



**UNIVERSIDAD VERACRUZANA
FACULTAD DE INGENIERIA**

TESIS

**PERFILES SISMICOS EN LA ZONA CONURBADA
VERACRUZ-BOCA DEL RIO
(REFRACCIÓN SISMICA)**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA:
ANDRÉS RAMÍREZ VILLALOBOS**

**DIRECTOR:
M.I. FRANCISCO WILLIAMS LINERA**

BOCA DEL RIO, VERACRUZ.

ENERO 2009

FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD VERACRUZANA

CALZADA RUIZ CORTINES S/N
FRACC. COSTA VERDE

APDO. POSTAL 561
VERACRUZ, VER.

TELS. 21-65-32 21-64-07 21-87-55
FAX 21-61-21

6/Feb/2009
053

Al Pasante:

C. ANDRÉS RAMÍREZ VILLALOBOS

Presente

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Jefatura propuso el C. M.I. Francisco Williams Linera, para que lo desarrolle como TESIS en su Examen Profesional de INGENIERO CIVIL, así mismo se le autoriza a la impresión correspondiente de dicho trabajo.

T E M A :

“PERFILES SÍSMICOS EN LA ZONA CONURBADA VERACRUZ-BOCA DEL RIO (REFRACCIÓN SÍSMICA)”

CAPÍTULO I.- ANTECEDENTES

CAPÍTULO II.- GENERALIDADES

CAPÍTULO III.- MAPA DE FAMILIAS DE FORMAS ESPECTRALES DE LA ZCV

CAPÍTULO IV.- EQUIPO DE MEDICIÓN

CAPÍTULO V.- MEDICIÓN DE REFRACCIÓN

CAPÍTULO VI.- ANÁLISIS DE REFRACCIÓN

CAPÍTULO VII.- CONCLUSIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

Ruego a usted tomar debida nota, de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones deberá prestar Servicio Social durante un año como requisito indispensable para sustentar su Examen Profesional.

A T E N T A M E N T E
“LIS DE VERACRUZ: ARTE CIENCIA LUZ”

MTRO. JESÚS MARTÍN SANTAMARÍA LÓPEZ
JEFE DE CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



FACULTAD DE INGENIERIA
BOCA DEL RIO, VER.

AGRADECIMIENTOS

A mis Padres:

Por su apoyo y amor constante, que me motivan todos los días. Su ejemplo, es mi camino.

A Maestros y Compañeros:

Por sus enseñanzas, disposición y colaboración, que fueron fundamentales para terminar este trabajo.

A mis amigos:

Por acompañarme y ayudarme en todas las etapas de mi vida, en especial en la universitaria.

ÍNDICE

1. Introducción	4
1.1 Antecedentes	4
1.2 Planteamiento del problema	5
1.3 Objetivos del trabajo	6
1.4 Alcances y limitaciones	6
1.5 Organización del trabajo	7
2. Generalidades	8
2.1 Refracción Sísmica	8
2.2 Noción del Rayo sísmico	10
2.2.1 Antecedentes	10
2.2.2 Marco Teórico	10
2.2.3 Rayo Sísmico	12
2.2.4 Principio de Huygens	12
2.2.5 Principio de Fermat	13
2.3 Leyes de Refracción y Reflexión	13
2.3.1 Ley de Reflexión.	13
2.3.2 Ley de Refracción o de Snell	13
2.4 Concepto de onda	15
2.4.1 Ondas elásticas	15
2.4.1.1 Ondas de volumen o cuerpo	16
2.4.1.2 Ondas Superficiales	17
2.4.2 Periodos y velocidades de ondas elásticas	18

2.5 Principio de interpretación de refracción.	19
2.5.1 Curva de tiempo distancia	19
2.5.2 Consideraciones del método	21
2.5.3 Principios de interpretación en Refracción	21
2.5.3.1 Ley de las velocidades aparentes	22
2.5.3.2 Principio de Reciprocidad	23
2.5.3.3 Principio del tiempo interceptado en el origen	24
2.5.3.4 Principios del paralelismo	25
2.6 Metodologías de análisis de las dromocronas	26
3. Mapa de Familias de las formas espectrales de la ZCV	27
3.1 Mapa preliminar de familias de formas espectrales	27
3.2 Redefinición del mapa de familias de formas espectrales	27
4. Equipo de Medición	30
4.1 Equipo de refracción	30
4.1.1 Fuente de generación de ondas sísmicas	34
4.1.2 Detección de movimientos del terreno	35
4.1.3 Adquisición y almacenamiento de datos	36
4.2 Equipo complementario	38
5. Mediciones de refracción	43
5.1 Elección de sitio para pruebas	43
5.2 Preparación para las pruebas	45
5.2.1 Longitud, geometría y fuente.	45
5.2.2 Instalación del equipo	47

5.3 Ordenamiento de eventos registrados en campo.	51
5.4 Desarrollo de la prueba	51
6. Análisis de refracción sísmica	58
6.1 Adquisición de registros	58
6.1.1 Configuración de la Red	58
6.1.2 Configuración de la unidad DAQ con el software VScope	60
6.2 Ordenamiento de los registros para su interpretación.	74
6.3 Interpretación de registros	76
6.4 Procesamiento de Datos	81
6.5 Curvas Dromocronas	84
6.6 Ejemplo aplicando Método de velocidades aparentes	85
6.7 Perfiles sísmicos	90
7. Conclusiones	92
Referencias	94
Apéndice 1 Método de Velocidades Aparentes (Canto F., 1973)	96
Apéndice 2 Herramientas Básicas del Software Pickwin	103
Apéndice 3 Interpretación de señales de Refracción.	106
Apéndice 4 Programa REFRA	113
Apéndice 5 Formato de inventario	120
Apéndice 6 Bitácora de Campo	122

1. Introducción

1.1 Antecedentes.

Los reglamentos de construcción, representan una de las herramientas más efectivas para reducir los daños en las estructuras por el efecto de los sismos, sin embargo la zona conurbada Veracruz-Boca del Río (ZCV), en su normatividad vigente para el diseño sísmico, no contempla condiciones locales para clasificar el tipo de suelo, que permita un diseño eficiente de estructuras sismorresistentes, a pesar de ser un área afectada históricamente por los sismos.

Ante este vacío, se recurre frecuentemente al Manual de Diseño de Obras Civiles para el Diseño por Sismo de la CFE 1993 (MDOC-93), en el que se propone una clasificación del tipo de terreno de cimentación en función del período dominante de vibración y la velocidad efectiva de propagación del sitio. El MDOC-93, proporciona en su mapa de regionalización sísmica una división burda de Veracruz en tres zonas de acuerdo a los sismos esperados, e identifica a tres tipos de terreno en cada una de ellas.

Este trabajo de tesis tiene como antecedente los estudios financiados por el Sistema Nacional del Golfo de México (SIGOLFO-CONACYT) durante el periodo 2001-2002 a través del proyecto: "Estudios sísmicos e instrumentación en el Golfo de México (Microzonificación sísmica de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río)", y forma parte de los estudios de los proyectos en proceso (2007-2009): "Clasificación del tipo de terreno de cimentación para diseño sísmico" y "Propuesta de zonificación sísmica para el estado de Veracruz" financiados por los Fondos Mixtos CONACYT-Gobierno del estado de Veracruz (FOMIX); todos ellos realizados en el Instituto de Ingeniería de la Universidad Veracruzana (IIUV).

1.2 Planteamiento del problema.

Por la extensión del estado de Veracruz, y la escasa información de las características locales de los suelos, la aplicación del MDOC-93 es imprecisa, pues en él, no es posible localizar los lugares, donde por sus características muy particulares se puede presentar la amplificación de sitio, que constituye un efecto fundamental para caracterizar los depósitos para fines de microzonificación sísmica.

La respuesta del terreno ante una excitación sísmica donde una estructura se encuentra desplantada, puede ser muy diferente dependiendo si el terreno es blando o firme, esto es debido a la amplificación dinámica por los efectos locales que sufren las ondas sísmicas cuando se propagan. Para conocer la respuesta de un suelo es necesario analizar varios factores relacionados con la irregularidad de la geometría y la heterogeneidad de los materiales que definen el depósito.

A pesar de ser un problema complejo, el MDOC-93 lo reduce bajo el criterio de relacionar la amplificación de las ondas sísmicas debido a efectos locales con dos parámetros que miden las características más relevantes del depósito real: el período dominante de vibración y la velocidad efectiva de propagación del sitio. Para esto, se recurre a una aproximación que consiste en reemplazar el perfil estratigráfico por un estrato equivalente con profundidad y período fundamental de vibrar semejante a los de la estratigrafía real.

De la investigación concluida financiada por SIGOLFO y con los avances de los otros dos proyectos en procesos FOMIX, se conocen los períodos dominantes de la zona de referencia, con los que se parte de una propuesta preliminar de zonas de familias de formas espectrales de funciones de transferencias empíricas promedios (FTEP).

1.3 Objetivos del trabajo.

El objetivo superior de este trabajo es contribuir en los esfuerzos encausados a la clasificación del tipo de terreno para diseño sísmico, con lo que se pueda elaborar un mapa de la ZCV en donde la autoridad responsable de emitir los permisos de construcción tenga un instrumento regulador que le sirva para determinar los parámetros de diseño sísmico que se deban aplicar a las construcciones, tomando en cuenta su ubicación geográfica para tomar en cuenta los efectos de sitio.

En esta tesis, se tienen como objetivos específicos en la contribución para alcanzar el objetivo superior en trabajos posteriores: analizar y redefinir zonas del mapa de familias de formas espectrales y obtener de cada una de ellas los perfiles sísmicos. Para esto último, se llevan a cabo pruebas de refracción sísmica en cada zona identificada, con lo que se obtienen velocidades de onda de cortante de los estratos y se establecen los perfiles sísmicos; también se describe la metodología usada para las pruebas de campo, la captura de registros, procesamiento, análisis e interpretación de los datos. Con esta descripción, se espera aportar una guía detallada que sirva a estudios posteriores en otras regiones, principalmente del estado.

Para obtener el mapa de familia de formas espectrales, se analiza minuciosamente la topografía, geología, hidrología y geotecnia disponible, así como las similitudes de las formas espectrales existentes.

1.4 Alcances y limitaciones.

La zona de referencia se encuentra ubicada dentro de las coordenadas geográficas

19° 06' 00" y 19° 14' 06" de latitud norte

96° 06' 03" y 96° 15' 30" de latitud oeste

Comprende a los municipios de Veracruz y Boca del Río, Alvarado y parte de los de Medellín de Bravo, Manlio Fabio Altamirano, Paso de Ovejas y la Antigua, en los que habitan cerca de un millón de personas y donde la inversión en el desarrollo de las obras civiles de tipo habitacional, turística y comercial es evidente y acelerado.

Los perfiles sísmicos obtenidos en esta tesis, servirán de plataforma para obtener en trabajos posteriores un mapa de la ZCV donde se identifiquen los tipos de terreno para el diseño sísmico.

Estos estudios, representan para la gran mayoría de las obras de bajo y mediano costo un gran porcentaje de inversión, por lo que un mapa que delimite los tipos de terreno para fines de diseño sísmico, será un gran apoyo para las autoridades que regulan el desarrollo de la obra de ingeniería civil.

1.5 Organización del trabajo

Como un primer paso hacia los objetivos mencionados, y después de recibir los talleres de capacitación correspondientes, se participó en una primera etapa en la elaboración del mapa preliminar de familias de formas espectrales (Badillo, 2008), el cual se toma como punto de partida para esta tesis.

Posteriormente las actividades fueron programadas para realizarlas en campo y gabinete, con el apoyo de un grupo de investigadores del IIUV y del Instituto de Ingeniería de UNAM, así como de estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la Región Veracruz de la UV.

Se seleccionaron los sitios de campo donde llevarían a cabo las pruebas de refracción sísmica basados en criterios de confiabilidad de las pruebas que parten de los antecedentes geológicos, hidrológicos, topográficos y geotécnicos, así como la disposición de accesos al sitio y de las facilidades prácticas para su ejecución. Los trabajos de gabinete se llevaron a cabo con el software del equipo, y se desarrollaron algunos programas como herramientas para facilitar el procesamiento de los datos obtenidos.

2. Generalidades

2.1 Refracción Sísmica

La ingeniería civil recurre a la sismología para el estudio del fenómeno y los efectos relacionados con ellos; esto incluye la propagación de las ondas que se generan y los equipos que se usan para su registro. Se recurre también a la geofísica aplicada para estudiar la respuesta, estructura y características del suelo ante una excitación sísmica.

Para los estudios de prospección, los métodos de geofísica aplicados más usados en la ingeniería civil son: la refracción y reflexión sísmica, down-hole y microtrepidaciones. Para los tres primeros, se requiere de una fuente artificial generadora de ondas sísmicas, y se les ubica como métodos activos, mientras que el de microtrepidaciones se clasifica como pasivo, pues solo registra las vibraciones a las que está sometido permanentemente el depósito de suelo o roca.

La *refracción* sísmica es un método de investigación usado para deducir las condiciones del subsuelo mediante la observación de los tiempos de llegada de los primeros movimientos del terreno en diversos puntos, ya sea que estos hayan sido generados por fuentes natural o artificial. Los movimientos posteriores son descartados. El conjunto de datos obtenidos son series de tiempo contra distancia, que son interpretadas en términos de la profundidad a interfaces entre capas de suelo y de las velocidades de propagación de la onda P en cada capa. Estas velocidades, están controladas por los parámetros elásticos que describen el material.

Con refracción sísmica se puede obtener no solo las velocidades de propagación de las ondas P, sino también de las ondas S, sobre todo donde existen rocas blandas, depósitos aluviales o suelos blandos, en los que puede haber grandes variaciones entre las relaciones de la velocidad de las ondas P y S. Las velocidades de ondas S son muy importantes para determinar las características elásticas del terreno.

El método de *reflexión* sísmica en cambio se concentra en los movimientos del terreno inducidos por la reflexión de las ondas en las diferentes capas, analizando la energía de las vibraciones después de iniciado el movimiento del suelo.

Los perfiles sísmicos obtenidos en este trabajo fueron obtenidos con refracción sísmica, debido a que este método ofrecía algunas ventajas sobre el de reflexión. Algunas de las ventajas consideradas fueron:

- Utiliza menos geófonos y menos fuentes de generación de energía, lo que hace al equipo más barato.
- Con adecuados filtros a las señales se pueden leer los tiempos de llegada de las ondas P, por lo que su procesamiento es muy corto.
- Solo se lee el tiempo de llegada de la onda P del sismograma registrado en el sitio.
- Los modelos que se desarrollan y las interpretaciones del sismograma son simples.

No se perdieron de vista también algunas desventajas del método como:

- Se requiere de tendidos sísmicos relativamente largos.
- Solo funcionan cuando la velocidad de onda aumenta con la profundidad.
- Generalmente se interpreta en términos de capas. Estas pueden tener inclinación y rugosidad.
- Al usar solo una parte del sismograma, se desperdicia información.
- El modelo del suelo es construido a partir de los primeros arribos.

El método de *down-hole* no fue aplicado en esta etapa del proyecto de investigación pues requiere para su aplicación la realización de sondeos, lo que requiere de recursos adicionales. En el método *down-hole* se produce una excitación en la superficie y se recoge la respuesta a diferentes profundidades dentro del sondeo, lo que permite conocer las variaciones de la velocidad de la onda P en profundidad.

Las *microtrepidaciones* o vibraciones a los que están sometidos los estratos del suelo, fueron usadas en las etapas precedentes de este trabajo para obtener los períodos dominantes de vibración del suelo.

Entre las otras aplicaciones que le da la ingeniería civil a las pruebas de refracción sísmica están la búsqueda de material adecuado para los cimientos de alguna obra en particular, y así obtener una estimación de su profundidad, o el hallazgo de suelos firmes ideales para túneles, embalses, etc.

2.2 Noción del Rayo sísmico

2.2.1 Antecedentes

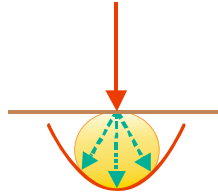
Las primeras experiencias de la sismología aplicada se deben a Robert Mallet en 1846, quien sugirió la conveniencia de observar el comportamiento de los terremotos artificiales generados por explosiones de pólvora, apuntando los diferenciales de tiempo de llegada de las ondas, con ayuda de un sismoscopio (aparato de su invención), que consistía en un recipiente con mercurio, en cuya superficie se reflejaba un rayo de luz que podía observarse por un telescopio. Sin embargo los resultados que obtuvo fueron muy inferiores a los verdaderos.

El desarrollo práctico del método de refracción no llega hasta 1919, en que Mintrop patenta el uso de perfiles de refracción para localizar la profundidad y tipo de las formaciones próximas de la superficie.

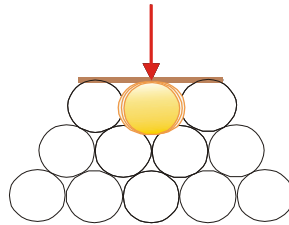
2.2.2 Marco teórico

Para entender mejor las bases sobre las cuales se apoya la refracción sísmica es necesario comenzar con la descripción física de la propagación de una onda y sus diferentes elementos que acompañan a esta.

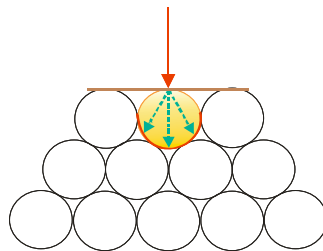
Todo comienza con la incidencia de una alteración sísmica sobre el suelo; ya sea artificial, o natural; entonces todos los granos del suelo experimentan una absorción y propagación de energía.



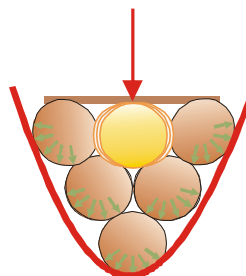
En el instante mismo en el que recibe la energía; debido a las propiedades físicas de rigidez del grano; éste absorbe parte de la energía, pero la mayor parte de ésta es transmitida a otros granos contiguos.



Cuando esta energía es transmitida al mismo tiempo, es decir que la transmisión de energía coincide en diversos granos, entonces se dice que tenemos **un frente de onda**, que también es una asimilación teórica del avance de la energía sobre el suelo.



Estos granos a su vez también absorberán y transmitirán energía, y su representación teórica del avance de esta energía será llamada también frente de onda.



2.2.3. Rayo Sísmico.

Es la representación idealizada por líneas normales a los frentes de onda sucesivos, es decir que simulan el avance y el comportamiento de una onda, ésta será diferente para distintos tipos de suelo:

- Si el medio es homogéneo los rayos sísmicos serán líneas rectas.
- Si el medio es estratificado con velocidades diferenciadas, los rayos son representados por varios tramos rectos en cada capa homogénea.
- En sismología el rayo sísmico no tiene realidad física, es decir es una abstracción de la realidad, y representa la trayectoria de las posiciones ocupadas por un punto dado del frente de ondas a lo largo de todo su recorrido.

Cuando el medio es homogéneo los rayos sísmicos serán líneas rectas; en medios estratificados con velocidades diferenciadas, los rayos pueden ser representadas por varios tramos rectos en cada capa homogénea.

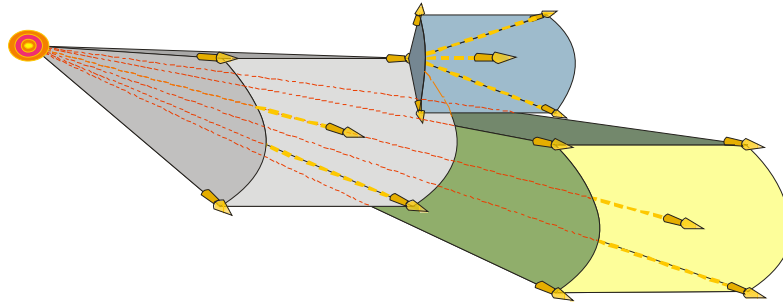
La propagación de los rayos sísmicos, está regida por los principios de Huygens y Fermat, y siguen las leyes básicas de la óptica geométrica de reflexión y refracción cuando se encuentran con diferentes medios en suelo o roca.

2.2.4. Principio de Huygens

El principio de Huygens establece que cada punto alcanzado por un frente de ondas actúa como origen de un nuevo frente de ondas que se extiende en todas las direcciones.

Si el medio es homogéneo el frente de ondas es esférico en un momento cualquiera t ; un poco más tarde en el tiempo $t + \Delta t$, cada uno de los frentes de onda habrá dado lugar a pequeños frentes de ondas esféricos de radio $C * \Delta t$, donde C es la velocidad del medio. El nuevo frente de ondas, en el instante $t + \Delta t$, será la envolvente de todos los pequeños frentes de onda y, por tanto, será una superficie esférica concéntrica con la original.

Si el medio no es homogéneo, cada elemento del frente de ondas se traslada paralelamente a sí mismo durante el lapso Δt , pero con velocidades distintas a lo largo del frente, por lo que el nuevo frente de ondas no será paralelo al primero.



2.2.5. Principio de Fermat.

Un rayo dado sigue de un punto a otro, aquel camino que requiere el tiempo mínimo de recorrido. Este principio gobierna la geometría de las trayectorias seguidas por los rayos sísmicos.

2.3. Leyes de Refracción y Reflexión.

2.3.1. Ley de reflexión

Un rayo incide en la intersección entre dos medios, se refleja parcialmente. El rayo incidente, la normal y el rayo reflejado están todos en un mismo plano. El ángulo de incidencia i_c es igual al ángulo de reflexión.

2.3.2. Ley de refracción o de Snell

Un rayo incidente sobre la superficie de separación (intersección) entre un medio 1 y otro 2, además de reflejarse en el medio 1, se refracta hacia él (fig. 2.1).

El rayo incidente, la normal y el rayo refractado están en un mismo plano. El ángulo de refracción i_2 depende de las velocidades en los medios 1 y 2 y del ángulo de incidencia i_1 , de acuerdo con la relación de Snell:

$$\frac{\text{sen}(i_1)}{\text{sen}(i_2)} = \frac{C_1}{C_2}$$

Donde C_1 y C_2 son las velocidades respectivas de los medios 1 y 2.

En cierto ángulo de incidencia, conocido como **ángulo crítico**, i_c , el ángulo refractado, i_2 se refracta a 90° de la normal, de tal manera que el:

$$\text{sen}(i_c) = \text{sen}(90) = 1$$

Así el ángulo crítico queda definido por las velocidades de los estratos

$$\text{sen}(i_c) = \frac{C_1}{C_2}$$

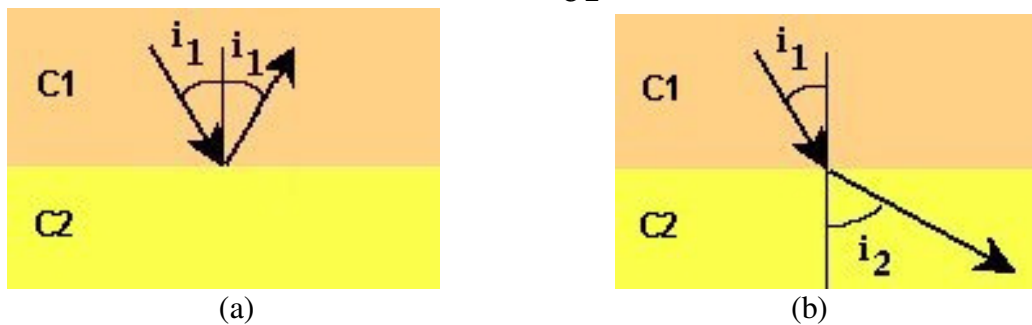


Figura 2.1. Leyes de reflexión (a) y refracción (b)

2.4. Concepto de onda

El movimiento ondulatorio puede considerarse como un transporte de energía y cantidad de movimiento desde un punto del espacio a otro, sin transporte de materia.

Las ondas pueden ser viajeras y estacionarias; en las primeras hay propagación de energía, mientras que en las segundas la energía asociada a la onda permanece confinada entre dos fronteras.

En la trayectoria de un frente de onda se distinguen dos aspectos: el movimiento de la onda a través del medio y el movimiento oscilatorio de las partículas del medio.

Para describir una onda se utilizan los parámetros: frecuencia $f=1/T$, la frecuencia angular $\omega=2\pi/T$ donde T es el período, y el número de onda $k=2\pi/\lambda$, donde λ es la longitud de la onda.

2.4.1. Ondas elásticas

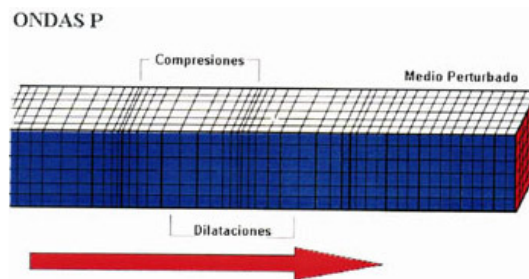
Los sismos generan dos tipos de ondas elásticas que se propagan a través del medio: ondas de cuerpo o de volumen y las ondas superficiales.

La velocidad con la que se propagan en el medio depende de la densidad del mismo, así como de sus propiedades elásticas, módulo de incompresibilidad y módulo de rigidez.

Las ondas elásticas generan esfuerzos y deformaciones que obedecen la teoría de la elasticidad, en la cual los cuerpos sólidos tienen la propiedad de resistir cambios de tamaño o forma ante la aplicación de una fuerza, y regresar a su condición original al ser eliminada la misma.

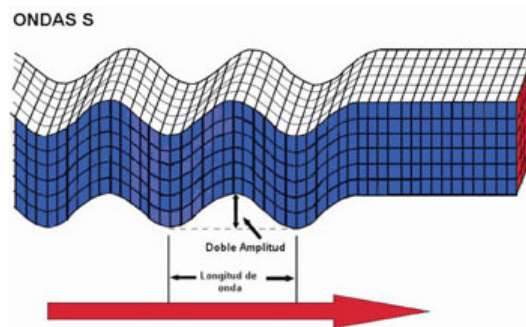
2.4.1.1. Ondas de volumen o cuerpo

Ondas primarias o de compresión (ondas P): Estas ondas son las que se registran primero en el caso de un sismo, pues son las que viajan a mayor velocidad. Al propagarse, hacen vibrar a las partículas en el mismo sentido del tren de ondas, produciendo compresión y dilatación a su paso. También son conocidas como ondas longitudinales. Pueden atravesar medios líquidos a una velocidad del orden de 6 km/seg., mientras que en roca poco consolidada aproximadamente a 2 km/seg o menos.



Ondas secundarias o de cortante (ondas S): son del tipo transversal, de corte u ondulada, significa que el suelo es desplazado perpendicularmente a la dirección de propagación, no pueden atravesar medios líquidos ya que este medio no soporta esfuerzos de corte.

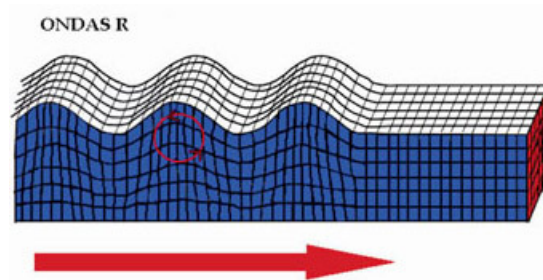
Usualmente tiene más amplitud que la onda P por lo que suele sentirse más. Tienen velocidades menores que la onda P. Si las partículas oscilan de arriba a abajo, la onda se llama SV, y si lo hace en un plano horizontal se llama SH.



2.4.1.2. Ondas Superficiales.

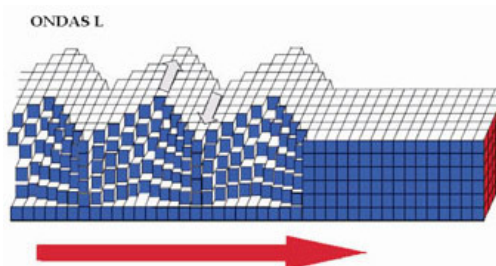
Estas ondas son análogas a las ondas de agua y viajan sobre la superficie de la tierra. Se desplazan a menor velocidad que las anteriores ondas, pero tiene una baja frecuencia, por lo que se consideran más destructivas, ya que causan resonancia en edificios con mayor facilidad.

Ondas Raleigh (ondas R): ondas superficiales que viajan como ondulaciones similares a aquellas encontradas en la superficie del agua, haciendo vibrar las partículas sobre un plano que apunta en dirección de la trayectoria de las ondas, con movimientos elíptico y vertical simultáneamente.



Ondas Love (ondas L): ondas superficiales que provocan cortes horizontales en la tierra (son posibles ya dependen de un medio elástico estratificado), ellas son levemente mas lentas que las Raleigh.

Bautizadas por un matemático británico en 1911 al inventar un modelo matemático de dichas ondas y se llamaba A.E.H. Love.



2.4.2. Períodos y velocidades de ondas elásticas

Las diversas ondas sísmicas mencionadas tienen rangos de *período de vibración* característicos (Tabla 1):

Tabla 1.- Períodos característicos de vibración de ondas sísmicas (Lay & Wallace, 1995).

Tipo de onda	Período (seg)
Ondas internas	0.01 – 50
Ondas superficiales	10 – 350
Oscilaciones libres	350 - 3600

Las oscilaciones libres en sentido estricto son todas, desde vibraciones instantáneas por explosiones hasta mareas terrestres; los grandes sismos pueden generar períodos hasta de 500.

El método de refracción, que mide principalmente la llegada de las ondas P, de frentes de onda refractadas en las diversas capas del suelo, las frecuencias asociadas para la refracción se mantienen en una banda entre 1 y 20 Hz. El estudio de las ondas S, utiliza los mismos principios y métodos analíticos que las ondas P. La diferencia radica en el uso de diferentes sensores para registro horizontal (ondas SH), o vertical (ondas P) respectivamente y el uso de software de filtros de polarización y análisis de contenido frecuencial.

En un medio homogéneo, la *velocidad de las ondas elásticas* depende de la densidad de la masa del suelo, y de los parámetros elásticos como: el módulo de elasticidad, el cociente de Poisson y el módulo de rigidez.

La velocidad de las ondas P y S está dada por las ecuaciones siguientes:

$$C_p = \left[\frac{E(1-\sigma)}{\rho} (1+\sigma)(1-2\sigma) \right]$$

$$C_s = \left[\frac{\mu}{\rho} \right]^{1/2}$$

Donde:

ρ = densidad de la masa del suelo

E= módulo de elasticidad o de Young

σ =cociente de Poisson

μ =Módulo de rigidez al cortante o módulo de cizalla.

En la tabla 2 se dan valores típicos de velocidades de propagación de las ondas P.

Tabla 2. Velocidades típicas de ondas P

Medio	C _p , m/seg
Material superficial meteorizado	305 a 610
Gravas, guijo, arenas (seca)	468 a 915
Arena (húmeda)	610 a 1830
Arcilla	915 a 2750
Agua (dependiendo de la T _o y contenido de sales)	1430 a 1680
Agua de mar	1460 a 1530
Arenisca	1830 a 3970
Shale (roca arcillosa que se parte en laminas)	2750 a 4270
Tiza (Chalk-arcillas)	1830 a 2970
Caliza (Limestone)	2140 a 6100
Sal	4270 a 5190
Granito	4580 a 5800
Rocas metamórficas	3050 a 7020

2.5. Principios de interpretación de refracción

2.5.1. Curva tiempo-distancia

La curva tiempo-distancia se traza con los tiempos de llegada de las ondas a cada uno de los sensores (geófonos) y la distancia de cada sensor al punto de disparo (Fig. 2.2).

Los tiempos de llegada se pueden leer directamente de los registros transferidos en la computadora de la unidad de adquisición a través del programa VScope. (sección 6.1)

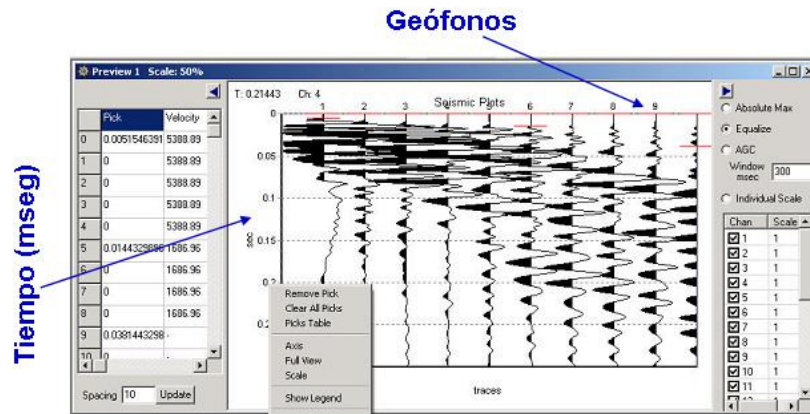


Figura 2.2.- Tiempos de llegadas

Con la colocación de los puntos de disparo (tiros, disparos) conjugados con los sensores, se puede obtener información más detallada del subsuelo. Estos tiros pueden ser:

- **Tiro de ida**, donde el punto de disparo está en un extremo del tendido a una distancia conocida.
- **Tiro de regreso**, el punto de disparo está al otro extremo del tendido.
- **Tiro al centro**, el punto de disparo es colocado en el centro del tendido.

Las curvas de diferentes disparos (Idea, regreso, centro) de un mismo tendido, se dibujan en una misma gráfica (fig. 2.3).

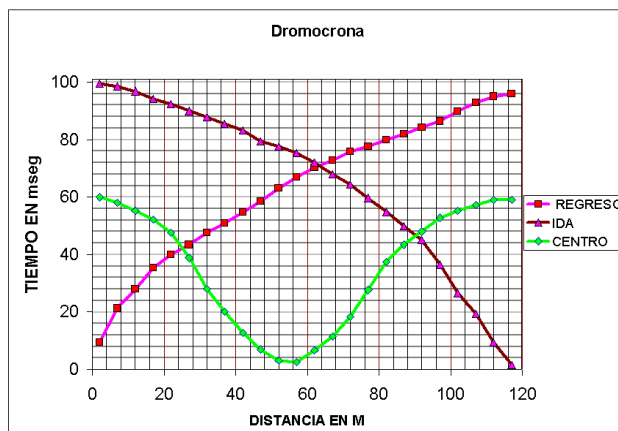


Figura 2.3.- Curva tiempo – distancia para disparos ida, regreso, centro

2.5.2. Consideraciones del método

La suposición general del método de refracción sísmica es: las velocidades aumentan con la profundidad; el método no permite identificar capas o estratos de suelo con velocidades inferiores a la superior ("inversión de velocidades").

El método se basa en considerar los rayos como líneas de acuerdo a la óptica geométrica, que es la parte de la física que supone:

- Los rayos viajan en línea recta en el vacío o por un medio homogéneo.
- Supone que en el caso en que un rayo se regresara, lo haría en la misma trayectoria.
- No hay interacción entre los rayos. Avanzan independientemente.
- Los rayos siguen las leyes de refracción y reflexión.

2.5.3. Principios de interpretación en refracción

En las curvas tiempo-distancia (t-x) se identifican las secciones de la curva que pertenecen a un mismo refractor y que conforman la **dromocrona**.

La interpretación de datos de refracción sísmica se basa en 5 principios o leyes generales:

1. Leyes de refracción o Snell.
2. Ley de las velocidades aparentes.
3. Principios de reciprocidad.
4. Principio del tiempo de intercepto en el origen.
5. Principio de paralelismo.

El primero ya ha sido tratado, por lo que a continuación se explican los otros.

2.5.3.1. Ley de las velocidades aparentes.

Cuando el contacto entre dos medios no es horizontal (refractor inclinado), las velocidades de propagación que se obtienen registrando el contacto en sentido descendente y ascendente son distintas y siempre menor y mayor, respectivamente que la velocidad real del contacto.

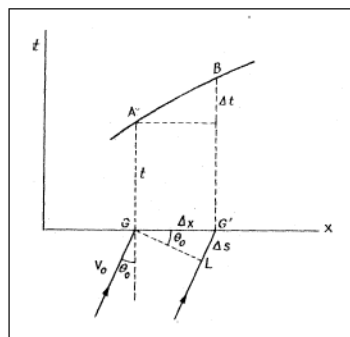
La ley de velocidad aparente dice que la velocidad con que aparenta transmitirse una onda en un cierto punto de la superficie del suelo, es igual al cociente entre la velocidad superficial y el seno del ángulo de emergencia, tomados ambos de dicho punto. El ángulo de emergencia es formado por la onda emergente con la superficie.

En un perfil vertical del terreno (Fig. 2.4) se identifica un frente de onda GL que llega a la superficie en G. Si se consideran dos rayos infinitamente próximos llegando a dos geófonos G y G' separados una distancia Δx , tenemos que GA y G'B son los tiempos de llegada. La velocidad con que aparentan transmitirse los rayos G y G' será $V_a = \Delta x / \Delta t$; adicionalmente se considera el frente de ondas se desplaza de L a G' con su velocidad superficial V_o , donde $\Delta s / \Delta t = V_o$ y como $\Delta s = \Delta t^* \text{sen}(\theta_o)$, se obtiene que la velocidad aparente V_a :

$$V_a = \Delta x / \Delta t = \Delta s / \text{sen}(\theta_o) \cdot \Delta t = V_o / \text{sen}(\theta_o) \text{ con } V_a > V_o$$

La velocidad aparente en el punto A, será la tangente a la dromocrona AB en el punto A, ya que $V_a = \lim \Delta x / \Delta t$, cuando $\Delta t \rightarrow 0$ teniendo finalmente que:

$$V_a = dx/dt$$



Tomado de Cantos, 1973.

Figura 2.4.- Ley de las velocidades aparentes.

2.5.3.2. Principio de reciprocidad

Establece que el tiempo de propagación de la onda sísmica de un punto A a otro B, es el mismo que el de B a A. Es consecuencia directa del principio de Fermat o del recorrido de tiempo mínimo.

Si se consideran dos refractores (fig. 2.5), por el principio de reciprocidad la prolongación de las dromocronas de un mismo refractor generadas por puntos de disparo conjugado:

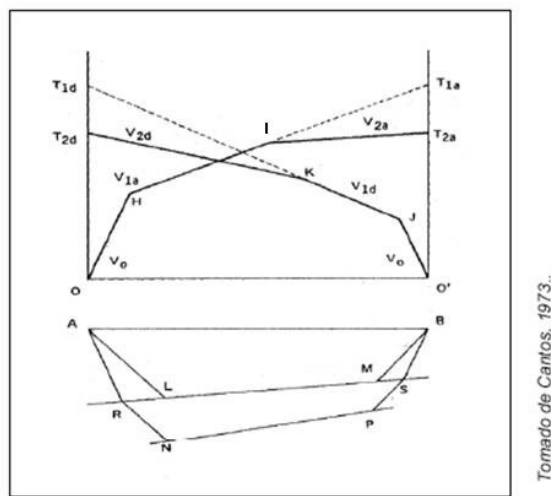


Figura 2.5.- Principio de reciprocidad

Por ejemplo las dromocronas de un mismo refractor generadas por puntos de partida conjugados H-I y K-J, deben interceptar el eje del tiempo en un mismo valor, es decir:

$$T_{1d} = T_{1a}$$

$$T_{2d} = T_{2a}$$

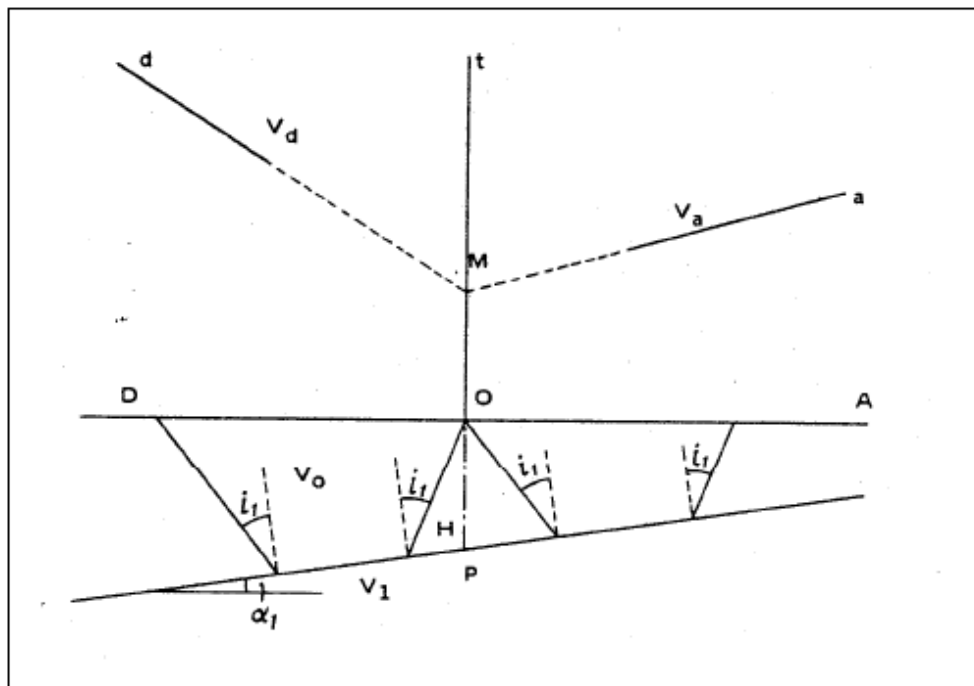
Esto es evidente dado que ambas corresponden al mismo trayecto (ARNPSB y BSPNRA), según se tire de A o B. Asimismo, aunque desde los puntos I y K ya no se recibe la onda refractada en el primer refractor, es evidente que $T_{1d} = T_{1a}$ serían los tiempos correspondientes a los recorridos ALMB y BMLA.

Con este principio, se forma el criterio para seleccionar los trozos de dromocrona que corresponden a cada refractor.

2.5.3.3. Principio del tiempo interceptado en el origen

Esté un refractor inclinado (fig. 2.6), y supóngase que desde la superficie se hacen dos tiros en O y registramos en los sentidos OA y OD; el principio del tiempo interceptado en el origen dice que si se prolongan las dromocronas a y d hasta que corten al eje de tiempos Ot, los tiempos interceptado en el origen son iguales.

Este principio permite reconocer los trozos de dromocrona correspondiente al mismo refractor cuando desde un punto se tira en los dos sentidos. Como nunca se observan directamente los tiempos OM, se obtiene prolongando las dromocronas correspondientes hasta que corten al eje de tiempos.



Tomado de Cantos, 1973.

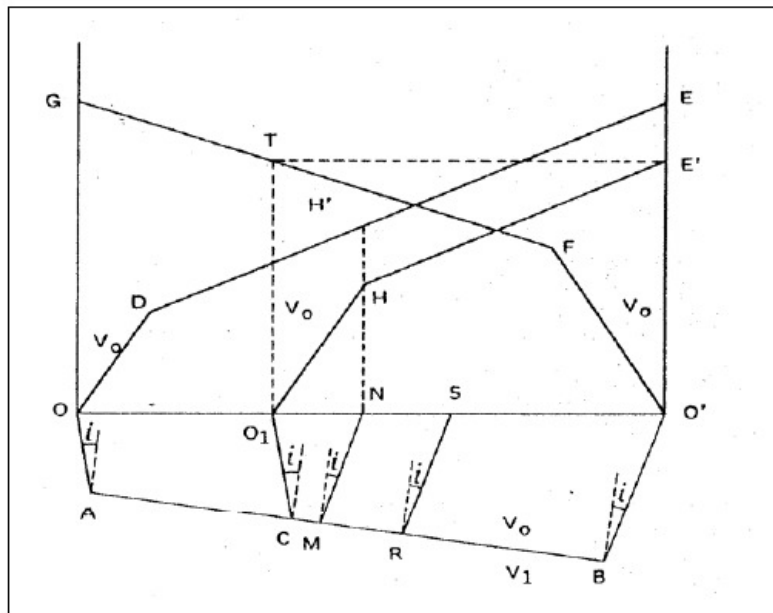
Figura 2.6.- Tiempo de intercepto en el origen

2.5.3.4. Principios del paralelismo

De la figura 2.7 tenemos los dos puntos de tiro O y O' y sus dromocronas correspondientes ODE y O'FG.

Si hacemos un tiro en O₁ entre OO', los recorridos refractados correspondientes a HE' comenzarán con el O₁CBO'. Ahora bien, la diferencia entre los recorridos correspondientes al tiro en O y el tiro en O₁ para un geófono cualquiera en un punto de registro S, será constante:

$$OA + AR + RS - (O_1C + CR + RS) = OA + AC + CR + RS - (O_1C + CR + RS) = OA + AC - O_1C$$



Tomado de Cantos, 1973.

Figura 2.7.- Aplicación del principio de paralelismo

Esto significa que la diferencia de tiempos entre las dromocronas DE y HE' es constante a partir de HH', por lo que H'E y HE' son paralelas.

El principio del paralelismo permite deducir las dromocronas relacionadas con puntos de disparo intermedio a dos puntos de disparo en los extremos del tendido, sin haber efectuado el disparo; o deducir una dromocrona con un punto de disparo por fuera (alejado) de dos puntos de disparos complementarios (ida y regreso).

Según se ve en la figura basta levantar por el punto elegido O_1 la vertical O_1T cruzando con FG . Por el principio de reciprocidad $O_1T = O'E'$ con lo que encontramos el tiempo interceptado en O' bastará desplazar la curva DE paralelamente hasta E' , trazando por O_1 la paralela a OD se obtendrá la dromocrona O_1HE' buscada.

El principio funciona para refractores horizontales o inclinados planos, sin embargo esto no ocurre en la realidad, pues la concavidad de los refractores afecta la forma de viajar de las ondas.

Aunque el principio del paralelismo no es rigurosamente exacto, para fines prácticos de interpretación se considera que lo es.

2.6. Metodologías de análisis de las dromocronas

Los métodos más comunes de análisis de las dromocronas identificadas son: tiempo de intercepto, velocidades aparentes, frentes de onda, tiempos de retardo y trazado de rayos.

Estos métodos son ampliamente desarrollados en tratados de geofísica aplicada, y algunos de ellos han sido implementados en diversos programas de computadora para agilizar los cálculos.

En general, los métodos de interpretación y cálculo en refracción sísmica, se diferencian por las suposiciones que implican y los modelos de suelo que estudian, así como sus capacidades de aproximación a la topografía real de los refractores y al perfil de velocidades. A excepción del método de **velocidades aparentes**, los demás métodos no serán tratados en esta tesis.

En este trabajo se utilizó el método de velocidades aparentes (apéndice 1), que permite la identificación de velocidades y profundidades para modelos con capas inclinadas paralelas, utiliza los tiempos de intercepto en el origen de un tendido directo y de su reverso.

El método supone que la velocidad de cada uno de los estratos es constante (medio homogéneo) y que la pendiente del refractor también lo es.

3. Mapa de familias de formas espectrales de la ZCV

3.1 Mapa preliminar de familias de formas espectrales

Identificar el comportamiento sísmico de los suelos, es para la ingeniería moderna un aspecto indispensable para fundamentar una reglamentación urbana, que determine parámetros específicos para el diseño y construcción de estructuras sismorresistentes. En este trabajo se parte de los anteriormente hechos sobre las familias de formas espectrales de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río por el M.I. Francisco Williams *et. al.* "Clasificación dinámica de terrenos de cimentación con fines de diseño sísmico en la zona conurbada Veracruz-Boca del Río", XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, 2007; el trabajo de tesis de maestría de la Ing. Marlene Limaymanta Mendoza, dirigido por M.C. Javier Lermo Samaniego y ampliado sus límites en la tesis de licenciatura de Omar Badillo Zeferino dirigida por la M.I. Guadalupe Riquer Trujillo.

Los trabajos antes mencionados, concluyen en un mapa preliminar de familia de formas espectrales (Fig. 3.1).

En este mapa preliminar, se aprecia una gran cantidad de microzonas donde los rangos de variación utilizados para su identificación son muy cercanos, y sus límites requieren de un análisis más detallado, sobre todo de su topografía.

Para la elaboración de este mapa tomaron 332 puntos de vibración ambiental.

3.2 Redefinición del mapa de familias de formas espectrales

Con la finalidad de agrupar aquellas microzonas de características muy similares, sobre todo en sus formas espectrales, se trabajó en el mapa preliminar anteriormente mencionado analizando algunos indicadores del tipo geoambiental y microsísmico.

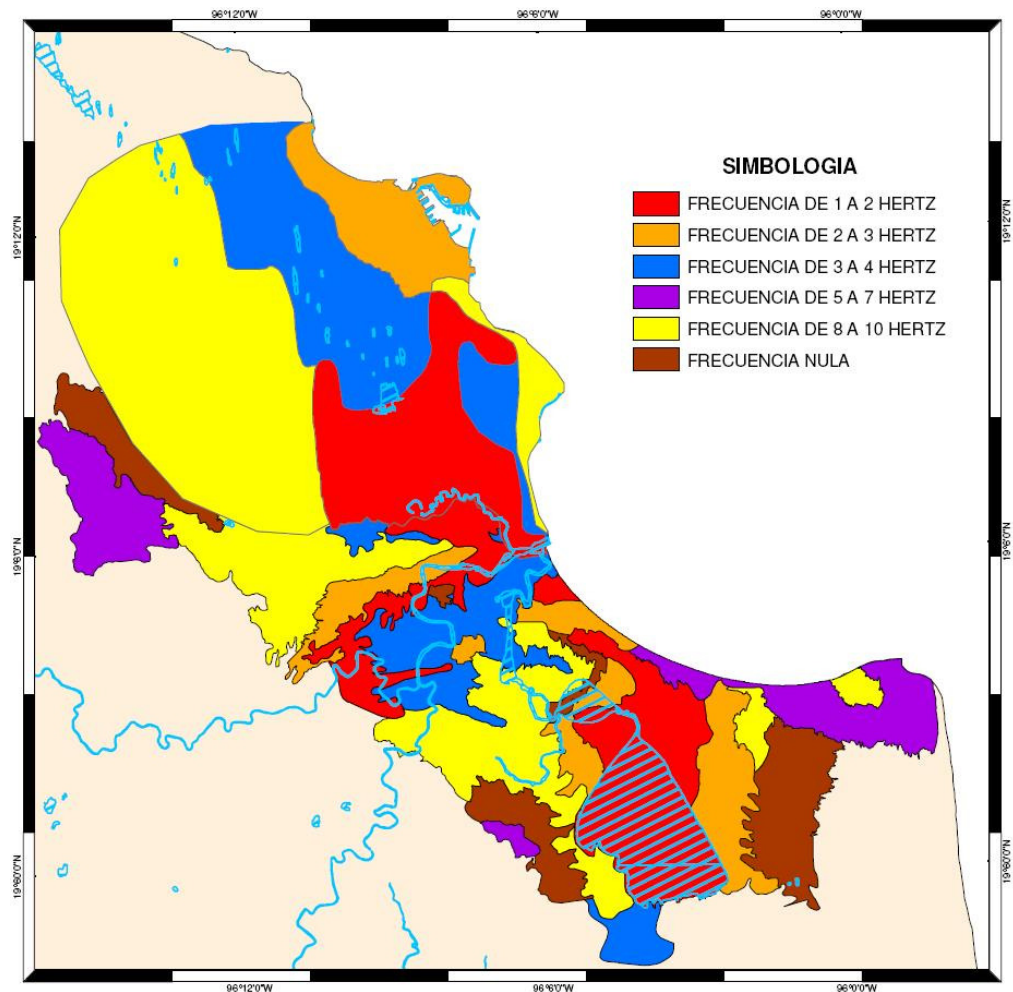


Figura 3.1.- Mapa preliminar de Familias Espectrales

Los factores geoambientales que mayormente influyeron fueron:

- Las alteraciones topográficas, sobre todo aquellas que pudieron haber sufrido ciertas áreas para prepararlas para la urbanización.
- Las condiciones topográficas permanentes.
- Las zonas bajas de inundación del área, complementado con la identificación de los límites y trayectorias de los cursos de los ríos, y su posible influencia en zonas aledañas.
- Las pruebas de penetración estándar en las zonas donde se contaba con ellas.
- Se estudiaron los planos geológicos de la región.

De los indicadores microsísmicos:

- Se ampliaron los rangos de frecuencia de las familias de formas espectrales de las microzonas, lo que resultó en un menor número de zonas.
- Se detectaron algunas microzonas que habían sido identificadas con muy pocos puntos de vibración ambiental, los cuales fueron dictaminadas en este trabajo como insuficientes para catalogar una zona. Estas áreas se integraron a otra o se ignoraron aquellos puntos de vibración ambiental donde la forma espectral no era congruente con las que la rodeaban, recomendándose la confirmación de tales puntos.

Con el conjunto de elementos o factores previamente expuestos, se formó un criterio para postular un mapa con familias de formas espectrales con microzonas redefinidas (Fig. 3.2).

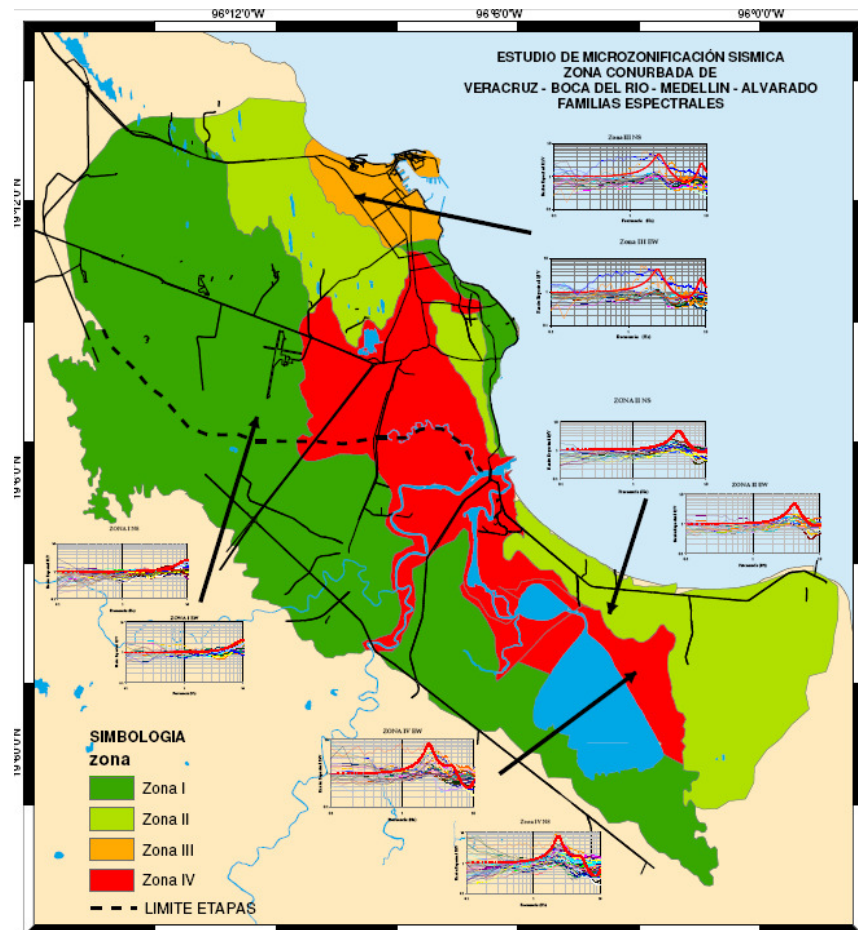


Figura 3.2.- Mapa de Familias Espectrales

4. Equipo de medición

4.1. Equipo de refracción.

Las pruebas de refracción se llevaron a cabo, con un sismógrafo *DAQ Link II* marca *SEISMIC SOURCE*, conformado de la siguiente manera:

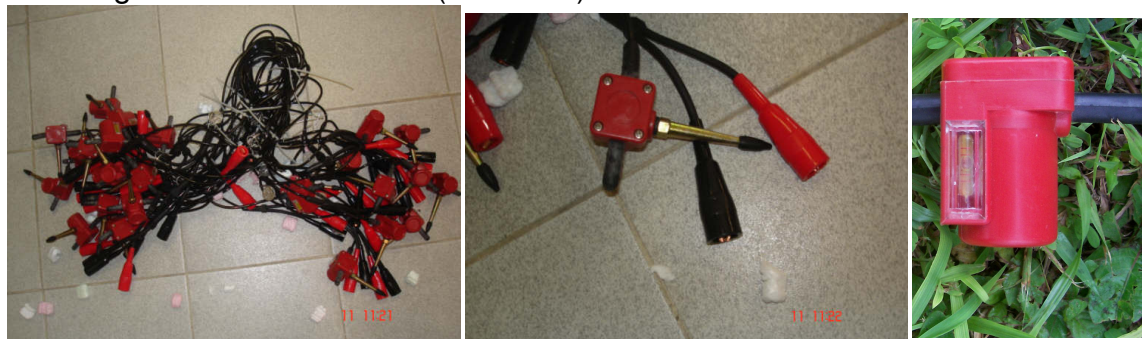
- Unidad sismógrafo *DAQ Link II*, marca *Seismic Source*.



- 24 geófonos verticales (sensores).



- 24 geófonos horizontales (sensores).



- Un cable de conexión a energía eléctrica.



- Un cable de red Ethernet.



- Un switch de martillo.



- Dos cables de 12 canales .



- Un cables adaptador tipo "Y".



- Un cable de 125 metros de extensión para el switch de martillo.



- Memoria flash USB 2 GB instalada dentro de la unidad DAQ.
- Batería de 12 volts.



Las especificaciones generales del equipo son:



El DAQ link II es una unidad de adquisición analógica digital de 24 canales, de 3x5.6x11 in (76x144x280mm) de dimensión, y 3lb (1.4 Kg.) de peso, el voltaje máximo es de 25 Vp-p en el acelerómetro y de 2.5 Vp-p en geófonos.

Tiene un rango dinámico de 115 dB (en modo standby) a 144 dB (tomando muestras).

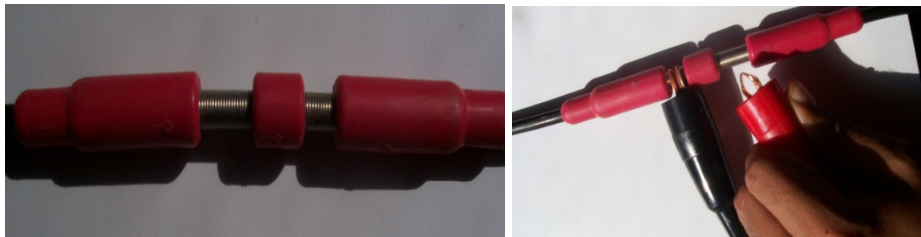
La fuente promedio en el sistema cuando todo se encuentra conectado, es de 10-18 VDC (Voltage Direct Current). Cuenta con un receptor GPS para el calendario de referencia y el ajuste del oscilador interno. Posee una salida analógica de 16 BIT D/A, cuatro pre-amplificadores y una interfaz vía Ethernet

La unidad DAQ Link II es capaz de un muestreo simple de 8 msec, 4 msec, 2 msec, 1 msec, 500 usec, 250 usec, 125 usec. Un archivo puede abarcar hasta 3600 seg de tiempo real. Su capacidad interna es de 32 MB a 2 GB, y los formatos que posee para el almacenamiento de sus registros son SEG-Y, SEG-2, o ASCII. Para su visualización y análisis posee el software **VScope** cuyo uso se detalla en el capítulo posterior.

Los geófonos horizontales, tienen una válvula niveladora en su parte superior, y se usan para registrar las ondas S en el suelo. Los geófonos verticales, captan las ondas P.

Ambos poseen una punta de acero en su parte inferior a fin de facilitar su correspondiente hincado en la superficie del terreno, y una válvula de caucho con la que finalidad de garantizar su debida correspondencia en la orientación con el largo de la línea de estudio. Poseen conectores del tipo "caimán" que garantizan su alimentación con el cable de 12 canales y su rápida operación tanto al colocarlos como al retirarlos.

Los cables de 12 canales (cables sísmicos), permite un tendido con separación entre geófonos de hasta 15 m. Los cables tienen adaptadores que permiten su comunicación con los conectores de tipo "caimán" de los geófonos.



El equipo cuenta además con un cable tipo "Y" que comunica a la unidad DAQ Link II con los cables de 12 canales. Es por ello que la unidad DAQ se ubica a una distancia equivalente a la mitad del tendido, pero alejado de los geófonos.

En general se puede decir que la prueba de refracción sísmica tiene tres componentes:

- Una fuente de generación de ondas sísmicas.
- Equipo para la detección del movimiento del terreno.
- Equipo para la adquisición y el almacenamiento.

4.1.1. Fuente de generación de ondas sísmicas.

Las ondas sísmicas fueron generadas por un impulso sísmico artificial que provoca un único evento de duración instantánea. La generación de este impulso puede ser de tres tipos: fuente de impacto o cargas explosivas.

La primera es generalmente provocada por un martillo, marro o porra accionado por medios mecánicos o manualmente. La energía liberada no es muy grande y se tienen que apilar varios golpes para modelar mejor las llegadas. (figura 4.1.a y 4.1.b)

Las cargas explosivas se usan principalmente para prospección petrolera; para los disparos se usan cartuchos de foguero y generan una energía mayor que el martillo.

Para este trabajo y por las limitantes de acceso a explosivos, se usó la energía generada por un golpe de marro sobre una placa con las características siguientes:

- **Marro.** De 8 Lb de acero con mango de madera, conectado a un cable "trigger".
- **Placa "de golpe" cuadrada.** De acero de 20 cm de lado y 3/4 pulg. de espesor, para generar las ondas P.
- **Tablón de madera** de 250 cm de largo, 25 cm de ancho por 5 cm de espesor, para generar las ondas S. Estabilizado con el peso de un vehículo o su equivalente.



4.1.2. Detección de los movimientos del terreno.

Se hace a través de geófonos que registran una componente vertical u horizontal del terreno. El registro se hace desde varios puntos a lo largo de un tendido de hasta 24 geófonos para este trabajo.

El sistema está compuesto por:

- **Geófonos de velocidad verticales.**

Marca: Seismic Sources

Cables de conexión de 1 m. de longitud

- **Geófonos de velocidad horizontal.**

Marca: Seismic Sources

Cables de conexión de 1 m. de longitud

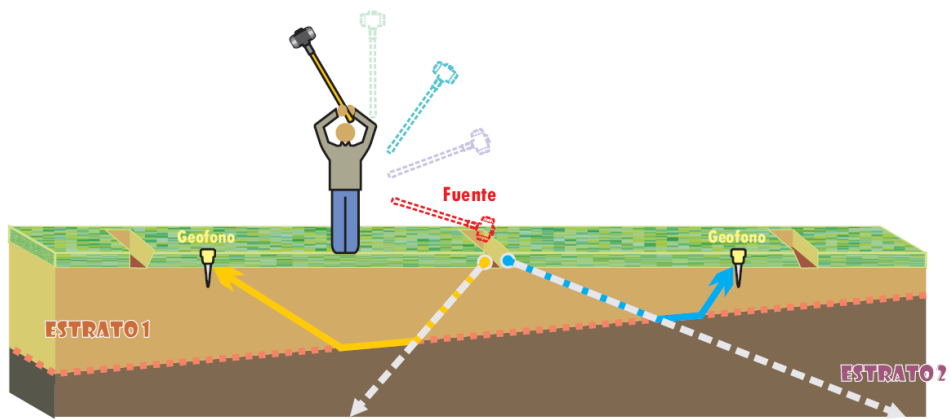


Figura 4.1.a.- Generación de impulso sísmico artificial, golpe al centro

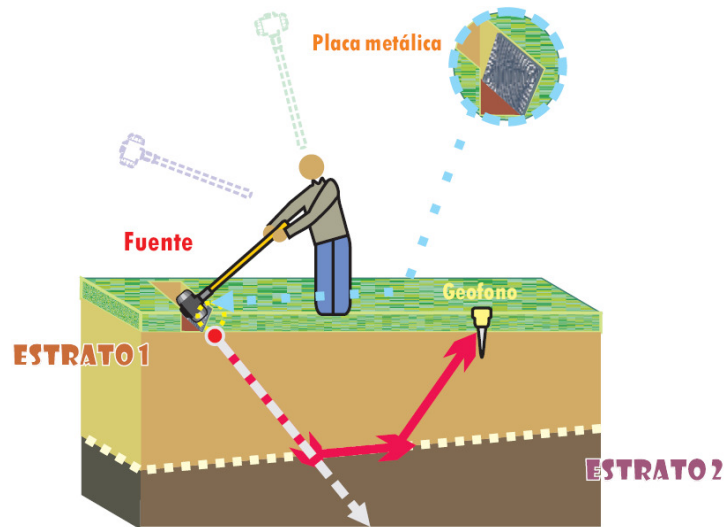


Figura 4.1.b.- Generación de impulso sísmico artificial.

4.1.3. Adquisición y almacenamiento de datos.

El equipo de adquisición y almacenamiento está compuesto por la unidad donde se adquiere, digitaliza y procesan los datos:

- **Sismógrafo de 24 canales.** El sismógrafo descrito anteriormente (DAQ Link II), tiene una unidad de adquisición, digitalización y almacenamiento memoria flash USB 2 GB instalada.
- **Acelerógrafo.** En este trabajo se utilizó para medir la vibración ambiental un acelerógrafo modelo **Etna Strong Motion Accelerograph** de **Kinematics**.



Las principales características del acelerógrafo son:

Tipo	Procesador Digital de Señales de 24 bits
Número de Canales	3 canales, 1 opcional
Rango Dinámico	108dBa200mps
Respuesta en Frecuencia	CD-73 Hz a 200 mps
Resolución	18 bits a 200 mps
Ruido	Menos de 8 mV RMS
Tasa de Muestreo	1 00,200,250 mps por canal
Rango de Entrada	±2.5 V
Rango de Disparo	0.01%- 100% de la escala completa en cada canal
Amortiguamiento	70%
Rango de Disparo	0.1 Hz a 2.5Hz
Tiempo de pre-evento	30 segundos
Tiempo de post-evento	0-65,000 segundos
Tamaño de Memoria	2 MB de RAM
Memoria Expandible	2 slots para PCMCIA de 2,4,8,16,32,64,128 MB
Batería Interna	12.5 V, 6.5 Ah para 36 horas
Adaptador externo de Tiempo	Conexión para GPS
Dimensiones	256 x 381 x 178 mm (Caja de Aluminio con Blindaje)
Peso	9 Kg. incluyendo la batería interna
Temperatura de Operación	-20°C a + 70°C
MODEM	Interno
Velocidad de Baud	1 200,2400, 4800,9600, 1 9200,38400,57600
Alarma	0.1% a 100% de la escala completa
Software	Compatible con Microsoft Windows

- **Computadora portátil de uso rudo.** Una computadora Laptop marca ThinkPad t61, intel t7100 core 2 duo (1.80ghz,800mhz,2mb), para la comunicación y visualización de los archivos registrados por la unidad DAQ. Su carcasa de aleación de magnesio la protege contra caídas o golpes, sin sufrir daños lo cual la hace ideal para el campo; además de tener una membrana y drenaje en el teclado contra derrame de líquidos. Cuenta con una batería para 3.5 horas de energía y una adicional para prolongar su autonomía.



- **Cables sísmicos.** Se utilizaron 2 cables conectados al cable en "Y", el cual se conecta a la vez a la unidad de adquisición.
- **Cable para el disparo (Trigger).** Cable conectado a la fuente sísmica, compuesto por un sensor piezométrico. En este caso es adherido al mango del marro, y transmite en el instante del golpe la señal que da inicio al registro.



4.2. Equipo complementario.

Hay que tomar en consideración las condiciones del medio ambiente como la humedad, temperatura, vegetación, exposición solar y velocidad del viento entre otras, así como el acceso a alimentos y líquidos, a la energía eléctrica y de combustible, acceso a la comunicación celular, condiciones de circulación de vehículos y seguridad del equipo y de los brigadistas principalmente. Así que además del equipo descrito anteriormente, fue necesario valerse de las siguientes herramientas con el propósito de garantizar la eficiencia de las pruebas de campo:

- Para el transporte del personal y equipo: camioneta con batea, de preferencia con cabina para 5 ocupantes y con tracción de 4x4.



- Brújula y un localizar GPS para posicionar geográficamente el sitio.



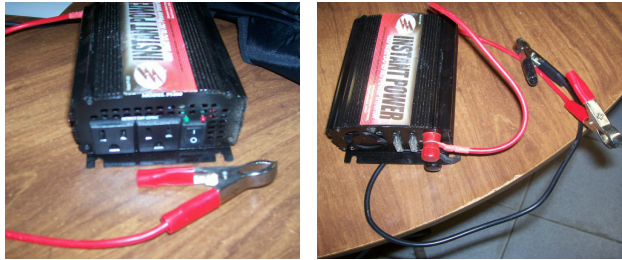
- Un voltímetro con el propósito de garantizar la correcta impedancia y/o detectar anomalías entre las baterías, la unidad DAQ, y demás componentes



- 4 Radios de banda corta, necesarios para la comunicación entre el operador y todo el grupo de participantes debido a las distancias considerables.



- Inversor de voltaje para baterías externas.



- Cintas métricas de 5 m. y 100 m.



- Carretes con ruedas para el fácil manejo y transportación de los cables de 12 canales.



- Cajas de plástico resistente, de preferencia con ruedas, con el propósito de guardar y transportar todas las herramientas pequeñas y/o instrumentos de electrónica.



- Módulo de apoyo para el operador de campo, compuesto por: sombrilla de 1.2 m de diámetro con su base, asientos y mesa de aluminio, todo plegable para su fácil transporte y almacenaje.



- Una hielera de 40 L.ç



- Pico y barreta.



- Dos palas para jardín, una grande y otra pequeña.



- Machetes



- Accesorios varios como: navaja, cinta aislante, bolsas para cintura, bolsas para basura, franelas y lienzos.



- Conos de tráfico y accesorios de señalamiento carretero.



5. Mediciones de refracción

5.1. Elección de sitios para las pruebas

En la selección de los sitios para realizar las pruebas de refracción sísmica (figura 5.1), se utilizó el mapa de Familias de Formas Espectrales (figura 3.2); ubicando los lugares en zonas de características dinámicas diferentes y además de preferencia que contaran con un perfil geotécnico.

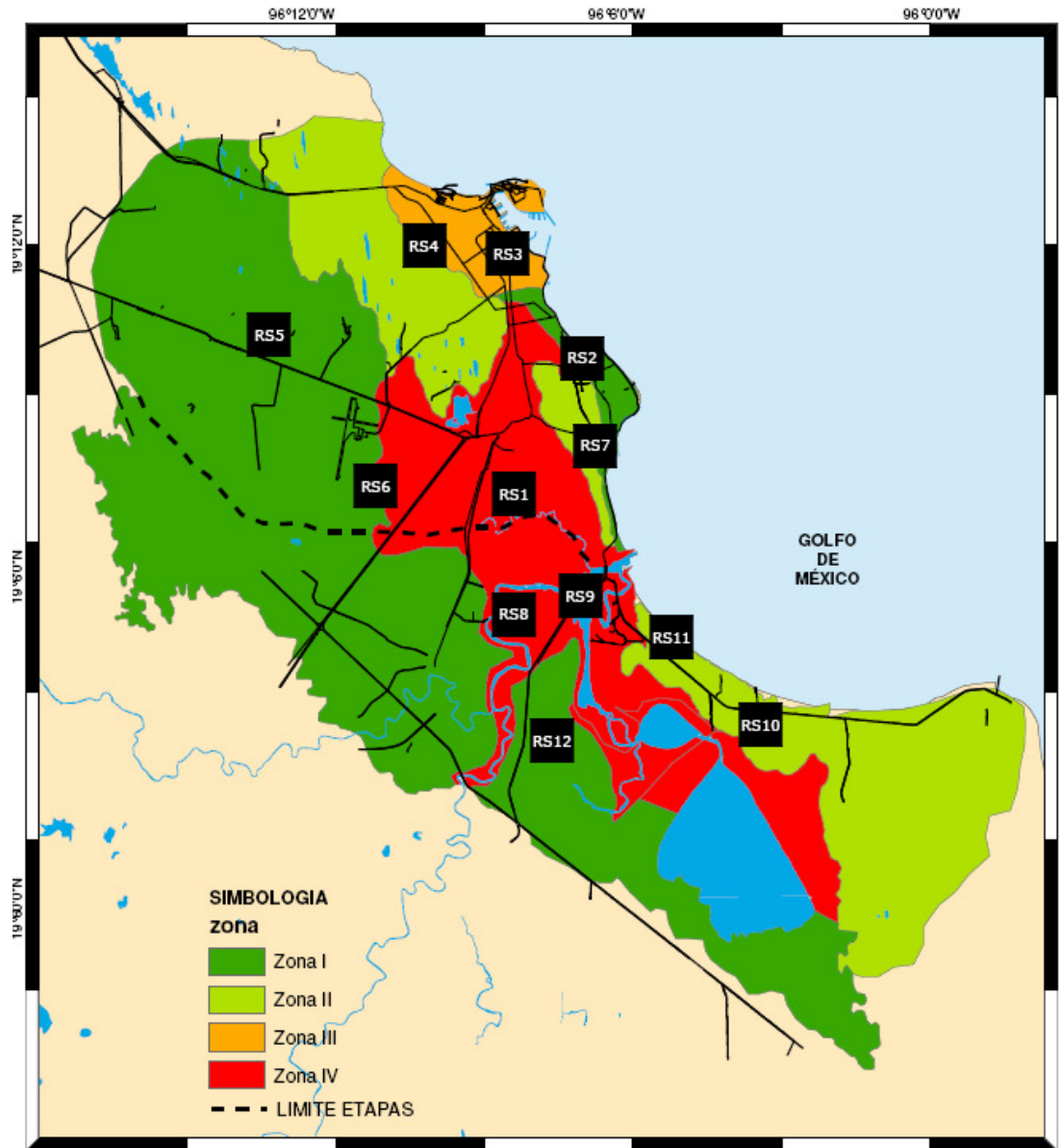


Figura 5.1.- Sitios de las Pruebas de Refracción Sísmica

También influyó en la selección de los sitios las facilidades de acceso de una camioneta en donde se transporta el equipo necesario. Se procuraron espacios abiertos y despejados, de longitud suficiente no menor a los 100 m., con topografía poco accidentada y preferentemente sin alteraciones a su estado natural (figura 5.2). Alejada del tráfico vehicular o alguna otra fuente de generación de ondas. En cada zona del mapa de familias se localizaron dos sitios opcionales para realizar las pruebas y en la tabla 5.1 se describen sus características generales.



Figura 5.2.- Sitios para Refracción Sísmica

En el marco de este proyecto, se realizaron mediciones de velocidades de propagación de onda **P** con tendidos de refracción sísmica con geófonos de componente vertical, y mediciones de propagación de onda **S** con tendidos de geófonos.

Tabla 5.2.- Pruebas de refracción sísmica.
Mediciones de velocidades de onda **P** y **S**

ID	Sitio	Tipo de sensor	Longitud del tendido (m)	Zona
RS4	Instituto Tecnológico de Veracruz	Verticales/triaxiales	Prueba P de 120m Prueba S de 62.5m	Zona II de 2 a 3 Hertz
RS5	Rancho de Veterinario "La Posta"	Verticales/triaxiales	Pruebas P y S de 60m	Zona I de 8 a 10 Hertz
RS6	Comunidad "Mata de Pita"	Verticales/triaxiales	Pruebas P y S de 60m	Zona I de 8 a 10 Hertz
RS7	Colonia "Vía Muerta"	Verticales/triaxiales	Pruebas P y S de 48m	Zona III de 3 a 4 Hertz
RS8	Tulipanes	Verticales/triaxiales	Pruebas P y S de 117m	Zona IV de 1 a 2 Hertz
RS9	Condesa	Verticales/triaxiales	Pruebas P y S de 71m	Zona IV de 1 a 2 Hertz
RS10	Real Mandinga	Verticales/triaxiales	Pruebas P y S de 105.5m	Zona III de 3 a 4 Hertz
RS11	Conchal	Verticales/triaxiales	Pruebas P y S de 71m	Zona III de 3 a 4 Hertz
RS12	Tucán	Verticales/triaxiales	Pruebas P y S de 117m	Zona I de 8 a 10 Hertz

5.2. Preparación de la prueba

5.2.1. Longitud, geometría y fuente

La profundidad de exploración del terreno queda definida en función de la longitud del tendido, la geometría del mismo y la fuente de energía usada para generar las ondas.

En este trabajo, las extensiones de terrenos disponibles con acceso y descubiertas, fue una limitante para la longitud del tendido, además, su cercanía con el entorno urbano contribuyó en la toma de decisión para generar la onda de modo manual y no con explosivos.

El procedimiento para establecer el tendido fue el siguiente:

Ondas P

1. Se inicia con medir en el sitio la longitud seleccionada en línea recta.
2. Se colocan los 24 geófonos verticales, cada uno a una misma distancia. En este trabajo la distancia varió entre 2m y 5.5m.
3. Se mide la distancia (Offset) del geófono mas cercano a la fuente, en las pruebas se tomó de 2 m. En el centro entre los geófonos 12 y 13 también se coloca la fuente a una distancia equidistante entre ellos (figura 5.3).
4. Se hacen las tres excavaciones de aproximadamente 50 x 50 cm de lado por 20 cm de profundidad, donde se colocará la fuente a la distancias descritas anteriormente.
5. De tal forma que la :
 - Longitud Total es igual al Offset + 23 * (separación entre geófonos)
 - Distancia Máxima Requerida: 2 * (Offset) + 23 * (separación entre geófonos).
 - Colocación de la fuente al centro: (distancia entre lo geófonos 12 y 13)/2

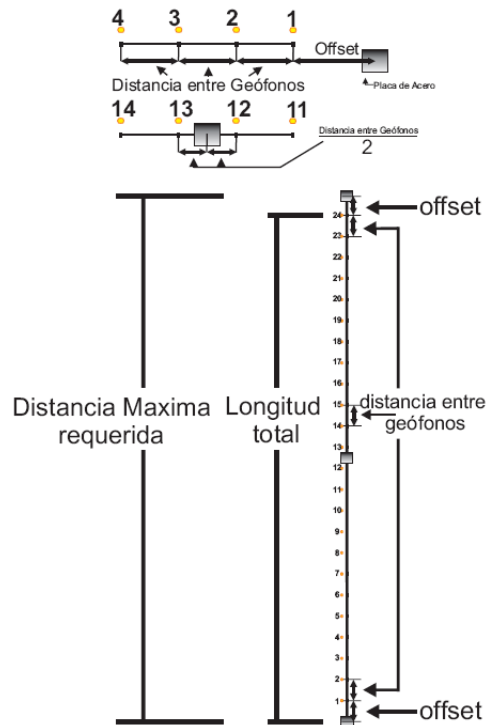


Figura 5.3.- Geometría de prueba P

Ondas S

1. Se inicia con los pasos 1 y 2 indicados en las ondas **P**.
2. La distancia entre los geófonos fue la misma que para las ondas **P**.
3. Se mide el Offset en los dos extremos del tendido para ubicar la fuente, para lo que se usa un tablón de madera.
4. Se retira la capa superficial del terreno para forjar una superficie plana de apoyo al tablón, el cual se colocará perpendicular a la línea del tendido.
5. En cada extremo del tablón, se hacen unas excavaciones para apoyar la placa de golpe, con dimensiones similares a las indicadas para las ondas **P**. Esta placa de golpe transmitirá al tablón el impacto del marro.
6. Antes de generar el impacto con el marro es necesario estabilizar el tablón para evitar su deslizamiento con el golpe lateral, por lo que en este caso se apoyaron las ruedas delanteras de la camioneta que se usó para el transporte del equipo. (figura 5.4).

7. Finalmente el tendido queda con:

- Longitud Total: $\text{Offset} + 23 * (\text{separación entre geófonos})$
- Distancia mínima Requerida: $2 * (\text{Offset}) + 23 * (\text{separación entre Geófonos})$
- Distancia Máxima Requerida: $2 * (\text{Longitud del Vehículo}) + 2 * (\text{Offset}) + 23.* (\text{Separación entre geófonos})$.

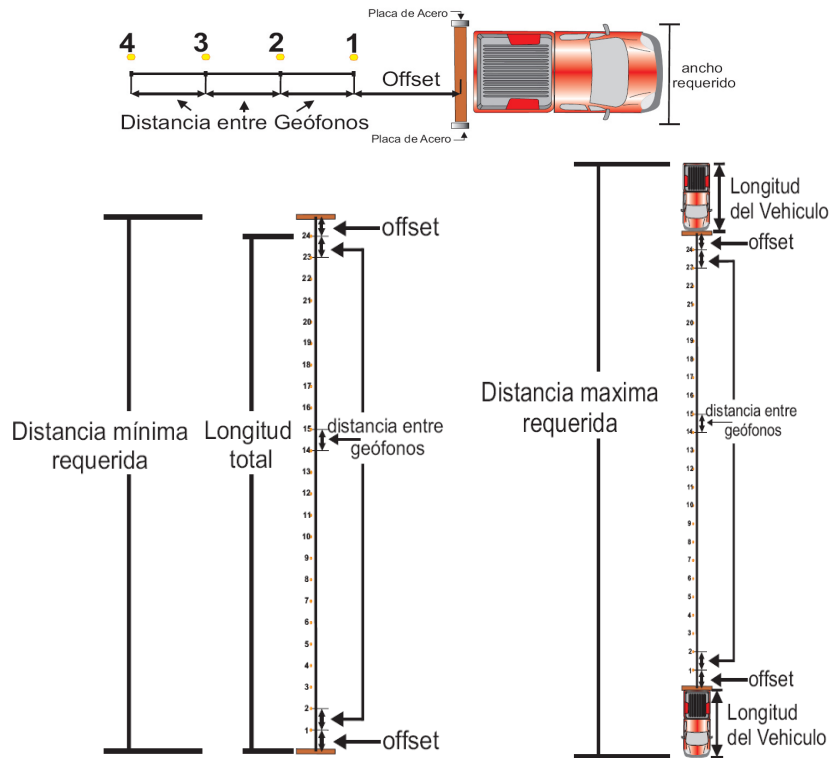


Figura 5.4.- Geometría de prueba S

5.2.2. Instalación del equipo

La instalación del equipo se realizó de la siguiente manera:

1.- Se lleva a cabo el tendido de los geófonos con las medidas necesarias, previamente explicadas.

2.- Se despliega la mesa del operador, en la que estará colocada a su vez la unidad DAQ y la computadora (figura 5.5). Recordando que esta mesa se ubicará a una distancia equivalente a la mitad del tendido, pero alejado de los geófonos.

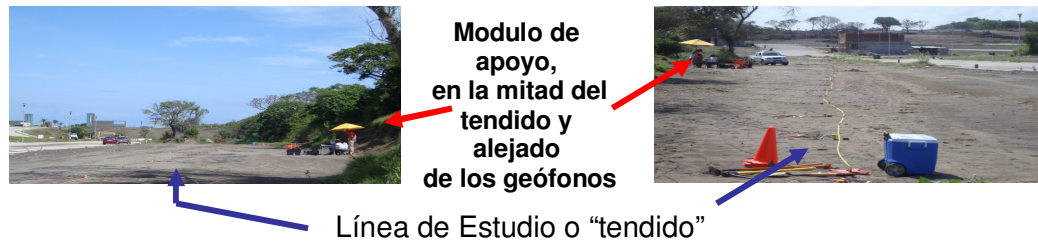


Figura 5.5.- Ubicación de "modulo de apoyo del operador".

3.- Lo siguiente será conectar cada uno de los geófonos, por medio de sus conectores tipo caimán a los adaptadores de los cables de 12 canales.



Figura 5.6.- Conexión de geófonos con cable de 12 canales.

4.- Los dos cables de 12 canales se conectan al cable tipo "Y" y este a su vez, a su correspondiente entrada en la unidad DAQ Link II (figura 5.7). Los cables de 12 canales y el cable tipo "Y", poseen etiquetas, con el fin de identificarlos, y al mismo tiempo darle la numeración a los geófonos. Estas etiquetas vienen con los nombres **1 Thru 12** y **13 Thru 24**, para su correspondiente orden físico. Los cables de 12 canales tiene en su conector de 27 pines que se deben colocar con sumo cuidado con el cable tipo "Y". Por su parte el cable tipo "Y" para conectarse con la unidad DAQ posee una entrada tipo militar de 42 pines.



Figura 5.7.- Conexión de cable tipo "Y" con la unidad DAQ Link II.

5.- El sensor que funciona como disparador, se adhiere con cinta adhesiva al mazo cerca de su parte metálica, en uno de sus costados (figura 5.8).



Figura 5.8.- Colocación del disparador en el mazo.

6.- El disparador se conecta mediante una conexión tipo militar a otro cable de 125 m, enrollado en una bobina, el cuál se conecta a la vez con la unidad DAQ, mediante una conexión similar (figura 5.9).

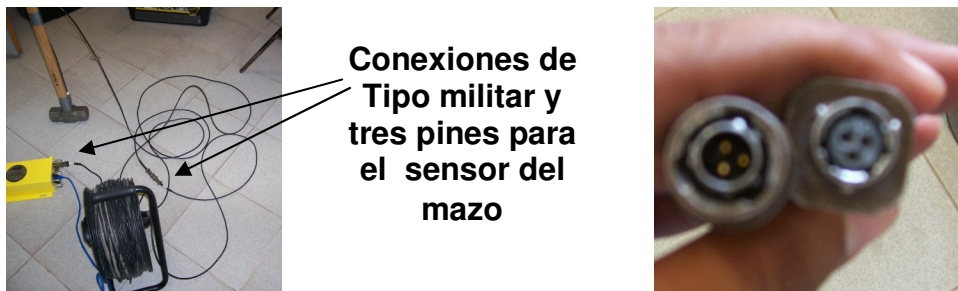


Figura 5.9.- Conexión del disparador y cable de extensión con bobina.

La alimentación de energía eléctrica del DAQ es a través de una pila, por medio de un cable, el cual tiene conectores tipo caimán y tipo militar en cada uno de sus extremos, como se muestra en la figura 5.10.

Al contacto con la energía eléctrica la unidad encenderá un indicador rojo (figura 5.11), en uno de sus costados, y es entonces cuando estará listo para su comunicación con el equipo de cómputo disponible.

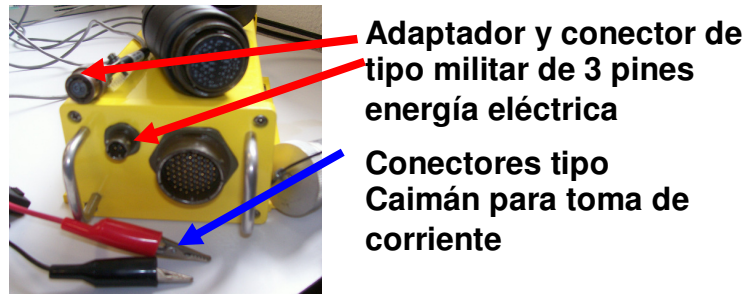


Figura 5.10.- Adaptador tipo militar para cable de energía eléctrica.

La comunicación entre el equipo de cómputo disponible y la unidad DAQ será a través del cable ethernet.

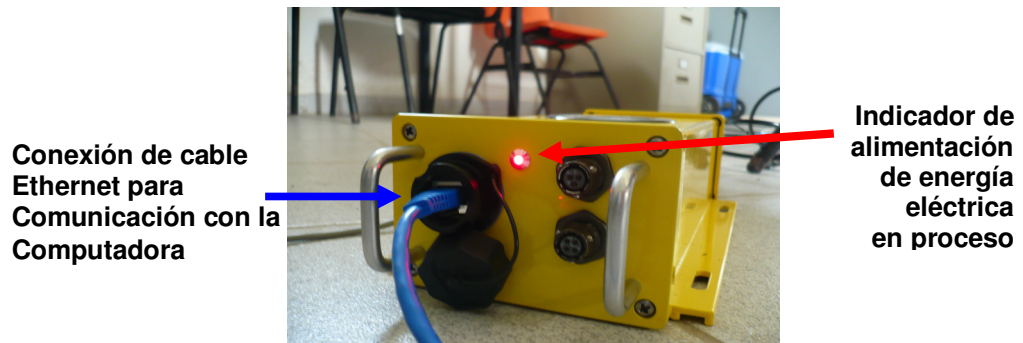


Figura 5.11.- Indicador de alimentación de energía eléctrica y cable Ethernet.

Para empezar a interactuar con el DAQ desde la computadora será necesario seguir las indicaciones descritas en la sección 6.1.

A la unidad DAQ se le puede conectar una unidad de GPS mediante una conexión tipo militar (figura 5.12).

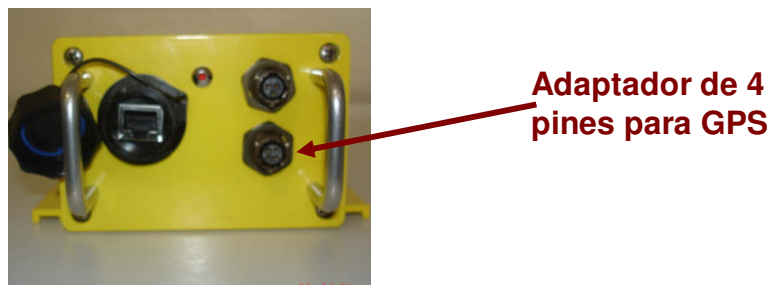
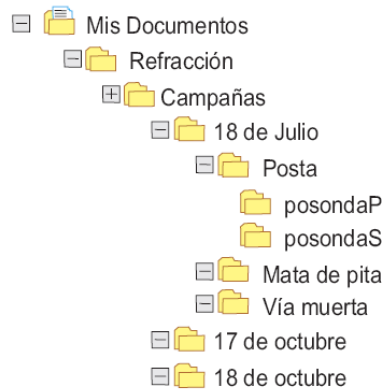


Figura 5.12.- Adaptador tipo militar para GPS

5.3. Ordenamiento de eventos registrados en campo.

A fin de tener una manera fácil de guardar los datos que se obtendrán en las pruebas; en el presente trabajo se realizó, el siguiente arreglo de carpetas:



La base de datos llamada Campañas, se localizo en Mis Documentos> Refracción. El nombre de las campañas será dado por la fecha de esta. Después es conveniente nombrar el lugar específico en que se realizó la prueba, con el tipo de prueba que se realizara. Estos datos estarán sujetos a cambios de su nombre original, cuando se les interprete en el proceso descrito en 6.2. Con ayuda de la bitácora de campo del apéndice 6 se podrá identificar el lugar en que se localizo el punto de disparo que origino el evento.

5.4. Desarrollo de la prueba.

Una vez seleccionado el sitio de prueba se procede a la medición, tendido, instalación y preparación del sitio para el desarrollo de la prueba. A continuación se describe e ilustra su desarrollo:

- 1.) Se explora el terreno usando una varilla para sentir la dureza del material. Esto se debe a la existencia de lugares en donde el agua superficial es muy abundante y perjudicial para la prueba, o puede ser el caso no tan evidente de que el suelo haya sido alterado para cambiar sus características o con relleno.



- 2.) Antes de empezar con la prueba es necesario, cerciorarse de que todo el equipo se encuentre disponible en el sitio, este procedimiento será más eficiente si se hace antes de partir a la campaña, elaborando un inventario de lo necesario, colocando tanto el equipo como las herramientas y utensilios complementarios en orden dentro del vehículo. Con la finalidad de evitar perdidas, se recomienda verificar el inventario antes de partir y una vez terminada la prueba.



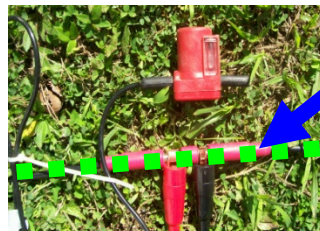
- 3.) Lo siguiente es definir el largo del tendido que físicamente el terreno nos permitirá extendernos. Para ello se debe considerar la distancia que tendrán los distintos lugares en que ubicaremos la fuente (o placa de acero) y nuestros geófonos más cercanos a ellos.



- 4.) Se procede a retirar el material superficial y nivelar la superficie para colocar un tablón, realizando a la vez excavaciones en sus extremos que permitan colocar la fuente (placa de golpe) y posteriormente encima del tablón la camioneta.



- 5.) A la par, se pueden colocar los geófonos horizontales para medir las ondas **S**, procurando que estén debidamente nivelados, usando para ello la brújula integrada, y verificar la orientación, de tal forma que esté perpendicular a la línea de estudio. Se debe cuidar que todos los geófonos estén orientados hacia un mismo sentido, y a la distancia previamente establecida.



Línea de estudio o de tendido

- 6.) Se extienden los cables de 12 canales, procurando que los adaptadores para los caimanes vayan coincidiendo con la ubicación de los geófonos, posteriormente se conectan los geófonos al cable de 12 canales.



- 7.) Se hace vibración ambiental con el acelerógrafo (Badillo O, 2008), con el propósito es obtener el periodo y la frecuencia del lugar. Esta prueba puede hacerse en un lugar cercano a la línea de estudio, no necesariamente sobre ella.



- 8.) Se conectan los cables sísmicos al sismógrafo unidad DAQ II. Antes se coloca el modulo de apoyo del operador a la mitad de la línea de estudio, posteriormente se hace la conexión de todos cables a la unidad DAQ II, y se verifica su correcto funcionamiento.



- 9.) La operación de la unidad DAQ II se explica en la sección 6.1.

El operador en este momento deberá observar cómo se encuentra físicamente orientado el tendido, es decir ubicarlos según el programa VScope e identificar cuál es el geófono numero 1 y sus sucesivos.

El resto del personal deberá permanecer lo más quieto posible durante la prueba, y a no menos de 5 m de distancia alrededor de los sensores.

- 11.) Una vez terminado con el procedimiento anterior se desconectan los geófonos horizontales y se colocan los verticales para medir las ondas **P**. La forma correcta será colocarlos orientados de forma perpendicular a la línea de estudio. En este trabajo, se conservó la misma distancia que la del tendido de los geófonos horizontales.



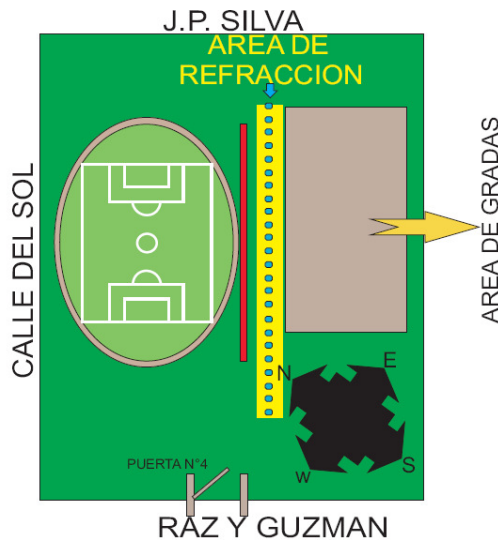
La fuente en un tiro de ida y/o regreso para las ondas **P**, se ubica en una excavación al extremo de la línea, cuyas paredes formen un ángulo aproximado de 60° de inclinación con la horizontal.

En una pared perpendicular a la línea, se coloca la placa de acero y se procede el golpe con el marro. La excavación está al offset elegido (sección 5.2.1).

Efectuados el tiro de ida y regreso, se hace una excavación similar en el centro del tendido para el tiro intermedio.

Para el tiro al centro, se realizan una serie de golpes para cada sentido.

- 12.) Es importante llevar una memoria ilustrada de cada prueba que incluya la ubicación del sitio, un diagrama del tendido, identificación y orientación del tendido.



- 13.) Al finalizar la prueba se desconectan los equipos, se cuentan y se revisa el inventario para evitar el extravío de piezas.

6. Análisis de Refracción Sísmica

6.1 Adquisición de registros

El paquete de software VScope es suministrado con el Sismógrafo DAQ y su función principal es establecer la comunicación entre los componentes del DAQ y la computadora, además de permitir la visualización, análisis y almacenamiento de las señales adquiridas.

Para que se pueda interactuar con la unidad DAQ, es necesario preparar la conexión del área local de Internet del Computador. El siguiente procedimiento es útil para computadoras con un sistema operativo Windows XP, para otros sistemas operativos (Windows 2000, Windows Vista, etc.); se recomienda visitar la pagina <http://seismicsource.net/phpnuke/html/daq.php>.

6.1.1 Configuración de la Red

1 Se accede al Panel de control.

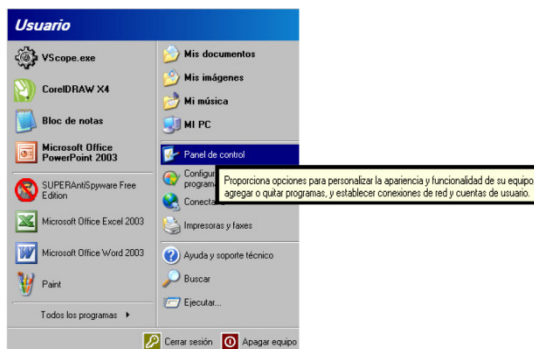


Figura 6.1.- Acceso a Panel de Control.

2. Se accede a la opción de Conexiones de Red.

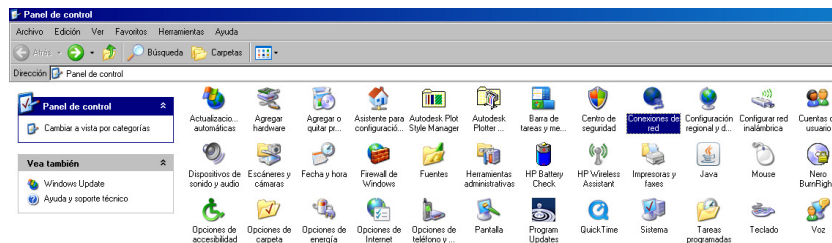


Figura 6.2.- Elección de Conexiones de Red en Panel de control.

3. Se da clic con botón derecho sobre el icono conexión de área local y seleccione la opción de propiedades.



Figura 6.3.- Accesando a Propiedades de la conexión de área local.

4. Se abre un cuadro de dialogo del mismo nombre y se elije el comando **protocolo de Internet TCP / IP** con un clic sobre su icono con botón izquierdo. Después se elige la opción de **Propiedades**.

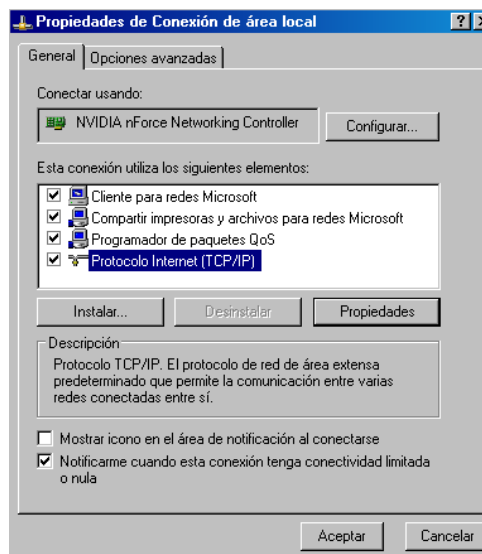


Figura 6.4.- Cuadro de dialogo de Propiedades de conexión de área local.

5. En el cuadro de dialogo de Propiedades de Protocolo de Internet se usa la siguiente dirección IP:

IP address 192.168.0.101
Subnet Mask 255.255.255.0

Se elije Aceptar, para dar paso a la entrada de Red del DAQ.

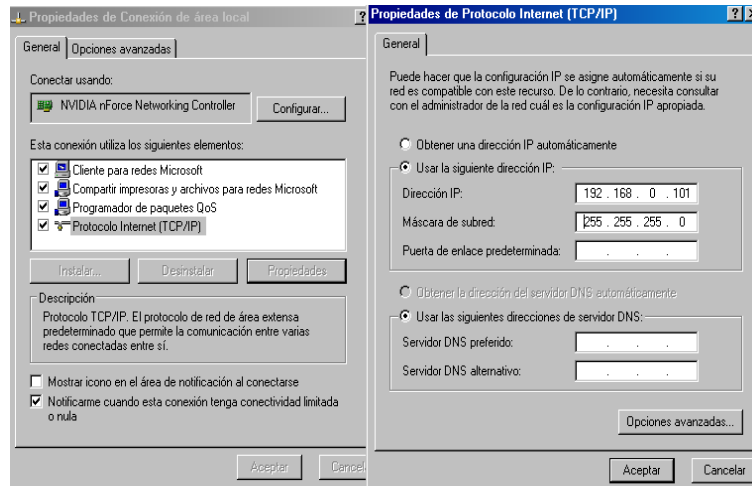


Figura 6.5.- Cuadro de dialogo de Propiedades de Protocolo de Internet.

Lo siguiente será acceder al programa VScope para configurar el sismógrafo DAQ de acuerdo a las características de la prueba.

6.1.2 Configuración de la unidad DAQ con el software VScope.

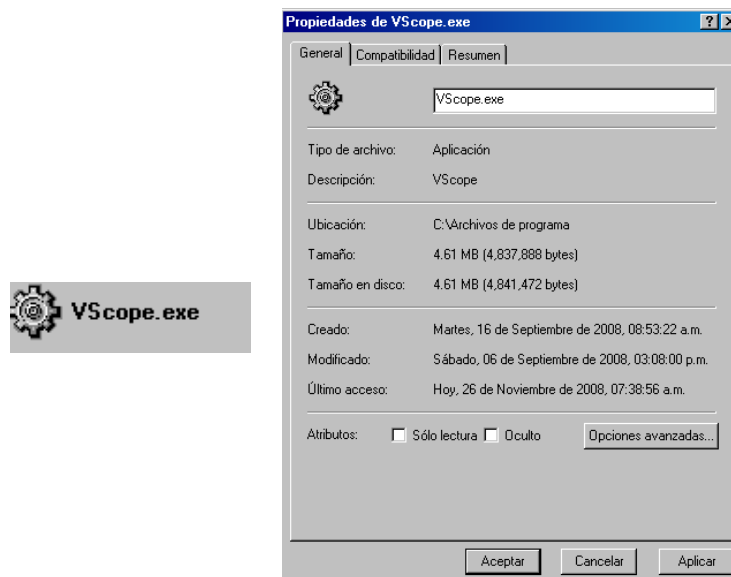



Figura 6.6.- Icono y cuadro de dialogo de propiedades de VScope.

1. Se elige el comando **Options** del menú principal, que abre un cuadro de dialogo y se elige **Device**.

Este procedimiento puede ser reemplazado con solo dar clic con botón izquierdo sobre el icono  situado en el menú principal. Al hacer esto aparecerá un cuadro de dialogo **DAQ Setup**, en la que se podrá observar la detección del sismógrafo, cuando se haya conectado al equipo de cómputo. Esta ventana es la entrada a la configuración simple del sismógrafo, con ella se podrán configurar otros sismógrafos para interactuar simultáneamente. También a través de este cuadro de dialogo, será posible visualizar la configuración de la unidad GPS, en caso que se disponga de esta.

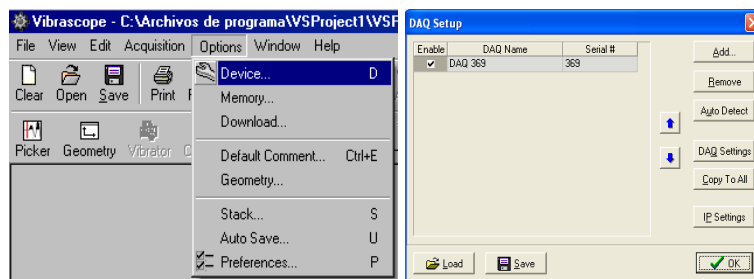


Figura 6.7.- Elección de el comando Device en el menú principal (Izquierda), cuadro de dialogo DAQ Setup (derecha)

2. Se elige el comando **DAQ Settings**, la cual presenta primeramente un cuadro de dialogo llamado **Acquisition** y que a su vez muestra las opciones de configuración. En este trabajo se recomienda utilizar

Gain = 10 (configuración para el poder de sensibilidad del sismógrafo)

Sample Interval = 1 msec (muestras por milisegundo)

Acquisition Times 0.25 sec (Duración del Archivo en tiempo real)

En la parte inferior en la configuración de **Trigger**, seleccionar **Trigger on time break (Hammer switch)**, para que el sismógrafo espere la señal del disparador ubicado en el mazo para comenzar a grabar algún evento significativo.

Después de esto se elije OK para que el DAQ guarde los cambios realizados. Para cerrar la ventana DAQ Setup basta con dar clic sobre el comando cerrar ubicado en la parte superior derecha de esta ventana.

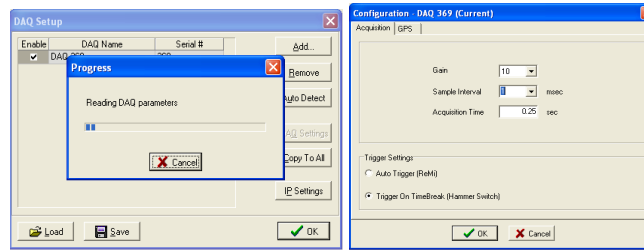


Figura 6.8.- Accesando a DAQ settings (izquierda) Cuadro de dialogo DAQ settings con configuración propuesta (Derecha).

3. Se elije el comando **Options** del menú principal, esta vez se elige el comando **Preferences** y este nos mostrara un cuadro de dialogo del mismo nombre, con varios menús. En el primero de ellos, llamado **General**, se elige la opción de **Advanced Mode**. El segundo menú, **Auto Save**, en la ventana de **Export Type** se elige la opción de formato mas conveniente, en el presente trabajo se utilizo **SEG_2**. Luego se da clic sobre el icono de carpetas y se escribe el nombre de lugar donde se desea, se guarden los archivos. Esta ventana presenta la opción **Crear una nueva carpeta**, para crear carpetas donde almacenar los archivos. Finalmente presione **OK**.

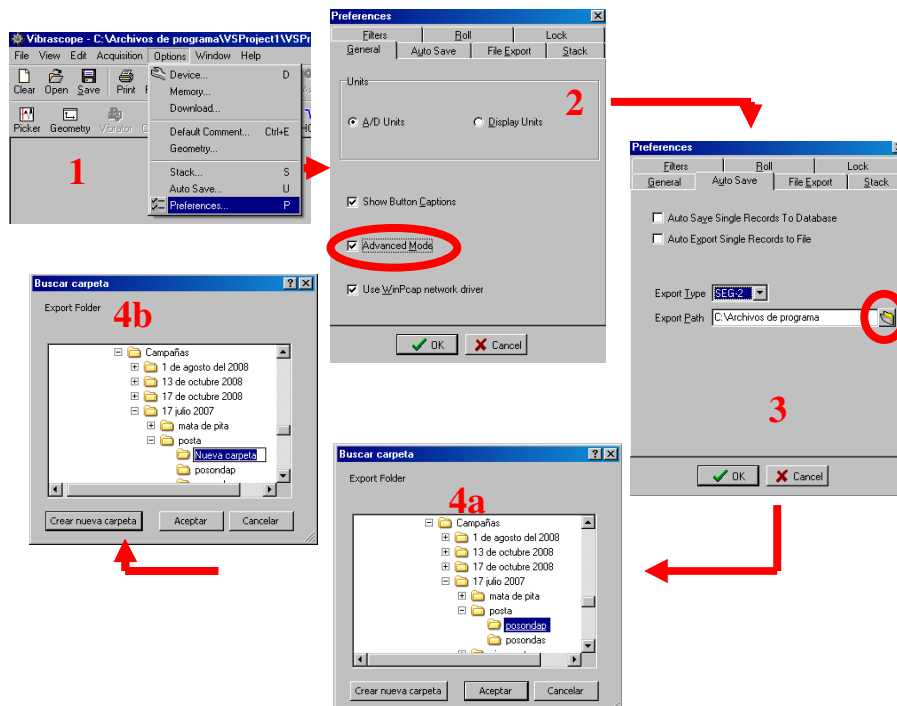


Figura 6.9.- Procedimiento con el comando Preferences.

4. En el menú principal se accede al comando **Device**, y se elige la opción **DAQ Settings** y se nota que el cuadro de dialogo es diferente que al del paso 2. En este cuadro de dialogo se tienen los menús:

4. a **Acquisition**. Este menú sirve para configurar los geófonos de una forma personalizada permitiendo desactivarlos o activarlos de una manera fácil con solo seleccionarlos. En la columna de **Type** se puede configurar Generic para los geófonos originales del sismógrafo, o alguna configuración diferente para sensores no propios del equipo. En la columna **Gain** se puede establecer un poder particular de ganancia a cada geófono. Las columnas **DC** y **Removal**, fueron creadas bajo la circunstancia en que el equipo es utilizado para medir las vibraciones ambientales y debe conectarse a una corriente constante, como motores de corriente eléctrica, o en el caso en que se deba hacer una prueba de calidad a un vibrador hidráulico automático. Las unidades y escala utilizada para mostrar el eje "Y" están configuradas para unidades distintas de voltios, estas entradas se utilizan para calcular libras, Kilogramos o en el control de la calidad de los plots.

En la parte inferior el usuario puede decidir el tamaño de las muestras por segundo deseadas con la opción **Sample Interval** y posteriormente el tiempo de duración que el sismógrafo deberá grabar en su archivo con la opción **Acquisition Times**. En el presente trabajo se utilizo la configuración de :

Sample Interval = 1 msec
Acquisition Times 1 sec

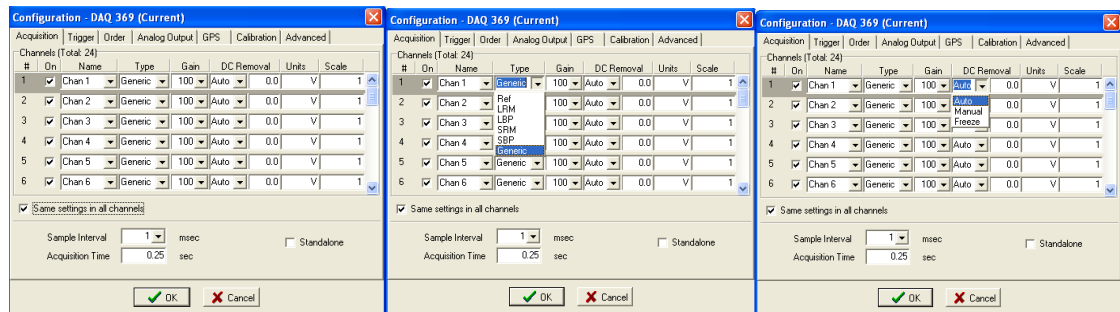


Figura 6.10.- Configuración del menú Acquisitions.

4. b **Trigger** En este menú el usuario puede configurar, la forma mas conveniente de adquisición de eventos. Por lo menos 3 voltios deben aplicarse para disparos confiables. La unidad puede ser configurada para buscar un cambio de tensión que aumente con el tiempo; y capte variaciones de baja a alta tensión (**Low-High**), o busque cambios que disminuya desde una alta a baja tensión (**High-Low**).

Auto Trigger – Este es un auto disparador que comienza la adquisición de datos tan pronto como el inicio de comandos.

Trigger on Time Break – Este comando, activara a la unidad DAQ cuando reciba la señal del sensor ubicado en el mazo, identificando a su vez las caídas de voltaje que experimentarán los geófonos.

Trigger on input channel – Al activar el canal de entrada, la unidad DAQ Link recibe y procesa datos, luego espera a que el umbral de tensión en el canal seleccionado para ser superados.

Trigger on PPS Pulse- En este modo, la DAQ link utiliza el GPS para activar la unidad. El temporizador de datos determina cuando el DAQ link se activará.

Timer Start At time –, indica la hora de activación la primera vez que debe ocurrir.

Repeat Every – Se puede introducir una hora a la unidad para repetir el gatillo. Una entrada de 00:10:00, hará que el DAQ link para active cada 10 minutos.

Pre Trigger Delay – El DAQ link registrará y mostrará los datos antes de activarla al evento. Debe introducir la hora para la adquisición de activación pre-evento

Auto Start – Cuando este comando está habilitado, el DAQ link se iniciará automáticamente con un nuevo registro después de que haya terminado con la anterior grabación.

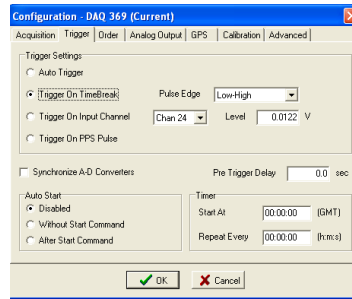


Figura 6.11.- Configuración del menú Trigger.

4. c **Order** Es el orden que aparecen los 24 geófonos, cuando están conectados a la unidad DAQ link, este menú no se activa con 6, 12, ó 18 canales. Esta selección permite compensar la diferente difusión por las configuraciones del cable.

Normal. Es la configuración por default que posee el equipo, es decir que según como se conecten los cables en el cable tipo “Y”, será el numero de geófono con el que se reconozca en el equipo.

Reverse All Canals (24-1). Es la configuración para que el equipo para enumerar de una forma inversa a la que se encuentre la conexión de los geófonos.

Reverse First Half (12-1, 13-24). Es una configuración particular de los geófonos.

Reverse Second Half (1-12, 24-13). Es una configuración particular de los geófonos.

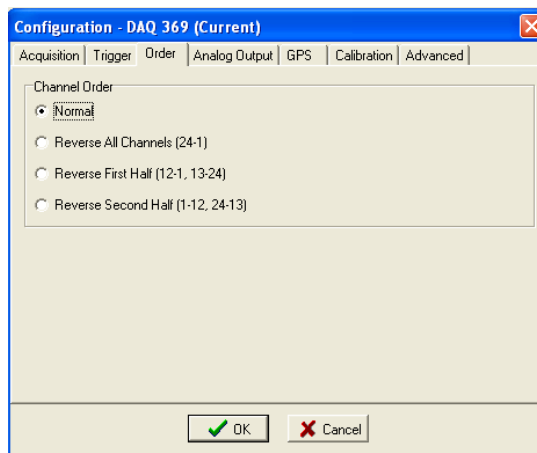


Figura 6.12.- Configuración del menú Order.

4.d **Output** La unidad DAQ Link posee una salida analógica de 16 bits. Con esto se pueden descargar archivos internos de la memoria flash, al seleccionar **DAQ**

Con el fin de permitir D / A (conversor de archivos digitales a analógicos) se selecciona la señal de salida y su número en la lista para habilitar salida. Para la adquisición sísmica normal, la salida debe ser desactivada. Seleccione "**Ninguna**" para desactivar salida, permitir la salida de buzón.

En la columna **Sector** se deberá especificar el sector del que proviene el correspondiente archivo.

En la columna **Samples** la velocidad en Baud con la que el archivo será transferido.

En la columna **Comment**, es utilizada en el caso en que archivo sea necesario agregarle especificación adicionales.

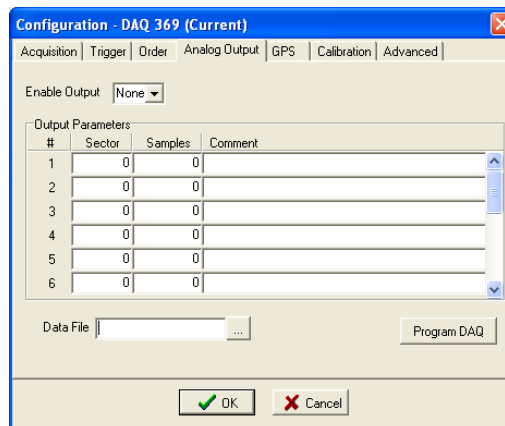


Figura 6.13.- Configuración del menú Output.

4.e **GPS**. Este menú es útil cuando se cuenta con una unidad de GPS externa capaz de comunicarse con el sismógrafo, por medio de una configuración de 4800, 9600, 19200 baud. Con el botón Get Position la unidad podrá actualizar sus parámetros de altitud, longitud y tiempo, si se logra comunicar con la unidad GPS externa.

Cuando la comunicación es completa entonces el nombre de la unidad GPS externa aparce en la barra de la parte superior.

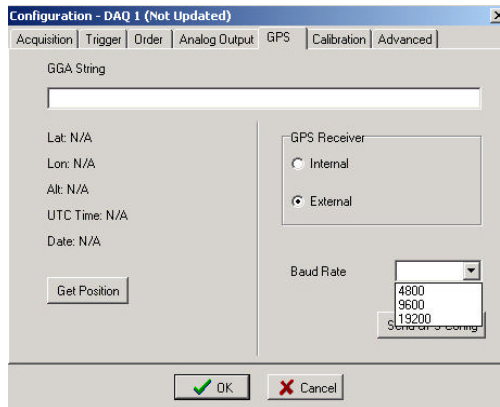


Figura 6.14.- Configuración del menú GPS.

4. f **Calibration** Los preamplificadores del DAQ link pueden ajustarse con diferente configuración, al establecido por el usuario en la ganancia fija del menú de adquisición. Normalmente una junta de geófonos trabaja con una ganancia de x10, y permite una corriente de + - 1.25 voltios.

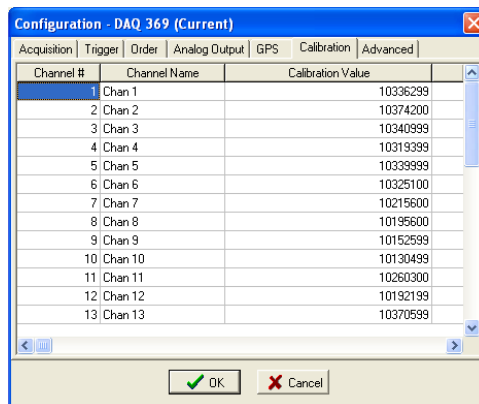


Figura 6.15.- Configuración del menú Calibration.

4. g **Advanced.** En este menú se presentan los diferentes modos de restablecer la unidad DAQ, según lo necesite el usuario.

Reset DAQ lleva a cabo un restablecimiento en el equipo de una manera muy superficial, con esta opción, seguramente la fecha interna del equipo cambiara a fecha 12-2003, según la versión del sismógrafo, y todas las funciones automáticamente, será reiniciadas. Sin pérdida de datos.

Reset Memory se utiliza para reiniciar el almacenamiento de datos de la memoria interna

Erase Memory se utiliza para borrar toda la memoria en la tarjeta Compact Flash. Normalmente no hay ninguna razón para borrar la memoria. Este proceso puede tomar varios minutos.

Set oscilador se utiliza para fijar el oscilador interno en la unidad DAQ link. Normalmente no hay ninguna razón para que el usuario establezca el oscilador. Se define a 2047 el valor por default. Si una Unidad GPS está conectada, entonces la opción automática de corrección puede ser seleccionada.

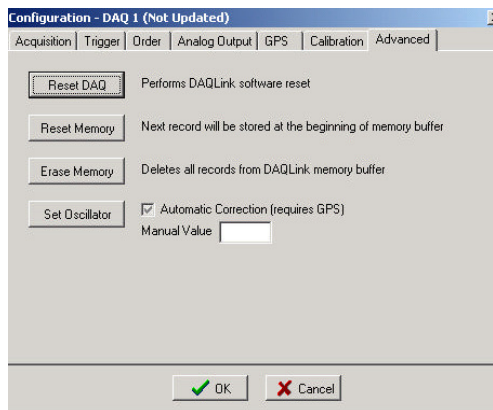


Figura 6.16.- Presentación del menú Advanced.

Después que toda la configuración se finalizo, se presiona **OK** en la parte inferior para que el DAQ guarde todos los cambios realizados. En el cuadro de dialogo **DAQ Setup** en la parte inferior existe la opción de **Save**, que permite guardar la configuración recientemente realizada, y así utilizarla en otra ocasión.

6. Se procede a introducir del arreglo del tendido de los geófonos, a la unidad DAQ. En el menú principal se elige el comando **Options**, después se elige **Geometry**, en esta ventana aparecerán dos menús, a la derecha **Receivers** y en la izquierda **Sources**.

En **Receivers** se puede dar además de la separación entre geófonos, la configuración de nitidez en Picks para una mejor visualización de los archivos obtenidos, cuando se visualicen en software de terceros. En **Sources** el usuario dará los datos de separación entre geófonos sin necesidad de configurar los Picks.

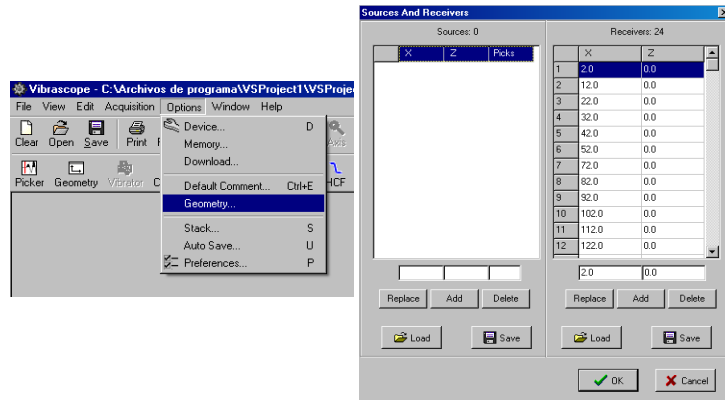


Figura 6.17.- Acceso a comando Geometry (izquierda), menú Receivers con configuración de 2m en Offset y 10m de separación entre geófonos (derecha).

En caso de tener un arreglo del tendido previo, en formato ***.txt**, se puede ingresar con el comando **Load** de la parte inferior de ambas columnas.

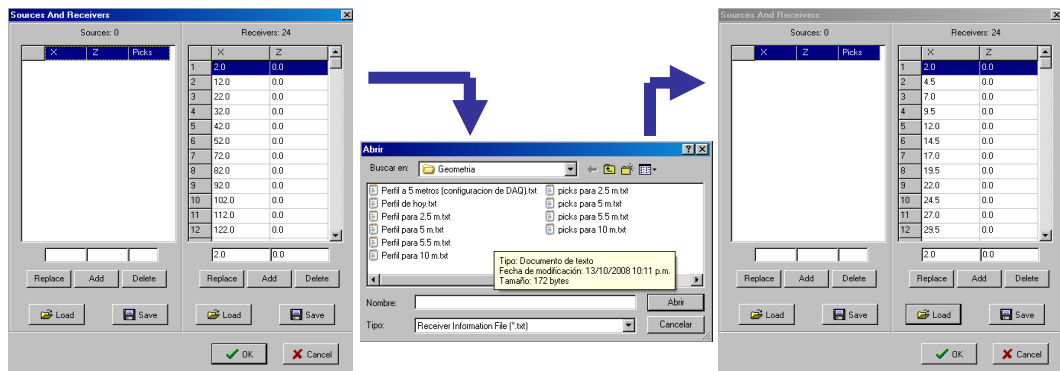


Figura 6.18.- Acceso a geometrías previas desde una base de datos (izquierda-derecha)

En este trabajo se recomienda utilizar el menú **Sources**, donde se escribe manualmente en la columna de **X** la distancia actual del primer geófono, y se deja un cero en la columna **Z** que simboliza la elevación del terreno. Al presionar el comando **Add** después de ingresar los primeros datos, estos aparecerán en la parte de arriba, y ahora el usuario puede escribir la distancia y elevación del geófono numero 2 y así sucesivamente, hasta el numero 24.

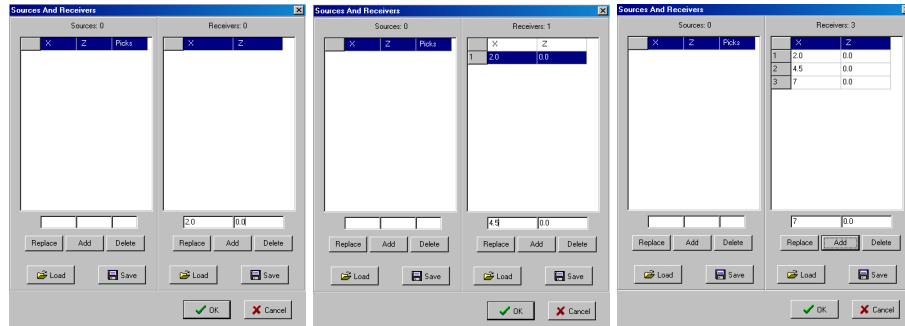


Figura 6.19.- Aplicación del comando Add, e ingresando un arreglo de 2m Offset, 2.5m entre geófonos (de izquierda a derecha)

Para borrar datos erróneos, se hace clic para elegir el renglón de dicho dato, después se escribe el dato correcto en la parte inferior, finalmente el comando **Replace** lo reemplazara. Si el usuario necesita borrar todo un renglón puede hacerlo con el comando **Delete**, pero al hacer esto el programa automáticamente reemplazara el dato faltante reordenando los datos ya existentes, para poder añadir ese renglón de nuevo se escriben los datos en la parte inferior y el comando **Add**.

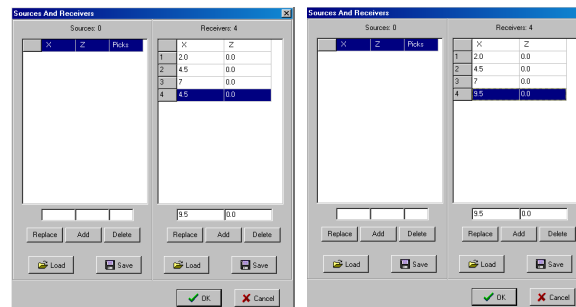


Figura 6.20.- Aplicación del comando Replace.

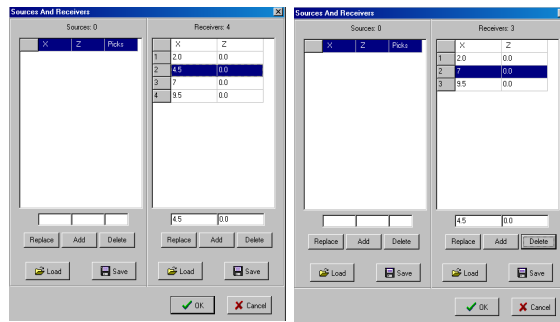


Figura 6.21.- Aplicación del comando Delete (izquierda-derecha).

Finalmente se elige el comando **Save** para guardar la geometría, en formato ***.txt**.

Cuando se da clic en **OK** para continuar con la interacción del equipo, aparecerá un advertencia que dirá; que el numero de datos en la columna **Receivers** y en la columna **Sources** tiene que ser igual, y esto sucederá de igual forma si el usuario ingresa los datos en ambas columnas, en el presente trabajo se recomienda cerrar ambas ventanas ya que la geometría esta almacenada en la unidad DAQ.

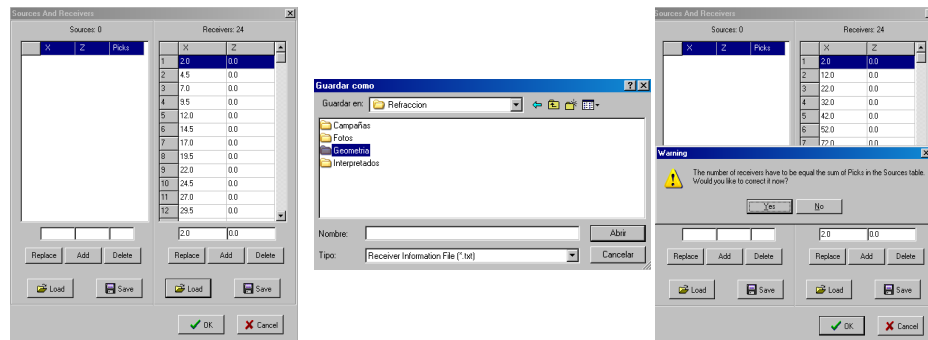


Figura 6.22.- Aplicación del comando Save (izquierda, centro), advertencia típica (derecha).

7. La revisión de la vibración ambiental, así como la correcta conexión de los geófonos se puede realizar con la comando **Noise** del menú principal, inmediatamente aparecerá una ventana con columnas verdes que representan los cambios de voltaje que experimentan los geófonos toda vez que reciben una señal de vibración.

Para visualizar la vibración natural que esta siendo captada, se elige la opción de **Real Time** ubicado en la parte superior de la ventana. En caso ser necesario puede cambiarse la escala. El cambio se realiza con un clic derecho sobre el área de visualización y después se elige el comando **Axis** en las opciones mostradas, en el espacio definido como **Max** ya sea en **X** o en **Y** se cambia de escala, después de elegir **OK** en la parte inferior. Se recomienda desactivar la opción de **Real Time** y no mantener esta ventana abierta cuando comience la adquisición de datos.

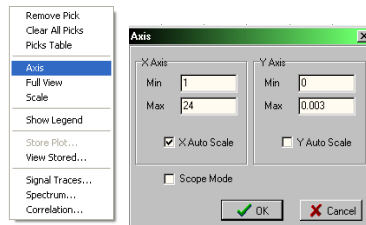


Figura 6.23.- Comando Axis, controlador de escala.

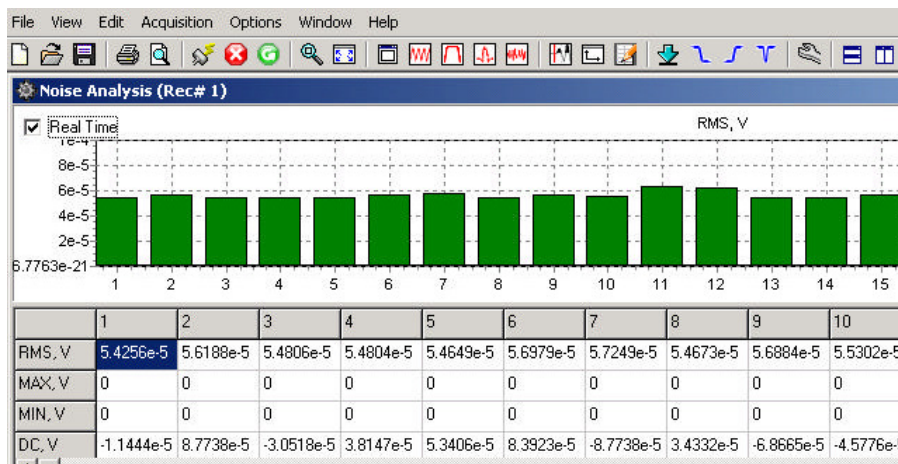






Figura 6.24.- Ventana Noise, registrando vibración natural, opción de Real time seleccionada en la parte superior.

8. Al seleccionar el comando  de el menú principal, aparecerá el cuadro de dialogo **Plot properties**, que tiene las opciones de vertical y horizontal, que al seleccionarlas cambiaran el orden de ejes de la visualización en la señal emitida por los geófonos.

Este comando puede ser seleccionado de forma automática al elegirlo del menú principal o teclear:  además muestra el dominio del tiempo por señal adquirida.

El comando  muestra la señal del espectro en el dominio de la frecuencia. La ventana de tiempo permite un análisis de espectro. Una entrada de 1 a 2 realiza el espectro de los datos entre el 1 y 2 segundos. El comando  utiliza el canal como referencia al compararlo con los otros canales.

En el presente trabajo se recomienda la ventana de **Signal Traces**, seleccionando OK.

La escala se puede alterar de igual forma que en la ventana **Noise**.

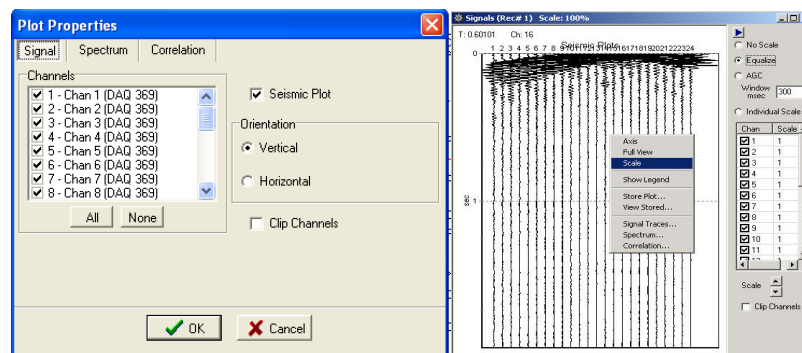




Figura 6.25.- Cuadro de dialogo Plot Properties (izquierda) Ventana Signals, con opciones de escala (derecha).

8. Finalmente se selecciona en el menú principal el comando  para comenzar la adquisición de datos por medio de un golpe del mazo. Cuando un golpe es registrado en la pantalla aparecerá un mensaje advirtiéndolo que, se registro un evento y que si el usuario desea que se almacene en la carpeta previamente definida en el paso 3.

Además es recomendable observar en la parte inferior de la ventana la opción de **estatus** que muestra el número asignado al archivo, y este puede ser escrito en la bitácora para su posterior análisis. Para volver a detectar otro evento tendrá que elegir el comando  de nuevamente.

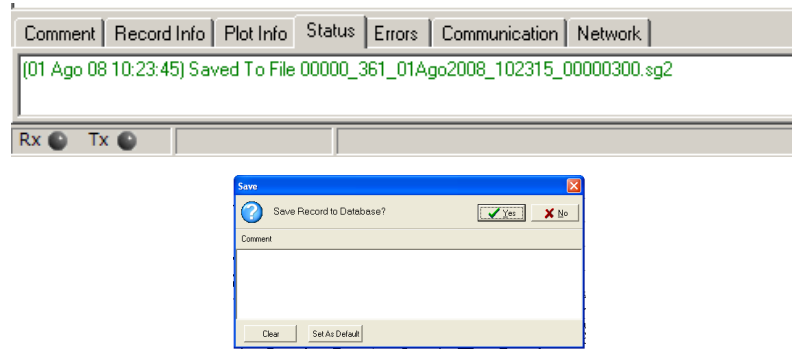
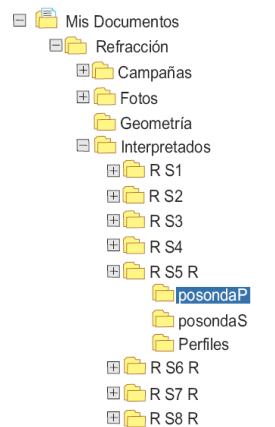


Figura 6.26.- Opción de estatus (arriba), advertencia de adquisición de evento (abajo).

6.2. Ordenamiento de los registros para su interpretación

Para tener un control sobre los registros originales de las campañas y los que se interpretan, es necesario tener un orden general de los lugares en los que se han realizado las prueba (tabla 5.2). En el presente trabajo, el arreglo de archivos y carpetas fue el siguiente:



En la carpeta Interpretados se localizan las subcarpetas RS# que son el nombre dado por el orden general de la pruebas de refracción, cuyo proceso de interpretación finalizo.

Las carpetas RS#R son las carpetas nombradas según el orden general, en la cual la ultima letra R indica que están en proceso de interpretación. En cada uno de ellas habrá un archivo *.txt donde se escribe además las características de la geometría del tendido realizado en la campaña.

FECHA: 17 DE JULIO 2007
HORA DE INICIO: 9:00hrs
HORA DE FINAL: 13:00hrs
NOMBRE COMUN: RANCHO LA POSTA
ESPECIFICACIONES:
COORDENADAS:
14Q 0793469
UTM 2122456
ONDAP
OFFSET (distancia de fuentes al primer geofono): 2.5M
DISTANCIA ENTRE GEOFONOS: 2.5M
EN EL CENTRO: 1.25M
ONDAS
OFFSET (distancia de fuentes al primer geofono): 2.5M
DISTANCIA ENTRE GEOFONOS: 2.5M
CARACTERISTICAS:
PRUEBA DE REFRACCION HECHA EN UN AREA VERDE PROPIEDAD DEL RANCHO DE VETERINARIA DE LA UNIVERSIDAD. ESTA PRUEBA FUE LA SEGUNDA HECHA POR EL MAESTRO JAVIER LERMO EN SU VIAJE A VERACRUZ EN EL 2007. SE

En las capetas originales P y S tienen nombres por default, dados por el DAQ, muy grandes y a fin de facilitar su identificación, se realizó el siguiente arreglo de datos.



Los archivos de onda P se clasifican en:

- P# i: Punto de disparo en el sentido de ida.
- P# c: Punto de disparo en centro, ida y regreso.
- P# r: Punto de disparo en el sentido de regreso.

Los archivos de ondas S se clasifican en:

- S# id: Punto de disparo en el sentido de ida y de lado derecho.
- S# iz: Punto de disparo en el sentido de ida y de lado izquierdo.
- S# rd: Punto de disparo en el sentido de regreso y de lado derecho.
- S# rz: Punto de disparo en el sentido de regreso y de lado izquierdo.

6.3 Interpretación de registros

Primeramente se analizan cada uno de los registros, de acuerdo al orden previamente establecido con ayuda del programa de interpretación. En este trabajo se utilizó el programa **PICKWIN 3.12** (figura 6.27).

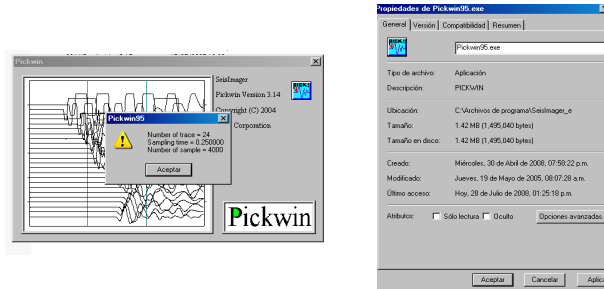




Figura 6.27.- Ventana de acceso y cuadro de dialogo de propiedades de Pickwin.

Este programa permite, acsesar directamente a los archivos ***.SEG-2** (sección 6.12) si se les vincula con el programa desde la primera vez que se abren.

Una vez abierto el archivo, el Usuario podrá obtener una mejor visualización del registro con la opción  para la escala de tiempo y  para la escala de distancia. Las distancias que se visualizan en el pickwin, la mayoría de las veces no coinciden con la distribución de los geófonos, pero esto no influye en la interpretación. El programa muestra al final de cada señal de los geófonos, la amplitud más elevada que se registro durante el evento. En la figura 6.28 se abre un registro de onda P de ida de la campaña hecha en el lugar conocido como, "La Posta" propiedad de la facultad de veterinaria, que se usara como ejemplo en este trabajo.

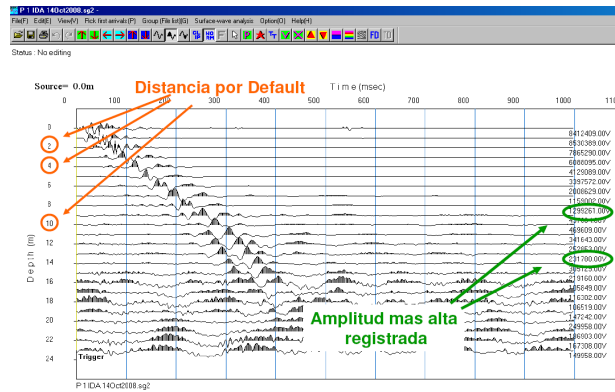




Figura 6.28.- Principales características de visualización en Pickwin.

También al usuario tiene la opción de poder aumentar la escala de amplitud con  y obscurecer las crestas o valles del registro con .

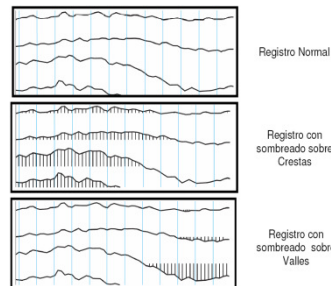


Figura 6.29.- Aplicación de herramienta de sombreado.

Los arribos de las ondas son en su mayoría, perturbaciones apenas visibles en medio de la señal emitida por los geófonos, por ello hay que ser muy perceptivos para poder identificar los cambios en la geometría de las señales. En el apéndice 3 se explica con mayor detalle, los por menores y el criterio a seguir en el proceso de Interpretar una señal. Con el comando **Picks First Arrivals (P)**, el usuario podrá elegir principalmente dos de las opciones que se presentan. La primera será **Picks First Arrivals Time Manually**, con la que el usuario podrá interpretar los arribos que considere, al colocar pequeños cursores rojos, que aparecerán aun costado sobre el eje que representa la distancia. Estos cursores se moverán apenas el usuario de clic con botón izquierdo, sobre el área de trazado y sobre alguna de las señales existentes.

La segunda opción es **Picks First Arrivals Time Automatically**, con la que el usuario podrá obtener una interpretación automática, no muy confiable pues, el software fue programado para estándares, muy distintos, a los de una prueba con un impulso sísmico generada de un golpe de mazo. Sin embargo esta herramienta le servirá al usuario como forma de consulta.

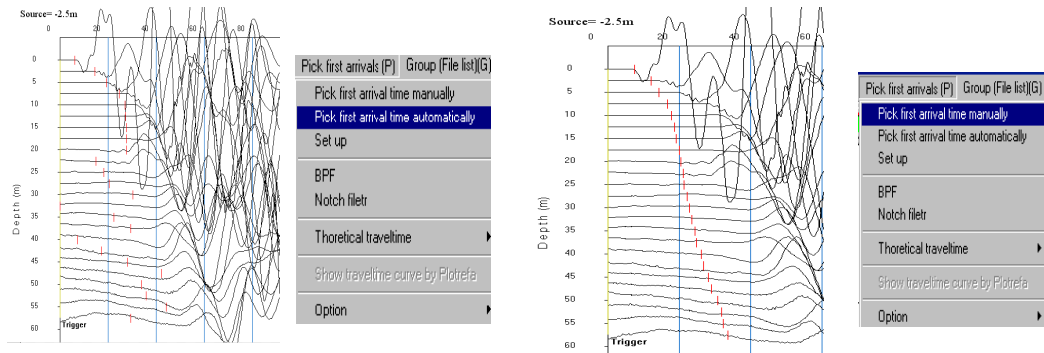



Figura 6.30.- Interpretación automática de Pickwin (izquierda), interpretación manual del usuario (derecha).

Se interpreta así también en los registros de tiro de regreso, y en el centro.

Además con la herramienta  el usuario podrá ver una línea de seguimiento, que le ayudara a tener una mejor idea del arribo de las ondas.

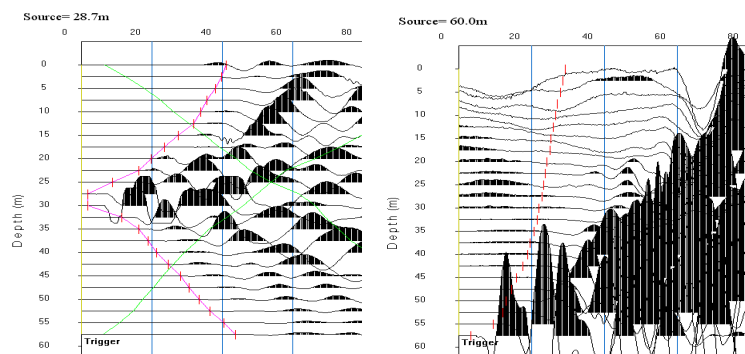


Figura 6.31.- Interpretación de un archivo de tiro en el centro (izquierda), interpretación de un archivo de tiro de regreso (derecha).

Estos Perfiles son guardados al finalizar su interpretación, con la opción **File> Save First Arrival data as a Profeta File** que crea un archivo del tipo ***.VS** (figura 6.32). Estos archivos para distinguirlos de los nombres guardados con el tipo ***.SEG_2**, fueron nombrados con mayúsculas.

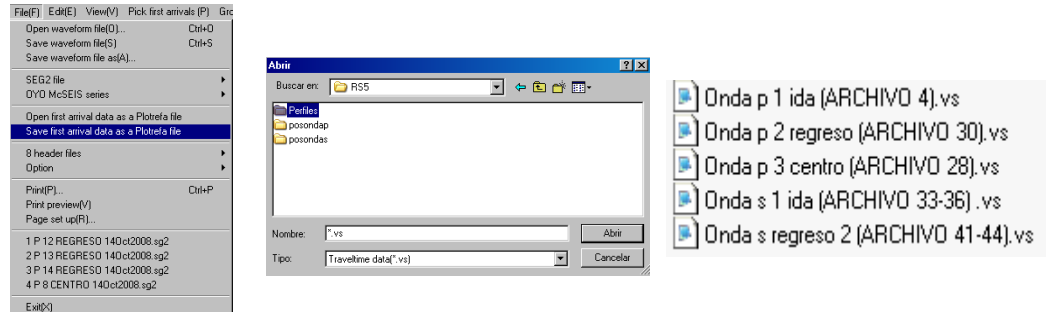


Figura 6.32.- Generando base se datos: VS para perfiles interpretados.

En las figuras 6.33, se abre un archivo ***.SEG_2**, de ondas S en la campaña del lugar conocido como “La Condesa”. Para visualizar de la forma mostrada en 6.34; se abren dos archivos del mismo sentido del tiro pero diferente lado (izquierda vs. derecha), se elige **File> Open new waveform> Appended to present data> OK**, aparecerá una serie de cuadros de diálogos y advertencias. En todas estas ventanas se aceptan sus condiciones y/o elegir OK según sea el caso

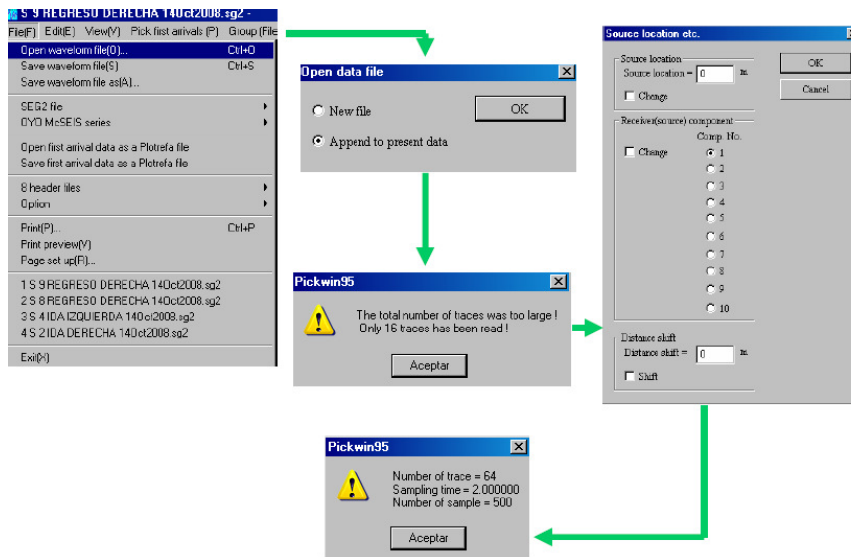


Figura 6.33.- Procedimiento para visualizar simultáneamente dos archivos **SEG_2** de lado contrario, en ondas S.

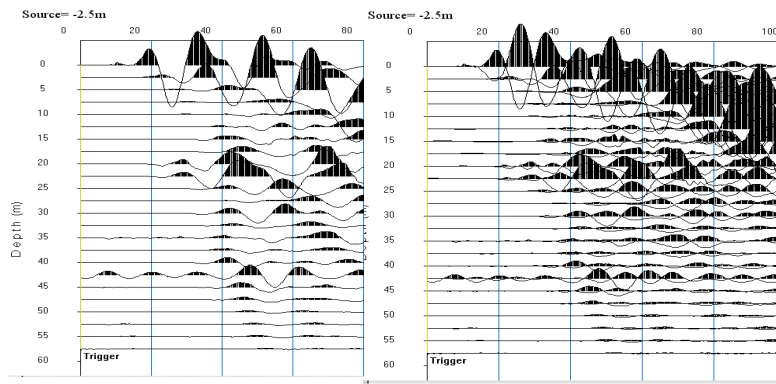


Figura 6.34.- Visualización un archivo SEG_2 (izquierda), visualización simultanea de dos archivos SEG_2 lados contrarios izquierda vs. derecha (derecha).

En estos archivos el usuario busca la primera y más clara separación de las señales, pues teóricamente es el momento en que la onda S, llega a los geófonos, correspondientes (ver apéndice 3).

En la figura 6.36 se interpretan archivos *.SEG_2 de ondas S, usando de referencia perfiles *.VS de ondas P, del mismo sentido de disparo, con el propósito de que el perfil que se interprete, contenga la misma cantidad de pendientes. Con esta comparación se hará evidente que cuan más cerca de la fuente las ondas P y S estarán arribando juntas a los geófonos, y en los geófonos más lejanos la separación entre ellas, será de un tiempo de arribo más pequeño en ondas P con respecto a las ondas S. El procedimiento para abrir los archivos es el siguiente (figura 6.35): se elije **File> Open first arrival data as a Profeta file>** se elige el perfil correspondiente cerciorándose que sea del mismo sentido del disparo, se abrirá una ventana de confirmación de apertura del archivo *.Vs.

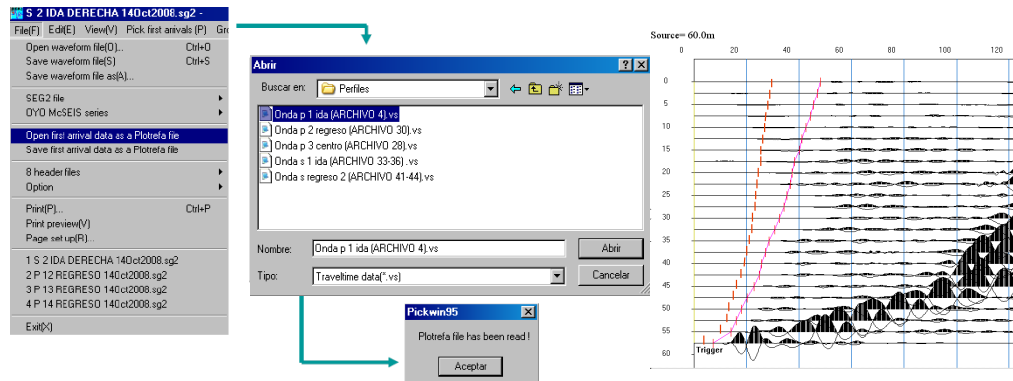


Figura 6.35.- Procedimiento para interpretar un arreglo de archivos *.SEG_2 de onda S, con un perfil *.VS de onda P.

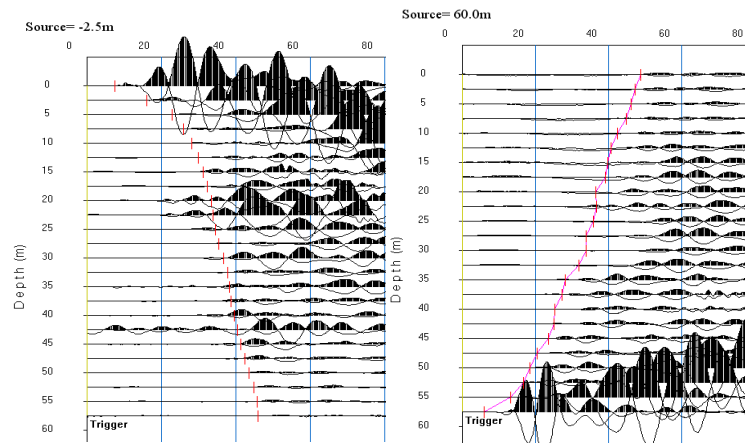


Figura 6.36.- Interpretación de onda S en tiro de ida (izquierda), y regreso (derecha).

Para guardar el perfil recién interpretado en formato ***:VS**, se hará de la misma forma anteriormente explicada, para perfiles de onda P.

6.4 Procesamiento de datos:

En el procesamiento de datos es necesario un software como el Excel, que nos permita graficar varios de los perfiles de arribo de ondas, previamente generados en la sección 6.2, para así construir nuestras Dromocronas (Curvas Distancia entre geófonos vs. Tiempo de arribo a cada geófono).

Antes de graficarlos, es necesario exportar los perfiles en formato (figura 6.37) ***:VS** con los comandos **Datos>Obtener datos externos> Importar Datos**, después aparecerá un cuadro de dialogo desde donde se buscan los perfiles interpretados, pero como el formato ***:VS** es inusual es necesario elegir la opción **todo tipo de archivos**, así mostrara los perfiles requeridos, y se elije abrir.

Para agregarlos de una forma eficiente se recomienda **Siguiente>** se elige la opción **Espacio>** se selecciona **Finalizar**, después se elije con el cursor la celda de la hoja de Excel donde deberán agregarse los archivos, en forma de columna de datos.

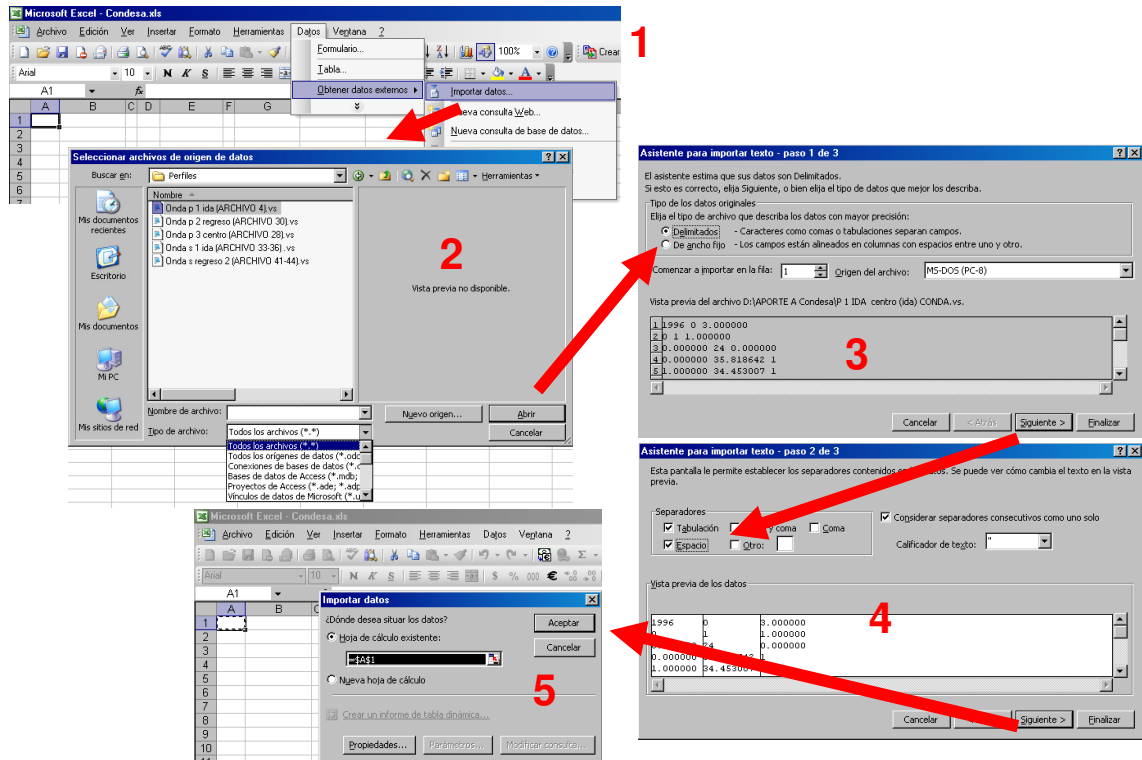


Figura 6.37.- Procedimiento para importar perfiles *.VS a Excel.

Cuando se añaden los datos del tipo **.VS** las tres columnas importadas poseen la información que se interpreto y al mismo tiempo la que el programa **Pickwin** genera por default, como la primera columna de distancias, la celda de datos de fecha y de números de geófonos. Esta información puede estar en la mayoría de las veces errónea, sin embargo esto no perjudica nuestro análisis. La segunda columna es la más importante, pues muestra el tiempo que fue interpretado como arribo de la correspondiente onda estudiada, y que finalmente se puede ver a partir del renglón número 4 de esta columna (figura 6.38).

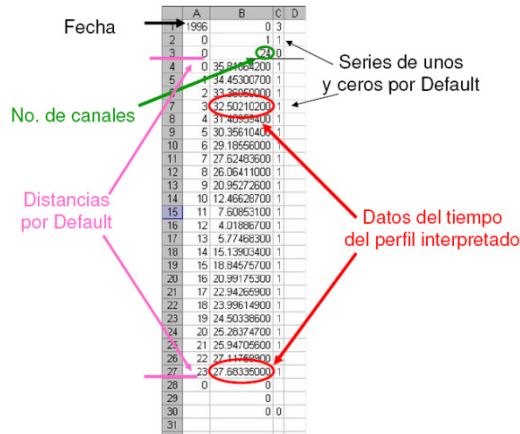


Figura 6.38.- Datos *.VS importados a Excel.

Lo siguiente es darle un formato de Número a nuestros datos de la columna de tiempo importados. Se seleccionan todos los datos de tiempo, luego clic con botón derecho, en la opción de **Formato de Celdas**, se selecciona el menú de **Numero**, y posteriormente se configuran para que muestre, hasta 8 dígitos y así no se le permita redondear las cantidades reales de arriba.

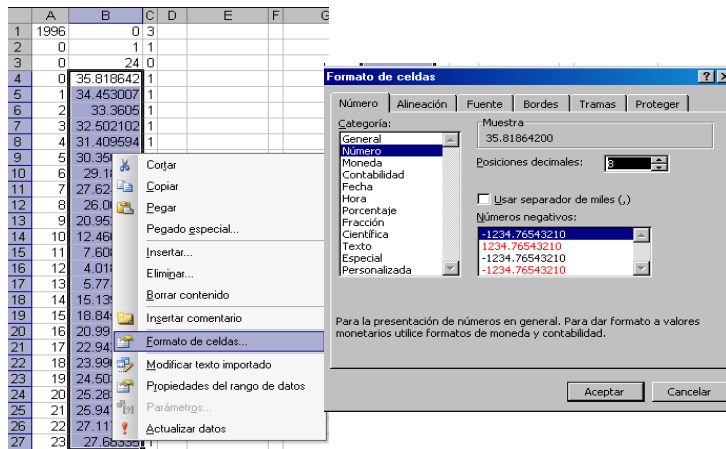


Figura 6.39.- Formato de datos importados a cifras de hasta 8 decimales

6.5 Curvas Dromocronas:

Para generar una Dromocrona se recomienda primeramente, establecer el orden y la distancia correspondiente del arribo del tiro de ida, de cada una de las dos pruebas con sus respectivos tiempos de llegada. Estos nos permitirán referenciar, para los datos siguientes.

ONDAS PRIMARIAS						ONDAS SECUNDARIAS			
No. De geofono	DISTANCIA DESDE FUENTE	P (t) IDA	P (t) REGRESO	P (t) CENTRO	DISTANCIA DESDE FUENTE	S (t) IDA	S (t) REGRESO		
FECHA		0	0	0	FECHA	0	0		
CANTIDAD DE ARCHIVOS		1	0	1	CANTIDAD DE ARCHIVOS	0	0		
CANTIDAD DE GEONOFONOS		0	0	24	CANTIDAD DE GEONOFONOS	0	0		
0	1	2.50	7.462204	29.263622	25.459284	2.50	7.569578	48.81207	
Distancia en metros de la fuente al primer geofono	2	5	12.115107	28.67835	25.34223	5	13.65645	47.23182	
	3	7.5	14.222082	27.897987	24.581377	7.5	21.10897	46.00274	
Distancia en metros entre los geofonos	4	10	16.68022	27.117624	23.586416	10	26.06432	44.68587	
	5	12.5	17.733707	26.532351	22.825565	12.5	28.0932	42.4032	
Distancia en metros entre los geofonos prueba en el centro	6	15	18.728668	25.947079	20.660063	15	29.9271	40.6474	
	7	17.5	19.196884	25.361807	18.904249	17.5	31.1367	39.6817	
1.25	8	20	20.074791	24.971624	18.026342	20	32.2682	39.155	
	9	22.5	20.484482	24.308315	14.924408	22.5	33.2827	36.5212	
	10	25	21.069752	23.801081	11.412783	25	33.868	36.609	
	11	27.5	21.362387	23.410898	8.779063	27.5	34.5313	35.8189	
	12	30	22.12324	22.825626	2.224029	30	35.3116	33.7997	
	13	32.5	22.825565	21.967226	2.224029	32.5	36.6773	33.7997	
	14	35	23.586416	21.577044	8.486428	35	37.8088	31.7805	
	15	37.5	24.464323	20.79668	12.758905	37.5	38.16	28.181	
	16	40	24.874012	19.626137	14.631772	40	38.7062	27.2153	
	17	42.5	26.161608	18.845774	17.558126	42.5	39.6037	25.1961	
	18	45	26.776142	17.558174	20.484482	45	40.306	24.9327	
	19	47.5	28.093	15.724319	22.415874	47.5	41.3205	23.5811	
	20	50	28.970907	14.553775	24.756958	50	42.452	20.3744	
	21	52.5	30.726719	13.071085	26.337191	52.5	43.4665	18.3484	
	22	55	31.867998	12.095631	27.215096	55	44.7931	16.5925	
	23	57.5	32.30695	9.481414	28.561218	57.5	45.5735	13.2565	
	24	60	33.62381	3.316544	30.317032	60	45.9247	5.88203	

Figura 6.40.- Vinculación para graficar todos los disparos de ondas P y S con la geometría de su tiro de ida correspondiente

Cuando el usuario tenga varios perfiles de arribo de ondas, le será útil una comparación entre sus distintos perfiles y así elegir cual es el mas representativo de la prueba realizada, recordando que los estratos se idealizan como superficies homogéneas (figura 6.41).

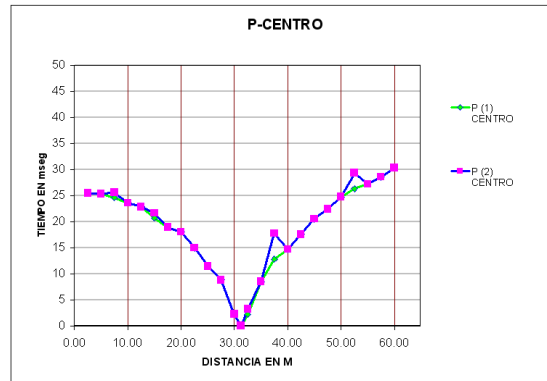


Figura 6.41.- Dromocrona comparativa de tiros en el centro

La Dromocrona se graficará finalmente con los mejores perfiles interpretados, mostrándolos como la figura 6.42.

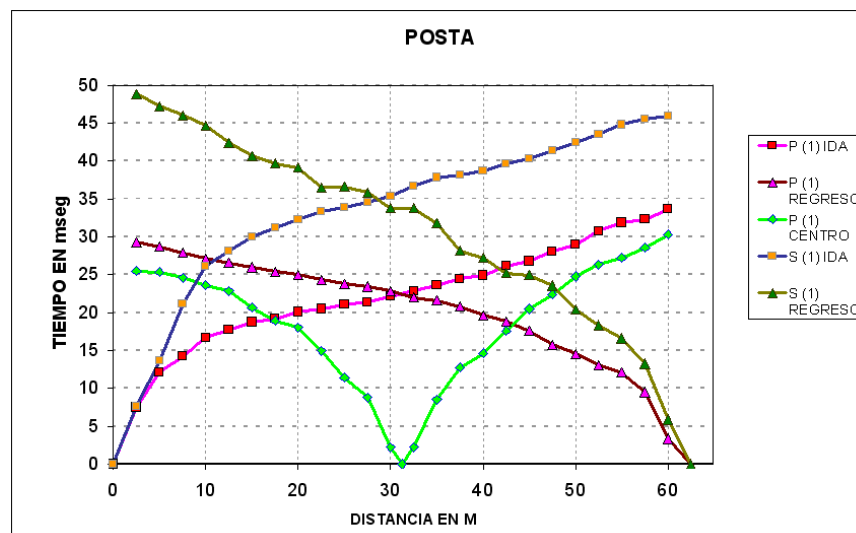


Figura 6.42.- Dromocrona de la Posta

6.6 Ejemplo aplicando Método de velocidades aparentes.

Una vez graficada la Dromocrona lo siguiente es identificar los paquetes de ondas S, buscando cambios de pendientes que la señal experimentará como resultado de la refracción en los estratos.

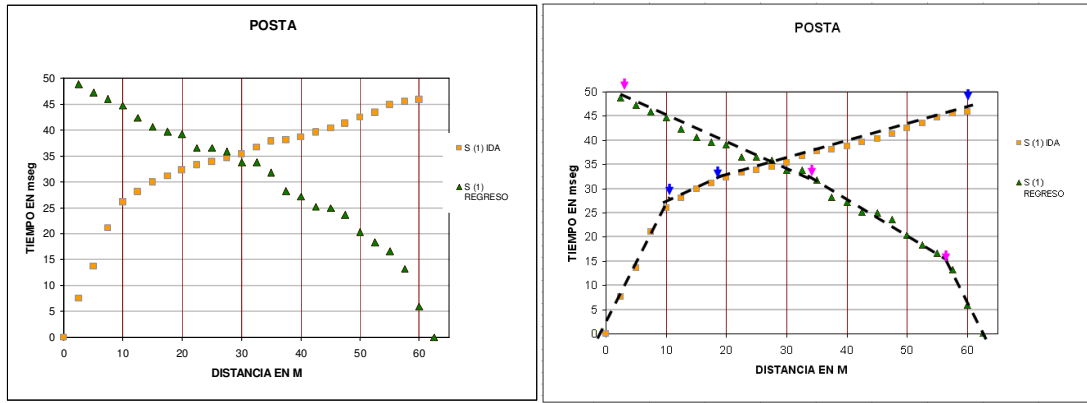


Figura 6.43.- Identificación de los paquetes de ondas S, o cambios de pendientes

Cuando se halla dichas pendientes, se pueden obtener datos básicos como la velocidad aparente de la onda. La primera Velocidad generada a partir del momento en que se golpeo la fuente hasta el primer cambio de pendiente significativo será llamado, V_0 , que en la teoría es mejor conocida como onda directa. Las velocidades contiguas se enumeraran según su orden se aparición.

$$V = \frac{\Delta d}{\Delta t}$$

S 1 Ida			S 1 Regreso		
0m	→	0ms	62.5mts	→	0mseg
		}			}
10.4mts	→	26.931mseg	56mts	→	15.73mseg
		}			}
17.53mts	→	31.256mseg	36.25mts	→	30.17mseg
		}			}
60mts	→	45.92mseg	2.5mts	→	48.81mseg
		}			}
		$V_0 = 387.09m/seg$			$V_0 = 355.27m/seg$
		$V_{1a} = 1644.73m/seg$			$V_{1d} = 1430.61m/seg$
		$V_{2a} = 2895.78m/seg$			$V_{2d} = 1811.03m/seg$

La velocidad V_0 es promediada según los resultados de ambos sentidos.

$$v_0 = \frac{387.09 + 355.27}{2} = 371.18m/seg.$$

Se definen los factores, T_{ax}, T_{dx} , de forma manual extendiendo la pendiente de cada uno de los paquetes de ondas a su respectivo eje "Y" donde se origino su golpe.

Es decir, que los tiros de ida, tendrán a su eje "Y" en la distancia 0, los tiros de regreso su intercepto será en eje "Y" en la distancia del final de la línea, y finalmente los que representen a los tiros de el centro, tendrán su intercepto correspondiente al centro de la longitud de todo el tendido, estas misma intercepciones podrán realizarse, de una forma mas exacta, si se aplica la formula de intercepto en la ordenada, de geometría analítica.

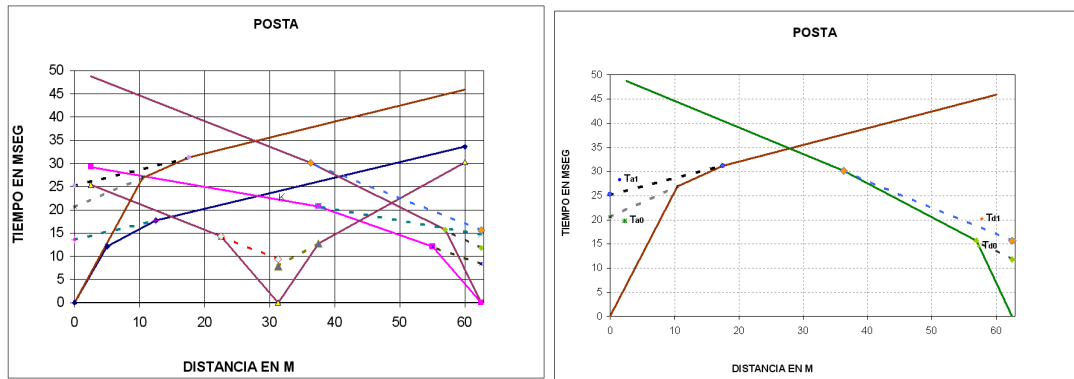


Figura 6.44.- Obtención de parámetros T_{0x} . Intercepción de todos los tiros con sus correspondientes ordenadas (izquierda), intercepción de los perfiles de ondas S (derecha)

S 1 Ida

$$T_{0a} = 0.0205933$$

$$T_{1a} = 0.0252002$$

S 1 Regreso

$$T_{0d} = 0.0118264$$

$$T_{1d} = 0.0156798$$

Ángulos α_1 y i_1 de las formulas (5) y (6).

$$i_1 = \frac{1}{2} \left[\arcsen\left(\frac{371.18}{1430.61}\right) + \arcsen\left(\frac{371.18}{1644.73}\right) \right] = 14.04$$

$$\alpha_1 = \frac{1}{2} \left[\arcsen\left(\frac{371.18}{1430.61}\right) - \arcsen\left(\frac{371.18}{1644.73}\right) \right] = 0.9975$$

V_1 de la formula (8).

$$V_1 = 2 \frac{(1644.73)(1430.61)}{1644.73 + 1430.61} \cos(0.9975) = 1529.98 m / s$$

Z_1 y z_1 de las formulas (11) y (12).

$$Z_1 = \frac{(0.02059)(371.18)}{2 \cos(14.04)} = 3.9396m$$

$$z_1 = \frac{(0.01182)(371.18)}{2 \cos(14.04)} = 2.2624m$$

H_1 y h_1 de las formulas (13) y (14).

$$H_1 = \frac{3.9396}{\cos(0.9975)} = 3.9402m$$

$$h_1 = \frac{2.2624}{\cos(0.9975)} = 2.2628m$$

Angulo α_{21} de la formula (20).

$$\alpha_{21} = \arcsen\left(\frac{371.18}{1811.03}\right) - (0.9975) = 10.82$$

Angulo β_{21} de la formula (21).

$$\beta_{21} = \arcsen\left(\frac{358.4037126}{2895.78}\right) + (0.9975) = 8.36$$

Angulo γ_{21} de la formula (22).

$$\gamma_{21} = \arcsen\left(\frac{1529.98}{371.18} \text{sen}(10.82)\right) = 50.75$$

Angulo δ_{21} de la formula (23).

$$\delta_{21} = \arcsen\left(\frac{1529.98}{371.18} \cdot \text{sen}(8.36)\right) = 36.82$$

Angulo i_2 de la formula (24).

$$i_2 = \frac{50.75 + 36.82}{2} = 43.79$$

Angulo α_2 de la formula (25).

$$\alpha_2 = \frac{50.75 + 36.82}{2} + (0.9975) = 7.9603$$

V_2 de la formula (26)

$$V_2 = \frac{1529.98}{\text{sen}(43.79)} = 2210.81 \text{ m/seg}$$

Z_{22} y z_{22} de las formulas (29) y (30)

$$Z_{22} = \frac{(1529.98) \left[0.025 - \frac{3.93}{371.18} \cdot \frac{\cos(10.82 + 8.36) + 1}{\cos 10.82} \right]}{2 \cos 43.79}$$

$$Z_{22} = 4.43 \text{ m}$$

$$z_{22} = \frac{(1529.98) \left[0.0156798 - \frac{3.93}{371.18} \cdot \frac{\cos(10.82 + 8.36) + 1}{\cos 8.36} \right]}{2 \cos 43.79}$$

$$z_{22} = 3.92 \text{ m}$$

H_2 y h_2 de las formulas (32) y (33)

$$H_2 = \frac{1}{\cos 7.96} \left[3.93 \left[\frac{\cos(10.82 - 7.96 + 0.99)}{\cos 10.82} \right] + 4.43 \right]$$

$$H_2 = 8.52m$$

$$h_2 = \frac{1}{\cos 7.96} \left[3.93 \left[\frac{\cos(8.36 - 7.96 + (0.99))}{\cos 8.36} \right] + 3.92 \right]$$

$$h_2 = 8.5m$$

6.7 Perfiles Sísmicos

Finalmente para construir el perfil sísmico del ejercicio previo, se promedian las profundidades calculadas para definir las profundidades de los estratos encontrados.

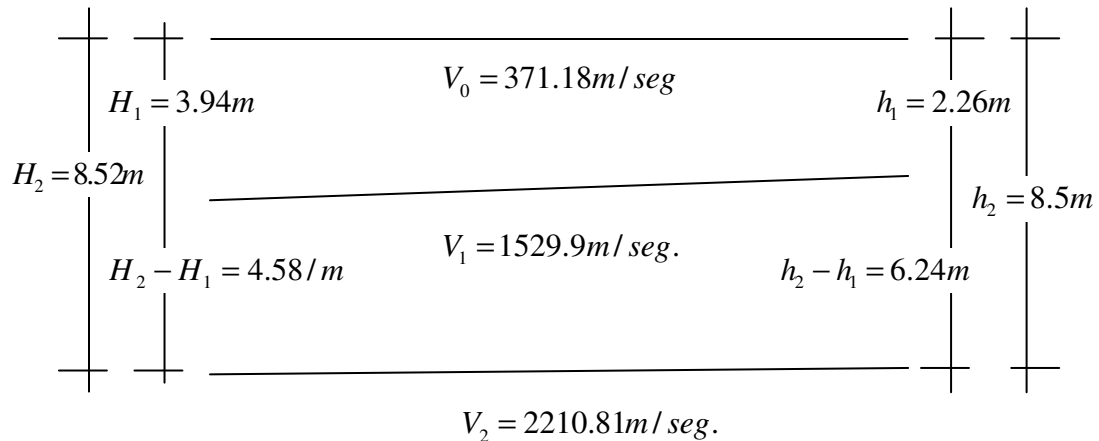


Figura 6.43.- Presentación del perfil sísmico con datos calculados.

Promediando estratos.

$$H_1 = \frac{3.94 + 2.26}{2} = 3.1m$$

$$H_2 - H_1 = \frac{4.58 + 6.24}{2} = 5.41m$$

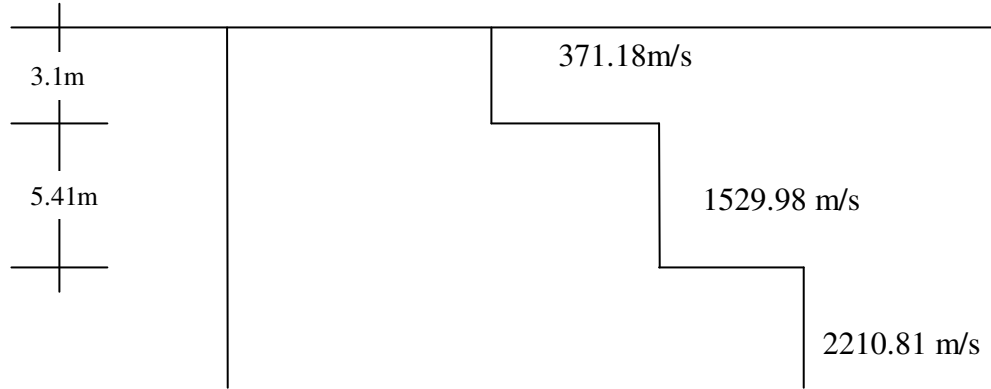


Figura 6.44.- Modelación de un Perfil sísmico.

En la tabla 6.45 se presentan los resultados de todas las campañas de refracción en la zona conurbana Veracruz-Boca del Río de acuerdo a la figura 6.45

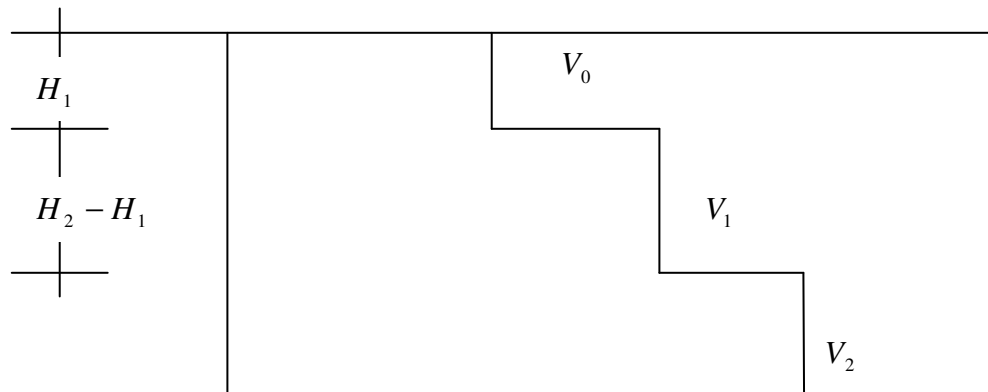


Figura 6.45.- Modelo de perfil sísmico de tres Refractores.

Tabla 6.46.- Resultado de las campañas de Refracción, periodo 2007-2008 (Ver figura 5.1)

No	Lugar	Vo m/seg.	V1 m/seg.	V2 m/seg.	H1 mts	H2-H1 mts
RS4	Tecnológico	207	300	557	2	5.33
RS5	Posta	371.18	1529.98	2210.8	3.3	5.41
RS6	Mata de Pita	219	543	823	3.33	5
RS7	Vía Muerta	161.3	233	625	1	4
RS8	Tulipanes	210	650	344	3	4
RS9	Condesa	170	610	-	2.66	-
RS10	Mandinga	216	332	717	3	5
RS11	Conchal	196	335	557	3	4
RS12	Tucán	376	1401	2515	2.22	5.31

7. Conclusiones

La meta alcanzada en este estudio fue elaborar mapas de familias de formas espectrales en donde la autoridad responsable de emitir los permisos de construcción tenga un instrumento regulador que le sirva para determinar los parámetros de diseño sísmico que se deban aplicar a las construcciones tomando en cuenta su ubicación geográfica dentro de un determinado municipio para considerar los efectos de sitio.

De acuerdo al criterio de CFE, se requiere alcanzar un estrato con velocidades de propagación $\beta_0 \geq 700$ m/seg., o un módulo de rigidez $G_0 \geq 85000$ ton/m² que indique que se alcanzó el terreno firme para establecer a esa profundidad el modelo estratigráfico y obtener la velocidad efectiva de propagación. Con este criterio, no se establece previamente un límite en la profundidad de estudio.

La norma National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP), aplica el parámetro VS_{30} para clasificar los suelos. Este criterio considera que 30 m de profundidad son suficientes para definir el modelo estratigráfico y obtener una clasificación del tipo de terreno.

Ambos criterios presentaron algunas dificultades para aplicar en la zona: con CFE es necesario que las pruebas de refracción sísmica alcancen un estrato firme y al no haber un límite en la profundidad era necesario usar fuentes que generaran mayor energía, otros arreglos o la aplicación de otras técnicas de las aquí usadas. Generalmente los estudios de penetración estándar en la zona solo llegan a 30 m y la información a mayor profundidad es muy limitada. El criterio de NEHRP permite usar un modelo a 30 m, sin embargo la clasificación del tipo de terreno dada en esta norma no se relaciona con espectros de diseño de normas mexicanas.

La discusión está abierta, ya que en estados como el de Puebla se combina los criterios, usando VS_{30} para el tipo de terreno y sus propios espectros de diseño, similares a los de CFE.

Referencia

Aviles J. y Pérez R Luis E. (2003). **“Evaluación de Efectos de interacción en resistencias inelásticas”**. Revista de Ingeniería Sísmica No. 69 45-71

Badillo O (Octubre 2008) **“Vibración ambiental del sureste de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río (ZCV) con fines de Microzonificación Sísmica”** Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería Civil, Región Veracruz. Universidad Veracruzana

Cantos F. José (1973) **“Tratado de Geofísica Aplicada”** Escuela superior de ingenieros de minas Madrid España.

European Committee for Standardization (December 2001). Eurocode 8: **“Design of structures for earthquake resistance”**, part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings.

INEGI. **Carta Topográfica de Veracruz E14B49**, Esc. 1:50 000

Limaymanta M. (2008), **“Uso de familias espectrales obtenidas con registros de sismos y microtemores para la clasificación de terrenos con fines de diseño sísmico. Aplicación en las ciudades de Veracruz-Boca del Río, Oaxaca y Acapulco”**, Tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería (Geotécnia), División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.

Lermo J., Limaymanta M. (2007) **“Uso de las funciones de transferencia empíricas (HVNR) obtenidas con microtemores para construir mapas con la clasificación de los terrenos de cimentación para diseño sísmico”** XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Ixtapa Zihuatanejo, Guerrero.

Marshall Lew, Ph.D., G.E. "**Geotechnical Design Considerations**". Corporate Consultant, Law/Crandall, a division of Law Engineering and Environmental Services, Inc.

Riquer G., Williams F., Lermo J., Torres G., Leyva R. (2003), "**Microzonificación Sísmica de la Zona Conurbada Veracruz-Boca del Río**", Memorias del XIV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, León, Guanajuato.

Rosales C. Cristina I (2001). "**Sobre el comportamiento sísmico de los depósitos de suelos del área de Cañaveralejo, Cali, Colombia**". Escuela de Ingeniería Civil y Geomática, Santiago de Cali.

Vega R. Daniel (2005) "**Estimación del efecto de sitio y la vulnerabilidad sísmica en la ciudad de Acatlàn, Puebla**", Ciudad Universitaria México, D.F.

Williams F., Limaymanta M., Riquer G., Leyva R., Lermo J (2007). "**Clasificación dinámica de terrenos de cimentación con fines de diseño sísmico en la zona conurbada Veracruz-Boca del Río (ZCV)**" XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Ixtapa Zihuatanejo, Guerrero

Williams F., Riquer G., Leyva R., Vargas C., Hernández A., Lermo J., Limaymanta M., (2008). "**Estudios para la reducción de daños sísmicos en las construcciones del estado de Veracruz**" XVI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Veracruz, Ver.

Zúñiga D. Fco R. (2005.). "**Notas introductorias a Sismología**". Centro de Geociencias UNAM-Campus Jurirquilla Queretaro

Apéndice 1

Método de Velocidades Aparentes (Canto F., 1973)

Basándose en el principio de las velocidades aparentes, este método permite la identificación de velocidades y profundidades para modelos con capas inclinadas paralelas, utiliza los tiempos de intercepto en el origen de un tendido ida y de regreso.

Caso de un estrato inclinado.

Considérese un modelo de dos capas (Figura A.1), la primera con velocidad V_0 que subyace sobre una capa de extensión semi-infinita. Las capas se encuentran separadas por un contacto inclinado plano de ángulo α_1 (Cantos, 1974).

Para describir el contacto, o superficie de refracción, basta con determinar las profundidades en dos puntos. Usualmente se calculan las profundidades debajo de los puntos de disparo de una línea sísmica directa y una reversa.

Las suposiciones del método son: que la velocidad de los estratos es constante (medios homogéneos) y que la pendiente del refractor también lo es.

Con la notación de la figura A.1 se escribe la ecuación del tiempo en el punto D.

$$T_D = \frac{AB}{V_0} + \frac{BC}{V_1} + \frac{CD}{V_0}$$

Donde AB, BC y CD se definen así:

$$AB = \frac{Z_1}{\cos i_1}$$

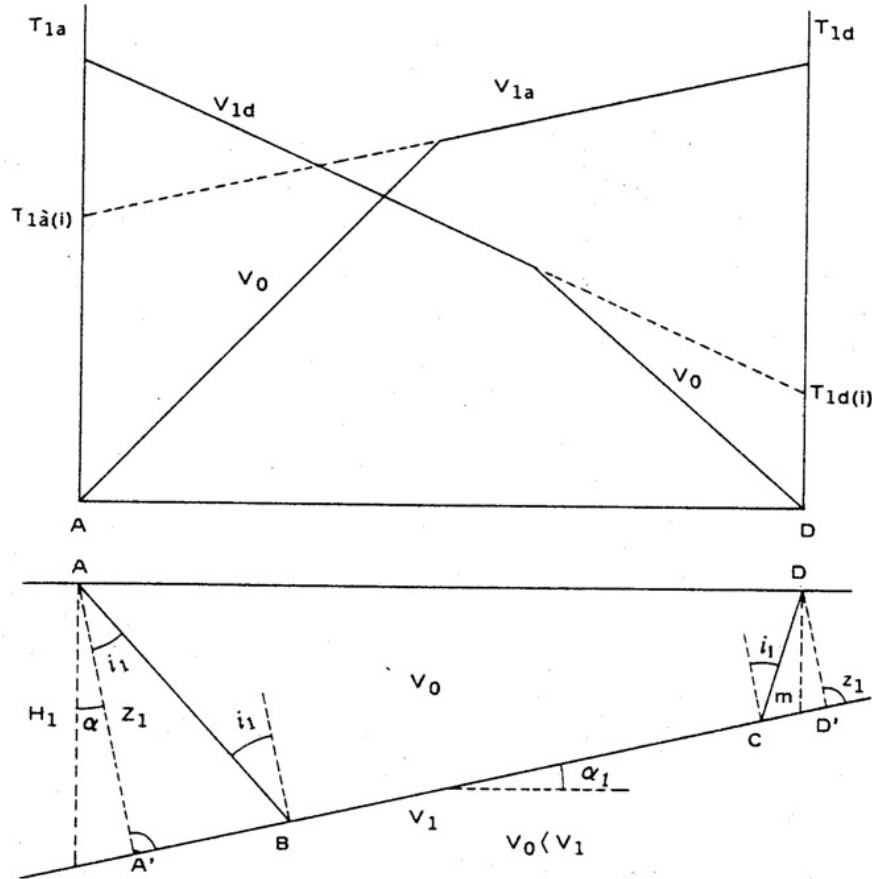
$$BC = A'D' - A'B - CD' = AD \cos \alpha_1 - AB \operatorname{sen} i_1 - CD \operatorname{sen} i_1$$

$$CD = \frac{z_1}{\cos i_1} = \frac{Z_1 - AD \operatorname{sen} \alpha_1}{\cos i_1}$$

y como $\frac{V_0}{V_1} = \operatorname{sen} i_1$

Sustituyendo y simplificando resulta :

$$T_D = \frac{AD}{V_0} \operatorname{sen}(i_1 - \alpha_1) + 2 \frac{Z_1 \cos i_1}{V_0}$$



- T1a = tiempo ascendente
- T1b = tiempo descendente
- V0 = velocidad entre la superficie y el refractor
- V1 = velocidad del refractor
- V1a = velocidad aparente ascendente (disparando en A)
- V1d = velocidad aparente descendente (disparando en D)
- T1a(i) y T1d(i) = tiempos interceptados en los orígenes A y D

Figura A.1.1 Velocidades aparentes: modelo de un refractor.

La anterior es la ecuación total del tiempo recorrido entre A y D. Al analizarla para distancias x variables, que aumentan desde A hacia D, se tiene:

$$T_{ax} = \frac{x}{V_0} \operatorname{sen}(i_1 - \alpha_1) + 2 \frac{Z_1 \cos i_1}{V_0} \quad (1)$$

En el caso de un disparo en D, el tiempo de D hacia A estaría dado por la siguiente fórmula:

$$T_{dx} = \frac{x}{V_0} \operatorname{sen}(i_1 + \alpha_1) + 2 \frac{Z_1 \cos i_1}{V_0} \quad (2)$$

Según se definió anteriormente, las velocidades aparentes para el sentido directo de A hacia D, como para el reverso de D hacia A están definidas por $W = dx/dt$ correspondiente con la tangente en el punto de análisis (A ó D).

Las velocidades aparentes entonces, se pueden determinar en función de la V_0 y del ángulo emergente en $A = i_1 - \alpha_1$ y en $D = i_1 + \alpha_1$ como se muestra a continuación:

Velocidad Aparente del estrato 1 en el sentido Ascendente:

$$V_{1a} = \frac{V_0}{\operatorname{sen}(i_1 - \alpha_1)} \quad (3)$$

Velocidad Aparente del estrato 1 en el sentido Descendente:

$$V_{1d} = \frac{V_0}{\operatorname{sen}(i_1 + \alpha_1)} \quad (4)$$

Ahora bien, sabiendo que los datos conocidos por interpretación de las dromocronas son V_0 , V_{1a} y V_{1d} , hay que definir el ángulo crítico i_1 y la pendiente del refractor α_1 en términos de estas tres variables conocidas. Por lo tanto en las 2 ecuaciones anteriores se tendrían solo 2 incógnitas por resolver, i_1 y α_1 . De tal manera que despejando y resolviendo se tiene que:

$$i_1 = \frac{1}{2} \left[\operatorname{arcsen} \frac{V_0}{V_{1d}} + \operatorname{arcsen} \frac{V_0}{V_{1a}} \right] \quad (5)$$

$$\alpha_1 = \frac{1}{2} \left[\operatorname{arcsen} \frac{V_0}{V_{1d}} - \operatorname{arcsen} \frac{V_0}{V_{1a}} \right] \quad (6)$$

Con base en la Ley de Snell para el ángulo crítico, se puede definir la velocidad del estrato 2, en términos de i_1 o de α_1 así:

$$V_1 = \frac{V_0}{\operatorname{sen} i_1} \quad (7)$$

$$V_1 = 2 \frac{V_{1a} V_{1d}}{V_{1a} + V_{1d}} \cos \alpha_1 \quad (8)$$

Dos datos adicionales son determinados por las dromocronas identificadas; estos son el tiempo de intercepto del refractor en los puntos disparo A y D, es decir, el tiempo ascendente $T_{1a(i)}$ y el tiempo descendente $T_{1d(i)}$. Estos tiempos son iguales a los tiempos de las ecuaciones 1 y 2 cuando $x = 0$.

$$T_{1a(i)} = \frac{Z_1}{V_0} 2 \cos i_1 \quad (9)$$

$$T_{1d(i)} = \frac{z_1}{V_0} 2 \cos i_1 \quad (10)$$

De tal manera que despejando en cada ecuación en términos de Z_1 y z_1 se tiene que :

$$Z_1 = \frac{T_{1a(i)} V_0}{2 \cos i_1} \quad (11)$$

$$z_1 = \frac{T_{1d(i)} V_0}{2 \cos i_1} \quad (12)$$

Para obtener las profundidades verticales al refractor desde A y desde D, basta con calcular las proyecciones de Z_1 y z_1 , así:

$$H_1 = \frac{T_{1a(i)} V_0}{2 \cos i_1} \frac{1}{\cos \alpha_1} = \frac{Z_1}{\cos \alpha_1} \quad (13)$$

$$h_1 = \frac{T_{1d(i)} V_0}{2 \cos i_1} \frac{1}{\cos \alpha_1} = \frac{z_1}{\cos \alpha_1} \quad (14)$$

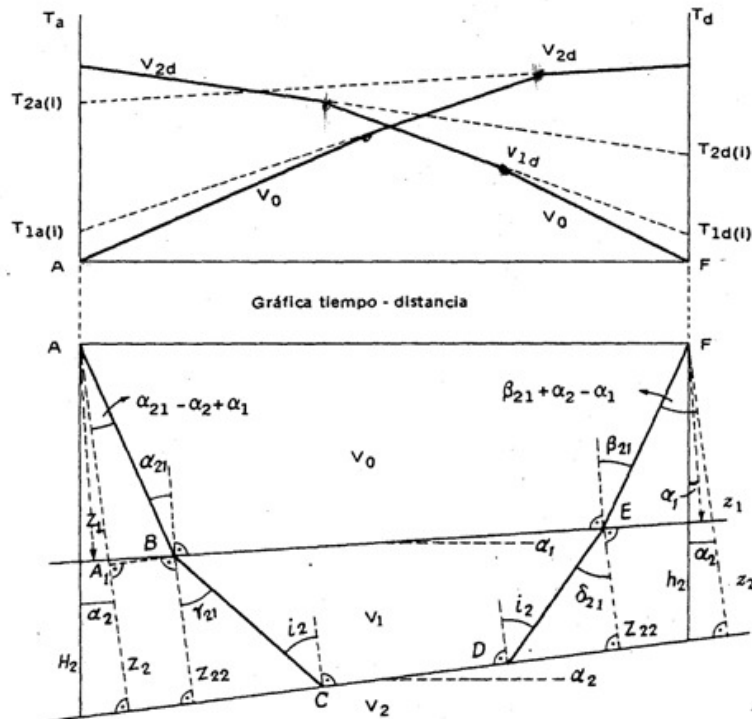
Caso de dos estratos inclinados.

El planteamiento geométrico para este caso, que se ilustra en la Figura A.1.2 es similar al anterior, solo que requiere mayor manejo algebraico, de tal manera que se presentará solamente el planteamiento general de los tiempos de llegada en cada punto de disparo y las soluciones.

El punto de partida para el cálculo de dos refractores inclinados, supone haber calculado previamente el ángulo de inclinación de la primera capa y las velocidades de la primera y la segunda. Se definen entonces los tiempos de viaje en el sentido ascendente del refractor 2 (T_{2a}) y en el sentido descendente del mismo refractor (T_{2d}), en función de la distancia x :

$$T_{2a} = \frac{x}{V_0} \operatorname{sen}(\beta_{21} - \alpha_1) + \frac{Z_1}{V_0} \frac{\cos(\alpha_{21} + \beta_{21}) + 1}{\cos \alpha_{21}} + \frac{Z_{22}}{V_1} 2 \cos i_2 \quad (15)$$

$$T_{2d} = \frac{x}{V_0} \operatorname{sen}(\alpha_{21} + \alpha_1) + \frac{Z_1}{V_0} \frac{\cos(\alpha_{21} + \beta_{21}) + 1}{\cos \alpha_{21}} + \frac{Z_{22}}{V_1} 2 \cos i_2 \quad (16)$$



T_a = Tiempo ascendente.

T_d = tiempo descendente.

$V_0; V_1; V_2$ = velocidades reales.

V_{1a} y V_{1d} = velocidades aparentes ascendentes y descendentes del primer estrato.

V_{2a} y V_{2d} = velocidades aparentes.

ascendentes y descendentes del segundo estrato.

$T_{1a(z)}$ y $T_{1d(z)}$ = Tiempos interceptados en el origen por V_{1a} y V_{1d}

$T_{2a(i)}$ y $T_{2d(i)}$ = Tiempos interceptados en el origen por V_{2a} y V_{2d}

Figura A.1.2. Velocidades aparentes: modelo para dos refractores inclinados.

Derivando las anteriores ecuaciones con respecto a x tenemos que:

$$\frac{dx}{dT_{2a}} = \frac{V_0}{\text{sen}(\beta_{21} - \alpha_1)} = V_{2a} \quad (17)$$

$$\frac{dx}{dT_{2d}} = \frac{V_0}{\text{sen}(\alpha_{21} + \alpha_1)} = V_{2d} \quad (18)$$

Aplicando la Ley de Snell:

$$\frac{\text{sen}\alpha_{21}}{\text{sen}\gamma_{21}} = \frac{V_0}{V_1} \quad \text{y} \quad \frac{\text{sen}\beta_{21}}{\text{sen}\gamma_{21}} = \frac{V_0}{V_1} \quad (19)$$

De 17 y 18 deducimos:

$$\alpha_{21} = \arcsen \frac{V_0}{V_{2d}} - \alpha_1 \quad (20)$$

$$\beta_{21} = \arcsen \frac{V_0}{V_{2a}} + \alpha_1 \quad (21)$$

De las ecuaciones 19,20 y 21 tenemos:

$$\gamma_{21} = \arcsen \left(\frac{V_1}{V_0} \text{sen}\alpha_{21} \right) \quad (22)$$

$$\delta_{21} = \arcsen \left(\frac{V_1}{V_0} \text{sen}\beta_{21} \right) \quad (23)$$

De la figura A.2 se deduce:

$$i_2 = \frac{\gamma_{21} + \delta_{21}}{2} = \text{ángulo límite del 2º estrato} \quad (24)$$

$$\alpha_2 = \frac{\gamma_{21} - \delta_{21}}{2} + \alpha_1 = \text{inclinación del 2º estrato} \quad (25)$$

$$V_2 = \frac{V_i}{\text{sen}i_2} = \text{velocidad real del 2º estrato} \quad (26)$$

Haciendo en 15 y 16 $x = 0$, se obtienen los tiempos interceptados en el origen:

$$T_{2a(i)} = \frac{Z_1 \cos(\alpha_{21} + \beta_{21}) + 1}{V_0 \cos \alpha_{21}} + \frac{Z_{22}}{V_1} 2 \cos i_2 \quad (27)$$

$$T_{2d(i)} = \frac{z_1 \cos(\alpha_{21} + \beta_{21}) + 1}{V_0 \cos \beta_{21}} + \frac{z_{22}}{V_1} 2 \cos i_2 \quad (28)$$

De donde:

$$Z_{22} = \frac{V_1 \left[T_{2a(i)} - \frac{Z_1 \cos(\alpha_{21} + \beta_{21}) + 1}{V_0 \cos \alpha_{21}} \right]}{2 \cos i_2} \quad (29)$$

$$z_{22} = \frac{V_1 \left[T_{2d(i)} - \frac{z_1 \cos(\alpha_{21} + \beta_{21}) + 1}{V_0 \cos \beta_{21}} \right]}{2 \cos i_2} \quad (30)$$

Las profundidades verticales bajo A y F son:

$$H_2 = \frac{Z_2}{\cos \alpha_2} \quad \text{y} \quad h_2 = \frac{z_2}{\cos \alpha_2} \quad (31)$$

$$H_2 = \frac{1}{\cos \alpha_2} \left[Z_1 \frac{\cos(\alpha_{21} - \alpha_2 + \alpha_1)}{\cos \alpha_{21}} + Z_{22} \right] \quad (32)$$

$$h_2 = \frac{1}{\cos \alpha_2} \left[z_1 \frac{\cos(\beta_{21} + \alpha_2 - \alpha_1)}{\cos \beta_{21}} + z_{22} \right] \quad (33)$$

Ya que

$$H_2 = \frac{Z_{22} + AA_1}{\cos \alpha_2}$$

$$AA_1 = AB \cos(\alpha_{21} - \alpha_2 + \alpha_1)$$

$$AB = \frac{Z_1}{\cos \alpha_{21}}$$

y análogamente para h_2

De igual manera se deducirán las fórmulas para cualquier número de refractores.

Apéndice 2

Herramientas Básicas del software PICKWIN.

En la sección 6.3 se hablo de algunas herramientas características del PICKWIN. A continuación se anexan más, herramientas básicas que el usuario dispone para interpretar.




Este comando permite hacer un cambio a la geometría de las crestas del registro, ya que las vuelve rectangulares, y si no son muy pronunciadas las crestas, aparecerán como un pequeño disturbio en la señal



Este comando activo parece no tener funcionalidad, pero cuando se desactiva, solo se mostrarán las crestas mas altas y muy frecuentemente los primeros 100 msec de los cuatro geófonos que se encuentren mas cercanos a la fuente.



Este comando puede ocultar la información existente a voluntad del usuario y con el comando  mostrarla nuevamente, solo que no se podrán mover los cursores, así que se tendrá seleccionar **Pick First Arrivals (P)/ First arrival time manually**, para tener de nueva cuenta control sobre ellos



Este comando activa el **First arrival time Automatically** instantáneamente, por ello se recomienda **no activarlo** cuando ya se tienen seleccionados los arribos de las ondas, pues esta selección moverá de lugar los cursores y no habrá forma de recuperar la información anterior.



Quando se hayan seleccionado con los cursores rojos los lugares considerados como los arribos de las ondas, este comando creará una línea de seguimiento por todos los cursores sacados de su línea base, para así tener una mejor perspectiva de nuestra interpretación.

Pero si hubiera algún cursor que no fuese activado; entonces la línea de seguimiento lo omitirá y seguirá con el próximo cursor.



Este comando se activa apenas se crea la línea de seguimiento, pero al desactivarse desaparece dicha línea junto con los cursores, al activarse de nuevo, todo volverá a visualizarse.



Este comando además de la aplicación anteriormente mencionada, puede crear rectas cuan largas desee el usuario, al dar clic con botón izquierdo en el área de trazado, manteniendo presionado el botón, en la parte izquierda del monitor se podrá observar la velocidad aparente registrada de dicho tramo. Para que permanezca ese tramo de velocidad se hace clic con botón derecho. La pendiente del tramo aparece del lado izquierdo de la recta.

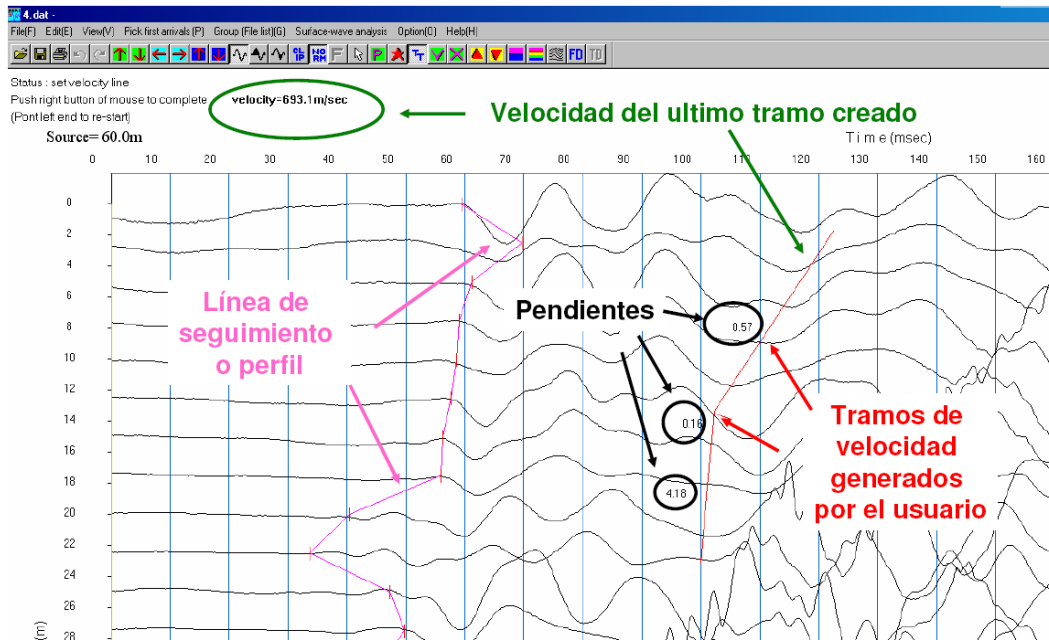





Figura A.2.1. Generación de líneas de seguimiento de cursores.



Este comando puede quitar momentáneamente la línea de seguimiento o perfil, pero toda la información se recupera con el comando 

 Estos comandos muestran un escaneo energético debido al cambio de velocidad, en la señal captada, los agrupa por colores según la similitud de estos, para prescindir de ellos solo se presiona  y el archivo volverá a la vista anterior.

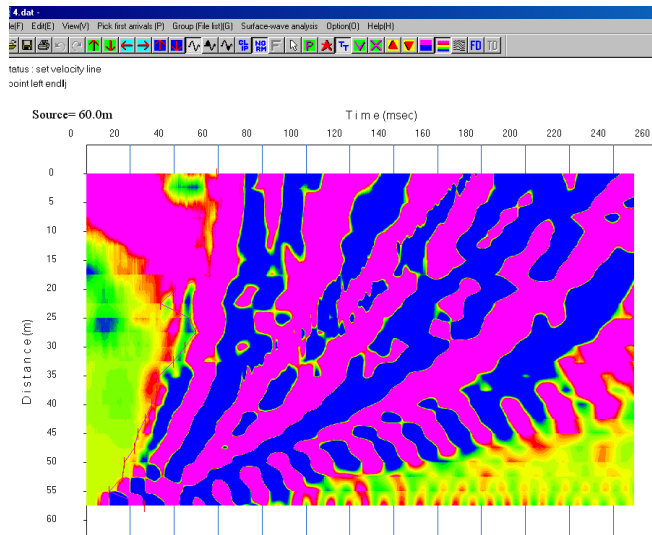




Figura A.2.2. Grafico cambio de velocidades.

 Con este comando el registro mostrara la Frecuencia de la señal de cada geófono, este se presenta en tono negro, además puede verse el valor mas alto registrado al final de cada línea. Para volver a la comparación con el tiempo de nuevo, se elije .

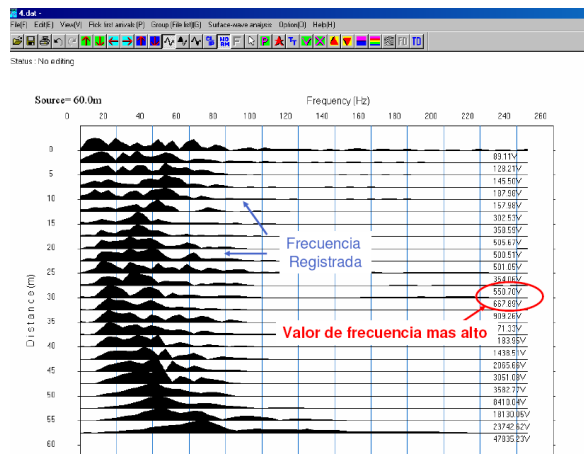


Figura A.2.3. Grafico cambio de frecuencias.

Apéndice 3

Interpretación de señales de Refracción

La interpretación de la señal, que emiten los geófonos, será más eficiente, si se sigue la siguiente metodología:

1. Interpretar todos los archivos de onda P, empezando con los del sentido de ida, después los del sentido de regreso, y finalmente los del centro.
2. Interpretar todos los archivos de onda S del mismo orden anterior. Teniendo como referencia los perfiles de onda P de su respectivo sentido.
3. Comparar los resultados con estudios de mecánica de suelos (perfiles estratigraficos).

Esta secuencia de interpretación, se debe a que en la mayoría de los casos es mas claro el arribo de las ondas P.

Dependiendo de la colocación del punto de golpe (sección 2.5.1 y 5.2.1), el efecto de su propagación en el suelo provocara una serie de ondas con una amplitud, cada vez más grande. Estas tendrán una diferencia de tiempo, tal que, las alejara del eje "Y" (que indica la distancia, sección 6.3).

En la figura A.3.1 puede distinguirse el recorrido de una onda sísmica. La señal que se encuentra en la parte superior pertenece al geófono mas alejado del tendido de estos sensores, pues sus crestas mas grandes se hallan retiradas del eje "Y". Así mismo se puede deducir entonces que la señal de la parte inferior, pertenece al geófono contiguo al punto de golpe, pues su cresta de amplitud más grande, se halla cerca del eje "Y", comparado con las otras señales.

El golpe provocado por un mazo, genera una onda P, que se distingue en el registro como un salto pequeño en la señal registrada. Regularmente no muy alejado del eje "Y".

Como en todos los registros sísmicos, antes de que ingrese la onda P, habrá un Pre-evento donde lo que se registra será la señal de la vibración ambiental.

El brinco que provoca la señal de la onda P, puede ser hacia arriba o hacia abajo. Las crestas más grandes son resultados de la interacción de la propagación de ondas con el suelo.

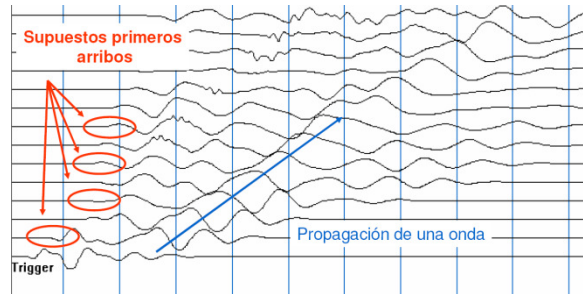


Figura A.3.1. Identificación del recorrido de una onda P.

La interpretación del arribo de una onda se puede hacer usando primeramente la herramienta de interpretación automática (sección 6.3, párrafo 6), y después corrigiendo con la herramienta manual (sección 6.3, párrafo 5). Haciendo un primer perfil, desde una escala, tal que muestre todas las señales de los geófonos. Después será importante observar más de cerca los cambios de la geometría de la onda.

En la figura A.3.2 se observa el cambio de interpretación que puede tener el usuario sobre la señal de un mismo geófono pero desde diferentes escalas, en contraste con las zonas de colores que representan la decisión final de interpretación.

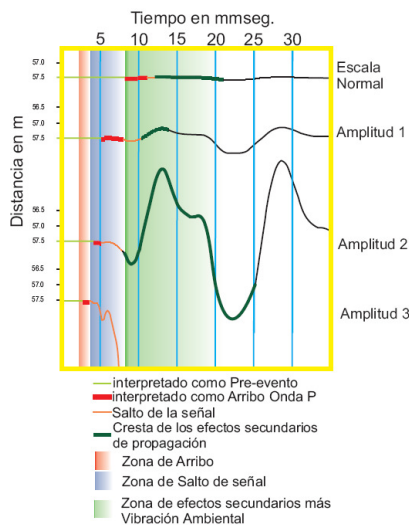


Figura A.3.2. Cambio de criterio en la interpretación.

La correspondencia de la interpretación particular de cada señal debe ser acorde con la de todas las demás señales. Sabiendo que entre más alejado se encuentre el geófono mas débil y confuso será la señal de arribo de onda P que recibirá. Normalmente esta correspondencia se da por tramos de pendientes constantes, que cambiarán si la onda estudiada interactúa con un estrato diferente. El cambio de pendiente puede ser gradual y formar un curva o mediante una zona de transición un tanto brusca.

En la figura A.3.3, se presenta un problema común de interpretación, al no coincidir la geometría de una onda con las pendientes que previamente se encontraron. El círculo que muestra la posición **a**, representa una interpretación particular de la señal de arribo, y que al compararse en conjunto con las demás señales, se vuelve un tanto confusa.

Las flechas entre cursores, hacen notorio, una diferencia en la separación de los arribos, pues en las flechas verdes de la parte superior tienen longitud mas corta con respecto a las azules de la parte inferior. Esto sugiere que la onda, incide en un estrato que le permite ir más rápido con respecto al primero.

Las letras de la **b** hasta la **e** representan las posibilidades que tiene el usuario para ubicar el cursor en turno.

Las opciones **b** y **e** representan la ubicación de la interpretación automática, que presenta el software. Las opciones **c** y **d** son algunos ejemplos de interpolación que usuario podría establecer.

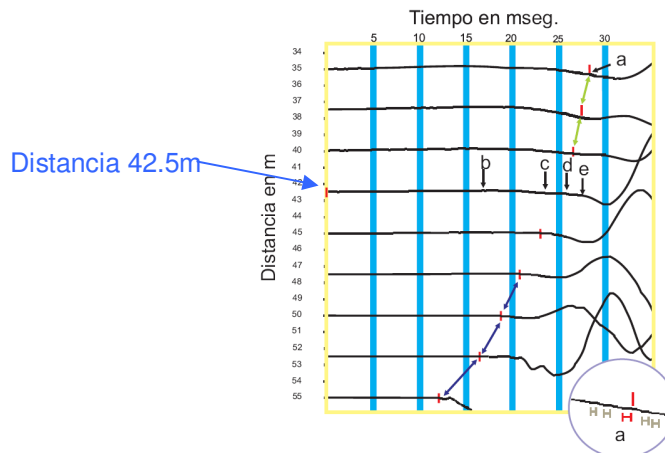


Figura A.3.3. Problema propuesto de ubicación del cursor en la señal de la distancia 42.5m.

La figura A.3.4 muestra la herramienta de línea de seguimiento para tener una mejor visualización del arribo de la onda, y así descartar las opciones menos lógicas. Se hace notorio el cambio de pendiente que sufre el perfil en este registro.

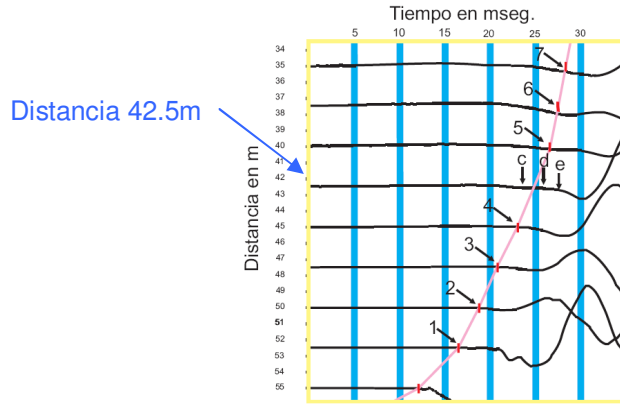


Figura A.3.4. Aplicación del comando de Línea de seguimiento

La figura A.3.5 muestra la decisión final del usuario, al colocar el cursor de la distancia 42.5m, sobre la línea de seguimiento, para no alterar significativamente las pendientes propuestas. Las líneas cafés hacen notoria la entrada de una onda de vibración natural, que hace que el pre-evento cambie de ser en la parte inferior una simple línea recta, a una línea curva en la señal de los geófonos posteriores. Las líneas azules, hacen notoria, la disminución de energía, al presentar un salto de señal posterior al arribo, cada vez mas pequeño, y que difícilmente se diferencia el uno del otro,

Es también por esto que la opción **d** fue descartada. La interpretación del arribo de las ondas S, puede basarse de acuerdo a los perfiles, que anteriormente son definidos de las ondas P. (Véase capítulo 6.3)

En donde se halle la primera separación de las dos señales será considerada como la llegada de la onda S. La simetría entre los perfiles no es del todo exacta, pero basta con el hecho que ambos perfiles tengan las mismas pendientes.

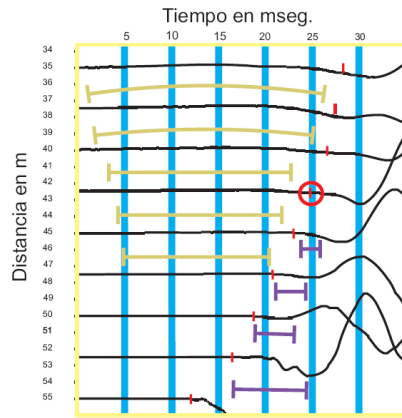


Figura A.3.5. Colocación del cursor de la distancia 42.5m y entrada de una onda de vibración natural en la parte superior.

En la figura A.3.6 se muestra un ejemplo de interpretación de ondas S, en comparación con un perfil de onda P. Nótese la gradual separación de ambas ondas al transcurrir el tiempo de adquisición.

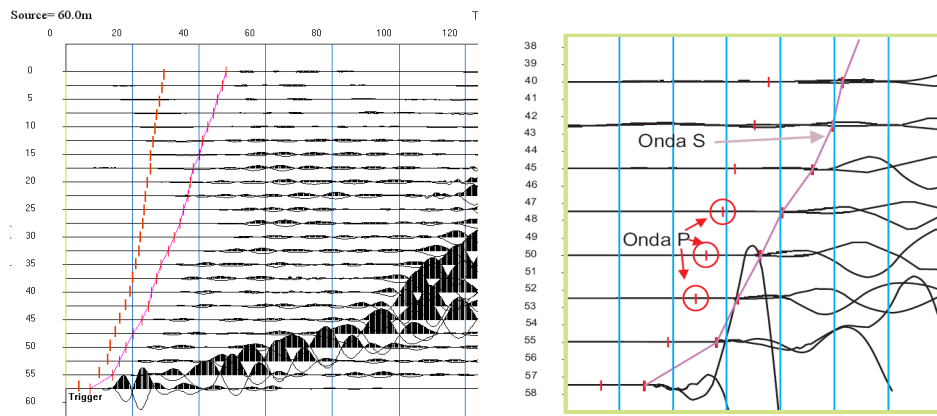


Figura A.3.6. Interpretación de un arreglo de archivos de ondas S, acercamiento a relación de ondas P y S (derecha)

Además habrá que considerarse otros casos, que aparecen con frecuencia.

Caso 1 La ley de Snell no se cumple y se tienen tiros de ida y de regreso (RS4, figura 5.1).

En este caso se determinan las velocidades aparentes de cada estrato. Y se promedian estas velocidades de acuerdo al orden de aparición de los estratos con su equivalente al sentido opuesto (figuras A.3.7 y A.3.8).

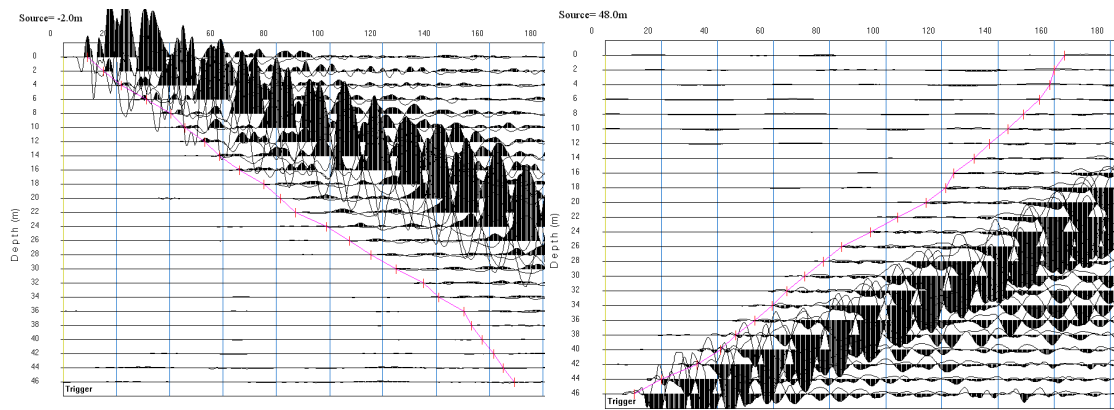


Figura A.3.7. Ejemplo de caso 1

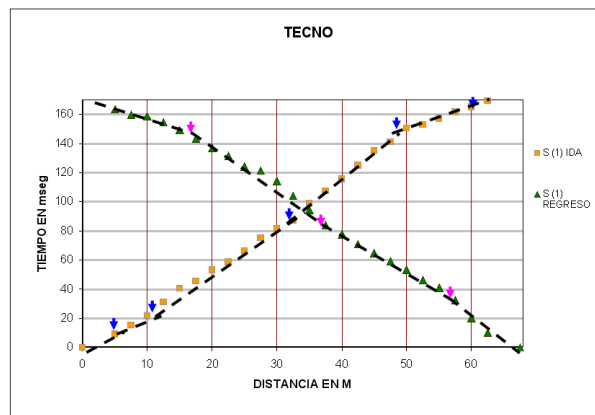


Figura A.3.8. Dromocrona caso 1

Caso 2 La Ley de Snell se cumple pero se tienen tiros de ida (RS6 y RS7 figura 5.1)

En este caso para interpretar los arribos de las ondas S, se comparan dos archivos del mismo sentido, se buscan las diferencias entre las magnitudes de golpes, es decir que habrá un golpe con menos amplitud de onda que el segundo, y es en ese momento cuando se deduce el arribo de la onda S.

En cuanto a la obtención de las velocidades, bastara con obtener las velocidades aparentes de cada cambio de pendiente (figuras A.3.9 y A.3.10).

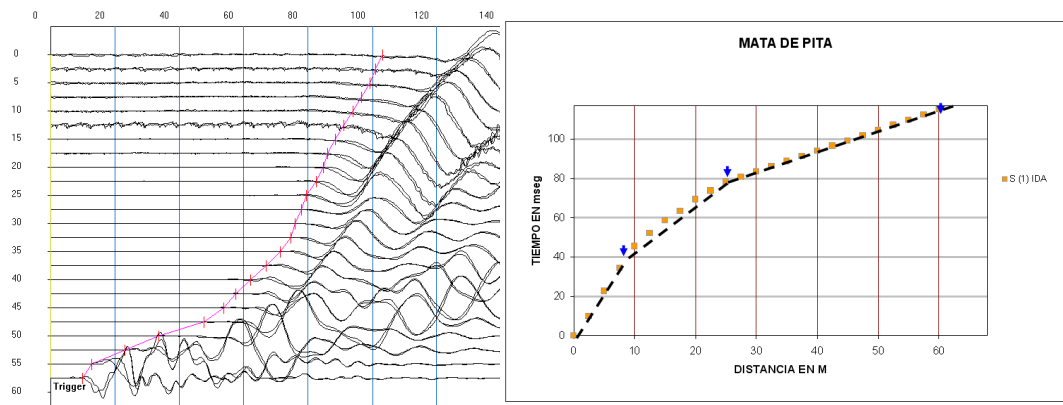


Figura A.3.9. Dromocrona e Interpretación caso 2

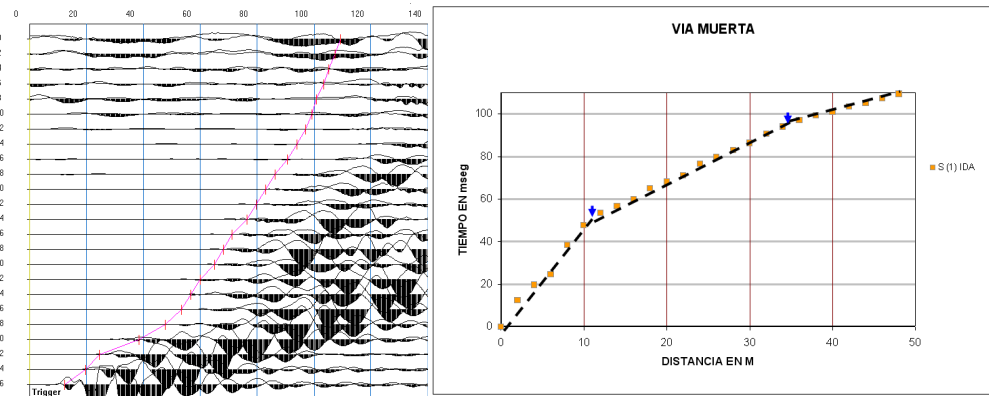


Figura A.3.10. Dromocrona e Interpretación caso 2

Caso 3 La Ley de Snell no se cumple y solo se tienen tiros de ida (RS3, figura 5.1).

Al igual que en el caso 1 se obtienen las velocidades aparentes de cada estrato detectado, comparando archivos del mismo sentido como en el caso 2 (figura A.3.11).

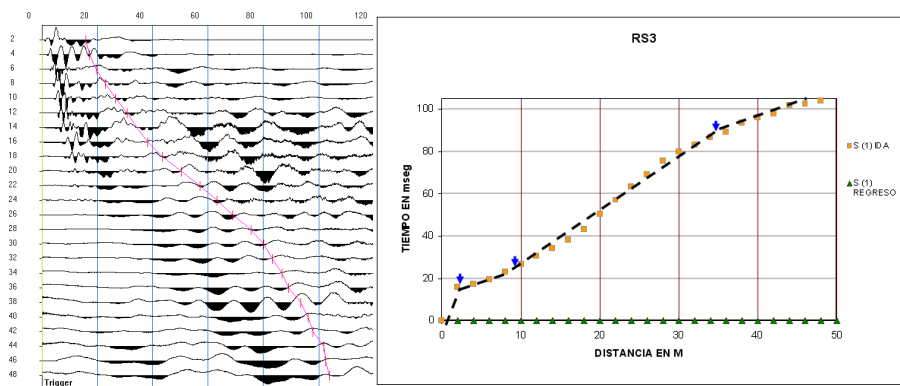


Figura A.3.11. Dromocrona e Interpretación caso 3

Apéndice 4 Programa REFRA.



REFRA

Este programa tiene la finalidad de facilitar la graficación de los perfiles que se interpreten, además de calcular de una forma automática, las velocidades de las ondas P y S, así como la profundidad de los estratos donde inciden estas ondas.

El programa REFRA se desarrollo en Excel y esta estructurado en tres libros cuyos nombres son: 1, G, y Presentación.

Para empezar a utilizar el programa, primeramente se abre el libro 1, que contiene varias hojas de cálculo. En la hoja llamada **Presentación** (figura A.4.1) se ingresan los datos de la prueba, como la fecha, el nombre del lugar, las horas de inicio y término. Los datos de la geometría de la prueba son muy importantes por que con ellos se calcula automáticamente la distribución que tuvieron los geófonos en la prueba.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	PRUEBA DE REFRACCION SISMICA EN LA ZONA CONURBADA VERACRUZ-												
2	BOCA DEL RIO												
3	fecha: Dia Jueves 14 de Octubre del 2008.												
4													
5	NOMBRE COMUN: LA CONDESA												
6	Hora de inicio de la prueba 14:20hrs												
7	Hora de fin de la prueba 17:20hrs												
8													
9	Sentido en perfiles de ida: de Sur al Norte												
10													
11	Ondas Secundarias						Ondas Primarias						
12													
13	Distancia en metros de la fuente						Distancia en metros de la						
14	al primer geofono en pruebas						fuente al primer geofono en						
15	realizadas en las equinas						pruebas realizadas en las						
16	2.00						equinas						
17													
18	Distancia en metros entre los						Distancia en metros entre los						
19	geofonos Horizontales atravez de						geofonos verticales atravez						
20	toda la linea de estudio						de toda la linea de estudio						
21	3.00						3.00						
22													
23	Caracteristicas del lugar:						Distancia en metros de la						
24							fuente al primer geofono en						
25							pruebas realizadas en el						
26							centro						
27	Prueba hecha sobre el acceso de un campo del cultivo el												
28	cual presenta zonas evidentes de vicieno												
29													
30													
31													
32													
33													

Figura A.4.1. Hoja **Presentación** del libro 1

En la siguiente hoja llamada **Base de Datos (figura A.4.2)**, se anexan los datos de las columnas de tiempo de arribo, previamente tratados como se mencionó en la sección 6.4. Se deberá cuidar el sentido que indican las celdas de la parte superior para colocar las columnas correctamente.

Columnas distancia a la fuente

ONDAS PRIMARIAS		ONDAS PRIMARIAS	ONDAS PRIMARIAS	ONDAS PRIMARIAS	ONDAS PRIMARIAS	ONDAS PRIMARIAS	ONDAS PRIMARIAS	ONDAS PRIMARIAS	ONDAS PRIMARIAS	ONDAS PRIMARIAS	
	No. De geofono	DISTANCIA DESDE FUENTE	P (1) IDA	P (2) IDA	P (3) IDA	DISTANCIA DESDE FUENTE	P (1) REGRESO	P (2) REGRESO	P (3) REGRESO	DISTANCIA DESDE FUENTE	P (1) CENTRO
FECHA			0	0	0						0
CANTIDAD DE ARCHIVOS			1	1	1						1
CANTIDAD DE GEONOFONOS			24	24	24						24
	1	2	5,2674470			71	54,6058690	0		-35,50	35,81684200
Distancia en metros de la fuente al primer geofono	2	5	13,5636770	0	0	58	53,7279620	0		-31,5	34,4530070
2.00	3	8	17,777360	0	0	65	53,1426930	0		-28,5	33,3665000
	4	11	20,3674940	0	0	62	52,3810380	0		-25,5	32,50210200
Distancia en metros entre los geofonos	5	14	24,0965720	0	0	59	51,0942380	0		-22,5	31,4069400
3.00	6	17	26,9956680	0	0	56	50,5089680	0		-19,5	30,35610400
	7	20	28,9708610	0	0	53	48,7531610	0		-16,5	29,1855800
Distancia en metros entre los geofonos prueba en el centro	8	23	30,9462530	0	0	50	46,9973370	0		-13,5	27,62483800
1.50	9	26	32,9215470	0	0	47	44,4806670	0		-10,5	26,06411000
	10	29	34,8968390	0	0	44	42,0225260	0		-7,50	20,95272600
	11	32	36,2136990	0	0	41	40,3637620	0		-4,50	12,46620700
	12	35	37,4574050	0	0	38	38,3353120	0		-1,50	7,60663100
	13	38	38,5108950	0	0	35	35,8771710	0		1,50	4,01866700
	14	41	39,9740720	0	0	32	34,1213530	0		4,50	5,77486300
	15	44	40,6763990	0	0	29	31,7802660	0		7,50	15,13002400
	16	47	41,7298890	0	0	26	28,9709610	0		10,50	18,84575700
	17	50	42,9004330	0	0	23	26,9225080	0		13,50	20,99175300
	18	53	44,6562500	0	0	20	24,7570020	0		16,50	22,94269900
	19	56	46,2394910	0	0	17	22,2465340	0		19,50	23,99614900
	20	59	47,8966610	0	0	14	19,7821900	0		22,50	24,50336600
	21	62	48,4609140	0	0	11	16,5631960	0		25,50	25,28374700
	22	65	49,7481160	0	0	8	12,8759620	0		28,50	25,94076900
	23	68	50,9196590	0	0	5	9,8325660	0		31,50	27,11759900
	24	71	52,0842330	0	0	2	6,0283010	0		35,50	26,83350000

Columnas tiempos de arribo

Figura A.4.2.a Hoja **Base de Datos** del libro 1. Ondas P

Columnas distancia a la fuente

ONDAS SECUNDARIAS		ONDAS SECUNDARIAS	ONDAS SECUNDARIAS	ONDAS SECUNDARIAS	ONDAS SECUNDARIAS	ONDAS SECUNDARIAS	ONDAS SECUNDARIAS	
	No. De geofono	DISTANCIA DESDE FUENTE	S (1) IDA	S (2) IDA	S (3) IDA	DISTANCIA DESDE FUENTE	S (1) REGRESO	S (2) REGRESO
FECHA								
CANTIDAD DE ARCHIVOS								
CANTIDAD DE GEONOFONOS								
	1	2	9,24729300	0	0	71	84,45470400	0
Distancia en metros de la fuente al primer geofono	3	5	19,48954600	0	0	58	83,10857400	0
2.00	4	8	26,92249700	0	0	65	81,93803400	0
	5	11	31,31203500	0	0	62	80,47465400	0
Distancia en metros entre los geofonos	6	14	34,53102900	0	0	59	79,01167300	0
3.00	7	17	38,04266000	0	0	56	77,43144200	0
	8	20	40,67638000	0	0	53	74,79772200	0
	9	23	43,01746700	0	0	50	72,16399400	0
	10	26	45,94362500	0	0	47	69,82230600	0
	11	29	48,75313200	0	0	44	66,89653300	0
	12	32	50,50894500	0	0	41	63,50197600	0
	13	35	53,84499400	0	0	38	60,75119800	0
	14	38	55,89344400	0	0	35	57,35662500	0
	15	41	58,99538400	0	0	32	55,19112000	0
	16	44	61,10089000	0	0	29	51,87948900	0
	17	47	63,08228500	0	0	26	48,16785800	0
	18	50	65,43337200	0	0	23	45,06591800	0
	19	53	67,48182700	0	0	20	41,55428700	0
	20	56	70,11954700	0	0	17	37,75002300	0
	21	59	72,28105200	0	0	14	33,30046500	0
	22	62	74,03686500	0	0	11	28,09304000	0
	23	65	75,78267900	0	0	8	22,24032400	0
	24	68	77,72407500	0	0	5	14,92442800	0
	25	71	79,77253000	0	0	2	6,73062400	0

Columnas tiempos de arribo

Figura A.4.2.b Hoja **Base de Datos** del libro 1. Ondas S

El usuario puede usar hasta tres perfiles distintos de los golpes, y el programa le mostrará la comparación de cada uno de ellos con la ventana COMPARATIVAS.

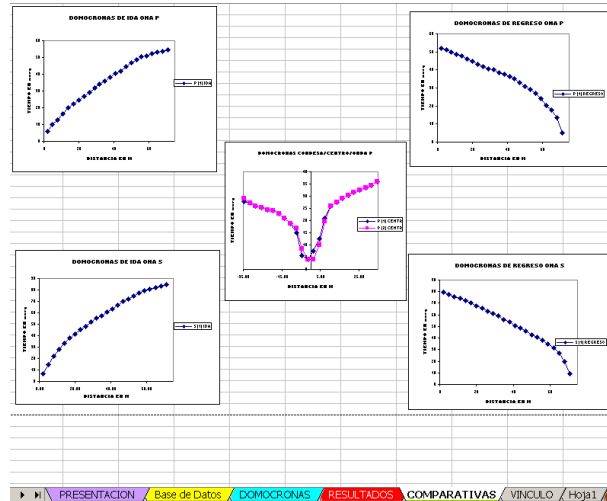


Figura A.4.3. Hoja **Comparativas** del libro 1

La ventana **DROMOCRONA** (figura A.4.5) muestra los distintos arreglos de perfiles que se interpretaron. Y se pueden hacer diferencias de pendientes con las herramientas de figuras predeterminadas de Excel (véanse figuras A.4.5)

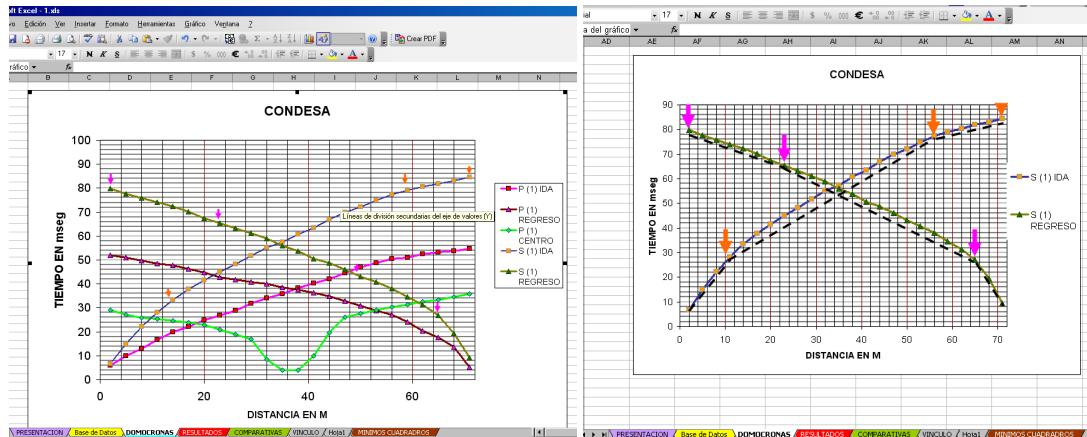


Figura A.4.5. Hoja **Dromocronas** del libro 1

Una vez definidos estos cambios de pendientes, se ingresan involucrados, en la hoja **ESTRATOS**, para que por medio de el método de mínimos cuadrados se calculen los puntos teóricos de intercepto de las pendientes. En las columnas de SENTIDO DE IDA los datos se escriben en un orden ascendente con respecto a su distancia de la fuente, mientras que en la columna de SENTIDO DE REGRESO se escriben los datos en un orden descendente o inverso, iniciando por el geófono mas alejado con respecto a la fuente del tiro de ida.



Figura A.4.6. Hoja **ESTRATOS** del libro 1

Estos puntos de intercepto se anexaran automáticamente a la hoja **RESULTADOS**, la cual calculara las velocidades aparentes de los tramos definidos, los factores Tox , y aun costado de todos estos datos se encuentra la columna que calcula la profundidad y los demás ángulos que son necesarios en el método de velocidades aparentes.

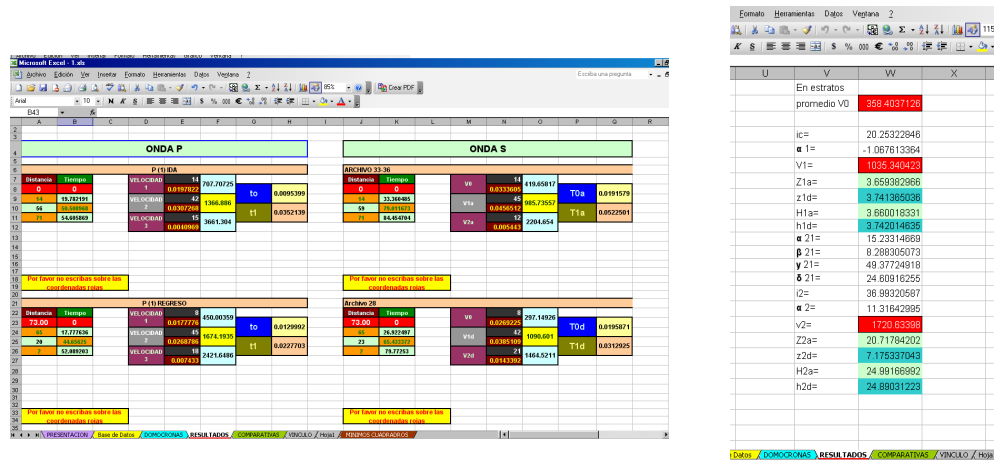


Figura A.4.7. Hoja **Resultados** del libro 1

Después se abre el libro G, que le mostrara dos hojas (**Para 2, Para 3**) y dependiendo del número de estratos que se hayan encontrado, se elige la más apropiada. Estas gráficas tiene la finalidad de mostrar un arreglo de dromocronas, junto con sus intercepciones Tox (Sección 6.5, figura 6.44).

Cuando se habrá el libro G aparecerá un ventana de actualización de datos y se seleccionará Actualizar.

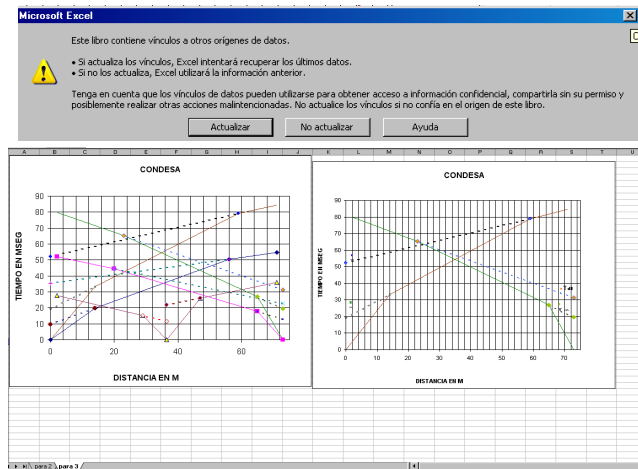


Figura A.4.8. Advertencia de Actualización (arriba). Hoja **Para 3** del libro G (abajo)

Por ultimo el libro **Presentación**, permite comparar los resultados de diferentes pruebas, ingresando los datos de cada una de ellas desde la hoja **1**, después ingresando la columna de tiempo de arribo en la hoja de **2**, luego el programa le permitirá una comparación de hasta tres diferente lugares, en la hoja **COMPARATIVAS**.

PRUEBA DE REFRACCION SISMICA													PRUEBA DE REFRACCION SISMICA													PRUEBA	
Fecha: 26 de sep 2007													Fecha: 26 de sep 2007													Fecha: 26 de sep 2007	
Logar de la Prueba: 0801													Logar de la Prueba: 0802													Logar de la Prueba: 0803	
Distac: 2.5 m													Distac: 2.5 m													Distac: 2.5 m	
Separacion: 2.5 m													Separacion: 2.5 m													Separacion: 2.5 m	
Trío de datos				Trío de datos				Trío de datos				Trío de datos				Trío de datos				Trío de datos							
A1	B1	C1	TIEMPO	A1	B1	C1	TIEMPO	A1	B1	C1	TIEMPO	A1	B1	C1	TIEMPO	A1	B1	C1	TIEMPO								
0	5	14.62	5	0	5	14.62	5	0	5	14.62	5	0	5	14.62	5	0	5	14.62	5								
Ambr (velocidad/MSEG):	356.639			Ambr (velocidad/MSEG):	405.4769			Ambr (velocidad/MSEG):	356.632991	Ambr (velocidad/MSEG):	405.4769	Ambr (velocidad/MSEG):	356.6	Ambr (velocidad/MSEG):	356.6	Ambr (velocidad/MSEG):	356.6	Ambr (velocidad/MSEG):	356.6								
B1	5	14.62	50	B1	5	14.62	50	B1	5	14.62	50	B1	5	14.62	50	B1	5	14.62	50								
Ambr (velocidad/MSEG):	1851.79			Ambr (velocidad/MSEG):	1857.355			Ambr (velocidad/MSEG):	1861.71094	Ambr (velocidad/MSEG):	1857.355	Ambr (velocidad/MSEG):	1857.355	Ambr (velocidad/MSEG):	1857.355	Ambr (velocidad/MSEG):	1857.355	Ambr (velocidad/MSEG):	1857.355								
C1	17.5	24.76	5	C1	17.5	24.76	5	C1	17.5	24.76	5	C1	17.5	24.76	5	C1	17.5	24.76	5								
Ambr (velocidad/MSEG):	0.00079			Ambr (velocidad/MSEG):	0.00079			Ambr (velocidad/MSEG):	0.00079	Ambr (velocidad/MSEG):	0.00079	Ambr (velocidad/MSEG):	0.00079	Ambr (velocidad/MSEG):	0.00079	Ambr (velocidad/MSEG):	0.00079	Ambr (velocidad/MSEG):	0.00079								
D1	27.5	30.72	5	D1	27.5	30.72	5	D1	27.5	30.72	5	D1	27.5	30.72	5	D1	27.5	30.72	5								
Ambr (velocidad/MSEG):	0.04195			Ambr (velocidad/MSEG):	0.04195			Ambr (velocidad/MSEG):	0.04195	Ambr (velocidad/MSEG):	0.04195	Ambr (velocidad/MSEG):	0.04195	Ambr (velocidad/MSEG):	0.04195	Ambr (velocidad/MSEG):	0.04195	Ambr (velocidad/MSEG):	0.04195								
E1	45	40.4	5	E1	45	40.4	5	E1	45	40.4	5	E1	45	40.4	5	E1	45	40.4	5								
Ambr (velocidad/MSEG):	0.090743			Ambr (velocidad/MSEG):	0.090743			Ambr (velocidad/MSEG):	0.090743	Ambr (velocidad/MSEG):	0.090743	Ambr (velocidad/MSEG):	0.090743	Ambr (velocidad/MSEG):	0.090743	Ambr (velocidad/MSEG):	0.090743	Ambr (velocidad/MSEG):	0.090743								
F1	80	38.42	5	F1	80	38.42	5	F1	80	38.42	5	F1	80	38.42	5	F1	80	38.42	5								
Ambr (velocidad/MSEG):	0.082			Ambr (velocidad/MSEG):	0.082			Ambr (velocidad/MSEG):	0.082	Ambr (velocidad/MSEG):	0.082	Ambr (velocidad/MSEG):	0.082	Ambr (velocidad/MSEG):	0.082	Ambr (velocidad/MSEG):	0.082	Ambr (velocidad/MSEG):	0.082								

Figura A.4.9. Hoja 1 del libro Presentación

The image shows a complex spreadsheet with multiple columns and rows. It is organized into three main sections labeled 'sitio 1', 'sitio 2', and 'sitio 3'. Each section contains data for 'zonas de comparación' (comparison zones) and 'zonas de estudio' (study zones). The columns include parameters such as 'Prof. m', 'Velocidad', 'Aceleración', and 'Frecuencia'. The data is presented in a grid format with various numerical values and some text labels.

Figura A.4.10. Hoja 2 del libro Presentación

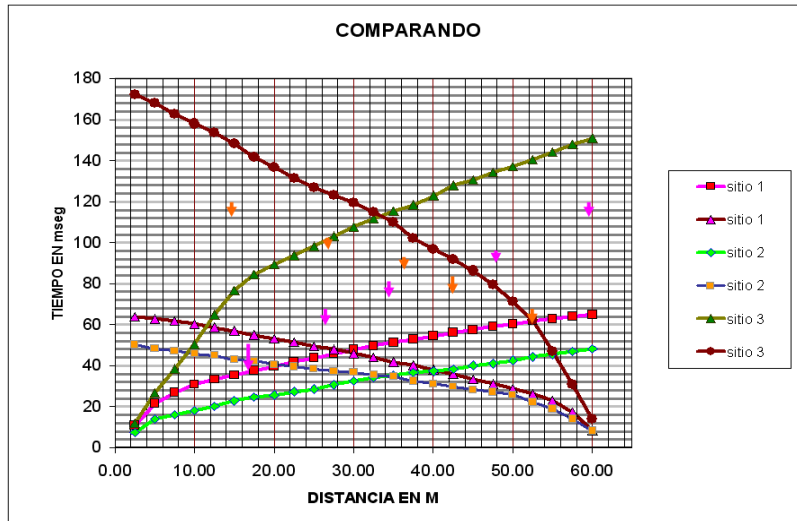


Figura A.4.11. Hoja Comparativas del libro Presentación

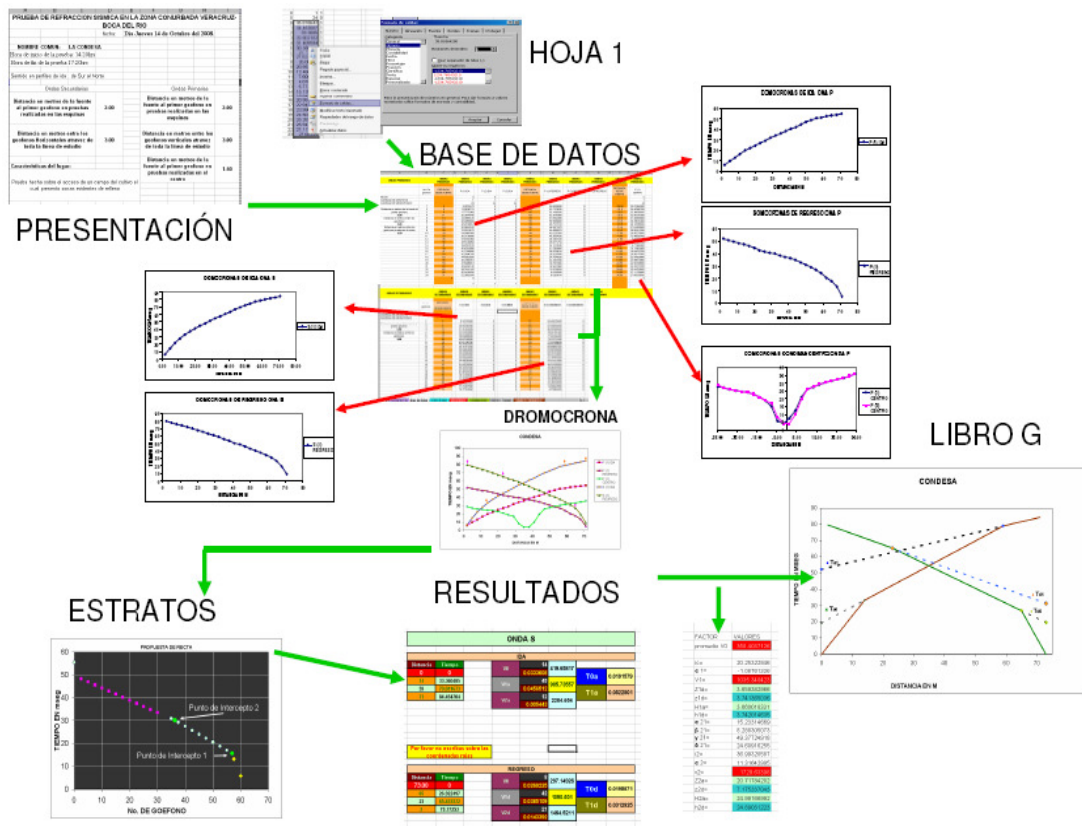


Figura A.4.12. Diagrama lógico del programa Refra

Para la adquisición de este programa, mande un correo a:
andresramirezvillalobos@hotmail.com

Apéndice 5

Formato de inventario

Nombre de Equipo	Salida	Llegada
1 Unidad DAC link II	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 Computadora portátil	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 Acelerografo ETNA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4 Cable de conexión a energia electrica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 Bateria de 12 volts	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6 Cargador de bateria	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7 Cable de conexión Ethernet Azul	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8 Adaptador de alimentación de laptop	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9 Cable adaptador tipo Y	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10 Voltmetro	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11 Convertidor de voltaje	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12 Regulador	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13 Carretes con cables para geofonos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14 Cable de bobina Negra para extension de mazo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15 Mazo con Switch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16 24 geofonos verticales (amarillos)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17 24 geofono Horizontales (rojos)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18 Unidad GPS con pilas recargadas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19 Placa de Acero	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nombre de Herramienta menor	Salida	Llegada
20 Sillas y mesa plegables	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21 Sombrilla Armable y su base	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22 Navaja	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23 Cinta Aislante	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24 Cavador	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25 Cintas metricas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
26 Cangureras	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27 Pico	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28 Pala para Jardin (Pequeña)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29 Pala para Jardin (Grande)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
30 Pala	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
31 Barreta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
32 Radios de Banda Corta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
33 Lona	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
34 Hielera	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
35 Brújulas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
36 Cuerdas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
37 Conos de señalamiento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Número de identificación de equipo, accesorios y herramientas



Apéndice 6 Bitácora de Campo

PRUEBA DE REFRACCION SISMICA VERACRUZ-BOCA DEL RIO			
FECHA:		HORA DE INICIO:	
		HORA DEL FIN:	
DIRECCION O NOMBRE COMUN:			
DESCRIPCION DE LAS CARACTERISTICAS DEL USO DEL LUGAR			
Ondas Primarias		Ondas Secundarias	
Distancia en metros de la fuente al primer geofono en pruebas realizadas en las esquinas		Distancia en metros de la fuente al primer geofono en pruebas realizadas en las esquinas	
Distancia en metros entre los geofonos verticales a travez de toda la linea de estudio		Distancia en metros entre los geofonos horizontales a travez de toda la linea de estudio	
Distancia en metros de la fuente al primer geofono en pruebas realizadas en el centro		En el reverso de esta hoja dibuja un diagrama del lugar y no olvides poner la orientacion de la linea de la prueba con respecto a la brujula	

