

CAPITULO 5: RESULTADOS DEL MÉTODO GEOFÍSICO SÍSMICA DE REFRACCIÓN.

5.1 Introducción.

El método geofísico sísmica de refracción se utiliza principalmente en la exploración de capas someras. Esta técnica, a través de la elaboración y análisis de un grafico tiempo-distancia determina la velocidad de propagación de las ondas sísmicas (función de los módulos elásticos del medio de propagación) en un medio determinado, con lo cual, se establece el espesor, profundidad y litología de los estratos que constituyen el subsuelo de alguna región geológica (Dobrin, 1975).

La exploración del subsuelo por medio de este método sísmico se realiza mediante el estudio de ondas sísmicas compresionales que sufren refracción total, (ondas refractadas u ondas cónicas con un ángulo critico); estas ondas son las primeras en ser percibidas por los sismodetectores (las ondas directas hasta una cierta distancia “llamada distancia crítica”, constituyen la excepción debido a que su arribo es primero), por lo que, es simple su identificación en los registros sísmicos.

De acuerdo a Dobrin (1975) y Cantos (1974) esta técnica sísmica es considerada como uno, de los principales métodos geofísicos para la obtención de datos en el área geotécnica.

En el área petrolera se utiliza para determinar estructuras geológicas como: anticlinales, fallas tectónicas. En el contexto geotécnico se utiliza cuando se requiere desplegar una obra civil; tal es el caso de edificios, presas, carreteras, puentes, aeropuertos, en donde es importante conocer la profundidad de la roca sana, el grado de alteración de los sedimentos, nivel de fracturamiento de las rocas, el volumen de material explotable que podría ser usado en la industria de la construcción y para establecer la continuidad y extensión de los estratos.

La información obtenida a través de este método (Guía de Prospección Sísmica por Refracción, 2000), permite determinar propiedades físicas y mecánicas del subsuelo tales como:

- a) Determinar la interface entre medios elásticos con un fuerte contraste de velocidad.
- b) Obtener perfiles y espesores de los sedimentos, hasta el basamento en una cuenca sedimentaria.
- c) Localizar fallas, paleocauces, zonas de fracturas en el basamento rocoso somero.
- d) Obtener un perfil de espesores y velocidades del sedimento hasta la roca sana, diferenciando suelo, roca meteorizada, roca submeteorizada y roca inalterada.
- e) Calcular volumen de material que pueda ser extraído.
- f) 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.

Los conceptos básicos sobre la propagación del movimiento ondulatorio fundamentales para poder comprender el método geofísico sísmica de refracción son:

1. Definición de onda: Las ondas elásticas son las perturbaciones que viajan a través de un medio elástico (Sheriff, 1991).
2. Conceptos esenciales de la onda.

Las siguientes definiciones caracterizan el movimiento ondulatorio, cuya naturaleza es la repetición de una onda senoidal (Hecht, 1997).

- Ondas armónicas: es la forma más sencilla en que se puede expresar una onda, el perfil corresponde a una función seno o coseno.

$$A \operatorname{sen} k (X - Vt)$$

Ecuación de una onda progresiva que viaja a una velocidad V en dirección de X

Donde:

K es conocida como número de propagación y es una constante positiva.

A es la amplitud de onda y corresponde al máximo valor de la perturbación (su rango va de 1 a -1).

X es la distancia.

t es el tiempo.

V corresponde a la velocidad.

Si se mantiene fija X o bien t el resultado será una onda senoidal, la cual es periódica tanto en el espacio como en el tiempo.

- El periodo espacial (λ) se conoce como longitud de onda.
- El periodo temporal (τ) es la cantidad de tiempo que le toma a una onda completar un ciclo (número de unidades de tiempo por onda).

$$\tau = \lambda/V$$

- Frecuencia (f): corresponde al inverso del periodo y representa el número de onda por unidad de tiempo.

$$f = 1/\tau$$

3. Teoría de la elasticidad.

El tamaño y la forma de un cuerpo rígido puede ser modificado al aplicar sobre el una fuerza externa, sin embargo a estas fuerzas externas se resisten otras fuerzas internas, las cuales ofrecen resistencia al cambio de forma y tamaño de un cuerpo (Sheriff, 1991).

Elasticidad es la propiedad que poseen algunos materiales que son sometidos a esfuerzos de regresar a su estado original al desaparecer dichos esfuerzos (Del Valle, 1986).

La teoría de la elasticidad relaciona los esfuerzos aplicados a un cuerpo con las deformaciones (cambio del tamaño y la forma) que este sufre, ésta es conocida como modulo elástico o constante de proporcionalidad (Sheriff, 1991).

$$\text{Modulo elástico} = \frac{\text{Esfuerzo}}{\text{deformacion unitaria}}$$

Este comportamiento se ejemplifica con la ley de Hooke, que establece:

El alargamiento unitario que sufre un material elástico es proporcional a la fuerza F aplicada sobre el (Stein, 2003).

4. Constantes elásticas.

Se pueden distinguir dos tipos de deformaciones (Del Valle, 1986) de las cuales se derivan los módulos elásticos que, de acuerdo a Dobrin, 1975 se definen a continuación:

- Cuerpos que conservan su volumen: Son originados por esfuerzos tensionales y compresivos, originan deformaciones transversales las cuales compensan la deformación producida en sentido longitudinal.
- Modulo de Young (E): es la constante de proporcionalidad.

Cuando mayor sea el valor de E para un cuerpo sólido menor será la deformación causada por algún esfuerzo.

$$E = \frac{\text{Esfuerzo}}{\text{deformación}}$$

- Coeficiente de Poisson (γ): es la relación existente entre la deformación perpendicular a la fuerza deformante y la dirección de tensión.

$$\gamma = \frac{\text{deformación transversal}}{\text{deformación longitudinal}}$$

- Modulo de rigidez o de cizallamiento (n): Considerando un esfuerzo cortante la tensión es proporcional al esfuerzo si la magnitud es mínima.

$$n = \frac{\textit{esfuerzo cortante}}{\textit{deformacion angular}}$$

- Deformaciones con variaciones de volumen de los cuerpos sólidos: Este tipo de deformaciones se obtienen cuando los cuerpos están distribuidos uniformemente alrededor de un cuerpo.
- Modulo volumétrico o compresibilidad (k): Se define como la presión dividida entre el cambio de volumen que sufre un cuerpo.

$$k = \frac{\textit{presión}}{\Delta v}$$

- Las constantes elásticas anteriores están íntimamente relacionadas, y de ellas se derivan las constantes elásticas de Lammel.

$$\mu = \frac{E}{2(1 + \gamma)} = n$$

$$\lambda = \frac{\gamma E}{(1 + \gamma)(1 - 2\gamma)} = k - \frac{2}{3}\mu$$

5. Leyes que rigen la propagación de ondas sísmicas.

Las leyes que rigen la propagación del movimiento ondulatorio son las siguientes (Stein, 2003):

- Principio de Huyghens: Establece que cada punto de un frente de ondas actúa como una nueva fuente de ondas que se propaga en todas direcciones.
- Principio de Fermat: Establece que un rayo sónico que va de un punto a otro sigue la trayectoria que produce el tiempo mínimo.
- Leyes de la refracción y reflexión:

Primera ley de Snell: el seno del ángulo incidente es igual al seno del ángulo reflejado.

$$\text{Sen } i = \text{Sen } R$$

Segunda ley de Snell: Establece la siguiente expresión matemática entre el rayo incidente y el rayo refractado:

$$\frac{\text{Sen } i}{\text{Sen } R} = \frac{V1}{V2}$$

Los principios antes mencionados guardan una estrecha relación con los siguientes conceptos (Del Valle, 1986):

- Frente de onda: es el lugar geométrico de todos los puntos que tienen el mismo estado de vibración.
- Trayectoria: es perpendicular al frente de onda e indica la dirección y sentido de propagación del movimiento ondulatorio.

6. Transmisión de ondas sísmicas.

Cuando un medio elástico es sometido a un esfuerzo, y posteriormente este desaparece se origina un movimiento ondulatorio, el cual se desplazará en todas direcciones a una velocidad V , la cual está definida por los módulos elásticos del medio de propagación. (Del Valle, 1986).

Al ocurrir este acontecimiento se generan distintos tipos de onda los cuales son (Udias, 1999):

- Ondas longitudinales: Son aquellas en las que el movimiento de la partícula se produce en la misma dirección de propagación, son las primeras en llegar en los terremotos y son las ondas que se utilizan en la prospección sísmica de refracción y reflexión.
- Ondas transversales: son aquellas en el que el movimiento de vibración de la partícula se produce en dirección perpendicular a la dirección de propagación, en este caso, si las partículas viajan de arriba a abajo se la onda se llama SV y si lo hacen en un plano horizontal se llaman SH.

Las velocidades de propagación de ambas ondas están relacionadas con las constantes elásticas de los medios de propagación, como a continuación se muestra:

$$V_L = \sqrt{\frac{E(1-\sigma)}{\rho(1+\sigma)(1-2\sigma)}}$$

$$V_T = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\sigma)}}$$

- Ondas Raleigh: el movimiento de vibración se efectúa en un plano perpendicular a la dirección de propagación, su movimiento es elíptico y retrogrado.

- Ondas love: el desplazamiento de la partícula es solo horizontal y perpendicular a la dirección de propagación.

5.2 Prospección sísmica por refracción en Motozintla, Chiapas.

El estudio geofísico de refracción se realizó durante el mes de enero, 2010, durante el cual se obtuvieron siete perfiles sísmicos distribuidos sobre la cabecera municipal de Motozintla de Mendoza, Chiapas (Figura 11), con la finalidad de determinar las propiedades sísmicas del subsuelo. La metodología utilizada para realizar dicha prospección consta de las siguientes etapas (Guía de prospección sísmica por refracción, 2000):

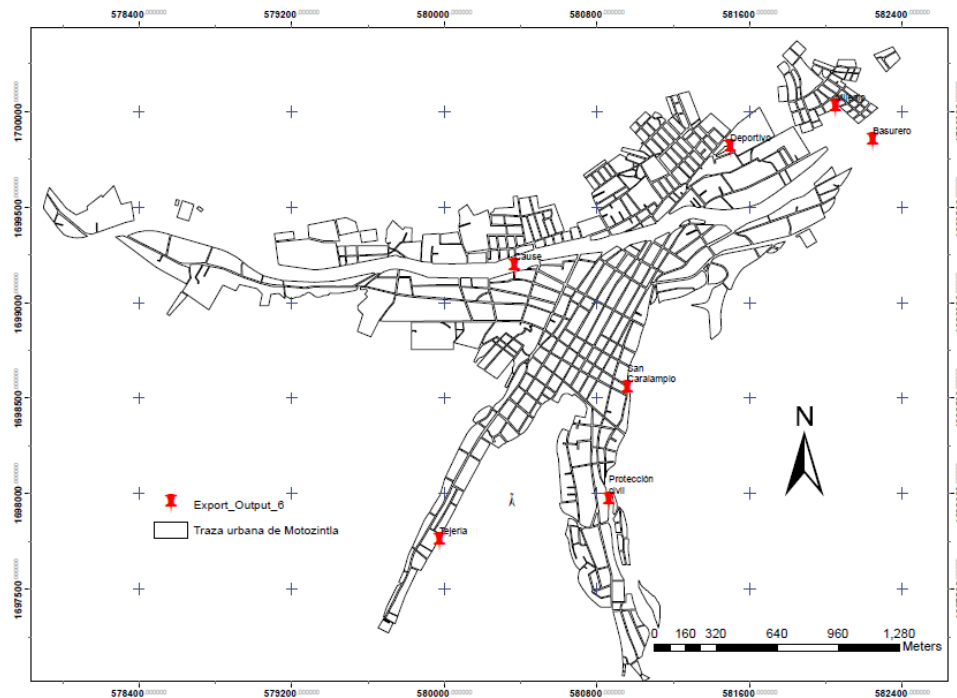


Figura 11. Ubicación de los 7 perfiles sísmicos realizados en el área de estudio.

5.2.1 Etapa 1: Recopilación de información.

Se utilizaron las siguientes fuentes de información:

a) Imágenes satelitales (Figura 12): Permitieron planear la posible ubicación geográfica de los perfiles sísmicos¹; conocer las condiciones del terreno tales como: vegetación, zona urbana, área de cultivo, taludes y la ubicación de las vías de acceso al lugar. Las características que debe reunir un terreno para realizar perfiles sísmicos son: longitud mayor a 40 metros, no debe estar pavimentado, debe ser un área plana, el tránsito de personas y automóviles debe ser mínimo.

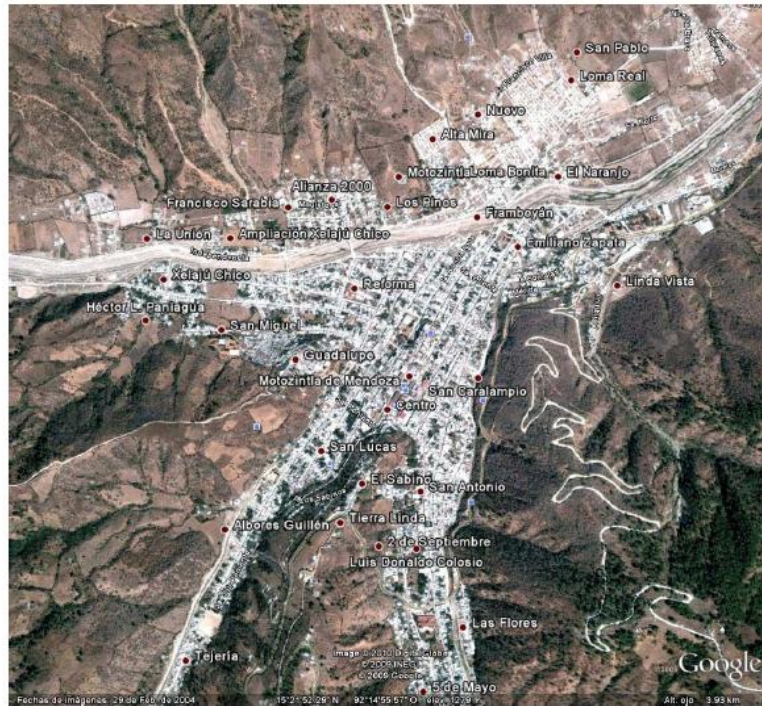


Figura 12: Imagen satelital del municipio de Motozintla de Mendoza, Chiapas.

a) Mapas topográficos: Permiten conocer las irregularidades del terreno.

¹ La planificación de los perfiles sísmicos fue realizado por la matemática Kerigma Larrazábal Garaviz, quien es parte del equipo de trabajo del departamento de sismología del Instituto de Geofísica de la UNAM, quienes son parte del proyecto de investigación multidisciplinario denominado “Construcción de escenarios de riesgo para la reducción de desastres: Proyecto piloto Sierra Madre y Planicie costera del estado de Chiapas”.

5.2.2 Etapa 2: Adquisición de datos.

Los elementos indispensables para realizar una prospección sísmica de refracción son:

- a) Fuente sísmica: Es el elemento generador de ondas sísmicas, por medio de él se genera la energía en el interior del subsuelo mediante explosiones, vibraciones, o percusiones. Esta energía produce ondas elásticas.
- b) Medio de propagación (rocas, aire, agua): elemento que se encarga de dispersar las ondas mecánicas en todas direcciones.
- c) Receptor: Registra los primeros arribos de las ondas sísmicas que siguen la trayectoria de tiempo mínimo.

Equipo necesario para generar, detectar y almacenar las ondas cónicas:

- a) Fuente sísmica: Fuente de impacto, consiste en un mazo de 8 kg.
- b) Placa de acero.
- c) Detectores: 24 geófonos verticales fabricados por la compañía Texas instruments.
- d) Cables de transmisión con una longitud de 120 m.
- e) Sismógrafo digital ES-3000 de 24 canales, marca Geometrics.

Procedimiento de adquisición de datos.

- a) Instalación de los equipos de los perfiles sísmicos: Los lugares designados para la instalación de los perfiles sísmicos se establecieron de acuerdo a la información recabada de las imágenes satelitales. La longitud de los perfiles está condicionada por las dimensiones del terreno, el acceso, y la disposición de la población para permitir dicha prospección sísmica.
- b) Medición de la longitud del terreno y señalización de los sitios donde se instalará los detectores y las fuentes.
- c) Obtención del rumbo y ubicación geográfica de los sitios donde se instalará el tendido sísmico.

- d) Colocación de los geófonos en la superficie del terreno lo más vertical posible, con el fin de no perder sensibilidad y para que su movimiento sea uniforme con el medio elástico.
- e) Conexión de los sensores al cable transmisor (la conexión entre los detectores y el cable de transmisión es mediante enchufes tipo caimán).
- f) Conexión del cable al sismógrafo y este a la computadora.
- g) Verificación desde la computadora que no existiesen circuitos abiertos originados por geófonos no conectados. Análisis del nivel de ruido ambiental.
- h) Realización de un ensayo para establecer el tiempo de registro. (Para poder definirlo se hace una prueba, que consiste en asignar un intervalo de registro lo suficientemente grande para que la señal sea detectada por todos los geófonos, se procede a golpear la placa metálica y se observa el tiempo que tarda en arribar la señal al último detector, posteriormente se ajusta el tiempo de registro).
- i) Obtención del registro: Se golpea con fuerza la placa de acero con el mazo (la placa que apenas se deforma reparte toda la fuerza del golpe a lo largo de la superficie por lo que la presión es pequeña y la deformación del suelo se mantiene dentro del límite elástico) en ambos extremos y en el centro del perfil sísmico, enseguida las señales sísmicas son registradas en un dispositivo de almacenamiento permanente.

Parámetros utilizados para la adquisición de los siete perfiles (Figura 13).

<p><i>Perfil 1 (Cancha de futbol, ubicada sobre el cauce del rio Xelajú, entre los puentes Las Brisas e Insurgentes).</i></p> <p>Fecha de realización: 26-01-10 Ubicación geográfica: P 0580367 1699184 Altura: 1271</p> <p>Rumbo del perfil sísmico: N64E^º Distancia fuente primer receptor: 2.5 [m]. Distancia fuente 2: 31.25 [m]. Distancia entre receptores: 2.5 [m] Longitud del perfil sísmico: 60 [m]. Duración del registro: 130 [mseg]</p>	<p><i>Perfil 2 (Deportivo Av. Morelos)</i></p> <p>Fecha de realización: 26-01-10 Ubicación geográfica: P0581496 1699804 Altura: 1237</p> <p>Rumbo del perfil sísmico: S61^ºE, 02^º Distancia fuente primer receptor: 2.5 [m]. Distancia fuente 2: 31.25 [m]. Distancia entre receptores 2.5 [m]. Longitud del perfil sísmico: 60 [m]. Duración del registro: 130 [mseg]</p>
<p><i>Perfil 3 (Tejería sobre la calle 5^ª Sur)</i></p> <p>Fecha de realización: 27-01-10 Ubicación geográfica: P0579973 1697748 Altura: 1334</p> <p>Rumbo del perfil sísmico: S54^ºW, 03^º Distancia fuente primer receptor: 2 [m]. Distancia fuente: 2.23[m]. Distancia entre receptores: 2 [m]. Longitud del perfil sísmico: 48 [m]. Duración del registro: 130 [mseg]</p>	<p><i>Perfil 4 (San Caralampio, entre las calles 10^ª sur – central oriente)</i></p> <p>Fecha de realización: 27-01-10 Ubicación geográfica: P0580958 1698544 Altura: 1274</p> <p>Distancia fuente primer receptor: 2 [m]. Distancia fuente: 2.23 [m]. Distancia entre receptores: 2 [m]. Longitud del perfil sísmico: 48 [m]. Duración del registro: 130 [mseg]</p>
<p><i>Perfil 5 (Frente a Protección Civil.)</i></p> <p>Fecha de realización: 28-01-10 Ubicación geográfica: P0580861 1697959 Altura: 1322</p> <p>Rumbo del perfil sísmico: S 75^ºE, 5^º Distancia fuente primer receptor: 2.5 [m]. Distancia fuente 2: 31.25 [m]. Distancia entre receptores: 2.5 [m]. Longitud del perfil sísmico: 60 [m]. Duración del registro: 130 [mseg]</p>	<p><i>Perfil 6 (Basurero)</i></p> <p>Fecha de realización: 28-01-10 Ubicación geográfica: P0582245 1699842 Altura: 1217</p> <p>Rumbo del perfil sísmico: S 45^ºW, 0^º Distancia fuente primer receptor: 2.5 [m]. Distancia fuente 2: 31.25 [m]. Distancia entre receptores: 2.5 [m]. Longitud del perfil sísmico: 60 [m]. Duración del registro: 130 [mseg]</p>

Perfil 7 (Milenio)

Fecha de realización: 29-01-10
 Ubicación geográfica: P0582049
 1700018
 Altura: 1234
 Distancia fuente primer receptor: 3 [m].
 Distancia fuente2: 34.5 [m].
 Distancia entre receptores: 3 [m].
 Longitud del perfil sísmico: 72 [m].
 Duración del registro: 130 [mseg]

Figura 13. Parámetros de los siete perfiles sísmicos.

En la Figura 14 se aprecia la distancia, distribución de los 24 geófonos, y las distintas posiciones de la fuente sísmica.

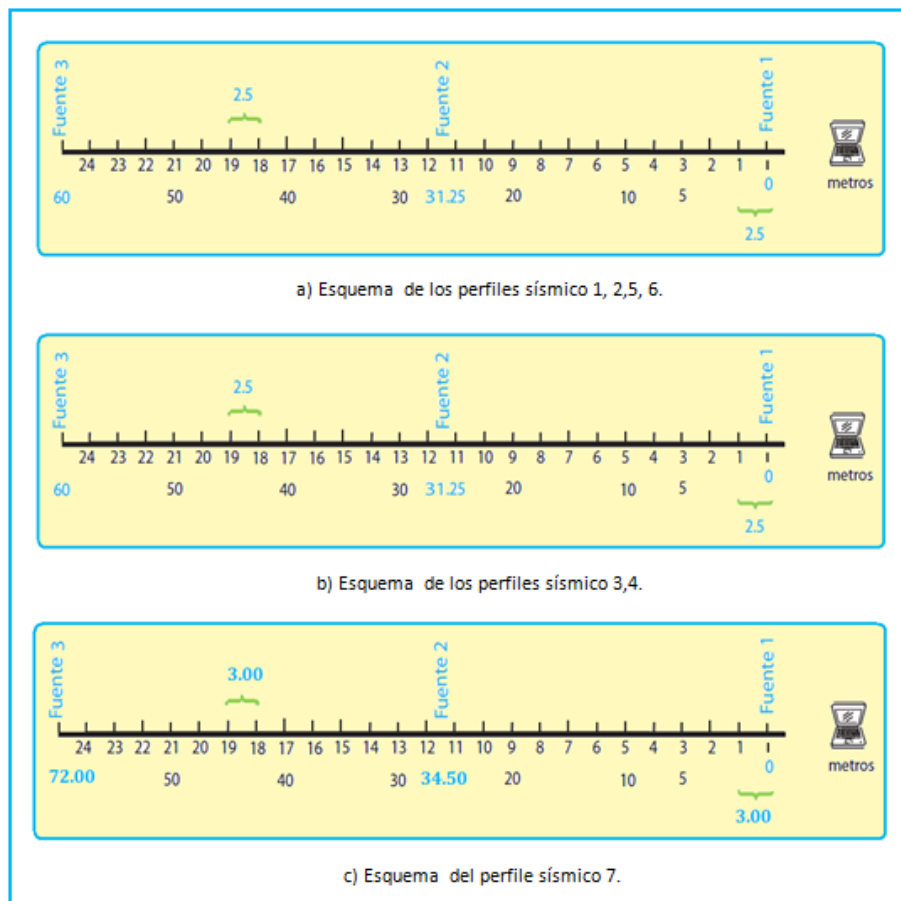


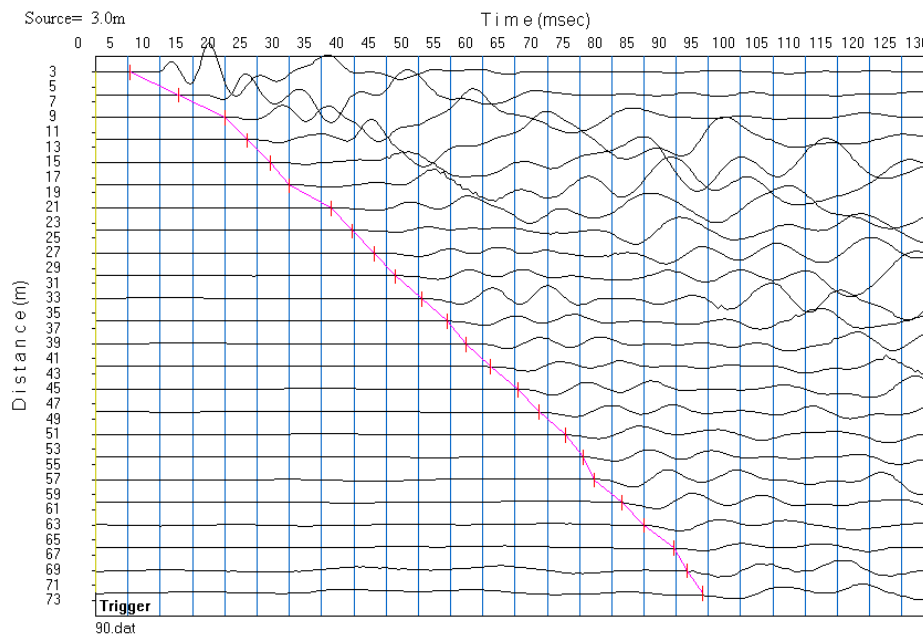
Figura 14. Distribución de los 24 detectores, y las posiciones de la fuente sísmica de los siete perfiles sísmicos.

5.2.3 Etapa 3: Procesamiento.

El procesamiento de los registros de ondas refractadas involucra:

- a) Lectura de los tiempos de los primeros arribos de las trazas sísmicas: Para cada perfil sísmico se obtiene en campo varios registros de las distintas posiciones en que fue colocada la fuente (en los extremos y en el centro del perfil). Para marcar la llegada de la onda sísmica se utilizó el programa SeisImager_e (REFRACCION Pickwin95) el cual permite, entre otras cosas, analizar los tiros de ida, de vuelta y del centro, modificar la amplitud, cambiar los parámetro de tiempo, distancia, sus unidades, distancia de la fuente, distancia de la fuente al primer detector, distancia entre detectores y sobre todo identificar el instante en que la perturbación se presenta.

En la Figura 15 se presentan los registros de refracción sísmica de los primeros arribos de la onda P correspondientes al tiro de ida, vuelta y central del séptimo perfil sísmico.



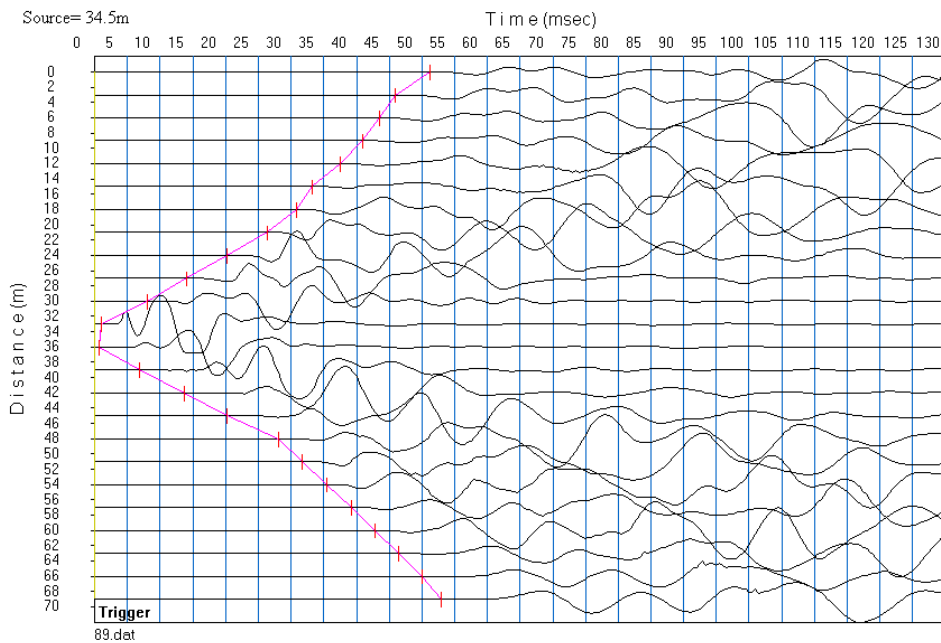
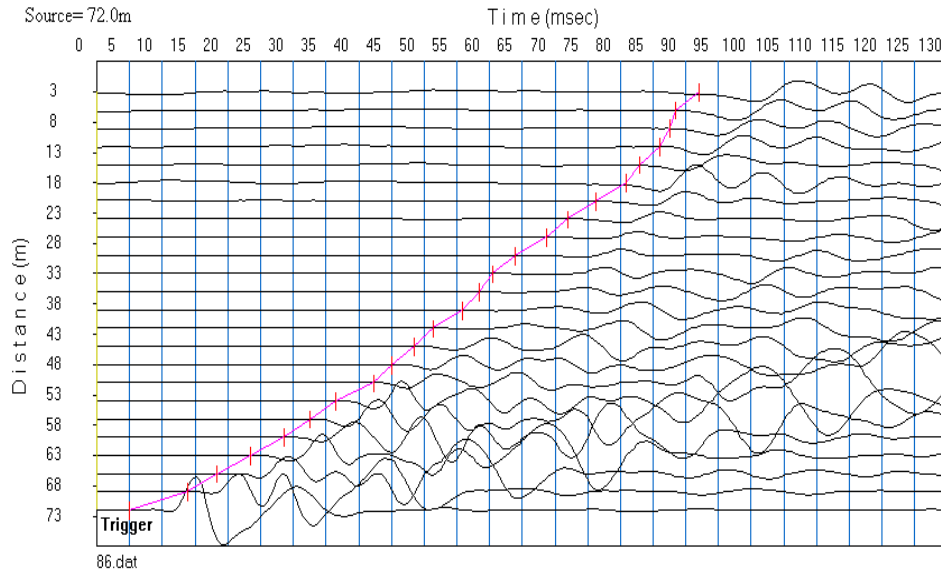
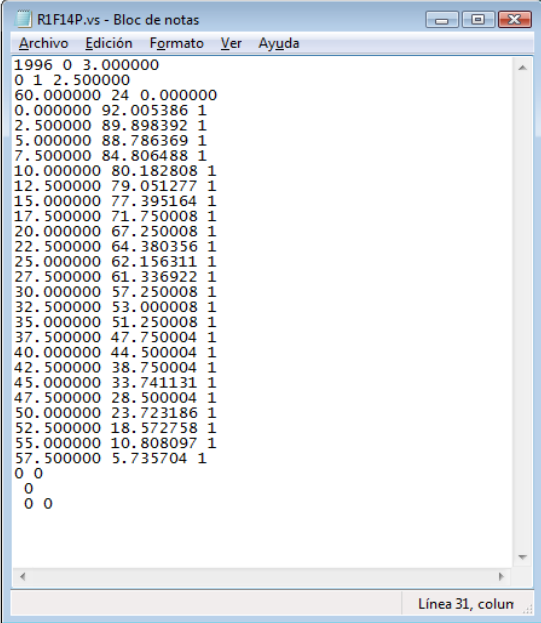


Figura 15. Registros de refracción sísmica que muestran los primeros arribos de la onda P correspondientes al tiro de ida, vuelta y central del séptimo perfil sísmico.

Considerando los siete perfiles sísmicos de refracción realizados en Motozintla, Chiapas, se obtuvo un total de 72 registros los cuales se analizaron con el software REFRACCION Pickwin95. Este programa proporciona el tiempo que tarda la onda P en ser detectada por

cada sensor, muestra los resultados a través de la creación de un archivo txt, el cual indica el número de geófono, la distancia y el tiempo en que se detecta la onda P (Figura 16).



```
1996 0 3.000000
0 1 2.500000
60.000000 24 0.000000
0.000000 92.005386 1
2.500000 89.898392 1
5.000000 88.786369 1
7.500000 84.806488 1
10.000000 80.182808 1
12.500000 79.051277 1
15.000000 77.395164 1
17.500000 71.750008 1
20.000000 67.250008 1
22.500000 64.380356 1
25.000000 62.156311 1
27.500000 61.336922 1
30.000000 57.250008 1
32.500000 53.000008 1
35.000000 51.250008 1
37.500000 47.750004 1
40.000000 44.500004 1
42.500000 38.750004 1
45.000000 33.741131 1
47.500000 28.500004 1
50.000000 23.723186 1
52.500000 18.572758 1
55.000000 10.808097 1
57.500000 5.735704 1
0 0
0
0 0
```

Figura 16. Archivo txt generado por el programa REFRACCION Pickwin95 que muestra el número de geófono, la distancia y el tiempo de arribo de la onda P.

La información almacenada en todos los archivos txt se almacenan en formato xlt. El programa también conjunta todos los registros de cada perfil sísmico de acuerdo a la posición de la fuente lo que permite obtener el promedio de cada uno de ellos.

5.2.4 Creación y análisis de gráficos tiempo-distancia (Domocrónicas).

Para obtener las domocrónicas, los tiempos de trayectoria de la onda P y el promedio de todos los registros adquiridos al colocar la fuente en los extremos y al centro del perfil sísmico se concentran en una misma grafica, en la cual el eje de las abscisas corresponde a la posición (distancia) de cada detector y el eje de las ordenadas al tiempo de arribo de las ondas sísmicas. Posteriormente se trazan rectas que mejor se ajusten a las funciones generadas en la grafica tiempo-distancia (las rectas representan las capas del subsuelo, la pendiente corresponde al inverso de la velocidad).

En la Figura 17 se presentan las domocrónicas correspondientes a los siete tendidos sísmicos realizados en el área de estudio.

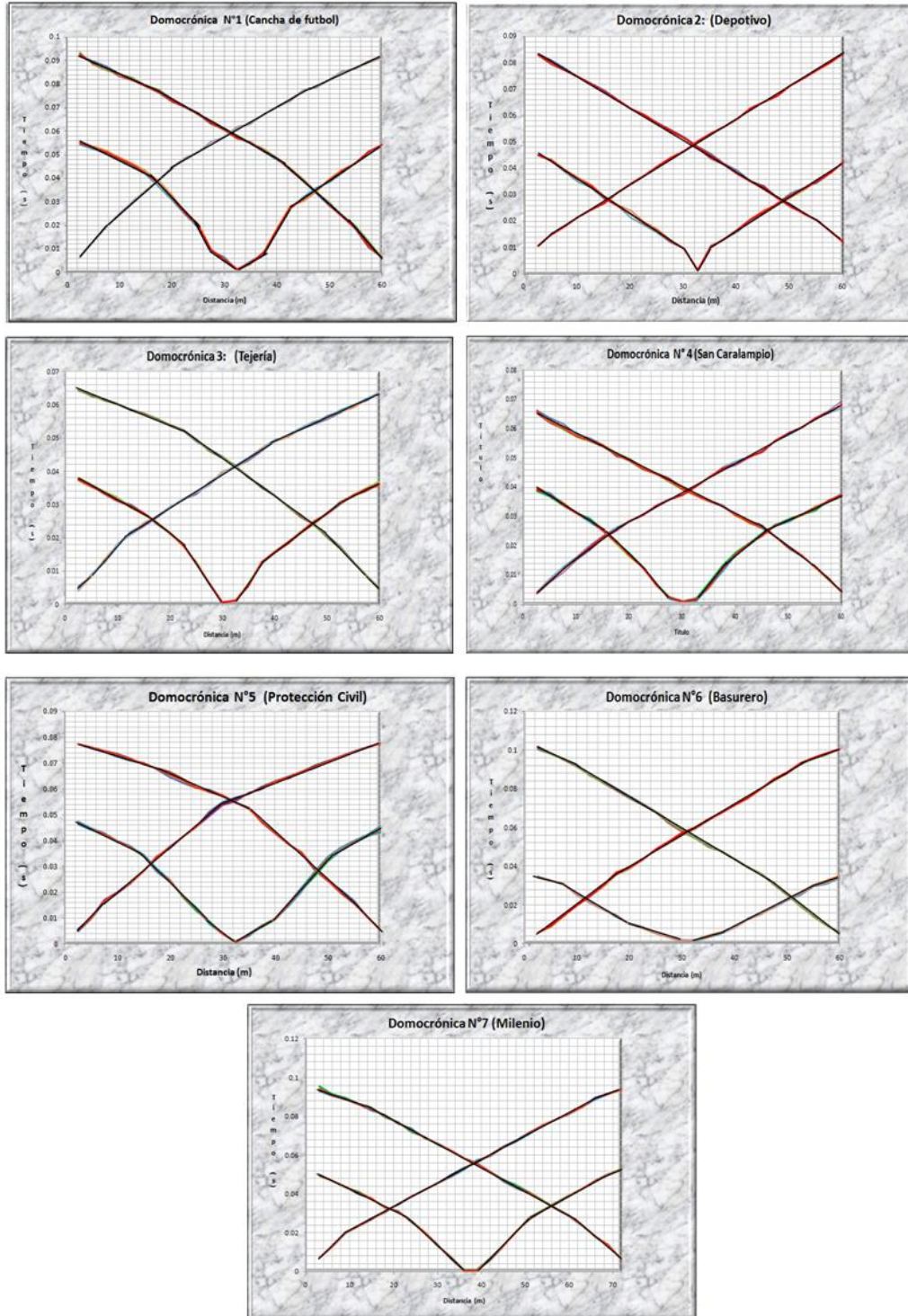


Figura 17. Domocrónicas correspondientes a los siete registros sísmicos de refracción

5.2.5 Determinación de las velocidades de propagación de las ondas sísmicas, cálculo del periodo del suelo.

Para obtener las velocidades de propagación de las ondas sísmicas y el espesor de capas múltiples conformadas por materiales de velocidades contrastantes se emplea la ecuación del tiempo total que relaciona los ángulos de incidencia y la velocidad de cada capa (Del Valle, 1986). La ecuación (en todos los casos representa una línea recta) para cualquier número de contactos es:

$$T_0 = \frac{X}{V_0}$$

$$T_1 = \frac{X}{V_1} + \frac{2Z_0\sqrt{V_1^2 - V_0^2}}{V_0V_1}$$

$$T_2 = \frac{X}{V_2} + \frac{2Z_0\sqrt{V_2^2 - V_0^2}}{V_0V_2} + \frac{2Z_1\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_1V_2}$$

$$T_3 = \frac{X}{V_3} + \frac{2Z_0\sqrt{V_3^2 - V_0^2}}{V_0V_3} + \frac{2Z_1\sqrt{V_3^2 - V_1^2}}{V_1V_3} + \frac{2Z_2\sqrt{V_3^2 - V_2^2}}{V_2V_3}$$

$$T_4 = \frac{X}{V_n} + \frac{2Z_0\sqrt{V_n^2 - V_0^2}}{V_0V_n} + \frac{2Z_1\sqrt{V_n^2 - V_1^2}}{V_1V_n} + \dots + \frac{2Z_{n-1}\sqrt{V_n^2 - V_{n-1}^2}}{V_{n-1}V_n}$$

Donde:

T_0, T_1, T_2, T_3 y T_4 representa el tiempo total que tarda en arribar una onda sísmica a un detector, al propagarse en cero, uno, dos, tres y cuatro contactos.

X es la distancia del tendido sísmico.

V es la velocidad de propagación de la onda refractada en un determinado medio.

Z es el espesor de cada capa.

El primer término en X representa la pendiente y el resto de los términos la ordenada al origen.
La velocidad de la onda de corte se cálculo con la expresión:

—=

El periodo del suelo se cálculo con la ecuación:

————

Donde:

Tc es el periodo del suelo obtenido con refracción sísmica.

H es el espesor de los medios refractores.²

Vs es la velocidad de las ondas de corte.

Los resultados (velocidad y espesor de capa) de los siete perfiles sísmicos realizados en el área de estudio se presentan en la Tabla 24.

² Espesor que se requiere para tener un periodo similar al obtenido con microzonificación sísmica

Tabla 24. Velocidad y espesor de capa para cada registro sísmico de refracción.

Registro Sísmico	N° de Capa	Espesor [m]	Velocidad onda "P" [m/s]	Velocidad onda "S" [m/s]	Periodo calculado [Tc]
Registro Sísmico N°1 (Canchas de fútbol)	Primera	47	102.28	59.05	0.48
	Segunda		226.57	130.81	
	Tercera		311.10	179.61	
	Cuarta		527.12	304.33	
Registro Sísmico N° 2 (Deportivo)	Primera	40	220.05	127	0.39
	Segunda		612.16	353	
Registro Sísmico N° 3 (Tejería)	Primera	10	193.07	111.47	0.09
	Segunda		232.15	134.03	
	Tercera		517.47	298.76	
	Cuarta		1416.09	817.58	
Registro Sísmico N° 4 (San Caralampio)	Primera	32	259.92	150.07	0.48
	Segunda		415.18	237.71	
	Tercera		648.53	374.43	
Registro Sísmico N° 5 (Protección Civil)	Primera	23	471.29	273.10	0.20
	Segunda		586.24	338.47	
	Tercera		1302.47	751.98	
Registro Sísmico N° 6 (Basurero)	Primera	54	492.57	284.38	0.45
	Segunda		633.87	365.97	
	Tercera		1364.01	787.51	
Registro Sísmico N° 7 (Milenio)	Primera	60	491.41	283.71	0.49
	Segunda		811.02	468.24	
	Tercera		1198.88	692.18	