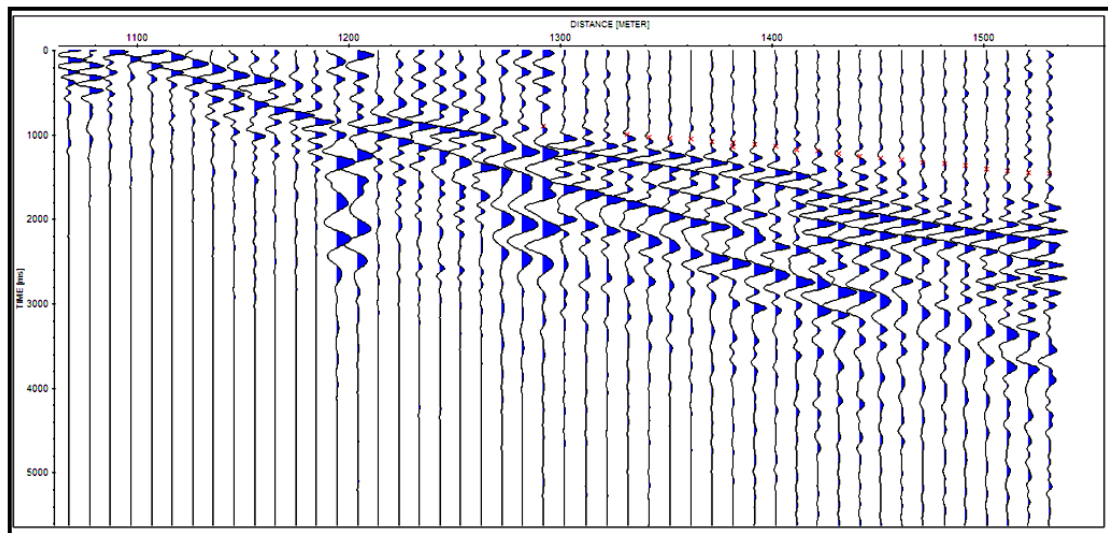
Geodes al norte del disparo 4, con corrección de t, perfil ciudad plaza



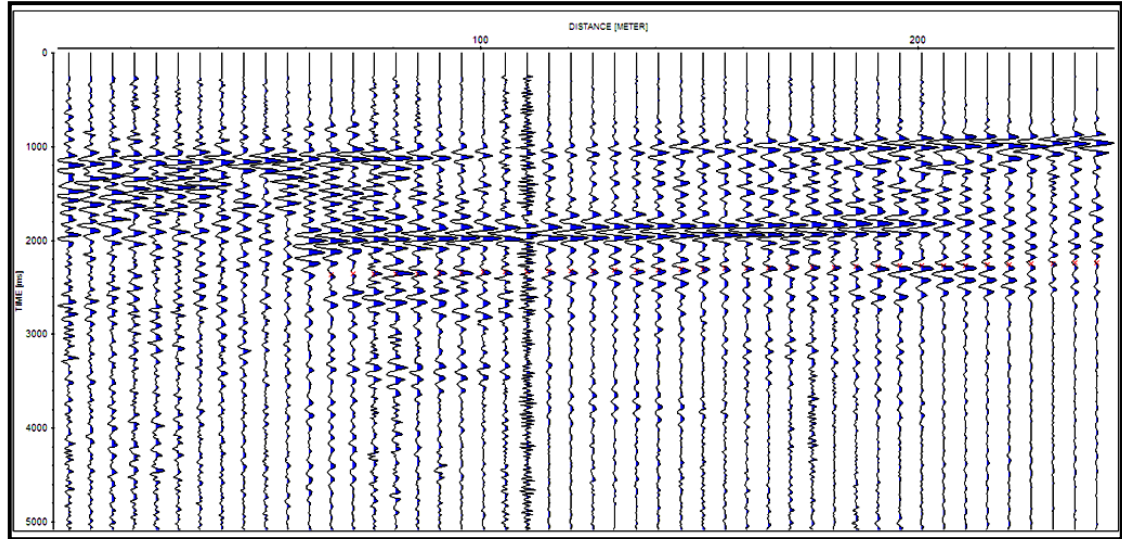
Geodes al sur del disparo 1, con corrección de t, perfil aeropuerto



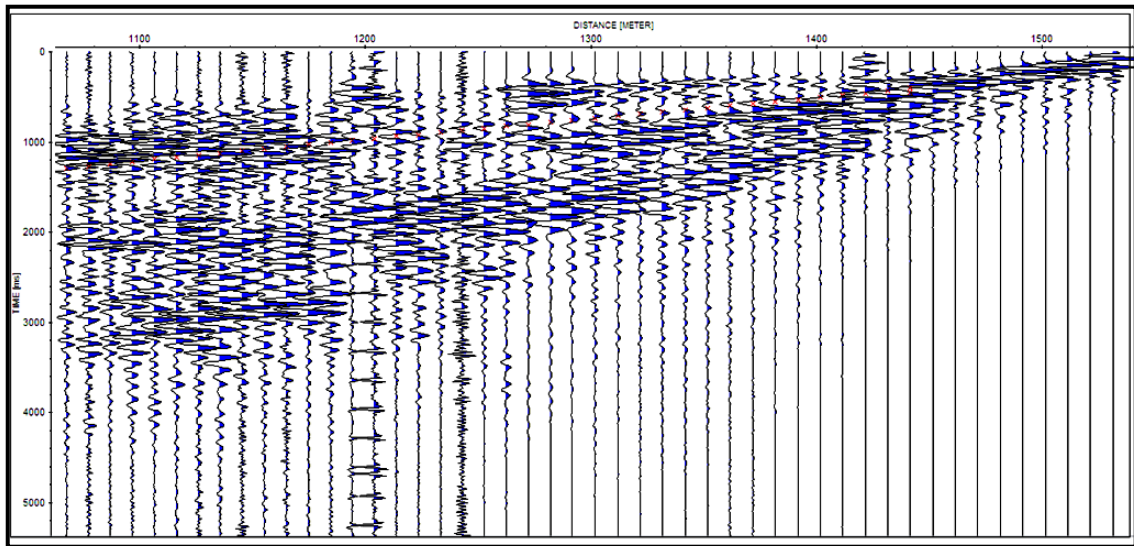
Geodes al norte del disparo 2, con corrección de t, perfil aeropuerto



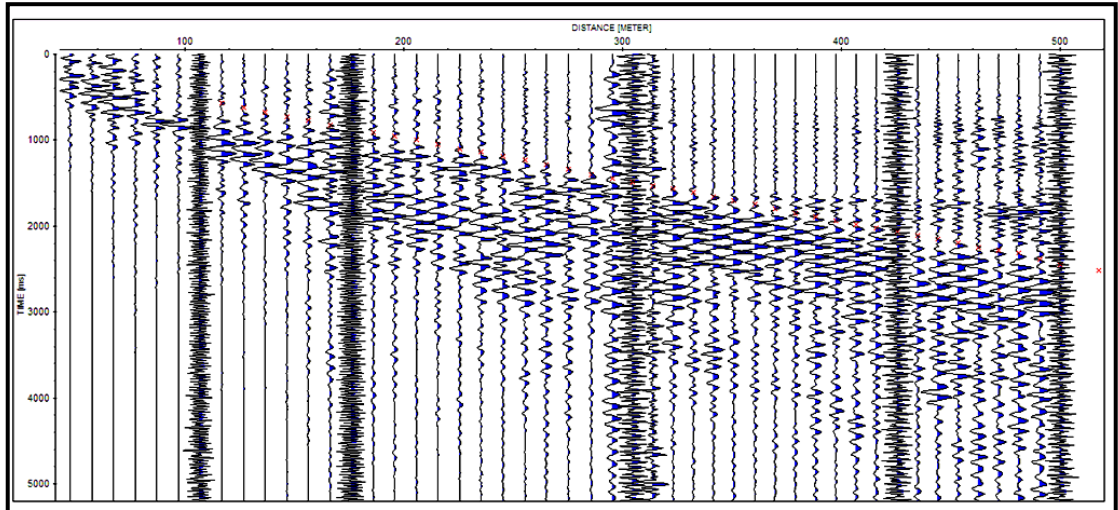
Geodes al sur del disparo 2, con corrección de t, perfil aeropuerto



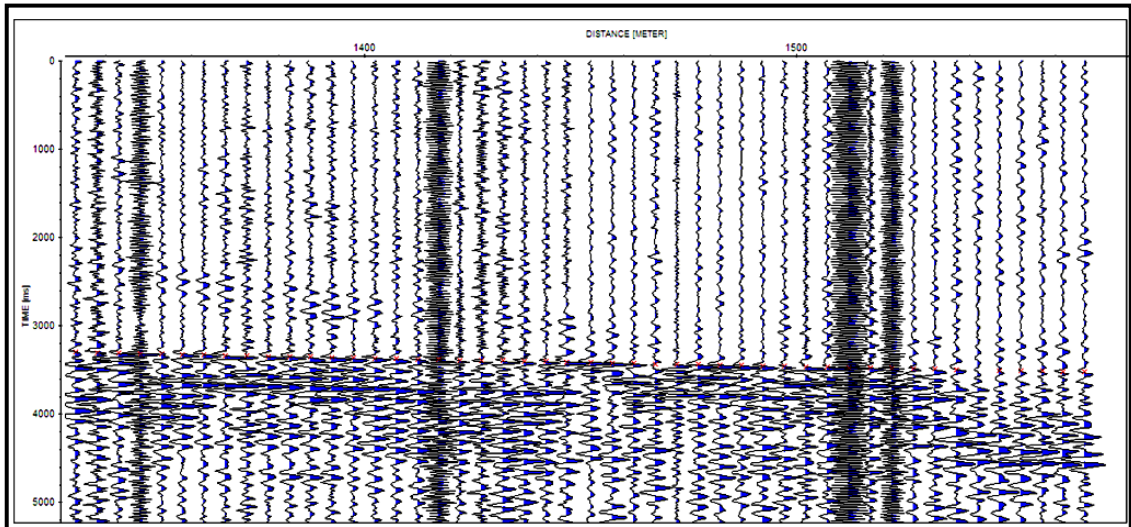
Geodes al norte del disparo 3, con corrección de t, perfil aeropuerto



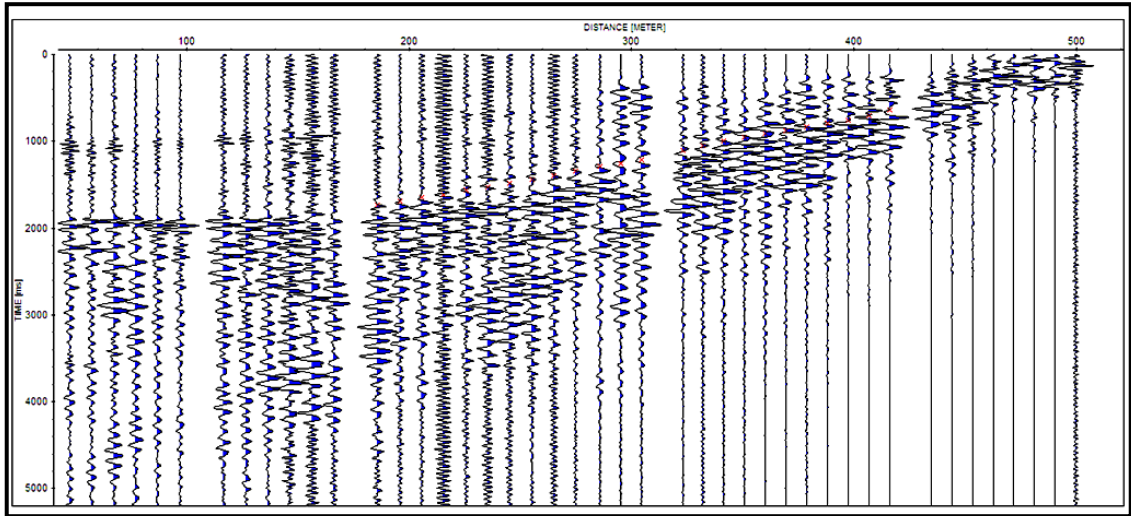
Geodes al sur del disparo 3, con corrección de t, perfil aeropuerto



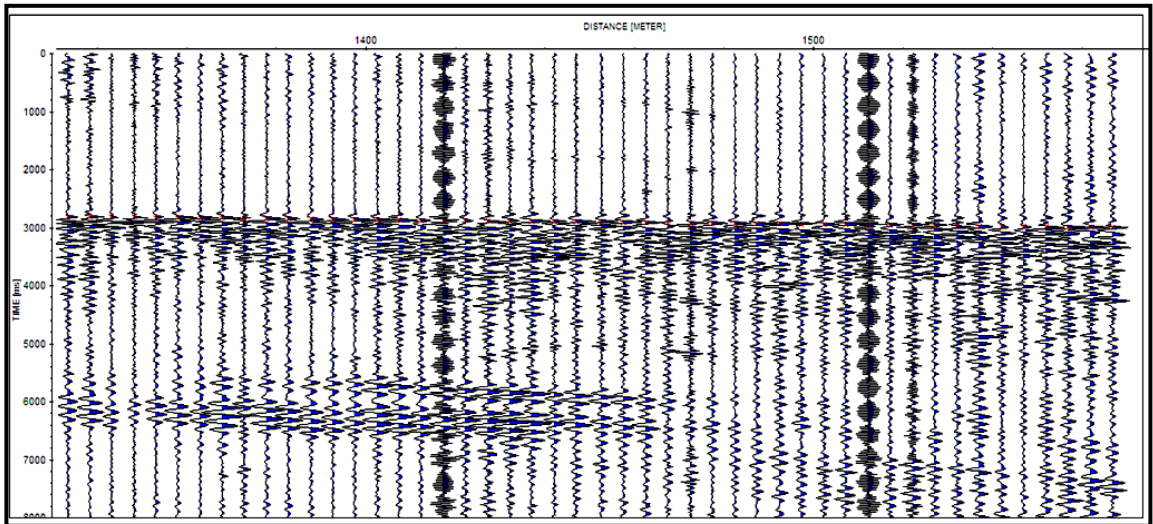
Geodes al norte del disparo 1, con corrección de t, perfil Parque Metropolitano.



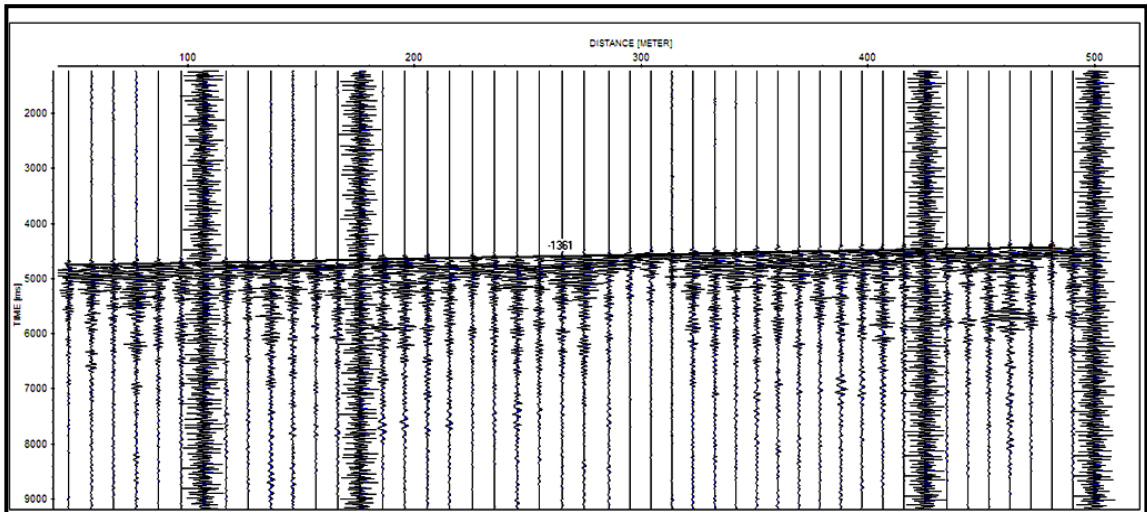
Geodes al sur del disparo 1, con corrección de t, perfil Parque Metropolitano.



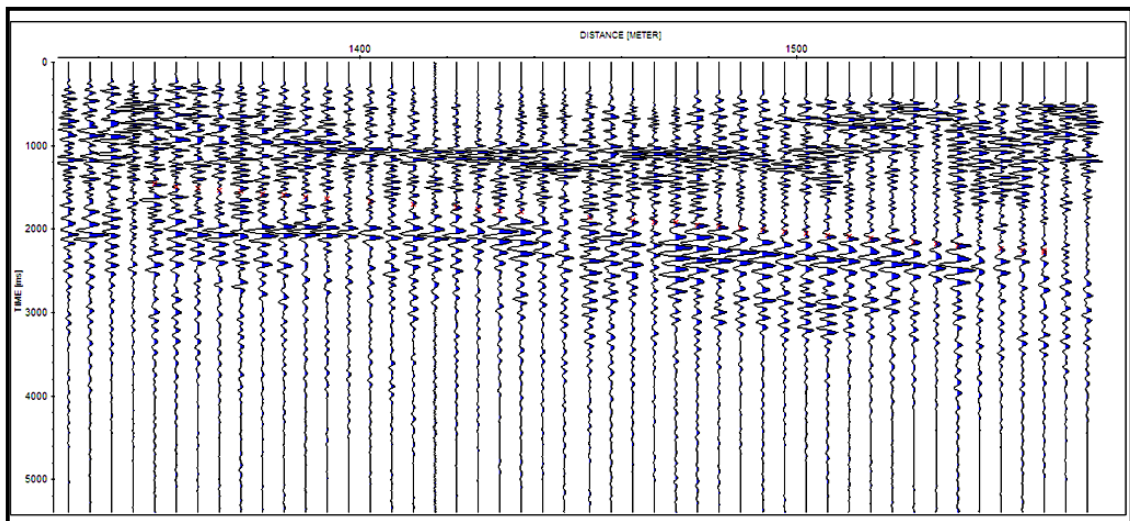
Geodes al norte del disparo 2, con corrección de t, perfil Parque Metropolitano.



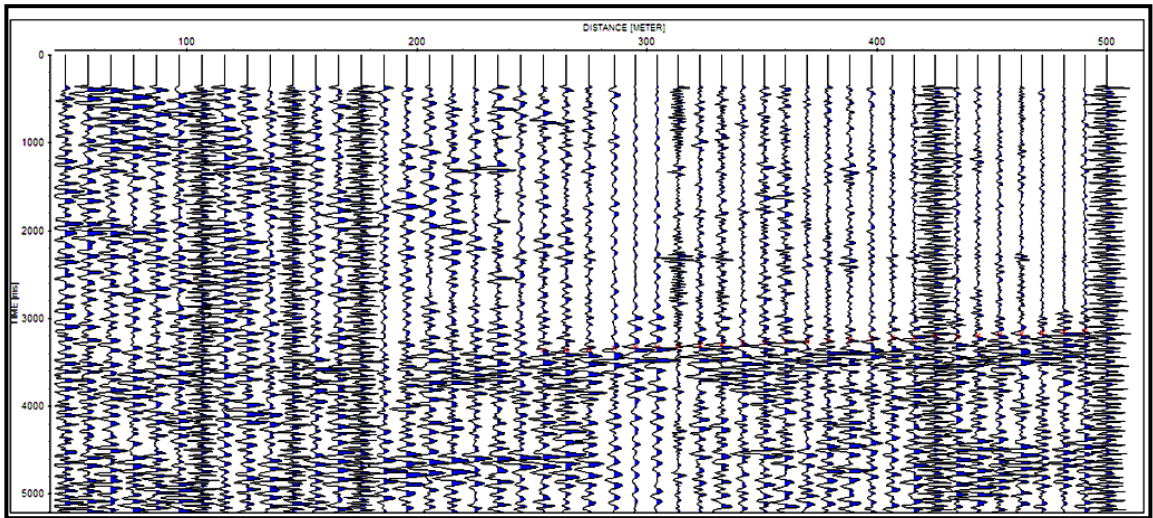
Geodes al sur del disparo 2, con corrección de t, perfil Parque Metropolitano.



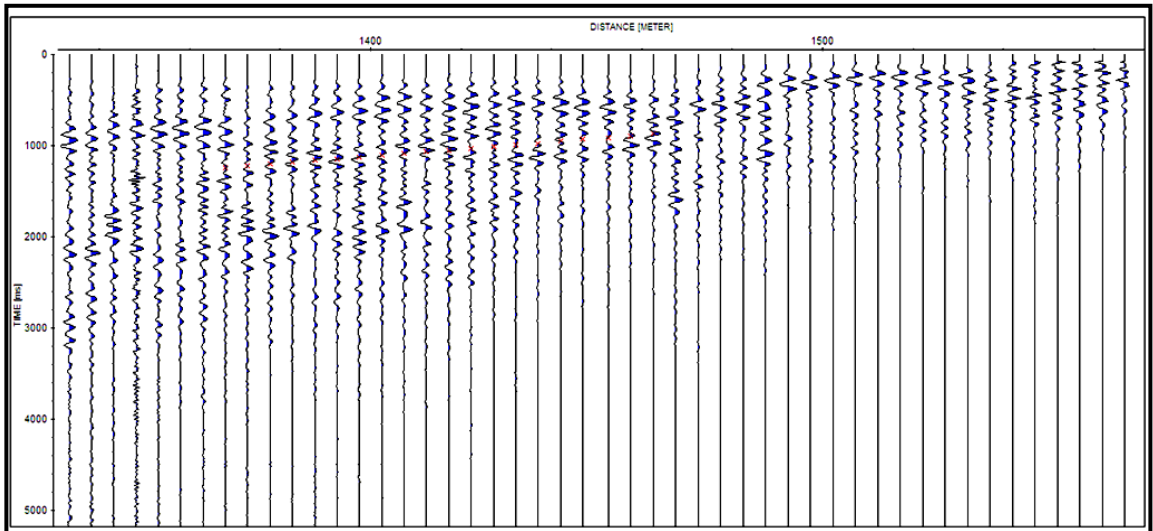
Geodes al norte del disparo 3, sin corrección de t, perfil Parque Metropolitano.



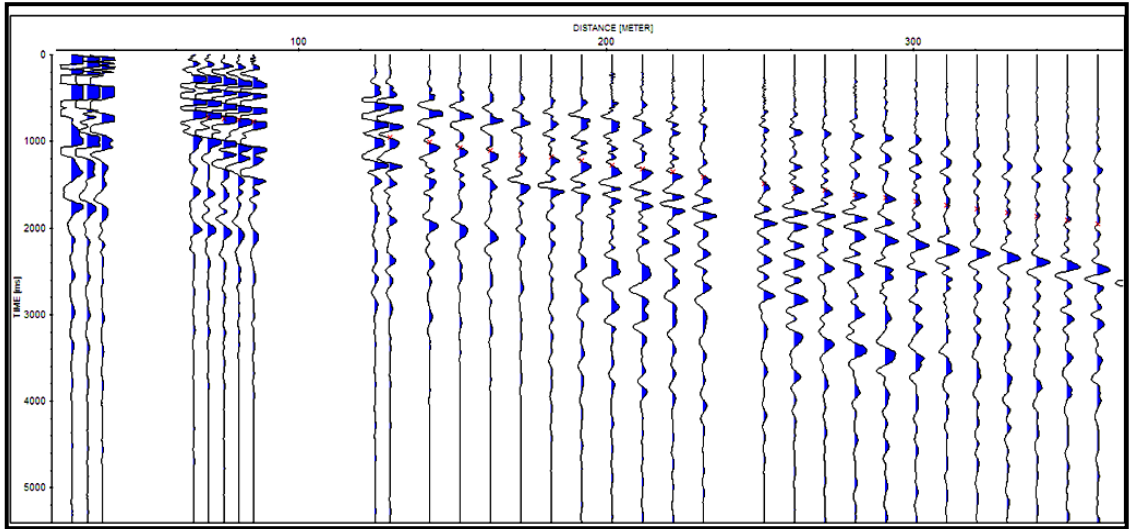
Geodes al sur del disparo 3, con corrección de t, perfil Parque Metropolitano.



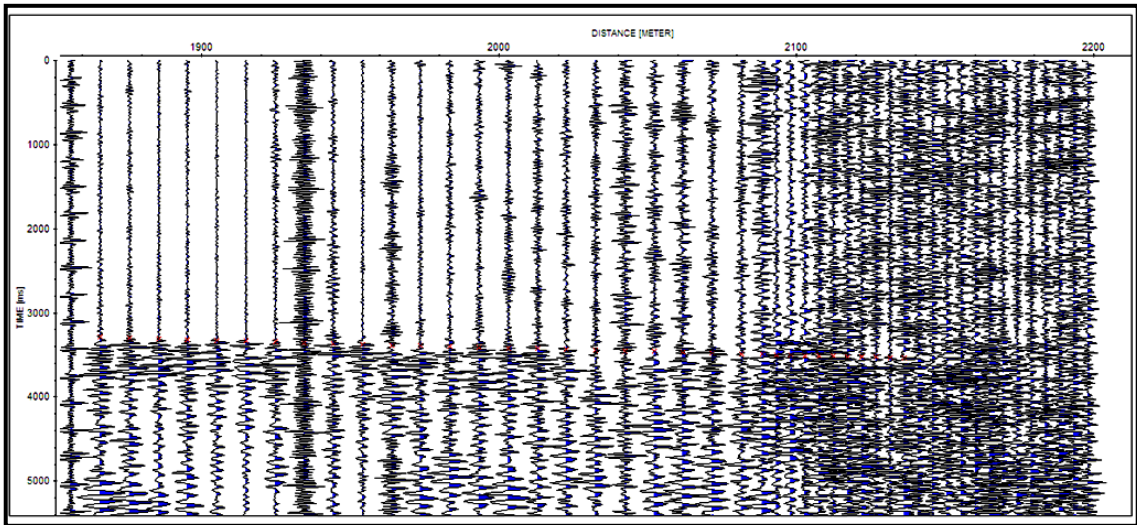
Geodes al norte del disparo 4, con corrección de t, perfil Parque Metropolitano.



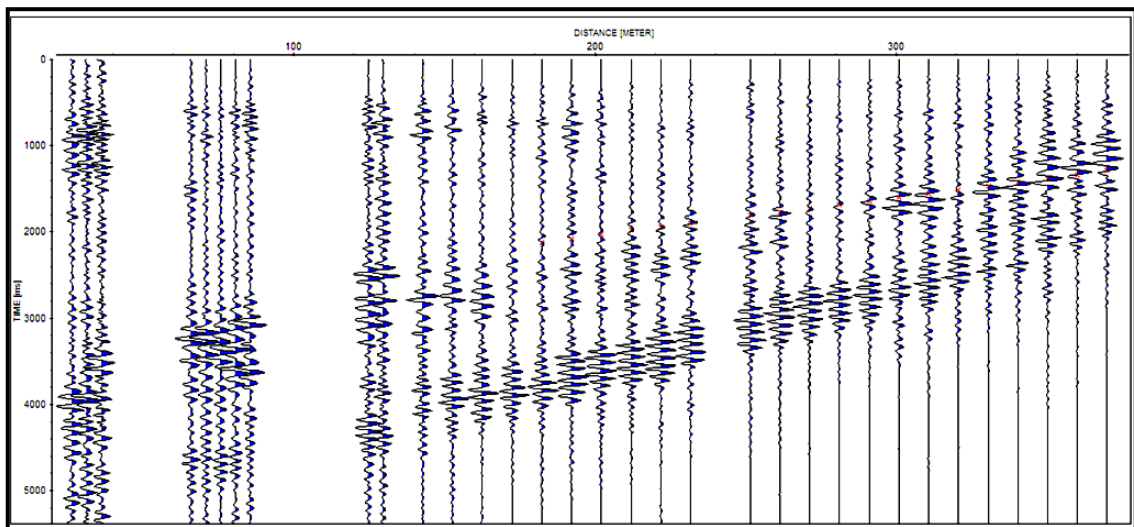
Geodes al sur del disparo 4, con corrección de t, perfil Parque Metropolitano.



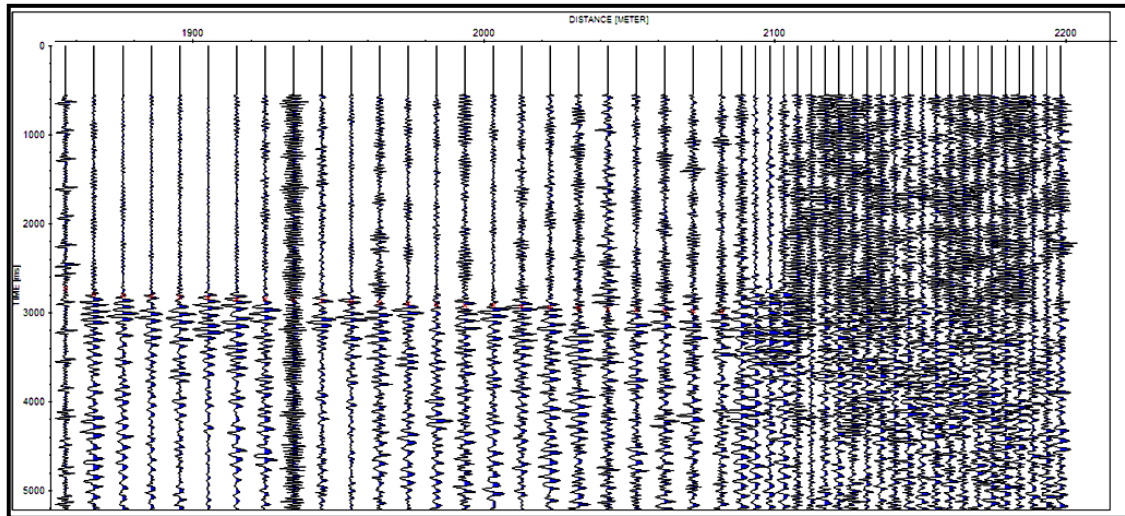
Geodes al norte del disparo1, con corrección de t, perfil Base Sucre.



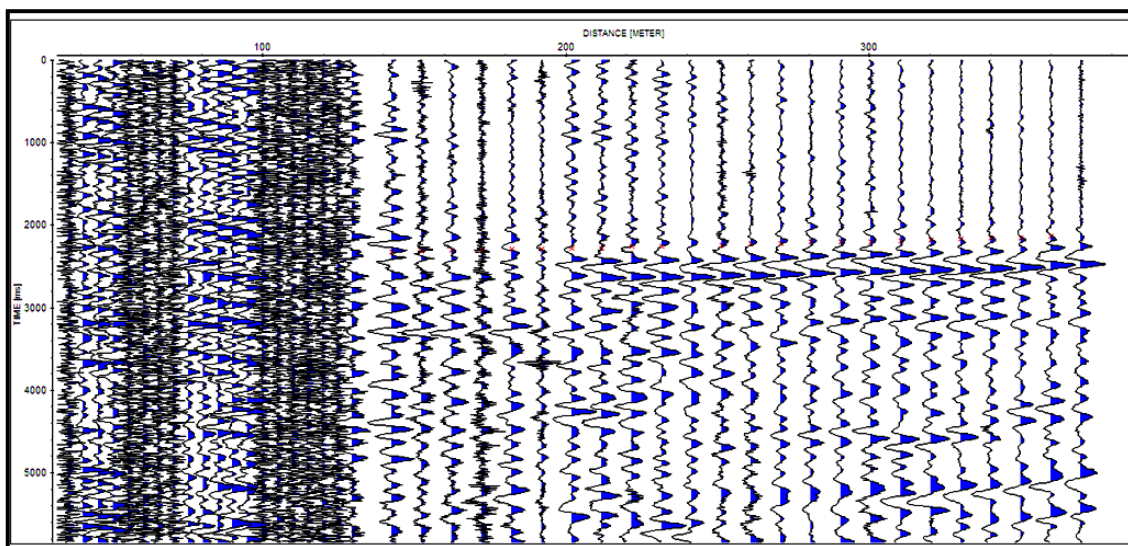
Geodes al sur del disparo1, con corrección de t, perfil Base Sucre.



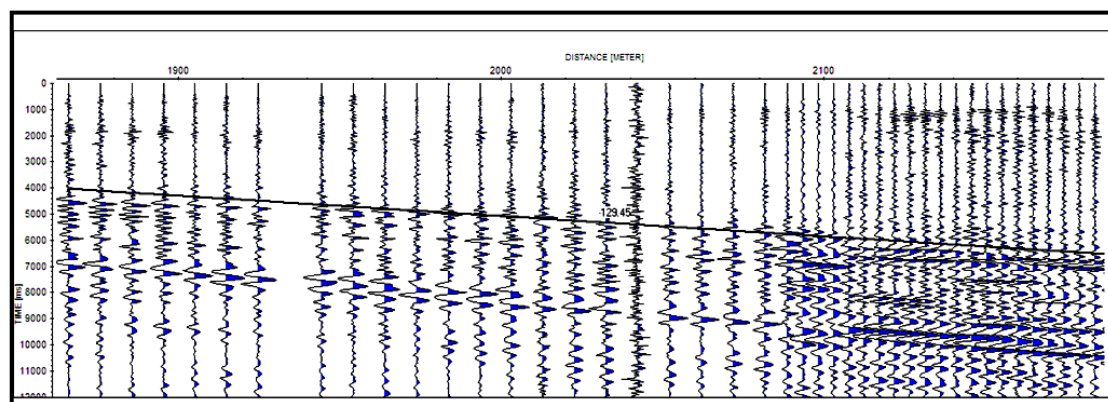
Geodes al norte del disparo 2, con corrección de t, perfil Base Sucre.



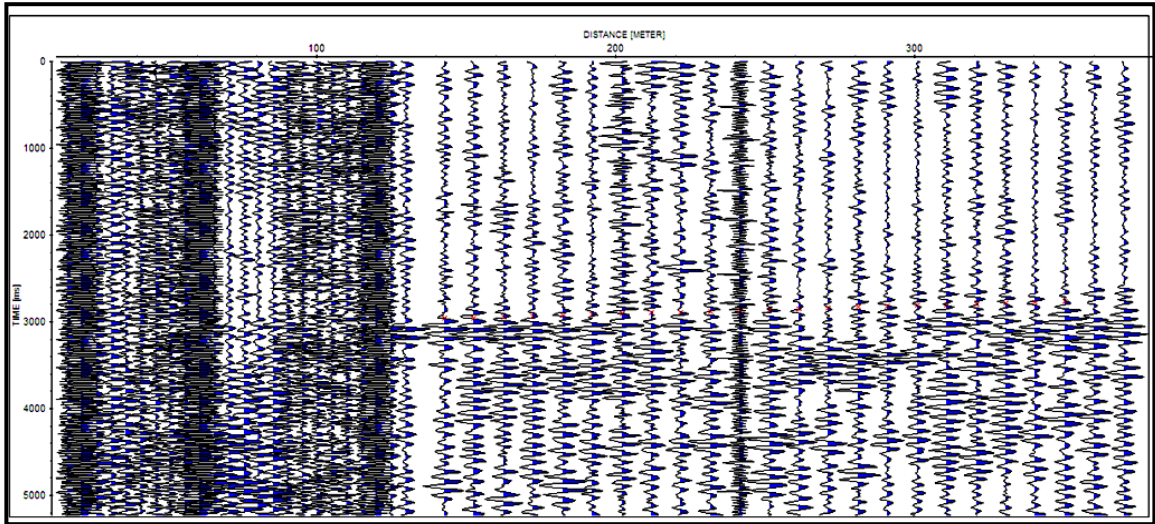
Geodes al sur del disparo 2, con corrección de t, perfil Base Sucre.



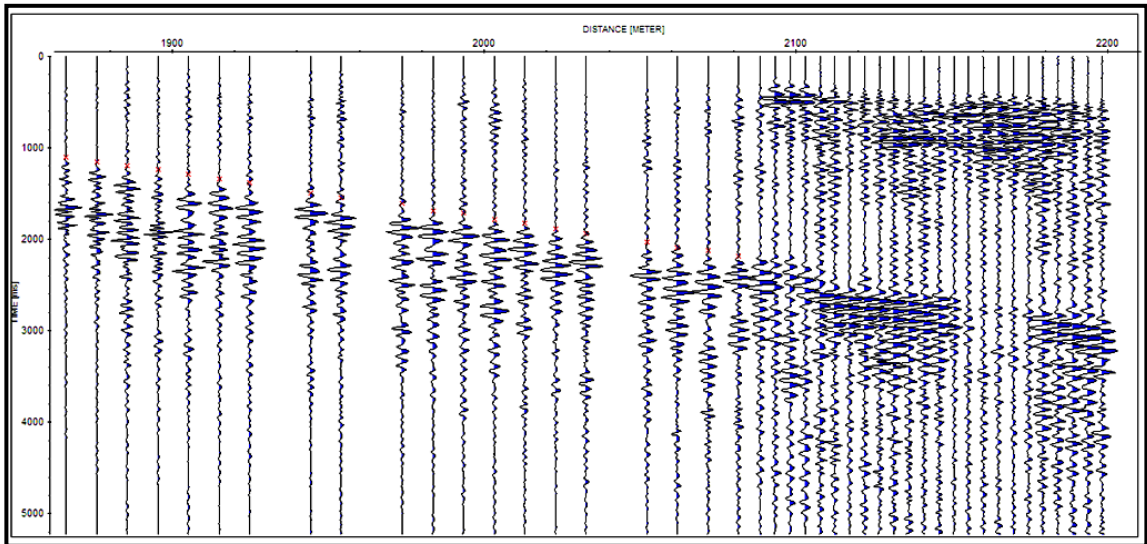
Geodes al norte del disparo 3, con corrección de t, perfil Base Sucre.



Geodes al sur del disparo 3, con corrección de t, perfil Base Sucre.



Geodes al norte del disparo 4, con corrección de t, perfil Base Sucre.



Geodes al sur del disparo 4, con corrección de t, perfil Base Sucre.