

EFFECTO DE SINTONIA PROVOCADO POR CAPA DE ALTA VELOCIDAD SOBRE MAPAS DE AMPLITUD DEL TOPE DE INTERVALO PRODUCTIVO, REMOCIÓN PARCIAL DEL EFECTO

H. Ariel Galarza

Pioneer Natural Resources

ABSTRACT

Está CONGRESO

ANTOPUGRAFICA

In Neuquen Basin there are many cases of productive rocks of Petroleum laying below high-velocity rocks. The amplitude maps of the seismic event which correspond to the interface between Base of the high-velocity rock and Top of the clastic section that includes reservorios provide in some cases direct information or insinuation about the mentioned reservorios. When the thickness of the high-velocity layer is smaller than certain value it happens a syntony effect provoked by the nature of the seismic propagation and the proximity of the reflection coefficients at the top and base of the high-velocity layer. In this case the seismic amplitude at the base will contain information of its top which is not usefull. It is described a method here to remove in part the syntony effect of the data and how to estimate the area where is valid the seismic amplitude map.

INTRODUCCION

En la Cuenca Neuquina hay abundancia de casos en los que hay rocas productivas de Petróleo inmediatamente debajo de rocas de alta velocidad como en el caso de

- a) Miembro Troncoso Inferior (complejos clásticos) debajo de anhidrita.
- b) Barda Negra - La Manga debajo de Auquilco (anhidrita)
- c) Complejos clásticos debajo de Barda Negra (facies diversas)

Los mapas de amplitud sísmica de la interfase Base de la roca de alta velocidad - Tope de la formación clástica expresan aproximadamente el contraste de impedancia acústica. La impedancia acústica a su vez, está relacionada con la litología. A veces las rocas de alta velocidad son bastante homogéneas, tanto lateralmente como verticalmente si son evaporitas, otras veces los cambios laterales en la velocidad son lo suficientemente suaves como para ser considerados nulos en la zona de estudio. Por lo tanto variaciones en la amplitud sísmica de la base de las rocas de alta velocidad están relacionadas principalmente a cambios en la impedancia acústica de las rocas clásticas que infrayacen a las de alta velocidad.

Cuando el espesor de la capa de alta velocidad disminuye de un cierto límite, aparece un efecto de sintonía generado entre el tope y la base de la capa de alta velocidad afectando el mapa sísmico de amplitudes del Tope del intervalo de interés. En este trabajo se caracteriza primero el fenómeno de sintonía para el rango de frecuencia sísmica de la zona estudiada aplicándolo luego a la corrección del mapa de amplitud de la base de la capa de alta velocidad obtenido a partir de datos sísmicos 3D reales. De esta manera, el efecto de sintonía es removido parcialmente.

Consideraremos aplicable el método a zonas en donde la tectónica fue moderada y donde la variación lateral de la velocidad de la capa de alta velocidad es pequeña.

METODOLOGIA

1) Caracterización del fenómeno

Pautas:

- a) Se usó el pozo BBG x-5 que posee perfiles de GR, SP, Resistividad y Sónico (fig 1).
- b) La zona posee sísmica 3D de buena calidad
- c) En la zona estudiada la correlación entre sismograma sintético y los datos sísmicos reales es buena (comparar fig 1 con fig 14). Es decir, el modelo convolucional de la traza sísmica es válido.
- d) No se utilizó perfil de densidad por no poseerlo.
- e) Rocas clásticas infrayacen a la capa de alta velocidad. Encontrándose los reservorios muy próximos a ella (fig 1).

f) Disturbación tectónica restringida a fallas. (Sometidas a esfuerzo, las rocas de alta velocidad que tienen un comportamiento frágil al esfuerzo pueden cambiar drásticamente su valor de impedancia acústica y también pueden aparecer fenómenos de atenuación de la energía. En estos casos no sería válido atribuir las variaciones sólo a las rocas objetivo).

Elementos:

Básicamente se consideran 2 dominios :

- Dominio de los coeficientes de reflexión
- Dominio de las amplitudes

DOMINIO DE LOS COEFICIENTES DE REFLEXION	DOMINIO DE LAS AMPLITUDES
El valor de cada coeficiente de reflexión <u>depende de:</u> el contraste de impedancia acústica El valor de cada coeficiente de reflexión <u>no depende de:</u> la frecuencia sísmica la ondícula otros coeficientes cercanos	1) El valor de cada amplitud <u>depende de:</u> a) su correspondiente coeficiente de reflexión b) la frecuencia sísmica c) la ondícula d) otros coeficientes cercanos 2) Hablamos de evento para referirnos a una excursión de la señal en un mismo sentido 3) Clases pertenecientes a este dominio: a) sismograma sintético b) sección sísmica 4) Existe el fenómeno de interferencia. La sintonía es un caso particular.

La sección sísmica está expresada en el dominio de las amplitudes, su relación con la impedancia acústica es más indirecta que la que tienen los coeficientes de reflexión.

El propósito es obtener el valor del coeficiente de reflexión para la base de la capa de alta velocidad a partir del valor de amplitud correspondiente obtenido de datos reales.

Modelo:

Se buscó primero aislar el efecto producido por la capa de alta velocidad. Para ello se construyó un modelo de sónico en donde esta expresada solo la capa de alta velocidad (fig 2). Solo existen 2 coeficientes de reflexión correspondientes al tope y a la base. Con el modelo del sónico se realizó un sismograma sintético. La ondícula utilizada fue de Ricker con frecuencia central de 40 hz y fase cero (fig 3). Nótese la similitud con el sismograma real (fig 1). El parecido entre ambos nos dice dos cosas:

- que el efecto más notable se debe más a la capa de alta velocidad que a los reservorios que la infrayacen
- que la aproximación por la que se representa la capa de alta velocidad es buena.

Una sección sísmica sintética generada a partir del modelo del sónico muestra en forma cualitativa como varía la respuesta sísmica cuando se varía el espesor de la capa de alta velocidad (fig 4).

El modelo considera constante el valor de los coeficientes de reflexión y la ondícula. Sólo consideraremos variaciones en el espesor de la capa de alta velocidad, se trabajará en tiempo doble.

Veamos en forma detallada que ocurre con la amplitud correspondiente a la base de la capa de alta velocidad cuando se varía el espesor de la misma:

Comenzamos con un espesor de 100 ms. Vemos que no hay interferencia entre las ondículas, ellas están aisladas (fig 5). Cuando disminuimos el espesor a 21 ms. vemos que hay interferencia de los dos lóbulos secundarios de las ondículas situadas en techo y base (fig 6). La interferencia se hace mas notable para 12 ms encontrando que la amplitud del evento aumenta considerablemente (fig 7), 12 mseg es aproximadamente el

espesor de sintonía. Para 6 ms. aparece casi como si el modelo consistiera solo de 2 capas existiendo una única interfase (fig 8).

Podemos graficar la amplitud del evento negativo correspondiente a la base para distintos espesores construyendo de esta forma una curva de respuesta (curva compuesta por triángulos en la fig 9). Consideramos que el tope es tiempo cero, el evento positivo coincide con el tope.

Vemos que para espesores mayores de 23 ms. el valor de la amplitud es igual al del coeficiente de reflexión de la base, para espesores menores existe interferencia constructiva entre las ondiculas encontrándose un máximo a los 12 ms de espesor.

Llegados a este punto es interesante comparar valores: como se ha dicho, la utilidad del mapa de amplitud es la de observar cambios laterales en la amplitud del tope de la sección clástica. Suponiendo un cambio lateral de arena a arcilla (el intervalo clástico es de gran espesor) y considerando que no hay interferencia con el tope de la capa de alta velocidad, las amplitudes varían en un factor de 1.4 . Por otra parte, si consideramos que no hay variación lateral del intervalo productivo bruto y consideramos solo el efecto de interferencia, la amplitud varía en un factor de 2 ver (fig 5 y 7). Es decir, el efecto indeseable de la interferencia es de mayor magnitud que el cambio que se desea observar. Esto está mostrado en forma esquemática en el siguiente cuadro donde los valores han sido obtenidos del pozo de referencia mostrado en fig 1.

HIGH VELOCITY ROCKS : 65µs/f (4689 m/s)	
UNDERLYING ROCKS	
REFLECTION COEFFICIENT DOMAIN	AMPLITUDE DOMAIN (Wavelet Involved)
Water bearing sandstones: 73.3 µs/f (4158m/s)	Average Assumed: 75 µs/f (4064 m/s)
$R(\text{sandstone}) = \frac{\frac{1}{73.3} - \frac{1}{65}}{\frac{1}{73.3} + \frac{1}{65}} = -0.060$	$R = \frac{\frac{1}{75} - \frac{1}{65}}{\frac{1}{75} + \frac{1}{65}} = -0.0714$
Shale: 77.5 µs/f (3933 m/s)	A(amplitude)= R = -0.0714 (if there is no tuning)
$R(\text{shale}) = \frac{\frac{1}{77.5} - \frac{1}{65}}{\frac{1}{77.5} + \frac{1}{65}} = -0.0877$	A(amplitude)= 0.14 (maximum tuning)
$R(\text{shale}) / R(\text{sandstone}) = 1.4617$	Amplitude Ratio = $\frac{A(\text{max tuning})}{A(\text{without tunn})} = 2$

CONCLUSIONES

La figura 10 muestra dos características importantes de la curva de respuesta cuando el espesor en tiempo de la capa de alta velocidad es menor o igual que 10 ms.:

- el evento negativo en tiempo permanece a 10 ms del evento positivo correspondiente al tope. Esto significa que si quisiéramos hacer un mapa de espesor en tiempo de la capa de alta velocidad sobre datos reales, solo sería válido hacerlo para espesores mayores o iguales que 11 ms.
- la amplitud del evento negativo va haciéndose más pequeña en valor absoluto a medida que disminuye el espesor hasta que llega al valor de amplitud del lóbulo (negativo) secundario de una ondícula aislada de la figura 3 multiplicado por el coeficiente de reflexión. Es decir, cuando el espesor de la capa de alta velocidad es nulo tenemos solo un coeficiente de reflexión positivo.

La curva de respuesta de la figura 9 se considera válida para espesores mayores o iguales a 11 ms. La pequeña diferencia entre considerar la amplitud al tiempo del coeficiente de reflexión negativo (♦) o al tiempo

del máximo negativo del evento (♦) es irrelevante y carece de importancia cual de las dos se toma cuando trabajamos con datos reales. (Al respecto ver también figura 8)

II) Corrección de datos reales:

Luego de caracterizar el fenómeno por medio de un modelo se interpreta en un volumen de datos 3D el tope y la base de la capa de alta velocidad obteniéndose para cada bin un valor de espesor en tiempo. Esto es mostrado en la figura 15 en la que TOP HVR es el horizonte sísmico que sigue el tope de la capa de alta velocidad y BASE HVR es el correspondiente a la base. El origen de la interpretación de los horizontes es el pozo de la fig. L, el cual se encuentra cercano a la zona estudiada y dentro del cubo 3D (ver fig 14 y fig 1).

El mapa de espesor en tiempo entre TOP HVR y BASE HVR es mostrado en la figura 16.

Se extrae la amplitud de la base de la capa de alta velocidad obteniéndose para cada bin un valor de amplitud (ver mapa de amplitud de la figura 17)

Se hace un cross-plot de los datos experimentales: para cada bin se grafica en abscisas el espesor en tiempo y en ordenadas la amplitud. Se observa que los datos están distribuidos de forma similar a lo que prevé la curva de respuesta teórica (fig 12)

Se eligió un polinomio de grado 3 para representar los datos en forma promediada realizándose un ajuste por mínimos cuadrados (fig 11). Para cada espesor en tiempo, la amplitud real puede ser expresada como la combinación del efecto de sintonía y el contraste de impedancia acústica. El polinomio representaría el efecto de sintonía. Esto es válido para espesores mayores o iguales que 11 ms.

Por lo tanto, cada amplitud será corregida por un factor para eliminar el efecto de sintonía. Ese factor es obtenido del polinomio: cada amplitud es corregida por un factor que depende del espesor en tiempo.

Los datos corregidos son mostrados en la fig 13 en donde el efecto de sintonía fue removido. Luego de la corrección no se observa una tendencia que muestre dependencia de la amplitud con el espesor en tiempo.

La cantidad de puntos experimentales escogidos para hacer el cross-plot estuvo limitada por el software utilizado.

Si bien el procesamiento de los datos sísmicos no fué en verdadera amplitud, para la normalización de valores de amplitud privó el criterio de no distorsionar demasiado las amplitudes relativas.

RESULTADOS

La figura 18 es el mapa de amplitudes corregidas del evento negativo correspondiente a la base de la capa de alta velocidad. Notar que la escala de grises es idéntica a la del mapa de amplitudes sin corregir de la figura 17. Los valores de amplitud se han modificado sustancialmente. Los blancos en el mapa son aquellas zonas donde el espesor de la capa de alta velocidad es menor que 11 ms. y por lo tanto no pudieron ser corregidos.

El mapa de amplitud sin corregir (fig 17) muestra valores pequeños representados en gris claro aproximadamente en el centro del mapa. Esto se debe a que en ese lugar el espesor de la capa de alta velocidad es mayor que en otros lugares y por lo tanto hay menor interferencia (ver fig 15 y 16). La dependencia de la amplitud con el espesor de la roca de alta velocidad ha disminuido en el mapa de amplitudes corregidas (fig 18). En algunos lugares en donde antes había mínimos ahora hay máximos.

Nota: La visualización óptima de los mapas de amplitud es por medio del color.

CONCLUSIONES

- 1) Para el caso analizado, antes de realizar la corrección por efecto de sintonía, el mapa de amplitud era válido en aquellos lugares en donde el espesor de la capa de alta velocidad era mayor a 22 mseg. Luego de la corrección se amplió el rango y el mapa de amplitud paso a ser válido para espesores de la capa de alta velocidad mayores que 10 ms.
- 2) Se determinaron aquellos sectores en donde el mapa de amplitud no es válido
- 3) Se espera que al remover el efecto de sintonía comiencen a aparecer rasgos sutiles en la sección clásica relacionados con algún rasgo sedimentario o con el reservorio en aquellos lugares en donde el efecto de sintonía los deterioraba.
- 4) En la caracterización del fenómeno de interferencia hay factores que juegan un rol importante como ser:
 - a) Que la información sísmica real pueda ser expresada por medio de un modelo convolucional.

del máximo negativo del evento (♦) es irrelevante y carece de importancia cual de las dos se toma cuando trabajamos con datos reales. (Al respecto ver también figura 8)

II) Corrección de datos reales:

Luego de caracterizar el fenómeno por medio de un modelo se interpreta en un volumen de datos 3D el tope y la base de la capa de alta velocidad obteniéndose para cada bin un valor de espesor en tiempo. Esto es mostrado en la figura 15 en la que TOP HVR es el horizonte sísmico que sigue el tope de la capa de alta velocidad y BASE HVR es el correspondiente a la base. El origen de la interpretación de los horizontes es el pozo de la fig. L, el cual se encuentra cercano a la zona estudiada y dentro del cubo 3D (ver fig 14 y fig 1).

El mapa de espesor en tiempo entre TOP HVR y BASE HVR es mostrado en la figura 16. Se extrae la amplitud de la base de la capa de alta velocidad obteniéndose para cada bin un valor de amplitud (ver mapa de amplitud de la figura 17)

Se hace un cross-plot de los datos experimentales: para cada bin se grafica en abscisas el espesor en tiempo y en ordenadas la amplitud. Se observa que los datos están distribuidos de forma similar a lo que prevé la curva de respuesta teórica (fig 12)

Se eligió un polinomio de grado 3 para representar los datos en forma promediada realizándose un ajuste por mínimos cuadrados (fig 11). Para cada espesor en tiempo, la amplitud real puede ser expresada como la combinación del efecto de sintonía y el contraste de impedancia acústica. El polinomio representaría el efecto de sintonía. Esto es válido para espesores mayores o iguales que 11 ms.

Por lo tanto, cada amplitud será corregida por un factor para eliminar el efecto de sintonía. Ese factor es obtenido del polinomio: cada amplitud es corregida por un factor que depende del espesor en tiempo.

Los datos corregidos son mostrados en la fig 13 en donde el efecto de sintonía fue removido. Luego de la corrección no se observa una tendencia que muestre dependencia de la amplitud con el espesor en tiempo.

La cantidad de puntos experimentales escogidos para hacer el cross-plot estuvo limitada por el software utilizado.

Si bien el procesamiento de los datos sísmicos no fué en verdadera amplitud, para la normalización de valores de amplitud privó el criterio de no distorsionar demasiado las amplitudes relativas.

RESULTADOS

La figura 18 es el mapa de amplitudes corregidas del evento negativo correspondiente a la base de la capa de alta velocidad. Notar que la escala de grises es idéntica a la del mapa de amplitudes sin corregir de la figura 17. Los valores de amplitud se han modificado sustancialmente. Los blancos en el mapa son aquellas zonas donde el espesor de la capa de alta velocidad es menor que 11 ms. y por lo tanto no pudieron ser corregidos.

El mapa de amplitud sin corregir (fig 17) muestra valores pequeños representados en gris claro aproximadamente en el centro del mapa. Esto se debe a que en ese lugar el espesor de la capa de alta velocidad es mayor que en otros lugares y por lo tanto hay menor interferencia (ver fig 15 y 16). La dependencia de la amplitud con el espesor de la roca de alta velocidad ha disminuido en el mapa de amplitudes corregidas (fig 18). En algunos lugares en donde antes había mínimos ahora hay máximos.

Nota: La visualización óptima de los mapas de amplitud es por medio del color.

CONCLUSIONES

- 1) Para el caso analizado, antes de realizar la corrección por efecto de sintonía, el mapa de amplitud era válido en aquellos lugares en donde el espesor de la capa de alta velocidad era mayor a 22 mseg. Luego de la corrección se amplió el rango y el mapa de amplitud paso a ser válido para espesores de la capa de alta velocidad mayores que 10 ms.
- 2) Se determinaron aquellos sectores en donde el mapa de amplitud no es válido
- 3) Se espera que al remover el efecto de sintonía comiencen a aparecer rasgos sutiles en la sección clásica relacionados con algún rasgo sedimentario o con el reservorio en aquellos lugares en donde el efecto de sintonía los deterioraba.
- 4) En la caracterización del fenómeno de interferencia hay factores que juegan un rol importante como ser:
 - a) Que la información sísmica real pueda ser expresada por medio de un modelo convolucional.

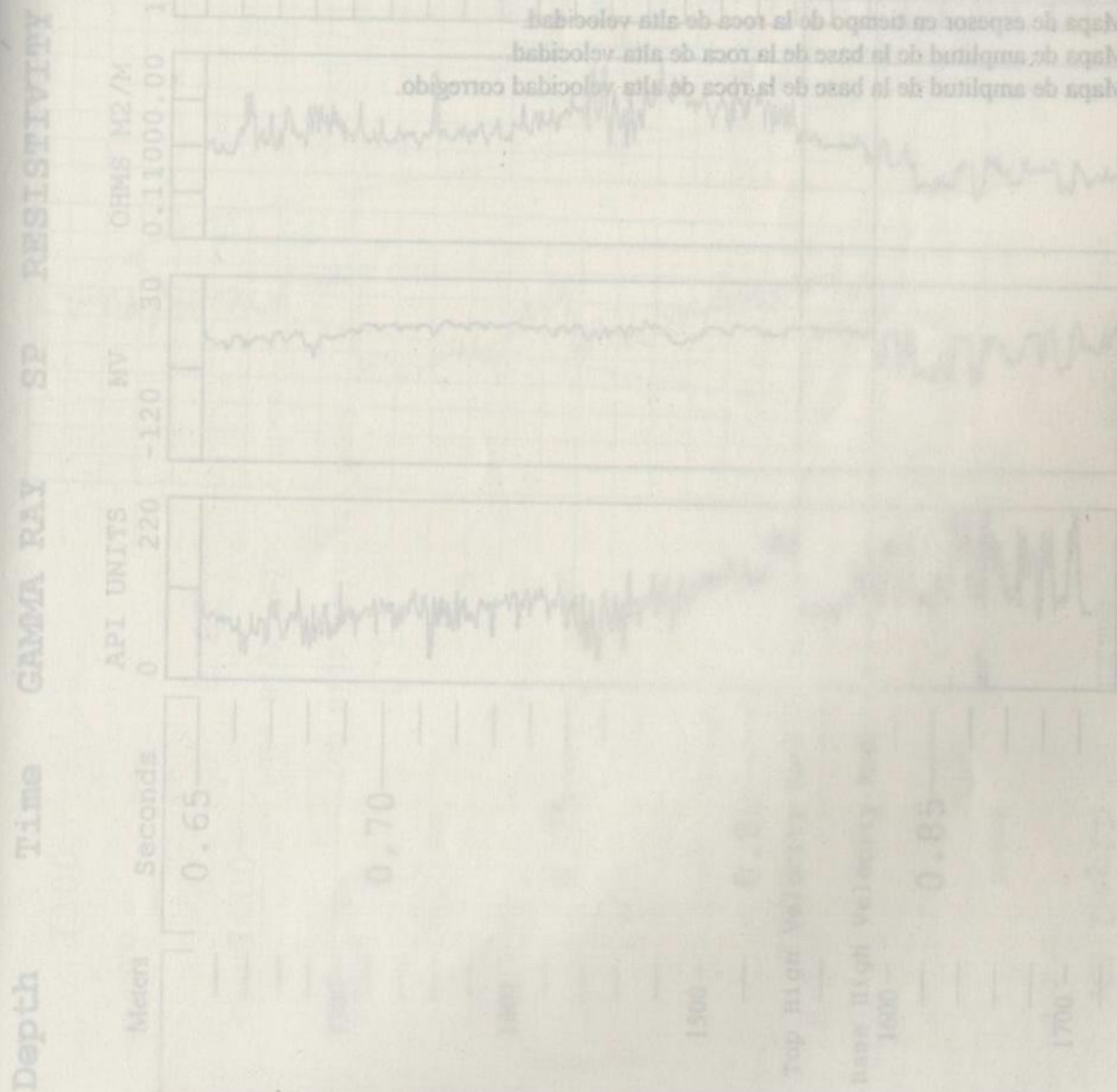
- b) Como es la ondícula, básicamente frecuencia dominante y fase (para el rango normal de frecuencia presente en los datos sísmicos).
- c) El perfil tipo de impedancia acústica.
- Por lo tanto se debe formular cada modelo para cada situación en particular.
- 5) En el caso estudiado el efecto de sintonía era muy evidente y pudo ser tratado convenientemente. Pueden existir otros casos más complejos en donde sea muy difícil o directamente imposible remover el efecto de sintonía.

BIBLIOGRAFIA

AAPG Memoir 42: Alistair R Brown
Geophysical Signal Analysis: Enders Robinson and Sven Treitel

AGRADECIMIENTO

Agradezco a las autoridades de Pioneer Natural Resources la autorización otorgada para la publicación de este trabajo.



FIGURAS

- 1) Pozo: GR, SP, Resistividad, Sónico, Sismograma sintético
- 2) Sónico modelado en tiempo
- 3) Ondícula Ricker utilizada
- 4) Modelado de sección sísmica variando el espesor de la roca de alta velocidad
- 5) Modelo con 100 mseg de separación entre coeficientes
- 6) Modelo con 21 mseg de separación entre coeficientes
- 7) Modelo con 12 mseg de separación entre coeficientes
- 8) Modelo con 6 mseg de separación entre coeficientes
- 9) Curva de respuesta
 - a) Amplitud del tope (se considera tiempo cero) (■)
 - b) Amplitud de la base (a tiempo de la base) (◆)
 - c) Amplitud (máximo) del primer evento negativo después del tope.(♦)
- 10) Cross-plot intervalo de tiempo entre coeficientes vs. intervalo entre eventos.
- 11) Curva de respuesta experimental adoptada.
- 12) Cross-plot datos reales crudos.
- 13) Cross-plot datos reales corregidos por efecto de sintonía.
- 14) Sección sísmica que pasa por el pozo de donde partió el modelo (el pozo esta situado afuera de los mapas de fig. 16, 17 y 18 en dirección NE).
- 15) Sección sísmica en la zona del estudio.
- 16) Mapa de espesor en tiempo de la roca de alta velocidad.
- 17) Mapa de amplitud de la base de la roca de alta velocidad.
- 18) Mapa de amplitud de la base de la roca de alta velocidad corregido.

RESULTADOS

La figura 18 es el mapa de amplitudes corregidas del evento negativo correspondiente a la base de la capa de alta velocidad. Notar que la escala de grises es idéntica a la del mapa de amplitudes sin corregir de la figura 17. Los valores de amplitud se han modificado sustancialmente. Los blancos en el mapa son aquellas zonas donde el espesor de la capa de alta velocidad es menor que 11 ms. y por lo tanto no pudieron ser corregidos. El mapa de amplitud sin corregir (fig. 17) muestra valores pequeños representados en gris claro aproximadamente en el centro del mapa. Esto se debe a que en ese lugar el espesor de la capa de alta velocidad es mayor que en otros lugares y por lo tanto hay menor interferencia (ver fig. 15 y 16). La dependencia de la amplitud con el espesor de la roca de alta velocidad ha disminuido en el mapa de amplitudes corregidas (fig. 18). En algunos lugares en donde antes había mínimos ahora hay máximos.

Nota: La visualización óptima de los mapas de amplitud es por medio del color.

CONCLUSIONES

En el caso analizado, antes de realizar la corrección por efecto de sintonía, el mapa de amplitud era válido para espesores en donde el espesor de la capa de alta velocidad era mayor a 22 mseg. Luego de aplicar la corrección por efecto de sintonía, el mapa de amplitud paso a ser válido para espesores de la capa de alta velocidad que 10 ms.

En los lugares en donde el mapa de amplitud no es válido, aparecen rasgos rutilos en la sección clásica de sintonía. Estos rasgos rutilos aparecen en la sección clásica de sintonía en aquellos lugares en donde el efecto de sintonía es mayor. Estos rasgos rutilos juegan un rol importante como ser: indicadores de la necesidad de aplicar un modelo convolucional.

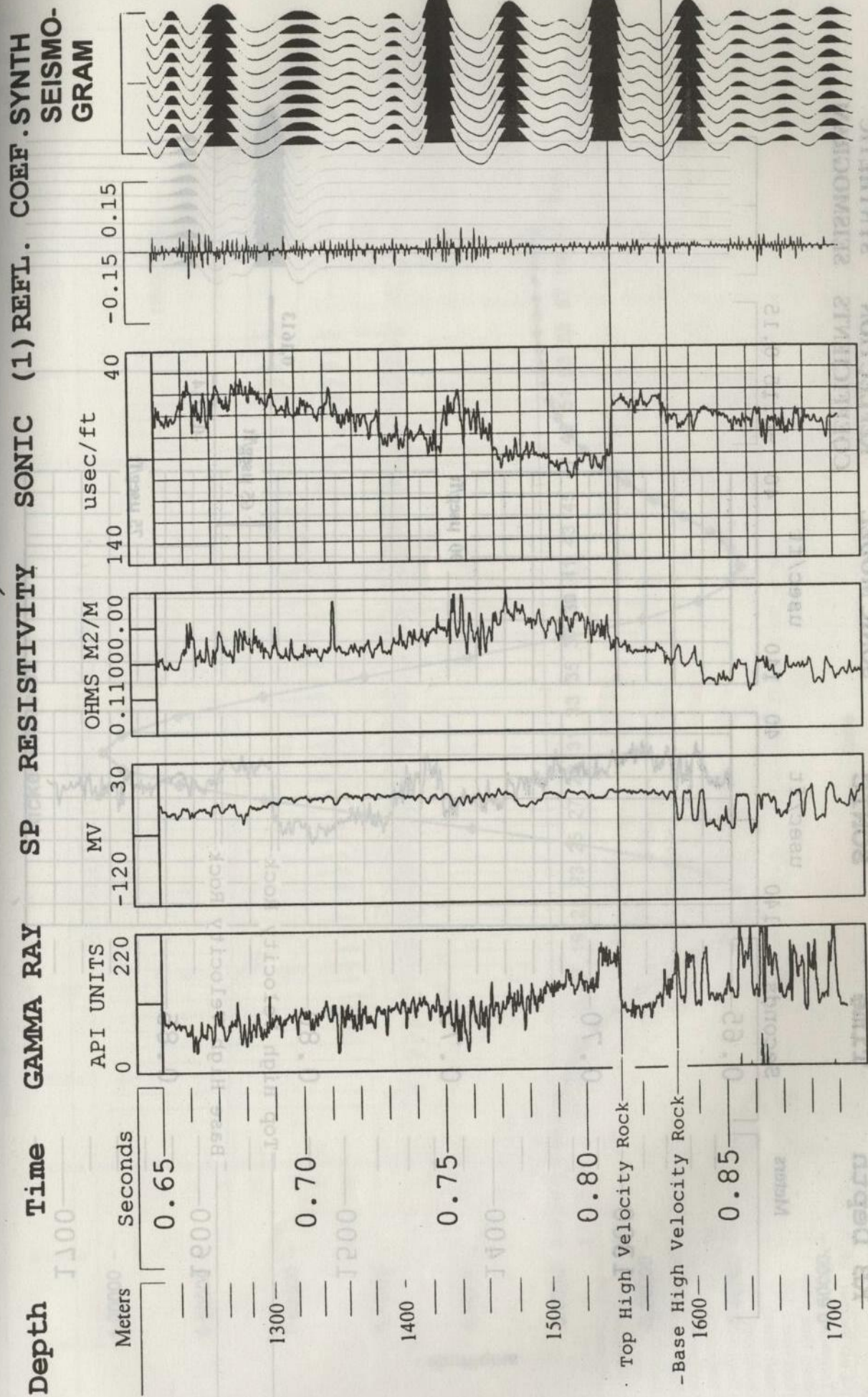
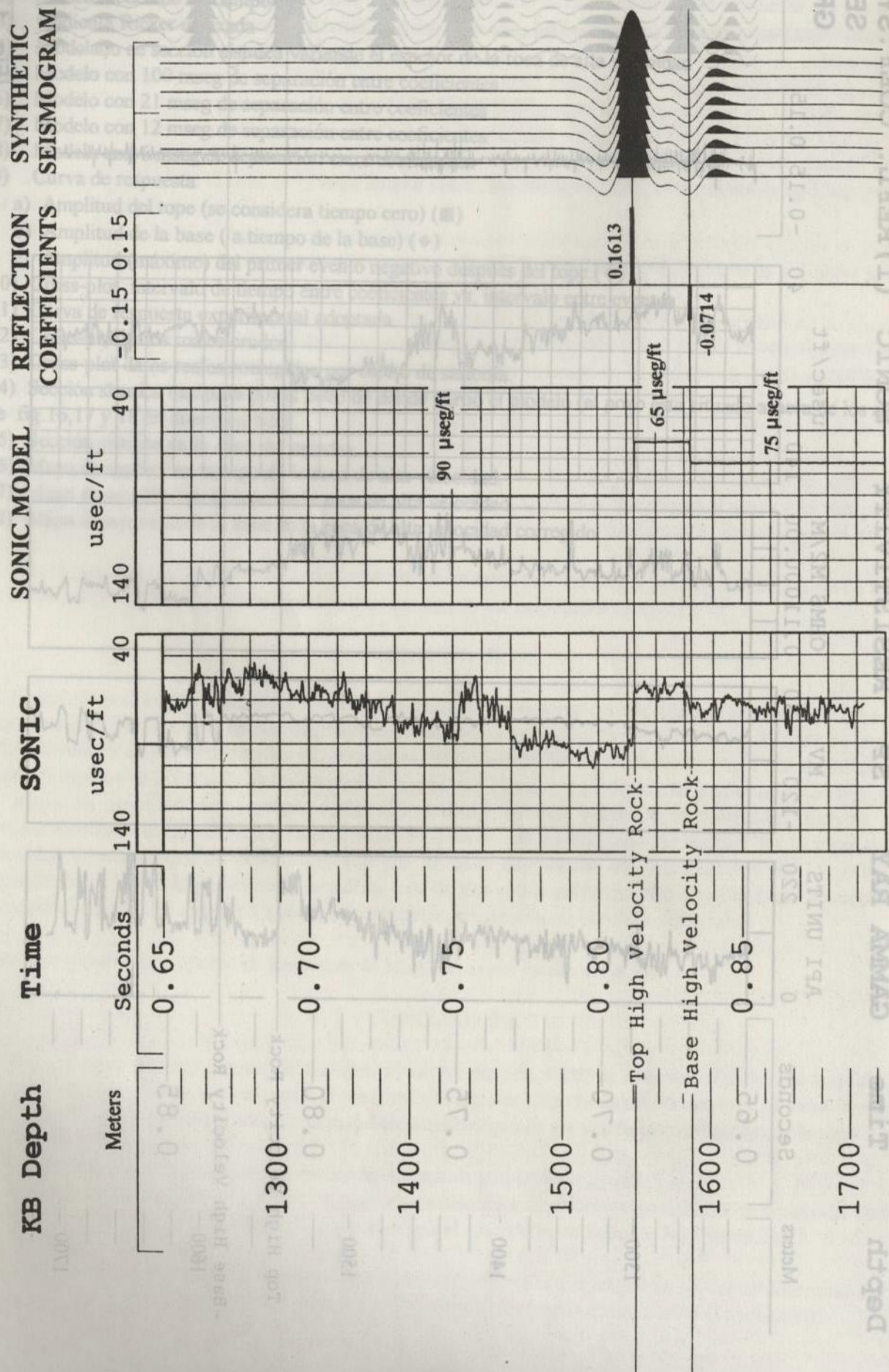
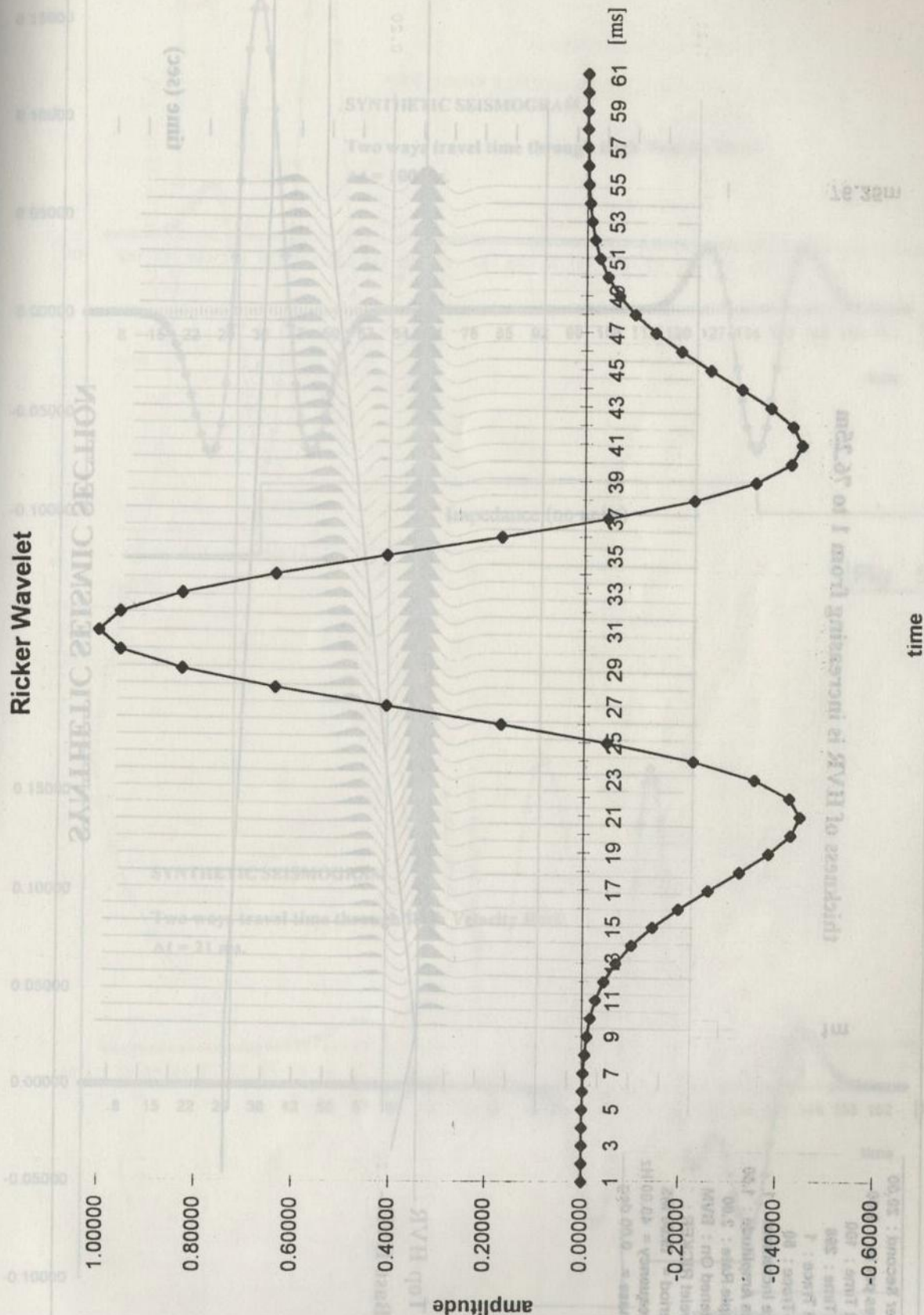


Fig 1



Impedance Domain Reflection Coefficient Domain Amplitude Domain [Fig 2]

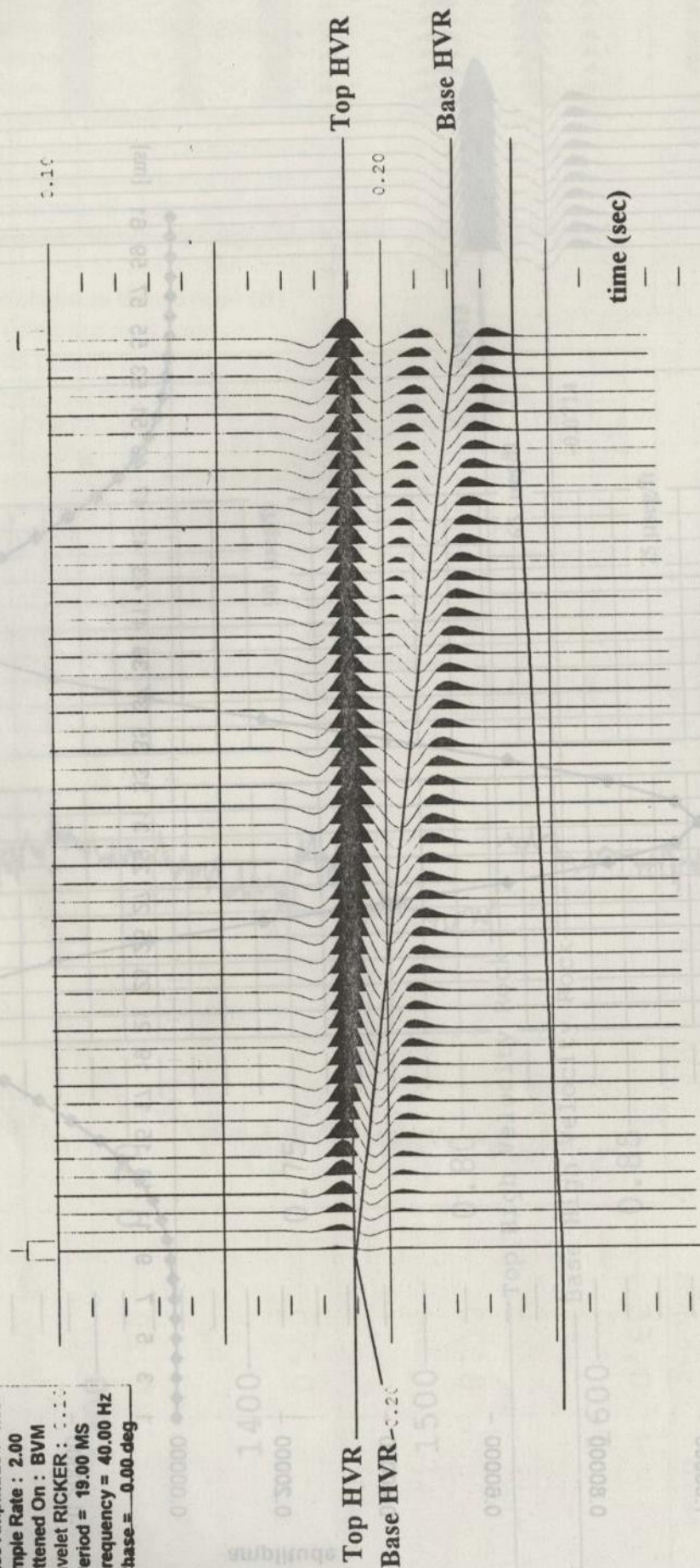
Ricker Wavelet



Ricker wavelet used was zero phase

In. per Second : 20.00
 Traces per in. : 9.00
 Start Time : 100
 End Time : 298
 Start Trace : 1
 End Trace : 50
 Trace Increment : 1
 Trace Amplitude : 1.00
 Sample Rate : 2.00
 Flattened On : BVM
 Wavelet RICKER :
 Period = 19.00 MS
 Frequency = 40.00 Hz
 Phase = 0.00 deg

thickness of HVR is increasing from 1 to 76.25m



SYNTHETIC SEISMIC SECTION

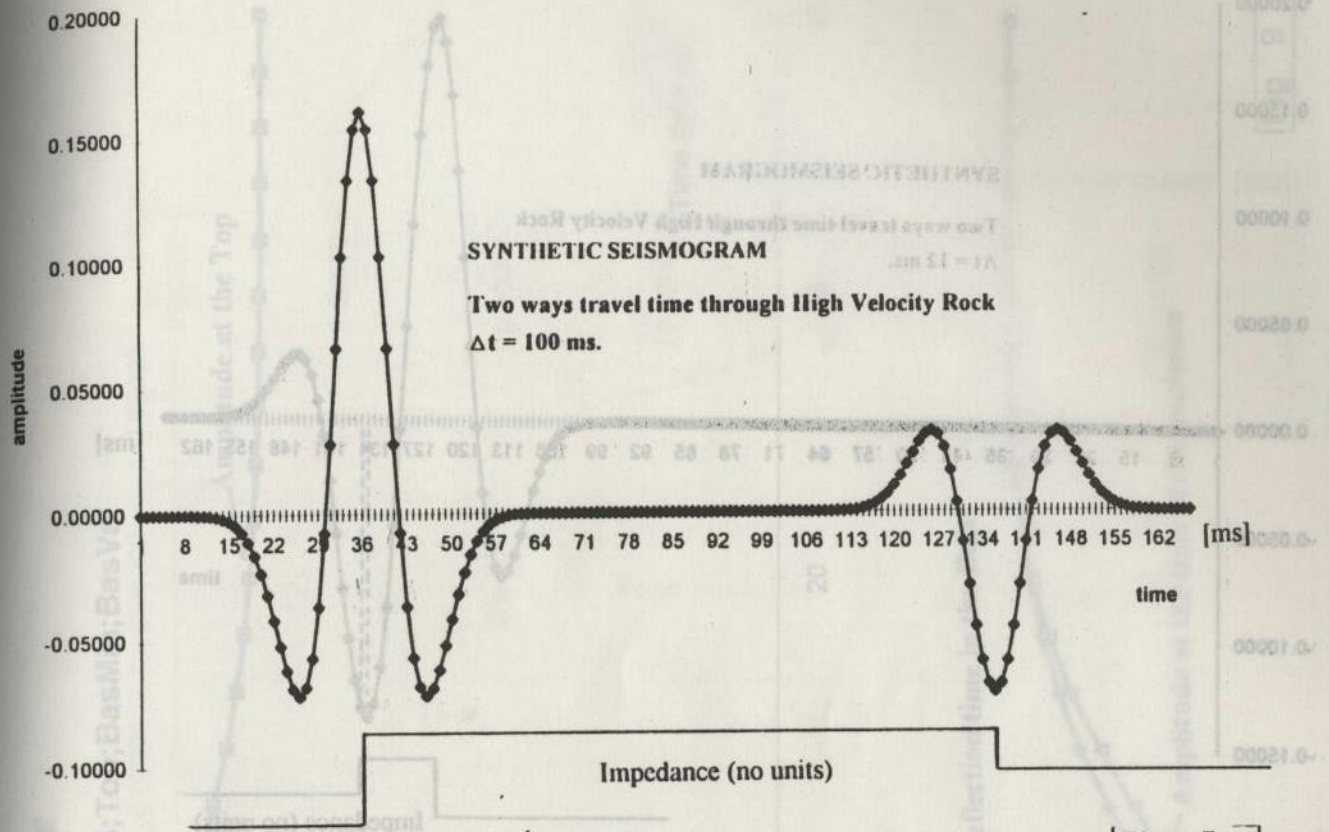


Fig 5

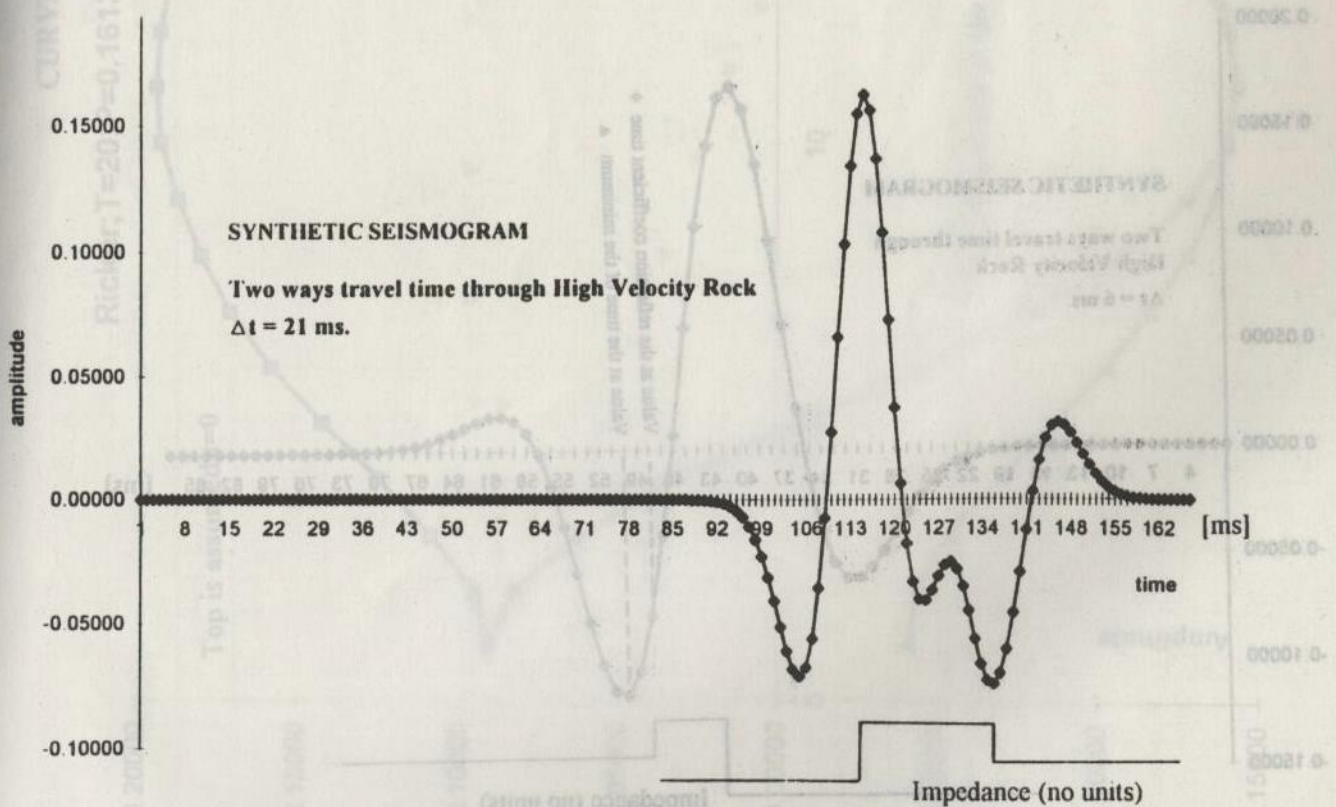


Fig 6

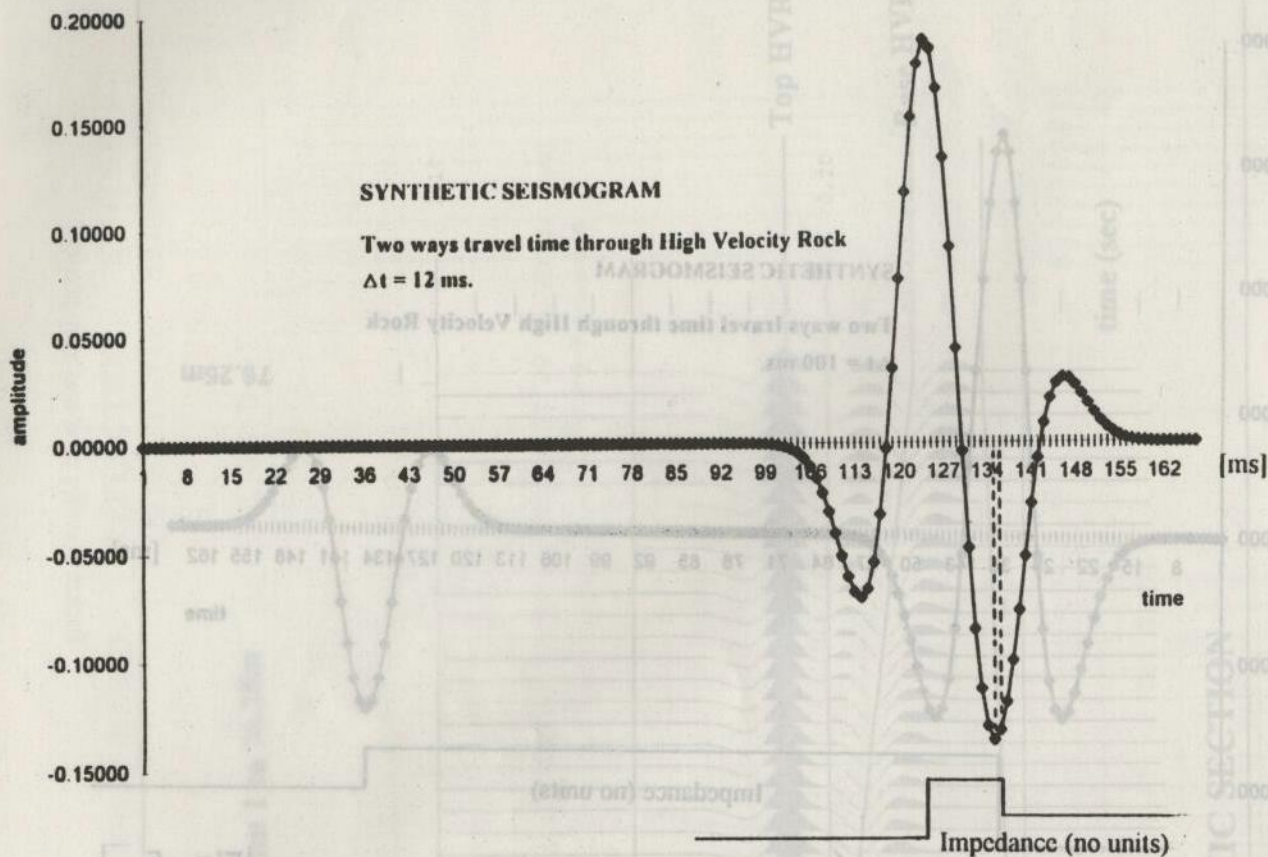


Fig 7

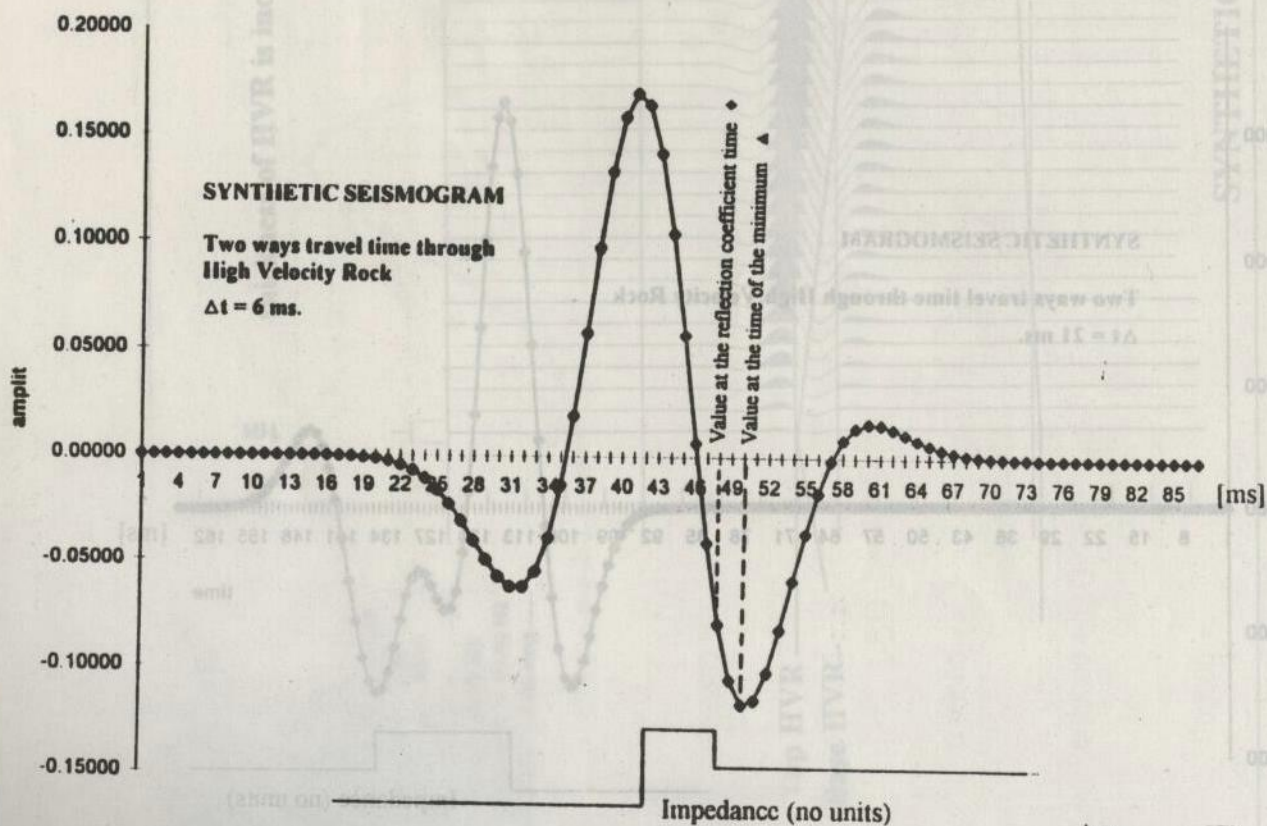


Fig 8

CURVE RESPONSE

Ricker; T=20; P=0.1613; Q=0.0714; Top; BasMin; BasVal

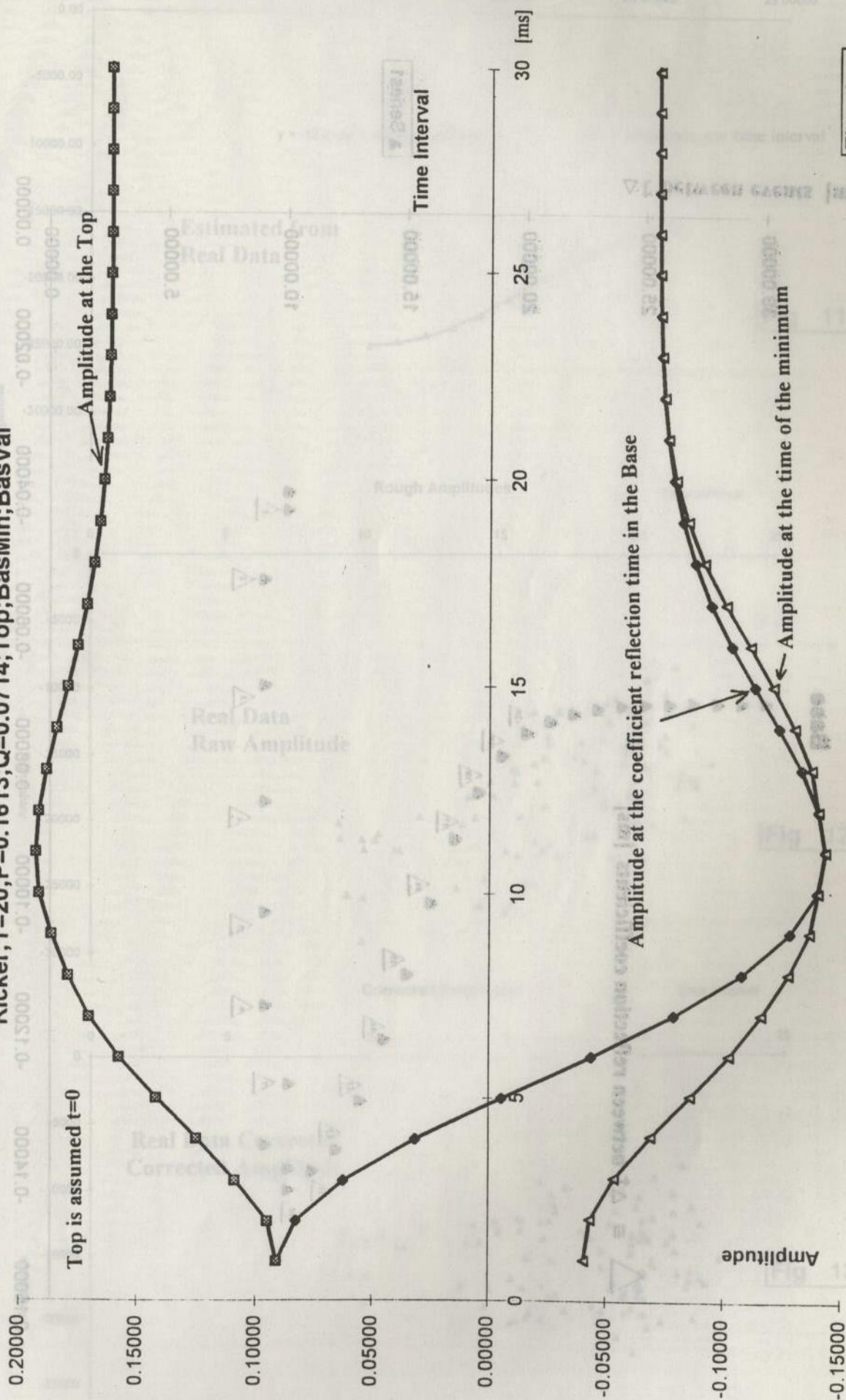
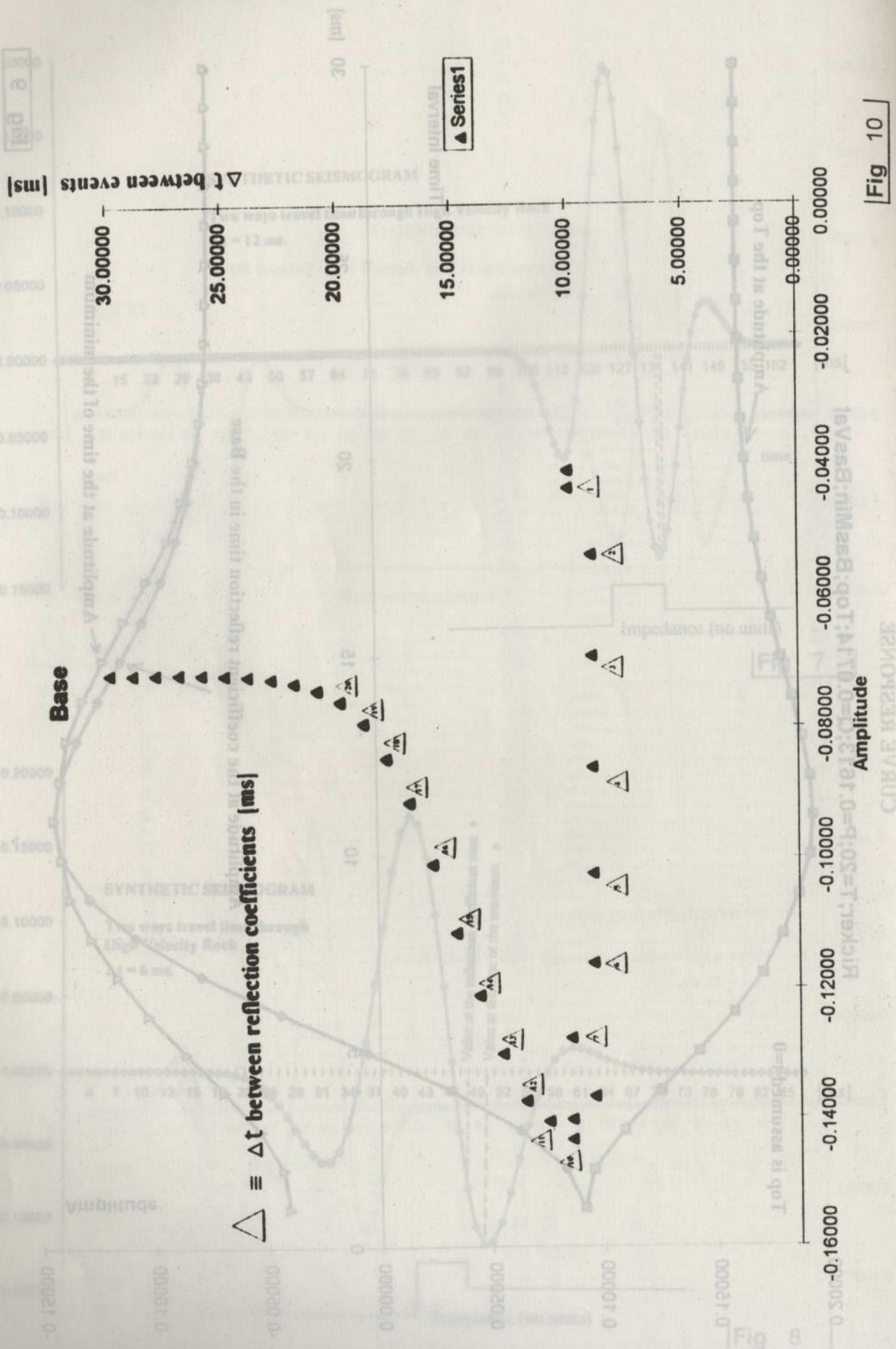


Fig 9



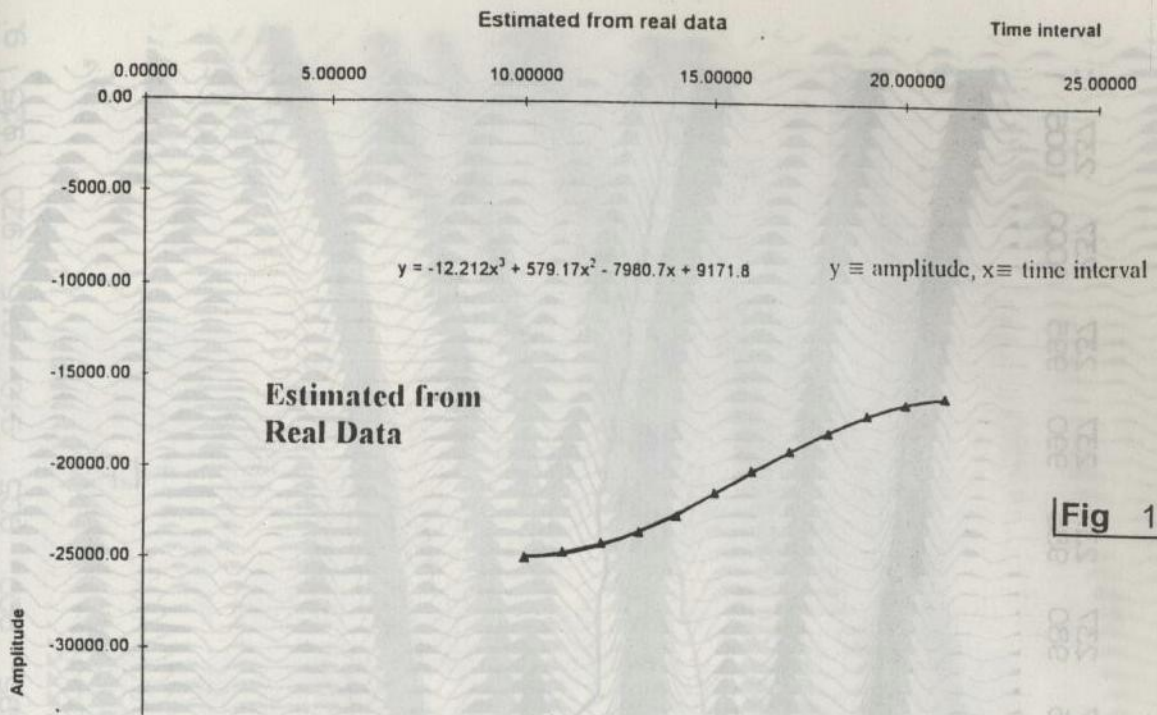


Fig 11

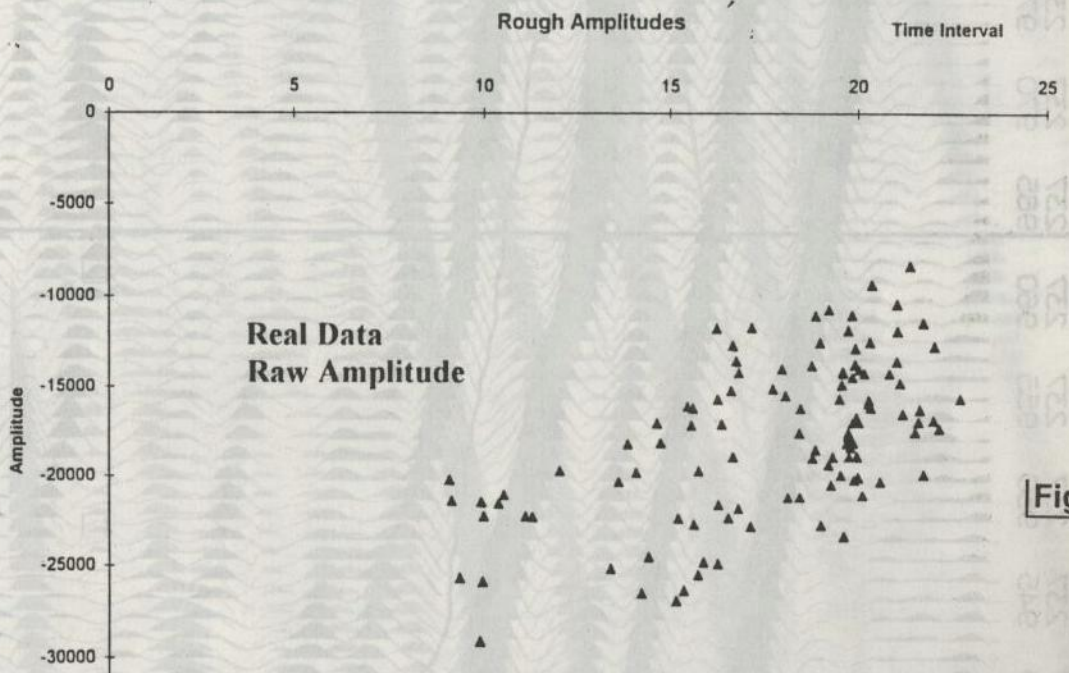


Fig 12

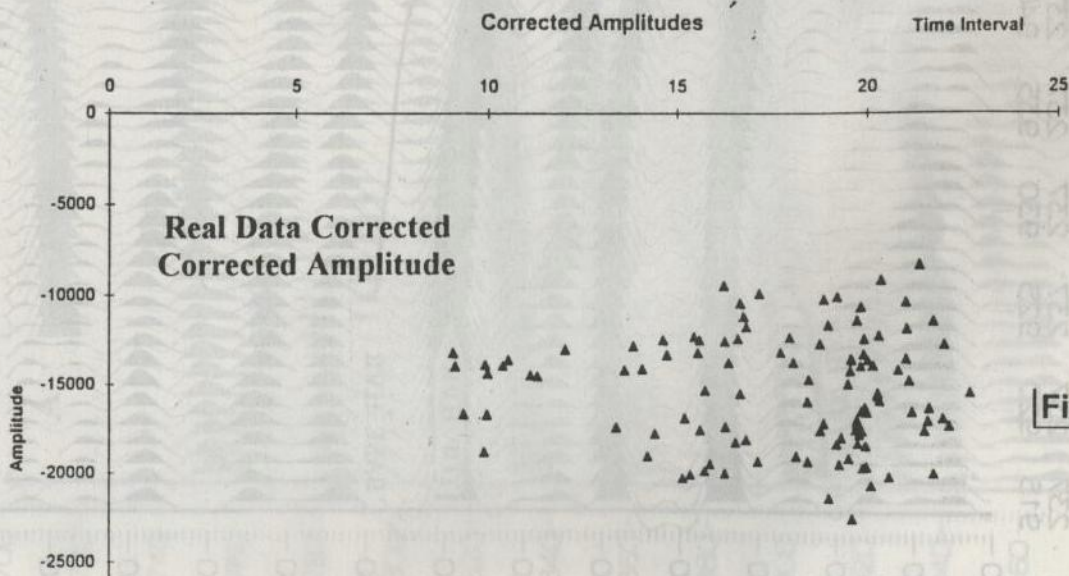
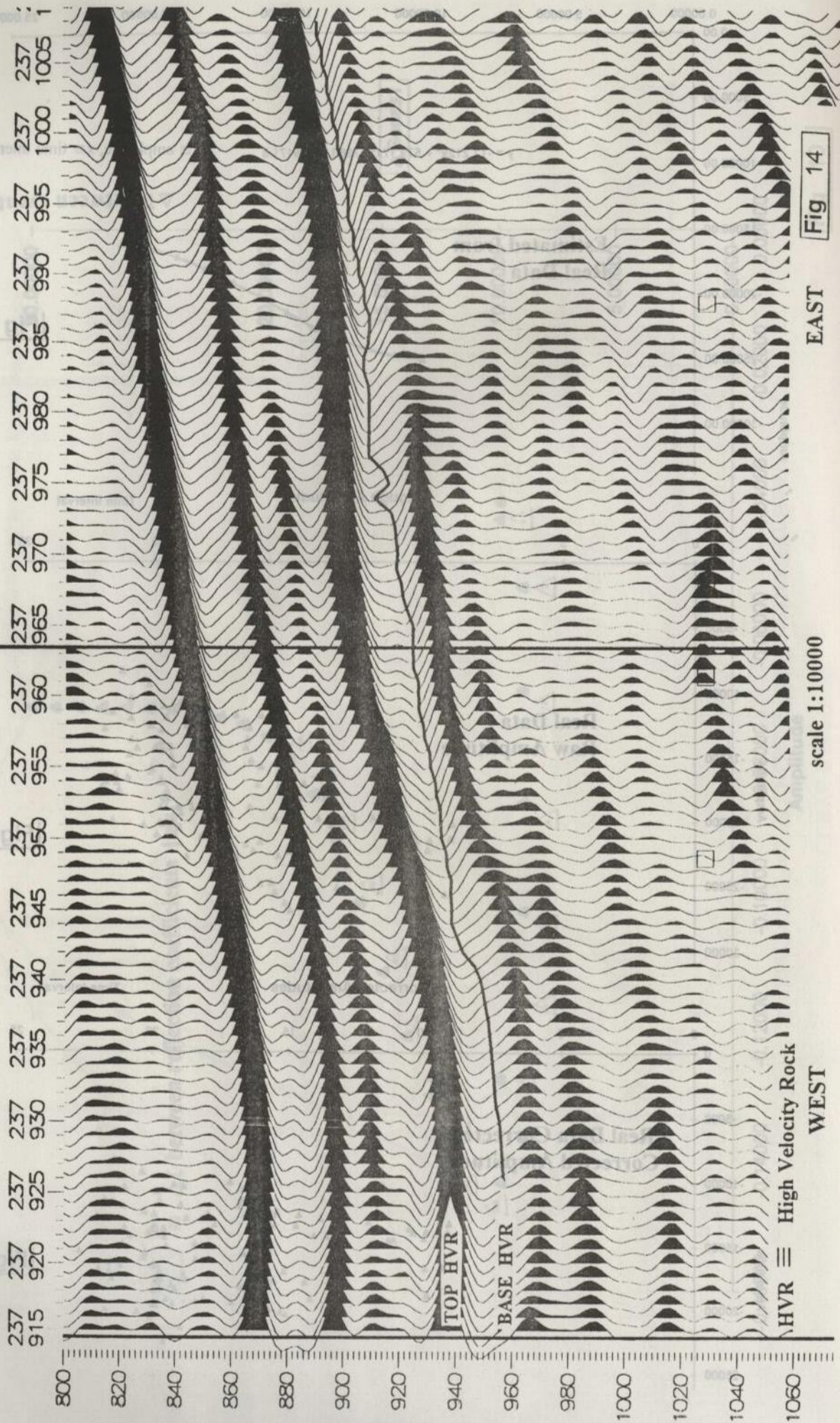
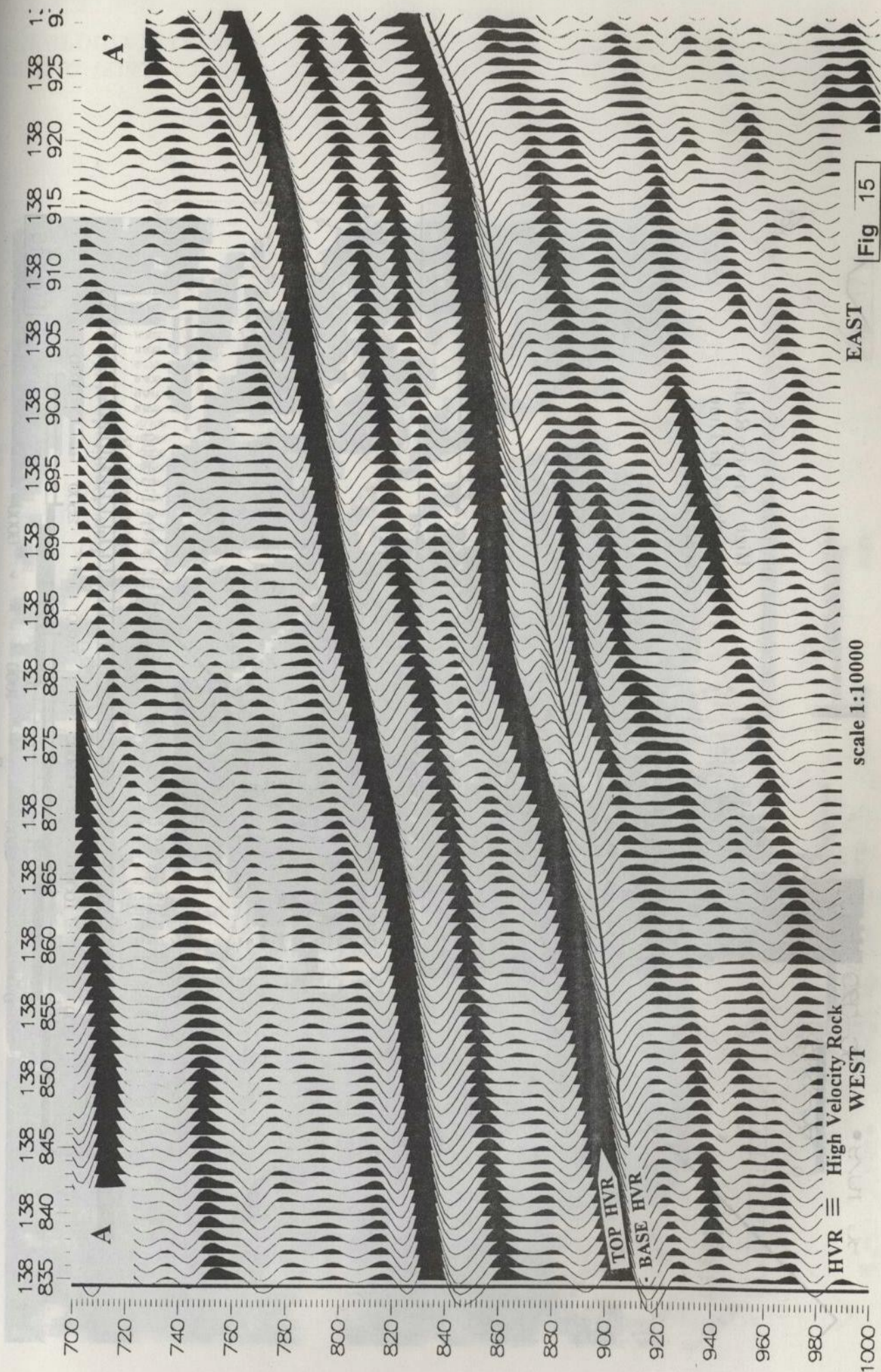


Fig 13

POZO





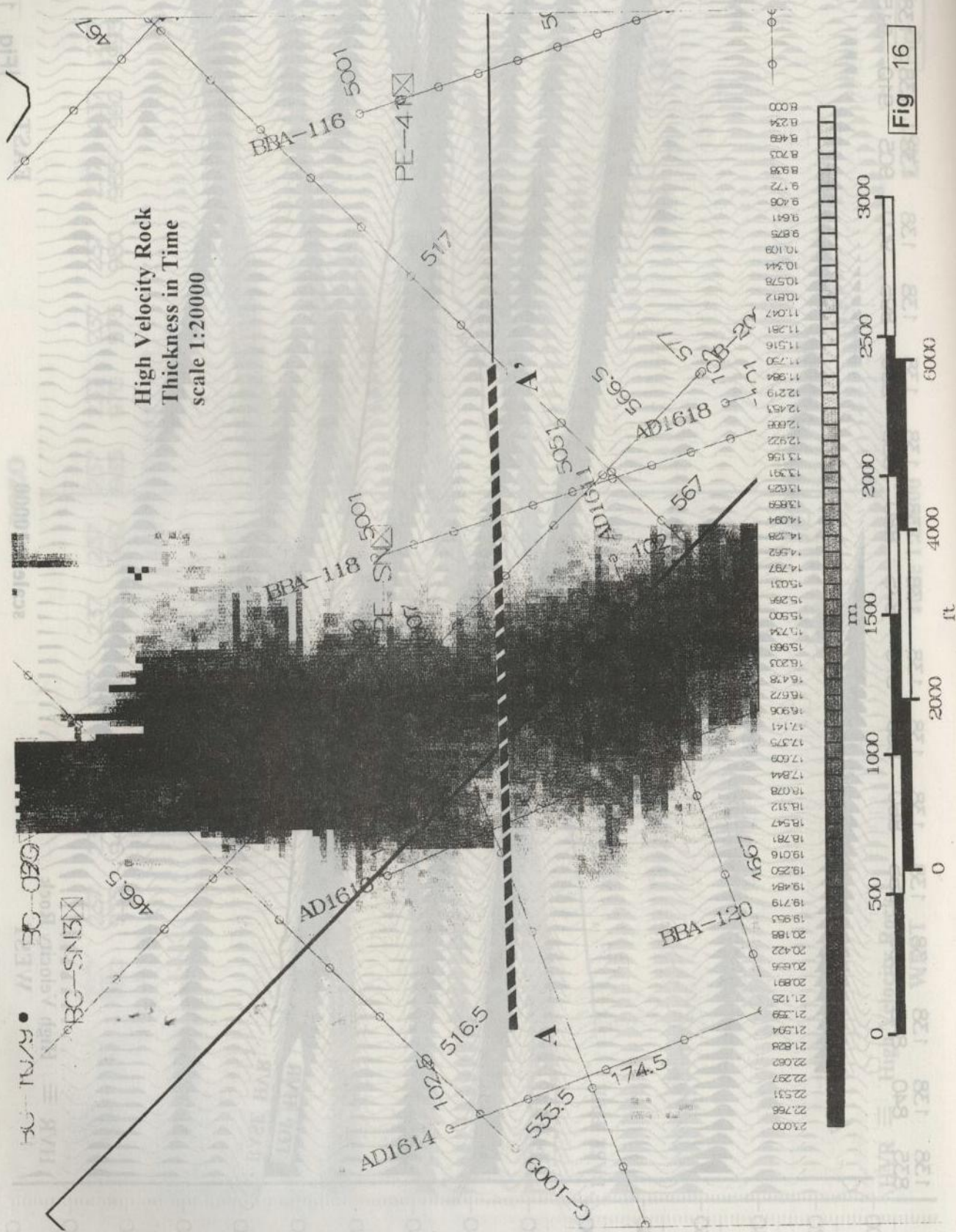
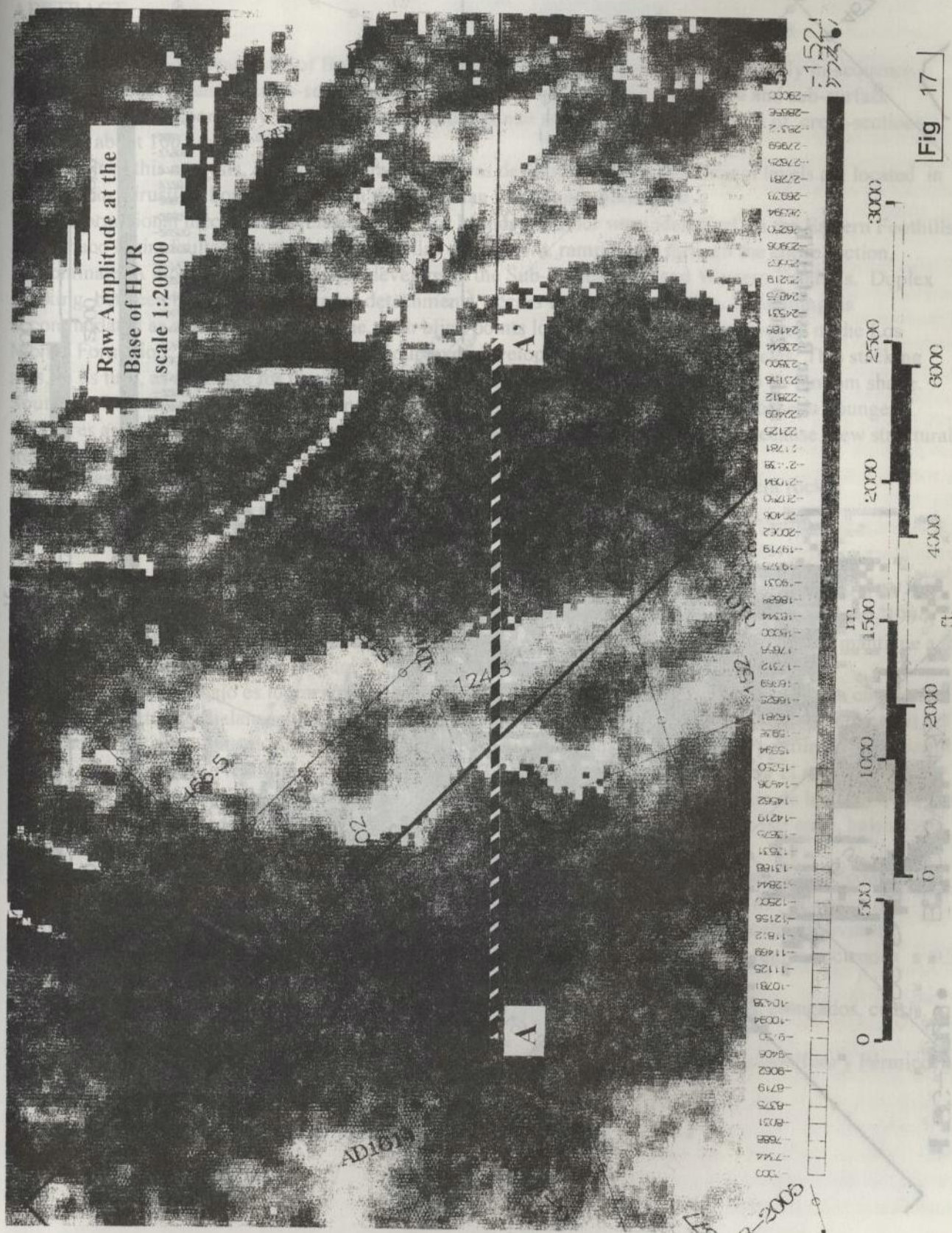


Fig 16



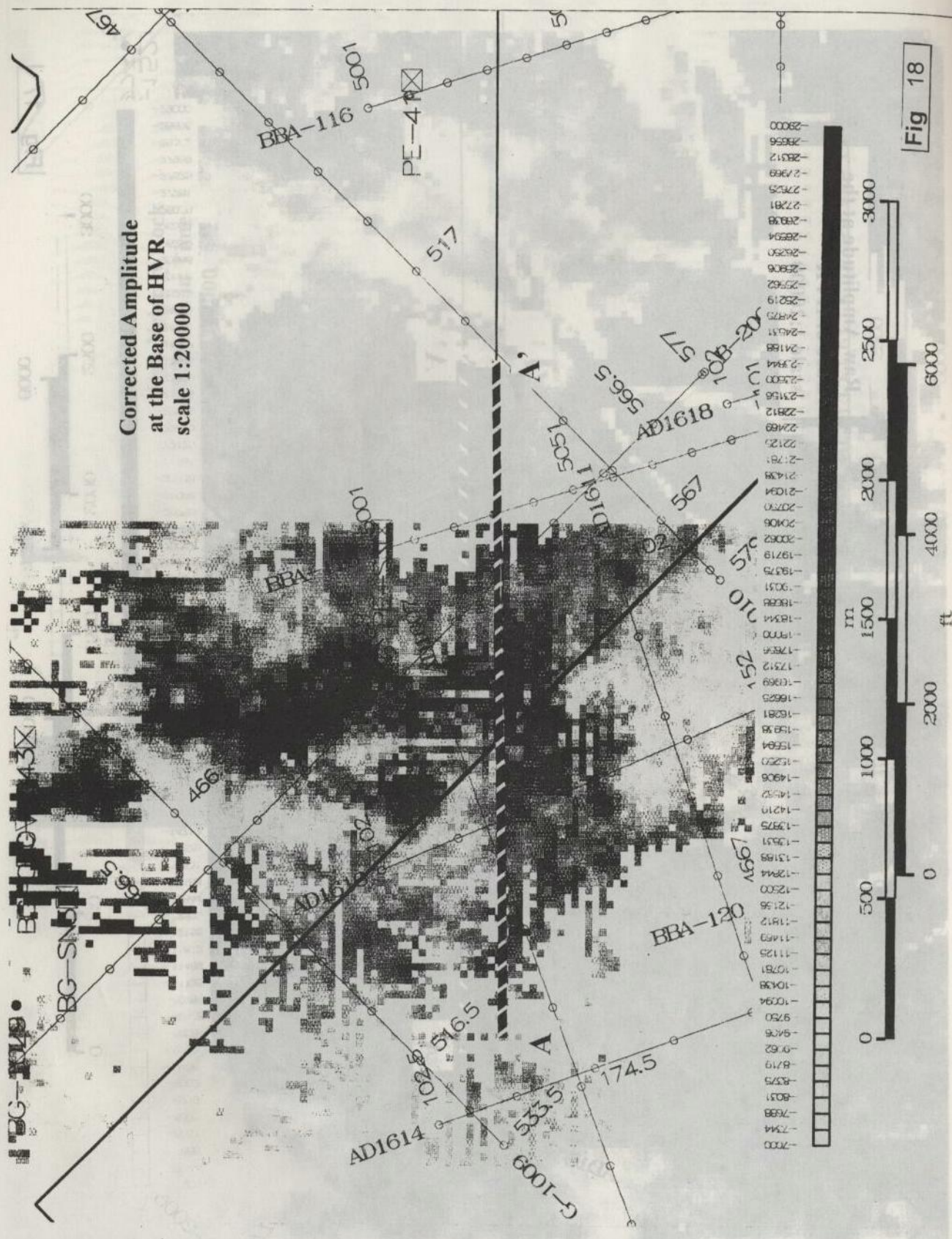


Fig 18