



GEOFISICA EN CAPAS

T O M O I I

PEN

Abril, 1.985

empresa nacional adaro de  
investigaciones mineras, s.a.  
enadimsa

50462

GEOFISICA EN CAPAS. TOMO II

C O N T E N I D O

Anexo 1- "La técnica de Sísmica en capa"

Anexo 2- Documentos complementarios.

A N E X O I

LA TECNICA DE SISMICA EN CAPAS

UNIDAD CENTRAL DE GEOLOGIA

HUNOSA

LA TECNICA DE SISMICA EN CAPA

Octubre, 1.983

- INDICE GENERAL -

	<u>Página</u>
1.- <u>INTRODUCCION HISTORICA</u>	1
2.- <u>DESCRIPCION DEL METODO</u>	13
2.1.- FUNDAMENTO FISICO	13
2.1.1.- <u>Propagación y tipos de ondas</u>	13
2.1.2.- <u>Propiedades de las ondas canalizadas</u>	24
DISPERSION	24
FASE DE AIRY	27
AMPLITUD Y ENERGIA	32
MODOS	34
REFLECTIVIDAD	36
TRANSMISIVIDAD	37
EFECTO DE LA VARIACION DE POTENCIA	39
EFECTO DE LA VARIACION DE VELOCIDAD	42
GRADO DE CONFINAMIENTO	43
2.1.3.- <u>Amortiguamiento</u>	44
2.1.4.- <u>Anisotropía</u>	56
2.2.- TOMA DE DATOS	60
2.2.1.- <u>Tipos de ensayos y metodología</u>	60
FRENTE - FRENTE	60
SONDEO - SONDEO	72
SONDEO - FRENTE	77

	<u>Página</u>
2. 2. 2. - <u>Equipo de registro</u>	77
EQUIPO DE LA NCB	77
MDH	78
SEAMEX 80	84
DAS	89
2. 3. - TRATAMIENTO E INTERPRETACION DE DATOS	92
2. 3. 1. - <u>Datos de transmisión</u>	92
PREPROCESADO	92
SEPARACION DE ONDAS	93
ANALISIS DE LA VELOCIDAD	93
MIGRACION	101
2. 3. 2. - <u>Datos de reflexión</u>	102
PROCESADO	102
MIGRACION	106
SUPERPOSICION	119
3. - <u>APLICACIONES PRACTICAS Y EJEMPLOS</u>	130
3. 1. - FASE DE EXPLORACION	130
3. 2. - FASE DE EXPLOTACION	138
3. 3. - CAPACIDAD DE DETECCION	160
3. 4. - CONCLUSIONES	163
4. - <u>ESTADO ACTUAL Y TENDENCIAS</u>	165
5. - <u>POSIBILIDADES EN ESPAÑA</u>	173
6. - <u>BIBLIOGRAFIA</u>	176

1.- INTRODUCCION HISTORICA

## 1.- INTRODUCCION HISTORICA

En el transcurso de un experimento realizado en 1.955, el geofísico neozelandés F.F. Evison produjo y registró ondas sísmicas en una capa de carbón. El análisis del tren de ondas mostró que se trataba de ondas de tipo Love guiadas por la capa. Evison indicó que las ondas guiadas podrían hallar aplicación práctica en la minería.

Fue la propia industria minera la que, algunos años más tarde, hizo resurgir la idea e impulsó el desarrollo de la sísmica en capa. En efecto, las hulleras centroeuropeas, una vez agotadas prácticamente sus reservas próximas a la superficie, se vieron obligadas a explotar capas más profundas. Esto se llevaba a cabo, desde principios de la década de los 50, por el método de frente largo en avance, altamente mecanizado.

La experiencia adquirida pronto mostró que el laboreo por frente largo mecanizado proporcionaba excelentes resultados si la capa no se veía interrumpida por perturbaciones geológicas. Sin embargo, la presencia de éstas, por ejemplo fallas y otras irregularidades de menor importancia, ocasionaba serias dificultades a la explotación. En efecto, una falla con un salto igual a o ligeramente mayor que la potencia de la capa, poco importante desde un punto de visto tectónico, conduce a un nuevo emplazamiento del frente, o incluso a su abandono prematuro. Las pérdidas económicas son muy cuantiosas en ambos casos, dada la elevada inversión que requiere un frente largo y la pérdida de producción causada.

Por tanto, se hizo evidente que un conocimiento detallado de la estructura geológica de las capas, en especial de la presencia de fallas, previamente a su explotación, mejoraría sustancialmente la planificación de la mina.

En 1.960, el geofísico alemán Theodor Krey comenzó a estudiar el problema. Pronto comprendió que el empleo de sísmica de reflexión con ondas P y S convencionales, tanto desde la superficie como en interior, sería incapaz de detectar fallas con un salto del orden de 2 m. La razón es sencilla: las longitudes de onda más pequeñas de las ondas P y S resultan demasiado largas para ser eficazmente reflejadas por un plano de falla como el descrito. En éste, sólo un pequeño porcentaje del total está ocupado por contactos carbón-roca, y presenta por tanto contraste de impedancia acústica (Figura 1.1).

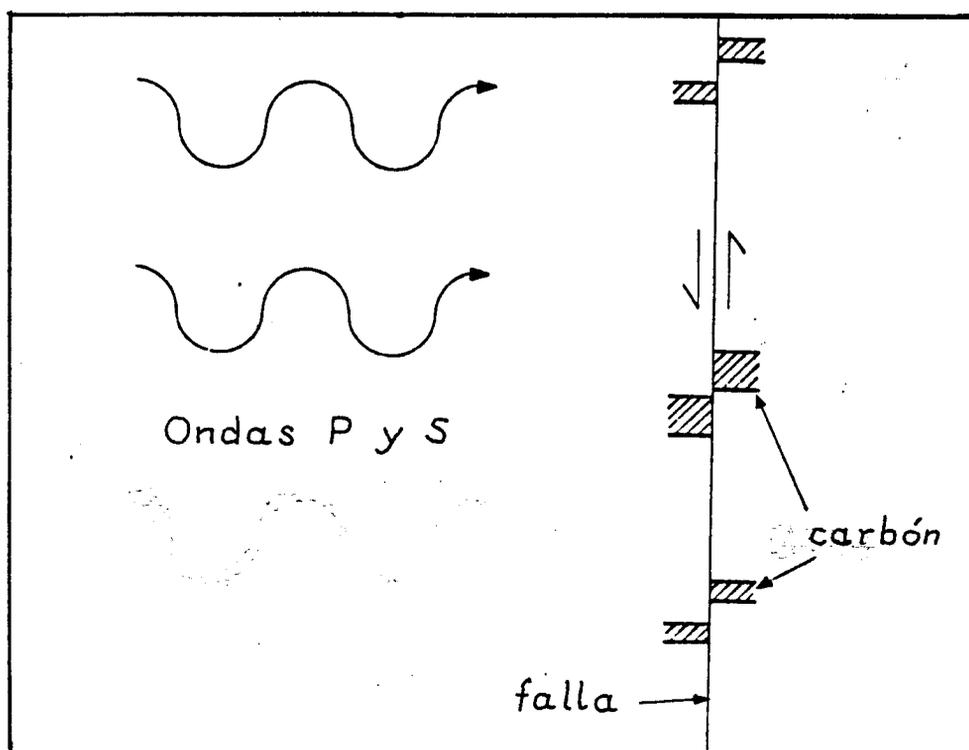


FIGURA 1.1

Krey sugirió entonces por primera vez el empleo de la sísmica en capa para mejorar la eficacia de los frentes mecanizados. = Al estudiar las propiedades físicas del carbón y de la roca, comprobó que el carbón tiene una densidad y una velocidad de propagación = comparativamente bajas respecto a la roca de los hastiales. Se dio = cuenta de que una capa de carbón podría funcionar como un canal de = baja velocidad sísmica y constituir una excelente guía para las ondas sísmicas.

Por lo tanto, el principio de la técnica de sísmica en capa es sencillo. La geometría del método de sísmica de reflexión desde superficie puede ser girada 90°, disponiendo fuentes y detectores en galerías o frentes de mina, según un plano horizontal. En tal caso, puede investigarse la existencia de fallas, generando ondas guiadas = por la capa y registrando las reflexiones producidas en las fallas.

Con el fin de poner en práctica estas ideas, la compañía = SEISMOS GmbH, de Hannover, llevó a cabo un programa de investigación. Las primeras pruebas con éxito tuvieron lugar, a finales de = 1.960, en la mina Ensdorf de la región del Sarre. En tales ensayos se comprobó la existencia de ondas en capa y además se registraron = ondas de este tipo reflejadas.

Como consecuencia de estas investigaciones, Krey (1.963) publicó un artículo clásico, en el que sentó el fundamento teórico de la propagación de ondas sísmicas en capas de carbón, y dio cuenta de las primeras observaciones de ondas canalizadas en capas.

No obstante, el progreso subsiguiente en la técnica de = sísmica en capa fue más bien lento. Diversos factores contribuyeron

a ello. Primeramente, había razones de carácter coyuntural : la industria del carbón se encontraba en un mal momento, y no existía = incentivo suficiente para crear un servicio especializado. Por otra = parte, no se acertó a reconocer que la nueva técnica difería sustan = cialmente de las técnicas sísmicas entonces en uso, tanto en sus ob = jetivos y realización como en la naturaleza de las ondas empleadas.

Asimismo, razones de tipo técnico dificultaron un progre = so más rápido. En efecto, se presentó el problema de la homologación de los equipos. Los primeros ensayos en el Sarre se habían llevado = a cabo con aparatos no antideflagrantes. A la vista del éxito alcanza = do, se decidió construir un instrumento de medida analógica antidefla = grante. Tras varios años de esfuerzos, en 1.966 fue homologado un = aparato GSU-01 (Figura 1.2).

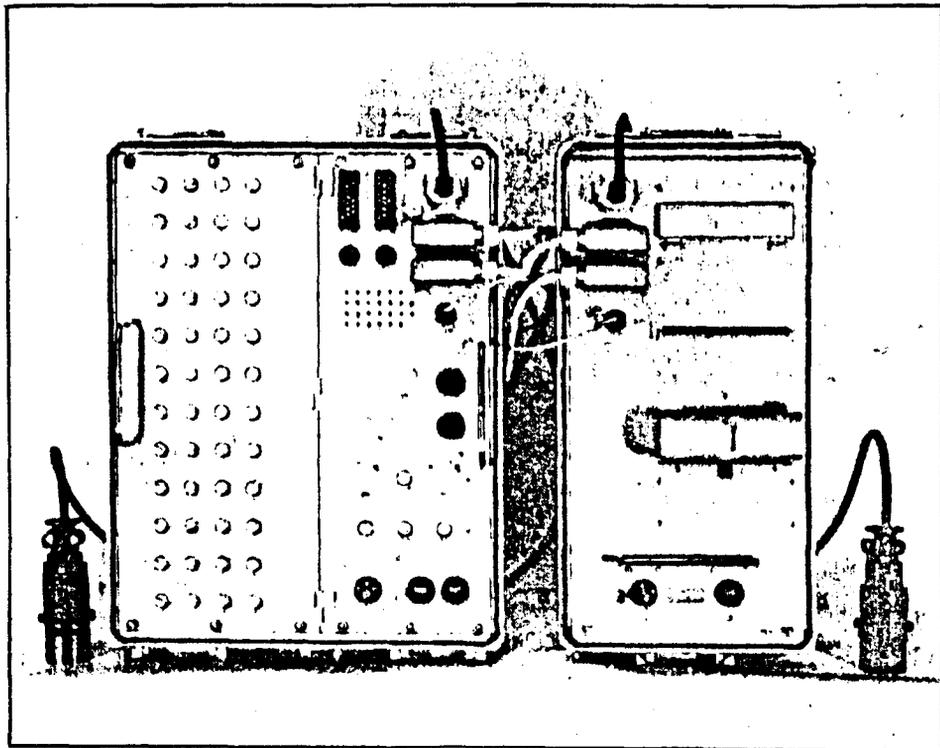


FIGURA 1.2

En el mismo año se inició una serie de pruebas en minas = de la Cuenca del Ruhr. Nuevamente se observaron ondas en capa y on das en capa reflejadas. La magnitud de la campaña y el posterior = desarrollo de labores mineras permitieron comprobar por primera vez de forma sistemática la capacidad de la sísmica en capa para predecir la existencia de fallas. Según Brentrup (1.970), durante los tres pri meros años, la detección de fallas mediante el análisis de las ondas en capa reflejadas alcanzó un porcentaje de éxito del 66 %.

Pronto se advirtió que las ondas en capa no sólo podían = ser utilizadas para provocar reflexiones. Fue ideado entonces un = nuevo tipo de ensayo, denominado de transmisión. En él, siempre que la disposición de la mina lo permita, las fuentes sísmicas y los detec tores se colocan en galerías paralelas que limitan un panel de carbón, o bien en el frente y una galería. Si una falla desplaza la capa en tre la fuente y el detector, a éste no llegan señales sísmicas de on das en capa, o lo hacen muy debilitadas. Conforme a los resultados de Brentrup, el porcentaje de predicciones positivas por ondas en capa = transmitidas era del 83 %, bastante prometedor.

Entre 1.966 y 1.976 las compañías SEISMOS GmbH y = PRAKLA - SEISMOS GmbH llevaron a cabo varios cientos de pruebas de sísmica en capa en diversas minas de Alemania, Francia y Gran Bre taña. Además de la mencionada campaña en el Ruhr, merecen ser cita das otras en el Norte de Francia y el Sarre.

Los ensayos realizados en la Cuenca del Norte-Paso de = Calais, desde 1.968 hasta 1.970, obtuvieron resultados aceptables. La

detección de fallas por ondas reflejadas fue en general satisfactoria, con alcances de hasta 100 veces la potencia de la capa. El procedimiento de transmisión permitió localizar correctamente algunos de los denominados " pozos naturales ", pero se mostró incapaz de predecir la presencia de esterilidades en capa.

Unas pruebas realizadas en 1.968 y 1.969 en el Sarre introdujeron novedades en el procedimiento de transmisión. La fuente sísmica fue emplazada en un sondeo que había atravesado una capa. A fin de comprobar si ésta era la misma que se estaba explotando en un frente, se colocaron en éste los detectores. Pese a que el frente distaba 1.200 m del sondeo, se apreció con claridad la llegada de ondas en capa. La conclusión de que la capa en ambos lugares era la misma, y que su continuidad no se veía interrumpida por fallas, fue corroborada posteriormente por el avance de la explotación minera. Sobre la misma capa se llevaron a cabo en 1.976 ensayos de transmisión sondeo-frente a larga distancia. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios con alcances de hasta 2.700 m, equivalentes a 800 veces la potencia de la capa.

A comienzos de la década de los 70 se hizo evidente que el equipo de registro analógico resultaba insuficiente con miras al futuro.

Por una parte, había llegado a su límite en cuanto a alcance. En efecto, la velocidad de explotación por frente largo se había incrementado bastante, hasta lograr avances de 10 m diarios. Bajo estas condiciones, la capacidad de penetración de las ondas canalizadas registradas por el equipo analógico se quedaba corta.

Existía asimismo una desventaja no menos importante. La imposibilidad de registrar y almacenar datos en cinta magnética impedía el desarrollo y aplicación de métodos numéricos de tratamiento de datos similares a los empleados en sísmica de reflexión petrolera. Esto fue subsanado en ocasiones digitalizando los registros fotográficos de sismogramas, lo que permitió su tratamiento por ordenador mediante técnicas tales como la superposición de trazas y la correlación cruzada.

A partir de 1.971, se realizaron pruebas en la cuenca del Ruhr para comparar los resultados obtenidos digitalizando registros analógicos del equipo GSU-02 con los proporcionados por los equipos digitales DFS II, III y IV, de TEXAS INSTRUMENTS. Naturalmente, estos últimos eran aparatos concebidos para la sísmica petrolera, y por tanto, carentes de protección antideflagrante. Debido a esto, hubieron de ser utilizados en zonas no grisutosas.

Los resultados de dicha campaña evidenciaron la necesidad de construir un equipo de registro digital antideflagrante. La iniciativa partió de la compañía BERGBAUFORSCHUNG GmbH, de Essen, en 1.974. Gracias al trabajo conjunto de varias firmas e instituciones docentes alemanas, el sistema fue puesto a punto y homologado en 1.977.

El sistema, denominado MDH, es una adaptación del DFS V de TEXAS INSTRUMENTS, al que se han añadido algunas unidades periféricas y protección antideflagrante. Incorpora además geófonos neumáticos de dos componentes horizontales.

Simultáneamente a estos logros, en Alemania se llevaron a cabo investigaciones en el campo teórico, relativas a la propagación de ondas en capa, mediante modelos analógicos.

Al disponer de un equipo de registro digital, ha sido posible aprovechar para la sísmica en capa los grandes adelantos de los métodos numéricos de tratamiento de datos, puestos a punto por la geofísica del petróleo. Desde entonces, el avance ha sido espectacular.

Los investigadores alemanes han contribuido a desarrollar los métodos de tratamiento de datos en campos tales como el análisis de velocidad, rotación de componentes, superposición de envolventes de trazas, migración, deconvolución y recompresión de trenes de ondas, entre otros.

En el plano práctico, se ha llevado a cabo desde 1.978 un programa de investigación, utilizando el equipo de registro digital. Las pruebas, destinadas a detectar fallas por reflexión, han tenido lugar en las cuencas del Ruhr, Sarre y Lorena. Se han localizado con éxito fallas alejadas del frente hasta 200 veces la potencia de la capa, y con un buzamiento respecto a la capa superior a 30°. Un ensayo realizado en la India para detectar labores abandonadas no tuvo éxito.

Recientemente, el Instituto de Geofísica de la Universidad del Ruhr ha desarrollado un nuevo equipo de registro digital para uso en interior de mina. El aparato, denominado SEAMEX 80, incorpora diversas mejoras técnicas, y se caracteriza por el hecho de que todas las unidades que lo componen son intrínsecamente seguras.

A partir de la década de los 70, paralelamente al desarrollo alemán y coincidiendo en gran medida con el resurgir de la industria del carbón, otros países han producido tecnologías de sísmica en capa. Cabe reseñar entre ellos al Reino Unido, Estados Unidos, algunas naciones del Este (Polonia y Checoslovaquia), y Australia.

En el Reino Unido, la NATIONAL COAL BOARD ha realizado un esfuerzo considerable, a través de su Dirección de Investigación y Desarrollo Minero, y en colaboración con varias universidades.

El problema básico era también disponer de una técnica que permitiese la localización de discontinuidades tectónicas en capas de carbón algunos centenares de metros por delante del frente de explotación.

En el campo teórico, se ha llevado a cabo investigación sobre la propagación y amortiguamiento de ondas en capa, mediante modelos tanto matemáticos como físicos.

Los ensayos en interior de mina se realizaron empleando un equipo de registro digital no homologado, con autorización especial y bajo medidas de seguridad adicionales. De hecho, la NCB contó con un equipo de estas características con anterioridad a la puesta a punto del sistema MDH alemán. A fines de la década de los 70 se adaptó para el uso en interior un aparato originalmente diseñado para la sísmica desde superficie, el SERCEL SN338B. Las únicas unidades intrínsecamente seguras del sistema son los detectores.

La labor de los investigadores británicos ha sido notable, durante los últimos años, en los capítulos de tratamiento e interpretación de datos. En especial, merecen reseñarse los progresos en los

campos del análisis de dispersión, deconvolución, migración y superposición de trazas. En los dos últimos, se han desarrollado métodos = propios, específicamente concebidos para la sísmica en capa.

En la práctica, la NCB utiliza regularmente los resultados de la sísmica en capa como una herramienta más en la planificación = minera. Se han localizado fallas a distancias de 400 m por delante del frente. Estadísticamente, el reconocimiento mediante labores mineras ha proporcionado un porcentaje de éxito en la predicción de fallas = del 80 %.

Las primeras pruebas de sísmica en capa en Estados Uni-- dos se llevaron a cabo en 1.974, de sondeo a sondeo, y estaban des-- tinadas a comprobar la continuidad de una capa de carbón. Durante = los años siguientes, la Escuela de Minas de Colorado realizó un impor-- tante esfuerzo de investigación teórica sobre las ondas guiadas en = capa, particularmente en el desarrollo de modelos matemáticos de or-- denador de la propagación de tales ondas.

El primer frente largo en avance de los Estados Unidos = comenzó a funcionar en 1.976, en la mina Dutch Creek 1 (Colorado). = Las primeras pruebas de sísmica en capa se llevaron a cabo en 1.977, y han continuado en años posteriores. Su finalidad no solo era detec-- tar discontinuidades, sino también determinar propiedades físicas del carbón y de la roca. Los equipos de registro utilizados fueron el = NIMBUS ES - 1210 F y el BISON 1580-1.

Los investigadores norteamericanos realizaron con éxito, = en 1.979, unos ensayos de sísmica en capa entre dos sondeos distantes 240 m, en la cuenca Zulia (Venezuela). La serie estratigráfica de esta cuenca es terciaria.

En el plano teórico, se han desarrollado métodos de análisis generalizado de rayos sísmicos para la interpretación de datos. Asimismo, se han utilizado técnicas de inversión para la detección de fallas en capas de gran potencia.

Recientemente, la técnica de sísmica en capa se ha probado en minas del Este de Estados Unidos, para determinar la continuidad de las capas de carbón.

Por último, en Australia, la compañía BROKEN HILL PROPRIETARY (BHP), ha iniciado en 1.980 un programa de investigación para incorporar la tecnología de sísmica en capa. Dicho programa, cuya terminación está prevista para 1.986, ha sido desarrollado en colaboración con universidades australianas, y con la asistencia del grupo de sísmica en capa de la NCB británica.

El programa comprendía el desarrollo de tecnología propia en el diseño y fabricación de equipos, tratamiento de datos, y metodología de ensayos.

La problemática australiana en relación con la sísmica en capa difiere de la europea. En efecto, el método de laboreo predominante en las minas de Australia es la explotación en retirada a partir de un frente corto. En estas condiciones, los ensayos de frente a frente con ondas reflejadas son relativamente menos importantes que los realizados con ondas transmitidas de frente a sondeo, o entre dos sondeos. A finales de 1.982 se llevaron a cabo pruebas entre sondeos distantes hasta 900 m.

La labor de los investigadores australianos parece haber alcanzado importantes éxitos hasta el momento.

2. - DESCRIPCION DEL METODO

## 2.- DESCRIPCION DEL METODO

### 2.1.- FUNDAMENTO FISICO

#### 2.1.1.- Propagación y tipos de ondas

Una capa de carbón intercalada en una serie estratigráfica de esquistos y areniscas representa, desde el punto de vista físico, un canal de baja velocidad sísmica, limitado por dos semiespacios en los que la velocidad de propagación de las ondas sísmicas es mayor.

En estas condiciones, una fuente sísmica emplazada en la propia capa de carbón genera ondas P y S. La mayor parte de la energía de estas ondas experimenta sucesivas veces el fenómeno de reflexión total en las dos interfaces carbón - roca, y permanece dentro de la capa (Figura 2.1). Las ondas P y S incidentes y reflejadas interfieren entre sí, formando ondas canalizadas, que se propagan en la capa paralelamente a las interfaces.

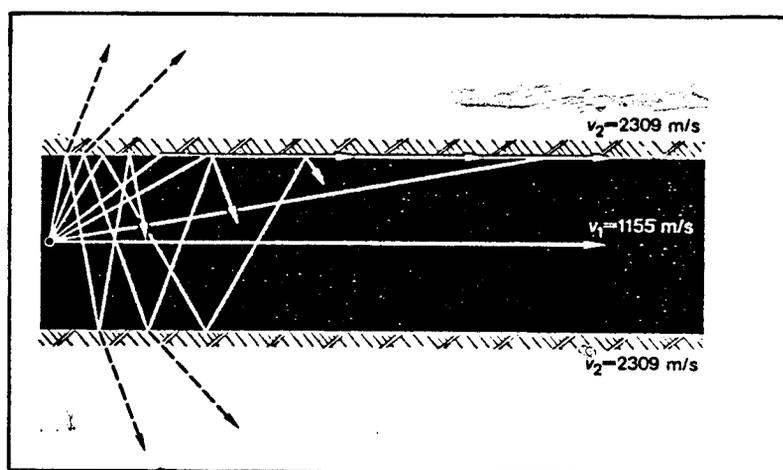


FIGURA 2.1

Las ondas canalizadas gozan de propiedades similares a las denominadas en sismología ondas superficiales.

Puede decirse que las ondas canalizadas son la suma o superposición de todas las ondas sísmicas guiadas por la capa. Cabe distinguir entre éstas, según el plano de polarización, ondas del tipo Love y del tipo Rayleigh (Figura 2.2).

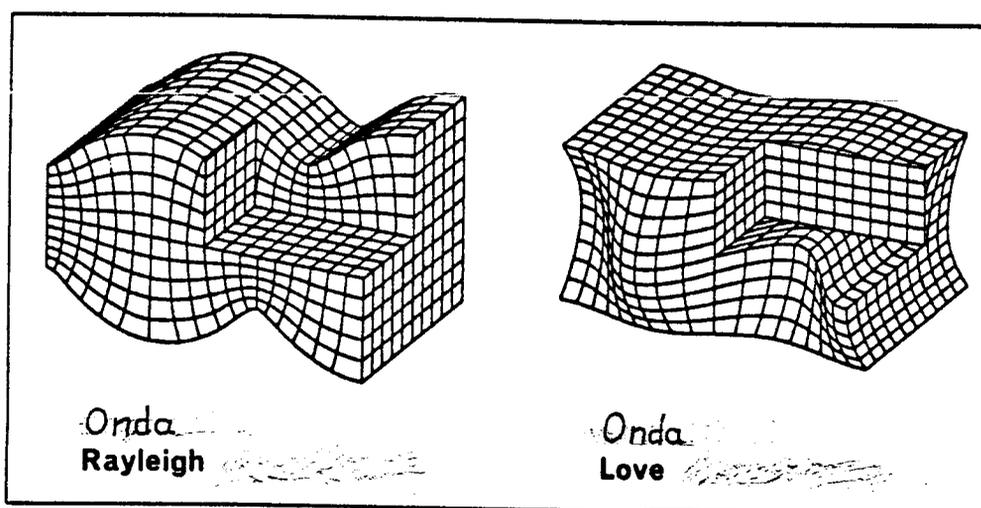


FIGURA 2.2

Las ondas Love o SH son transversales. El movimiento de las partículas del medio tiene lugar en un plano paralelo a la capa y en dirección normal a la de propagación de la onda.

Las ondas Rayleigh o P-SV son la combinación de una componente longitudinal y otra transversal, y están polarizadas en un plano vertical. El movimiento longitudinal es paralelo a la capa y a la dirección de propagación de la onda. La componente transversal da lugar a un movimiento normal a la dirección de propagación y al plano de la capa. Cada partícula describe en conjunto una trayectoria elíptica.

Ambos tipos de ondas pueden ser descritos matemáticamente mediante un número infinito de modos. Los primeros modos tienen su energía sísmica confinada a la capa, y se denominan normales o confinados. En algunos de los modos superiores, la energía se transfiere a la roca (modos no confinados).

Independientemente de su grado de confinamiento, los modos son alternativamente simétricos y antisimétricos, según la distribución de amplitudes respecto al plano medio de la capa. Esta característica no la poseen las ondas superficiales.

El fenómeno de la propagación de ondas guiadas en una capa de carbón puede considerarse bidimensional, lo que facilita su tratamiento teórico. Ha sido estudiado con los métodos de la física matemática por Krey (1.963) y Buchanan (1.978). El modelo geométrico utilizado se representa en la Figura 2.3. La capa tiene una potencia  $2d$  y se supone ilimitada según las direcciones  $x$  e  $y$ . A ambos lados de la capa existe un semiespacio infinito. Se admite, por simplicidad, que las propiedades físicas de los medios son simétricas respecto al plano XOY. Asimismo, se supone que los medios son homogéneos e isotrópicos, excepto en las interfaces  $z = \pm d$ .

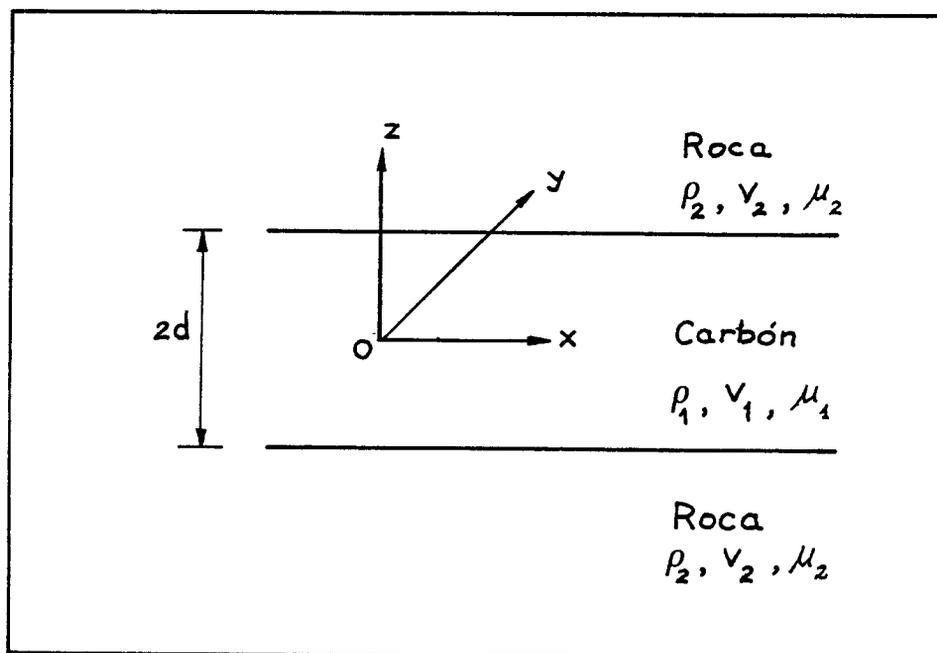


FIGURA 2.3

Las notaciones empleadas para las propiedades físicas de los medios son  $\rho_j$ ,  $v_j$  y  $\mu_j$ , que representan la densidad, la velocidad de propagación de las ondas S, y el módulo de cizalladura, respectivamente. Como es sabido, se verifica :

$$\mu_j = \rho_j v_j^2 \quad (2.1)$$

Asignaremos el subíndice 1 al carbón, y el 2 a la roca de los hastiales. En la práctica, se verifica  $\rho_1 < \rho_2$ ,  $v_1 < v_2$ , y  $\mu_1 < \mu_2$ .

Sea  $V_f$  la velocidad de fase de la onda canalizada, definida por :

$$V_f = \frac{\omega}{k}, \quad (2.2)$$

donde  $k$  es el número de onda  $2\pi/\lambda$  ( $\lambda$ : longitud de onda),  $\omega$  =  
 y  $\omega$  la frecuencia angular. Sean  $\eta_1$  y  $\eta_2$  los ángulos entre la capa  
 y las ondas planas transversales que forman la onda canalizada. Los  
 ángulos  $\eta_1$  y  $\eta_2$  vienen dados por la ley de Snell generalizada:

$$\frac{\text{sen } \eta_1}{v_1} = \frac{\text{sen } \eta_2}{v_2} = \frac{1}{V_f} \quad (2.3)$$

La ecuación (2.3) significa que todas las ondas planas que  
 interfieren para formar la onda canalizada deben tener la misma velo-  
 cidad de fase según la dirección de propagación de la onda canalizada.

Analizaremos separadamente las ondas SH (Love) y las =  
 P - SV (Rayleigh).

Sea una fuente sísmica  $f(t)$  emplazada en la capa, en un =  
 punto de coordenadas  $x = 0$ ,  $z = h$ , que emite ondas Love. La propa-  
 gación de las ondas SH, tanto en el carbón como en la roca, tiene =  
 lugar en la dirección  $x$ , y está regida por una clásica ecuación de =  
 ondas, del tipo:

$$\nabla^2 s_j = \frac{1}{v_j^2} \frac{\partial^2 s_j}{\partial t^2} = -4\pi f(t) \delta(x) \delta(z-h) \quad (2.4)$$

siendo:

$s_j$ : desplazamiento de las partículas, paralelo al eje OY

$\delta$ : función de Dirac

Para incluir en el tratamiento teórico el amortiguamiento de las ondas debido a la absorción de energía por parte del medio, se emplean coeficientes de Lamé complejos. Así, el módulo de cizalladura se expresa :

$$\bar{\mu}_j = \mu_j + i \operatorname{sgn}(\omega) \delta \mu_j \quad (2.5)$$

siendo  $\delta \mu_j$  la constante de amortiguamiento, y

$$\operatorname{sgn}(\omega) = \begin{cases} 1 & \text{si } \omega > 0 \\ -i & \text{si } \omega < 0 \end{cases} \quad (2.6)$$

Debe señalarse que el uso de coeficientes de Lamé complejos no representa físicamente una ley tensión - deformación.

Por tanto, la ecuación de ondas generalizada es una ecuación similar a la (2.4), en la que  $v_j^2$  ha sido reemplazada por  $\bar{v}_j^2$ , siendo :

$$\bar{v}_j^2 = \frac{\bar{\mu}_j}{\rho_j} \quad (2.7)$$

La solución general de dicha ecuación viene dada por la antitransformada de Fourier de  $F(\omega) G_j(r, \omega)$ , donde :

- $F(\omega)$  es la transformada de Fourier de  $f(t)$ .
- $G_j(r, \omega)$  es una función tal que la solución de la ecuación para  $f(t) = e^{i\omega t}$  es  $G_j(r, \omega) e^{i\omega t}$ . G resulta ser la suma de la función de Green y una función  $G_c$ , definida mediante una integral, que tiene en cuenta las condiciones de contorno en  $z = d$ .

La discusión del valor de  $G$  permite interpretar físicamente la solución de la ecuación de ondas.

La función de Green, que no toma en consideración las condiciones de contorno, representa la onda directa.

El integrando de  $G_c$  tiene dos puntos singulares, que representan ondas reflejadas en las interfaces carbón - roca, y ondas refractadas, respectivamente. Dicho integrando posee asimismo polos en las soluciones de la relación de dispersión compleja para las ondas canalizadas SH simétricas (Buchanan, 1.978).

En la práctica, la fuente sísmica suele ser una pequeña carga explosiva. Por tanto, la generación de ondas sísmicas puede describirse matemáticamente haciendo  $f(t)$  igual a la función de Dirac  $\delta(t)$ , que representa un impulso puntual de amplitud infinita.

En tal caso, es posible determinar la amplitud de la onda canalizada para valores grandes de  $x$  por el método de la fase estacionaria. Asintóticamente, la amplitud es proporcional a  $\exp(-k \Theta x) / x^{\frac{1}{2}}$ , siendo  $\Theta$  un parámetro adimensional que da idea del grado de amortiguamiento.

La aproximación mediante la fase estacionaria resulta incorrecta en el entorno de un mínimo de la curva velocidad de grupo - frecuencia, en el cual la amplitud es asintóticamente proporcional a  $\exp(-k \Theta x) / x^{1/3}$ . Esta zona de la curva de la velocidad de grupo se denomina fase de Airy, y es de gran importancia en sísmica en capa, pues corresponde a la frecuencia que exhibe el menor amortiguamiento geométrico.

La teoría modal clásica permite estudiar la propagación de las ondas SH de una forma más sencilla. Se admite que el desplazamiento de las partículas puede expresarse matemáticamente por :

$$s(x, y, z, t) = A(x, y, z) e^{i\omega t} \quad (2.8)$$

siendo la amplitud A en general un número complejo.

Las amplitudes en el centro de la capa y en las interfaces carbón - roca de las ondas que interfieren para formar la onda canalizada están relacionadas mediante expresiones del tipo :

$$A_{z=d} = A_{z=0} \exp \left[ \pm i\omega (d/v_1) \cos \eta_1 \right] \quad (2.9)$$

Las condiciones de contorno del problema son la continuidad del desplazamiento y de la componente vertical del esfuerzo en las interfaces carbón - roca. De ellas y de la ecuación (2.9), se deduce la relación de dispersión de las ondas Love (Krey, 1.963) :

$$\frac{d}{\lambda} = \frac{\frac{v_1}{v_f}}{2\pi \sqrt{1 - \left(\frac{v_1}{v_f}\right)^2}} \operatorname{arc\,cotg} \left\{ \frac{\rho_1 v_1 \sqrt{1 - \left(\frac{v_1}{v_f}\right)^2}}{\rho_2 v_2 \sqrt{\left(\frac{v_2}{v_f}\right)^2 - 1}} \right\} \quad (2.10)$$

La propagación de las ondas Rayleigh puede asimismo ser estudiada mediante la teoría modal. En este caso, las ondas planas que interfieren para formar la onda canalizada son tanto longitudinales como transversales. Sus amplitudes en el centro de la capa y en las interfaces están relacionadas por ecuaciones análogas a la (2.9).

Las condiciones de contorno, es decir, continuidad de los desplazamientos y esfuerzos horizontales y verticales en las interfaces carbón - roca conducen a una expresión bastante complicada de la relación de dispersión para las ondas Rayleigh (Krey, 1.963).

La Figura 2.4 es una representación de las curvas de dispersión para el modo simétrico fundamental de las ondas en capa Love y Rayleigh. Se han calculado suponiendo un valor de 0,25 para el módulo de Poisson, una relación de velocidades sísmicas carbón/roca de 1 : 3, y una relación de densidades carbón/roca de 1,1 : 2,6. Las velocidades de grupo  $U_g$  presentan un mínimo más o menos pronunciado, que corresponde a la fase de Airy.

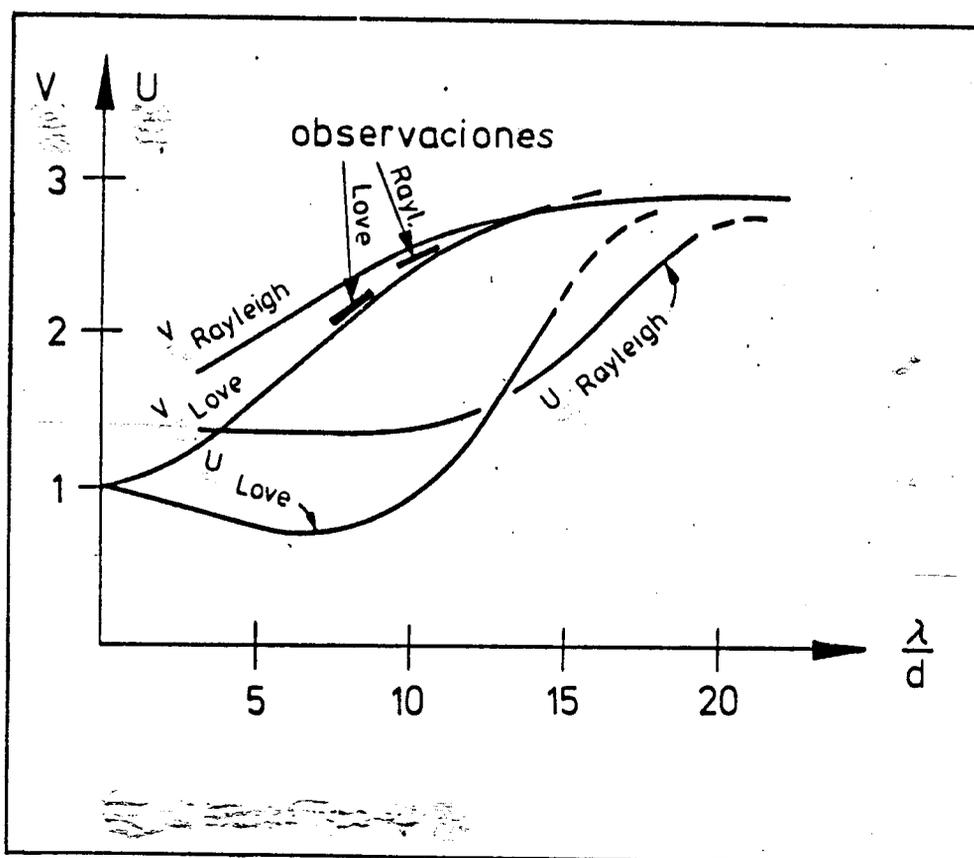


FIGURA 2.4

Las dificultades existentes en la interpretación de sismogramas de ondas canalizadas, no obstante los estudios precedentes, han estimulado la investigación de la propagación de ondas canalizadas mediante nuevos métodos. Estos comprenden el desarrollo de modelos de ordenador, y el estudio mediante modelos analógicos.

Los modelos de ordenador han permitido calcular los sismogramas teóricos correspondientes a estructuras multiestratificadas, más complicadas que el caso representado en la Figura 2.3. Pueden emplearse diferencias finitas (Guo, 1975), o una combinación de elementos finitos y diferencias finitas (Su, 1976).

Asimismo, se han realizado experimentos de laboratorio con modelos sísmicos, a fin de estudiar la propagación y reflexión de ondas canalizadas (Dresen y Freystätter, 1978). La secuencia geológica roca - carbón - roca se simula mediante una plancha de aluminio, de dimensiones 2000 x 1000 x 3 mm, y una mezcla de pegamento y partículas de vidrio, que representa la capa (Figura 2.5). En el modelo pueden representarse discontinuidades limitadas a la propia capa (estratificaciones), y discontinuidades que afectan también a la roca (fallas). La zona de mayor densidad de fracturación creada por estas últimas se simula mediante una hilera de pequeños orificios.

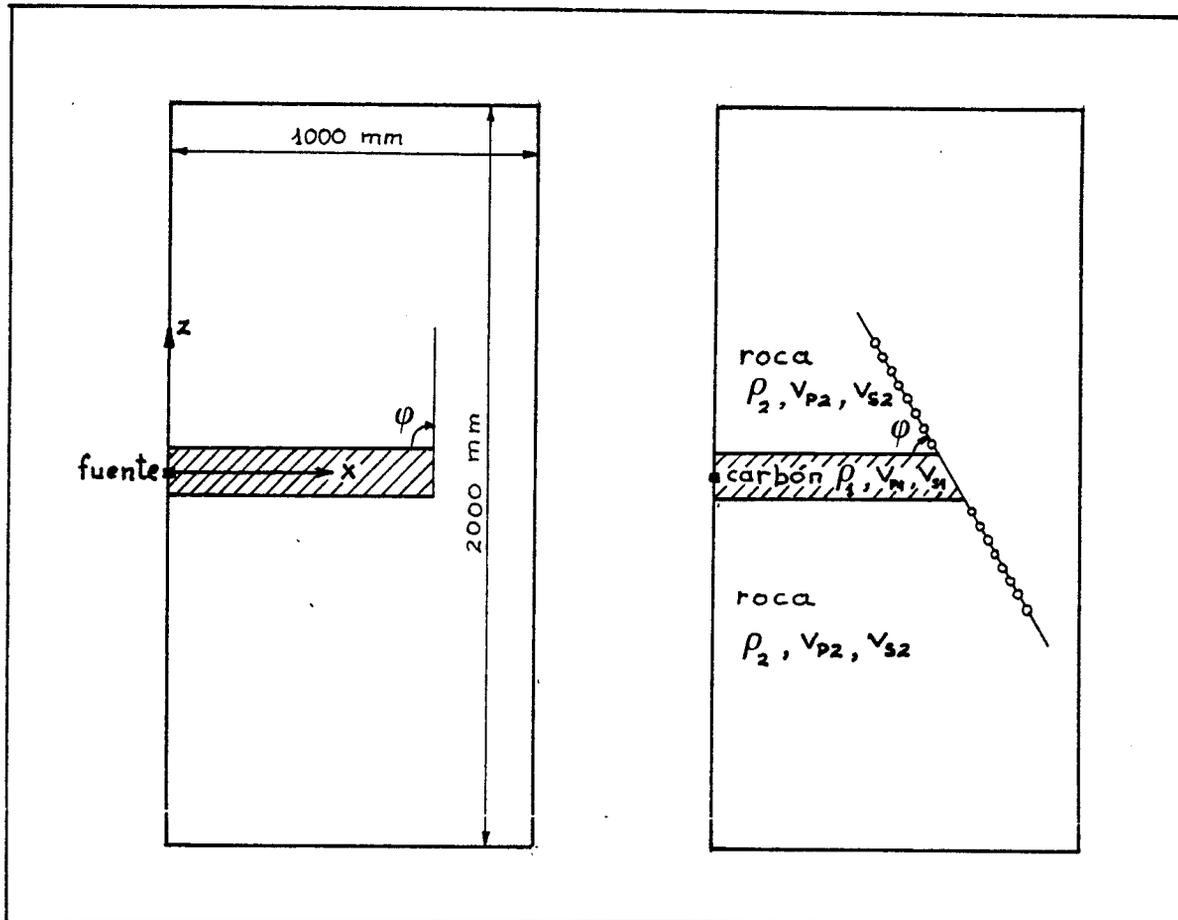


FIGURA 2.5

Por tratarse de un modelo bidimensional, sólo pueden generarse ondas P y SV. En consecuencia, únicamente es posible estudiar ondas canalizadas del tipo Rayleigh. Sin embargo, los modelos bidimensionales ofrecen la ventaja de que la onda puede ser observada en cualquier punto de la capa y la roca adyacente.

En la práctica experimental, tanto la fuente como el detector de ondas son transductores ultrasónicos.

La analogía física entre el modelo de laboratorio y la realidad geológica se asegura haciendo igual en ambos casos el parámetro frecuencia adimensional, definido como el producto de la frecuencia por la potencia de la capa dividido por la velocidad de propagación de alguna de las ondas planas.

### 2.1.2.- Propiedades de las ondas canalizadas

#### DISPERSION

La principal característica de las ondas en capa es que = presentan dispersión, esto es, que su velocidad de propagación depende de la frecuencia.

Como consecuencia de la dispersión, la forma de un tren = de ondas canalizadas varía, extendiéndose a medida que avanza (Figura Nº 2.6).

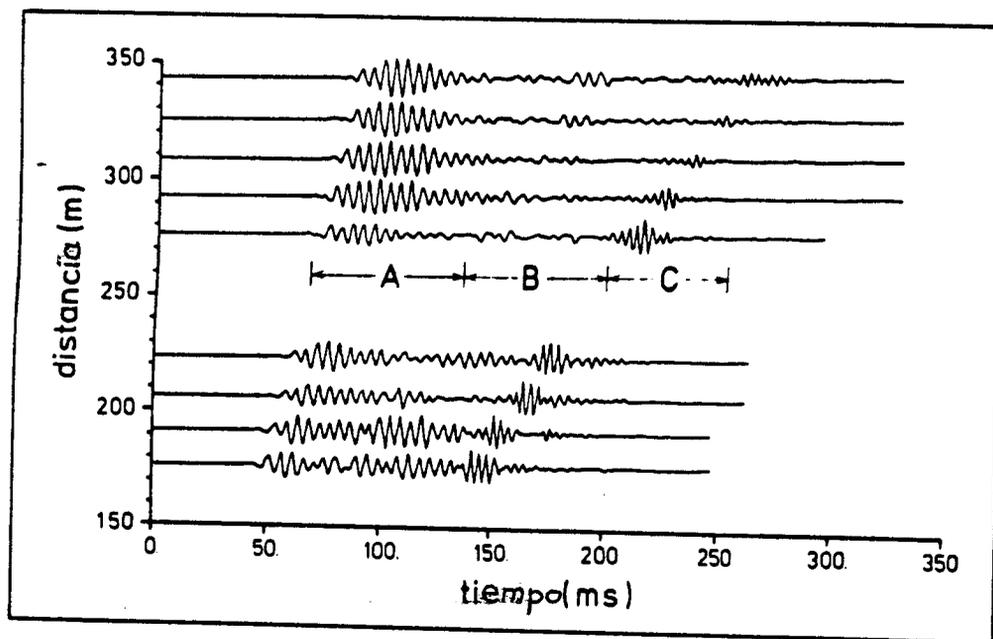


FIGURA 2.6

La relación de dispersión (2.10) para las ondas Love es válida si no existe amortiguamiento. Al tomar éste en consideración, resulta una relación de dispersión compleja. En caso de que el amortiguamiento sea pequeño, dicha relación se descompone en una parte real, idéntica a (2.10), y una parte imaginaria que proporciona el coeficiente de amortiguamiento (Buchanan 1.978).

La parte real puede escribirse en función de parámetros adimensionales en la forma siguiente, que tiene en cuenta los modos :

$$\frac{\Omega}{V} \gamma_1 = \text{arc cotg} (\mu \gamma_1 / \gamma_2) + n \pi / 2 \quad (2.11)$$

siendo :

$$\Omega = \frac{\omega d}{v_1} : \text{frecuencia adimensional}$$

$$V = \frac{v_f}{v_1} : \text{velocidad de fase adimensional}$$

$$k^l = kd : \text{número de onda adimensional}$$

$$v = v_1 / v_2$$

$$\mu = \mu_1 / \mu_2$$

$$\rho = \rho_1 / \rho_2$$

$$\gamma_1^2 = v^2 - 1$$

$$\gamma_2^2 = 1 - v^2 v^2$$

$$n = 0, 1, 2, \dots : \text{número correspondiente a los sucesivos modos}$$

La función arc cotg toma valores en el intervalo  $[0, \pi/2]$ . Para que  $\Omega$  sea real, el argumento de dicha función ha de ser real, lo que implica  $\gamma_1^2 \geq 0$  y  $\gamma_2^2 \geq 0$ . Estas condiciones pueden escribirse en la forma  $1 \leq V \leq 1/v$ , o lo que es lo mismo,  $v_1 \leq v_f \leq v_2$ .

La parte imaginaria expresa  $\Theta$  como función de los parámetros dimensionales anteriormente indicados. El valor de  $\Theta$  depende asimismo de los modos.  $\Theta$  es tal que el número de onda complejo viene dado por :

$$\bar{k} = k + i k \Theta \quad (2.12)$$

Por lo tanto,  $k \Theta$  es el coeficiente de amortiguamiento.

La velocidad de grupo de un tren de ondas de diferentes frecuencias se define como :

$$U_g = \frac{d \omega}{d k} \quad (2.13)$$

El cociente  $U = U_g/v_1$  se denomina velocidad de grupo adimensional, y puede comprobarse fácilmente que viene dado por :

$$U = \frac{V}{1 - \frac{\Omega}{V} \frac{d V}{d \Omega}} \quad (2.14)$$

El cálculo muestra que la expresión  $dV/d\Omega$  es negativa, esto es, que la velocidad de fase disminuye al aumentar la frecuencia. Por tanto, según la ecuación (2.14),  $U < V$ , y la velocidad de grupo es menor que la de fase. En este caso, se dice que existe dispersión normal.

En las figuras 2.7 y 2.8 se representan las curvas de dispersión de los primeros modos de las ondas Love, para un supuesto práctico de  $\mu = 0,211$ , y  $\nu = 1/1,68$ .

Como cabía esperar, la velocidad de fase adimensional se encuentra comprendida entre los valores  $V = 1$  y  $V = 1,68$ , que corresponden respectivamente a  $V_f = v_1$  y  $V_f = v_2$  (Figura 2.7).

A su vez, la velocidad de grupo adimensional, para altas frecuencias, se aproxima por defecto a la unidad, lo que equivale a  $U_g = v_1$  (Figura 2.8). La comparación de las Figuras 2.7 y 2.8 muestra que, para un valor dado de  $\Omega$ , se verifica  $U < V$ .

La Figura 2.9 representa la parte imaginaria de la relación de dispersión, esto es,  $k''(\omega)$  como función de  $\Omega$ , en coordenadas logarítmicas. Para frecuencias elevadas, la pendiente vale aproximadamente la unidad, lo que significa que el coeficiente de amortiguamiento es directamente proporcional a la frecuencia.

## FASE DE AIRY

Los mínimos de las curvas de la velocidad de grupo (Figura 2.8), corresponden, como se ha señalado, a la fase de Airy. Del análisis de la relación de dispersión se deduce que la fase de Airy debe aparecer en los sismogramas al final de los trenes de ondas dispersos, con altas amplitudes y altas frecuencias.

La Figura 2.10 muestra en su parte A sismogramas teóricos para diferentes distancias fuente - detector, calculados mediante el

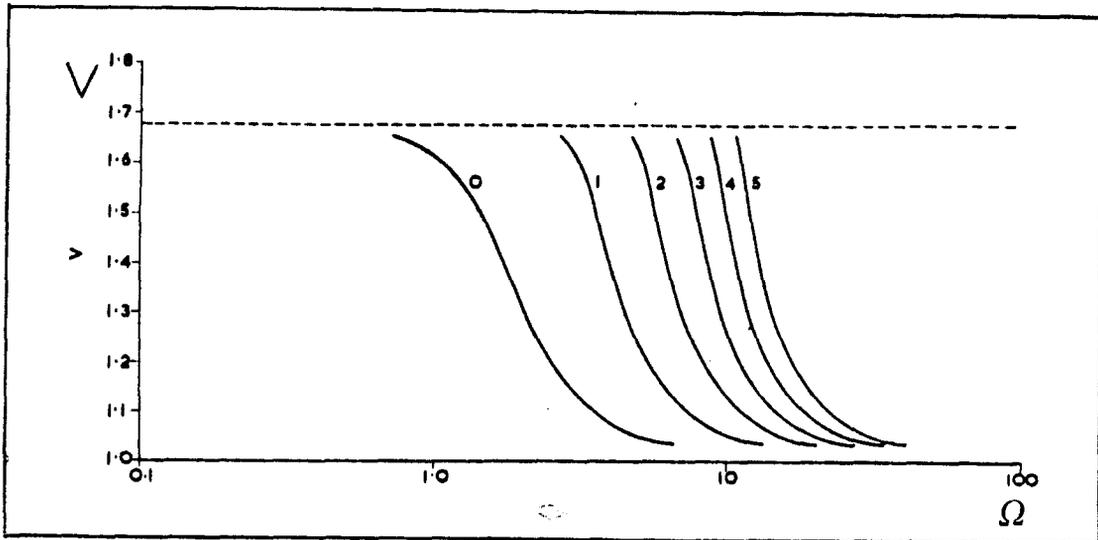


FIGURA 2.7

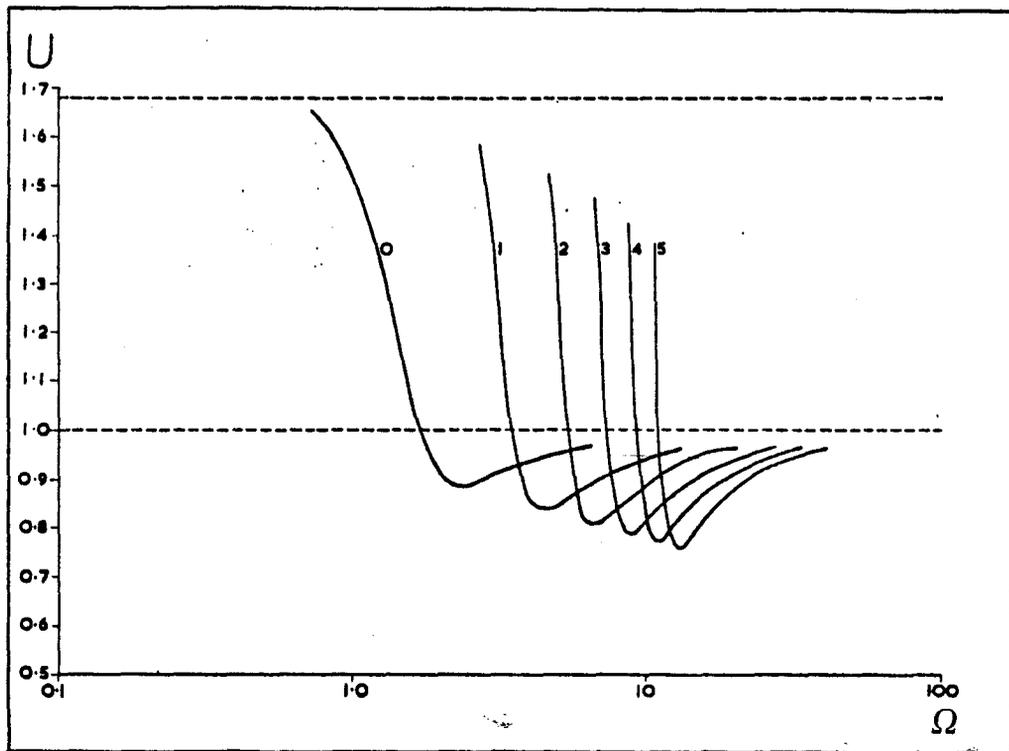


FIGURA 2.8

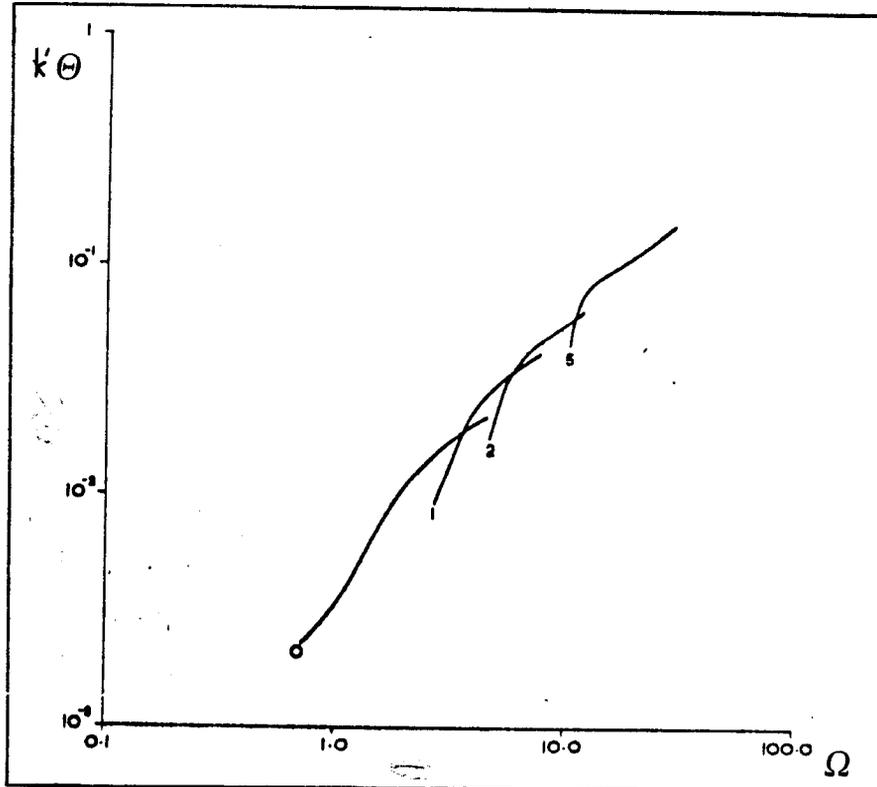


FIGURA 2.9

método de reflectividad (Schott, 1.979). En la parte B se ha separado la fase de Airy por filtraje de frecuencias, y sus envolventes se representan en la parte C.

La sísmica en capa utiliza preferentemente la gama de frecuencias de la fase de Airy, ya que presenta la relación señal/ruido = más favorable. Esto se debe a las siguientes razones :

1. La fase de Airy posee las mayores amplitudes.
2. La energía asociada a la fase de Airy está fuertemente confinada = a la capa de carbón.

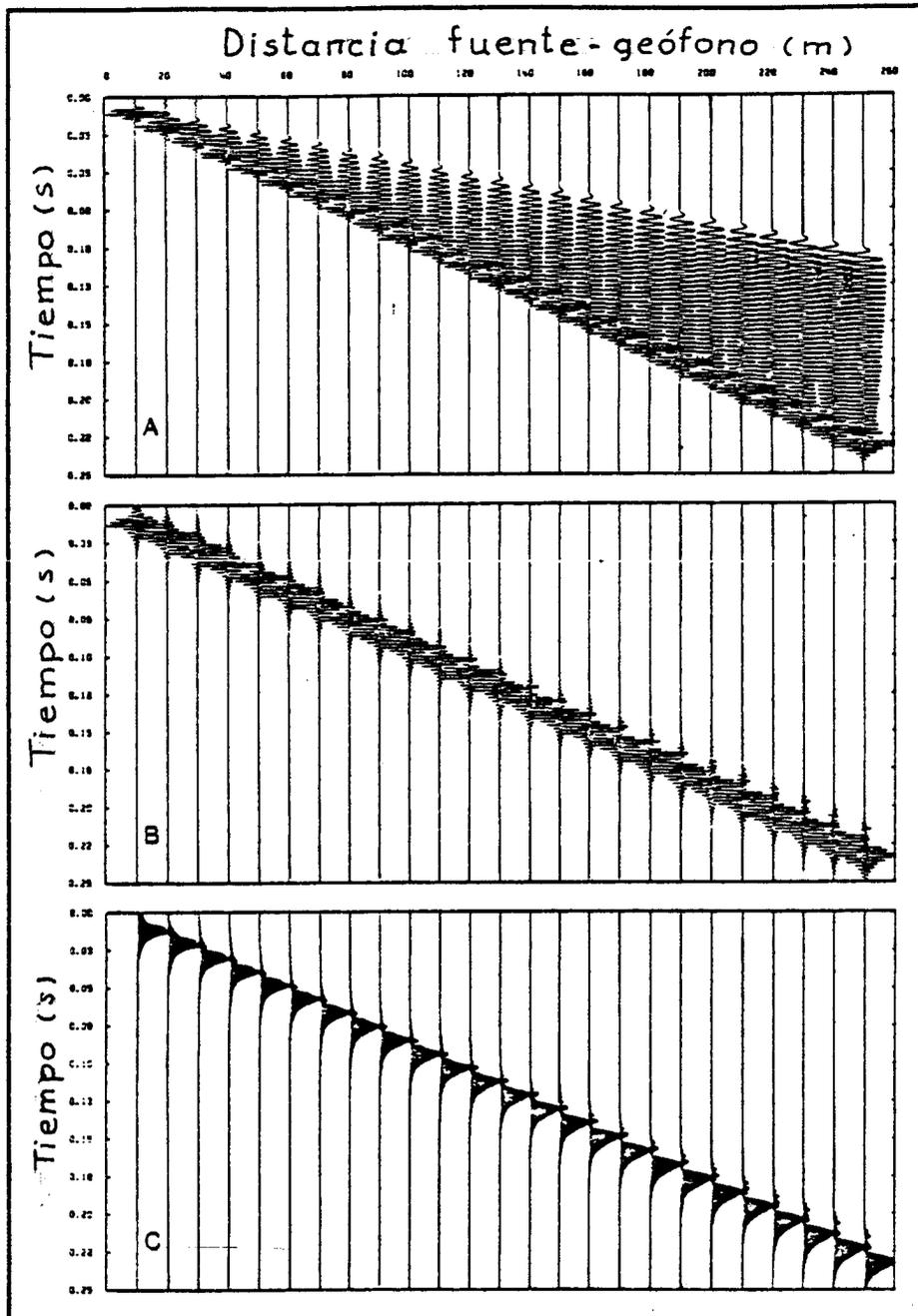


FIGURA 2.10

3. En presencia de discontinuidades en la capa, la fase de Airy exhibe una elevada reflectividad. Esto fue comprobado para las ondas = Rayleigh con ayuda de modelos analógicos (Dressen y Freystätter, = 1.976). Asimismo, se ha calculado mediante un esquema de diferencias finitas (Korn, 1.980). En la Figura 2.11 se representa el sísmograma teórico de una onda Love que incide sobre una falla de = salto igual a la potencia de la capa. Se observa que, para las altas frecuencias de la fase de Airy, la energía que se refleja es mayor que la que se transmite.

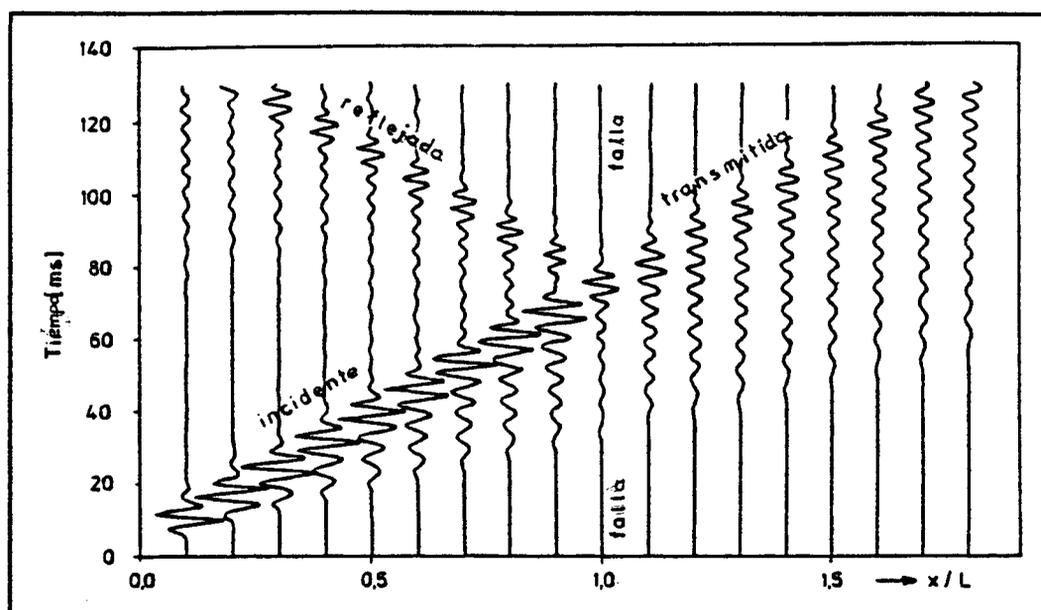


FIGURA 2.11

## AMPLITUD Y ENERGIA

La amplitud de las ondas canalizadas es máxima en el plano medio de la capa de carbón, y disminuye hacia las interfaces. En la roca de los hastiales, la amplitud decrece exponencialmente con la distancia a la capa, y tanto más cuanto mayor es la frecuencia.

La Figura 2.12 muestra la relación amplitud máxima-frecuencia (espectro de amplitudes), y la Figura 2.13, la distribución de amplitudes dentro y fuera de la capa para diferentes frecuencias. Ambas se refieren al modo simétrico fundamental de las ondas Love, y han sido calculadas en el supuesto de una capa de 2 m de potencia, con una relación de velocidades de las ondas transversales carbón/roca encajante de 1,3 : 2,5.

Se observa que para frecuencias altas, en particular la fase de Airy, aumenta la amplitud dentro de la capa y disminuye en el exterior de la misma. Puesto que la energía cinética asociada a una onda elástica es proporcional al cuadrado de su amplitud, la energía correspondiente a la gama de altas frecuencias está contenida casi exclusivamente en la capa.

En la Figura 2.14 se representa la dependencia de  $E_R$  respecto de la frecuencia y la potencia de la capa.  $E_R$  es la relación entre la energía cinética de las ondas que se propagan interiormente a la capa y la energía cinética total. En el caso de una potencia de 2 m, toda la energía está confinada a la capa para frecuencias superiores a 400 Hz.

FIGURA 2.14

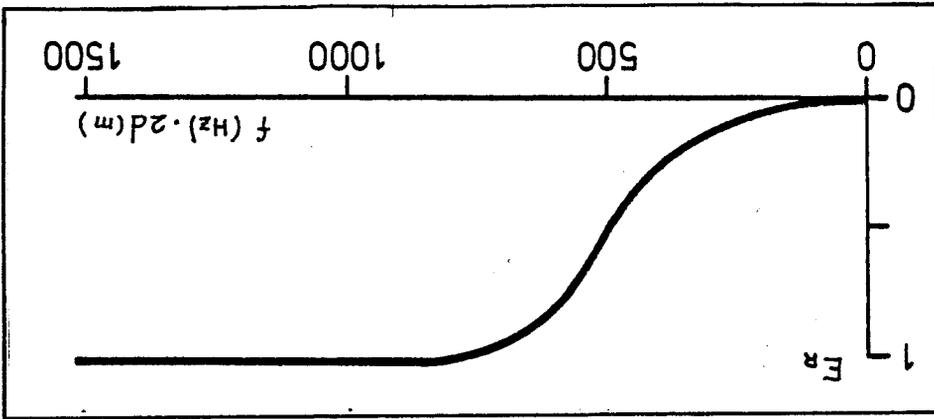


FIGURA 2.13

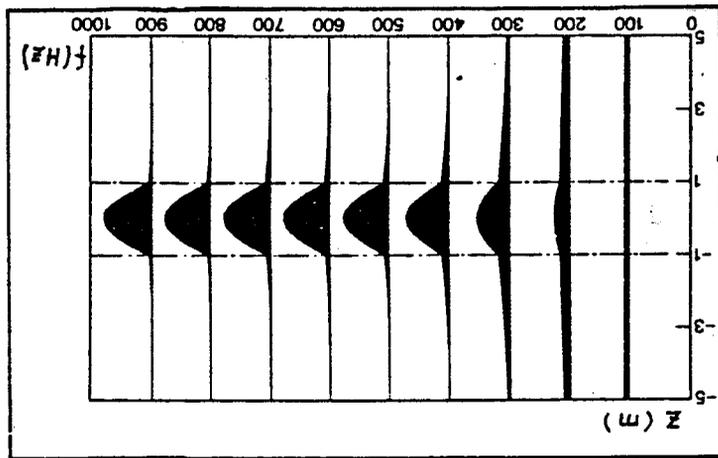
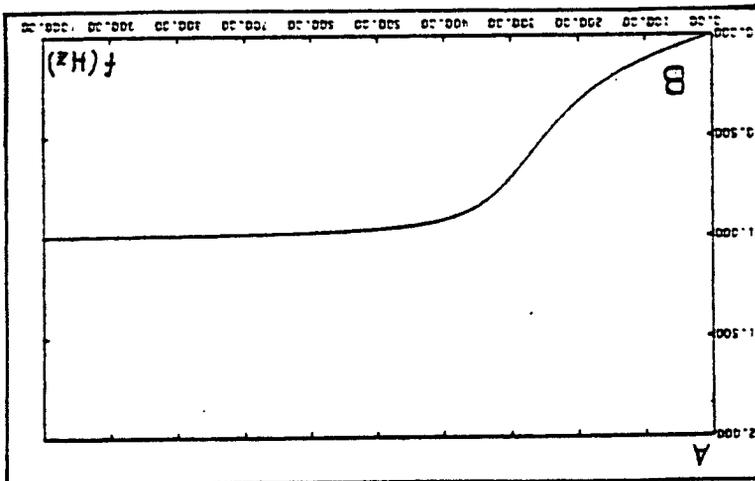


FIGURA 2.12



La investigación experimental mediante modelos físicos ha demostrado, en el caso de las ondas Rayleigh, que la condición  $E_R > 0,5$  es un excelente criterio para poder detectar correctamente fallas verticales con ondas reflejadas. Si se extiende este resultado a las ondas Love, conforme a la Figura 2.14, deberán emplearse frecuencias superiores a 250 Hz para capas de 2 m de potencia, y frecuencias superiores a 500 Hz en capas de 1 m.

## MODOS

La existencia de infinitos modos en la propagación de las ondas en capa se expresa matemáticamente, en el caso de las ondas Love, mediante el parámetro  $n$  de la ecuación (2.11). Los valores pares de  $n$  corresponden a los modos simétricos, y los impares a los antisimétricos.

El modo correspondiente a  $n=0$  se denomina simétrico fundamental, y el de  $n=1$ , antisimétrico fundamental. La amplitud del modo simétrico fundamental de las ondas Love es máxima, como se ha indicado, en el plano medio de la capa.

Todos los modos de las ondas Love, a excepción del simétrico fundamental, tienen un límite inferior de frecuencia, pero ninguno está limitado superiormente en cuanto a frecuencia.

Las ondas Rayleigh se propagan análogamente según modos simétricos y antisimétricos. La diferencia entre ambos se explica en la Figura 2.15, que muestra la distribución de los desplazamientos en las direcciones  $x$  ( $u_x$ ) y  $z$  ( $u_z$ ) en función de la cota  $z$  de la partícula.

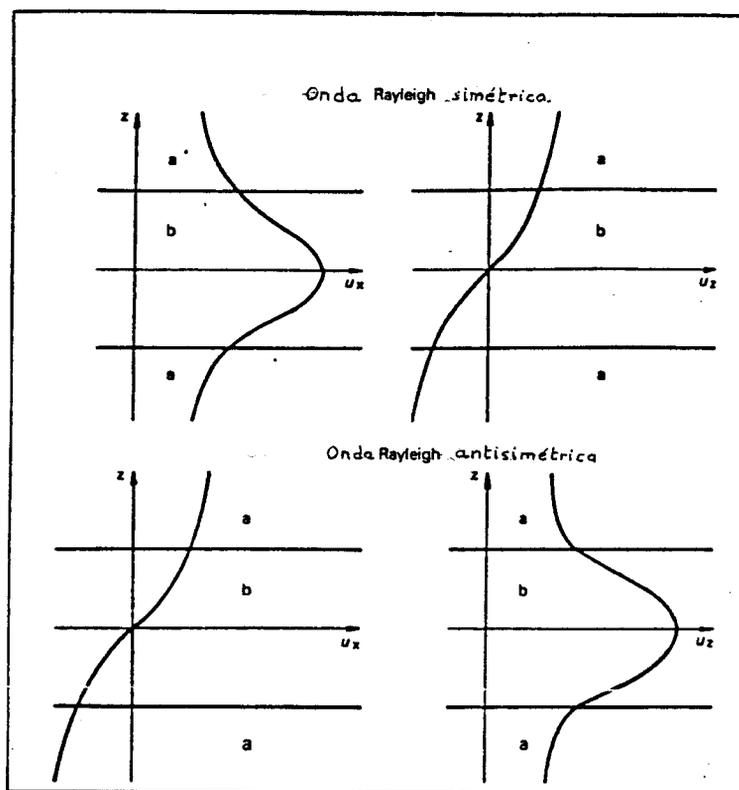


FIGURA 2.15

Los modos Rayleigh simétricos son tales que la amplitud = de su componente longitudinal ( $u_x$ ) es máxima en el centro de la capa, = y la de su componente transversal ( $u_z$ ) es nula en el centro de la ca- = pa, y de signos opuestos en las mitades superior e inferior.

Por el contrario, el movimiento de las partículas del me- = dio en los modos Rayleigh antisimétricos se caracteriza por ser  $u_x$  = nula en el plano medio de la capa, y de signos opuestos en las mita- = des superior e inferior, y tomar  $u_z$  su máximo valor en el centro de = la capa.

En la práctica, sólo tienen interés los modos fundamentales. La sísmica en capa ha usado tradicionalmente de forma casi exclusiva las ondas Love del modo simétrico fundamental.

No obstante, se ha sugerido recientemente la posibilidad de emplear modos no confinados, que al propagarse esencialmente por la roca de los hastiales, son más veloces, y constituyen las primeras llegadas de los sismogramas (Franssens et al., 1.980).

## REFLECTIVIDAD

La reflectividad de las ondas Rayleigh ha sido estudiada extensamente con ayuda de modelos analógicos.

Primeramente, se observó que la reflectividad es elevada para frecuencias altas.

Posteriormente, se ha investigado la relación entre la reflectividad y el ángulo de buzamiento de la discontinuidad respecto a la capa, esto es, el ángulo  $\phi$  en la Figura 2.5, tanto para discontinuidades restringidas a la capa como para aquellas que dan lugar a una zona de fracturación en la roca de los hastiales.

En el caso de buzamiento vertical, es decir,  $\phi = 90^\circ$ , la reflectividad aumenta al incrementarse la densidad de fracturación en la roca encajante.

Para ángulos de buzamiento  $\phi$  comprendidos entre  $90^\circ$  y  $60^\circ$ , la reflectividad es independiente del tipo de discontinuidad, y su valor permanece prácticamente constante.

Para valores de  $\varphi$  inferiores a  $60^\circ$ , la reflectividad decrece linealmente con el ángulo de buzamiento. Si  $\varphi$  está comprendido entre  $60^\circ$  y  $40^\circ$ , la reflectividad es independiente de la densidad de fracturación, pero al aumentar ésta, la forma de la onda reflejada se deteriora progresivamente. Para ángulos de buzamiento menores que  $40^\circ$ , la onda reflejada se deforma de tal manera que su utilización para localizar discontinuidades resulta prácticamente imposible.

En el proceso de reflexión, se ha observado la conversión de la onda directa del modo simétrico fundamental en una onda reflejada del modo antisimétrico fundamental.

#### TRANSMISIVIDAD

Se ha estudiado mediante modelos de ordenador el comportamiento de las ondas en capa transmitidas a través de una falla de salto inferior a la potencia de la capa (Su, 1.976).

En la parte superior de la Figura 2.16 se representa el modelo simulado, con una fuente sísmica explosiva. La capa tiene una potencia de 6 m, y se suponen emplazados a 8 y 14 m de la fuente sendos dispositivos verticales de geófonos que miden únicamente la componente radial o longitudinal.

La parte inferior de la Figura 2.16 muestra los sismogramas teóricos. Se ha aplicado una corrección por amortiguamiento a las amplitudes. En la realidad, hay una disminución del 57 % en la amplitud máxima registrada por los geófonos situados en el centro de la capa detrás y delante de la falla. De no estar fallada la capa, la disminución de amplitud sería del 31 %, aproximadamente la mitad.

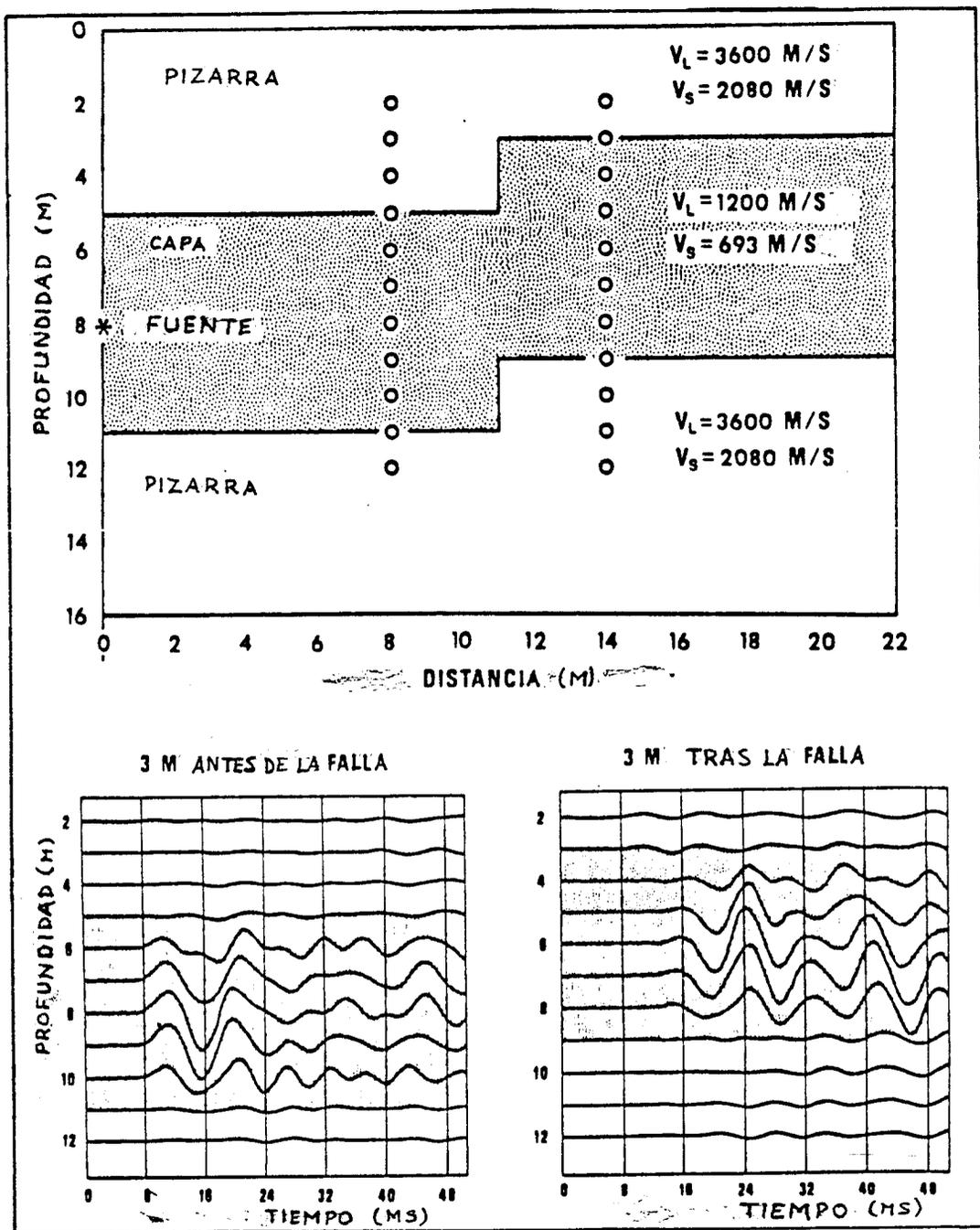


FIGURA 2.16

Por otra parte, la inspección visual de los sismogramas = revela que el contenido en frecuencias es prácticamente el mismo a = ambos lados de la falla.

## EFECTO DE LA VARIACION DE POTENCIA

El modelo de ordenador basado en diferencias finitas ha = mostrado que la frecuencia de las ondas en capa varfa inversamente con la potencia de la capa, si los restantes parámetros se mantienen cons = tantes (Cuu, 1.975).

Considérese primeramente una capa de carbón de 3 m de po = tencia. Las densidades y velocidades sísmicas supuestas son las mis = mas de la Figura 2.16.

El modelo permite simular fuentes sísmicas de caracterfsti = cas variadas. La Figura 2.17 representa las trazas sísmicas de las = componentes vertical y radial que detectarfa un dispositivo vertical de geófonos distante 20 m de una fuente explosiva situada en el centro de la capa. Las mismas trazas, en caso de una fuente mecánica dirigida = verticalmente, se recogen en la Figura 2.18.

En ambas figuras se observa claramente la llegada de ondas en capa de tipo Rayleigh, con las mayores amplitudes entre 20 y 40 m. Además, la amplitud disminuye bruscamente fuera de la capa.

Sea ahora una capa de 9 m de potencia, en cuyo plano cen = tral actúa una fuente de tipo mecánico simulada. Las trazas que =

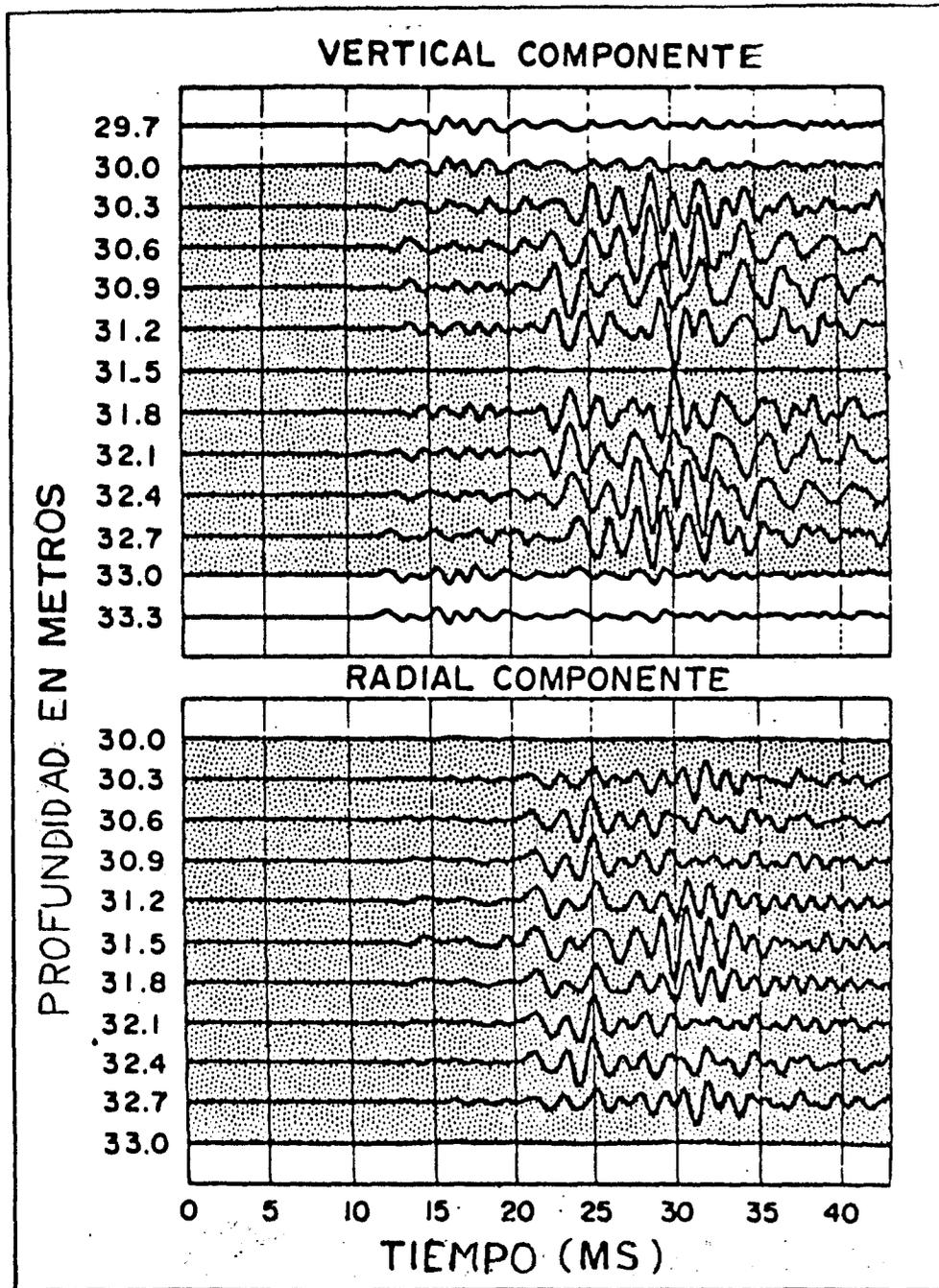


FIGURA 2.17

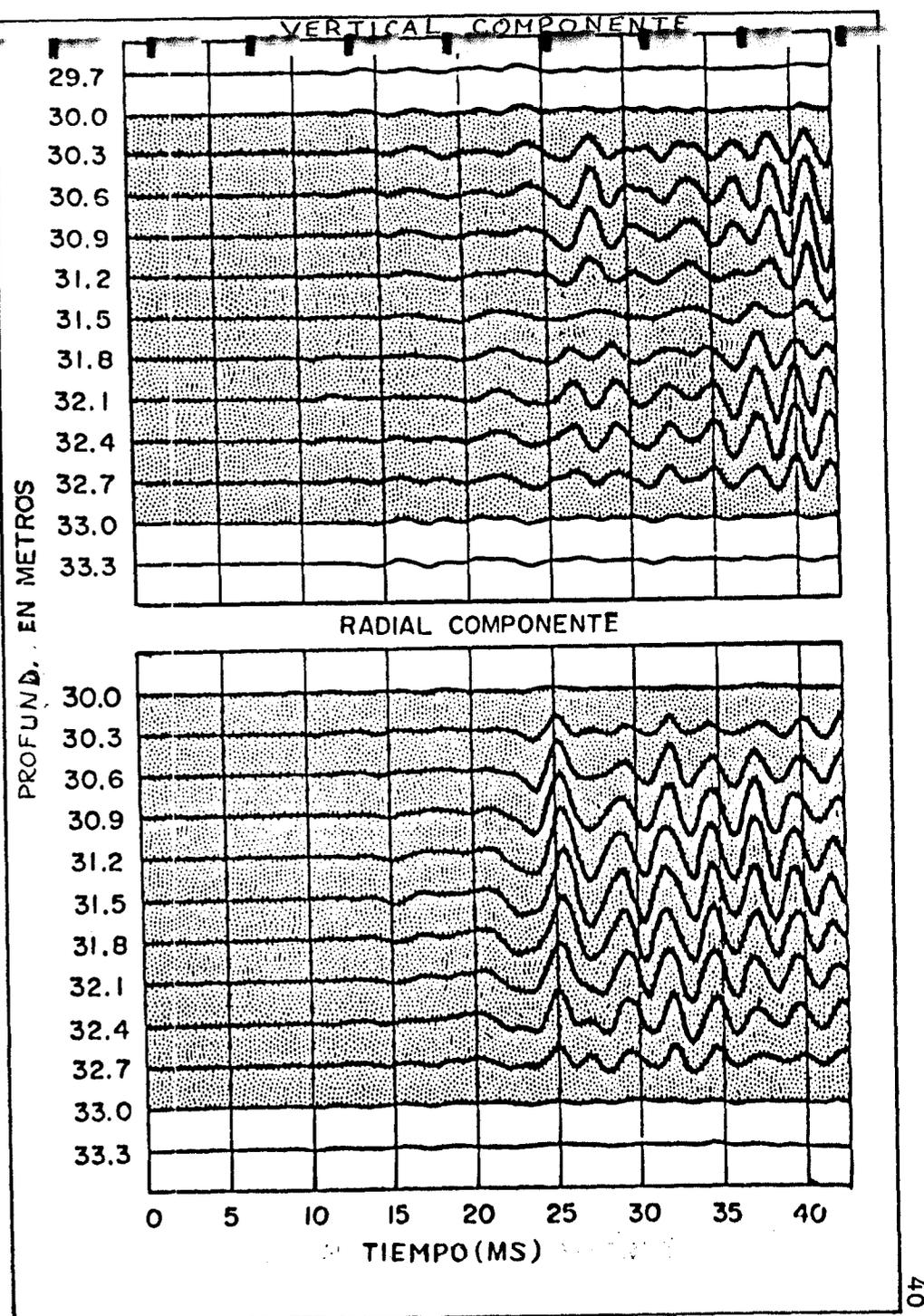


FIGURA 2.18

detectaría un dispositivo vertical de geófonos a 19 m de la fuente son las representadas en la Figura 2.19. La frecuencia dominante es de unos 100 Hz, aproximadamente la tercera parte de la observada en la capa de 3 m.

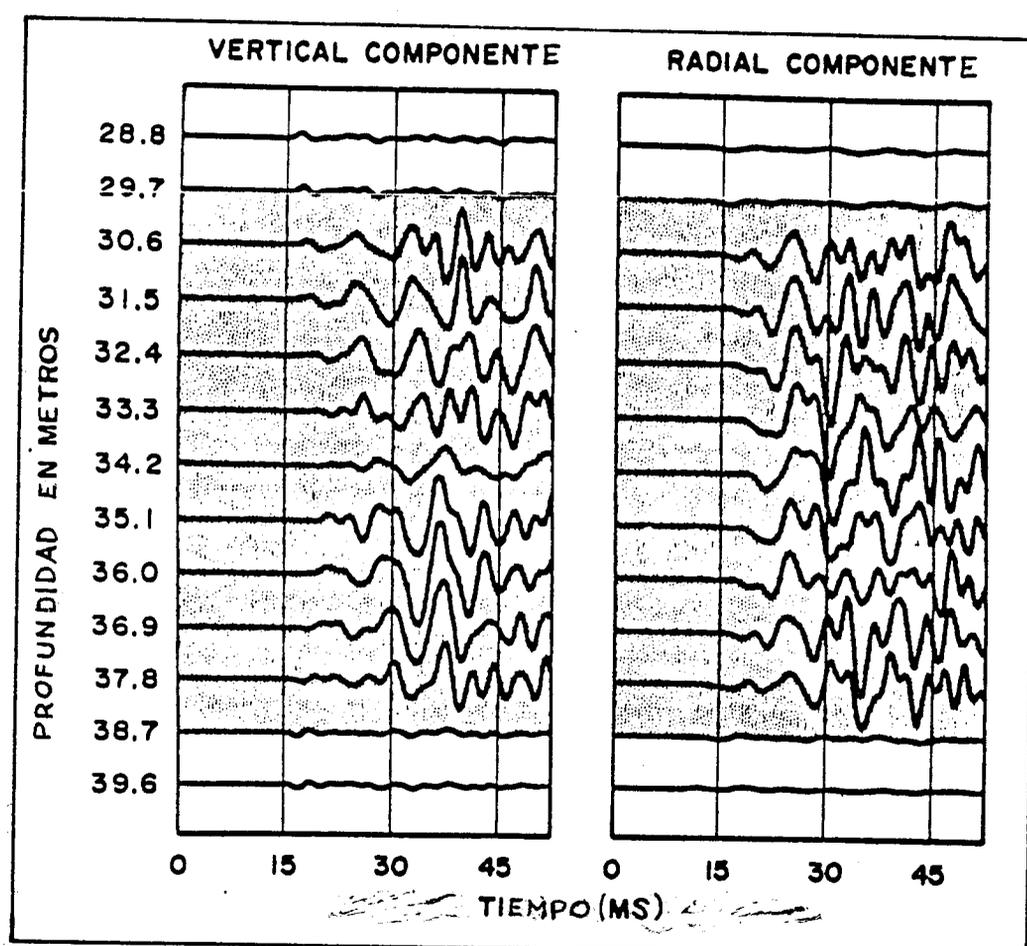


FIGURA 2.19

## EFFECTO DE LA VARIACION DE VELOCIDAD

El modelo de ordenador que combina los métodos de elementos finitos y diferencias finitas ha sido empleado para estudiar la influencia de la variación de la velocidad de las ondas P y S sobre la producción de ondas en capa (Su, 1.976).

Se han simulado tres situaciones, en las que permanecen constantes : las densidades del carbón ( $1,2 \text{ g/cm}^3$ ) y de la roca ( $2,6 \text{ g/cm}^3$ ), y las velocidades de las ondas P en la roca ( $3.600 \text{ m/s}$ ) y de las ondas S en el carbón ( $693 \text{ m/s}$ ). A las velocidades de las ondas S en la roca ( $v_{s2}$ ) y de las ondas P en el carbón ( $v_{p1}$ ), se les han asignado los diferentes valores indicados en la Figura 2.20. En todos los casos, los sismogramas teóricos de un dispositivo vertical de geófonos, distante 16 m de la fuente, evidencian claramente la llegada de ondas en capa, pese a la considerable variación de la velocidad.

Los resultados precedentes indican que la existencia de ondas en capa no está sujeta a restricciones importantes impuestas por los valores de las velocidades sísmicas.

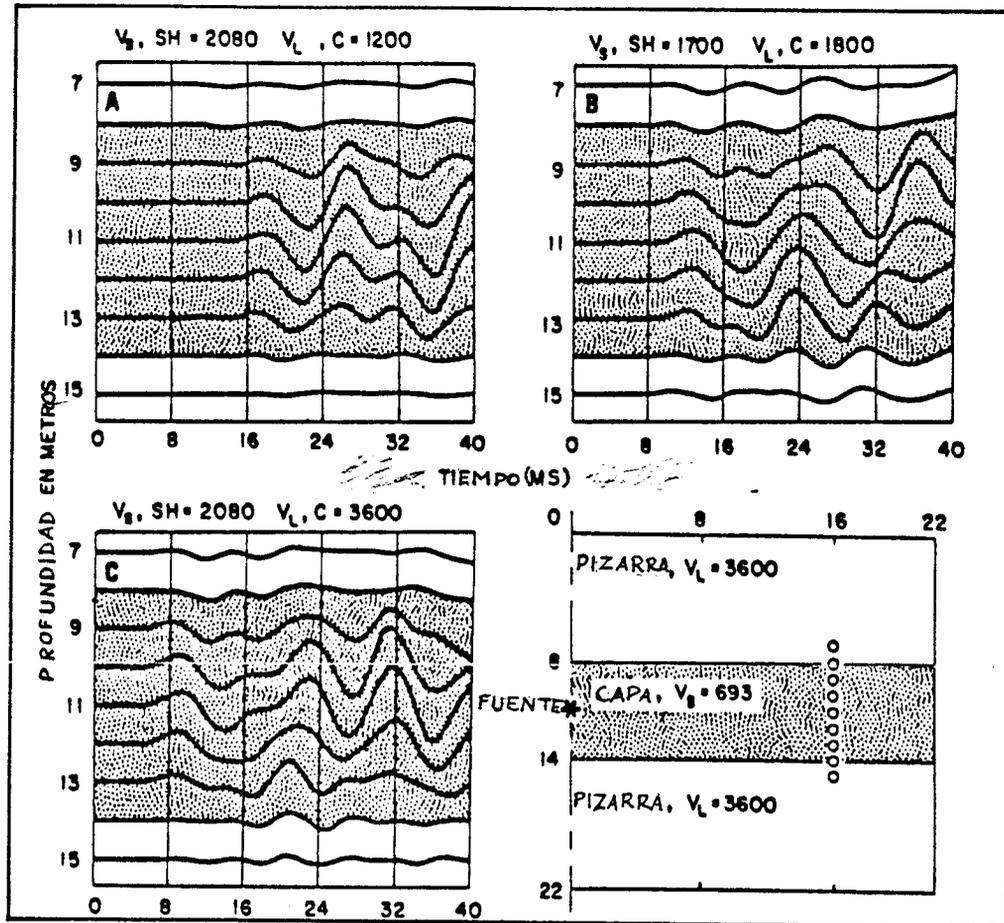


FIGURA 2.20

## GRADO DE CONFINAMIENTO

Las amplitudes de los sismogramas teóricos obtenidos mediante modelos de ordenador confirman que la energía de la onda canalizada se encuentra fuertemente confinada a la capa de carbón.

En efecto, con referencia a la Figura 2.18, la amplitud máxima de la componente radial dentro de la capa es 26 veces mayor =

que la máxima amplitud en la roca a 0,3 m de la interfaz. En la Figura 2.19, la correspondiente relación de amplitudes es 19 para la componente radial y 10 para la vertical.

El modelo de diferencias finitas es aplicable a un número limitado de capas de dimensiones horizontales infinitas.

Consideremos dos capas de carbón de 3 m de potencia separadas por 3 m de roca. Se simulan una fuente explosiva situada en el centro de la capa superior y un dispositivo vertical de geófonos a 20 m de dicha fuente. Las densidades y velocidades sísmicas supuestas, son las mismas de la Figura 2.16.

Los sismogramas teóricos de las componentes radial y vertical correspondientes a tal modelo se muestran en la Figura 2.21. Se deduce de ellos que las ondas canalizadas están confinadas en gran medida en la capa que contiene la fuente sísmica. No se aprecian en la capa inferior llegadas de la misma frecuencia y velocidad de fase.

### 2.1.3.- Amortiguamiento

Las ondas canalizadas experimentan amortiguamiento, es decir, disminución de su amplitud a medida que se alejan de la fuente sísmica. Ello es debido a causas geométricas y físicas.

El amortiguamiento geométrico es una consecuencia de la conservación de la energía, para ondas que se propagan en más de una dimensión. Con la distancia al foco sísmico, aumenta la superficie del frente de onda, y por tanto, la amplitud debe disminuir para que permanezca constante la energía de la onda.

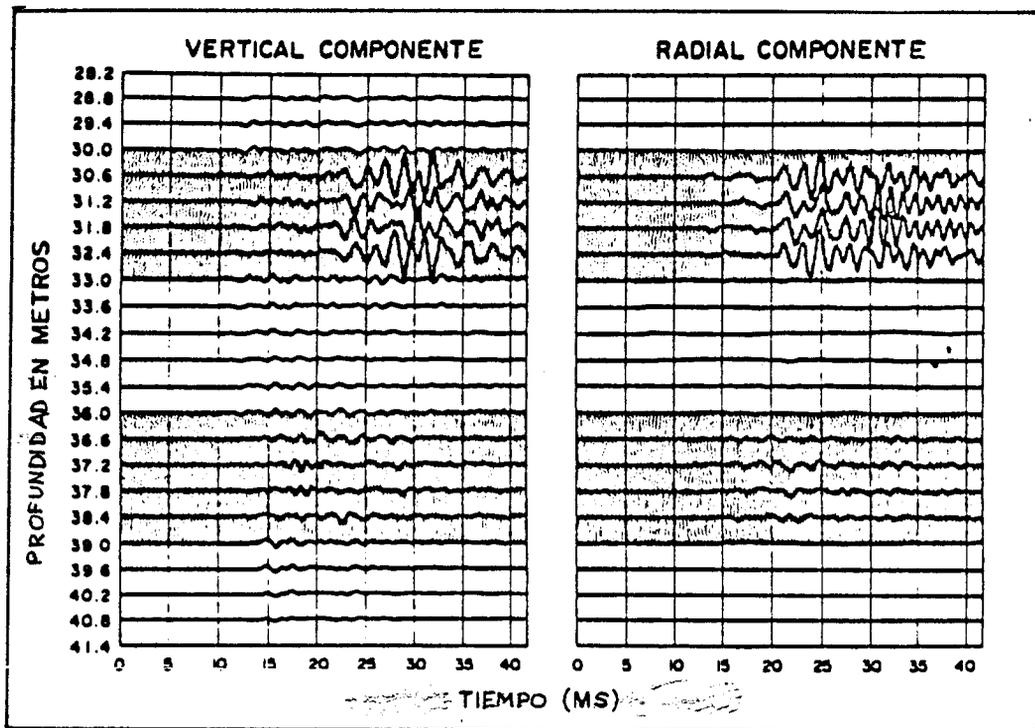


FIGURA 2.21

En particular, las ondas en capa son bidimensionales y se propagan aproximadamente con simetría cilíndrica. Si designamos por  $r$  la distancia a la fuente de ondas, la superficie del frente de onda<sup>2</sup> es  $2d \cdot \pi r$ , y la densidad de energía sísmica es inversamente proporcional a  $r$ . Puesto que la densidad de energía varía como el cuadrado de la amplitud, ésta es proporcional al término  $r^{-\frac{1}{2}}$ . Frecuentemente se trabaja con amplitudes normalizadas, esto es, corregidas por un factor  $r^{\frac{1}{2}}$ .

Debido a que las ondas en capa presentan dispersión, la conservación de la energía implica asimismo que la amplitud de las envolventes de grupo vaya reduciéndose a medida que los trenes de ondas se deforman. No obstante, cada fase se ve a su vez amortiguada por razones físicas.

En efecto, una parte de la energía elástica se disipa en el medio, convirtiéndose en último término en calor. Este mecanismo de amortiguamiento se denomina absorción, y puede considerarse debido a las propiedades anelásticas del medio.

El estudio del amortiguamiento que aquí se presenta, se entiende referido a la absorción de energía.

En un importante número de casos, las fuerzas amortiguadas son proporcionales a la velocidad de oscilación de las partículas del medio. Esto conduce a una variación de la amplitud con la distancia según una ley exponencial  $e^{-\alpha r}$ . El parámetro  $\alpha$  se conoce como coeficiente de amortiguamiento, y depende de la frecuencia.

La disminución exponencial de la amplitud equivale matemáticamente a la propagación de una onda en un medio perfectamente elástico, siendo algún parámetro de la onda y las constantes elásticas del medio cantidades complejas (cf. ecuaciones [2.5] y [2.12]). De esta forma, se facilitan mucho los cálculos.

Frecuentemente, el amortiguamiento se mide mediante el factor de calidad del medio  $Q$ , o su inverso  $Q^{-1}$ , denominado fricción interna o factor de disipación, que suele designarse por  $\epsilon$ .  $Q$  se define como la relación entre la energía almacenada por el medio y la energía disipada en él.

En el supuesto de escasa disipación de energía, se verifica :

$$\frac{1}{Q} = \epsilon = \frac{M_I}{M_R} = \frac{\alpha V_f}{\pi f} \quad (2.15)$$

siendo :

$V_f$  = velocidad de fase

$f$  = frecuencia

$M_R, M_I$  = partes real e imaginaria del módulo elástico complejo  $M$

El módulo  $M$  varía según el tipo de esfuerzos asociados a la onda. En el caso de ondas en capa Love, los esfuerzos son transversales, y por tanto  $M$  es el módulo de cizalladura  $\bar{\mu}$ , definido mediante (2.5).

La hipótesis de escasa disipación equivale, en el modelo roca - carbón - roca, a la condición  $\epsilon_j \ll 1$ , y sucesivamente, a  $\delta \mu_j \ll \mu_j$ , y  $\alpha_j \ll \omega/2 v_j$ . Esto se cumple tanto para el carbón como para la roca.

El amortiguamiento de ondas Love guiadas por una capa de carbón ha sido estudiado desde un punto de vista fenomenológico, es decir, mediante el análisis estadístico de los datos contenidos en registros de ondas canalizadas (Buchanan et al, 1.983). Exponemos a continuación este método.

Sea una onda en capa que se propaga radialmente a partir de una fuente sísmica. A una distancia  $r$  de ésta, el espectro de la onda viene dado por :

$$F(r, \omega) = F_0(\omega) \exp \left[ i \bar{k}(\omega) r \right] / \left[ \bar{k}(\omega) r \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.16)$$

donde  $F_0$  es el espectro de la fuente, y el término  $r^{-\frac{1}{2}}$  representa el amortiguamiento geométrico.

La ecuación precedente incluye también el amortiguamiento por absorción si  $\bar{k}(\omega)$  tiene una parte imaginaria no nula, equivalente al coeficiente de amortiguamiento  $\alpha(\omega)$ . Con  $\bar{k}(\omega) = k(\omega) + i\alpha(\omega)$ , se tiene :

$$\begin{aligned} F &= F_0 \exp \left[ i (k + i\alpha) r \right] / \left[ (k + i\alpha) r \right]^{\frac{1}{2}} = \\ &= F_0 r^{-\frac{1}{2}} e^{-\alpha r} \exp \left[ i k r \right] / (k + i\alpha)^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (2.17)$$

Por lo tanto, el espectro de amplitud es :

$$\begin{aligned} A(r, \omega) &= A_0(\omega) r^{-\frac{1}{2}} e^{-\alpha r} |k + i\alpha|^{-\frac{1}{2}} = \\ &= A_0 r^{-\frac{1}{2}} e^{-\alpha r} (k^2 + \alpha^2)^{-1/4} \end{aligned} \quad (2.18)$$

Tomando logaritmos, y teniendo presente que  $\alpha \ll k$  :

$$\ln \left( r^{\frac{1}{2}} A \right) = \ln \left( k^{-\frac{1}{2}} A_0 \right) - \alpha r \quad (2.19)$$

Se ha demostrado que el coeficiente de amortiguamiento de las ondas Love, de forma aproximada, varía linealmente con la frecuencia. Se expresa :

$$\alpha = \beta \omega \quad (2.20)$$

Por lo tanto, la ecuación

$$\ln \left( r^{\frac{1}{2}} A \right) = \ln \left( k^{-\frac{1}{2}} A_0 \right) - \beta \omega r \quad (2.21)$$

permite estudiar la regresión de  $\ln \left( r^{\frac{1}{2}} A \right)$  sobre  $\omega r$ .

En la práctica, se ha llevado a cabo un ensayo con ondas transmitidas. Los datos de amplitud fueron agrupados en intervalos de frecuencia de ancho de banda  $\Delta f = 20$  Hz y frecuencias centrales  $f_0$  separadas 25 Hz.

Para cada intervalo, se representa  $\ln(r^{\frac{1}{2}} A)$  frente a  $\omega r$ , y se realiza una regresión lineal (Figura 2.22). La pendiente de la recta de regresión cambiada de signo es una estimación de  $\beta$  a la frecuencia  $f_0$ . El correspondiente valor de  $\alpha$  se calcula mediante (2.20).

En la Figura 2.23 se representan las estimaciones del coeficiente de amortiguamiento para diferentes frecuencias, que se ajustan bastante bien a una correlación lineal. En este caso, la regresión por mínimos cuadrados proporciona:

$$\alpha = 0,00342 + 0,0000764 f \quad (2.22)$$

estando expresada  $f$  en Hz, y  $\alpha$  en  $m^{-1}$ . Esto supone un amortiguamiento de las ondas en capa de 0,1 dB/m a 100 Hz, y 0,23 dB/m a 300 Hz.

Puede analizarse el amortiguamiento de ondas Love canalizadas de una forma más teórica. El método consiste en estudiar la relación entre el amortiguamiento de las ondas S en el carbón y la roca encajante, y el amortiguamiento de las ondas en capa (Krey et al, 1.982).

En este caso, se parte de la relación de dispersión (2.10), escrita en la forma:

$$g = \ln \left\{ \rho_1 v_1 \left[ 1 - \left( \frac{v_1}{v_f} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \sin H / \rho_2 v_2 \left[ \left( \frac{v_2}{v_f} \right)^2 - 1 \right] \cos H \right\} = 0$$

$$(2.23)$$

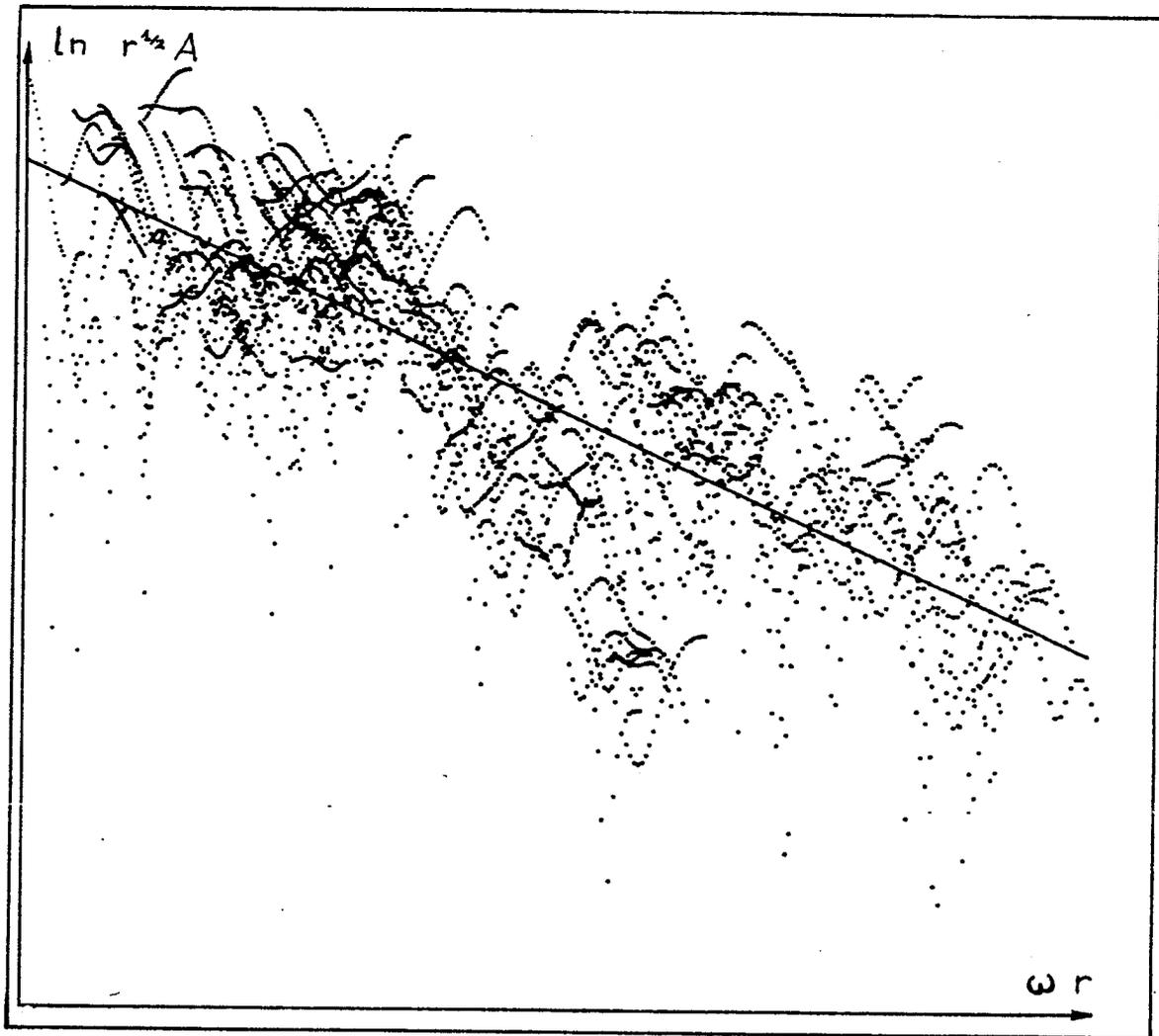


FIGURA 2.22

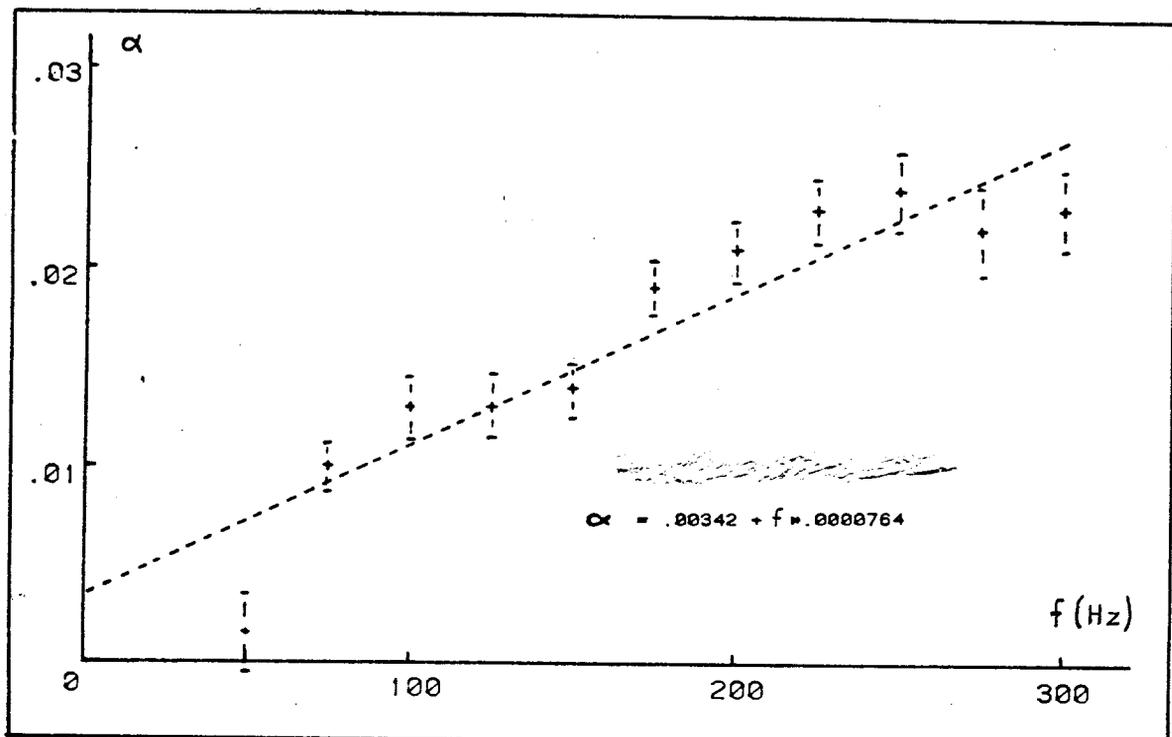


FIGURA 2.23

siendo

$$H = \frac{\omega d}{v_1} \left[ 1 - \left( \frac{v_1}{V_f} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.24)$$

Matemáticamente, el amortiguamiento se introduce haciendo complejos los valores de la velocidad :

$$\bar{v}_1 = v_1 (1 + i \frac{1}{2} \epsilon_1)$$

$$\bar{v}_2 = v_2 (1 + i \frac{1}{2} \epsilon_2)$$

(2.25)

$$\bar{V}_f = V_f (1 + i \frac{1}{2} \epsilon)$$

Si suponemos que la disipación de energía es pequeña, pueden despreciarse las potencias de  $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$  y  $\epsilon$  superiores a la primera. El problema es entonces lineal, y al desarrollar  $g(\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon)$  en serie de Taylor se tiene :

$$\epsilon_1 \frac{\partial g}{\partial \epsilon_1} + \epsilon_2 \frac{\partial g}{\partial \epsilon_2} + \epsilon \frac{\partial g}{\partial \epsilon} = 0 \quad (2.26)$$

La solución general de esta ecuación, calculada haciendo uso de la relación de dispersión (2.23) es (Krey et al, 1.982) :

$$\epsilon = r_1 \epsilon_1 + r_2 \epsilon_2 \quad (2.27)$$

donde las cantidades  $r_1$  y  $r_2$ , de complicada expresión, representan los factores de contribución del carbón y la roca, respectivamente, al amortiguamiento de la onda en capa, es decir :

$$r_1 = \left( \frac{\epsilon}{\epsilon_1} \right)_{\epsilon_2=0}, \quad r_2 = \left( \frac{\epsilon}{\epsilon_2} \right)_{\epsilon_1=0} \quad (2.28)$$

Los valores de  $r_1$  y  $r_2$  dependen de la frecuencia. Se representan en la Figura 2.24 para un modelo de capa con  $d = 1$  m,  $v_1 = 1000$  m/s,  $v_2 = 2000$  m/s,  $\rho_1 = 1,5$  g/cm<sup>3</sup>, y  $\rho_2 = 2,5$  g/cm<sup>3</sup>. La roca encajante predomina en el amortiguamiento de las frecuencias bajas, mientras que el carbón controla el amortiguamiento de las frecuencias más altas. El valor máximo de  $r_1$  se produce en la gama de frecuencias de la fase de Airy.

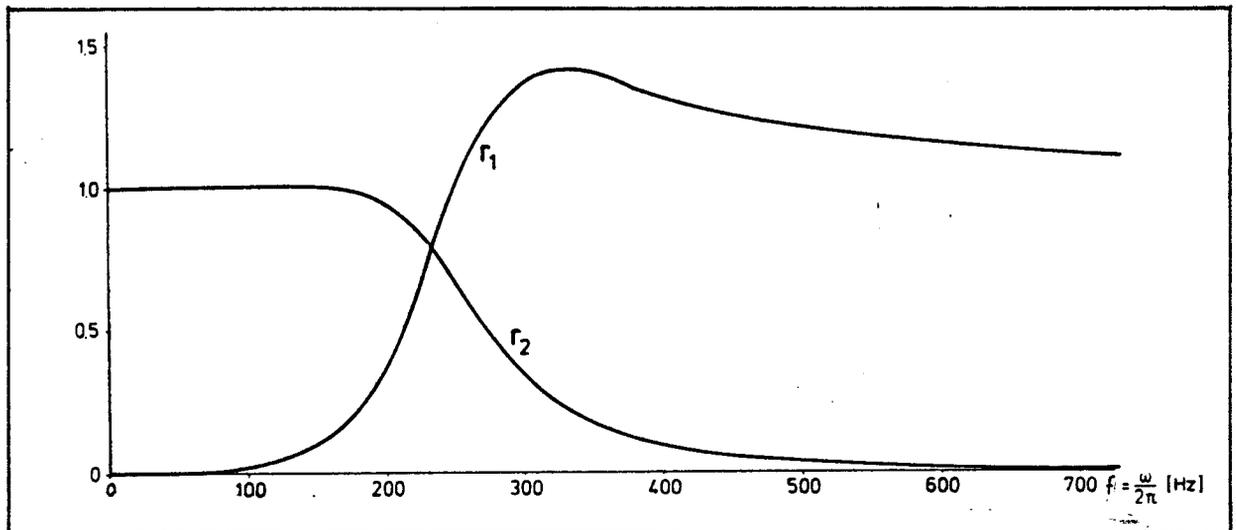


FIGURA 2.24

El empleo de la relación (2. 27) requiere el conocimiento de los valores de  $\epsilon_1$  y  $\epsilon_2$ . Nótese que éstos, conforme a las relaciones (2. 15), son constantes, pues las ondas S convencionales no presentan dispersión, y su coeficiente de amortiguamiento varía linealmente con la frecuencia.

Primeramente, se determina  $\epsilon(f)$  para dos intervalos de frecuencia diferentes. Los valores de  $r_1$  y  $r_2$  correspondientes a ambas frecuencias pueden obtenerse de la Figura 2.24. Por lo tanto, disponemos de un sistema de ecuaciones que permite calcular  $\epsilon_1$  y  $\epsilon_2$ , o sus inversos, los factores de calidad  $Q_1$  y  $Q_2$  del carbón y la roca in situ.

Mediante este procedimiento es posible determinar  $\epsilon$  para cualquier frecuencia a partir de su valor para dos frecuencias determinadas.

Los dos valores puntuales de  $\epsilon(f)$  se determinan analizando estadísticamente los datos de un ensayo con ondas en capa transmitidas.

Se eligen sendos intervalos de frecuencia con relaciones señal/ruido elevadas (p.ej., la fase de Airy). Para cada intervalo, se representa  $\ln A$ , o su equivalente  $\frac{1}{2} \ln E$ , frente a la distancia  $r$ . Sobre los puntos obtenidos se efectúa una regresión lineal. La pendiente de la recta de regresión cambiada de signo constituye una buena estimación del coeficiente de amortiguamiento :

$$\alpha(f_0) = - \frac{d}{dr} \left[ \frac{1}{2} \ln E \right] = \frac{\pi f_0}{V_f(f_0)} \epsilon(f_0) \quad (2. 29)$$

siendo  $V_f$  la velocidad de fase de las ondas Love, y  $f_0$  la frecuencia central del intervalo. La relación (2.29) permite calcular  $\epsilon(f_0)$ .

En un caso práctico se obtuvieron  $\epsilon_1 = 0,0145$  y  $\epsilon_2 = 0,0066$ . En la Figura 2.25 se representa la función  $\epsilon(f)$  calculada a partir de estos valores, así como el coeficiente de amortiguamiento  $\alpha(f) = \pi f \epsilon(f) / V_f(f)$ . Este, para frecuencias superiores es a la de la fase de Airy, aumenta proporcionalmente a la frecuencia.

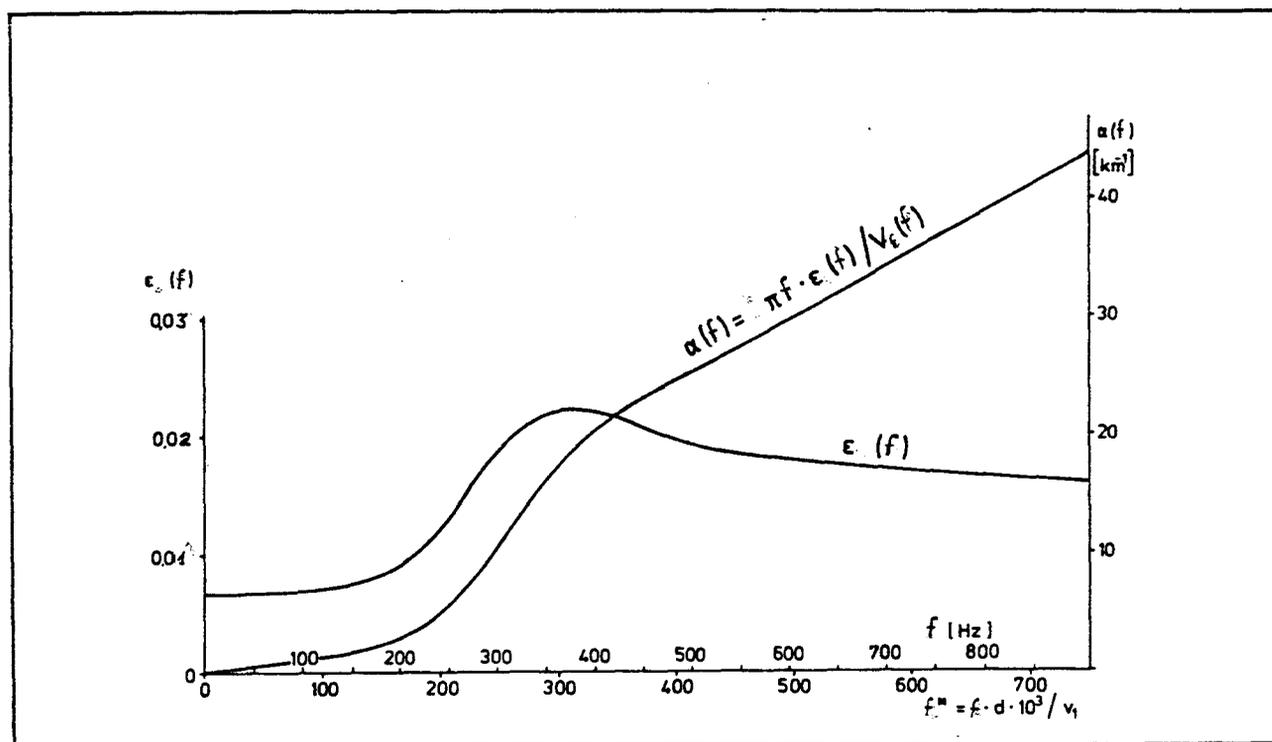


FIGURA 2.25

Hemos señalado que la fase de Airy presenta el menor = amortiguamiento geométrico, debido a que su amplitud varfa asintóticamente con la distancia  $r$  según un factor  $r^{-1/3}$ . Pese a ello, su amplitud puede no ser la mayor si se toma en consideración el amortiguamiento por absorción (Buchanan, 1. 978).

En efecto, el coeficiente de amortiguamiento aumenta linealmente con la frecuencia, y por tanto, cabe esperar que la fase de Airy se vea amortiguada más eficazmente que las bajas frecuencias del principio del espectro.

Expresemos las amplitudes de la fase de Airy y de otra = fase cualquiera mediante la ecuación (2.18), admitiendo  $\alpha \ll k$ , y tomando en consideración la dependencia asintótica de la fase de Airy.

$$A(\omega_A) = A_0(\omega_A) k_A^{-1/3} \left(\frac{r}{d}\right)^{-1/3} \exp\left[-(k'\theta)_A \frac{r}{d}\right] \quad (2.30)$$

$$A(\omega) = A_0(\omega) k^{-1/2} \left(\frac{r}{d}\right)^{-1/2} \exp\left[-(k'\theta) \frac{r}{d}\right]$$

Por tanto, el cociente entre las amplitudes de ambas fases viene dado por :

$$A_R = \frac{A(\omega_A)}{A(\omega)} = C \left(\frac{r}{d}\right)^{1/6} \exp\left\{-\left[(k'\theta)_A - (k'\theta)\right] \frac{r}{d}\right\} \quad (2.31),$$

siendo  $C$  una constante.

Para frecuencias superiores a la frecuencia de Airy, se verifica  $(k^1 \theta) > (k^1 \theta)_A$ . Consecuentemente,  $A_R$  es una función creciente de  $r/d$ , y para los valores de  $r$  de interés, mayor que la unidad.

Sin embargo, para frecuencias inferiores a la de Airy,  $(k^1 \theta) < (k^1 \theta)_A$ . En este caso, el cociente de amplitudes disminuye con la distancia, y eventualmente se hace menor que la unidad.

Por tanto, la fase de Airy se propaga con la mayor amplitud sólo hasta una determinada distancia. A partir de ésta, la teoría recomienda el uso de la frecuencia más baja compatible con las exigencias de resolución.

Si se aplica a las ondas Love el criterio de energía propuesto para ondas Rayleigh ( $E_R > 0,5$ ), existe un límite inferior de la frecuencia a utilizar. Cuando éste sea incompatible con las consideraciones de amortiguamiento, debe emplearse una frecuencia intermedia de compromiso.

#### 2.1.4.- Anisotropía

En lo tratado hasta ahora, se ha admitido que las ondas en capa se propagan a través de un medio isótropo.

Esto no es rigurosamente cierto. En el mejor de los casos, una capa de carbón presentaría isotropía transversal, debido a la elevada presión ejercida por la roca suprayacente.

Con frecuencia, una capa de carbón posee uno o dos planos de clivaje perpendiculares al plano de estratificación, a lo largo de los cuales se encuentra intensamente fracturado.

Se ha establecido de una forma teórica que la existencia de sistemas de litoclasas paralelas en un medio, comporta una propagación anisótropa de las ondas P y S convencionales. Es decir, tanto la velocidad como el coeficiente de amortiguamiento dependen del ángulo entre las direcciones de propagación de la onda y de fracturación del medio.

Cabe esperar que las ondas guiadas por una capa de carbón muestren, en razón del clivaje, similares características. Experimentalmente, se ha comprobado que, en algunas capas de carbón, la velocidad presenta una anisotropía apreciable (Buchanan et al, 1.983).

La teoría de rayos sísmicos estudia la propagación anisótropa mediante los conceptos de superficie  $\omega - k$  y superficie de lentitud de fase.

La superficie  $\omega - k$  es el lugar geométrico del vector de onda  $\vec{k}$  para las diversas frecuencias  $\omega$ . En el caso de un medio bidimensional, isótropo y no dispersivo, se trata de un cono circular cuyo eje es el eje  $\omega$ . Si el medio es dispersivo y anisótropo, se transforma en una superficie curva no circular, que verifica una cierta ecuación

$$f(\omega, k) = 0 \quad (2.32)$$

La superficie de lentitud de fase  $\vec{L}_f$  (magnitud de dimensiones inversas a la velocidad), se define por :

$$\vec{L}_f = \frac{\vec{k}}{\omega} \quad (2.33)$$

A su vez, el vector lentitud de grupo viene dado por :

$$\vec{L}_g = \frac{d \vec{k}}{d \omega} \quad (2.34)$$

La principal consecuencia de la propagación anisótropa es el no paralelismo entre los vectores de lentitud de fase y de grupo. En efecto, puede demostrarse que, para cada frecuencia, la lentitud de grupo es normal a la no circular superficie de lentitud de fase.

Si el medio es además dispersivo, la lentitud de grupo puede calcularse conocida la lentitud de fase, pero no a la inversa. Esto supone una limitación en la práctica, pues la sísmica en capa en general proporciona solamente datos sobre la lentitud de grupo.

En un medio homogéneo y anisótropo, tal como una capa de carbón, las ondas planas se propagan en línea recta.

La anisotropía afecta al fenómeno de la reflexión. En efecto, los ángulos de incidencia  $\eta_i$  y de reflexión  $\eta_r$  no son iguales. Para una frecuencia dada, el ángulo de reflexión puede determinarse gráficamente si la superficie de lentitud de fase es conocida.

Las condiciones de contorno para la reflexión exigen la continuidad de la componente transversal  $k \sin \eta$  del vector de onda  $\vec{k}$ . Puesto que  $\omega$  es constante, ello equivale, conforme a (2.33), a la ley de Snell generalizada :

$$L_f(\eta_i) \sin \eta_i = L_f(\eta_r) \sin \eta_r \quad (2.35)$$

Gráficamente, de la superficie de lentitud de fase puede obtenerse la superficie  $\omega - k$ , que se representa en la Figura 2.26. Con referencia a ésta, el eje  $k_t$  es paralelo al reflector. Representando por OA el vector de onda incidente, se traza una perpendicular por A al eje  $k_t$  y se prolonga hasta cortar la superficie  $\omega - k$ . OB es entonces el vector de onda reflejado. Las correspondientes direcciones de los rayos sísmicos (lentitudes de grupo) se determinan trazando las normales a la superficie en A y B.

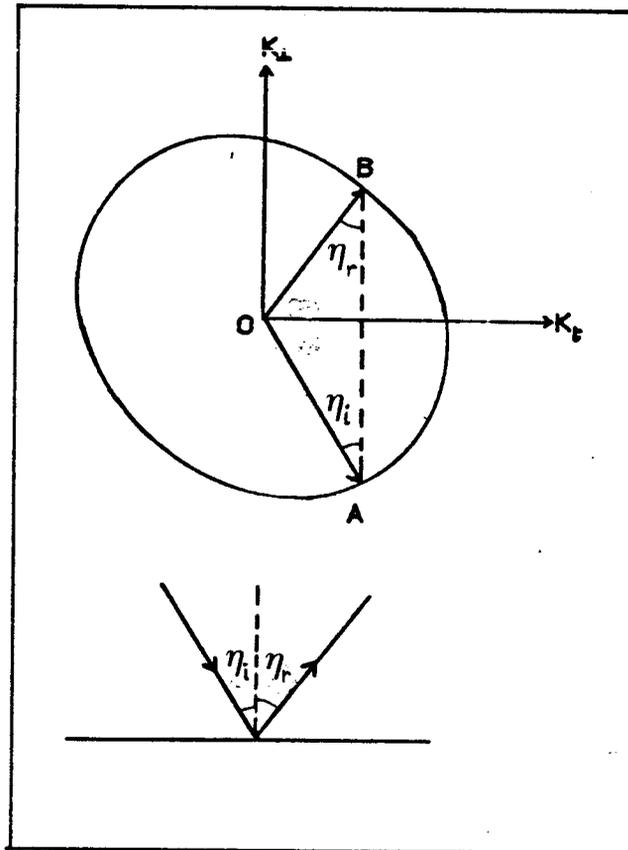


FIGURA 2.26

## 2. 2. - TOMA DE DATOS

### 2. 2. 1. - Tipos de ensayos y metodología

La sísmica en capa utiliza ondas canalizadas para la exploración de capas de carbón. Tanto las fuentes que generan ondas sísmicas como los detectores están acoplados directamente a la capa.

Atendiendo a los accesos a la capa de carbón en los que se sitúan las fuentes y los detectores, se distinguen los siguientes tipos de ensayos :

1. De frente (o galería) a frente (o galería)
2. De sondeo a sondeo
3. De sondeo a frente (o galería)

### FRENTE - FRENTE

La realización práctica de pruebas de sísmica en capa entre frentes o galerías está fuertemente condicionada por las características de la minería de interior. Los accesos y la escasez de espacio limitan el movimiento y obligan a simplificar en lo posible la técnica de toma de datos. Por otra parte, la legislación minera en materia de seguridad es muy estricta, por lo que han debido diseñarse equipos especiales.

Como fuente sísmica se emplea un explosivo autorizado, de baja velocidad de detonación. La carga está emplazada al final de un barreno de 2 a 3 m de longitud paralelo a la capa. La cantidad de explosivo es del orden de 100 a 125 g, para favorecer las altas frecuencias. Puede ejercerse una cierta influencia sobre el espectro de frecuencias emitido variando el tamaño de la carga.

En un principio, se utilizaba también como fuente el golpeo con martillo de una barra metálica introducida en el barreno, pero ha caído en desuso.

La señal de la fuente es casi impulsiva, lo que justifica su asimilación a la función de Dirac.

Los detectores sísmicos consisten generalmente en geófonos, y van emplazados también en barrenos de 2 m de longitud paralelos a la capa.

Para fines de investigación se utilizan acelerómetros en vez de geófonos. Su elevado coste desaconseja su uso en pruebas de rutina.

Es preciso que los detectores estén anclados firmemente a la pared del barreno. Un buen acoplamiento mejora la calidad de los registros, eliminando o reduciendo el ruido debido a burbujas de aire próximas al detector. Merecen ser reseñados los siguientes dispositivos de anclaje :

1. Abrazadera de latón, sobre la que van montados los geófonos.
2. Camisa de caucho hinchable, que al inyectársele aire aprieta el detector contra la capa.
3. Tubo de PVC (cloruro de polivinilo), que se ajusta a un barreno de diámetro normalizado. El detector está rígidamente unido al interior del tubo.

En la práctica se emplean geófonos con una frecuencia natural de 28 Hz. Existen detectores que poseen tres geófonos dispuestos ortogonalmente (detectores triaxiales). Se orientan en el barreno de tal forma que una de las componentes medidas sea perpendicular a la capa.

Esta componente vertical rara vez es registrada. Por ello, se han desarrollado también detectores con dos geófonos, cuyas direcciones de máxima sensibilidad son normales entre sí (Figura 2.27). El detector se orienta de tal manera que puedan registrarse dos componentes de la velocidad de las partículas paralelas a la capa. Gracias a ello, es posible separar las ondas de tipo Love de las de tipo Rayleigh.

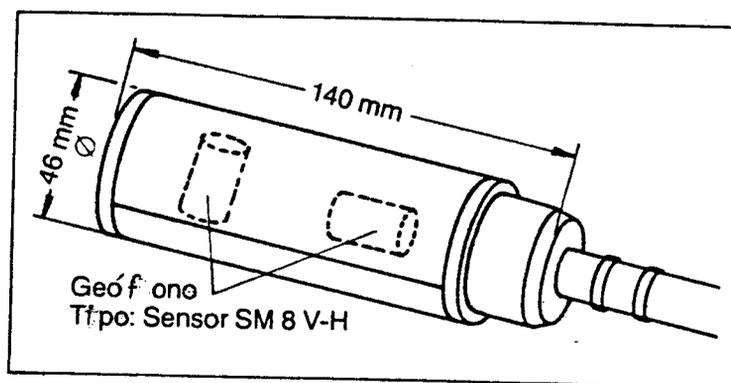


FIGURA 2.27

Las ondas canalizadas más útiles en sísmica en capa son = las del modo simétrico fundamental de tipo Love. Puesto que su amplitud máxima tiene lugar en el plano central de la capa, tanto la carga explosiva como los geófonos deben situarse en el centro de la capa.

Sin embargo, se ha comprobado que con dicha disposición, el porcentaje de energía sísmica en forma de ondas Love es pequeño.

Esto puede subsanarse disparando una segunda carga en un barreno separado 50 ó 100 cm del primero. Se obtienen así ondas Love de mayores amplitudes, debido probablemente a que la primera explosión altera la simetría circular de las propiedades físicas en torno al segundo barreno.

Este procedimiento permite excitar modos simétricos superiores de las ondas en capa. Supongamos que se desea generar el modo simétrico Love siguiente al fundamental. Para ello, se disponen tres barrenos en la misma vertical, en los puntos donde la amplitud de oscilación presenta valores extremos (ver Figura 2.28). Paralelamente, se perforan tres barrenos de preparación, a la misma distancia del centro de la capa que los anteriores, pero desplazados lateralmente 60 cm alternativamente a izquierda y derecha de los primeros. Una vez disparados los barrenos de preparación, se ha creado una heterogeneidad, y las restantes cargas excitarán preferentemente el modo correspondiente a  $n = 2$ .

En los ensayos de sísmica en capa es práctica habitual perforar varios barrenos regularmente espaciados a lo largo de la capa. Las cargas son detonadas sucesivamente. La separación entre barrenos se elige en función de la extensión del área investigada y de la geometría de la discontinuidad de la capa (si se conoce algo sobre ella).

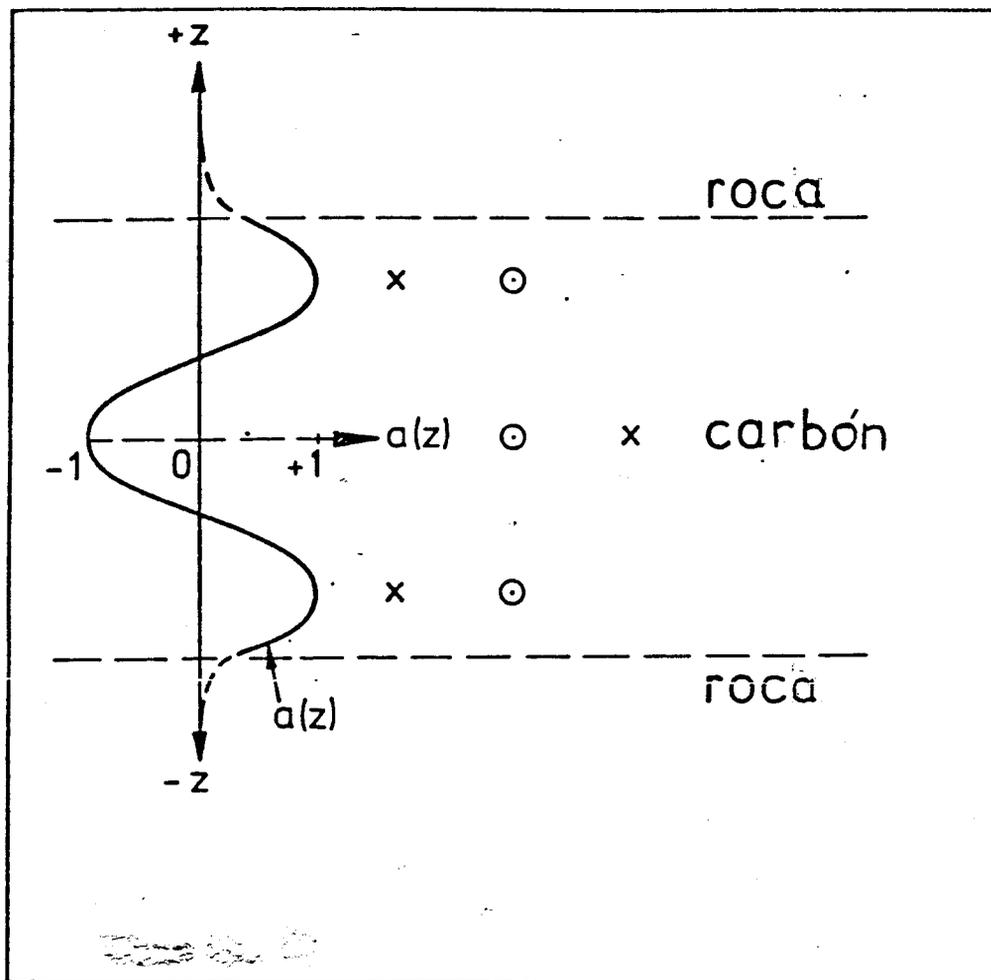


FIGURA 2.28

Los dispositivos de geófonos están representados en la Figura 2.29. Se perforan barrenos cada 3 m a lo largo de la capa. Con objeto de eliminar las ondas que se propagan paralelamente al frente, los geófonos se conectan en grupos de tres. Cada grupo produce una traza en el aparato de registro. La separación entre dos grupos consecutivos es de 9 m.

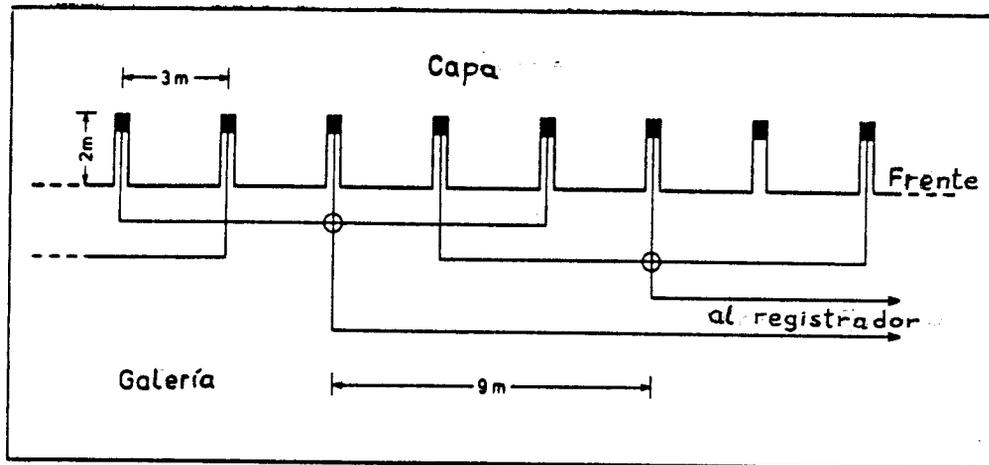


FIGURA 2. 29

Pueden aplicarse dos métodos de sísmica en capa : el de transmisión y el de reflexión. Siempre que sea posible deben realizarse ambos en áreas próximas.

#### Método de transmisión

Es el más sencillo de los dos. Se emplea para detectar la existencia de fallas en un panel de carbón y estimar la magnitud de su salto en comparación con la potencia de la capa. Además, permite determinar la velocidad de las ondas canalizadas y los parámetros de amortiguamiento del medio.

El principio del método de transmisión se muestra en la Figura 2. 30. Los puntos de disparo se sitúan en una galería, en tanto que los geófonos se colocan bien en una galería paralela a la anterior, bien en un frente aproximadamente perpendicular a la primera galería.

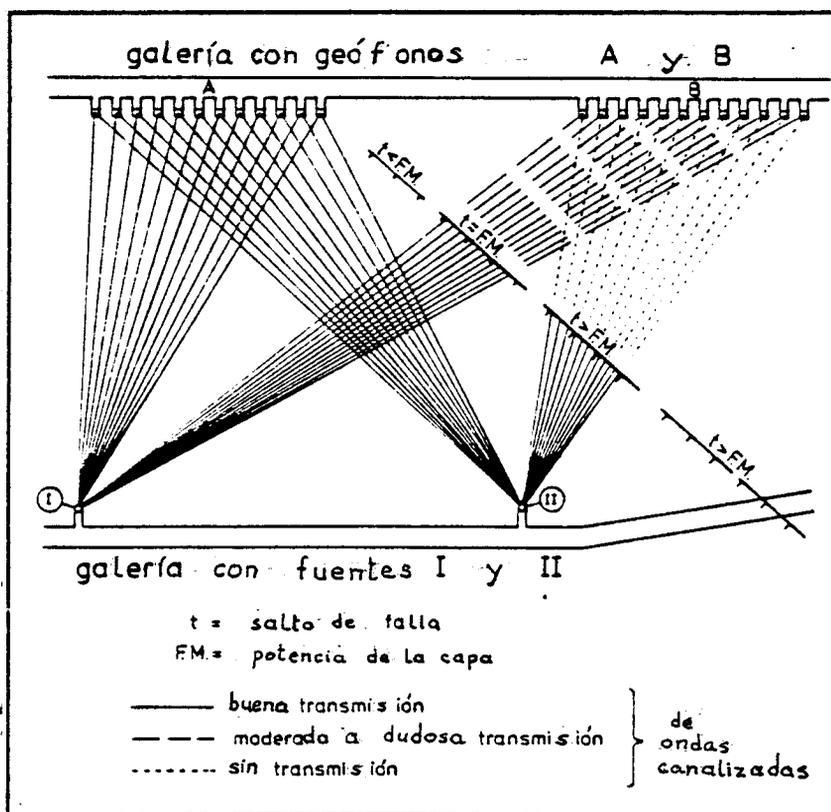


FIGURA 2.30

Por lo tanto, en un ensayo de transmisión, las ondas sísmicas se propagan a través de un bloque de carbón de geometría conocida.

Un sismograma de transmisión típico, tal como el representado en la Figura 2.31., contiene :

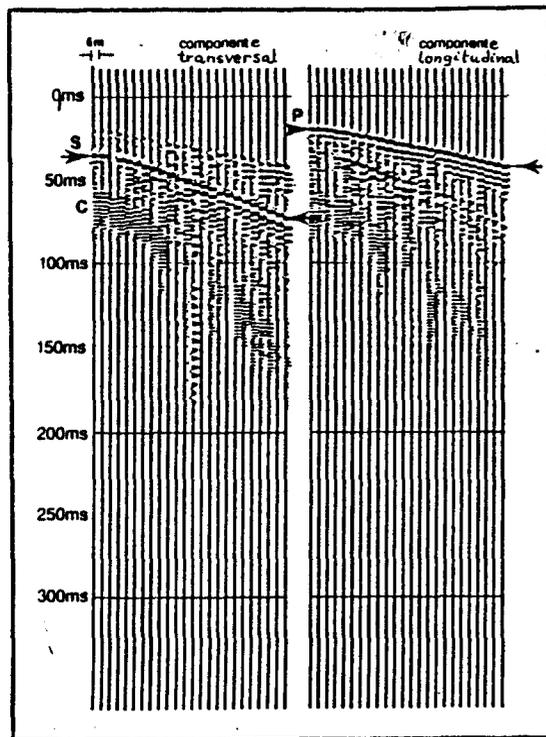


FIGURA 2. 31

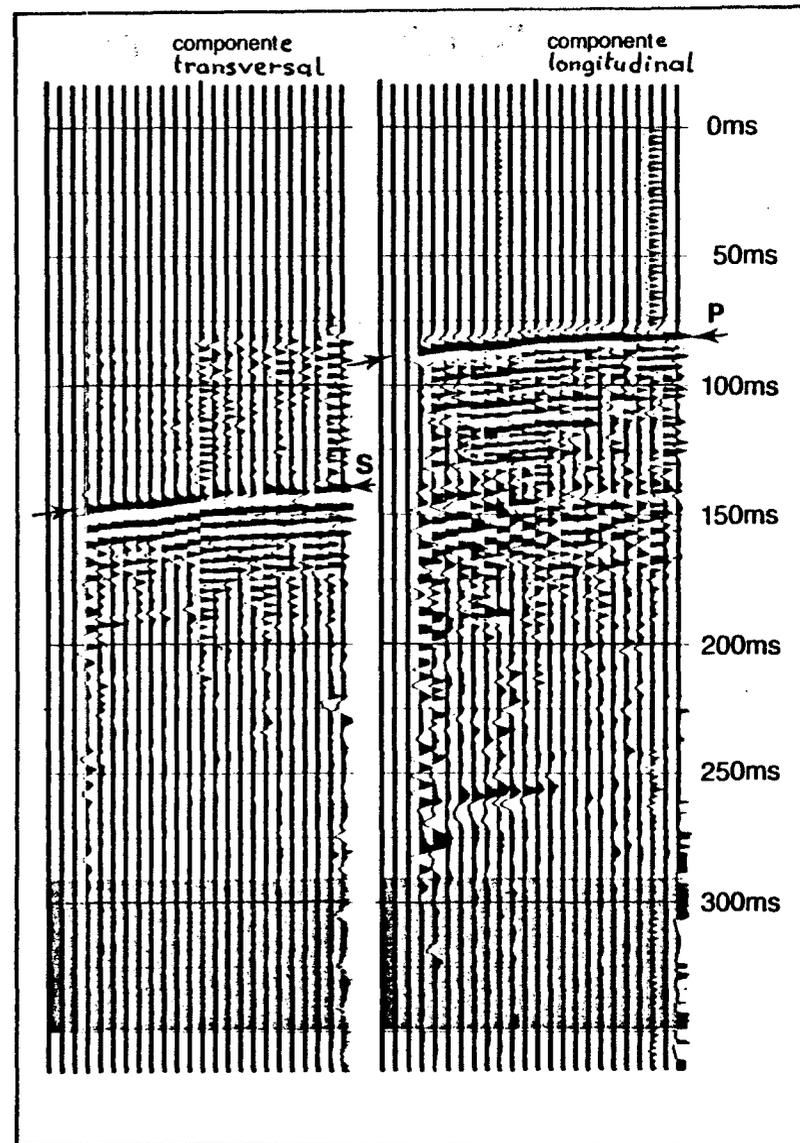


FIGURA 2. 32

- la onda P, que se propaga por la roca encajante y constituye la primera llegada
- la onda S, propagada asimismo a través de la roca encajante
- el tren de ondas en capa C, en el que predomina la fase de Airy

El principal criterio de interpretación de una prueba de transmisión es la llegada o no de ondas en capa. Por ello, es frecuente interpretar los sismogramas mediante simple inspección visual.

Si se observan ondas en capa de buena calidad, puede deducirse que no existen fallas o que su salto es inferior a la potencia de la capa.

Las ondas en capa de mediana o baja calidad indican la presencia de una falla de salto aproximadamente igual a la potencia de la capa.

Cuando no se aprecia la llegada de ondas en capa, su propagación ha sido interrumpida por una falla de salto superior a la potencia de la capa u otra perturbación importante. Un sismograma de este tipo se muestra en la Figura 2.32. Las ondas en capa deberían observarse a unos 300 m.

Las conclusiones precedentes sólo son aplicables al área estudiada en cada ensayo, es decir, al abanico o triángulo formado por el punto de disparo y los geófonos de los extremos (ver Figura 2.30).

Por tanto, una única prueba no permite concluir más que la línea de falla intersecta el abanico, sin poder precisar su posición. Mediante un número elevado de disposiciones geométricas del punto de disparo y los geófonos es posible separar las zonas perturbadas de las no perturbadas dentro de un panel.

Se han llevado a cabo ensayos de transmisión con éxito a distancias de hasta 1000 veces la potencia de la capa.

### Método de reflexión

Se utiliza para detectar y localizar la posición de fallas y otras perturbaciones en un panel de carbón. El plano de falla actúa como un reflector sísmico, debido al contraste de impedancia acústica a ambos lados de él.

En la Figura 2.33 se muestra el principio del método de reflexión. Tanto los puntos de disparo como los geófonos se encuentran situados en el frente de arranque o en una misma galería.

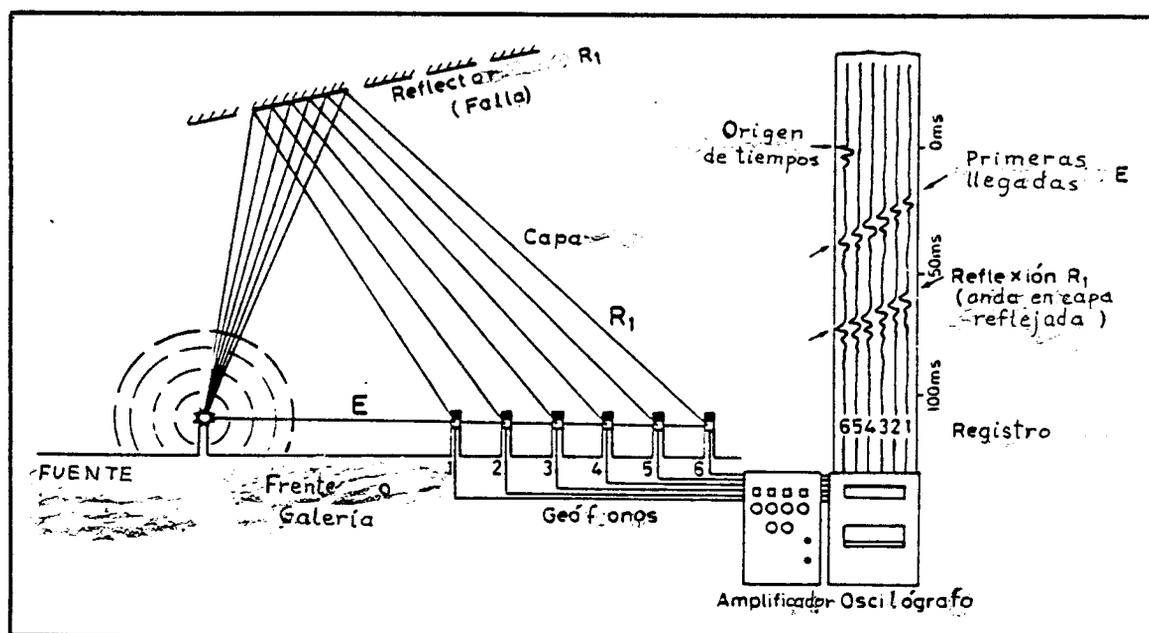


FIGURA 2.33

Por tanto, en un ensayo de reflexión, las ondas en capa se propagan desde una fuente sísmica, se reflejan en un plano de falla, y finalmente son recibidas por los geófonos.

Un sismograma de reflexión típico, tal como el representado en la Figura 2.34, contiene :

- la onda P directa ( $P_d$ ), que se propaga a través de la roca encajante y constituye la primera llegada
- la onda en capa directa ( $C_d$ ), propagada a lo largo de la pared de la galería o del frente de arranque
- la onda en capa reflejada ( $C_r$ ), si se produce reflexión.

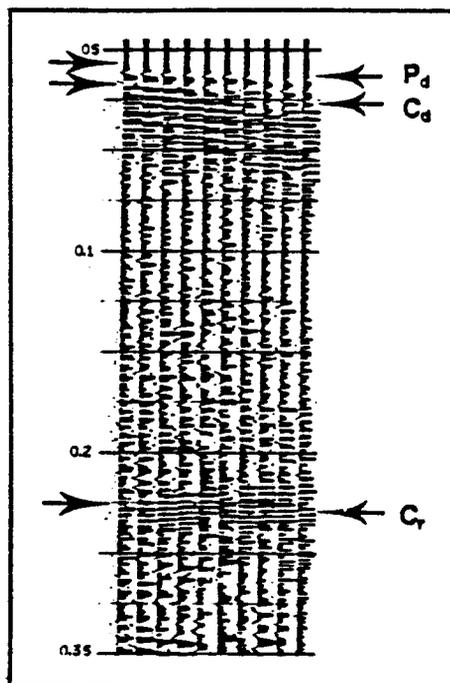


FIGURA 2.34

La inspección visual de los sismogramas permite dictaminar la llegada de ondas reflejadas, y consecuentemente, predecir la existencia de una falla. Para precisar su posición, deben conocerse los tiempos de llegada de las ondas y la velocidad sísmica del carbón. Los tiempos de llegada se obtienen de los sismogramas de reflexión, en tanto que la velocidad puede deducirse de un ensayo de transmisión. Este ha de llevarse a cabo en un área no fallada de la misma capa lo más próxima posible al lugar de la prueba de reflexión.

El rumbo de las fallas que se pretende localizar puede formar cualquier ángulo con la línea sísmica (frente o galería). Es importante disponer los puntos de disparo y los geófonos de tal forma que se reciban reflexiones de toda la corrida de la falla.

La Figura 2.35 puede contribuir a lograr esto último. En ella, los círculos representan puntos de disparo, y las rayas geófonos. Las áreas en negro muestran, en diferentes puntos de la capa de carbón, la gama de direcciones de la falla para las cuales al menos un geófono recibe una señal reflejada del punto en cuestión.

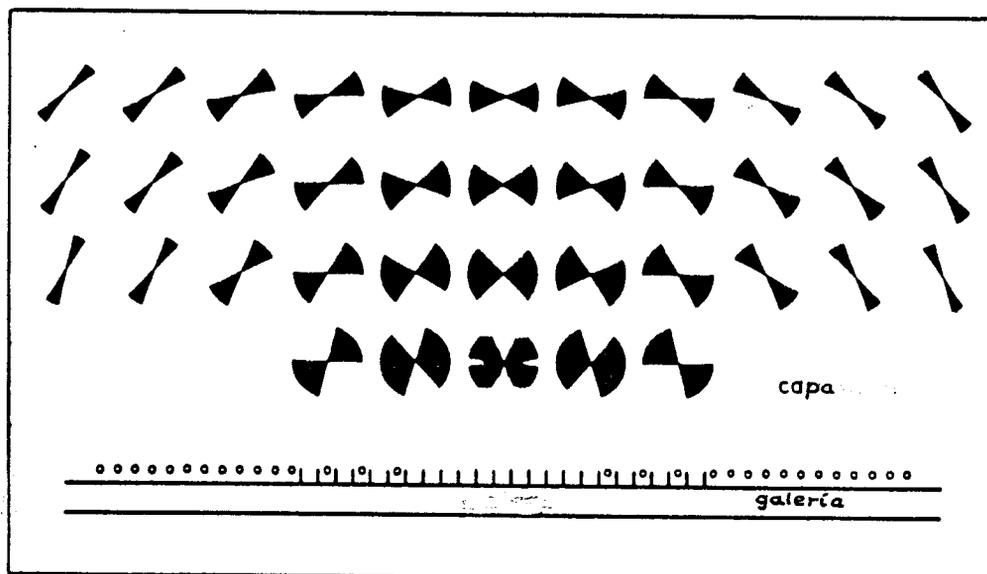


FIGURA 2.35

Como se observa en la Figura 2.35, a distancias del dispositivo de geófonos mayores que la longitud de éste, la gama de rumbos es reducida, y su orientación depende de la posición del punto respecto al centro del dispositivo. No puede alargarse indefinidamente el dispositivo aumentando el espaciamiento entre geófonos consecutivos, pues se introducen ambigüedades en la interpretación de resultados.

El ángulo entre el plano de falla y el plano central de la capa debe ser superior a  $30^\circ$ . De lo contrario, no se obtendrán reflexiones coherentes. Por otra parte, el ángulo de buzamiento de la capa no tiene influencia alguna sobre los resultados de una prueba de reflexión.

Se pretende realizar los ensayos de reflexión con cobertura múltiple, es decir, que cada punto que da lugar a una reflexión es muestreado varias veces, generalmente seis o doce.

El grado de cobertura depende del ángulo entre el rumbo de la falla y la línea sísmica. Con referencia a la Figura 2.35, el área ennegrecida en la posición central más próxima a los geófonos se ha dibujado trazando para cada dirección un vector proporcional al número de trazas registrables para dicha posición.

Mediante el método de reflexión, se han localizado con éxito fallas a distancias de hasta 200 veces la potencia de la capa.

#### SONDEO - SONDEO

Este tipo de ensayos está condicionado por el escaso número de detectores o canales de registro, y por la necesidad de colocar

fuentes y detectores en sondeos verticales a una cierta profundidad. Por otra parte, el equipo de registro puede situarse en la superficie, por lo que no precisa protección antideflagrante.

Como fuentes sísmicas pueden emplearse cargas explosivas o aparatos mecánicos. Las primeras generan ondas de mucho mayor alcance.

Una fuente explosiva se representa en la Figura 2.36. El dispositivo contiene un mecanismo de ignición de la carga. Puede añadirse una unidad que mejora la polarización de la energía sísmica en el plano horizontal.

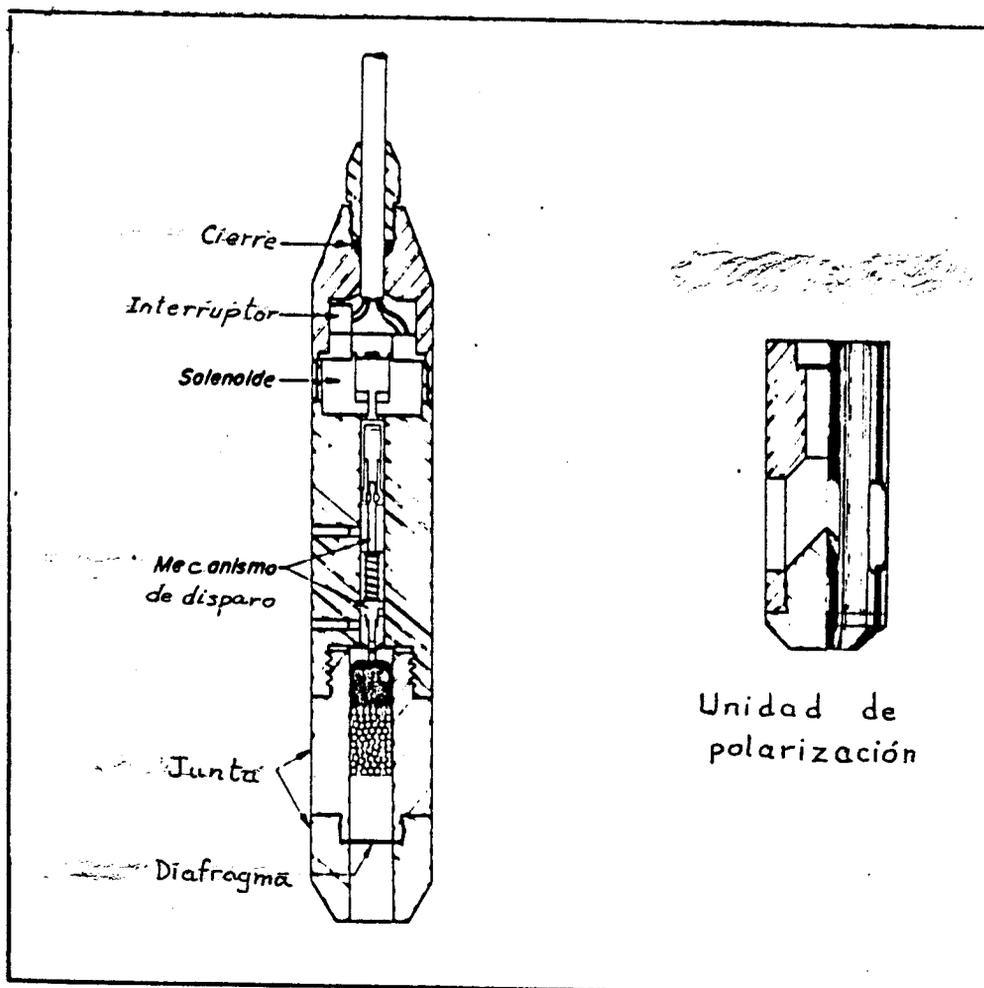


FIGURA 2.36

La Figura 2. 37 muestra una fuente mecánica en sus configuraciones armada y disparada. La herramienta pesa 50 kg y tiene 2,5 m de longitud y 7,3 cm de diámetro. Unos brazos flexibles accionados hidráulicamente aprietan fuertemente la herramienta contra las paredes del sondeo. El golpeo lo produce un martillo de 10 kg impulsado por un muelle.

Este dispositivo mecánico presenta las siguientes ventajas :

1. Puede ser armado y disparado sucesivas veces sin sacarlo a la superficie.
2. Puede usarse en posición horizontal.
3. Debido a su cierre, no hay razones de seguridad que impidan su uso en interior de mina.

Se han utilizado varios tipos de detectores sísmicos, entre los que merecen reseñarse :

- Acelerómetros triaxiales, únicamente para fines de investigación.
- Transductores piezoeléctricos, sensibles a la presión. Sólo funcionan sumergidos en fluido, y van montados sobre un cable especial. Al conjunto se le denomina cable de velocidad.
- Geófonos triaxiales, anclados firmemente a las paredes del sondeo. Son los más empleados.

La Figura 2. 38 representa un geófono triaxial y su mecanismo magnético de orientación. En la práctica, el cero del acimut =

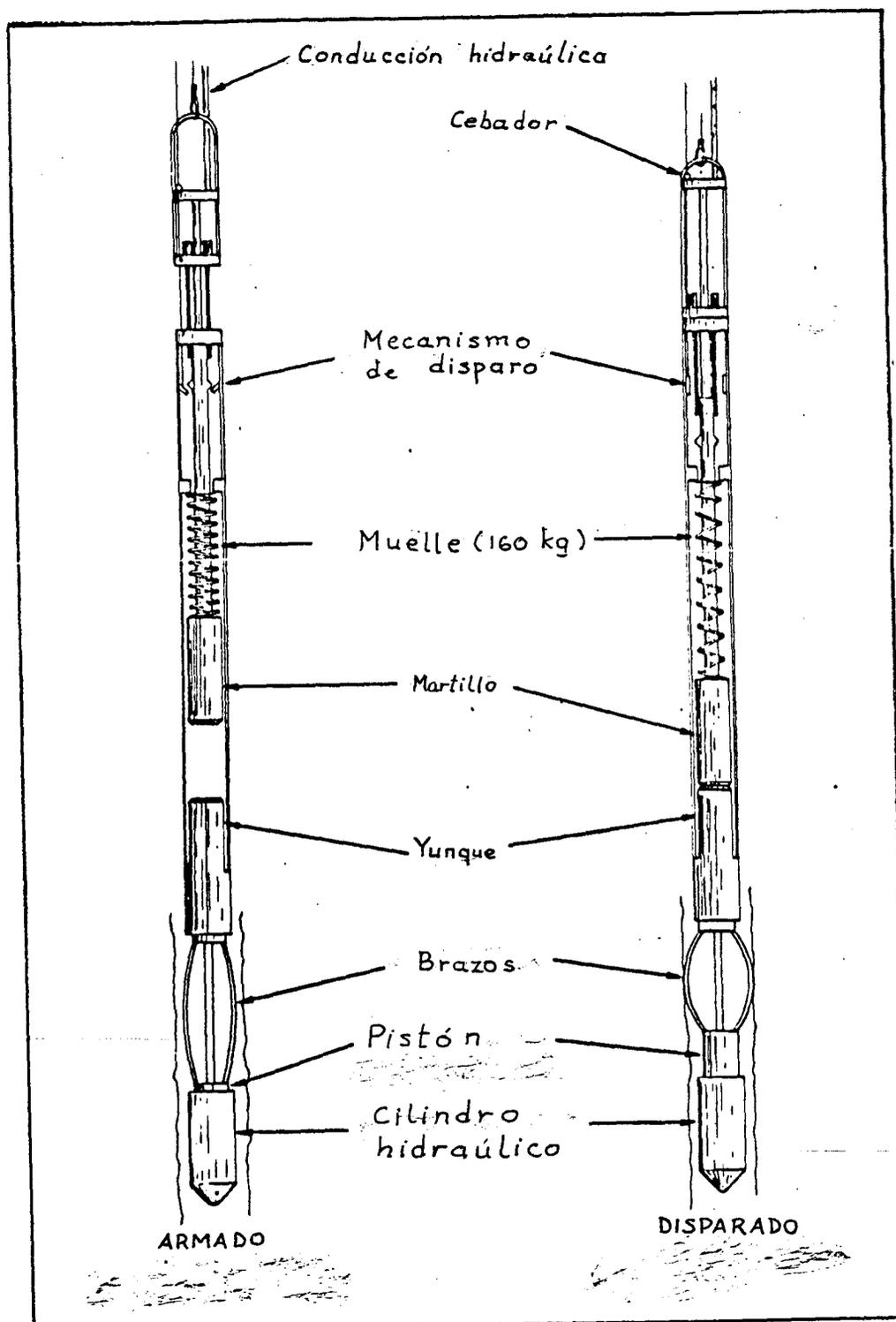


FIGURA 2. 37

se gira un ángulo igual al formado por la declinación magnética y la línea que une los sondeos donde van emplazados la fuente y el detector. A continuación, se une el mecanismo magnético al geófono introduciendo dos varillas de orientación en sendos brazos huecos. El conjunto es descendido en el sondeo a la profundidad deseada, y girado hasta hacer máxima la lectura del magnetómetro. En ese momento, se fija a las paredes comunicando presión neumática a una camisa de caucho.

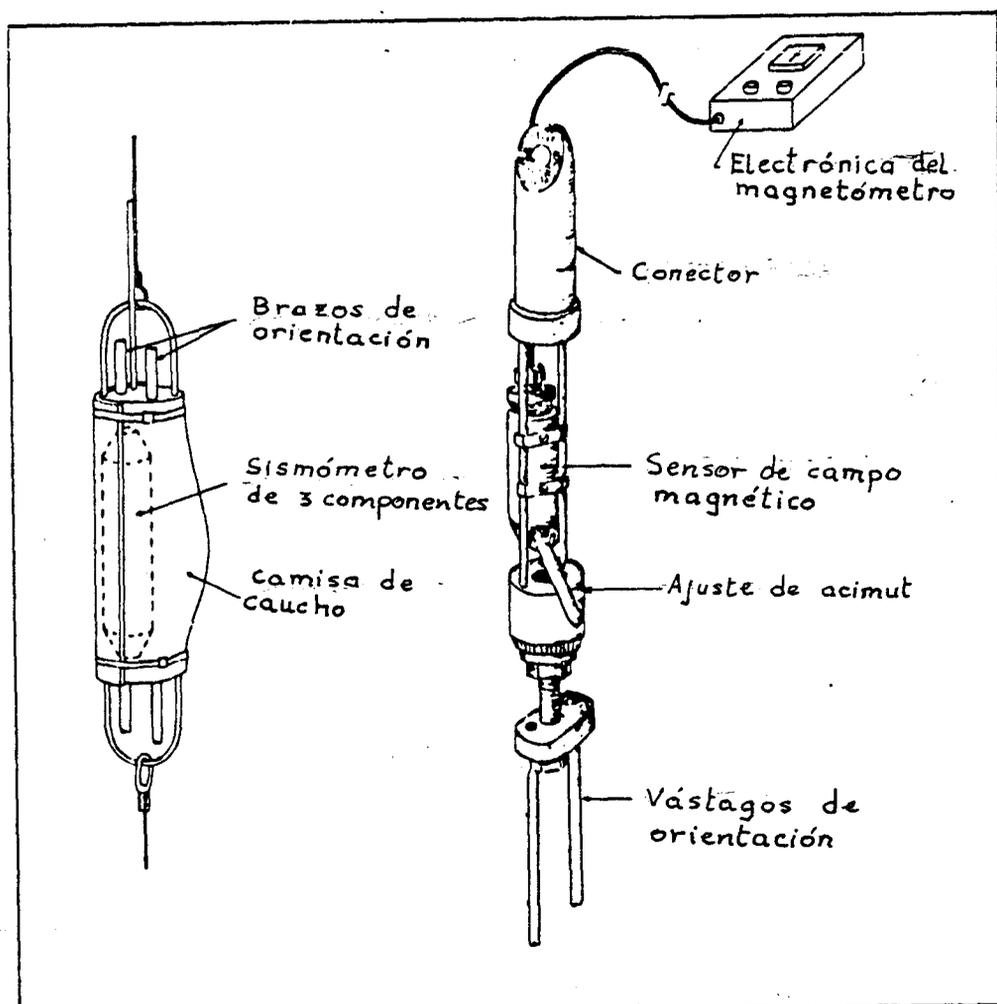


FIGURA 2. 38

Este dispositivo requiere sondeos de 15 cm de diámetro.

Los ensayos de sondeo a sondeo utilizan el método de transmisión.

### SONDEO - FRENTE

Combina las fuentes sísmicas y detectores descritos para los dos tipos de ensayos precedentes.

No sólo se han realizado pruebas emplazando una fuente en un sondeo y varios detectores en un frente, sino también excitando varias fuentes en un frente y registrando llegadas sísmicas a un detector situado en un sondeo. El equipo de registro se coloca próximo a los detectores en ambos casos (en superficie si el detector está en un sondeo).

Los ensayos entre un sondeo y un frente utilizan el método de transmisión.

#### 2.2.2.- Equipo de registro

En la actualidad se emplean aparatos de registro digital de datos, sujetos a rígidas especificaciones en materia de seguridad. Seguidamente se describen las características de los equipos en uso o de próxima implantación.

### EQUIPO DE LA NBC

Consiste en un aparato Sercel SN338B de 12 ó 24 canales de registro, cuyo intervalo de muestreo es de 0,5 ms. Además del

registro de datos en cinta magnética, el sistema dispone de una pantalla de rayos ultravioleta que permite la inspección visual de los sismogramas en el lugar del ensayo.

Todo el equipo se emplaza en el interior de la mina, y está alimentado por baterías de 12 V recargables.

El aparato Sercel, diseñado originalmente para la sísmica de superficie, no está homologado para uso en interior de mina. Conforme a las normas de seguridad vigentes en el Reino Unido, la unidad de registro debe colocarse en galerías de entrada de la ventilación. Su conexión a los geófonos se lleva a cabo mediante acoplamientos homologados, consistentes en diodos zener y fusibles. Además, se exige que, en el lugar donde está emplazada la unidad de registro, la concentración de metano no supere el 0,25 %.

En este sistema, el origen de tiempos o instante de la explosión se registra disparando los barrenos mediante una señal eléctrica de mando enviada desde el aparato Sercel. Una pequeña unidad detecta la ruptura en la corriente del detonador, y genera un pulso que es registrado por el equipo digital.

Como medida de seguridad, se emplea un fotoaislador entre el circuito de disparo y el sistema principal de registro. Por otra parte, no se permite al observador sísmico disparar las cargas, sino que debe hacerlo un artillero autorizado de la propia mina.

MDH

Este sistema se encuentra actualmente en uso por parte de la firma PRAKLA - SEISMOS GmbH. Reúne las siguientes

características, que le permiten responder a las demandas de funcionamiento en minas grisutas :

- Protección anti deflagrante en todos sus elementos.
- Registro digital de alta resolución de señales hasta 720 Hz, usando 24 canales con un intervalo de muestreo de 0,5 ms.
- Bajo nivel de ruido y rango dinámico elevado del amplificador de entrada.
- Posibilidad de aplicar la técnica de cobertura múltiple.
- Disparo controlado a distancia.
- Comunicación telefónica entre el artillero y el observador sísmico, independiente del sistema de comunicación de la mina.
- Alimentación mediante baterías, independiente de la red eléctrica de la mina.
- Almacenamiento de datos en cinta magnética.
- Inspección de los registros en la propia mina por medio de sismogramas.
- Facilidad de transporte del equipo.

La Figura 2.39 representa un esquema del sistema MDH. Los elementos que lo constituyen son :

1. Interruptor de cobertura múltiple.
2. Dos módulos analógicos.
3. Módulo de control.
4. Módulo de registro.
5. Cámara de rayos ultravioleta.
6. Control del gas inerte.
7. Explosor con mando a distancia y teléfono.
8. Baterías de 12 V
9. Geófonos de dos componentes con acoplamiento neumático.
10. Cables

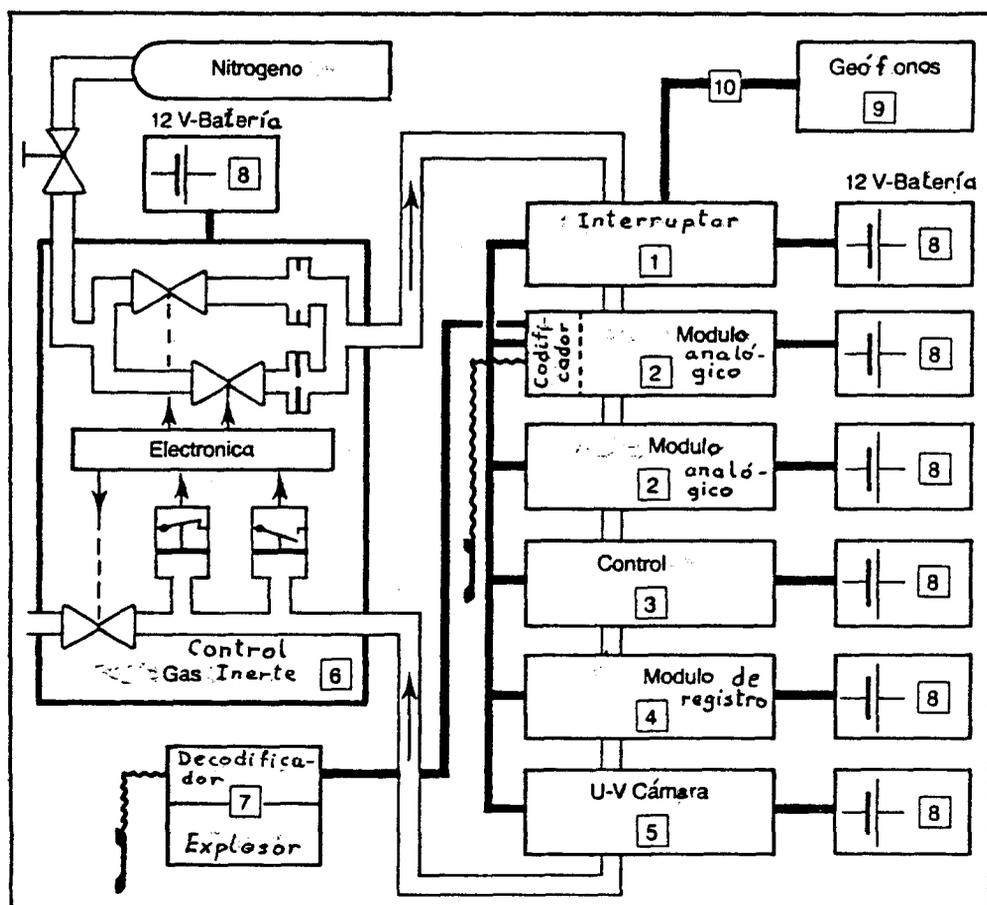


FIGURA 2. 39

La parte fundamental del equipo MDH es una unidad DFS V de TEXAS INSTRUMENTS, que comprende los módulos analógicos, de control, y de registro. Las unidades periféricas y la protección anti deflagrante han sido construídas por PRAKLA-SEISMOS GmbH.

El interruptor de cobertura múltiple (Item 1) tiene 120 canales de entrada, por lo que puede conectarse a 120 grupos de geófonos. Puesto que el número de canales de salida es 24, es factible aplicar el principio de cobertura múltiple sin mover el dispositivo de geófonos.

La principal misión de los módulos analógicos (Item 2) es convertir las señales analógicas procedentes de los geófonos en datos digitales. Sirven además para calibrar el equipo sísmico. Cada módulo analógico puede digitalizar 12 canales con un intervalo de muestreo de 0,5 ms.

El módulo de control (Item 3) realiza el control de los módulos analógicos y del módulo de registro.

El almacenamiento de datos digitales en cinta magnética tiene lugar en el módulo de registro (Item 4).

La finalidad de la cámara de rayos ultravioleta (Item 5) es proporcionar sismogramas analógicos en papel para fines de supervisión de pruebas y primeras interpretaciones. Una fuente de luz ultravioleta impresiona una película en la que está reproducida la escala de tiempos.

El control del gas inerte (Item 6) realiza la distribución del gas que garantiza la protección de los diversos elementos, y funciona asimismo como interruptor central de alimentación de todo el equipo.

El explosor (Item 7) tiene capacidad para 30 detonadores de baja tensión, y es accionado a distancia.

Durante una serie de ensayos, que puede totalizar unos 100 registros, no es posible cambiar la cinta magnética. En efecto, debido al ambiente pulvígeno de la mina, se ensuciarían las cabezas de grabación, afectando sensiblemente a la calidad de los datos sísmicos. Para almacenar tal número de registros en una sola cinta, es preciso aprovechar ésta al máximo. En el sistema MDH, el módulo de control de la unidad DFS V actúa de forma que el movimiento de la cinta comienza simultáneamente al disparo de la carga explosiva.

El mecanismo de ignición a distancia de la carga consiste en que, al principio de cada registro, el sistema envía a través de un cable telefónico una señal digital desde un codificador situado en uno de los módulos analógicos. El decodificador compara la señal recibida con una señal que tiene almacenada, y si es correcta, envía una señal de disparo al explosor, al que está conectado.

El explosor debe ser cargado manualmente con anterioridad. Una vez cargado, puede ser activado dentro de un intervalo de unos 40 s. Para asegurar una correcta sincronización, el observador sísmico, situado en la estación de registro, puede comunicarse con el artillero que carga el explosor mediante una línea telefónica, que es la misma que une el codificador y el decodificador. El artillero, en caso de advertir alguna anomalía, puede detener el mecanismo de disparo en cualquier momento.

La protección anti deflagrante del equipo MDH comprende varios tipos especiales de protección. Los principales elementos = (Items 1 a 6) son intrínsecamente seguros, es decir, que la energía eléctrica en sus circuitos es tan pequeña que resulta incapaz de encender mezclas explosivas. Además, incluyen precauciones especiales para evitar la producción de chispas o arcos, y llevan un cierre a presión. El control del gas inerte (Item 6) está asimismo dotado de = protección anti llama, consistente en una pesada coraza que puede resistir una explosión interior, y evita la explosión de mezclas inflamables exteriores.

El tipo más importante de protección contra la ignición = de mezclas explosivas es el cierre a presión. Cada elemento está = encerrado en una caja metálica, en la que se inyecta un gas inerte a presión. De esta forma, el metano que se ha introducido en las cajas previamente a la puesta en marcha del equipo es expulsado, y no puede entrar en ellas durante el funcionamiento. Como gas inerte se usa nitrógeno.

Todos los elementos dotados de cierre a presión están = conexiados en serie entre sí y con el control del gas inerte mediante tubos flexibles. Cada caja posee una conexión de entrada y = salida de gas, acoplada a un contacto eléctrico. Estos contactos eléctricos, asimismo en serie, sólo se cierran si los tubos están conectados a las cajas. Por tanto, el control del gas inerte comenzará a funcionar únicamente cuando todas las conexiones neumáticas y eléctricas estén hechas.

El flujo de gas es controlado permanentemente por los = indicadores de presión, y las válvulas son accionadas automáticamente. El sistema no funciona si la sobrepresión del gas inerte cae por debajo de un determinado valor. En este caso, todas las baterías se desconectan automáticamente.

#### SEAMEX 80

Este equipo ha sido desarrollado recientemente en el = Instituto de Geofísica de Bochum, y puede emplearse tanto en sísmica en capa como en sísmica de reflexión convencional desde interior de mina. El nombre está formado por las iniciales de SEismic Appa - ratus for Mining EXploration.

Las condiciones que reúne el sistema, con el fin de satis - facer las demandas de funcionamiento requeridas, son las siguientes :

- Todos los aparatos son intrínsecamente seguros.
- Facilidad de transporte, debido a que la protección de seguridad = intrínseca no precisa pesadas cajas metálicas.
- Resistencia al ambiente de interior de mina.
- Sencillez de funcionamiento.
- Registro de frecuencias hasta 2000 Hz, importantes en sísmica de reflexión, si bien la sísmica en capa no precisa más de 1000 Hz, en capas poco potentes.

- Número de canales de registro no inferior a 24, ampliable, e independiente del intervalo de muestreo.
- Uso indistinto de geófonos y acelerómetros.
- Nivel de ruido y rango dinámico similares a los habituales en sísmica desde superficie.
- Adaptación a futuras necesidades sin tener que diseñar de nuevo el equipo completo.

El SEAMEX 80 está basado en un nuevo principio de la toma de datos sísmicos, que supone la conversión de analógico en digital por separado para cada canal, el almacenamiento intermedio de datos en memoria digital, y la transmisión secuencial de los mismos.

En la Figura 2.40 se representa un diagrama esquemático del SEAMEX 80. Los principales elementos que lo integran son :

- Receptores sísmicos
- Módulos de registro
- Vía de transmisión de señales
- Módulo de control
- Módulo de visualización
- Módulo de almacenamiento de datos

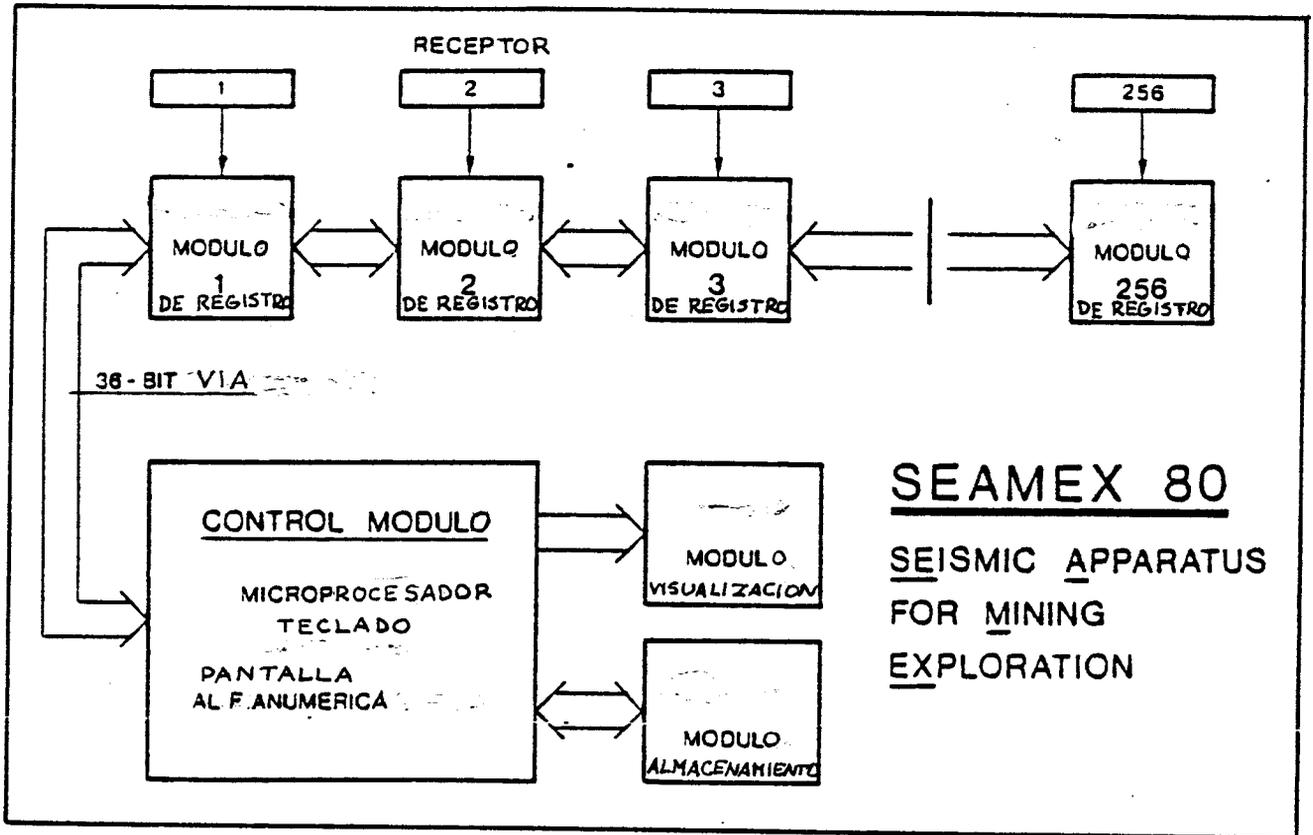


FIGURA 2.40

Cada receptor está unido a su módulo de registro, situado próximo a él. La pequeña longitud del cable entre ambos reduce al mínimo el ruido eléctrico inducido.

El número máximo de módulos de registro, y por tanto de canales de entrada que admite el sistema, es 256, que cubre sobradamente las necesidades actuales de la sísmica en capa. Los módulos de registro están conectados entre sí en serie, y con el módulo de control mediante una vía de transmisión de señales de 36 bit.

El diseño modular permite que la energía eléctrica en las unidades del equipo sea tan pequeña que puedan ser homologadas como intrínsecamente seguras. Asimismo, presenta la ventaja de que si un módulo queda fuera de funcionamiento, basta reemplazarlo para continuar la toma de datos.

El número de módulos empleados en una prueba es superior al de trazas sísmicas registradas, con el fin de aplicar la técnica de cobertura múltiple.

Todos los módulos de registro son iguales, excepto en un código numérico que hace posible su identificación por el módulo de control.

Un módulo de registro realiza la conversión de analógico en digital y almacena los datos. Pueden seleccionarse tres intervalos de muestreo : 0,5 ms, 0,25 ms y 0,125 ms.

La Figura 2.41 muestra un módulo de registro.

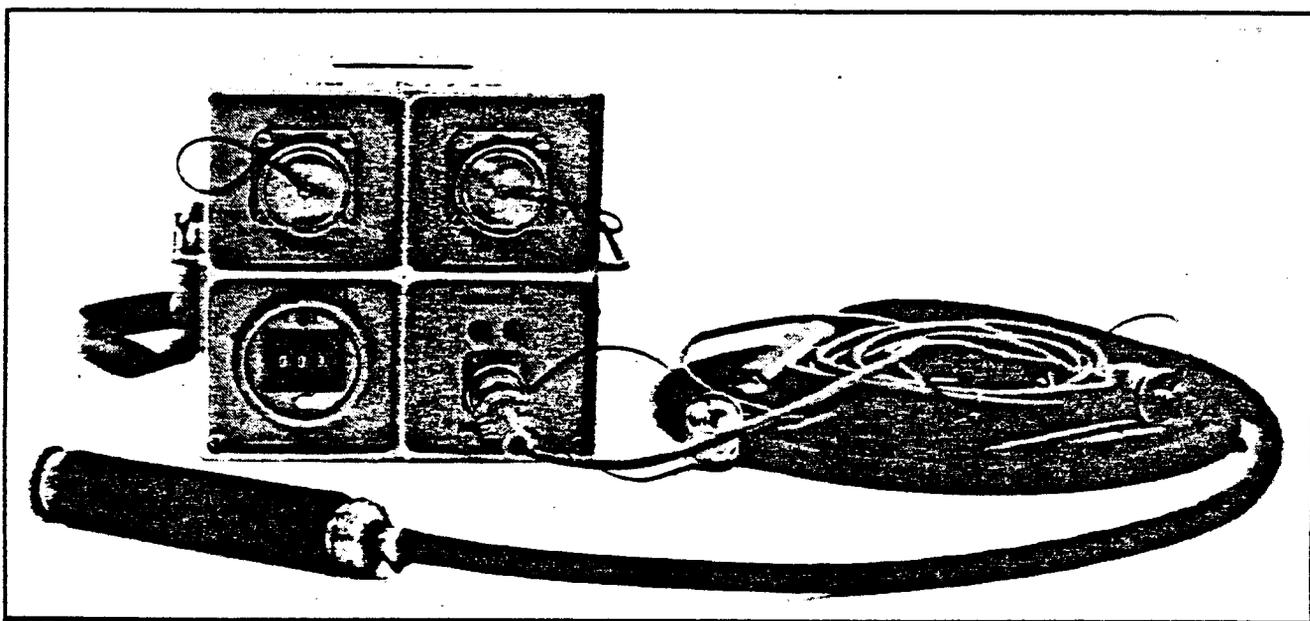


FIGURA 2.41

La parte fundamental del módulo de control es un micro - procesador, que se pone en funcionamiento mediante diálogo interactivo con un teclado y una pantalla alfanumérica. El microprocesador identifica los módulos de registro por su código numérico e inicia en ellos la secuencia de conversión de los datos analógicos en digitales, su almacenamiento intermedio, y finalmente su transmisión al módulo de control.

El sistema se completa con un módulo de visualización, = que presenta sismogramas analógicos para una inspección visual de = los datos, y un módulo de almacenamiento de datos en cinta magnética.

La Figura 2.42 muestra el conjunto de módulo de control, módulo de visualización, y módulo de almacenamiento de datos.

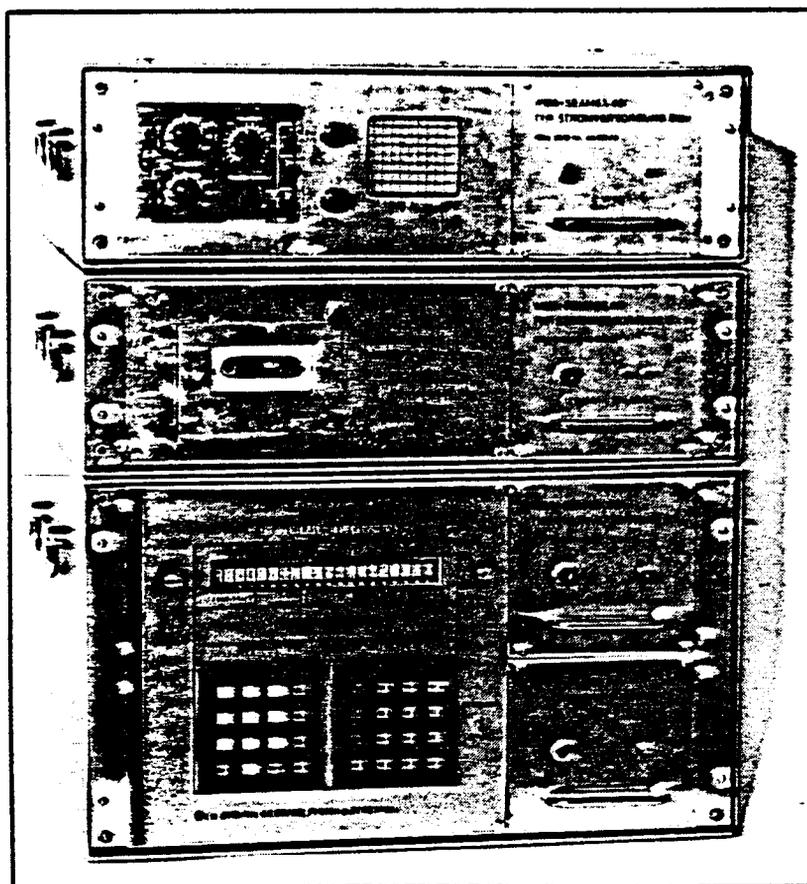


FIGURA 2.42

Al comienzo de cada ensayo, el sistema realiza automáticamente tests rutinarios para comprobar el correcto funcionamiento = de los módulos de registro.

## DAS

Este equipo, designado por las iniciales de Data Acquisition System ha sido desarrollado por la compañía australiana BROKEN HILL PROPRIETARY (BHP). Su entrada en funcionamiento, una vez = homologado para uso en interior de mina, está prevista para finales de 1.983.

El DAS posee las siguientes características :

- Ligero y de fácil transporte.
- Unidades digitalizadoras intrínsecamente seguras, situadas próximas a los detectores.
- Intervalos de muestreo de 1 ms, 0,5 ms y 0,25 ms.
- Amplificador de punto flotante controlado mediante software.
- Rango dinámico de 120 dB.
- Registro digital de datos y almacenamiento en cinta magnética.

El diseño del DAS se asemeja mucho al del SEAMEX 80. En efecto, cada receptor está conectado a una unidad digitalizadora,

que representa un canal de registro. A su vez, las unidades digitalizadoras van unidas mediante cable telefónico a la unidad central de control.

La Figura 2.43 representa un diagrama esquemático del DAS.

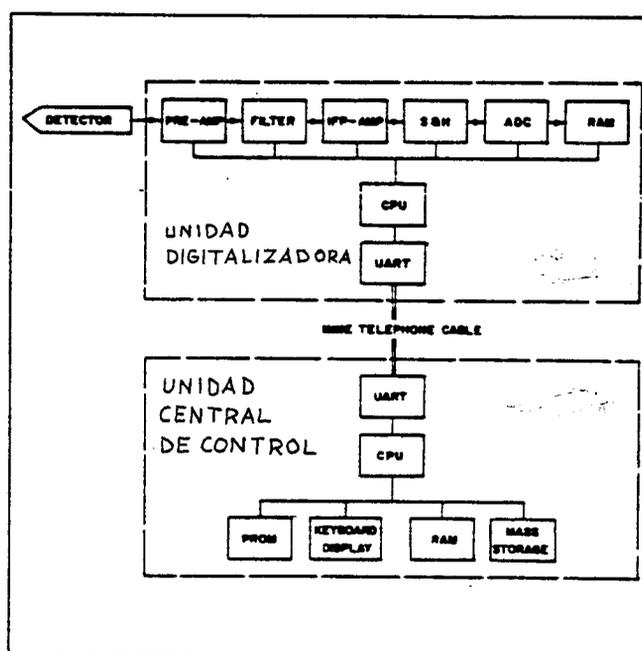


FIGURA 2.43

Las unidades digitalizadoras, siguiendo instrucciones enviadas desde la unidad central de control, digitalizan y almacenan las señales procedentes de los receptores, y finalmente transmiten los datos a la unidad central de control.

Al igual que en los restantes equipos de registro utilizados para sísmica en capa, la señal recibida por la unidad central de control se almacena en cinta magnética, y puede ser visualizada en un tubo de rayos catódicos.

El equipo DAS está preparado para realizar registros no sólo de ensayos frente - frente en interior de mina, sino también de ensayos frente - sondeo. En este caso, los emplazamientos de las fuentes sísmicas en un frente de arranque, y del equipo de registro a pie de sondeo se encuentran muy distantes, lo cual generalmente hace imposible la utilización de cable para la comunicación entre ambos lugares y la transmisión de información sobre el origen de tiempos en los registros.

Por las razones precedentes, ha sido desarrollado un sistema de comunicación inalámbrico en UHF, que une mediante voz directa la estación de registro en superficie con la estación de disparo en la mina, y permite registrar el instante de la explosión de las fuentes sísmicas.

## 2.3.- TRATAMIENTO E INTERPRETACION DE DATOS

### 2.3.1.- Datos de transmisión

La finalidad del estudio de estos datos es determinar la relación de dispersión del medio. A continuación, se describen los sucesivos pasos en el tratamiento de datos.

#### PREPROCESADO

Consiste esencialmente en la eliminación del ruido sísmico. El nivel de ruido en un geófono insertado en una capa de carbón, es generalmente bajo, del orden de  $1 \mu V$  para un geófono con frecuencia natural de 28 Hz. Sin embargo, tras el disparo de una carga, el ruido aumenta espectacularmente.

Son varios los factores que contribuyen al espectro de ruido a diferentes frecuencias: la relajación de las tensiones inducidas por el disparo, reflexiones de ondas P y S, reflexión y dispersión de ondas canalizadas en pequeñas inhomogeneidades de la capa, reverberación acústica de las galerías, efectos sísmicos secundarios por colisión de restos del disparo con las paredes o el suelo de las galerías, efectos electromecánicos al golpear dichos restos el cable de los geófonos, etc.

El resultado es un máximo de la amplitud del ruido poco después de la llegada de las ondas directas, seguido de una disminución cuasi - exponencial. El ruido es eliminado con filtros adecuados.

## SEPARACION DE ONDAS

Previamente a cualquier análisis de los datos sísmicos, es preciso separar los diversos tipos de ondas (P, Love, Rayleigh). Para ello, se construye la gráfica del movimiento de una partícula en el plano de la capa (hodógrafo), a partir de las señales de las componentes horizontales del geófono.

El hodógrafo incluye también la dirección de propagación de las ondas incidentes, y permite identificar los diversos tipos de ondas por su polarización.

En la Figura 2.44 se representan hodógrafos correspondientes a la traza de distancia 275 m de los sismogramas de transmisión de la Figura 2.6. La flecha representa el ángulo de incidencia de las ondas. Los hodógrafos del grupo de ondas A muestran una polarización lineal propia de las ondas P. Por su parte, el primer hodógrafo del grupo C exhibe polarización lineal perpendicular a la dirección de propagación, lo que indica el predominio, en ese intervalo de tiempo, de las ondas Love.

A veces, el análisis de la polarización de las señales sísmicas se lleva a cabo en etapas posteriores del tratamiento de datos, en forma de rotación de componentes.

## ANALISIS DE LA VELOCIDAD

Su principal objetivo es el cálculo de la curva de dispersión.

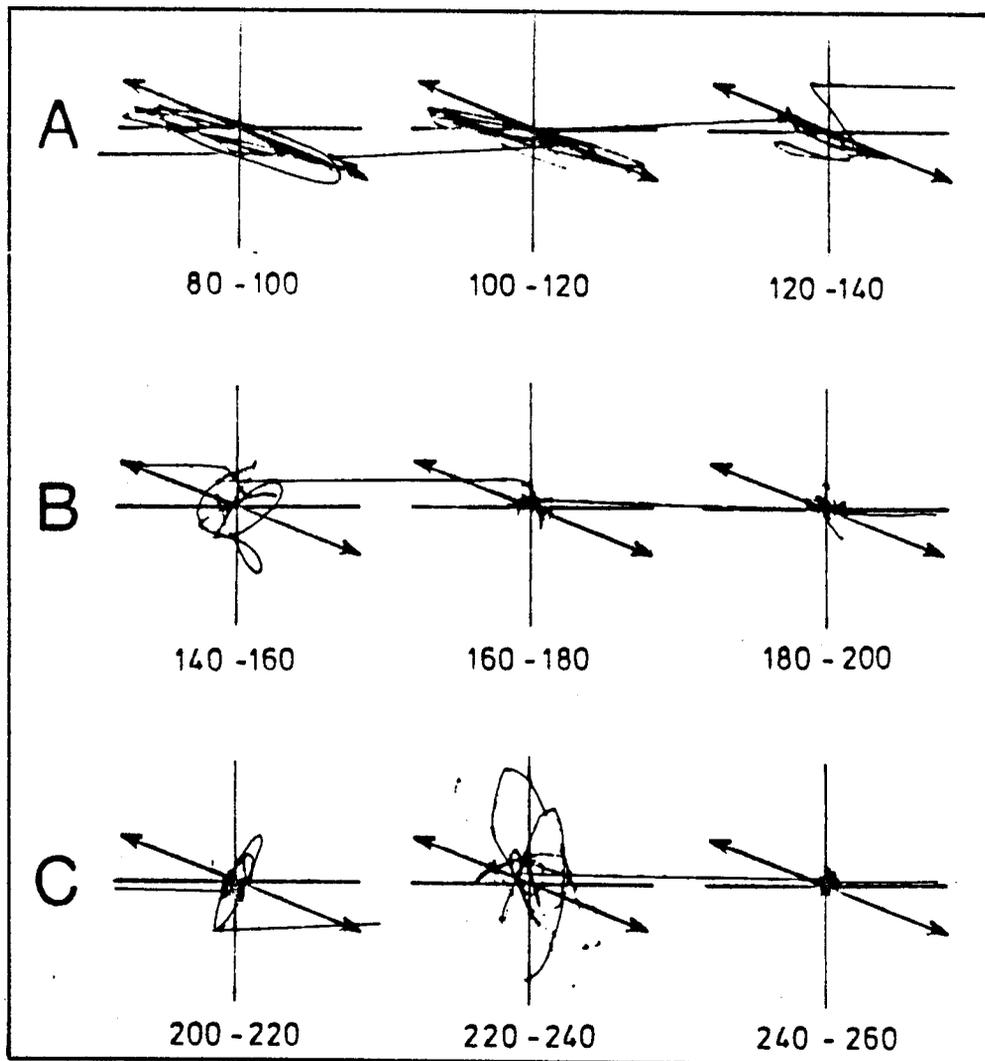


FIGURA 2.44

En primer lugar, cada par de trazas registradas por los geófonos de dos componentes horizontales es rotado digitalmente. De esta forma se obtienen dos nuevas trazas, equivalentes a las componentes que se registrarían con un eje ( $Y^*$ ) en la dirección punto de disparo - geófono, y el otro ( $X^*$ ) perpendicular a él. Por tanto, la traza según  $Y^*$  contendrá preferentemente ondas P y Rayleigh, mientras que en la traza según  $X^*$  predominarán las ondas S y Love. La Figura 2.45 muestra un ejemplo de rotación.

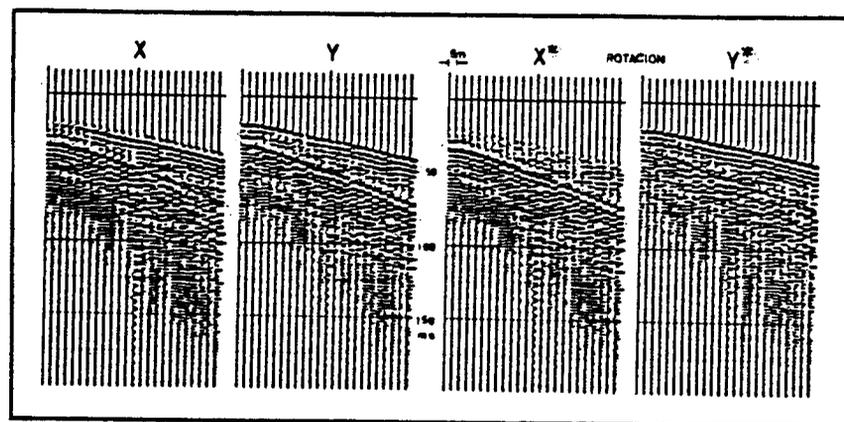


FIGURA 2.45

A continuación, las trazas según  $X^*$  son analizadas por el método de filtraje múltiple de Dziewonski (Dziewonski et al, 1.969). Se divide el espectro de frecuencias en una serie de intervalos o filtros de ancho de banda constante. Cada traza amplitud - tiempo,

correspondiente a un disparo y un geófono, se descompone según dichos intervalos de frecuencia, calculando la amplitud instantánea = (envolvente). A su vez, la variable tiempo se expresa como lentitud = de grupo (inversa de la velocidad), dividiendo por la distancia punto de disparo - geófono.

Se obtiene así un conjunto de trazas envolvente - lentitud, una para cada filtro. El proceso de cálculo se repite con las trazas  $X^*$  de todos los disparos y geófonos. Seguidamente, se superponen o suman todas las trazas envolvente - lentitud de un mismo filtro.

El resultado de la superposición se representa finalmente como un gráfico lentitud - frecuencia. En la Figura 2.46 se muestra la curva de dispersión de una onda canalizada, obtenida por este procedimiento.

El conocimiento de la relación entre la velocidad (o lentitud) y la frecuencia de una onda es imprescindible para el tratamiento de los datos de reflexión.

El análisis mediante filtraje múltiple de una traza sísmica puede representarse gráficamente por los denominados "mapas de Dziewonski", muy útiles para discriminar los diversos modos que integran una onda canalizada.

En este caso, se calcula la amplitud instantánea del movimiento de las partículas como función de la velocidad de las ondas y de su período. Dichas amplitudes se representan en un mapa cuyas =

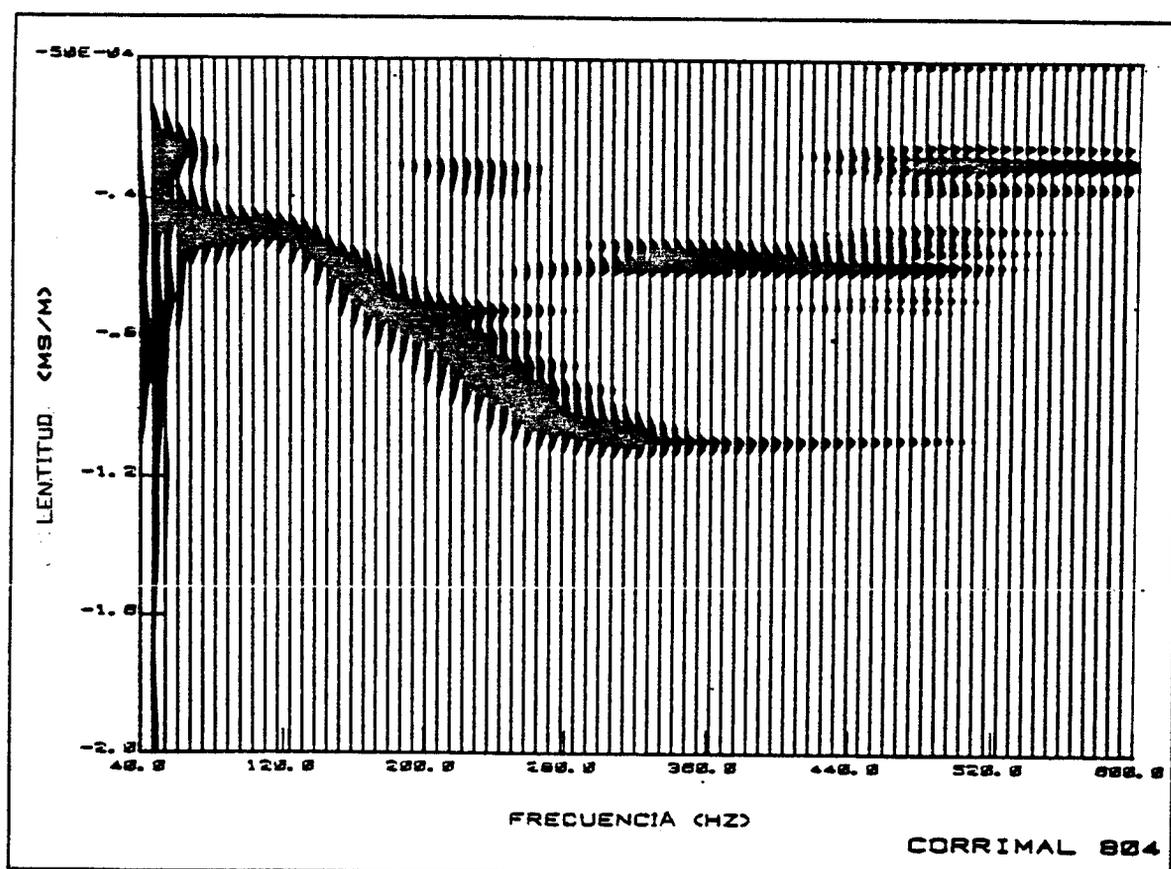


FIGURA 2.46

coordenadas son la velocidad y el período, y se dibujan las isof--neas. En el mapa topográfico resultante, las crestas representan = zonas con datos de amplitud elevada, y dan una idea de la depend--cia funcional entre la velocidad de grupo y el período. La Figura = 2.47 muestra un mapa de Dzierwonski típico.

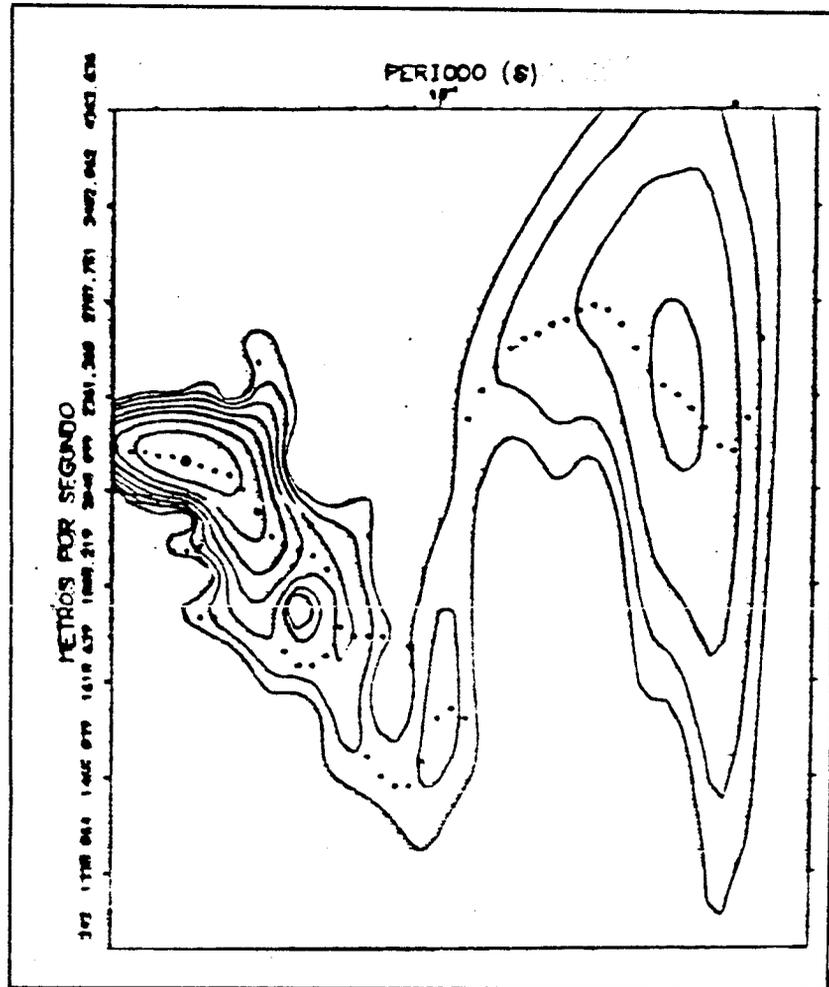


FIGURA 2.47

Una técnica diferente de análisis de la velocidad combina métodos de superposición y representación para determinar la velocidad de grupo de la fase de Airy perteneciente al modo fundamental = de las ondas Love (Millahn y Arnetz I, 1.980).

Sea un ensayo de transmisión con la disposición geométrica indicada en la Figura 2.48. Primeramente, las componentes X e Y son rotadas a X\* e Y\* para separar las ondas Love y Rayleigh.

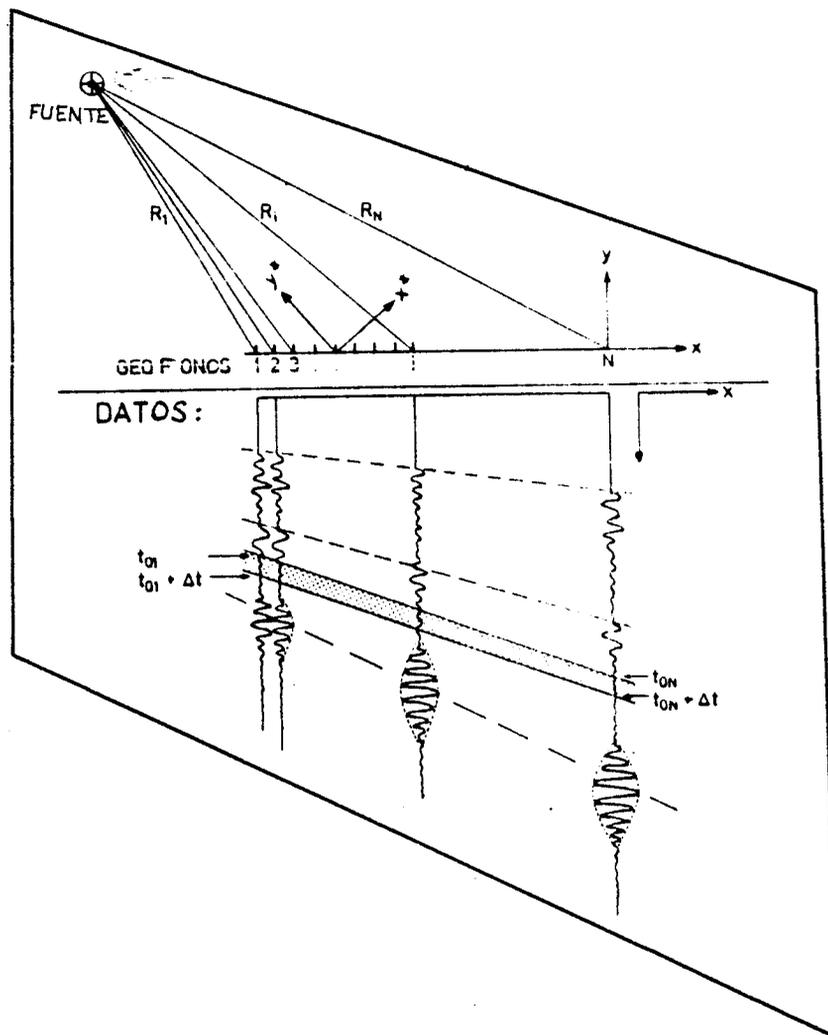


FIGURA 2.48

Dada una velocidad  $v$ , se calcula el tiempo de llegada =  $t_{0i}$  al  $i$ -ésimo geófono de una onda hipotética de velocidad  $v$ , mediante:

$$t_{0i} = \frac{R_i}{v} \quad (2.36)$$

siendo  $R_i$  la distancia entre el punto de disparo y el  $i$ -ésimo geófono.

Para cada traza, se integra la amplitud de la envolvente de ondas a lo largo de un intervalo de tiempo ( $t_{oi}$ ,  $t_{oi} + \Delta t$ ). A continuación, se suman o superponen independientemente las trazas  $X^*$  e  $Y^*$  de todos los geófonos, resultando un número MAP ( $v$ ) dado por :

$$\text{MAP}(v) = \sum_{i=1}^{i=N} \int_{t_{oi}}^{t_{oi} + \Delta t} \text{Envolvente}(t) dt \quad (2.37)$$

El cálculo se repite para una serie de valores de  $v$ , = obteniéndose una función MAP para las trazas  $X^*$ , llamada imagen = S, y otra para las  $Y^*$ , denominada imagen P.

Los máximos de las funciones MAP representan la formación de una imagen coherente del punto de disparo.

En la Figura 2.49 se representan ejemplos de funciones = MAP. Las imágenes S y P no filtradas muestran tres máximos, correspondientes respectivamente a la fase de Airy (ondas canalizadas), = las ondas S, y las ondas P.

Las funciones MAP no contienen únicamente información = acerca de la velocidad. En efecto, la relación entre el valor de la imagen S a la velocidad de la fase de Airy y el máximo de la imagen P a la velocidad de las ondas P, constituye una medida cuantitativa de la fase de Airy.

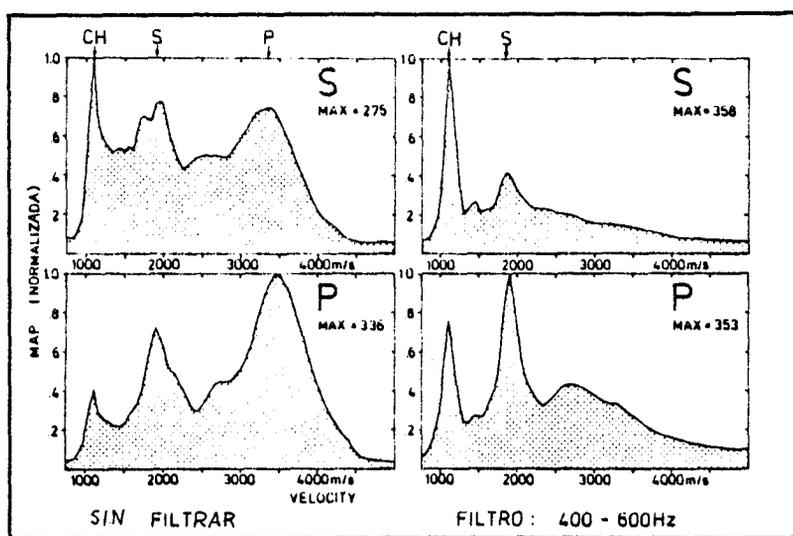


FIGURA 2.49

Puesto que esta fase contiene información sobre las perturbaciones presentes en una capa de carbón, cabe esperar que el valor de la relación fase de Airy/ondas P contribuya a estimar la magnitud de dichas perturbaciones.

#### MIGRACION

Los datos de transmisión se usan a veces para interpretar la presencia de discontinuidades en un panel de carbón. Con este fin, se estudia si las ondas en capa se propagan o no a través del panel.

Tal interpretación puede llevarse a cabo por simple =  
 inspección visual de los sismogramas, o de manera más rigurosa, me-  
 diante un procedimiento de migración de datos. Por basarse éste en=  
 los mismos conceptos que la migración de datos de reflexión, será =  
 descrito más adelante (ver Suma de retardos adaptable, en el aparta-  
 do 2.3.2.).

### 2.3.2.- Datos de reflexión

Estos datos se utilizan principalmente para determinar la  
posición de fallas y otras discontinuidades que afectan a una capa de  
 carbón. Seguidamente, se describen las etapas en el tratamiento e in=  
 terpretación de datos.

## PROCESADO

La secuencia de proceso de datos aplicada a los registros  
 de una prueba de sísmica en capa por el método de reflexión, se re--  
 presenta esquemáticamente en la Figura 2.50. Una vez eliminado el =  
 ruido sísmico, las señales pasan por un filtro gaussiano, un filtro =  
 de polarización para separar las ondas longitudinales y las transver=  
 sales, un filtro de recompresión, y finalmente se calculan sus envol=  
 ventes. Tras estas operaciones, los datos pueden ser utilizados para  
 determinar la posición de las fallas.

Un paso importante en la secuencia de procesado es la =  
 recompresión de señales sísmicas dispersas. Se han ideado al efecto  
 varios filtros, basados en la relación de dispersión. Seguidamente se  
 describen algunos de ellos.

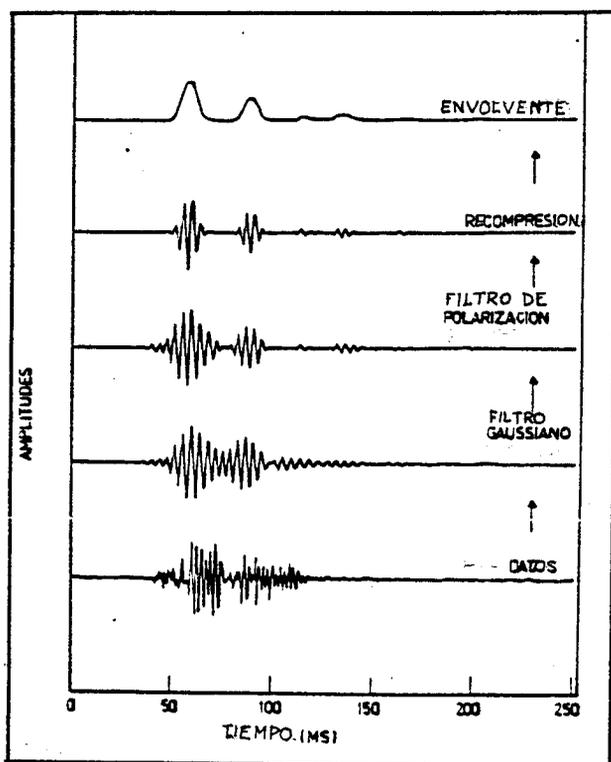


FIGURA 2.50

### Filtro de alabeo espectral

Realiza la recompresión de señales sísmicas dependientes del tiempo mediante una transformación monodimensional en el dominio de la frecuencia (Boer et al, 1.977 a). La Figura 2.51 ilustra esta operación.

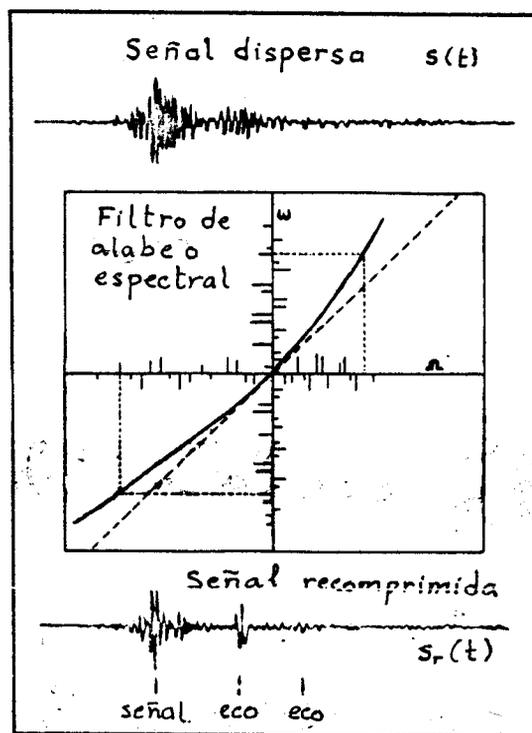


FIGURA 2.51

Primeramente, se determina la transformada de Fourier =  $S(\omega)$  de la señal sísmica dispersa  $s(t)$ , mediante :

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-i\omega t} dt \quad (2.38)$$

La parte real del espectro  $S(\omega)$  se representa sobre el eje vertical de un sistema de coordenadas, cuyo origen es la frecuencia central del ancho de banda de entrada (ver Figura 2.51). Tal como se indica gráficamente en esta figura, la recompresión de  $S(\omega)$  en el dominio de la frecuencia es un cambio de variable no lineal, del que se obtiene un nuevo espectro  $S_r(\Omega)$ .

La señal sísmica recomprimida  $s_r(t)$  se calcula entonces como antitransformada de Fourier de  $S_r(\Omega)$  :

$$s_r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} S_r(\Omega) e^{i\Omega t} d\Omega \quad (2.39)$$

#### Filtro de aproximación de fase

La recompresión se lleva a cabo en este caso mediante un operador definido en el dominio del tiempo (Millahn y Marschall, 1.980).

Conocida en detalle la curva de dispersión, se calcula a partir de ella el retardo de grupo  $\tau_g(\omega)$ . Seguidamente, se determina por integración el espectro de fase del operador buscado :

$$\Phi(\omega) = \int \tau_g(\omega) d\omega \quad (2.40)$$

Se elige el espectro de amplitudes  $A(\omega)$ , que generalmente es un valor constante  $A_0$ .

A continuación, se aproxima el espectro de fase mediante una poligonal. Para ello, se divide el espectro de frecuencias en  $N$  intervalos  $(\omega_k, \omega_{k+1})$ , y la función  $\Phi(\omega)$  se aproxima en cada intervalo por una recta de ecuación :

$$\Phi(\omega) \approx t_k \omega + b_k, \quad \omega_k < \omega < \omega_{k+1} \quad (2.41)$$

La antitransformada de Fourier de la poligonal así definida es el operador de dispersión  $h(t)$  en el dominio del tiempo :

$$h(t) = \frac{2 A_0}{\pi} \sum_{k=0}^{k=N-1} \frac{\text{sen}\left[\frac{\Delta\omega_k}{2} (t-t_k)\right]}{t-t_k} \text{sen}\left[\bar{\omega}_k (t-t_k) - b_k\right] \quad (2.42)$$

siendo :

$$\Delta\omega_k = \omega_{k+1} - \omega_k$$

$$\bar{\omega}_k = \frac{\omega_{k+1} + \omega_k}{2}$$

El correspondiente operador de recomposición se obtiene = cambiando de signo la aproximación de fase, es decir, utilizando en la transformación inversa de Fourier la expresión :

$$\Phi^*(\omega) = - t_k \omega - b_k \quad (2.43)$$

## MIGRACION

La finalidad de la migración es situar en su verdadera posición en el espacio los elementos estructurales que dan lugar a reflexiones sísmicas. Los datos sísmicos procesados son migrados desde una sección espacio - tiempo (sismogramas) a una sección espacio - espacio, coincidente con el plano de la capa de carbón estudiada.

Por tanto, la migración permite interpretar directamente = los datos de reflexión en términos de situación de las fallas.

Diversos tipos de migración son posibles. Describimos a continuación los empleados en la actualidad.

### Suma de retardos

Es una migración de Huygens - Kirchoff, basada en la superposición de difracciones. En primer lugar, se divide el plano de la capa en pequeñas casillas, y se determina el tiempo  $t_n$  de propagación de la onda en capa desde cada casilla hasta el  $n$ -ésimo geófono.

La probabilidad no normalizada  $I(x, y)$  de que exista un foco emisor de ondas en una casilla determinada se calcula a partir de la amplitud  $S_n(t_n)$  de la señal sísmica registrada por el geófono  $n$ . El proceso se repite para los  $N$  geófonos, sumándose los resultados :

$$I(x, y) = \left| \sum_{n=1}^{n=N} S_n(t_n) \exp \left[ i\omega_c (1 - v_f/v_g) t_n \right] \right|^2 \quad (2.44)$$

siendo  $x$  e  $y$  las coordenadas de la casilla,  $\omega_c$  la frecuencia central del ancho de banda elegido para cartografiar, y  $v_f$  y  $v_g$  las velocidades de fase y de grupo a la frecuencia  $\omega_c$ .

El procedimiento implica una considerable cantidad de cálculos de  $t_n$ , por las múltiples combinaciones casilla - geófono posibles, pero a cambio es extremadamente flexible.

El concepto de suma de retardos puede aplicarse de dos maneras :

1. Suma de retardos radial o RLS (radial lag sum). Se calcula  $t_n$  como tiempo de propagación entre una casilla y un geófono. En el plano resultante se representan las fuentes sísmicas reales y virtuales más probables.

Supuesto que en el cálculo de  $t_n$  se hace uso de un valor constante de la velocidad, el método equivale gráficamente a la intersección de circunferencias centradas en los geófonos.

2. Suma de retardos elíptica o ELS (elliptical lag sum). En este caso,  $t_n$  es el tiempo de propagación desde la fuente real a la casilla, y de ésta al geófono. Así resultan cartografiados los reflectores más probables.

En el mismo supuesto anterior, el método equivale gráficamente a la intersección de elipses, cuyos focos son la fuente real y los geófonos.

Examinaremos seguidamente un ejemplo, correspondiente a la capa Blackshale, de la mina Pye Hill, Reino Unido (Mason et al, 1.980 a).

En la parte izquierda de la Figura 2.52 se representa un panel de carbón atravesado por una falla conocida, así como la disposición geométrica de fuente y geófonos. Se indican además las fuentes virtuales correspondientes a las reflexiones en la falla ED y la galería BC. La parte derecha de la figura muestra los sismogramas de reflexión registrados.

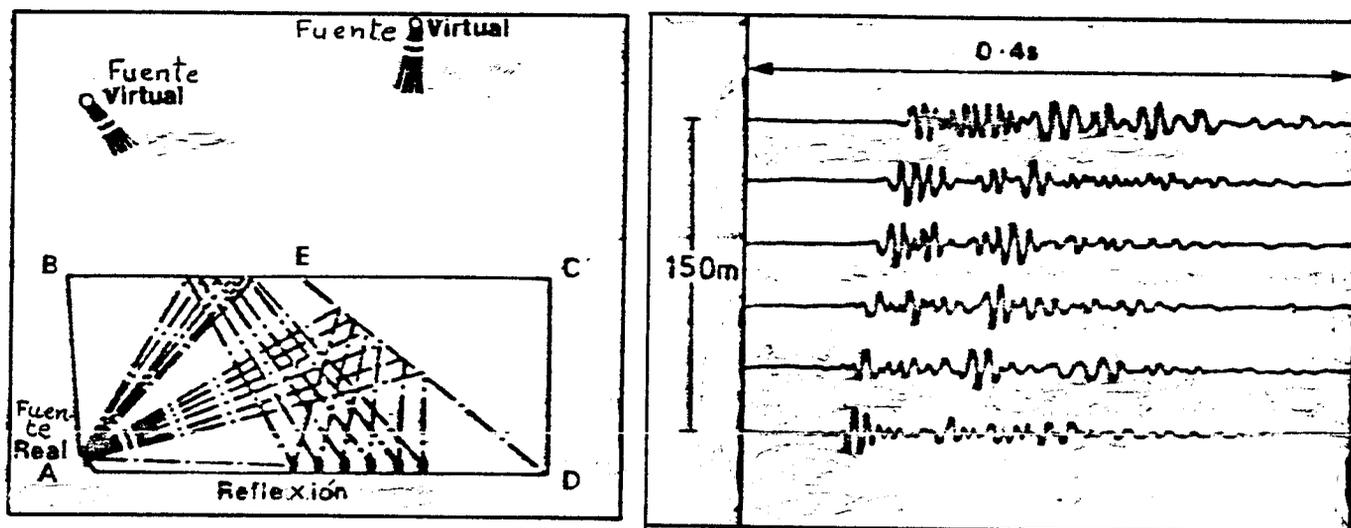


FIGURA 2.52

El plano obtenido mediante RLS se representa en la Figura 2.53, con la posición de las galerías como referencia. Se observan en la parte superior derecha dos fuentes virtuales, producidas por la falla. Asimismo, la fuente virtual debida a la reflexión en la galería BC se aprecia en la parte superior izquierda. La imagen del punto de disparo aparece desplazada, probablemente como consecuencia de la mayor velocidad sísmica en la zona de sobrepresión a lo largo de la galería AD. Cerca del punto B hay una anomalía, que podría interpretarse como imagen virtual de la fuente sísmica producida por una falla en mitad del panel paralela a la galería AD.

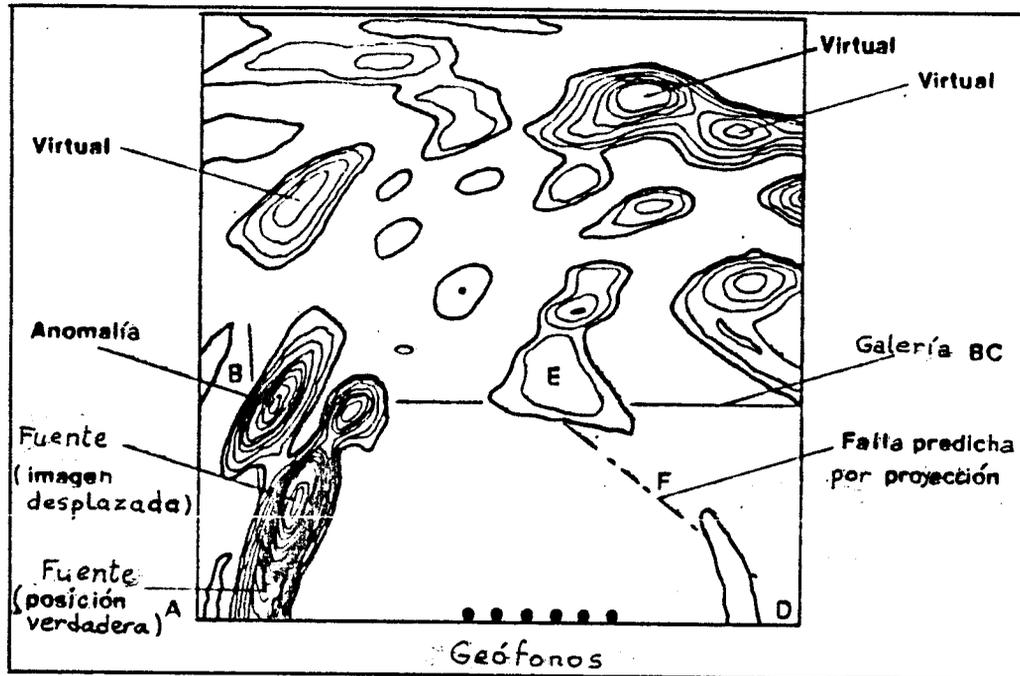


FIGURA 2.53

La Figura 2.54 muestra el plano obtenido mediante ELS. Los contornos de las áreas de mayor probabilidad reproducen fielmente las imágenes de la falla ED, la galería BC, y la anomalía probablemente debida a una falla en el centro del panel.

#### Migración con dos componentes

La polarización de las dos componentes de un registro de sísmica en capa permite expresar en función del tiempo el ángulo entre el eje X (línea punto de disparo - geófono) y la dirección con que llegan las ondas canalizadas. Esta "función de ángulo" es utilizada en un método de migración, cuyo fundamento se representa esquemáticamente en la Figura 2.55.

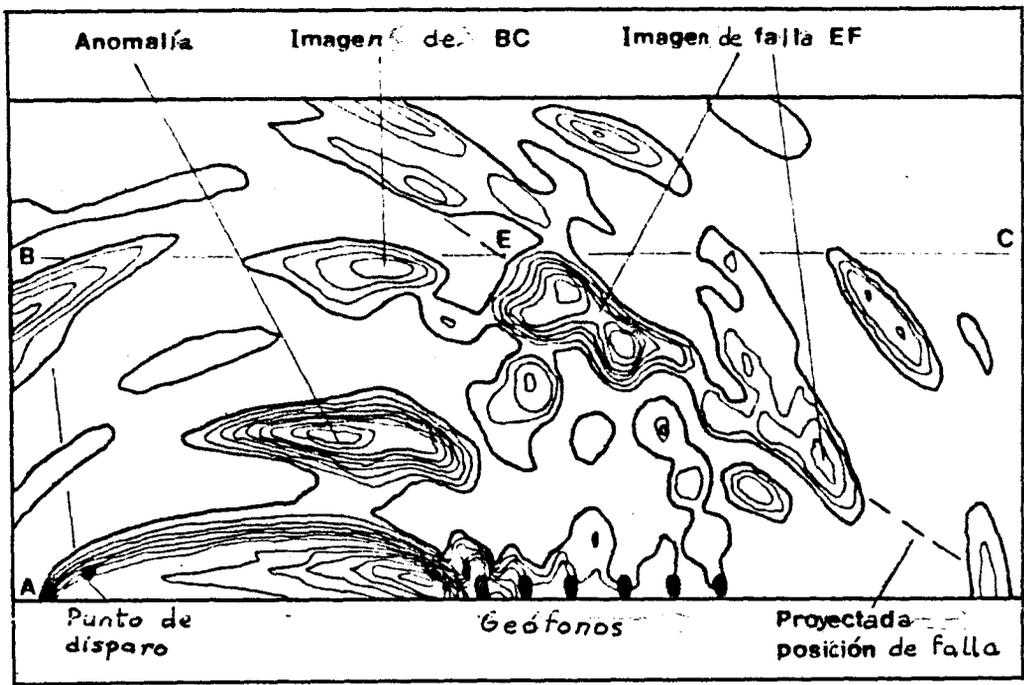


FIGURA 2.54

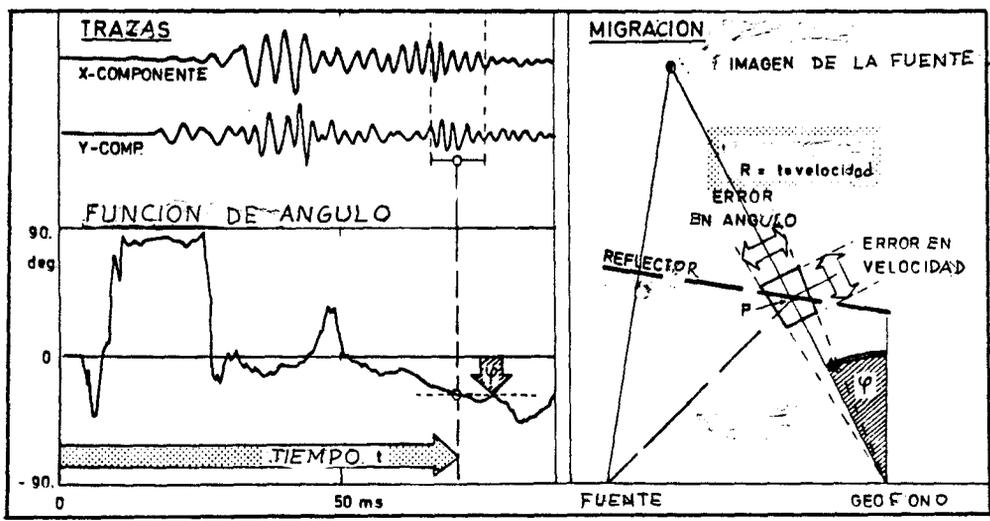


FIGURA 2.55

Para cada par de trazas, se elige un intervalo de tiempo en la zona de llegada de ondas en capa reflejadas. Sea  $\varphi$  el valor de la función de ángulo en el centro de dicho intervalo.

Conocido  $\varphi$ , se reconstruye a partir del geófono la dirección de propagación de las ondas. Sobre esta línea se lleva la distancia  $R$ , producto del tiempo  $t$  al que se ha tomado  $\varphi$  por la velocidad media de la onda. Se obtiene así en el extremo del segmento la imagen virtual del punto de disparo.

Basándose en la geometría de la reflexión, el punto  $P$  en que se ha reflejado la onda viene dado por la intersección de la dirección de propagación con la mediatriz del segmento punto de disparo - imagen virtual.

Se define un trapecio curvilíneo de centro  $P$  tomando en consideración los errores en la determinación de  $\varphi$  ( $3^\circ$  a  $5^\circ$ ) y de la velocidad (5 % de su valor), tal como se indica en la Figura 2.55. A este trapecio se le asigna el valor medio de la amplitud de la traza rotada según  $X^*$  en el intervalo de tiempo elegido.

El proceso se repite para los restantes pares de trazas, resultando un plano con la distribución de los reflectores más probables. Los planos correspondientes a diferentes puntos de disparo pueden superponerse.

La Figura 2.56 representa la geometría de un ensayo de reflexión y el resultado de la migración con dos componentes. Los contornos de probabilidad normalizados dibujan una posible falla 70 m por delante de la línea sísmica, y la imagen de la galería 1 ligeramente desplazada.

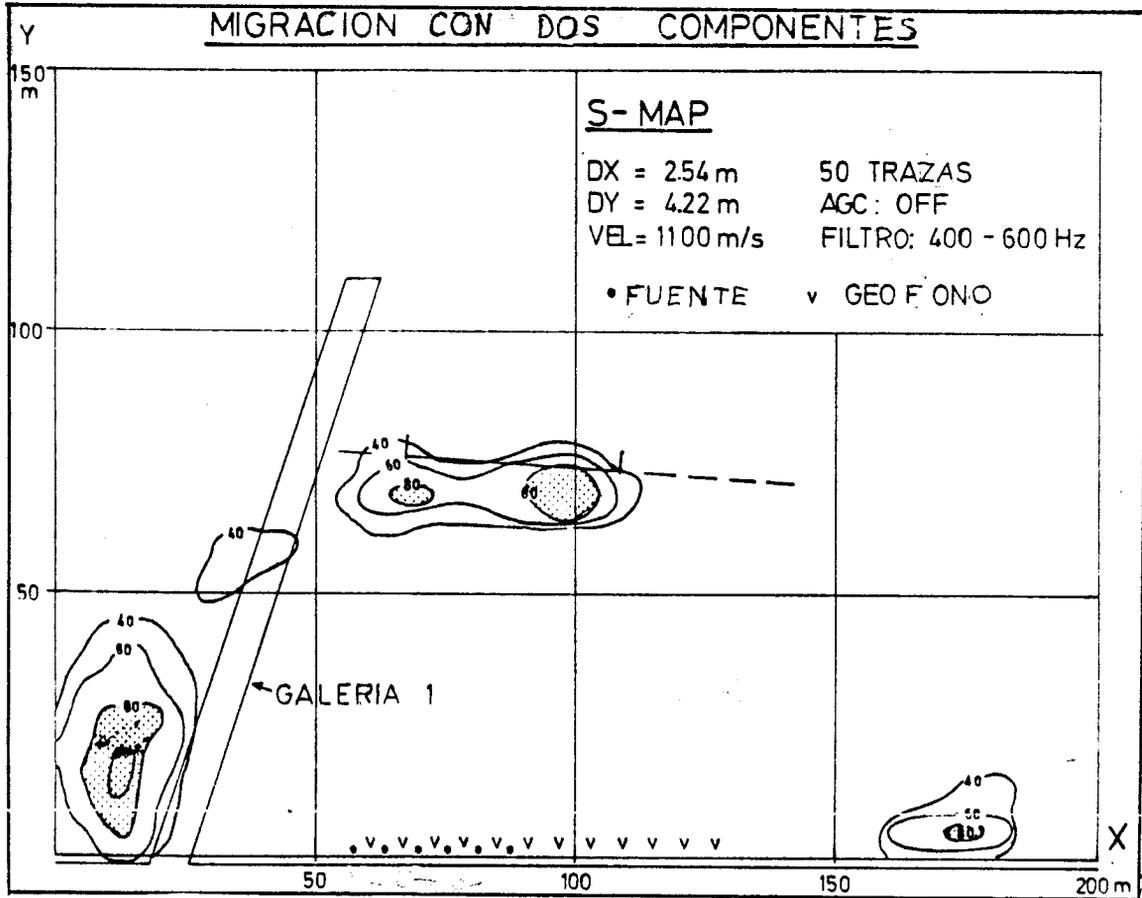


FIGURA 2. 56

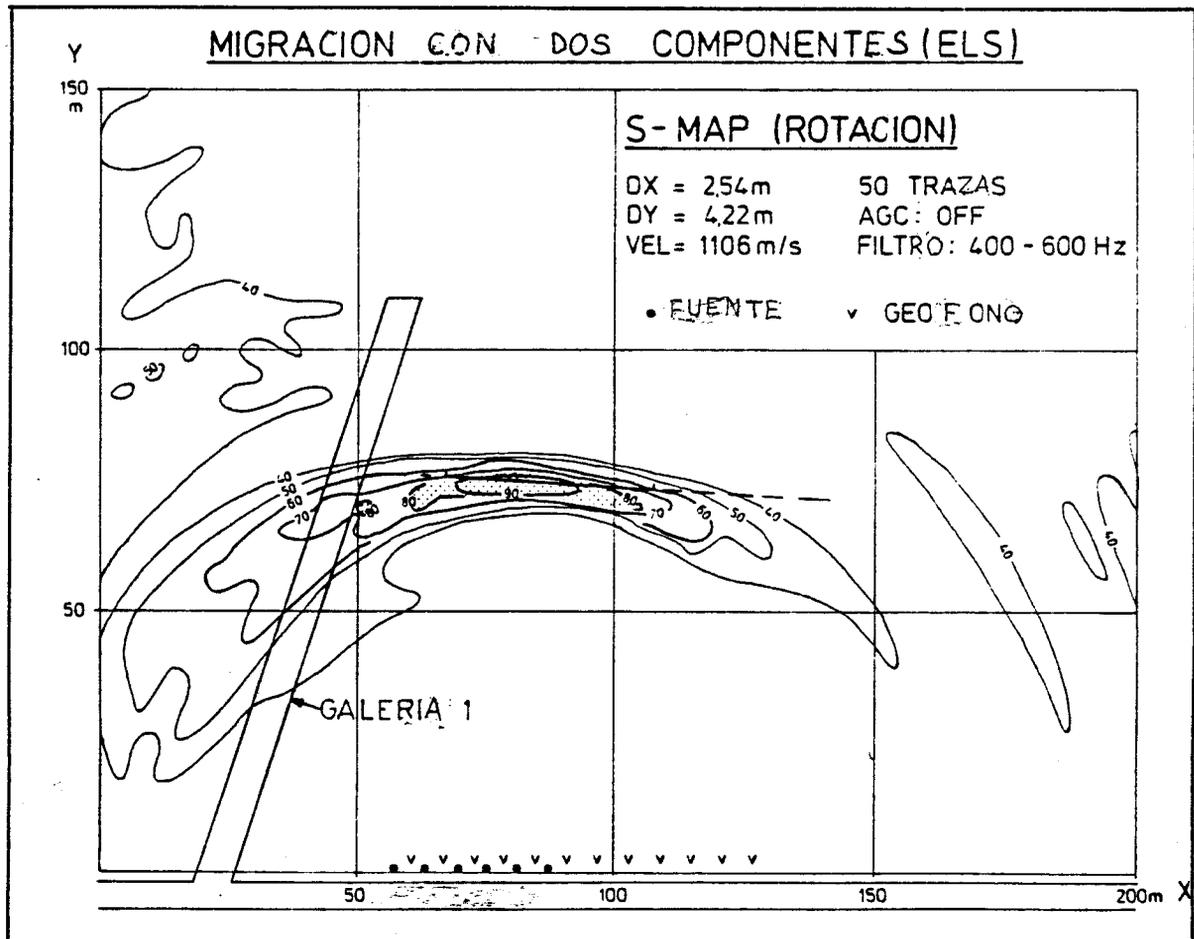


FIGURA 2. 57

A efectos de comparación, en la Figura 2.57 se muestra la migración de los mismos datos mediante suma de retardos elíptica (ELS). Como puede observarse, la falla queda mejor definida, en tanto que apenas se aprecia la reflexión en la galería 1. En la figura se indican asimismo las dimensiones de las casillas.

#### Suma de retardos adaptable (ALS)

El procedimiento ELS posee, entre otras, las siguientes limitaciones:

- Asigna la misma probabilidad a objetivos geológicos de ángulos diferentes. En efecto, una determinada llegada de ondas puede provenir de cualquier reflector tangente a una elipse que tiene por focos el punto de disparo y el geófono.
- No toma en consideración la conversión de modos durante la reflexión, esto es, que las ondas incidente y reflejada se propaguen con distinta velocidad.

Con el fin de superar estas limitaciones, se ha ideado un nuevo método de migración, denominado ALS (adaptive lag sum).

En la confección de planos mediante ALS, pueden cartografiarse preferentemente objetivos geológicos cuyo ángulo respecto a la línea sísmica se encuentre en un intervalo dado.

Primeramente se definen un ángulo  $\alpha$  y una tolerancia, generalmente  $\Delta\alpha = 20^\circ$ , tales que sólo se buscarán objetivos geológicos = cuyo ángulo esté comprendido entre  $\alpha - \Delta\alpha$  y  $\alpha + \Delta\alpha$ . El plano de la = capa se divide en casillas.

Para cada traza, se conocen las coordenadas del punto de disparo S y del geófono G. Se tantea entonces, con cada punto P centro de una casilla, la posición de un reflector hipotético para la que SPG es la trayectoria de una onda reflejada (ver Figura 2.58).

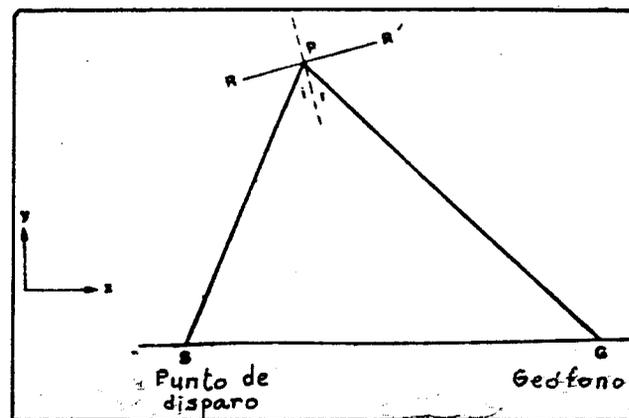


FIGURA 2.58

En un sistema de coordenadas rectangulares, y haciendo uso de la ley de Snell, el ángulo  $\beta$  entre el reflector  $RR'$  y la línea sísmica  $SG$  viene dado por :

$$\operatorname{tg} 2\beta = \frac{(y_p - y_s)(x_p - x_g) + (y_p - y_g)(x_p - x_s)}{(x_p - x_s)(x_p - x_g) - (y_p - y_s)(y_p - y_g)} \quad (2.45)$$

En adelante, solamente se toman en consideración las casillas que proporcionan un valor de  $\beta$  perteneciente al intervalo  $(\alpha - \Delta\alpha, \alpha + \Delta\alpha)$ .

Para cada casilla, se calcula el tiempo de propagación  $t_n$  asociado a la trayectoria  $SPG$ . Se define un intervalo de tiempo de centro  $t_n$  y abertura igual al tiempo que tarda la onda en atravesar la casilla. A continuación, se calcula la probabilidad no normalizada  $I(x_p, y_p)$  de que exista un reflector de rumbo próximo a  $\alpha$  en la casilla, a partir de la amplitud  $S_n(t_n)$  de la traza :

$$I(x_p, y_p) = \left| \int_{t_n - \Delta t_n}^{t_n + \Delta t_n} S_n(t_n) \exp [i\omega_c (1 - v_f/v_g) t_n] dt_n \right|^2 \quad (2.46)$$

Se definen entonces dos matrices,  $I(x, y)$  e  $I_R(x, y)$ , cuyos términos reproducen las casillas del plano de la capa. El elemento de  $I(x, y)$  correspondiente al punto  $P$  se incrementa en la cantidad dada por (2.46). A su vez, el elemento de  $I_R(x, y)$  se incrementa en la unidad. Por tanto,  $I_R(x, y)$  es una matriz entera que indica el número de veces que cada casilla contribuye al mapa de probabilidad de existencia de un reflector de rumbo próximo a  $\alpha$ .

El plano de capa se obtiene repitiendo el proceso para todas las trazas de diferentes puntos de disparo y todas las casillas. Al dibujar el plano, se tiene en cuenta la fiabilidad de cada casilla, dada por el número de contribuciones  $I_R(x,y)$ . El criterio de fiabilidad es subjetivo, y consiste en establecer un número mínimo  $C$  de contribuciones (del orden de 10). Se define entonces el plano mediante una nueva matriz  $I_f(x,y)$ :

$$I_f(x,y) = \begin{cases} I(x,y) / I_R(x,y) & \text{si } I_R(x,y) \geq C \\ 0 & \text{si } I_R(x,y) < C \end{cases} \quad (2.47)$$

Para representarlo, se normaliza y se determinan las líneas de igual probabilidad. Generalmente, sólo se dibujan las de más alta probabilidad.

La Figura 2.59 muestra un ejemplo de migración mediante ALS. La zona WZ se interpreta como una falla.

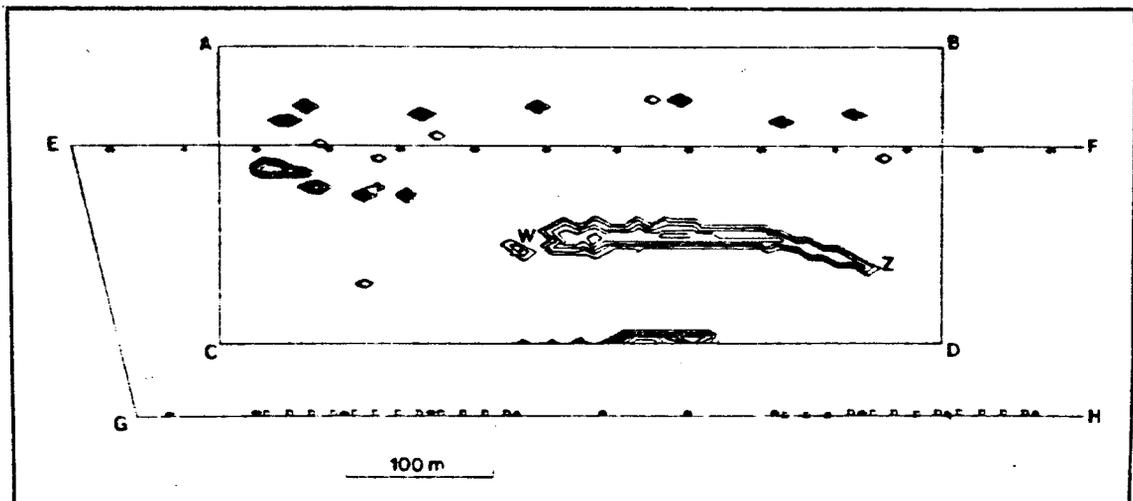


FIGURA 2.59

El procedimiento ALS requiere un enorme volumen de cálculo, pero tiene una gran flexibilidad. Si no se dispone de información a priori sobre el rumbo de posibles reflectores, deben tantearse diversos valores de  $\alpha$ . Además, puede tomarse en consideración la conversión de modos. En efecto, conocidas las velocidades de propagación, pueden calcularse los ángulos de incidencia y reflexión, y a partir de éstos, el ángulo entre el reflector y la línea sísmica.

Tal como se ha indicado, también los datos de transmisión pueden ser migrados mediante ALS. En este caso, únicamente varían el cálculo de  $t_n$  y el criterio de selección de casillas. La geometría a considerar es la indicada en la Figura 2.60.

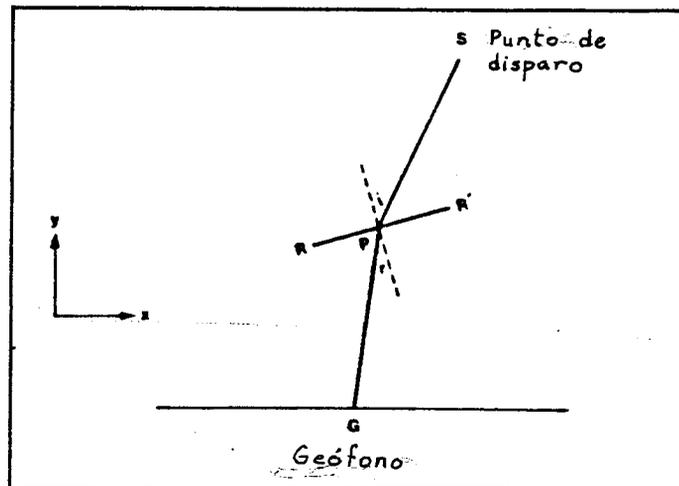


FIGURA 2.60

La onda sísmica transmitida variará su dirección sólo si existe conversión de modos, por ejemplo, como consecuencia de su interacción con una falla. De no ser así, la propagación debe tener lugar según una línea recta. Se admite que en la práctica sucede esto último. Entonces, se calcula la desviación sufrida por la onda en la trayectoria punto de disparo S-centro de casilla P-geófono G (ver Figura 2.60).

Si tal desviación es inferior a  $10^\circ$ , se contabiliza la contribución de la casilla a la matriz  $I(x,y)$ , calculada mediante (2.46). El valor de  $t_n$  es el tiempo de propagación asociado a la trayectoria SPG.

El mapa determinado de forma análoga al caso de reflexión destaca las casillas próximas a las trayectorias directas entre puntos de disparo y geófonos. Por lo tanto, pueden cartografiarse con precisión las zonas de un panel de carbón que permiten la libre transmisión de ondas en capa.

La Figura 2.61 muestra el plano de capa obtenido por migración de los datos de transmisión en el mismo panel de la Figura 2.59. Se observa que únicamente hay transmisión de ondas en la parte izquierda, ya que en la parte derecha está impedida por la falla.

#### SUPERPOSICION

Consiste en sumar trazas de registros diferentes, con lo que resulta un registro de menor número de trazas.

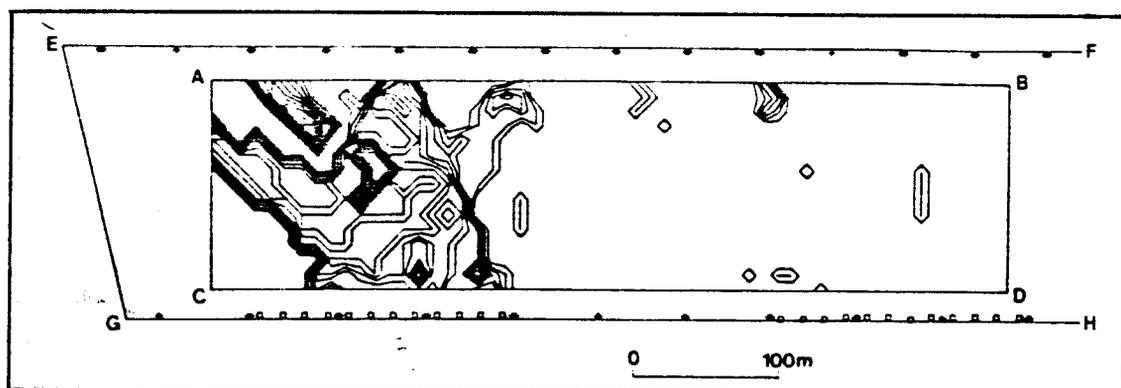


FIGURA 2.61

La finalidad que se persigue con ello es mejorar la relación señal/ruido de los sismogramas y destacar las reflexiones sísmicas frente a otras señales (refracciones, difracciones, etc).

La superposición de trazas se basa en la redundancia de = datos, ésto es, el muestreo múltiple de cada punto del reflector.

Los registros obtenidos mediante superposición de trazas= permiten interpretar la posición de discontinuidades en una capa de = carbón. Describimos a continuación dos de los procedimientos empleados actualmente.

#### Superposición de envolventes

Los resultados de esta operación suelen presentarse en = secciones espacio - tiempo.

FIGURA 2.62

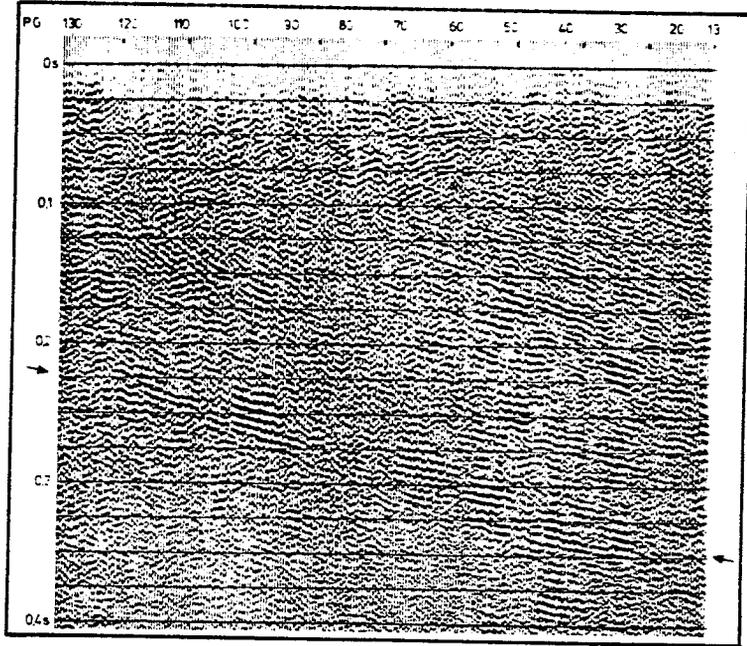


FIGURA 2.63

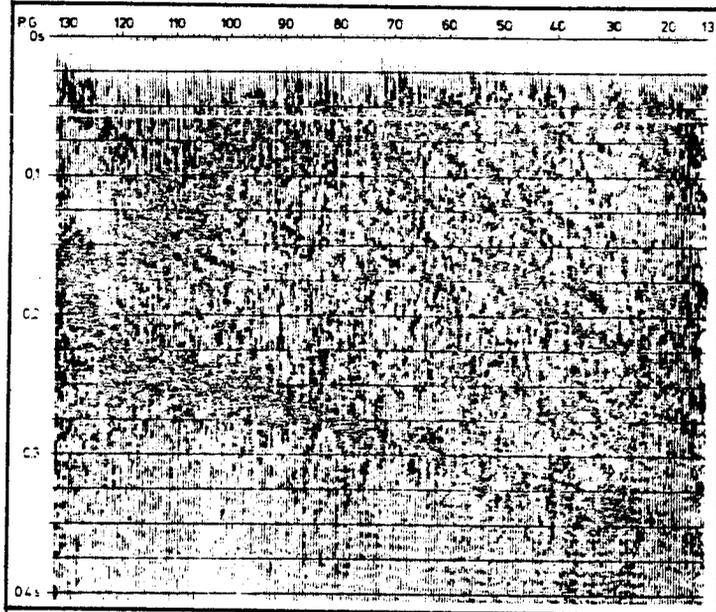
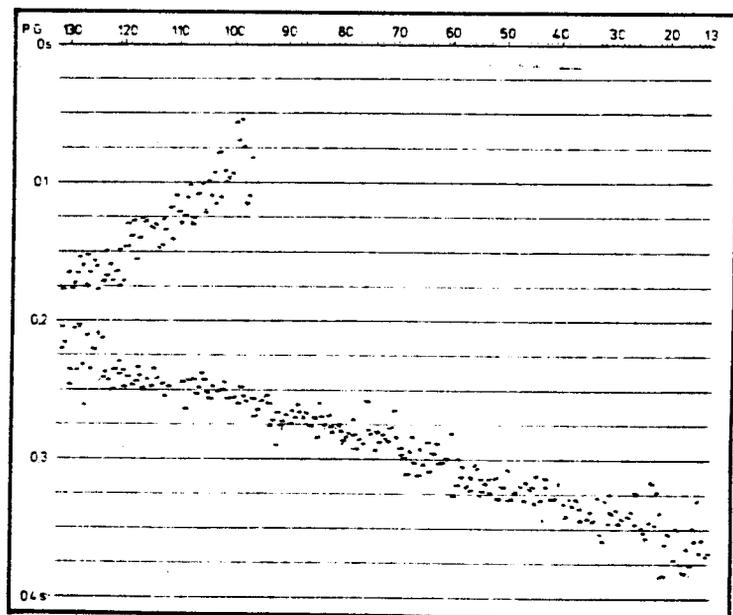


FIGURA 2.64



En la Figura 2.62 se muestra un ejemplo de superposición séxtuple de trazas. Entre las dos flechas existe una alineación de amplitudes elevadas.

La superposición séxtuple de las envolventes de las anteriores trazas, representada en la Figura 2.63, destaca con claridad un reflector en la alineación anteriormente indicada. Este reflector puede visualizarse asimismo mediante los valores máximos de la amplitud de las envolventes superpuestas (Figura 2.64).

#### Composición dinámica de trazas (DTG)

El procedimiento DTG (dynamic trace gathering) ha sido ideado como variante para sísmica en capa de la superposición por punto de reflexión común o CDP (common depth point) (Buchanan et al, 1.981 b).

La Figura 2.65 muestra el fundamento geométrico de la superposición por DTG.

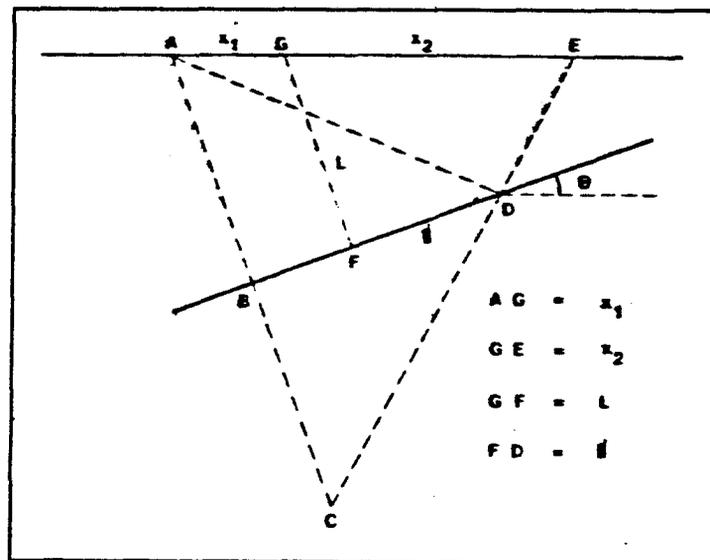


FIGURA 2.65

Sea AE la línea punto de disparo - geófono, en la que se toma como origen un punto G, que dista  $x_1$  y  $x_2$  de la fuente y el geófono, respectivamente. Se considera un reflector que forma un ángulo  $\theta$  con la línea sísmica. Sea F el pie de la perpendicular por G al reflector. Designando por L la distancia  $\overline{GF}$ , la distancia recorrida por la onda al reflejarse según la trayectoria ADE viene dada por :

$$p = x_1^2 + x_2^2 + 2 x_1 x_2 \cos 2\theta + 4 L^2 + 4 L (x_1 - x_2) \sin \theta \quad (2.48)$$

La distancia  $\overline{FD}$  es :

$$d = [x_1 x_2 \sin 2\theta - L (x_1 - x_2) \cos \theta] / [2 L (x_1 - x_2) \sin \theta] \quad (2.49)$$

Si se elige G como punto medio de AB,  $x_1 = x_2 = x$ , y se tiene :

$$p = 4 (L^2 + x^2 \cos^2 \theta) \quad (2.50)$$

$$d = x^2 \sin 2\theta / 2 L \quad (2.51)$$

La ecuación (2.51) proporciona la distancia entre el verdadero punto de reflexión D, y el punto en que tendría lugar la reflexión si  $x = 0$ , es decir, F. En sísmica desde superficie, se superponen mediante el procedimiento CDP trazas con el mismo punto medio G, porque, al ser  $\theta$  y  $x/L$  pequeños, la distancia d es pequeña, y por tanto, las trazas superpuestas tienen puntos de reflexión muy próximos.

Tal criterio no es aplicable en sísmica en capa. En efecto,  $\theta$  puede tomar cualquier valor y  $x/L$  es significativo, por lo que  $d$  no es necesariamente pequeña. En consecuencia, deben superponerse = trazas con puntos de reflexión similares. Esto se consigue mediante el procedimiento DTG, cuya secuencia de cálculo se describe seguidamente.

En primer lugar, se define un reflector que forme un determinado ángulo con la línea sísmica. Este reflector se subdivide en = segmentos de igual longitud. Para cada traza, se calcula por medio de (2.51) a qué segmento pertenece el punto en que se refleja, y se = asigna la traza a dicho segmento. Finalmente, se aplica a las trazas una corrección por retardo, dada por la ecuación (2.50), y se superponen las trazas pertenecientes a un mismo segmento.

El error en el cálculo del punto de reflexión es como máximo la longitud de los segmentos. Por tanto, puede lograrse la precisión deseada disminuyendo dicha longitud, a costa de aumentar el = tiempo de ordenador.

Por regla general, las trazas son filtradas antes de superponerse, y la secuencia de cálculo repetida para los diferentes = anchos de banda.

El algoritmo de cálculo de DTG puede programarse fácilmente en ordenador. Los resultados suelen representarse en secciones = espacio - espacio, por lo que los reflectores (fallas) son vistos en su verdadera posición.

La Figura 2.66 muestra una sección obtenida por DTG, en que la línea de referencia es la galería GH de la Figura 2.59. Se han supuesto un ángulo del reflector de  $0^\circ$  y una velocidad de propagación de la onda en capa de 880 m/s. Se aprecia claramente la imagen de la falla WZ (ver Figura 2.59) a 130 m de la galería.

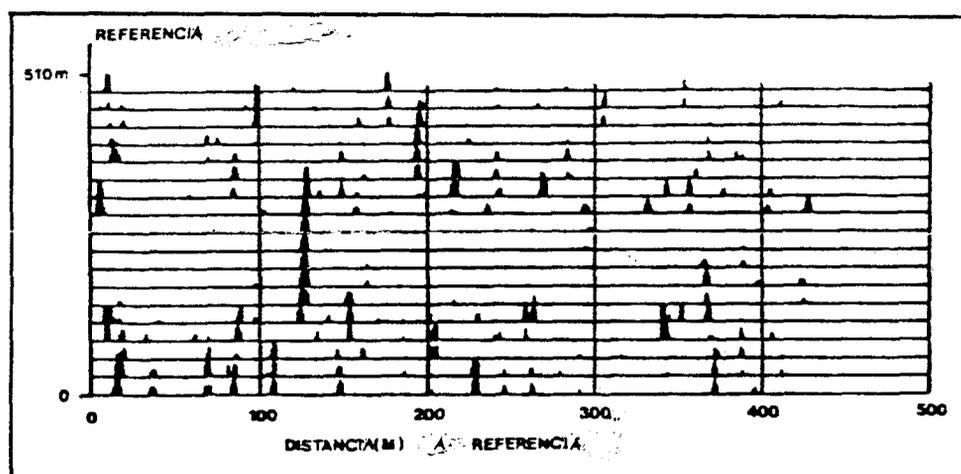


FIGURA 2.66

La línea de referencia de la sección puede no coincidir con la galería, como en el caso representado en la Figura 2.67. Se observa aquí la imagen de una falla a 260 m de la línea de referencia.

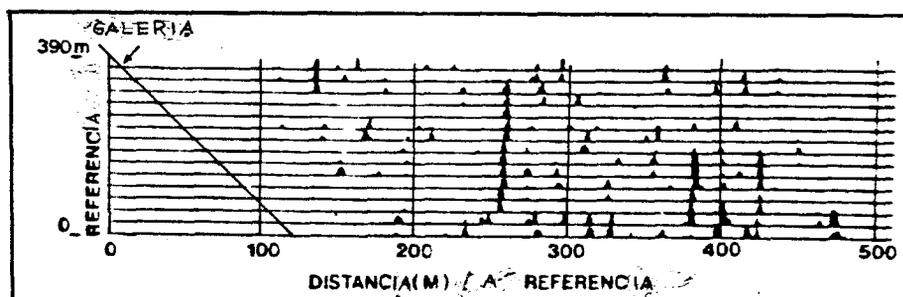


FIGURA 2.67



Siendo  $\psi$  el ángulo entre la línea sísmica y la dirección = de propagación, se admitió que la velocidad variaba según :

$$v = 1.000 + 100 \cos [ 2 ( \psi - \pi/2 ) ] \quad \text{m/s} \quad (2.52)$$

Haciendo uso de la expresión (2.52) y del principio de Fermat, se calculó para todas las combinaciones fuente - geófono posibles el tiempo de propagación  $t_n$  en caso de reflexión anisótropa. Las correspondientes trazas fueron sintetizadas con ruido sísmico pseudo aleatorio y un pulso de 100 Hz centrado en  $t_n$ .

El resultado de la superposición por DTG teniendo en cuenta la anisotropía se representa en la Figura 2.69. Como cabía esperar, la imagen de la falla aparece en su posición correcta.

Por el contrario, la superposición DTG suponiendo isótropo el medio proporciona la sección sísmica de la Figura 2.70, en la que se aprecian varios errores en la posición de la falla :

- La distancia a la línea de referencia disminuye en un 10 %.
- La falla está desplazada a lo largo de su eje.
- La falla aparece ligeramente curvada y elongada.

En la práctica, sólo es necesario tener presente la anisotropía si en la reflexión varía sustancialmente la dirección de propagación de la onda, es decir, en las trazas correspondientes a las mayores distancias fuente - geófono.

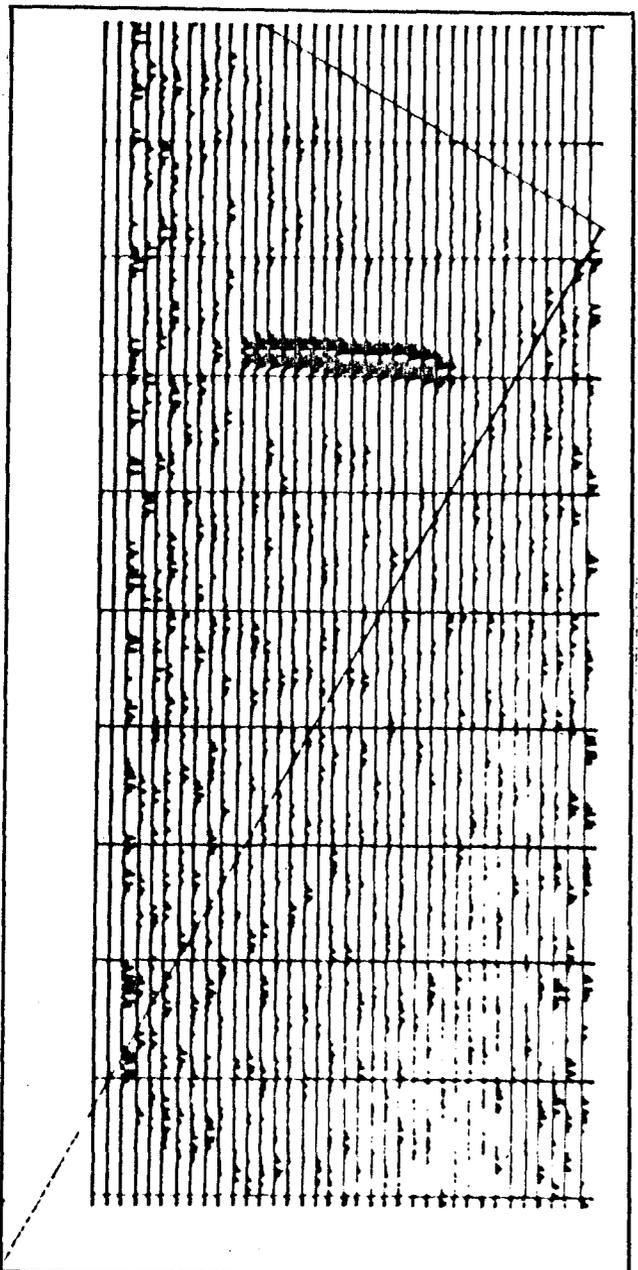


FIGURA 2.70

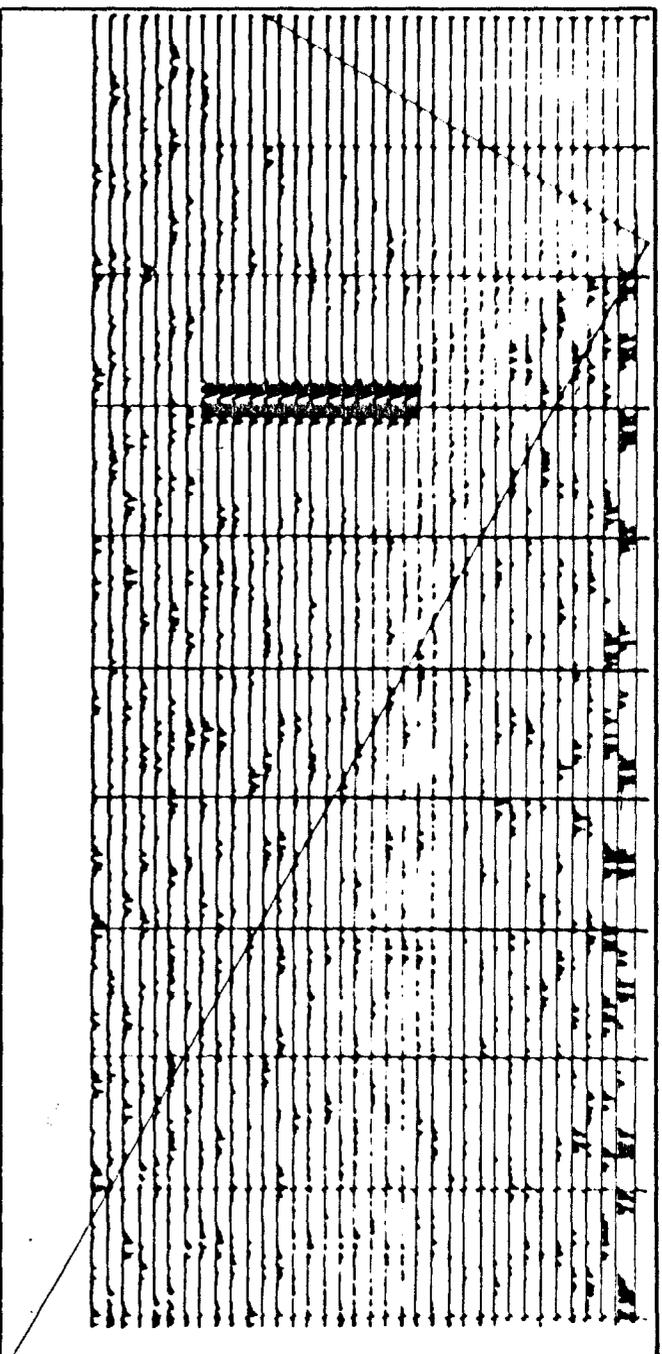


FIGURA 2.69

3.- APLICACIONES PRACTICAS Y EJEMPLOS

### 3.- APLICACIONES PRACTICAS Y EJEMPLOS

#### 3.1.- FASE DE EXPLORACION

La idea de incluir la técnica de sísmica en capa en los programas de exploración de cuencas carboníferas ha sido puesta en práctica en los Estados Unidos, en época relativamente reciente.

El retraso con relación a otras aplicaciones de la sísmica en capa se debe a la necesidad de disponer de sondeos. Ello ha obligado a desarrollar instrumentación especial adaptada al uso en interior de sondeo. Asimismo, al estar limitado el número de detectores a uno por sondeo, el número de datos sísmicos registrables es reducido. Por esta razón, la interpretación es menos fiable que cuando se dispone de frentes o galerías, que permiten la redundancia o multiplicidad de datos.

En la fase de exploración, la sísmica en capa se emplea para comprobar la continuidad lateral de las capas de carbón y establecer correlaciones.

Los primeros ensayos utilizaron la disposición representada esquemáticamente en la Figura 3.1. La fuente sísmica, una carga explosiva, fue emplazada en un sondeo que atravesaba un paquete de capas de carbón, a la altura de una de éstas. Los detectores fueron dispuestos a lo largo del afloramiento de una capa.

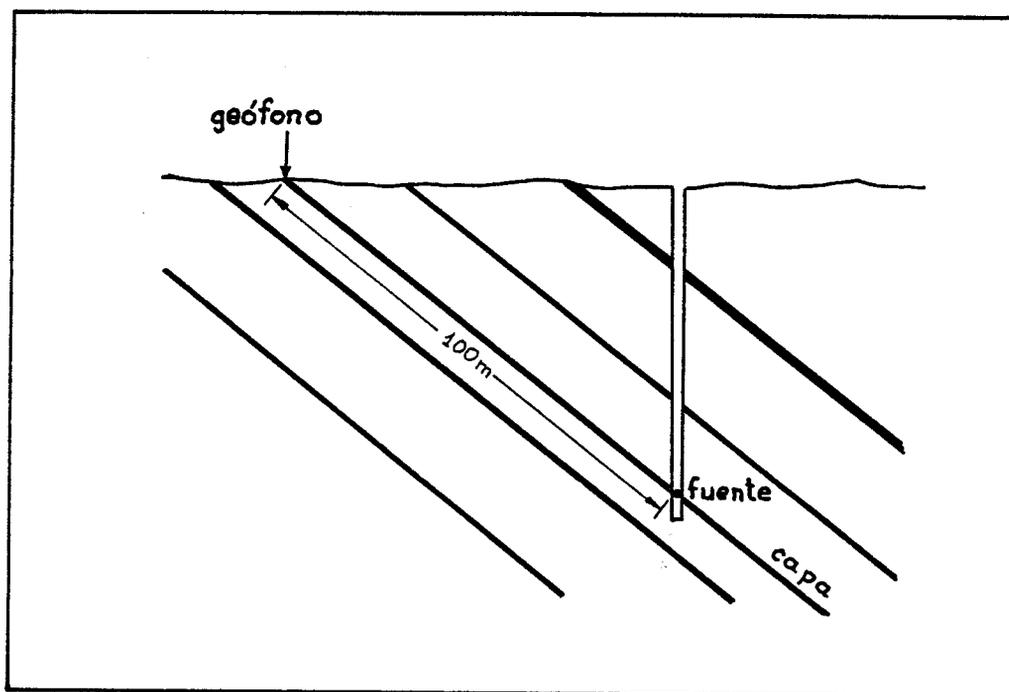


FIGURA 3.1

El objeto de tales ensayos era determinar qué afloramiento correspondía a la capa que contenía la fuente sísmica. En efecto, supuesto que la capa no estuviera fallada, se transmitirían ondas canalizadas, que serían registradas sólo en el afloramiento buscado. Por tanto, podrían establecerse correlaciones entre las series en el sondeo y en superficie.

Las pruebas fueron realizadas en una capa de 3 m de potencia, siendo la distancia entre fuente y detectores de unos 100 m. Se observó la llegada de ondas en capa, si bien de una frecuencia

muy inferior a la predicha por la teorfa. Esto fue debido a que la =  
gufa de ondas estaba formada por la capa de carbón y la arcilla =  
adyacente.

La disposición de la Figura 3.1 puede utilizarse también  
para detectar y cartografiar labores mineras abandonadas. Con este =  
mismo fin, cabe pensar en una nueva disposición, representada en  
la Figura 3.2. En este caso, las fuentes sísmicas se colocarían a lo  
largo de una galería en capa accesible, y los geófonos en el aflorao  
miento de la misma capa. El barrido mediante el método de transmi=  
sión del tramo de la capa comprendido entre la galería y la superfio  
cie permitiría localizar labores abandonadas inundadas, rellenadas,  
o parcialmente colapsadas.

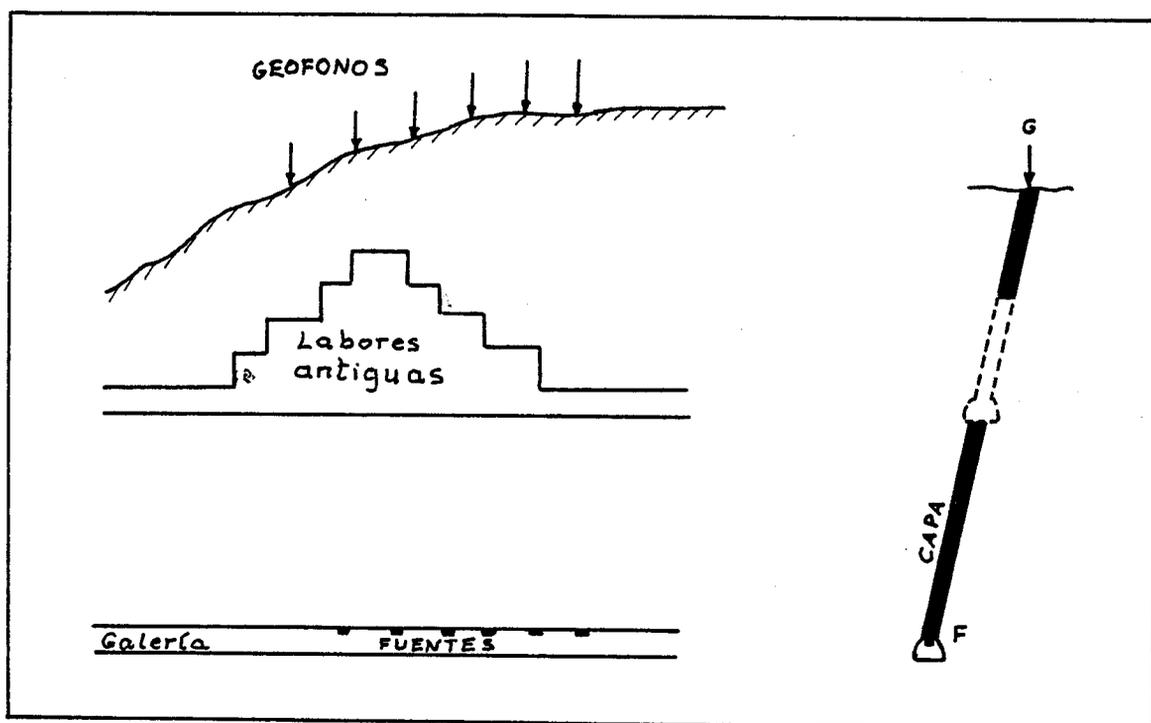


FIGURA 3.2

Puede pensarse asimismo en emplear el método de reflexión desde un afloramiento para detectar labores abandonadas, según se representa en la Figura 3.3. Esto sería aplicable a labores con relleno compactado, que presentarían contraste de densidades y propiedades acústicas respecto al carbón. No obstante, la irregularidad de las superficies (límite de labores abandonadas) podría impedir la obtención de reflexiones claras.

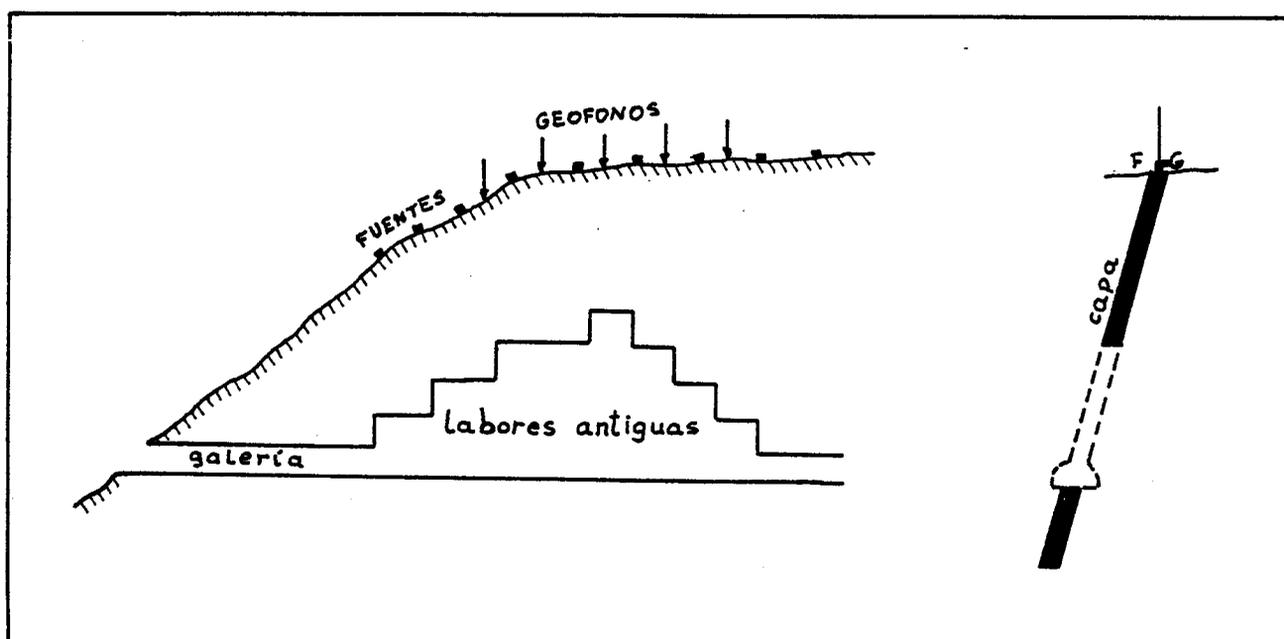


FIGURA 3.3

Las disposiciones en las que los geófonos se sitúan en afloramientos de capas de carbón presentan la ventaja de que el equipo de registro no necesita protección antideflagrante. Sin embargo, existe una importante limitación práctica: la meteorización en superficie de las capas de carbón. En efecto, se ha constatado que en una capa expuesta a la intemperie, se forma en cuestión de un día una zona de baja velocidad sísmica.

El retraso en los tiempos de llegada de las ondas debido a dicha zona puede superar los 10 ms., y se distribuye irregularmente. Por tanto, si los geófonos no están adecuadamente introducidos en la capa, no se obtendrán resultados fiables.

La disposición de sísmica en capa con mejor porvenir en la fase de exploración es, sin duda, la sondeo - sondeo. Existe un importante incentivo económico para la implantación de este tipo de ensayos, cual es la reducción del número de sondeos a ejecutar en un programa de valoración de reservas. En estos casos, es habitual utilizar una malla de sondeos de 25 a 40 m de abertura, para comprobar la continuidad lateral de las capas.

Teniendo presente el importante alcance de los ensayos de transmisión, del orden de varios cientos de metros, la abertura de la malla puede hacerse mucho mayor, reduciendo drásticamente el número de sondeos, hasta a la décima parte, o aún más.

Las pruebas de transmisión sondeo - sondeo pueden asimismo reducir el número de sondeos precisos para delimitar una zona de labores abandonadas.

Seguidamente, presentamos dos ejemplos de ensayos =  
sondeo - sondeo.

#### Ejemplo nº 1

Se refiere a estudios en una cuenca de lignito al este =  
de Denver (Colorado). La formación tenía 10 m de potencia total, =  
con un recubrimiento de 10 a 50 m. En los experimentos, no se ob- =  
servaron ondas en capa, debido a que la colocación de las fuentes =  
sísmicas, basada en los logs del sondista, era incorrecta.

En efecto, la fuente estaba emplazada en un carbonero =  
separado de la capa de lignito por una delgada capa de alta velocidad =  
sísmica. Aunque los geófonos se hubiesen dispuesto en dicho carbone =  
ro, las ondas en capa serían de una frecuencia muy superior a la =  
detectable por el equipo de registro.

Se concluye la necesidad de disponer de diagraffas geof =  
sicas de buena calidad en los ensayos entre sondeos.

#### Ejemplo nº 2

La primera prueba con éxito de sísmica en capa entre dos =  
sondeos tuvo lugar en 1.979, en la cuenca carbonífera terciaria de =  
Zulia (Venezuela).

El esquema del ensayo se representa en la Figura 3.4.

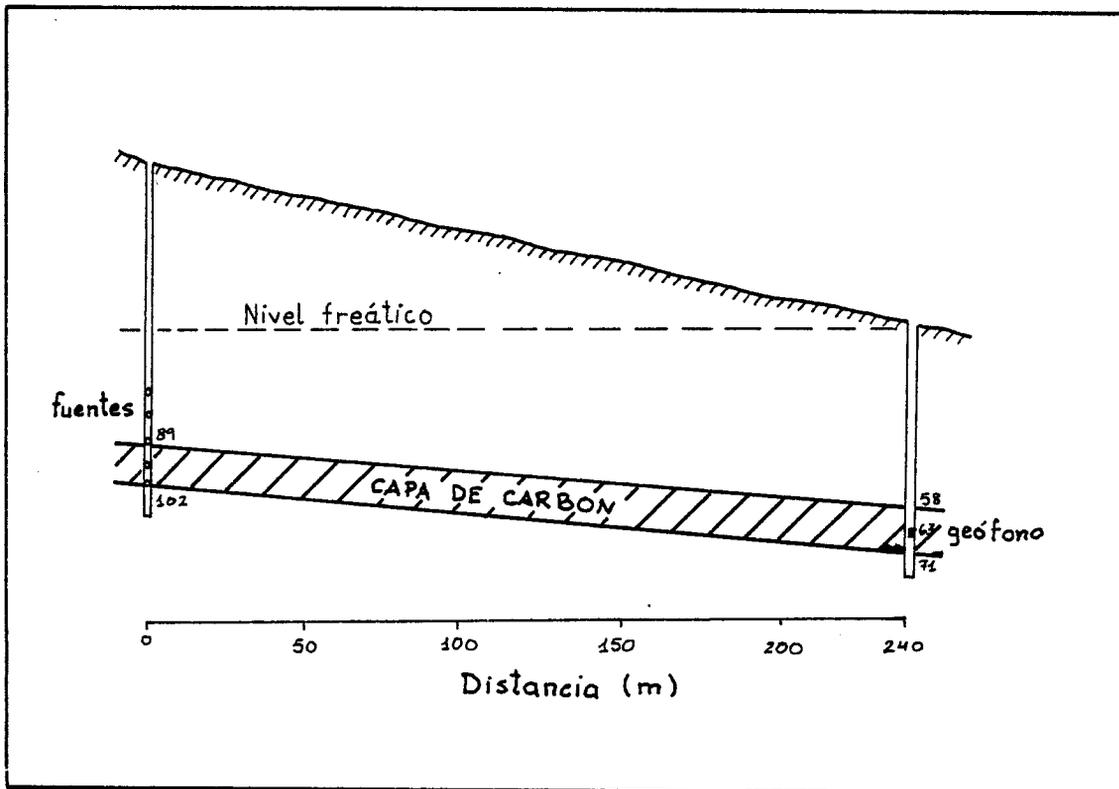


FIGURA 3.4

Se utilizó como gufa de ondas una capa de carbón de 13 m de potencia. El contraste de velocidades sísmicas entre la roca encajante y el carbón era 1,4 : 1,0, inferior a los valores habituales en terrenos de edad carbonífera.

En un primer sondeo fueron dispuestas, en secuencia vertical, varias cargas explosivas de 225 g. A su vez, un geófono triaxial fue colocado en un sondeo distante 240 m del anterior.

La señal procedente del geófono era registrada por un sismógrafo de 6 canales, con un intervalo de muestreo de 0,75 ms.

La Figura 3.5 representa los sismogramas de las tres componentes del movimiento (dos horizontales y una vertical) correspondientes al disparo de una carga centrada en la capa de carbón.

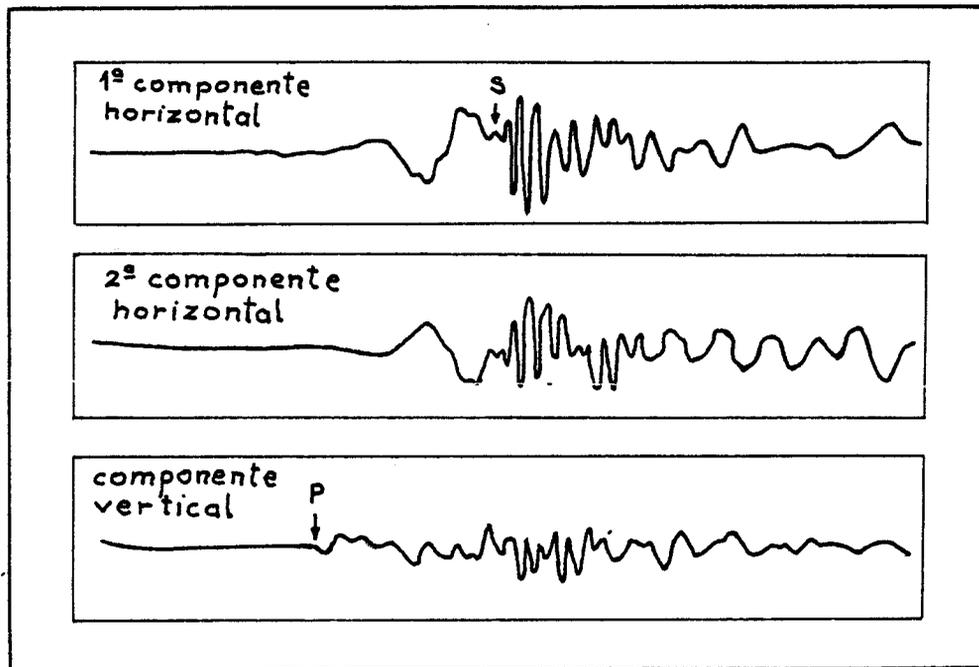


FIGURA 3.5

Los resultados del ensayo indicaron claramente la existencia de ondas en capa transmitidas. En efecto, tanto las frecuencias (100 a 300 Hz) como las velocidades de grupo (1600 a 2100 m/s) coinciden con las curvas de dispersión calculadas a partir de los parámetros obtenidos de las diagraffas sónicas y las pruebas de refracción. Asimismo, la distribución de amplitudes presenta un máximo en la capa, y disminuye rápidamente en la roca encajante.

La aplicación del método de Dziewonski a los datos obtenidos reveló la excitación preferente de los modos pares, en especial del cuarto. Se observó también la llegada de modos no confinados.

### 3.2.- FASE DE EXPLOTACION

La sísmica en capa ha encontrado tradicionalmente su aplicación más importante en la planificación de explotaciones mineras = subterráneas.

El laboreo por frente largo en avance, altamente mecanizado, es el método preferentemente utilizado por las hulleras centro europeas. Aproximadamente el 97 % de la producción de carbón de la República Federal Alemana es obtenida de esta forma, en tanto que en el Reino Unido dicho porcentaje es superior al 80 %. Esta fuerte implantación se debe a que un frente largo proporciona un elevado grado de extracción de una capa de carbón, con producciones de hasta 3.000 t/día (record europeo : 30.389 t/semana, mina Kellingley, Reino Unido).

La experiencia señala que, en la República Federal Alemana, del 16 al 20 % de los frentes de arranque se hallan perturbados geológicamente, en general por pequeñas fallas. En el Reino Unido, = la proporción de frentes que encuentran pequeños accidentes tectónicos es asimismo significativa.

La presencia de perturbaciones geológicas, por ejemplo, = variaciones en la potencia de la capa, ondulaciones de la capa, pero = sobre todo discontinuidades debidas a fallas u otras irregularidades (esterilidades, diques), perjudica considerablemente la marcha de las explotaciones por frente largo, ya que éstas se acomodan con mucha dificultad a las variaciones en la geometría de una capa.

Una falla de salto igual o ligeramente mayor que la potencia de la capa presupone que el frente se encuentra con una pared rocosa, que detiene su avance. Adicionalmente, una falla afecta a la integridad del sostenimiento hidráulico y comporta riesgos de inundación e incendio. El frente debe ser entonces abandonado prematuramente, o en el mejor de los casos, cambiado de nivel.

El coste del traslado de la maquinaria a un nuevo frente puede alcanzar los 2 millones de dólares. A su vez, atravesar una falla y situar el frente a la altura adecuada cuesta, dependiendo del salto de falla, hasta 2,5 millones de dólares. Además, ambas operaciones precisan varias semanas para su realización, por lo que las pérdidas de producción son muy cuantiosas.

Todo ello, unido a las elevadas inversiones que se requieren para la puesta en marcha de un frente largo mecanizado (de 5 a 7 millones de dólares), permite concluir que las fallas de salto pequeño ejercen una influencia decisiva sobre la economía de la minería del carbón.

Por tanto, la posibilidad de cartografiar mediante sísmica en capa fallas por delante del frente mejoraría sustancialmente la rentabilidad de la explotación minera. En efecto, podrían planificarse las labores eligiendo los paneles de carbón libres de fallas, con lo que se reduciría el índice de riesgo del capital invertido.

Como ayuda a la planificación minera, los diversos tipos de pruebas de sísmica en capa han sido utilizados para el reconocimiento de fallas y otras discontinuidades.

Seguidamente, presentamos varios ejemplos de casos en los que se ha aplicado la sísmica en capa.

Ejemplo nº 1. Mina Clarence, Australia

El desarrollo de un panel sobre la capa Katoomba, de 3 m de potencia, se vio afectado por una falla. Conforme a los sondeos de reconocimiento, la falla desplazaba la capa 17 m hacia abajo.

Con el fin de dictaminar la existencia de ulteriores fallas en la prolongación del panel, se llevó a cabo un ensayo sondeo - sondeo con la disposición representada en la Figura 3.6.

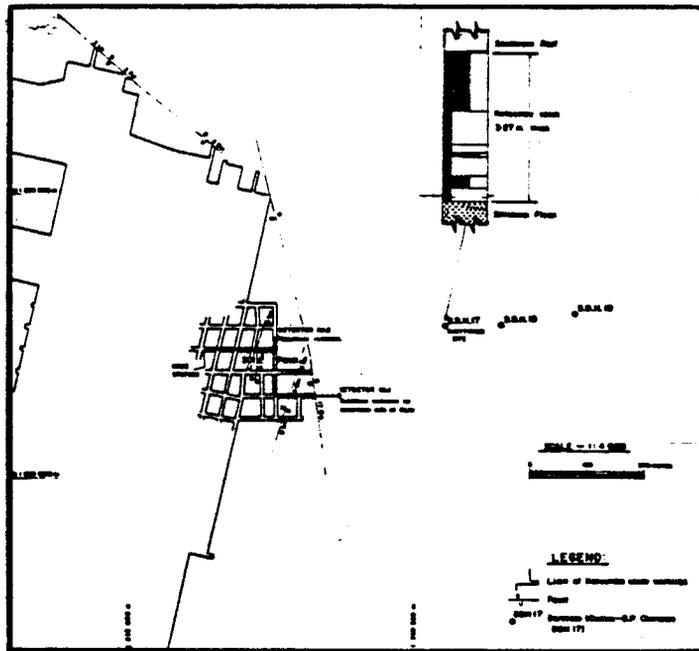


FIGURA 3.6

El detector nº 1 fue colocado en un sondeo de reconocimiento, del lado de la falla desplazado hacia abajo. El detector nº 2 se situó en las labores mineras, de forma que la falla quedaba situada entre él y la fuente sísmica. Esta fue emplazada en un sondeo desde superficie, distante 230 m del detector nº 1.

Se apreció la llegada de energía sísmica a ambos detectores. Para su interpretación, las señales sísmicas fueron procesadas mediante filtraje múltiple, obteniéndose las curvas de dispersión de la Figura 3.7, ninguna de las cuales corresponde a ondas canalizadas.

Por otra parte, la amplitud de las señales sísmicas era aproximadamente la misma en ambos detectores, localizados en lados opuestos de la falla.

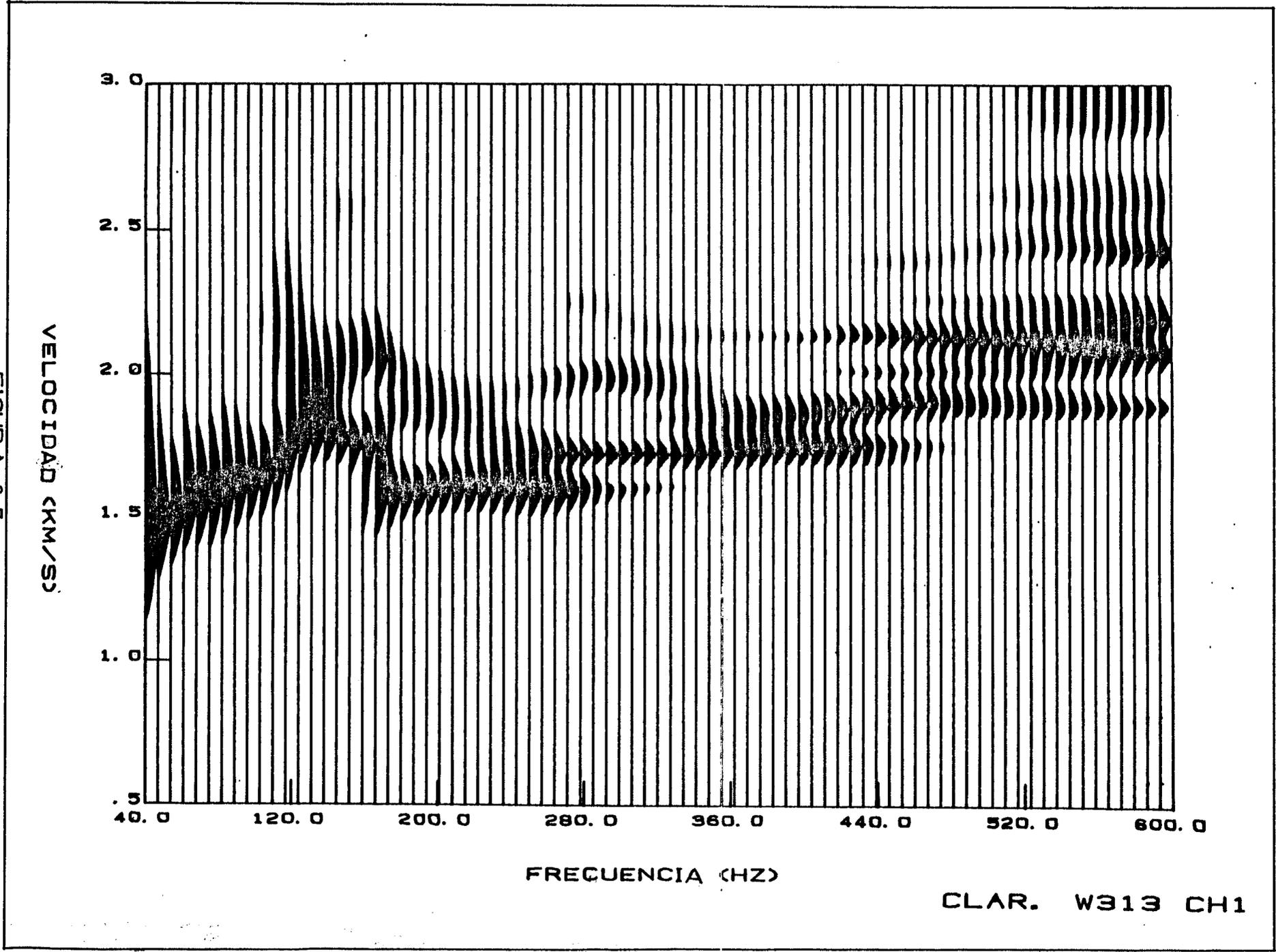
Por tanto, resultaba claro que la transmisión de ondas en capa se veía interrumpida por una nueva falla de salto superior a 3 m, situada entre el punto de disparo y el detector nº 1.

Una exploración posterior de la capa mediante sondeos de reconocimiento parece haber confirmado la predicción de la sísmica en capa.

### Ejemplo nº 2. Mina Appin, Australia

Corresponde a un ensayo frente-sondeo, en el cual fueron disparadas seis cargas de 250 g emplazadas en una galería de retorno sobre la capa Bulli, de 2,7 m de potencia. El geófono fue colocado a 491 m de profundidad en un sondeo de exploración, distante 1.100 m de las cargas.

FIGURA 3.7



En todos los casos se registró la llegada de ondas en =  
 capa, lo que se interpreta como indicativo de la ausencia de fallas=  
 entre el frente y el sondeo.

El ensayo necesitó un tiempo total de mina de 4 horas, in-  
 cluyendo perforación, sin causar ninguna pérdida de producción.

### Ejemplo nº 3. Mina Ensdorf, Alemania

Una serie de pruebas de transmisión sondeo-frente fue rea-  
 lizada en la capa Schwalbach, según se representa en la Figura 3.8.

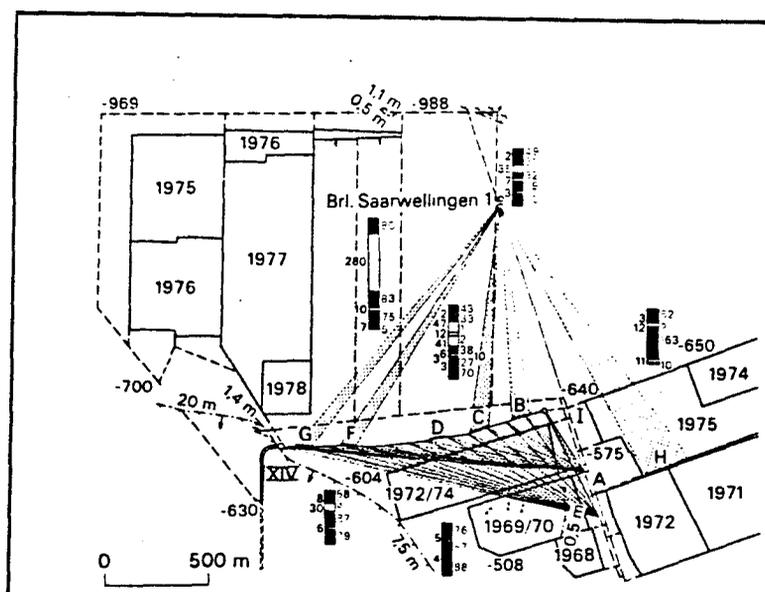


FIGURA 3. 8

La fuente sísmica se introdujo en un sondeo a una profundidad de 1.100 m, a la cual las diagráffas sónicas señalaban la existencia de una capa de carbón.

Los detectores fueron dispuestos en un frente de arranque, a distancias de la fuente comprendidas entre 1100 y 1500 m.

El objeto de las pruebas era verificar mediante la transmisión de ondas en capa si la capa atravesada por el sondeo era la misma que se estaba explotando en el frente. En los sismogramas, se apreció nítidamente la llegada de ondas canalizadas (ver Figura 3.9).

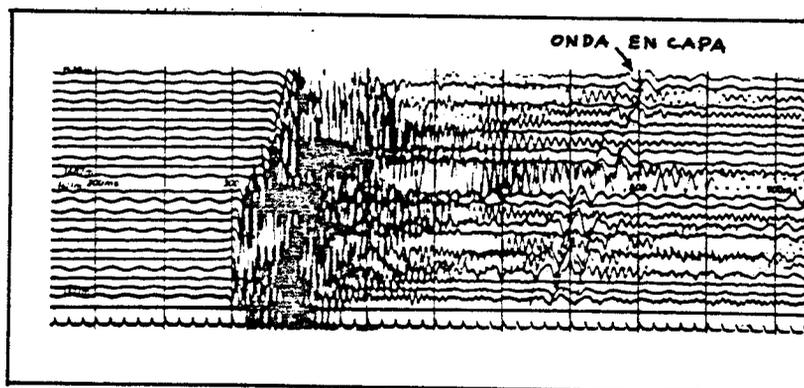


FIGURA 3.9

El posterior avance de la explotación minera corroboró la suposición de que la capa en el frente y en el sondeo era la misma, y que entre ambos puntos no existían dislocaciones tectónicas.

Algunos años más tarde, también sobre la capa Schwalbach, se llevaron a cabo nuevos ensayos sondeo-frente, con el fin de estudiar la prolongación de un campo de explotación.

A la vista de los resultados precedentes y los parámetros de la capa, se estimó que las ondas canalizadas podrían transmitirse y ser observadas a distancias comprendidas entre 2200 y 2700 m. La Figura 3.10 representa la geometría de las pruebas.

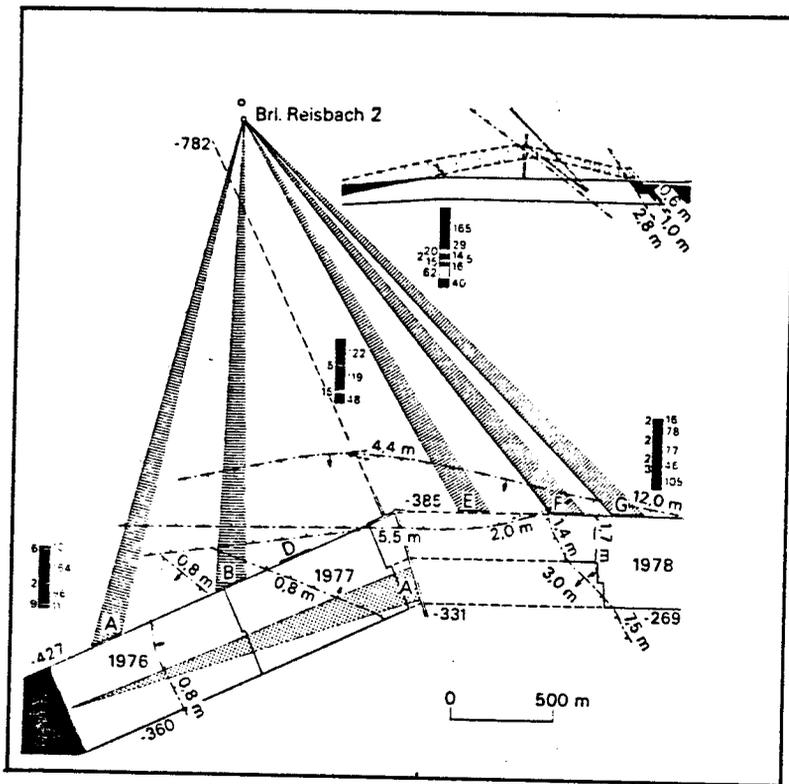


FIGURA 3.10

Se registró la llegada de ondas transmitidas a través de la roca de los hastiales, pero no de ondas guiadas por la capa. Por tanto, se concluyó que entre el sondeo y el frente debía existir alguna falla de salto superior a la potencia de la capa. Estas fallas se muestran en la Figura 3.10.

#### Ejemplo nº 4. Mina Vieux Condé, Francia

En la explotación de algunas capas de carbón de la Cuenca del Norte - Paso de Calais, se encuentran a veces unos socavones especiales, denominados pozos naturales, que suponen un serio perjuicio para la marcha de las labores mineras.

La Figura 3.11 representa un panel de la capa Saint Georges, en el que se aplicó el método de transmisión desde numerosas posiciones, con objeto de localizar los pozos naturales que pudieran existir.

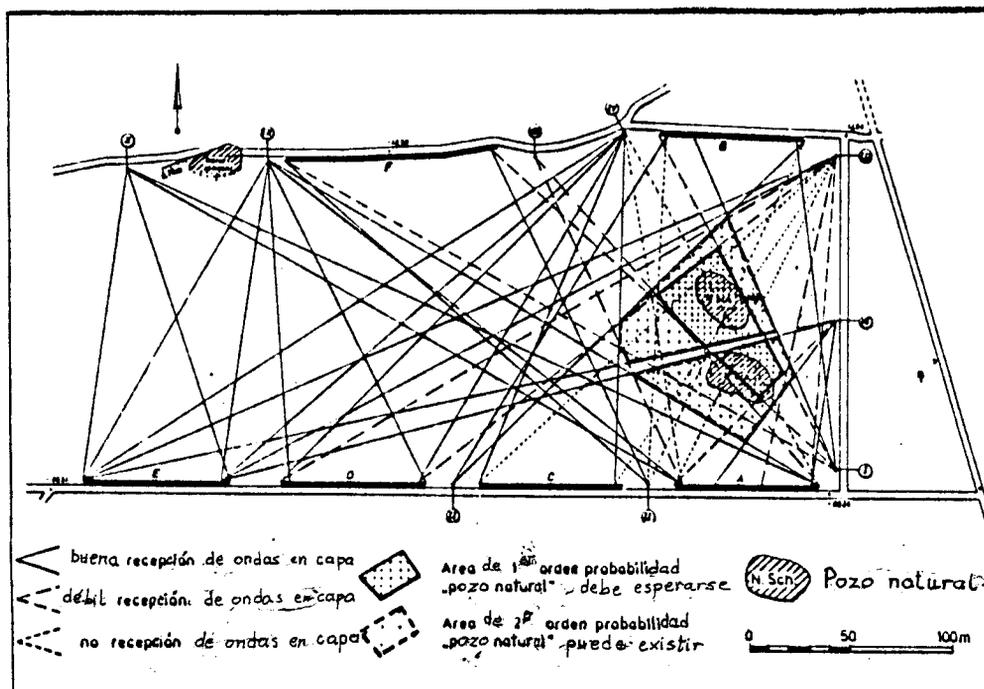


FIGURA 3.11

Tras el barrido del panel mediante haces de ondas transmitidas, la intersección de los abanicos en los que la recepción de dichas ondas fue nula o débil permitió definir las áreas de mayor probabilidad de existencia de pozos naturales.

La posterior explotación minera confirmó la presencia de dos pozos naturales en los lugares previstos (ver Figura 3.11).

#### Ejemplo nº 5. Mina Patmohna, India

El objetivo de este ensayo, del tipo frente-frente, consistía en determinar la posición de unas labores mineras abandonadas mediante el método de reflexión.

El problema se plantea en los términos siguientes (ver Figura 3.12) : en la India existen muchas minas cerradas de las que no se dispone de planos de labores. Estas explotaciones antiguas suelen llenarse de agua durante la estación monzónica, y es necesario saber a qué distancia se encuentran de las labores actuales para evitar el riesgo de inundación en éstas últimas.

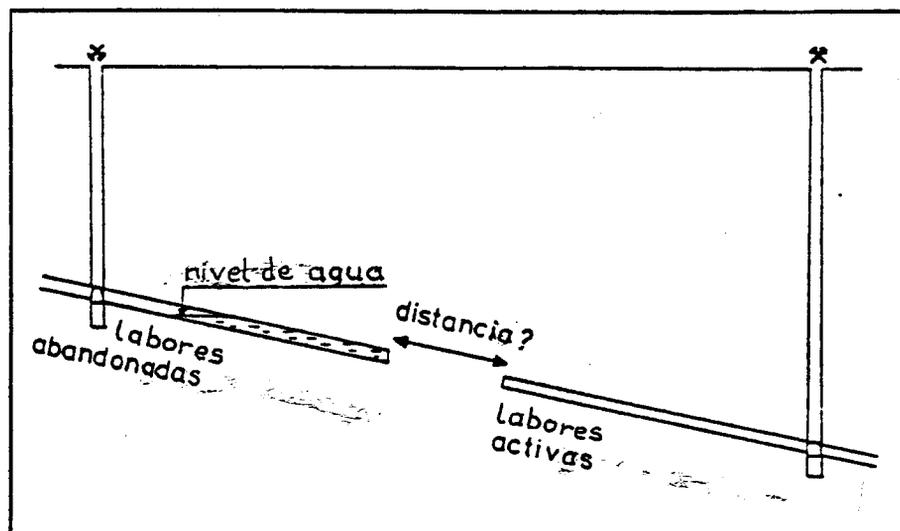


FIGURA 3.12

La Figura 3.13 representa la disposición geométrica del ensayo. Las cargas explosivas y los geófonos se colocaron en el límite de las labores actuales, y se esperaba que la parte inferior de las labores abandonadas actuase como reflector.

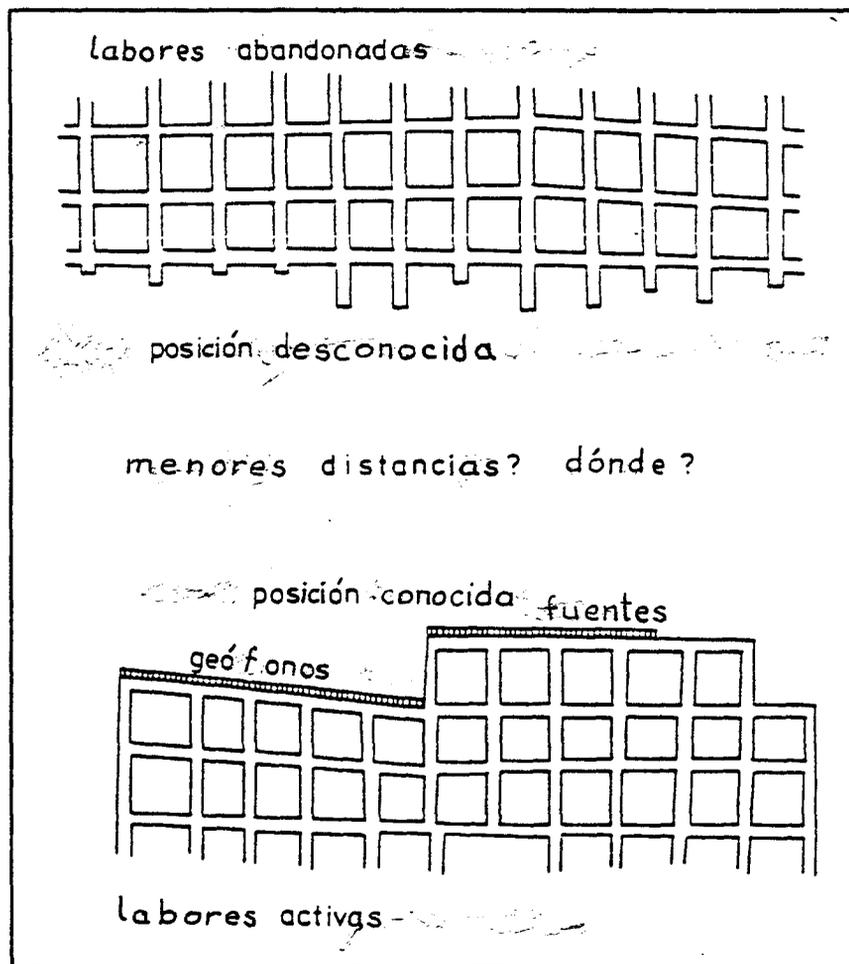


FIGURA 3.13

Sin embargo, no se apreció la llegada de reflexiones claras. El resultado desfavorable de este ejemplo del método de reflexión puede explicarse por las siguientes razones :

- La poca profundidad de las labores (80 m) y la infiltración de agua determinan que el carbón y la roca estén alterados y poco consolidados. Consecuentemente, el contraste de propiedades acústicas es bajo, y la absorción de ondas sísmicas, en especial, las altas frecuencias de la fase de Airy, es elevada.
- El límite inferior de las labores abandonadas es una línea irregular, lo cual dificulta la formación de ondas reflejadas coherentes.

#### Ejemplo nº 6. Mina Pattberg, Alemania

La galería de base de un panel en la capa Hermann-Gustav encontró en su avance una falla de 10 m de salto.

Con objeto de determinar el curso de dicha falla, se llevaron a cabo ensayos de reflexión con los dispositivos A, B y C, y de transmisión desde los puntos de disparo I y II (ver Figura 3.14).

La parte inferior de la Figura 3.14 muestra los sismogramas de superposición de envolventes de ondas reflejadas. De ellos se deduce la posición de la falla, dibujada en la parte superior de la figura.

Una galería de comprobación avanzada tras el estudio de sísmica en capa (doble línea de trazos en la Figura 3.14) confirmó la exactitud de la predicción.

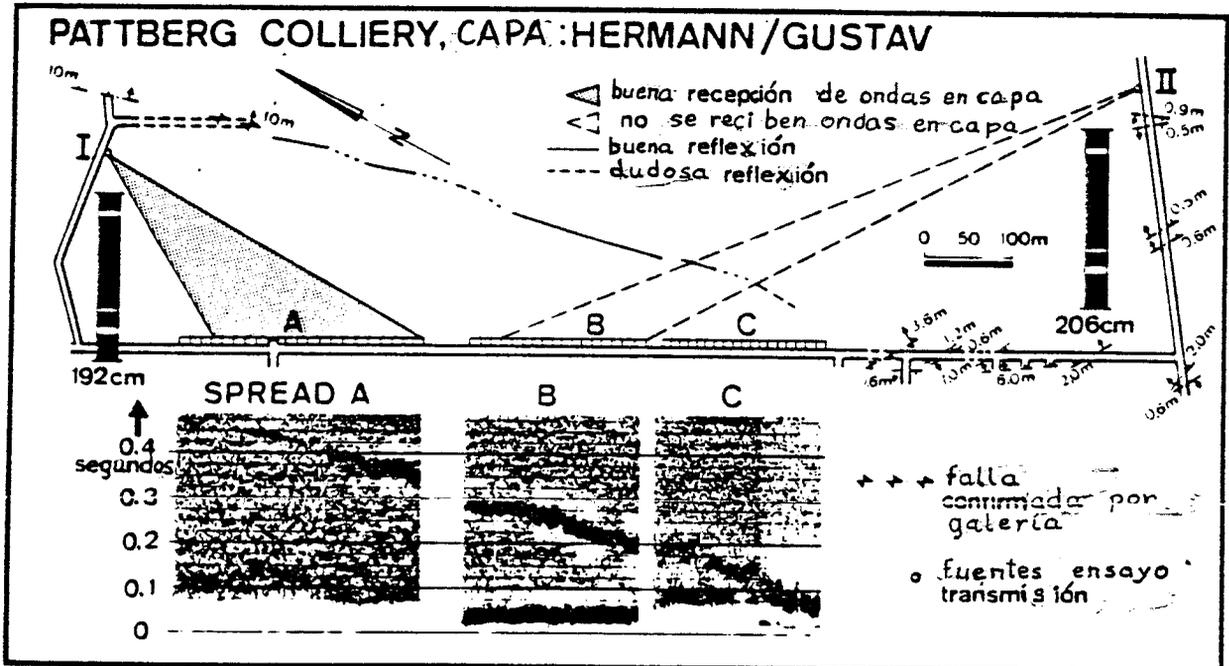


FIGURA 3.14

### Ejemplo nº 7. Mina Nordstern, Alemania

Al planificar la explotación de un panel de la capa Zollverein 5, se supuso la existencia de una falla de bajo ángulo de inclinación, conforme a los datos de otra capa situada varios metros por encima.

Un estudio de sísmica en capa por el método de reflexión predijo asimismo el paso de la falla. En este caso, la explotación del panel permitió comparar la realidad con los resultados sísmicos. Como se aprecia en la Figura 3.15, el ajuste es bastante preciso.

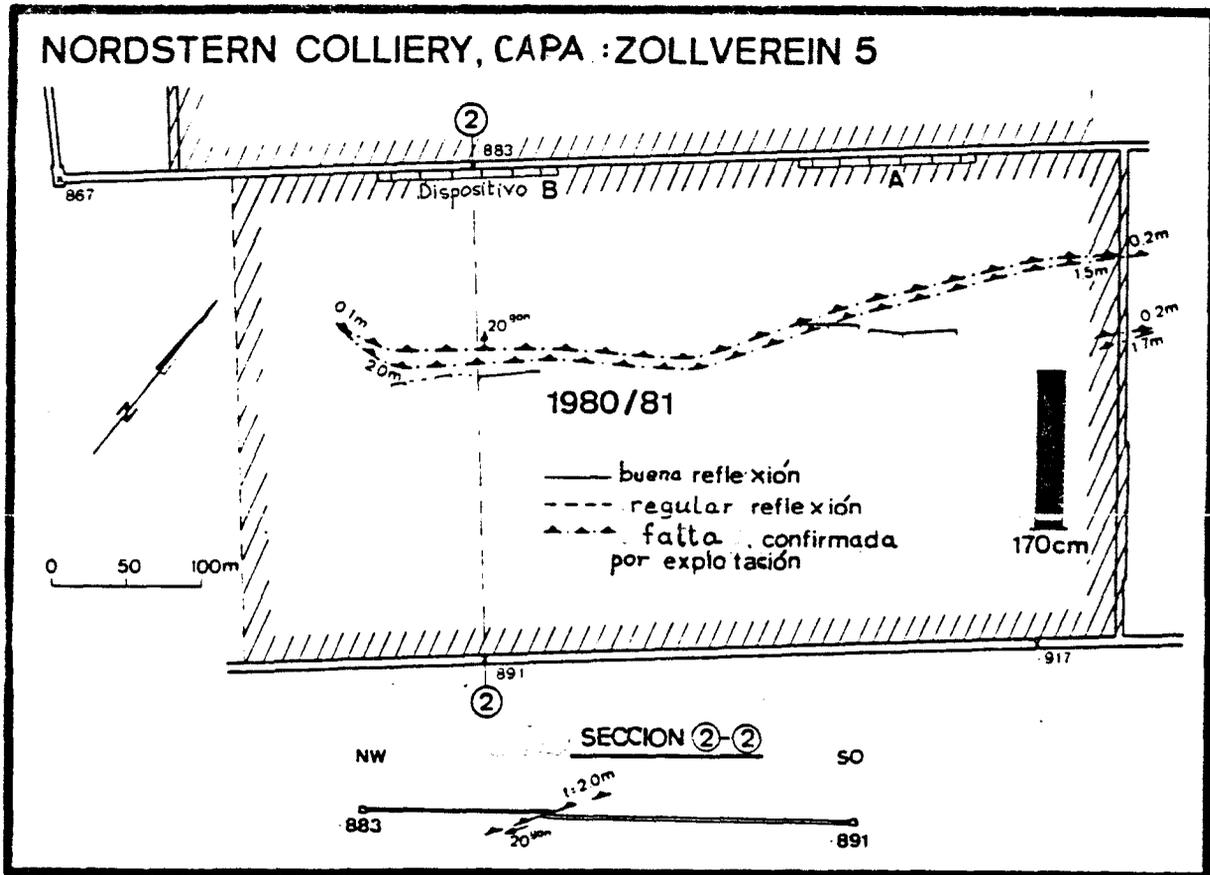


FIGURA 3.15

Ejemplo nº 8. Mina Haard, Alemania

Durante la preparación de un panel en la capa Karl I, el pozo plano nº 2 atravesó a 62 m de la galería de transporte, una falla de 5 m de salto (ver Figura 3.16).

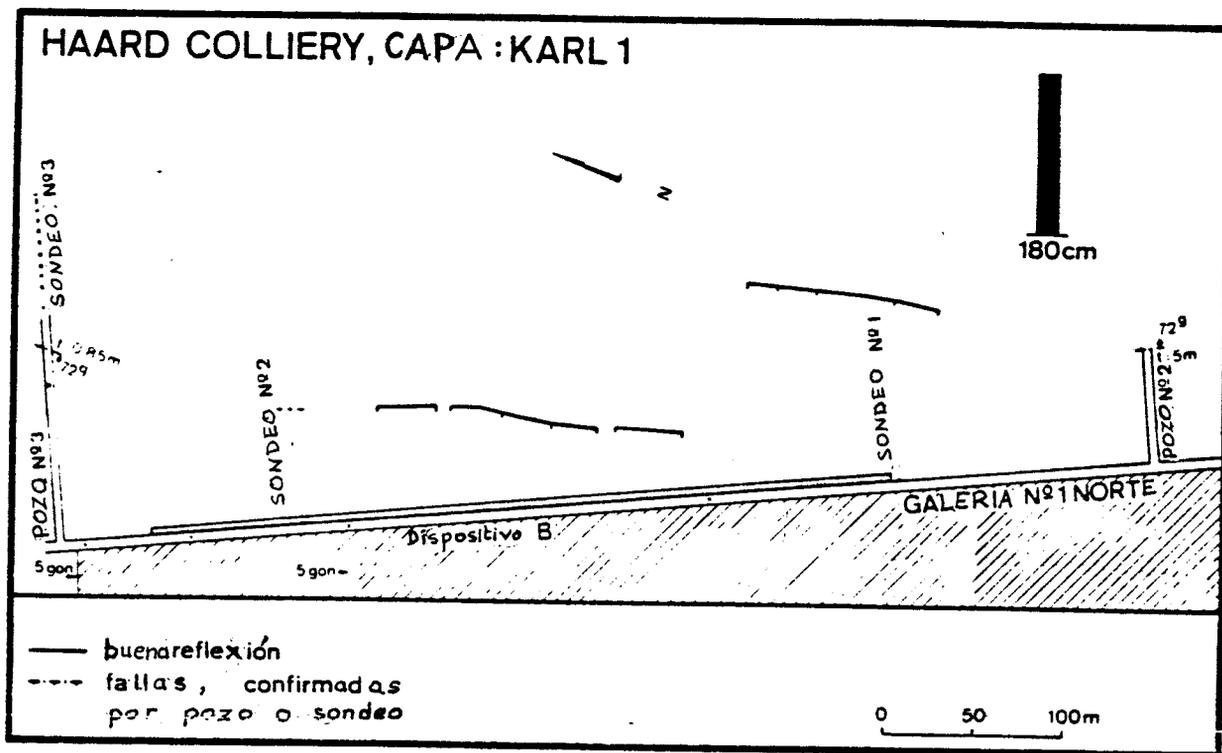


FIGURA 3.16

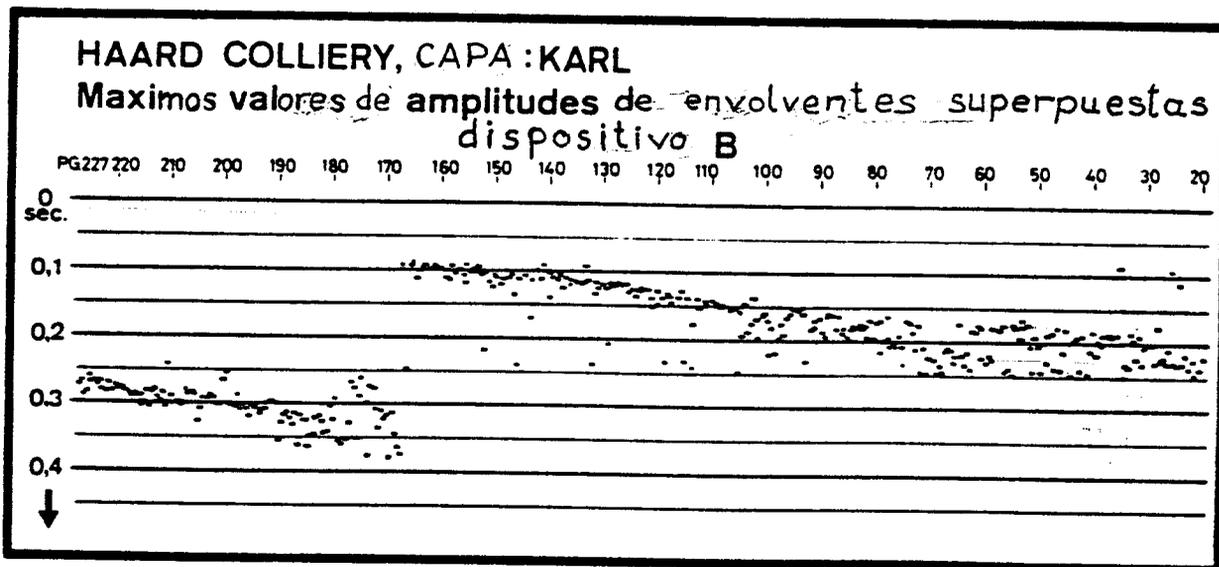


FIGURA 3.17

El curso de esta falla fue investigado por el método de reflexión. La Figura 3.17 muestra los sismogramas de amplitudes máximas de las envolventes superpuestas.

La discontinuidad que se observa en la Figura 3.17 se debe a la presencia de una nueva falla por delante de la falla conocida. Esta, en la sombra de la anterior, deja de ser detectable por sísmica en capa (ver Figura 3.16).

La nueva falla fue confirmada, con un salto de 0,85 m, por el sondeo nº 2 y el pozo plano nº 3. Dadas las condiciones del panel, los planes para su explotación fueron abandonados.

#### Ejemplo nº 9. Mina Askern, Reino Unido

En la Figura 3.18 se representa un área de la capa Warren House sobre la que se proyecta una zona de fracturación reconocida en otro lugar de la mina.

Esta banda de fracturación fue investigada mediante sísmica en capa. Se realizó un ensayo de transmisión disparando desde la gufa al NE del panel B47. El análisis de los datos de transmisión permitió discriminar, entre otros, un modo que exhibía una considerable dispersión, identificado como la onda canalizada.

El ensayo de reflexión se llevó a cabo desde la galería común a los paneles B45 y B47. Los datos fueron procesados mediante DTG en todo el espectro de frecuencias y para un amplio abanico de rumbos del objetivo geológico. La Figura 3.19 muestra una reflexión

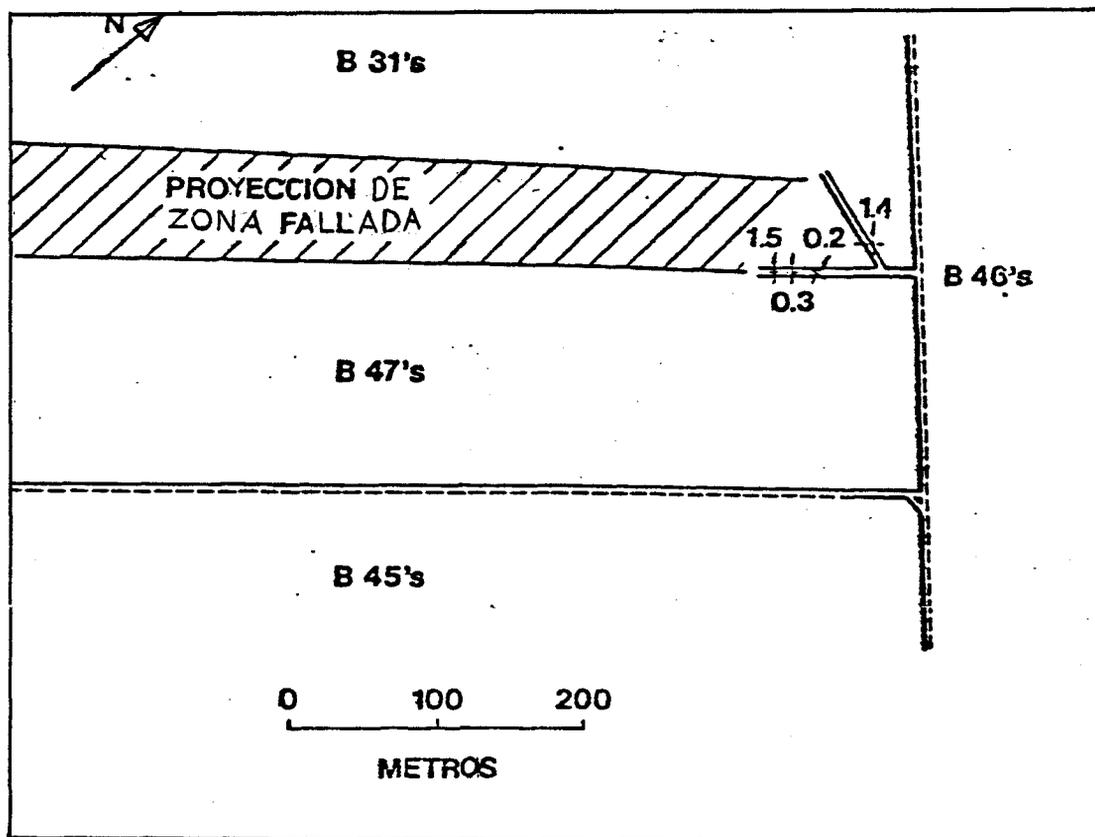


FIGURA 3.18

nftida obtenida a bajas frecuencias, procedentes de un objetivo dis--  
tante 200 m de la línea sísmica. Asimismo, se hallaron a frecuencias  
de 220 Hz y 340 Hz sendas reflexiones, más débiles que la anterior y  
por delante de ella (ver figuras 3.20 y 3.21).

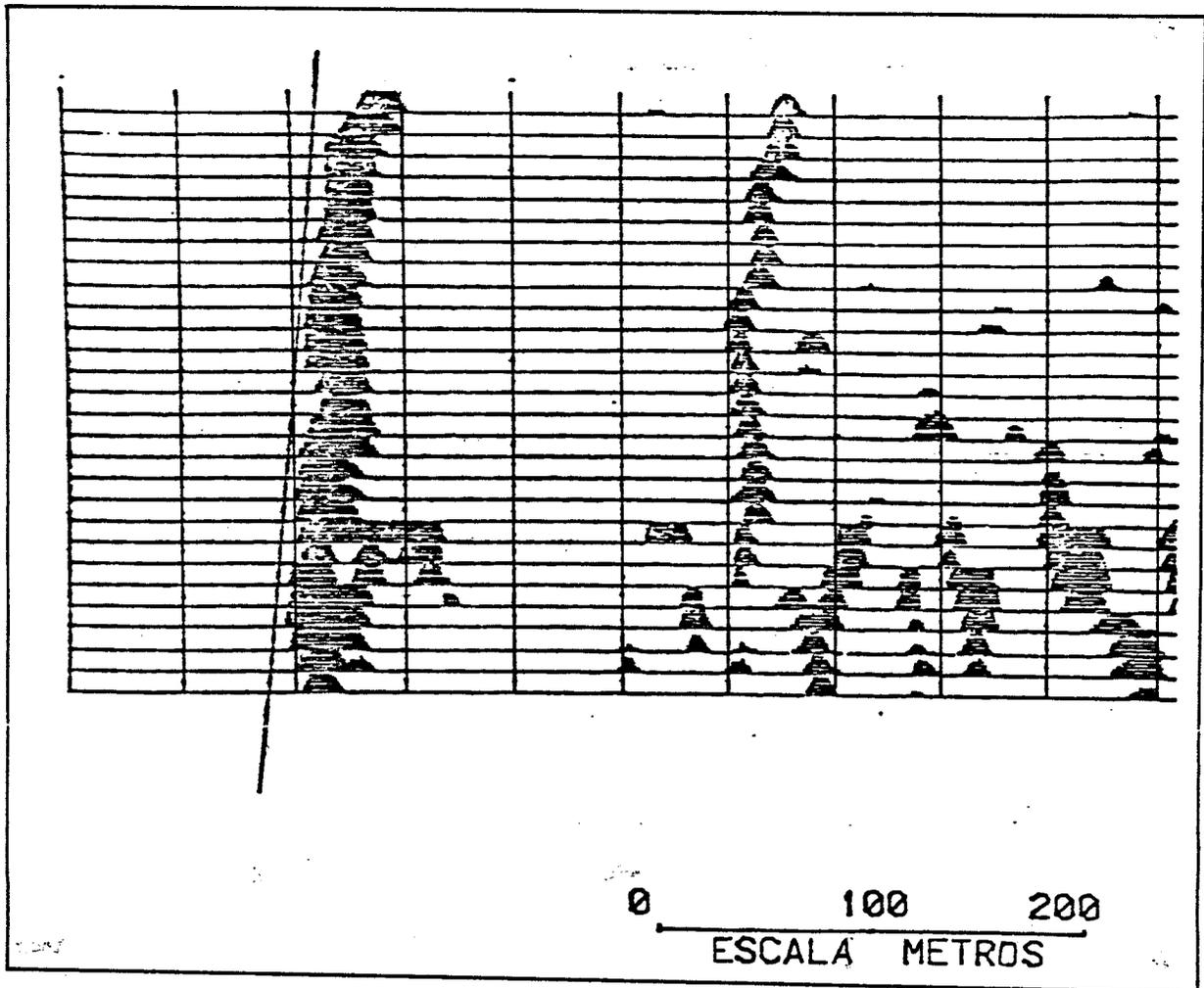


FIGURA 3.19

En la Figura 3.22 se representa la interpretación de los resultados. Las tres reflexiones, consideradas como fallas situadas una tras otra, se encuentran en la zona de fracturación prevista, y su prolongación concuerda de manera precisa con las fallas encontradas en las guías.

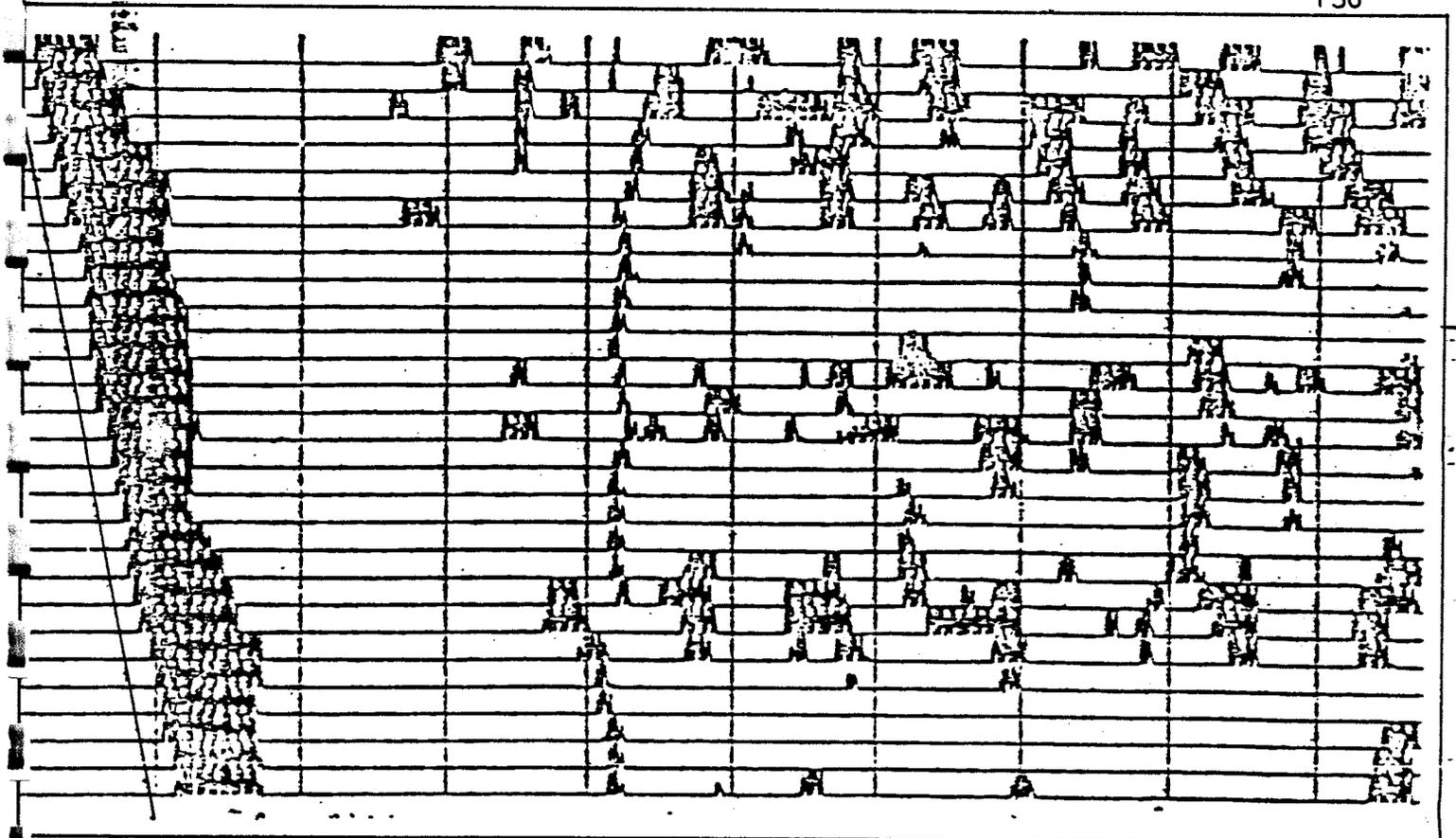


FIGURA 3. 20

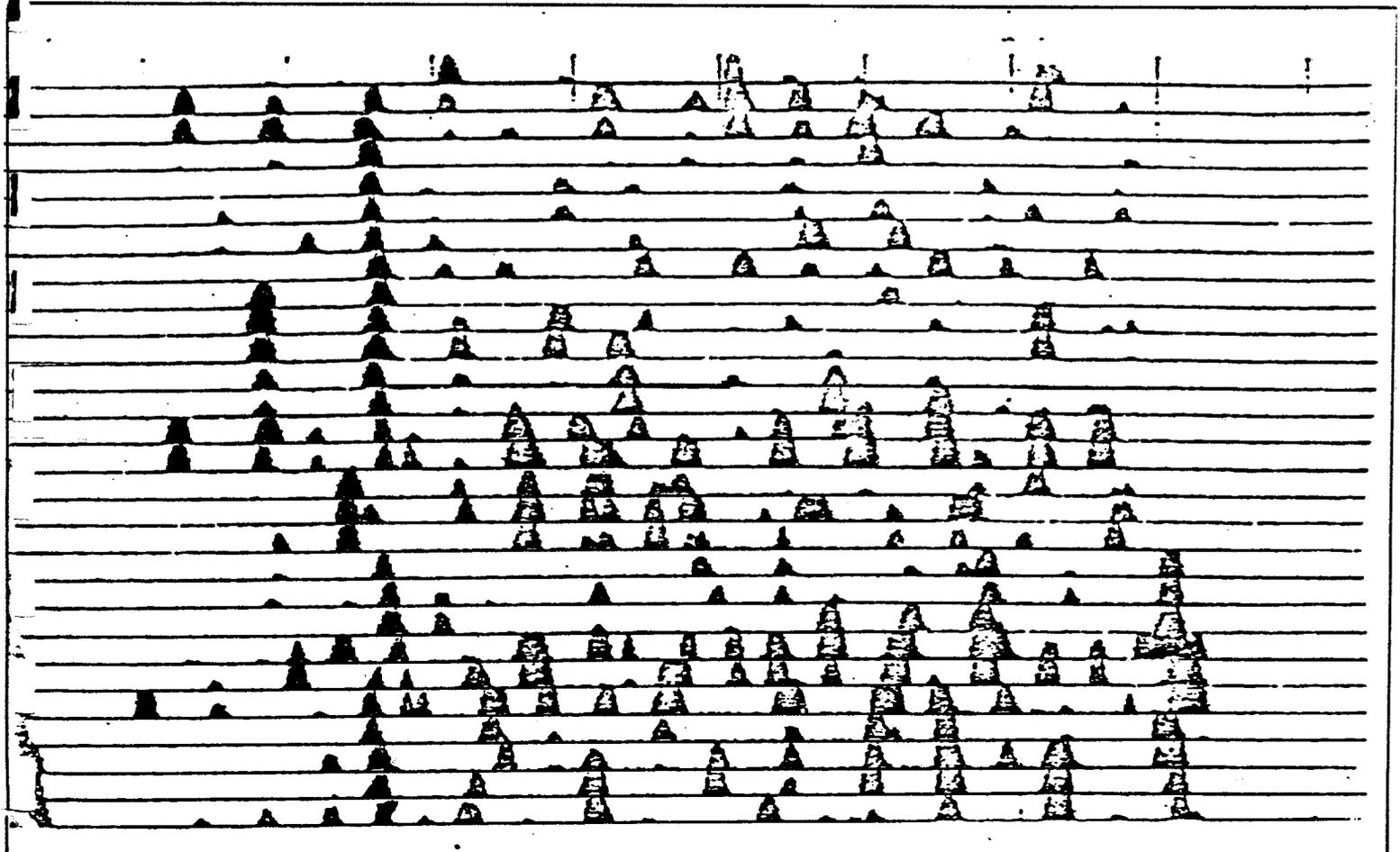


FIGURA 3. 21

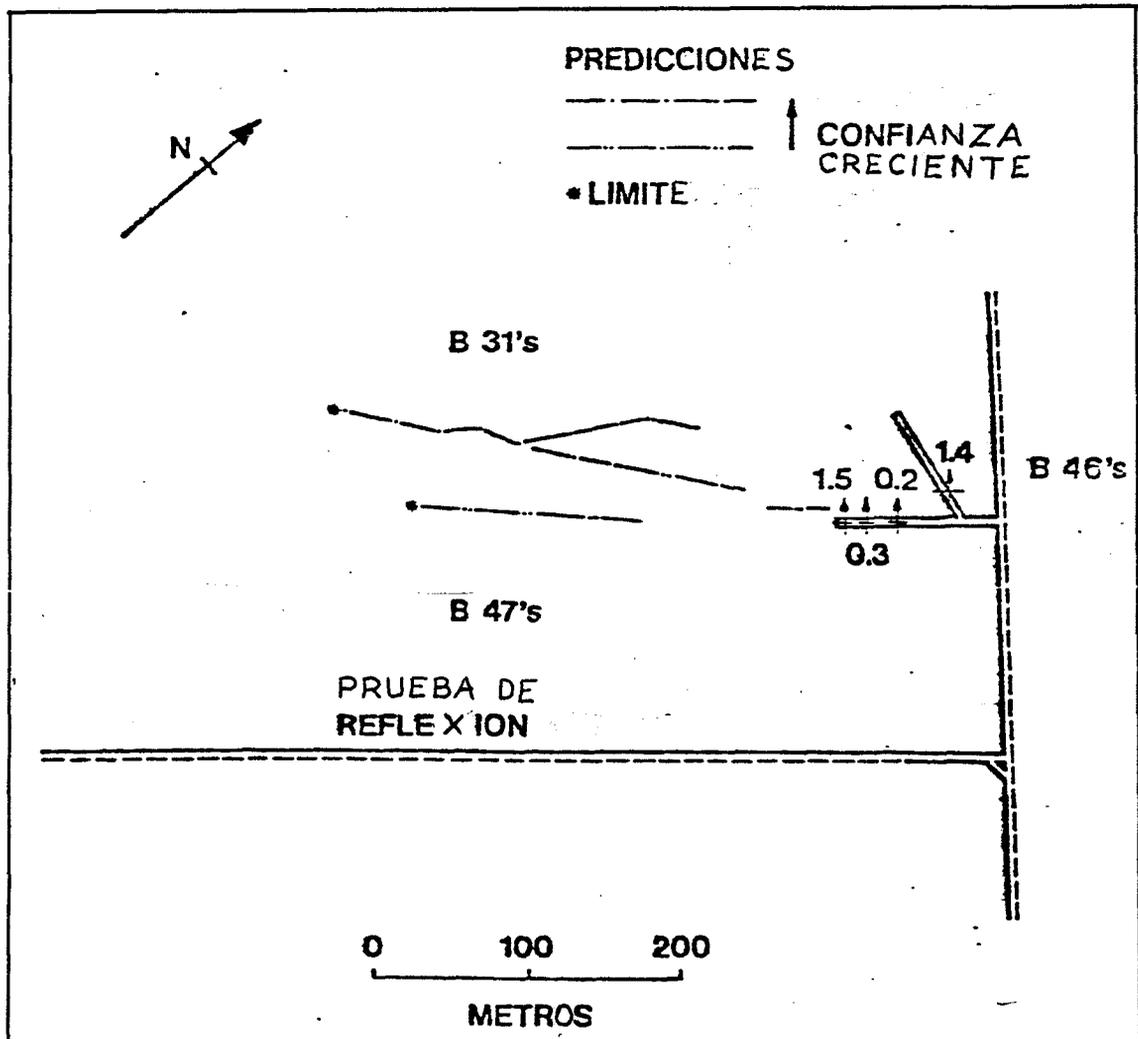


FIGURA 3.22

Ejemplo nº 10. Mina Lady Windsor, Reino Unido

En este caso, se trataba de investigar la zona situada por delante de un frente de arranque, con el fin de dictaminar la presencia de fallas.

El ensayo por el método de reflexión no registró reflexiones claras. Hasta una distancia de 150 m del frente no se apreció ninguna reflexión de ondas. A mayores distancias, el procesado de datos mediante DTG señaló reflexiones débiles a diversos ángulos, según se representa en la Figura 3.23.

No obstante, ninguna de las reflexiones fue interpretada como una falla, debido que sus amplitudes eran similares al nivel de ruido sísmico, y a que la estructura geológica resultante no podía ajustarse a la realidad. Por tanto, se interpretó que no existían fallas en 500 m por delante del frente.

Los ensayos en los que no se reciben llegadas sísmicas significativas presentan las mayores dificultades de tratamiento de datos. En efecto, una interpretación de ausencia de discontinuidades es comprometida, por lo que se tiende a prestar atención a datos irrelevantes, o a tratar de encontrar errores de procesado.

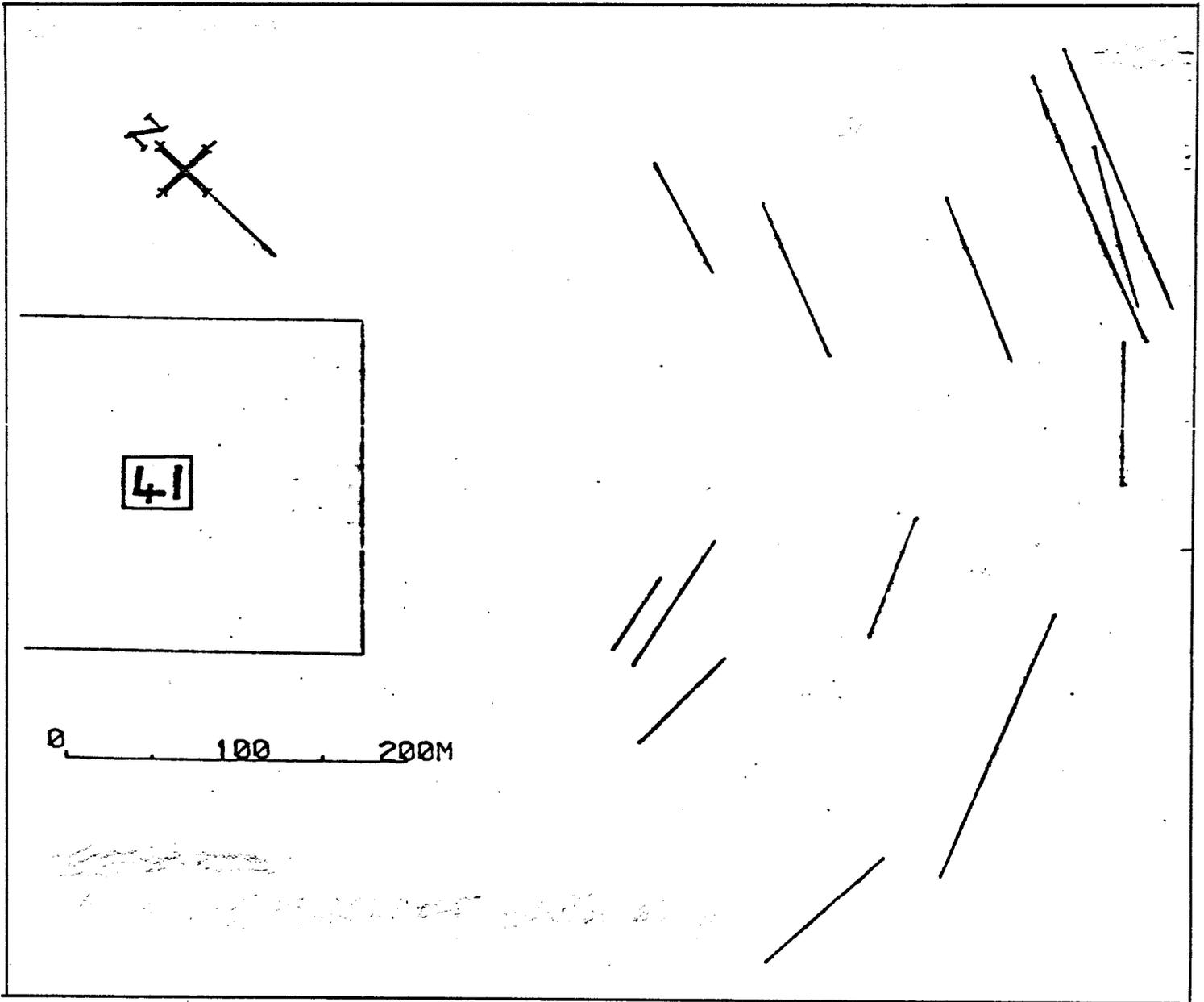


FIGURA 3.23

### 3.3.- CAPACIDAD DE DETECCION

Para la planificación de una explotación minera, no sólo es importante conocer los resultados de las pruebas de sísmica en capa, sino también tener una idea clara de la capacidad de detección de esta técnica geofísica, esto es, de su alcance, poder de resolución, y fiabilidad.

#### Alcance

El conocimiento del alcance del método de reflexión es particularmente importante cuando de su aplicación se infiere la inexistencia de fallas en un panel. En tal caso, se hace preciso saber a qué distancia se habría detectado una falla en caso de estar presente.

Los alcances máximos de los métodos de transmisión y reflexión, expresados como múltiplos de la potencia de la capa, son 1000 y 200 veces, respectivamente. Las distancias más cortas a las que se han registrado reflexiones claras están comprendidas entre 20 y 60 m.

El alcance en un caso práctico cualquiera depende de factores físicos tales como el amortiguamiento de las ondas en capa, el nivel de ruido sísmico, y la intensidad de la energía sísmica inyectada en la capa.

#### Poder de resolución

Cuando la sísmica en capa se emplea para detectar y localizar una falla, su poder de resolución depende de los siguientes factores geométricos :

- Salto : debe ser superior a  $1/3$  ó  $1/2$  de la potencia de la capa.
- Buzamiento respecto a la capa : como regla general, sólo por encima de  $30^\circ$  se obtienen reflexiones claras y coherentes, y no existe ambigüedad en la posición de la falla.
- Dirección o rumbo : el ángulo entre la dirección de la falla y la línea sísmica no debe aproximarse a  $90^\circ$ .
- Rugosidad de la superficie de deslizamiento : es conveniente que el espejo de falla sea lo más liso posible. Si presenta rugosidad, la superficie es selectora de frecuencias. En este caso, la frecuencia de reflexión óptima podría tener un valor difícil de medir, por ejemplo, 50 Hz, que resulta interferida por la red eléctrica de la mina.

### Fiabilidad

Es importante conocer una estimación del grado de confianza que merecen los resultados de un ensayo de sísmica en capa, a efectos de su uso en la planificación minera.

En el Reino Unido, a los resultados se les asigna un valor de la siguiente escala de grados de confianza :

1. Muy fiable
2. Fiable
3. Dudoso
4. Muy dudoso

Por lo general, sólo los dos primeros niveles deben llevar a una eventual reconsideración de los planes de explotación. Debe señalarse que el nivel de confianza en la predicción de una falla puede variar a lo largo de su curso.

En contraste con la sísmica petrolera, la sísmica en capa presenta la ventaja de que, en un importante número de casos, puede verificarse directamente mediante labores mineras si las predicciones eran o no correctas.

De esta manera, es posible llevar a cabo razonablemente una estadística del porcentaje de éxito de la sísmica en capa. El estudio estadístico de los ensayos verificados por medios independientes en el Reino Unido tomó en consideración el grado de confianza de las predicciones, asignando al nivel 1 cuatro puntos (en la columna de éxitos o en la de fracasos), al nivel 2 tres puntos, y así sucesivamente.

Esta estimación cifró el porcentaje de éxito de la sísmica en capa en casi el 80 %.

### 3.4. - CONCLUSIONES

La principal conclusión es que la sísmica en capa es un método práctico y muy eficaz para la detección de fallas por delante del frente de arranque de un panel de carbón.

Como tal, puede usarse regularmente como una herramienta más de ayuda a la planificación minera. La técnica ha sido probada con éxito en varios países.

Asimismo, la sísmica en capa está llamada a representar una ayuda importante a las campañas de exploración de cuencas carboníferas.

4.- ESTADO ACTUAL Y TENDENCIAS

#### 4.- ESTADO ACTUAL Y TENDENCIAS

En el momento presente, la técnica geofísica de sísmica en capa ha resuelto satisfactoriamente los problemas iniciales que motivaron su desarrollo e implantación. En efecto, hoy día el método de transmisión permite dictaminar la existencia o no de discontinuidades entre puntos de una capa de carbón distantes entre sí hasta 1000 veces la potencia de la capa. Asimismo, mediante el método de reflexión, es posible detectar con un elevado porcentaje de éxito la posición de pequeñas fallas u otras discontinuidades en una capa de carbón, con alcances de hasta 200 veces la potencia de la capa. Incluso en ocasiones se ha podido predecir la existencia de más de una falla.

Pese a ello, la sísmica en capa, como cualquier técnica de exploración, ofrece un amplísimo campo para futuros desarrollos. Nuevos problemas están siendo estudiados con objeto de perfeccionar esta técnica.

Seguidamente, exponemos las tendencias en los diversos campos de investigación relacionados con la sísmica en capa.

##### Estudios teóricos

La física de las ondas canalizadas, fundamento teórico de la sísmica en capa, se encuentra en constante progreso. De hecho, sólo un conocimiento profundo de la propagación y propiedades de las ondas canalizadas hace posibles los avances en la técnica de sísmica en capa.

Entre las más recientes líneas de investigación en este campo, cabe mencionar las siguientes :

- Análisis generalizado de rayos sísmicos (Lee et al, 1.982). Se han calculado mediante ordenador sismogramas teóricos correspondientes a dos situaciones prácticas : un ensayo frente-frente, y uno=sondeo-sondeo. Simulando una fuente puntual que emite ondas P y SH, se han determinado las amplitudes y los tiempos de llegada de las ondas por los métodos del rayo sísmico asintótico y de la discontinuidad cinemática.

El análisis de los sismogramas teóricos ha confirmado, tanto para las ondas Love como para las ondas Rayleigh, la presencia de varias especies (modos), conforme a la clasificación generalizada de los rayos sísmicos.

Asimismo, los sismogramas teóricos coinciden apreciablemente con los obtenidos en la práctica.

- Determinación precisa de la dispersión (Knecht et al, 1.982). Los métodos desarrollados para un conocimiento detallado de la curva de dispersión suponen diversas mejoras en el tratamiento de los datos sísmicos.

En efecto, tales métodos permiten usar la totalidad de la curva de dispersión para interpretar los ensayos de transmisión, y no sólo la fase de Airy, como se ha venido haciendo hasta ahora.

En cuanto a los ensayos de reflexión, se facilita la recomposición de trenes de ondas dispersos, con lo que se obtiene una mayor resolución, y una relación señal/ruido superior.

- Transmisión de las ondas en capa entre dos sondeos (Mosher y Mason, 1.983).

### Instrumentación

El principal problema en este campo es la consecución de una fuente sísmica controlable. Hasta el momento se han utilizado habitualmente explosivos autorizados.

Las legislaciones mineras, generalmente, permiten disparar solamente una carga en cada barreno. Por tanto, el uso de explosivos no favorece la aplicación de las técnicas de superposición de trazas. Se ha pensado en la introducción de fuentes repetitivas para sísmica en capa, ésto es, tales que generen una señal cuya amplitud y frecuencia puedan reproducirse en disparos sucesivos.

El dispositivo mecánico para uso en sondeos descrito en el apartado 2.2.1 (ver Figura 2.37) es una fuente de este tipo. Su elevado peso y su diámetro dificultan en la práctica el empleo de esta herramienta.

En Australia, la BHP ha intentado adaptar un generador hidráulico de impulsos como fuente repetitiva a emplazar en sondeos.

Pese a que el sistema genera señales reproducibles, su mecanismo de cierre es incapaz de mantener la alta presión de los impulsos dentro del sondeo.

Las posibilidades de desarrollar fuentes repetitivas para sondeos, cuya señal posea una capacidad de penetración suficiente, se cifran en los fusiles neumáticos y las fuentes eléctricas.

En lo que se refiere a receptores sísmicos, uno de los más recientes desarrollos es el de detectores emplazables en sondeos, realizado por la BHP australiana.

Se han construido detectores tanto a base de acelerómetros, para fines de investigación, como a base de geófonos, para pruebas de rutina. Los detectores se colocan de forma permanente en sondeos de 75 mm de diámetro, y a profundidades de hasta 500 m. En estas condiciones, los geófonos pueden funcionar durante dos años y medio tras su colocación.

En algunas cuencas carboníferas australianas se emplaza un detector en cada sondeo de exploración. El diseño de los detectores impide que salten chispas en caso de ser alcanzados por la maquinaria minera en una eventual labor de explotación.

Finalmente, respecto al equipo de registro, parece imponerse la concepción modular, que presenta la ventaja de la seguridad intrínseca de los diversos elementos. El principal objetivo en el diseño de equipos es la reducción de su peso.

### Tratamiento e interpretación de datos

En lo que concierne a este importante aspecto de la sísmica en capa, el principal problema que futuros estudios deben resolver es el denominado "reconocimiento del objetivo geológico".

En efecto, el método de reflexión permite determinar la posición de discontinuidades en una capa de carbón. Asimismo, puede estimarse el tamaño de la discontinuidad (salto en caso de falla), y dictaminar por tanto si obligará al abandono del frente de arranque, basándose en ensayos de transmisión y en la experiencia. No obstante, a efectos de planificación minera, sería deseable disponer de información relativa a la naturaleza de la discontinuidad (falla, esterilidad, dique intrusivo, etc), y a su geometría (buzamiento, salto, etc).

La sísmica en capa no es capaz, en la actualidad, de distinguir entre fallas, esterilidades o diques. Sólo un buen conocimiento geológico de la zona estudiada puede contribuir a identificar el tipo de discontinuidad. Sin embargo, la información que haga posible tal diferenciación debe estar codificada, al menos parcialmente, en las señales reflejadas. Cabe pensar que un tratamiento de datos más refinado permita su interpretación.

Esto último parece posible en el caso de esterilidades causadas por canales rellenos de arena que erosionan la parte superior de una capa de carbón (Bahavar y Major, 1.983). Se han calculado mediante ordenador sismogramas teóricos correspondientes a diversos modelos bidimensionales de capas de carbón profundas, en los que la roca encajante posee velocidades sísmicas diferentes al muro y al techo.

Tales sismogramas evidencian que las ondas canalizadas = son reflejadas por una disminución brusca de la potencia de la capa de tan solo el 25 %, en particular por un canal relleno de arena. = El análisis de las ondas reflejadas muestra que el modo dominante = es uno de los modos superiores de las ondas de tipo Rayleigh.

Los cálculos realizados ajustando los parámetros del modelo a una capa de 2,7 m de potencia indicaron que un canal arenoso = de 12 m de anchura y 60 cm de espesor reflejarfa nítidamente el modo superior de las ondas Rayleigh canalizadas, caracterizado por = frecuencias próximas a 600 Hz. En los ensayos prácticos llevados a cabo en dicha capa se han detectado frecuencias de hasta 450 Hz en = ondas de alcances superiores a 135 m. Cabe esperar que pequeñas mejoras en la instrumentación permitan detectar frecuencias de 600 Hz con alcances similares. Con ello, sería posible detectar la presencia de canales arenosos en un panel de carbón explotable por frente largo.

En la interpretación de los datos de sísmica en capa adqueren creciente importancia las técnicas de inversión (Krey, 1.983). = Estas técnicas han sido aplicadas con éxito a la detección de fallas en una capa de carbón en los Estados Unidos (Mosher, 1.982).

En dicha capa se conocía la existencia de una falla de = salto superior a la potencia de la capa (3 m). Se llevaron a cabo = ensayos de reflexión y transmisión. Sin embargo, no fue posible captografiar la falla usando las técnicas aplicadas en el Reino Unido = a capas más delgadas (ALS, DTG), debido al ruido sísmico propio de la propagación según múltiples modos.

La posición de la falla fue localizada con bastante precisión haciendo uso de una técnica de inversión denominada representación del reflector virtual, o VRI (virtual reflector imaging).

Otros problemas de interpretación, que un tratamiento de datos más refinado puede contribuir a resolver, son los planteados en los siguientes casos :

- fallas de bajo ángulo de inclinación (inferior a 30°)
- haces de fallas sucesivas
- desaparición de una capa de carbón por acuífugamiento.

Finalmente, cuando se adquiriera suficiente experiencia, y exista una buena base de datos sobre predicciones de sísmica en capa verificadas mediante labores, esta información será utilizada para realizar nuevas predicciones. Cabe pensar, por ejemplo, en el desarrollo de técnicas de reconocimiento del modelo de fracturación.

5.- POSIBILIDADES EN ESPAÑA

## 5.- POSIBILIDADES EN ESPAÑA

Los buenos resultados que ha acreditado la técnica geofísica de sísmica en capa en varios países hacen aconsejable su incorporación a la minería del carbón española.

A fin de conseguir la mayor eficacia posible en la aplicación del método, creemos conveniente definir con precisión la problemática española en relación con la sísmica en capa.

Un primer campo es la exploración de cuencas carboníferas, particularmente la valoración de reservas. En la medida de lo posible, debería contarse con datos estadísticos sobre el número de sondeos realizados cada año y la abertura de malla utilizada. Asimismo, ha de requerirse la opinión de profesionales cualificados sobre la economía que supondría el contar con un método para dictaminar la continuidad de una capa de carbón entre sondeos distantes varios cientos de metros.

En cuanto a la explotación minera, la sísmica en capa es aplicable a la planificación de las labores mecanizadas. A este respecto, sería preciso contar con la apreciación de los profesionales de la minería sobre la utilidad del método como herramienta para seleccionar las mejores zonas explotables. Asimismo, parece conveniente realizar un estudio de la repercusión económica de la implantación del método, para lo cual debe disponerse de estadísticas sobre el grado de mecanización de la minería española del carbón (número de frentes y producción), el porcentaje de frentes que encuentran perturbaciones geológicas, y las pérdidas de producción debidas a esta causa.

Si, una vez definida la problemática y realizados ensayos en nuestros yacimientos, se comprueba la utilidad de la implantación en España de la sísmica en capa y se decide desarrollar una tecnología propia, debe prestarse atención a los siguientes aspectos :

- Fabricación de equipos, de acuerdo con las más recientes tendencias de diseño.
- Estudios en instituciones universitarias sobre modelos = numéricos de la propagación de ondas en capa.
- Desarrollo de técnicas de tratamiento e interpretación de datos.
- Colaboración estrecha entre los profesionales de la exploración geofísica, planificación minera, geología, e investigación teórica.

6. - BIBLIOGRAFIA

6.- BIBLIOGRAFIA

- AHMED, M. , GREZL, K.J. y LEUNG, L. (1.981). - Seismo acoustic instrumentation for microseismic and in-seam seismic studies in coal mines. Informe de los Laboratorios Centrales de Investigación de BHP, CRL/TC/11/81, 48 p.
  
- AHMED, M. , KILGALLON, A. y HOPKINS, M. (1.983). - A micro processor - based multichannel data acquisition system for in-seam seismic coal exploration. Enviado para su publicación en Comunicaciones sobre Geociencia y Teledetección, IEEE. (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos).
  
- ARNETZL, H. H. (1.971).- Seismische Messungen unter Tage. Informe de la reunión " El hombre y la máquina en la minería ", de la Sociedad Alemana de Metalurgia y Minería, p. 133-141.
  
- ARNETZL, H. H. (1.978).- Grundsätzliches über seismische Untertagemessungen in Steinkohlenbergbau. Publicación de Prakla-Seismos.
  
- ARNETZL, H. H. y KREY, Th. (1. 971).- Progress and problems in using channel waves for coal mining prospecting. Artículo presentado a la reunión nº 33 de EAEG (Asociación Europea de Geofísicos de Exploración), Hannover.

- ★ - ARNETZL, H. H. y KLINGE, U. (1.982). - Erfahrungen mit der Flöz wellenseismik bei der Vorfelderkundung. Glückauf 118, p. 658-664.
  
- ☆ - BAHAVAR, M. y MAJOR, M. W. (1.983). - Reflection of seam waves from shallow sand channels in coal. Artículo presentado a la reunión del Oeste nº 36 de SEG (Sociedad de Geofísicos de Exploración), Denver.
  
- ★ - BARTH, G. (1.979). - Beispiel einer Flöz durchschallung über große Entfernungen. Glückauf 115, p. 824 - 828.
  
- BAULE, H. (1.967). - Vorfelderkundung mit geophysikalischen Mitteln. Mitteilungen aus dem Markscheidewesen 74, p. 205 - 228.
  
- BOOER, A. K., CHAMBERS, J. y MASON, I. M. (1.977 a). - A fast numerical algorithm for the recompression of dispersed time signals. Electr. Lett. 13, p. 453 - 455.
  
- BOOER, A. K., CHAMBERS, J. y MASON, I. M. (1.977 b). - Numerical holographic reconstruction by a projective transform. Electr. Lett. 13, p. 569 - 570.

- ★ - BRENTRUP, F.-K. (1.970).- Die Reflexionsseismik als Hilfsmittel zur Ortung tektonischer Störungen in Steinkohlenflözen.  
Glückauf 106, p. 933 - 938.
  
- ★ - BRENTRUP, F.-K. (1.971).- Flözdurchschallung aus Tiefbohrlöchern.  
Glückauf 107, p. 820 - 823.
  
- ★ - BRENTRUP, F.-K. (1.979 a).- Die Entwicklung einer schlagwettergeschützten Digitalapparatur für die Flözwellenseismik. Glückauf -  
Forschungshefte 40, p. 11-15.
  
- ★ - BRENTRUP, F.-K. (1.979 b).- Flözwellenseismische Vorfelderkundung. Glückauf 115, p. 820 - 823.
  
- BUCHANAN, D. J. (1.976).- Fault location using seismic technique.  
Informe ECSC.
  
- ★ - BUCHANAN, D. J. (1.978).- The propagation of attenuated SH channel waves. Geophysical Prospecting 26, p. 16 - 28.
  
- BUCHANAN, D. J. (1.979 a).- The location of faults by underground seismology. Colliery Guardian 227, p. 419 - 428.

- BUCHANAN, D. J. (1.979 b).- United Kingdom work in channel wave seismology. Informe del Departamento de Investigación y Desarrollo Minero de la NCB. 20 p.
  
- BUCHANAN, D. J. (1.981).- Report on some in-seam seismic surveys carried out for BHP/AIS at their Corrimal, Tower and Wongawilli mines. Informe de NCB, Reino Unido.
  
- BUCHANAN, D. J. (1.983).- In seam seismology : A method for detecting faults in coal seams. Developments in Geophysical Exploration Methods 5.
  
- ★ - BUCHANAN, D. J., DAVIS, R., JACKSON, P. J. y TAYLOR, P. M. (1.980). - The use of channel wave seismology to find faults in coal seams. Artículo presentado a la reunión anual nº 50 de SEG, Houston.
  
- BUCHANAN, D. J., DAVIS, R., JACKSON, P. J. y TAYLOR, P. M. (1.981 a). Fault detection in coal by channel wave seismology. Some case histories. Bulletin Australian SEG 12, p. 13 - 19.
  
- ★ - BUCHANAN, D. J., DAVIS, R., JACKSON, P. J. y TAYLOR, P. M. (1.981 b). Fault location by channel wave seismology in United Kingdom coal seams. Geophysics 46, p. 994 - 1002.

- ★ - BUCHANAN, D. J. y JACKSON, P. J. (1.982 a). - In-seam seismics for fault detection. Glückauf Forschungs hefte 43, p. 90 - 93.
  
- BUCHANAN, D. J. y JACKSON, P. J. (1.982 b). - Dispersion relation extraction by multitrace analysis. Enviado para su publicación en Bulletin SSA (Sociedad Sismológica de América).
  
- ★ - BUCHANAN, D. J., JACKSON, P. J. y DAVIS, R. (1.983). - Attenuation and anisotropy of channel waves in coal seams. Geophysics 48, p. 133 - 147.
  
- CHILCOAT, S. (1.978). - Applications of the computer analysis of dispersed waves. Tesis de M. Sc., Escuela de Minas de Colorado, T - 1.984, 137 p.
  
- DARKEN, W. H. (1.975). - A finite difference model of channel waves in coal seams. Tesis de M. Sc., Escuela de Minas de Colorado, T - 1729.
  
- ★ - DECHERF, J. (1.972). - Evolution des moyens de recherche pour la reconnaissance du gisement houillier. Revue de l'Industrie Minière.

- DOYLE, J.F. (1.982).- AIS Appin D.D. H. 11 face to borehole in-seam seismic survey. Field procedures and geology. Informe del Departamento de Geología de las minas de la División del Acero de BHP, SC82/02.
  
- ★ - DOYLE, J.F. y LEUNG, L. (1.983).- Australian experience with in-seam seismics. Artículo presentado al 4º Simposium Internacional de Exploración del Carbón, Sydney.
  
- DRESEN, L. y FREYSTATTER, S. (1.976). - Rayleigh channel waves for the in-seam seismic detection of discontinuities. Journal of Geophysics / Zeitschrift für Geophysik 42, p. 111 - 129.
  
- ★ - DRESEN, L. y FREYSTATTER, S. (1.978). - The influence of obliquely dipping discontinuities on the use of Rayleigh channel waves for the in-seam seismic reflection method. Geophysical Prospecting 26, p. 1 - 15.
  
- ★ - DRESEN, L., FREYSTATTER, S. y SOMMER, H. (1.977). - Modellseismische Untersuchungen zur Vorfelderkundung mit Flözwellen. Glückauf - Forschungshefte 38, p. 177 - 182.

- DRESEN, L., KERNER, C. y KÜHBACH, B. (1.981). - The influence of an asymmetrical sequence " rock - coal - rock " on the propagation of Rayleigh seam waves. Artículo presentado a la reunión nº 43 de EAEG, Venecia.
  
- DZIEWONSKI, A.M., BLOCH, S. y LANDISMAN, M.A. (1.969). - A technique for the analysis of transient seismic signals. Bulletin SSA 59, p. 427 - 444.
  
- EVISON, F.F. (1.955).- A coal seam as a guide for seismic energy. Nature 176, p. 1224 - 1225.
  
- ★ - FRANSSENS, G., LAGASSE, P.E. y MASON, I.M. (1.980). - The leaking shear horizontal modes of in-seam exploration seismology. Artículo presentado a la reunión anual nº 50 de SEG, Houston.
  
- FREYSTÄTTER, S. (1.974).- Modells eismische Untersuchungen zur Anwendung von Flözwellen für die untertägige Vorfelderkundung im Steinkohlenbergbau. Informe nº 3 del Instituto de Geofísica de la Universidad del Ruhr, Bochum.
  
- FREYSTÄTTER, S. y DRESEN, L. (1.977). - Ausbreitung von Rayleigh - Kanalwellen in Steinkohlenflözen. Modells eismische Untersuchungen. Journal of Geophysics/Zeitschrift für Geophysik 43, p. 807 - 828.

- ★ - GOOSSENS, R.F. y BUCHANAN, D.J. (1.983). - The role of seismic surveying in coal mining exploration. Artículo presentado al XII Congreso de la Conferencia Mundial de la Energía, Nueva Delhi.
  
- GREZL, K., LEUNG, L. y AHMED, M. (1.981). - Transmission and attenuation measurements of channel waves in an australian coal mine. Artículo presentado a la reunión anual nº 51 de SEG, Los Angeles.
  
- GUU, J.Y. (1.975). - Studies of seismic guided waves : the continuity of coal seams. Tesis doctoral, Escuela de Minas de Colorado, T-1770, 85 p.
  
- HASBROUCK, W.P. y GUU, J.Y. (1.975). - Certification of coal bed continuity using hole-to-hole seismic seam waves. Artículo presentado a la reunión anual nº 45 de SEG, Denver.
  
- ★ - HASBROUCK, W.P. y HADSELL, F. A. (1.976). - Geophysical exploration techniques applied to Western United States coal deposits. Artículo presentado al 1<sup>er</sup> Simposium Internacional de Exploración del Carbón, Londres.
  
- HASBROUCK, W.P., HADSELL, F. A. y MAJOR, M. W. (1.978). - Instrumentation for a coal seismic system. Artículo presentado a la reunión anual nº 48 de SEG, San Francisco.

- HEYWOOD, P. (1.982). - British try new way to find faults. Coal Age 87, p. 114 - 118.
- ★ - KLAR, J.W. P. y ARNETZL, H.H. (1.978). - A new firedamp proof instrument for in seam seismics in coal mining. Artículo presentado a la reunión nº 40 de EAEG, Dublín.
- KLINGE, U., KREY, Th., ORDOWSKY, N. y REIMERS, L. (1.979). - Digital in-seam reflection surveys and their interpretation by classical data processes only. Artículo presentado a la reunión nº 41 de EAEG, Hamburgo.
- ★ - KLINGE, U., ARNETZL, H.H., KREY, Th. y RÜTER, H. (1.981). Trends in the detection of coal seam discontinuities by in-seam seismic techniques. Artículo presentado al 3<sup>er</sup> Simposium Internacional de Exploración del Carbón, Calgary.
- KLUSMANN, J. (1.964). - Untersuchung über die Ausbreitung elastischer Wellen im flözartigen Schichtverband. Disertación en Clausthal.
- ★ - KNECHT, M., KREY, Th. y MARSCHALL, R. (1.982). - Some new aspects of in-seam seismics especially by improved determination of dispersion. Artículo presentado a la reunión anual nº 52 de SEG, Dallas.

- KNEUPER, G. y KREY, Th. (1.967).- Neue Untersuchungen zur reflexionsseismischen Ortung von tektonischen Störungen in Steinkohlenbergwerken. Bergbau - Wiss. 14, p. 428 - 430.
  
- KORN, M. (1.980).- Die Ausbreitung elastischer Wellen an Flözdiskontinuitäten, berechnet mit einem Differenzenverfahren. Trabajo fin de carrera, Instituto Geofísico de la Universidad de Karlsruhe.
  
- KREY, Th. (1.962).- Reflexionsseismische Verfahren zur Ermittlung von Verwerfungen und Störungen in Lagerstätten und Schichten unter Tage. Registro alemán de patentes, nº 1174519.
  
- ★ - KREY, Th. (1.963).- Channel waves as a tool of Applied Geophysics in coal mining. Geophysics 28, p. 701 - 714.
  
- ★ - KREY, Th. (1.976 a).- In-seam seismic exploration techniques. Artículo presentado al 1<sup>er</sup> Simposium Internacional de Exploración del Carbón, Londres.
  
- KREY, Th. (1.976 b).- Possibilities and limitations of in-seam seismic exploration. Artículo presentado al Simposium de Discontinuidades en Capas de Carbón, Pittsburgh.

- KREY, Th. (1.983).- Some problems concerning the inversion of observed in-seam seismic dispersive data. Artículo presentado a la reunión anual nº 53 de SEG, Las Vegas.
  
- ★ - KREY, Th., ARNETZL, H.H. y KNETCH, M. (1.982). - Theoretical and practical aspects of absorption in the application of in - seam seismic coal exploration. Geophysics 47, p. 1645 - 1656.
  
- LAGASSE, P. E. y MASON, I.M. (1.975). - Guided modes in coal seams and their application to underground seismic surveying. Artículo presentado al Symposium de Ultrasonidos de IEEE.
  
- ★ - LEE, S. S., REGUEIRO, J. y REEVES, J. (1.982). - Generalized ray analysis : A tool in coal seismology. Artículo presentado a la reunión anual nº 52 de SEG, Dallas.
  
- LEUNG, L. (1.981).- Software development for in-seam seismic data processing signal conditioning. Informe de los Laboratorios Centrales de Investigación de BHP, CRL/TC/24/81, 78 p.
  
- LEUNG, L. y DOYLE, J.F. (1.983).- Borehole to face in-seam seismic survey at Clarence colliery. Informe de los Laboratorios Centrales de Investigación de BHP, CRL/C/1/83.

- MARSCHALL, R. (1. 979). - Dekonvolution dispersiver Wellenzüge. Informe trimestral del proyecto de investigación Nuevos Desarrollos en Métodos Sísmicos.
  
- MARSCHALL, R. y SCHOTT, W. (1. 981). - Treatment of dispersive wavetrains. Artículo presentado a la reunión nº 43 de EAEG, Venecia.
  
- MASON, I. M. (1. 981). - Algebraic reconstruction of a two dimensional velocity inhomogeneity in the High Hazles seam of Thoresby Colliery. Geophysics 46, p. 298 - 308.
  
- ★ - MASON, I. M., BUCHANAN, D. J. y BOOER, A. K. (1. 980 a). - Channel wave mapping of coal seams in the United Kingdom. Geophysics 45, p. 1131 - 1143.
  
- MASON, I. M., BUCHANAN, D. J. y BOOER, A. K. (1. 980 b). - Fault location by underground seismic survey. Comunicaciones IEEE 127, p. 322 - 336.
  
- MASSON, J. L. (1. 972). - Les ondes de couche. Théorie et applications. Publicación Cerchar nº 2207.

- MILLAHN, K. O. (1.980).- In - seam seismic position and development. Informe de Prakla - Seismos.
  
- MILLAHN, K. O. y ARNETZL, H.H. (1.979). - Analysis of digital in-seam reflection and transmission surveys using two components. Artículo presentado a la reunión nº 41 de EAEG, Hamburgo.
  
- ★ - MILLAHN, K. O. y ARNETZL, H.H. (1.980). - Some aspects of two-component in-seam seismology. Festschrift Th. Krey, p. 123-132.
  
- ★ - MILLAHN, K. O. y MARSCHALL, R. (1.980). - Two-component in-seam seismics. Artículo presentado a la reunión anual nº 50 de SEG, Houston.
  
- MILLAHN, K. O. y REIMERS, L. (1.979).- Analysis and interpretation of digital in-seam seismic reflection and transmission surveys. Artículo presentado a la reunión anual nº 49 de SEG, Nueva Orleans.
  
- ★ - MOSHER, C.C. (1.982).- An inverse approach to in-seam fault detection using channel waves. Artículo presentado a la reunión anual nº 52 de SEG, Dallas.

- MOSHER, C. C. y MASON, I. M. (1.983). - Borehole-to-borehole seam - wave transmission. Artículo presentado a la reunión anual nº 53 de SEG, Las Vegas.
  
- NATIONAL COAL BOARD (1.981).- Fault location using seismic techniques. Informe ECSC, 88 p.
  
- PELISSIER, M. A. (1.979).- SH channel waves : parameter sensitivity and linear inversion for a deep coal seam. Tesis de M. Sc., Escuela de Minas de Colorado, T-2199, 82 p.
  
- PETERSON, S. D. (1.979).- Modal analysis of seismic guided waves in coal seams. Tesis doctoral, Escuela de Minas de Colorado, T-2003, 111 p.
  
- PRAKLA-SEISMOS GmbH (1.971).- Bericht über die Durchführung reflexionsseismischer Messungen unter Tage mit im Flöz geführten Wellen (Flöz E/F). Informe 716 700.
  
- PRAKLA-SEISMOS GmbH (1.972).- Bericht über flözwellenseismische Messungen mit analoger und digitaler Registrierung im Flöz Dickebank . Informe 720 001.

- PRAKLA-SEISMOS GmbH (1. 978).- Abschlußbericht über die Entwicklung einer schlagwettergeschützten seismischen Meßapparatur zur Ortung von tektonischen Störungen in Flözen des Steinkohlenbergbaus.
  
- ★ - PRAKLA-SEISMOS GmbH (1. 980).- In-seam seismic techniques.
  
- REEVES, J. J. (1. 979).- Investigation of seismic seam waves in U.S. coals. Part I : the Coal Basin of Colorado. Tesis de M.Sc., Escuela de Minas de Colorado, T-2148, 58 p.
  
- ★ - REEVES, J. J. y MAJOR, M. W. (1. 980).- Seismic seam waves in the Coal Basin of Colorado. Artículo presentado a la reunión anual nº 50 de SEG, Houston.
  
- ★ - REGUEIRO, J. y MAJOR, M. W. (1. 980).- Hole to hole seismic seam wave study in the Zulia Coal Basin, N. W. Venezuela. Artículo presentado a la reunión anual nº 50 de SEG, Houston.
  
- RÜTER, H. (1. 973).- Messungen zur Bestimmung des Frequenzinhaltes von Flözwellen im Flöz O der Schachtanlage Auguste-Victoria im Auftrage des Steinkohlenbergbauvereins. Publicación del Instituto de Geofísica de la Universidad del Ruhr, Bochum.

- RÜTER, H. (1.973).- Messungen zur Bestimmung des Frequenzinhaltes von Flözwellen im Flöz Gudrun, Schachanlage Prosper IV. Publicación del Instituto de Geofísica de la Universidad del Ruhr, Bochum.
  
- RÜTER, H. (1.973).- Untersuchungen an Kanalwellen in Steinkohleflözen. Artículo presentado a la reunión anual nº 38 de la Sociedad Geofísica Alemana, Göttingen.
  
- RÜTER, H. (1.978).- Entwicklung und Erprobung eines pneumatisch angekoppelten Mehrkomponentengeophons für die Flözwellenseismik. Informe del Instituto de Geofísica de la Universidad del Ruhr, Bochum.
  
- RÜTER, H. (1.980).- Anregung und Empfang von Flözwellen des Love Typs. Festschrift Th. Krey, p. 154 - 168.
  
- ★ - RÜTER, H. y SCHEPERS, R. (1.978). - In-seam seismic methods for the detection of discontinuities applied to West German coal deposits. Artículo presentado al 2º Simposium Internacional de Exploración del Carbón, Denver.

- ★ - RÜTER, H., SCHEPERS, R. y MARTIN, W. (1.983). - Development and application of an intrinsically safe digital seismic equipment specially designed for the exploration within coal mines. Artículo presentado al 4º Simposium Internacional de Exploración del Carbón, Sydney.
  
- SCAIFE, P.H. y LEUNG, L. (1.982). - In-seam exploration in coal mines using vibration measurements. Informe a la Comisión Nacional Australiana de Investigación Energética.
  
- SCHMIDT, G. y KNEUPER, G. (1.962). - Zur Frage nach der reflexionsseismischen Ortung von tektonischen Störungen in Steinkohlenbergwerken. Glückauf 98, p. 43.
  
- SCHOTT, W. (1.979). - Die Reflektivitätsmethode für SH-Wellen in Theorie und Anwendung. Trabajo fin de carrera. Instituto Geofísico de la Universidad de Karlsruhe.
  
- SOMMER, H. (1.977). - Modellseismische Untersuchungen zur Erkundung von Störungen in Steinkohleflözen mit Hilfe des Durchschallungsverfahrens. Trabajo fin de carrera. Instituto de Geofísica de la Universidad del Ruhr, Bochum.

- SU, F.-Ch. (1.976).- Seismic effects of faulting in coal seams. Numerical modelling. Tesis doctoral, Escuela de Minas de Colorado, T-1869, 252 p.
- ★ - TRAPPE, H.-J. (1.981).- Angewandte Geophysik im Bergbau. Glückauf 117, p. 433 - 445.
- ☆ - WOLFE, P.J., HOLDEMAN, T.G. y RICHARD, B. H. (1.982).- Seam wave characteristics in an Eastern U.S. coal. Artículo presentado a la reunión anual nº 52 de SEG, Dallas.
- YANG, Ch.-H. - Tesis doctoral, Escuela de Minas de Colorado.

## NOTA

En la redacción del presente documento se han consultado las referencias bibliográficas señaladas con ★ , así como los resúmenes de las marcadas con ☆ .

NOTAS SOBRE LA TECNICA DE SISMICA EN CAPA

## INDICE

	<u>Página</u>
1.- <u>INTRODUCCION</u>	1
2.- <u>DESCRIPCION DEL METODO</u>	3
2.1.- FUNDAMENTO FISICO	3
2.2.- TOMA DE DATOS	7
2.3.- TRATAMIENTO E INTERPRETACION DE DATOS	12
3.- <u>APLICACIONES PRACTICAS Y EJEMPLOS</u>	16
3.1.- FASE DE EXPLORACION	16
3.2.- FASE DE EXPLOTACION	16
3.3.- CAPACIDAD DE DETECCION	18
3.4.- CONCLUSIONES	19
4.- <u>TENDENCIAS FUTURAS</u>	21
5.- <u>BIBLIOGRAFIA</u>	22

## 1.- INTRODUCCION

Cuando las hulleras europeas se vieron obligadas a explotar capas de carbón profundas, en la década de los 50, adoptaron el método de frente largo en avance, altamente mecanizado.

El laboreo por este método proporciona excelentes resultados, excepto si la capa de carbón se ve interrumpida por pequeñas fallas. Estas conducen frecuentemente a un nuevo emplazamiento del frente, con el consiguiente perjuicio económico debido a la pérdida de producción.

Por tanto, se hizo evidente que un conocimiento detallado de la estructura geológica de las capas mejoraría sustancialmente la planificación minera.

El problema fue estudiado por el geofísico alemán Theodor Krey, quien comprendió que la sísmica de reflexión con ondas P y S sería ineficaz para la detección de pequeñas fallas, por tener tales ondas longitudes de onda demasiado largas. Sugirió entonces por primera vez el empleo de la sísmica en capa, al darse cuenta de que una capa de carbón podría funcionar como un canal de baja velocidad sísmica, y constituir una excelente gufa para las ondas sísmicas.

El principio de la técnica de sísmica en capa es sencillo : la geometría de la sísmica de reflexión desde superficie es girada 90°, disponiéndose fuentes y detectores en la propia capa. Las ondas son guiadas por la capa, y pueden registrarse las reflexiones producidas en las fallas.

Las primeras pruebas de sísmica en capa con éxito tuvieron lugar en 1.960, en la cuenta del Sarre. Desde entonces, la técnica progresó en Alemania gracias a los esfuerzos de la firma Prakla Seismos, si bien con cierta lentitud, debido al declive de la industria del carbón y a la dificultad en la homologación de equipos de registro anti de flagrantés.

Durante algunos años, se realizaron ensayos con un equipo analógico, confirmando la utilidad de la sísmica en capa. Se introdujeron asimismo diversas variantes : no sólo del estudio de la reflexión de las ondas podía obtenerse información, sino también de su transmisión, disponiendo incluso fuentes sísmicas en sondeos.

No obstante, sólo en la segunda mitad de la década de los 70, coincidiendo con el resurgir de la industria del carbón, recibió la sísmica en capa el impulso definitivo. Para ello fue decisiva la consecución de equipos de registro digital, que permitieron adaptar los métodos de tratamiento de datos de la sísmica petrolera. Los avances habidos en Alemania en los campos de la teoría de ondas canalizadas, instrumentación y tratamiento de datos han hecho de la sísmica en capa una herramienta más en la planificación minera.

Aprovechando la experiencia alemana, otros países se han interesado por la técnica. En Gran Bretaña, la NCB ha desarrollado métodos propios de interpretación de datos aplicados al laboreo por frente largo. Más recientemente, en Estados Unidos y Australia, se ha utilizado la sísmica en capa entre sondeos para la exploración de cuencas carboníferas.

## 2.- DESCRIPCION DEL METODO

### 2.1.- FUNDAMENTO FISICO

Una capa de carbón intercalada en una serie estratigráfica de esquistos y areniscas representa, desde el punto de vista físico, un canal de baja velocidad sísmica, limitado por dos semiespacios en los que la velocidad de propagación de las ondas sísmicas es mayor.

En estas condiciones, una fuente sísmica emplazada en la capa genera ondas P y S, las cuales, a partir de una cierta distancia, experimentan sucesivas veces el fenómeno de reflexión total en las dos interfaces carbón - roca, y permanecen confinadas dentro de la capa (Figura 1). Las ondas P y S incidentes y reflejadas interfieren entre sí, formando ondas canalizadas, que se propagan en la capa paralelamente a las interfaces.

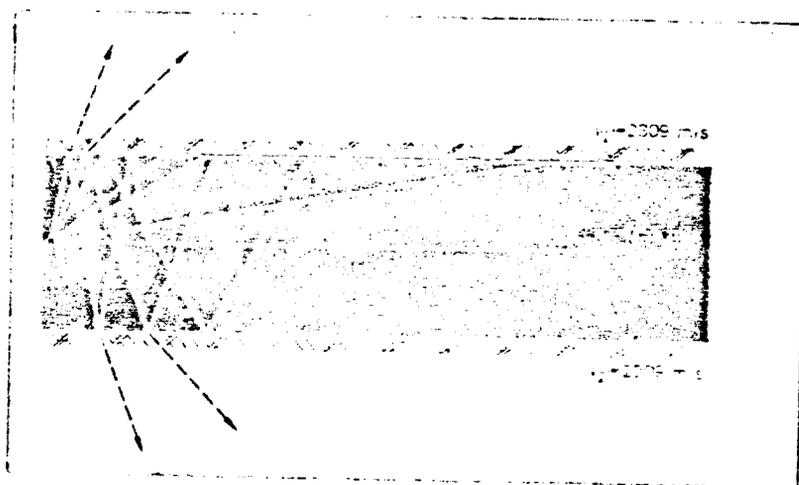


FIGURA 1

Las ondas canalizadas son la suma o superposición de todas las ondas sísmicas guiadas por la capa. Cabe distinguir entre éstas, según el plano de polarización, ondas del tipo Love y del tipo Rayleigh (Figura 2).

Las ondas Love o SH son ondas transversales polarizadas en un plano paralelo a la capa. Las ondas Rayleigh o P-SV son la combinación de una componente longitudinal y otra transversal polarizadas en un plano perpendicular a la capa.

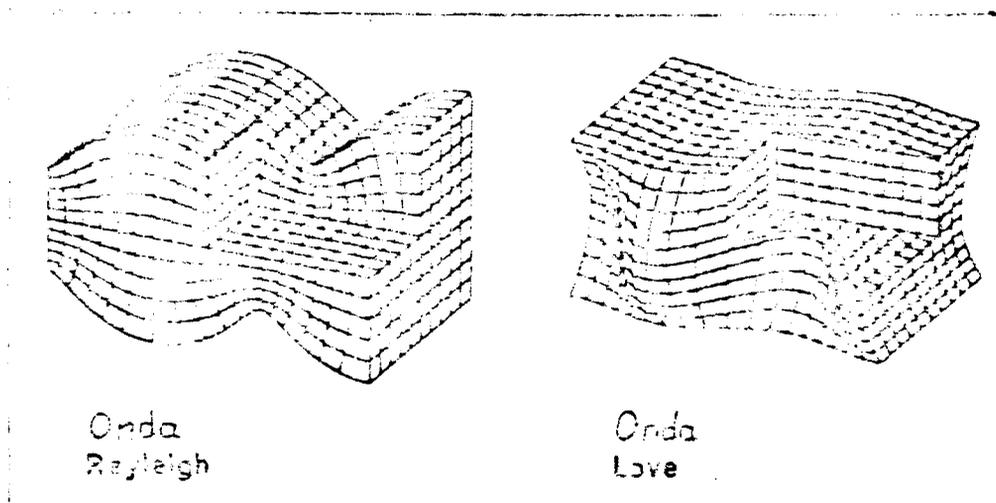


FIGURA 2

Ambos tipos de ondas pueden ser descritos matemáticamente mediante un número infinito de modos. Los primeros modos tienen su energía sísmica confinada a la capa, y se denominan normales. En algunos de los modos superiores, la energía se transfiere a la roca (modos no confinados).

El fenómeno de la propagación de ondas guiadas en una =  
capa de carbón puede considerarse bidimensional.

La principal propiedad física de las ondas en capa es que =  
presentan dispersión, ésto es, que su velocidad de propagación depen=  
de de la frecuencia. Como consecuencia de ello la forma de un tren=  
de ondas canalizadas varfa, extendiéndose, a medida que avanza.

La relación de dispersión de las ondas Love y Rayleigh =  
ha sido estudiada por diversos autores (véase Krey, 1.963, y Bucha=  
nan, 1.978). Se representa gráficamente en la Figura 3.

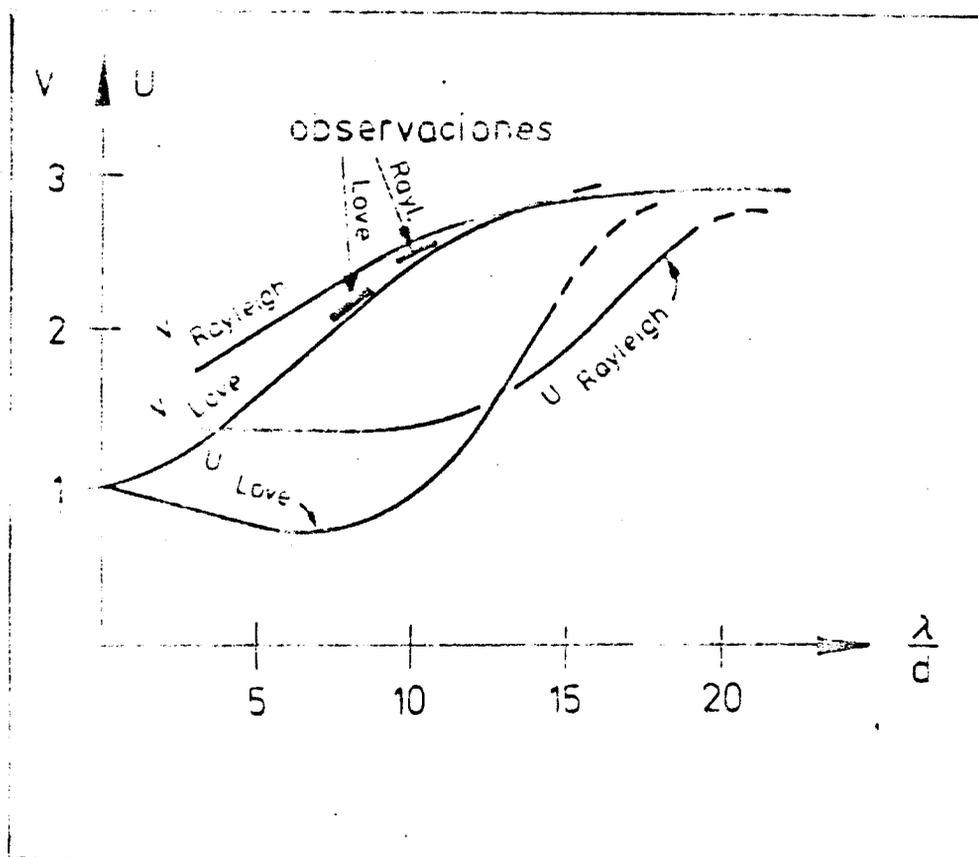


FIGURA 3

La curva de dispersión de la velocidad de grupo  $V$  presenta siempre un mínimo más o menos pronunciado, que corresponde a la fase de Airy. Esta fase, que aparece en los sismogramas al final, es de gran importancia en sismica en capa, pues corresponde a la frecuencia que exhibe el menor amortiguamiento geométrico.

La amplitud de las ondas Love, preferentemente utilizadas en sismica en capa, es máxima en el centro de la capa de carbón, y es mayor para altas frecuencias (fase de Airy), tal como se indica en la Figura 4. Por ser la energía cinética de una onda elástica proporcional al cuadrado de su amplitud, la energía correspondiente a la gama de altas frecuencias está contenida casi exclusivamente en la capa.

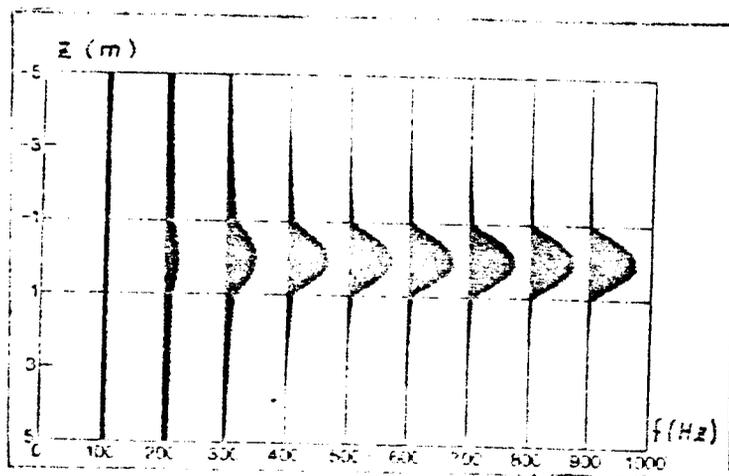


FIGURA 4

Se ha comprobado asimismo que las frecuencias altas presentan una mayor reflectividad.

La frecuencia de las ondas canalizadas es inversamente proporcional a la potencia de la capa de carbón.

Las ondas en capa experimentan un amortiguamiento físico debido a la absorción de energía por parte del medio. Frecuentemente, la variación de la amplitud con la distancia  $r$  a la fuente sísmica sigue una ley exponencial  $e^{-\alpha r}$ . El parámetro  $\alpha$  se conoce como coeficiente de amortiguamiento. Experimentalmente, se ha comprobado que depende linealmente de la frecuencia (Buchanan et al, 1.983).

## 2.2.- TOMA DE DATOS

En la exploración de capas de carbón por sísmica en capa, tanto las fuentes que generan ondas sísmicas como los detectores están acoplados directamente a la capa.

Atendiendo a los accesos a la capa en los que se sitúan las fuentes y los detectores, se distinguen tres tipos de ensayos : frente - frente, sondeo - sondeo, y sondeo - frente.

Los ensayos de mayor importancia son aquellos en que fuentes y detectores son emplazados en frentes de arranque o galerías en capa.

Como fuente sísmica se emplea un explosivo autorizado, de baja velocidad de detonación. La carga, de unos 125 g, se sitúa en el extremo de un barreno de 2 m de longitud paralelo a la capa.

Los detectores sísmicos consisten generalmente en geófonos, emplazados también en barrenos de 2 m de longitud paralelos a la capa, y acoplados firmemente al carbón mediante una camisa neumática. La Figura 5 muestra un geófono de 2 componentes.

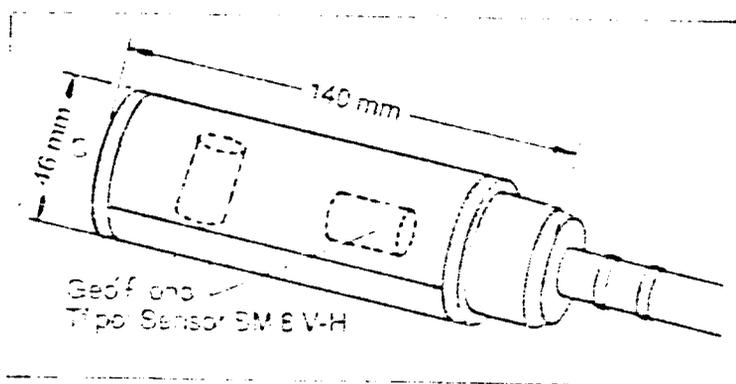


FIGURA 5

Pueden aplicarse dos métodos de sísmica en capa : el de transmisión y el de reflexión. Siempre que sea posible, deben realizarse ambos en áreas próximas.

#### Método de transmisión

Su principio se muestra en la Figura 6. Los puntos de disparo se sitúan en una galería, en tanto que los geófonos se colocan bien en una galería paralela a la anterior, bien en un frente aproximadamente perpendicular a la primera galería.

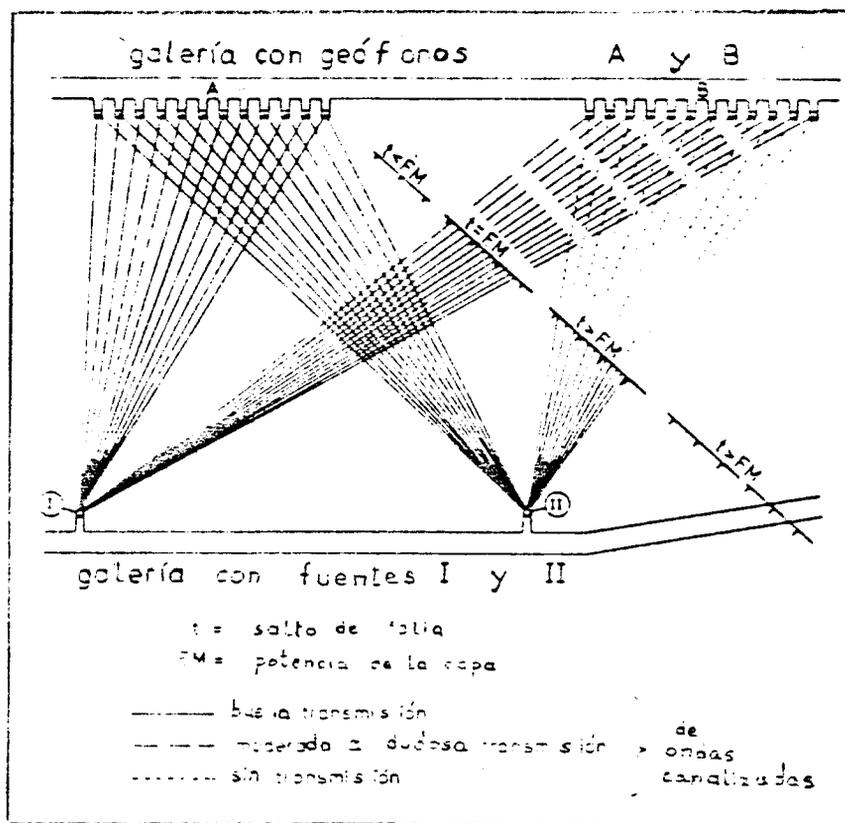


FIGURA 6

El método de transmisión se emplea para detectar la existencia de fallas en un panel de carbón y estimar la magnitud de su salto en comparación con la potencia de la capa. Además, permite obtener una importante información sobre la velocidad de las ondas canalizadas.

Se han llevado a cabo ensayos de transmisión con éxito a distancias de hasta 1000 veces la potencia de la capa.

### Método de reflexión

Su principio se muestra en la Figura 7. Tanto los puntos de disparo como los geófonos se encuentran situados en el frente de arranque o en una misma galería.

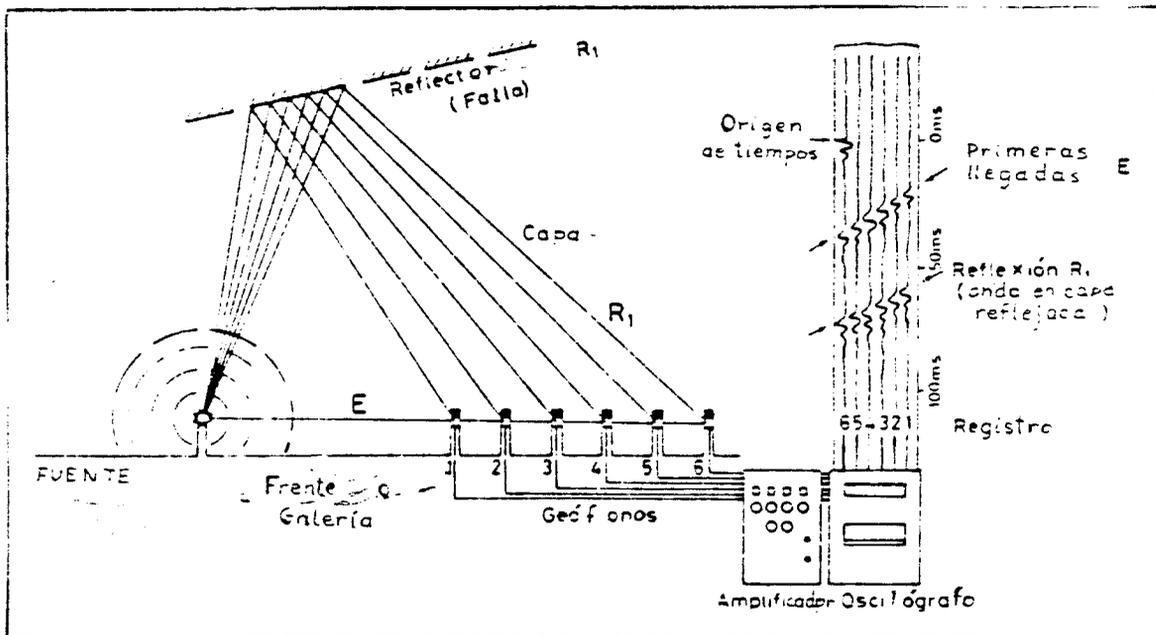


FIGURA 7

El método de reflexión se emplea para detectar y localizar la posición de fallas y otras perturbaciones en un panel de carbón. El plano de falla actúa como un reflector sísmico, debido al contraste de impedancia acústica a ambos lados de él.

El buzamiento del plano de falla respecto a la capa debe ser superior a  $30^\circ$ , para obtener reflexiones coherentes. Por otra parte, el buzamiento propio de la capa no tiene influencia alguna sobre los resultados de una prueba de reflexión.

Mediante el método de reflexión, se han localizado con éxito fallas a distancias de hasta 200 veces la potencia de la capa.

Los ensayos sondeo-sondeo y sondeo-frente utilizan la disposición geométrica del método de transmisión, y sólo se diferencian de él en las fuentes y detectores sísmicos especialmente concebidos para su empleo en interior de sondeo.

Los aparatos de registro de datos actualmente empleados son digitales, y deben cumplir estrictas normas en materia de seguridad (anti deflagrantes, intrínsecamente seguros, etc) para su uso en interior de mina. En cuanto a su diseño, parece imponerse la concepción modular, de la que es ejemplo el equipo SEAMEX 80, representado en la Figura 8.

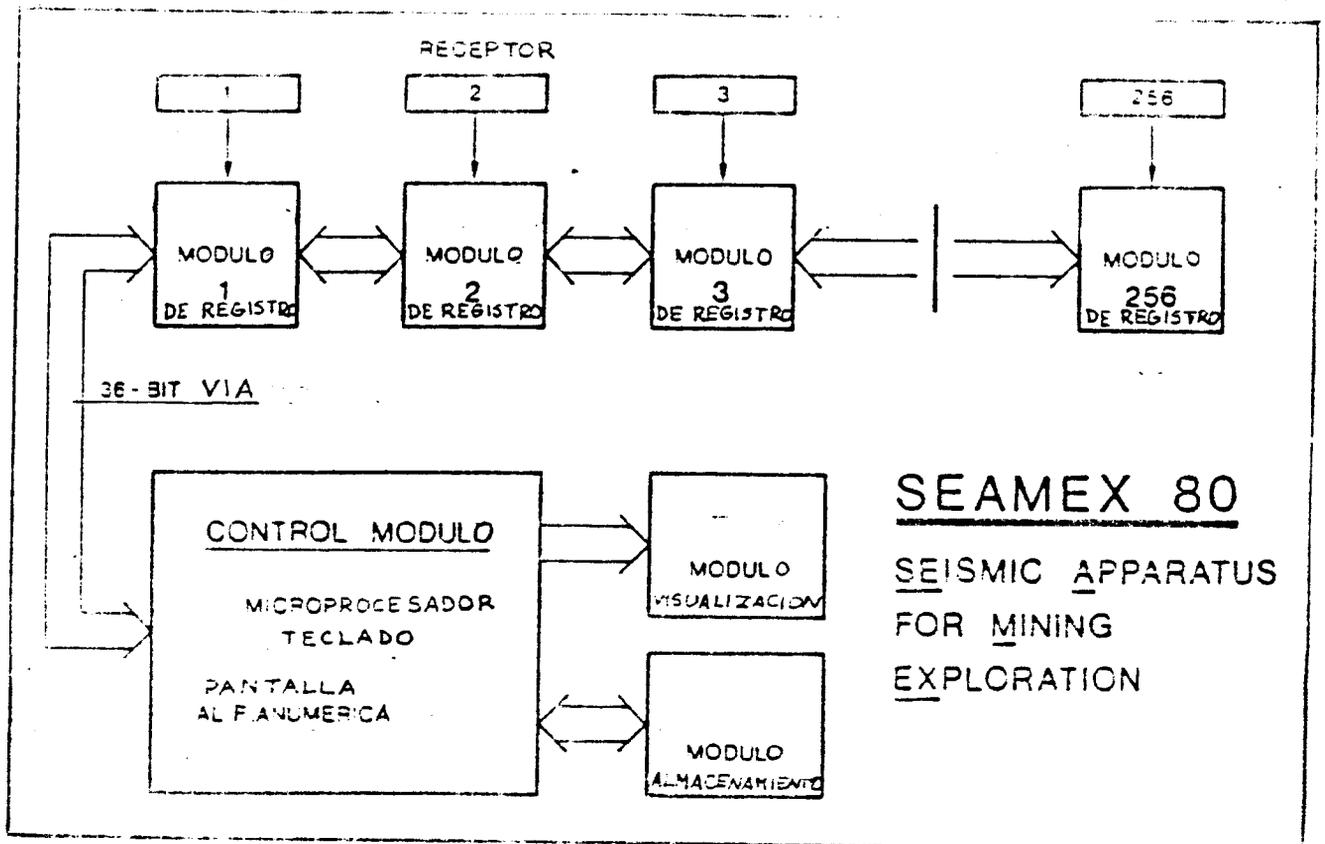


FIGURA 8

Cada detector lleva su propio módulo de registro, que convierte los datos analógicos (sismogramas) en digitales, con intervalo de muestreo de hasta 0,125 ms, y los transmite a un módulo de control, conectado a un módulo de almacenamiento de datos en cinta magnética, y a un módulo de visualización, que presenta sismogramas analógicos para una inspección visual de los datos in situ.

### 2.3.- TRATAMIENTO E INTERPRETACION DE DATOS

Los datos de transmisión se emplean principalmente para caracterizar la curva de dispersión o relación velocidad - frecuencia del medio.

Tras la eliminación del ruido sísmico, los datos son sometidos a una rotación de componentes, para separar las ondas longitudinales de las transversales. Las trazas de la componente transversal son analizadas por el método de filtraje múltiple de Dziewonski.

El procedimiento consiste en descomponer las trazas sísmicas según una serie de intervalos de frecuencia, y superponer todas las correspondientes a un mismo intervalo. El resultado se representa como un gráfico lentitud (inversa de la velocidad) - frecuencia. Un ejemplo se muestra en la Figura 9.

Los datos de pruebas de reflexión se utilizan para determinar la posición de fallas y otras discontinuidades que afectan a una capa de carbón. La secuencia seguida en el procesado de estos datos se representa esquemáticamente en en la Figura 10. La recompresión de los trenes de ondas dispersos se lleva a efecto mediante filtros basados en la relación de dispersión anteriormente calculada.

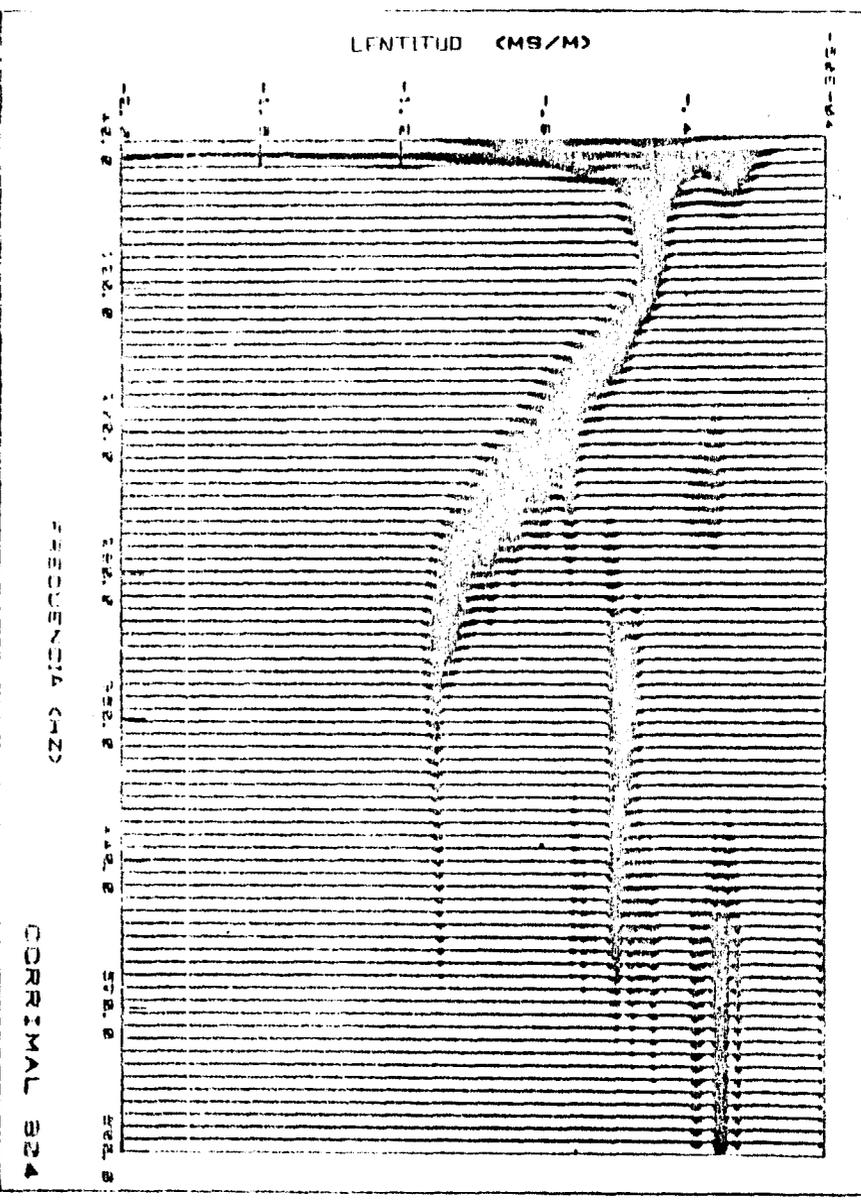


FIGURA 9

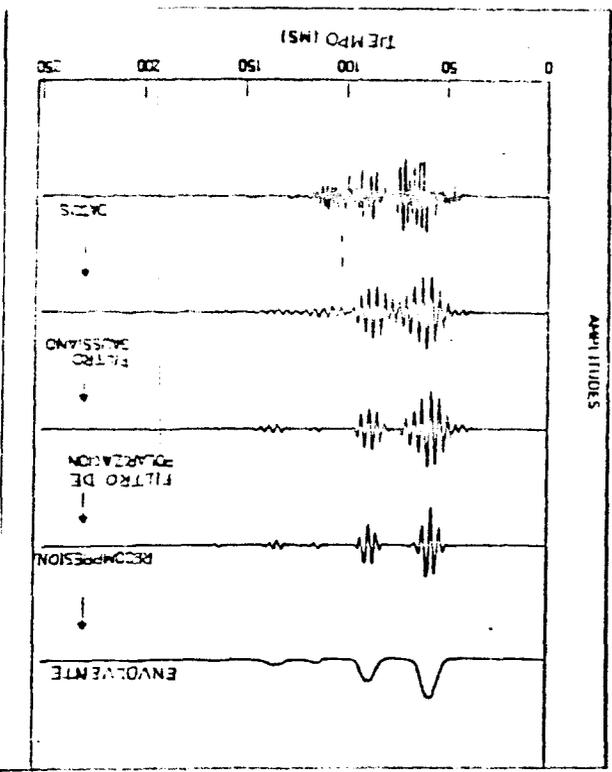


FIGURA 10

Sólo una vez calculadas las envolventes pueden interpretarse los datos en términos de posición de fallas. La interpretación puede realizarse mediante técnicas de migración y superposición.

La finalidad de la migración es situar en su verdadera posición en el espacio los elementos estructurales que dan lugar a reflexiones sísmicas. Los datos sísmicos procesados son migrados de una sección espacio - tiempo (sismogramas) a una sección espacio - espacio, coincidente con el plano de la capa de carbón estudiada.

En sísmica en capa se usa un procedimiento de migración de Huygens - Kirchhoff, por suma de retardos (Mason et al, 1.980). Consiste en dividir el plano de la capa en pequeñas casillas, y asignar a cada una de ellas una probabilidad calculada a partir del tiempo de propagación  $t_n$  de una onda entre la casilla y el geófono y de la amplitud de la señal sísmica registrada. Los valores máximos del plano de probabilidad obtenido indican la posición de los reflectores sísmicos. Por ejemplo, en la Figura 11, la zona WZ se interpreta como una falla.

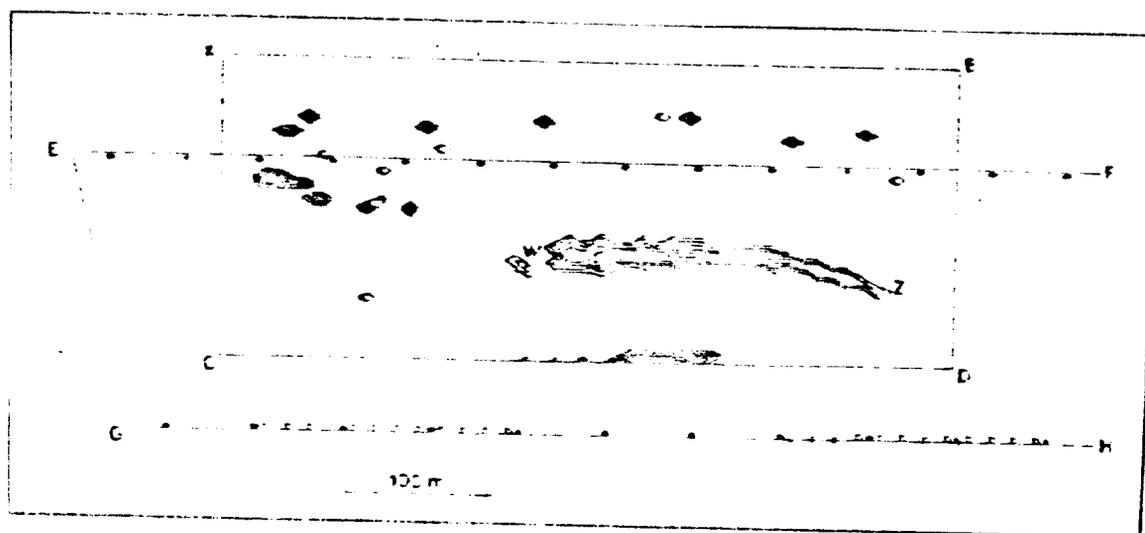


FIGURA 11

Los procedimientos de superposición se basan en la redundancia de datos sísmicos, y consisten en sumar trazas de registros = diferentes. Con ello se mejora la relación señal-ruído, y se destacan las reflexiones sísmicas frente a otras señales (refracciones, = difracciones, etc.).

En sísmica en capa, se emplea un procedimiento de superposición denominado composición dinámica de trazas o DTG (dynamic trace gathering), que es una variante del punto de reflexión común o = CDP (common depth point) usado en sísmica petrolera (Buchanan et al, 1.981). Consiste en definir un reflector hipotético, subdividirlo en pequeños segmentos, y determinar, basándose en la Ley de Snell, en qué segmento se refleja cada traza sísmica. A continuación, se aplica a las trazas una corrección por retardo, y se suman las trazas pertenecientes a un mismo segmento. Una alineación de superposiciones de mayor intensidad es indicativa de una falla.

El procedimiento es muy flexible, pues permite tantear fallas de diferentes rumbos, y puede programarse fácilmente en ordenador. La Figura 12 muestra una sección obtenida por DTG, en la que se aprecia claramente la falla WZ de la figura anterior a 130 m de la línea de referencia (galería GH).

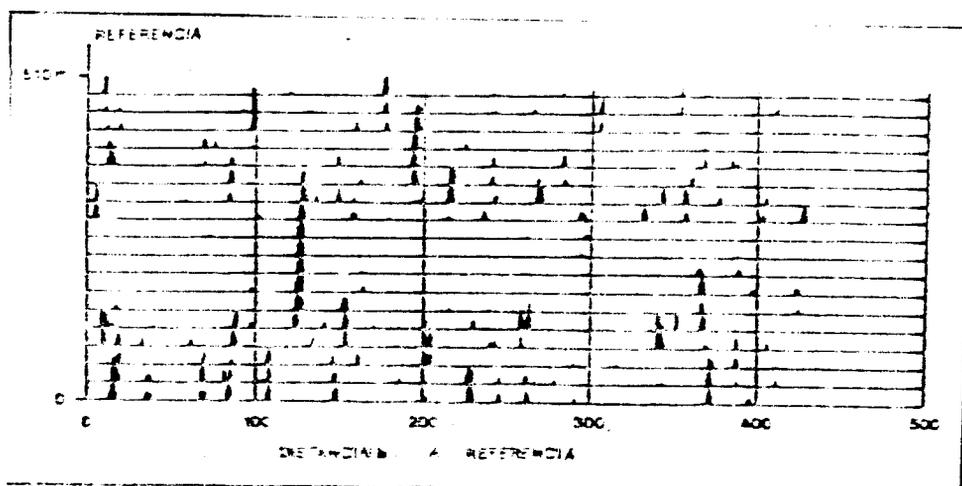


FIGURA 12

### 3.- APLICACIONES PRACTICAS Y EJEMPLOS

#### 3.1.- FASE DE EXPLORACION

La sísmica en capa se emplea durante la exploración de cuencas carboníferas para comprobar la continuidad lateral de las capas de carbón y establecer correlaciones. La disposición geométrica utilizada más frecuentemente es la sondeo - sondeo. Cabe pensar también en aprovechar afloramientos de capas para detectar, sea por transmisión, sea por reflexión, labores abandonadas.

Existe un importante incentivo económico para la inclusión de la sísmica en capa de sondeo a sondeo en los programas de exploración. En efecto, puesto que las ondas canalizadas se transmiten a varios cientos de metros, puede aumentarse la abertura de malla de sondeos en las campañas de valoración de reservas.

La Figura 13 muestra un ejemplo de ensayo entre dos sondeos, llevado a cabo en 1.979 en la cuenca carbonífera terciaria de Zulia (Venezuela), sobre una capa de 13 m de potencia. Pese al escaso contraste de densidades entre el carbón y la roca encajante, se apreció claramente la transmisión de ondas en capa a una distancia de 240 m.

#### 3.2.- FASE DE EXPLOTACION

La sísmica en capa ha encontrado tradicionalmente su aplicación más importante en la planificación de las explotaciones subterráneas por el método de frente largo en avance, altamente mecanizado.

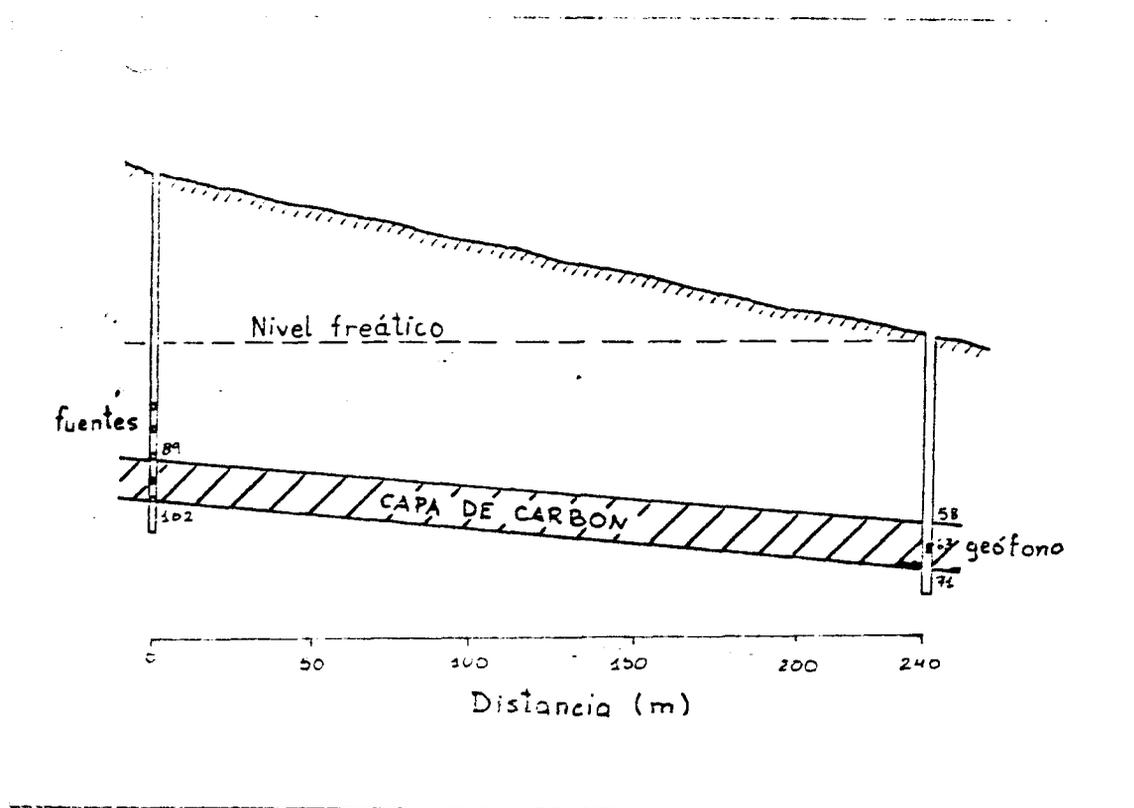


FIGURA 13

La posibilidad de cartografiar mediante esta técnica fallas por delante del frente mejora sustancialmente la rentabilidad de la explotación minera, al poder seleccionarse los paneles de carbón libres de perturbaciones geológicas. Ha de tenerse presente que el laboreo por frente largo requiere fuertes inversiones, y que las pérdidas de producción causadas por el traslado de un frente que encuentra una falla son muy cuantiosas.

Como ayuda a la planificación minera, la sísmica en capa ha sido utilizada en diversas disposiciones: sondeo - sondeo, sondeo-frente, frente-sondeo y frente (galería) - frente (galería) tanto por

transmisión como por reflexión : En la literatura existente sobre el tema pueden hallarse numerosos ejemplos (Krey, 1.976; Buchanan et al, 1.980; Klinge et al, 1.981; Doyle y Leung, 1.983).

Presentamos en la Figura 14 un ejemplo ilustrativo correspondiente a la mina Pattberg, en Alemania. El curso de una falla fue trazado con gran precisión basándose en la combinación de los métodos de reflexión y transmisión.

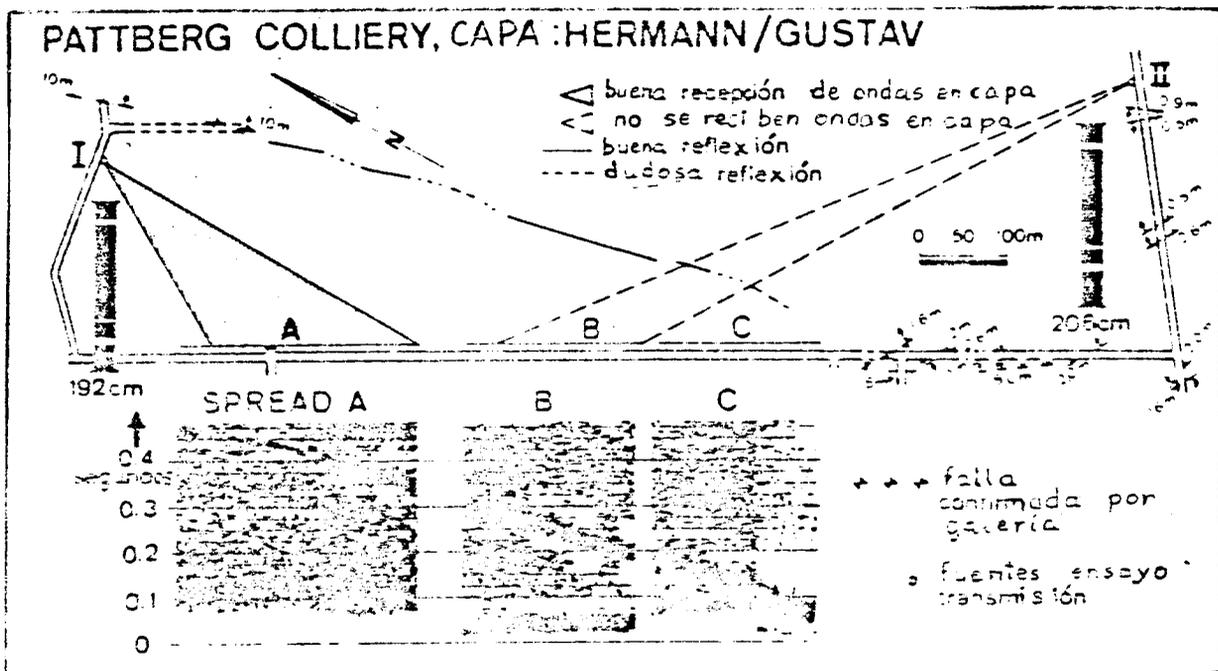


FIGURA 14

### 3.3.- CAPACIDAD DE DETECCION

Para la planificación de una explotación minera, no sólo = es importante conocer los resultados de las pruebas de sísmica en capa, sino también tener una idea de la capacidad de detección de esta técnica geofísica.

El alcance del método de reflexión es particularmente importante cuando se ha inferido la inexistencia de fallas en un panel. En tal caso, es preciso saber a qué distancia se habría detectado una falla si estuviese presente.

Los alcances máximos de los métodos de transmisión y reflexión, expresados como múltiplos de la potencia de la capa, son 1000 y 200 veces, respectivamente.

Una de las ventajas de la sísmica en capa es que, en un importante número de casos, puede verificarse directamente mediante labores mineras si las predicciones eran o no correctas. En Gran Bretaña, se ha realizado un estudio estadístico del porcentaje de éxito de la sísmica en capa, el cual, considerando el grado de confianza de las predicciones, quedó cifrado en el 80 % (Buchanan y Jackson, 1982).

#### 3.4. - CONCLUSIONES

La principal conclusión es que la sísmica en capa constituye un método práctico y eficaz para la detección de fallas por delante del frente de arranque de un panel de carbón.

Como tal, puede usarse regularmente como una herramienta más de ayuda a la planificación minera. La técnica ha sido probada con éxito en varios países.

Asimismo, la sísmica en capa está llamada a representar una ayuda importante en las campañas de exploración de cuencas carboníferas.

A la vista de todo lo anterior, creemos aconsejable la incorporación de esta técnica a la minería del carbón española. A fin de lograr la mayor eficacia posible, es conveniente definir con precisión la problemática española en relación con la sísmica en capa.

Para ello, debe contarse con la opinión de profesionales tanto de la exploración como de la planificación minera, y en la medida de lo posible, con estadísticas sobre el número de sondeos de exploración y la abertura de malla utilizada, así como sobre el grado de mecanización de la minería española y el porcentaje de frentes que encuentran perturbaciones geológicas.

#### 4.- TENDENCIAS FUTURAS

En el momento presente, la técnica geofísica de sísmica en capa ha resuelto satisfactoriamente los problemas iniciales que motivaron su desarrollo e implantación, es decir, la detección y localización de discontinuidades en una capa de carbón.

Pese a ello, la sísmica en capa, como cualquier técnica de exploración, ofrece un amplísimo campo para futuros desarrollos, tanto en el estudio de la física de las ondas canalizadas y el diseño de equipos de registro como en el tratamiento y la interpretación de datos. En este último capítulo, el principal problema a resolver es el denominado "reconocimiento del objetivo geológico".

En efecto, la sísmica en capa no es capaz, en la actualidad, de distinguir si una discontinuidad es una falla, una esterilidad, o un dique intrusivo. La información que haga posible tal diferenciación debe estar codificada, al menos parcialmente, en las señales sísmicas reflejadas. Cabe pensar que un tratamiento de datos más refinado permita su interpretación.

5.- BIBLIOGRAFIA

- BUCHANAN, D. J. (1.978). - The propagation of attenuated SH channel waves. Geophysical Prospecting 26, p. 16-28.
- BUCHANAN, D. J., DAVIS, R., JACKSON, P. J. y TAYLOR, P. M. (1.980). - The use of channel wave seismology to find faults in coal seams. Reunión anual nº 50 de SEG, Houston.
- BUCHANAN, D. J., DAVIS, R., JACKSON, P. J. y TAYLOR, P. M. (1.981). - Fault location by channel wave seismology in United Kingdom coal seams. Geophysics 46, p. 994 - 1002.
- BUCHANAN, D. J. y JACKSON, P. J. (1.982). - In - seam seismics for fault detection. Glückauf Forschungshefte 43, p. 90-93.
- BUCHANAN, D. J., JACKSON, P. J. y DAVIS, R. (1.983). - Attenuation and anisotropy of channel waves in coal seams. Geophysics 48, p. 133 - 147.
- DOYLE, J. F. y LEUNG, L. (1.983). - Australian experience with in-seam seismics. 4º Simposium Internacional de Exploración del Carbón, Sydney.
- KLINGE, U., ARNETZL, H. H., KREY, Th. y RÜTER, H. (1.981). - Trends in the detection of coal seam discontinuities by in-seam seismic techniques. 3<sup>er</sup> Simposium Internacional de Exploración del Carbón.

- KREY, Th. (1.963).- Channel waves as a tool of Applied Geophysics in coal mining. Geophysics 28, p. 701 - 714.
  
- KREY, Th. (1.976).- In-seam seismic exploration techniques.  
1<sup>er</sup> Simposium Internacional de Exploración del Carbón, Londres.
  
- MASON, I.M., BUCHANAN, D.J. y BOOER, A.K. (1.980). -  
Channel wave mapping of coal seams in the United Kingdom.  
Geophysics 45, p. 1131 - 1143.

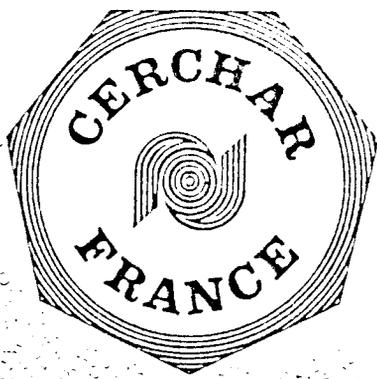
A N E X O I I

DOCUMENTOS COMPLEMENTARIOS

ANEXO II

DOCUMENTOS COMPLEMENTARIOS UTILIZADOS EN LA ELABORACION DE ESTE INFORME

- 1.- Certificado de homologación de los equipos de registro de la C.G.G. para trabajar en ambientes de grisú.
- 2.- Certificado de homologación de los equipos de Prakla-Seis—mos.
- 3.- Modelo de informe realizado por el N.C.B.
- 4.- Informe interno de la visita realizada a Moers (Alemania Federal).
- 5.- Documentos correspondientes a tres investigaciones realizadas en Alemania en Noviembre y Diciembre de 1.983.



MATÉRIEL ÉLECTRIQUE  
utilisable dans les  
MINES GRISOUTEUSES

## CERTIFICAT DE CONFORMITÉ

MS 83.3015 X

Délivré en application du décret n° 78.779 du 17 Juillet 1978 à :

COMPAGNIE GENERALE DE GEOPHYSIQUE  
6, rue Galvani  
91301 MASSY

Il résulte des essais, épreuves et vérifications effectués par le :

Centre d'Etudes et Recherches des Charbonnages de France  
Laboratoire de Verneuil-en-Halatte  
Boîte Postale n° 2  
60550 Verneuil-en-Halatte  
Tél : (4) 455.35.00 Télex 140 094 CERCHAR VERNH

agréé par l'arrêté du 23 Novembre 1982 du ministre de l'industrie,  
que le matériel électrique :

Désignation : Chaîne d'acquisition sismique

Type : SN 338

Constructeur : C G G

est conforme aux dispositions de l'arrêté ministériel du  
23 Novembre 1982 relatif au matériel utilisable dans les mines  
grisouteuses. (Spécifications techniques Françaises)

Mode de protection : Sécurité intrinsèque.

## DOCUMENTS DESCRIPTIFS

Notice descriptive du 01.06.83 n° YO/FG 83/01 - 4 feuillets  
Schéma n° YO/FG 83/02 (annexe 1) géophone triaxial - Type SM 7  
Schéma n° YO/FG 83/03 (annexe 2) câble Type F7.12.B 55 U5,  
et connecteur H 110/H 122 ( 2 feuillets)  
Schéma n° YO/FG 83/04 (annexe 3) Boitier de couverture - Type BC/10 - 3 feuillets  
Schéma n° YO/FG 83/05 (annexe 4) Testeur de continuité - Type TC 10 - 4 feuillets  
Schéma n° YO/FG 83/06 (annexe 5) Capteur de tir - Type C 10 - 4 feuillets  
Schéma n° YO/FG 83/07 (annexe 6) Barrière - Type BS/10 - 2 feuillets  
Schéma n° BS 10/1 - Barrière BS 10 - Schéma de principe  
Schéma n° BS 10/2 et 3 - Barrière BS 10 - implantation des éléments câblage.  
Nomenclature BS 10/4 : 1/3 , 2/3 et 3/3 - nomenclature des composants  
Schéma n° YO/FG 83/08 (annexe 7) Enregistreur de sismique -10 feuillets

\* tous ces documents sont reliés dans une brochure de 36 pages, datée du  
1er juin 1983.

Les circuits des lignes de raccordement, des capteurs géophone, du testeur de  
continuité, du capteur de tir et des boitiers de couverture sont de sécurité  
intrinsèque.

Ce matériel doit notamment répondre aux prescriptions suivantes :

### I - MARQUAGE

Le matériel ci-dessus devra porter le marquage suivant :

C.G.G.

SN 338

n° de fabrication

MS 83.3015 X

I - i

Le matériel doit également porter le marquage normalement prévu par les normes  
de construction de matériel électrique.

### II - EPREUVES INDIVIDUELLES

- Le matériel livré devra avoir subi avec succès les épreuves individuelles  
suivantes :
- Essai de rigidité diélectrique du transformateur - Type 4 TB 2741 - SYSTEL  
pendant une minute sous une tension alternative sinusoïdale de fréquence  
50 Hz - d'une valeur efficace égale à 1600 V entre les enroulements primaire  
et secondaire.
- Essai de rigidité diélectrique du capteur triaxial - Type SM 7 SENSOR -  
pendant une minute sous une tension alternative sinusoïdale de fréquence  
50 Hz - d'une valeur efficace égale à 500 V entre les trois bobinages.

### III - CONDITIONS SPECIALES D'UTILISATION

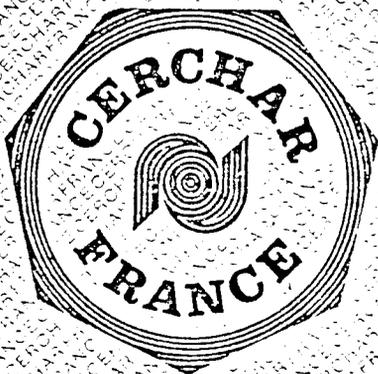
Le matériel est de haute sécurité intrinsèque (H.S.I.) si le § 5.3 de l'annexe I à l'arrêté du 30 octobre 1961 modifié est respecté.

Si ces conditions ne sont pas respectées, il est de sécurité intrinsèque ordinaire (S.I.O)

Le signe X placé à la suite du numéro du certificat de conformité indique que l'utilisation de ce matériel électrique est subordonnée aux conditions spéciales d'utilisations ci-après:

- Le remplacement de la pile 1,5 V du testeur de continuité - Type TC 10 s'effectue en milieu NON CLASSE grisouteux.
- La centrale de calcul et l'alimentation électrique sont des matériels associés, ils doivent être utilisés en mine ou quartier NON CLASSE grisouteux, ou être protégés par un mode de protection normalisé.
- Le raccordement de l'alimentation électrique sur le réseau doit s'effectuer par l'intermédiaire d'un transformateur conforme à la Norme NF. M 82 305, dont la tension de sortie n'excède pas 220 volts efficaces.
- L'écran du transformateur de réseau doit être relié à la terre.
- Sur le capteur de tir - Type C 10, le raccordement de la ligne de tir des explosifs suivant est autorisé :
- Superboutefeu 850 agréé MS 202/58 et MS 61/60  
S.A. Explosifs X produits chimiques  
W. 633 C. OLDHAM agréé MS. 137/64

Verneuil-en-Halatte, 1983 06 08



Le Directeur de l'Organisme Certificateur  
Par délégation, le  
Chef du Groupe Agréments-Sécurité,

*[Signature]*

SISMIQUE CHARBONNIERE EN COUCHE

METHODE MATERIEL

I GENERALITES

II LA SOURCE

III LE DISPOSITIF D'ACQUISITION

III. 1. Les capteurs

III. 2. Les câbles

III. 3. Les matériels annexes de fond

III. 4. La barrière de sécurité

IV LE LABORATOIRE

## I - GENERALITES

La sismique charbonnière en couche a pour but de détecter et positionner des accidents situés en avant du front de taille, la méthode utilisée est une adaptation de la sismique réflexion de surface soit :

- Emission dans la couche de charbon sous la forme d'une onde de choc très brève (quelques millisecondes) dont le spectre s'étend de quelques Hz à cinq KHz, il s'ensuit la création d'un champ d'ondes extrêmement complexe comprenant :

- . des ondes de pression (ondes P)
- . des ondes de cisaillement (ondes S)
- . des ondes guidées à caractère dispersif dû au fait que l'on opère dans un milieu de vitesse lente encadré d'épentes à vitesses rapides.

- Ecoute de ce champ d'ondes à l'aide de capteurs triaxiaux et enregistrement numérique des signaux dans la bande de fréquences 30 - 500 Hz.

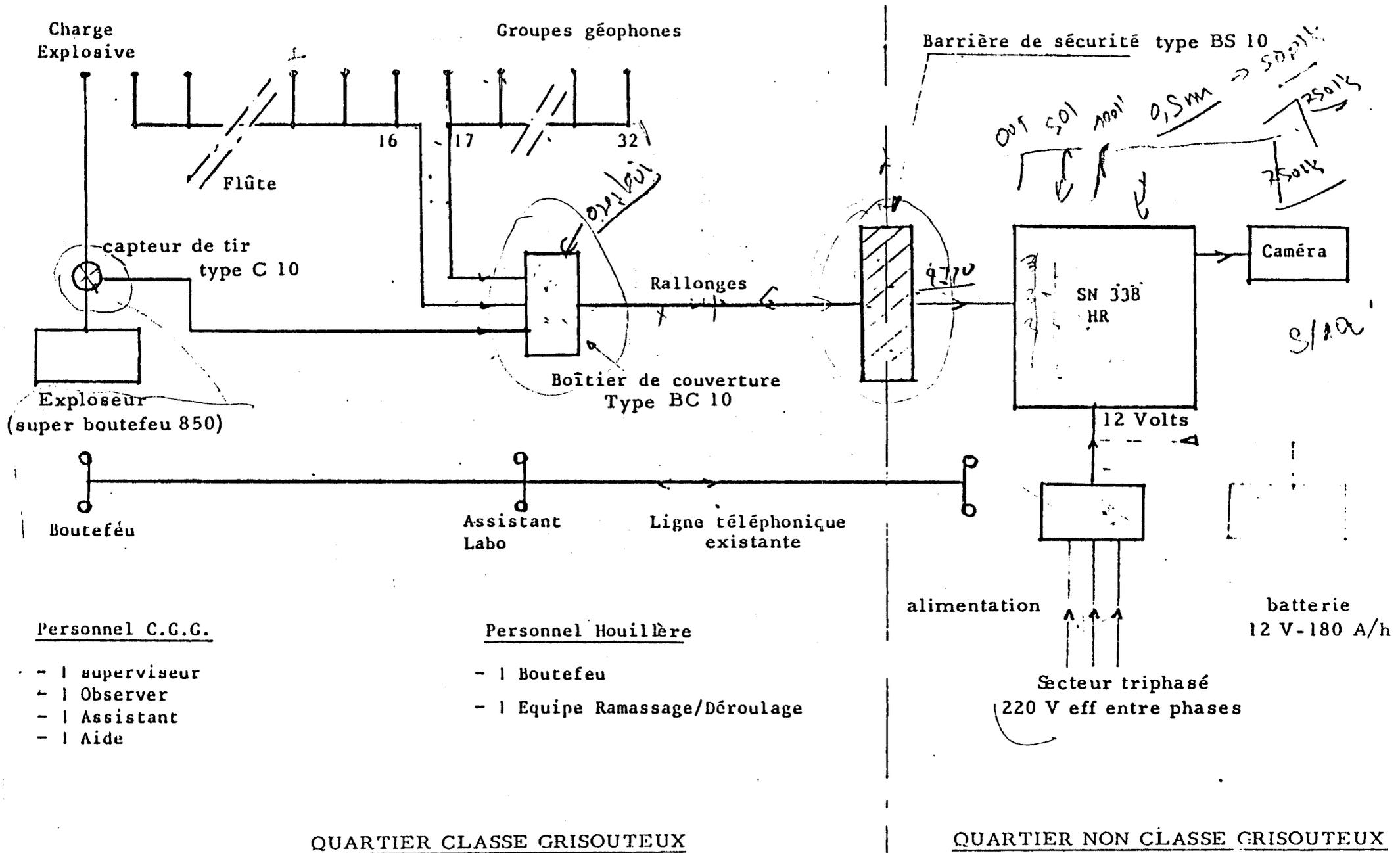
- Traitement et Interprétation de ces données en tenant compte de différents paramètres comme :

- . nature de l'onde
- . vitesses
- . atténuations
- . trajets.

## II - LA SOURCE SISMIQUE

L'ébranlement sismique de la couche est provoqué par une petite charge d'explosif disposée dans un forage de profondeur 2 mètres.

SYNOPTIQUE DE MISE EN OEUVRE



Personnel C.G.C.

- 1 superviseur
- 1 Observer
- 1 Assistant
- 1 Aide

Personnel Houillère

- 1 Boutefeu
- 1 Equipe Ramassage/Déroulage

QUARTIER CLASSE GRISOUTEUX

QUARTIER NON CLASSE GRISOUTEUX

Le bourrage soigneux associé au fait que la charge est implantée dans une zone non décompressée, permet d'obtenir une bonne répétitivité entre tirs. Le poids de la charge (10 à 100 gr) , constitue un paramètre d'exploitation.

### IMPORTANT

Toutes les opérations liées aux explosifs :

- fourniture
- amorçage
- mise à feu

sont exclusivement à charge d'un personnel fourni par la Houillère.

### III - LE DISPOSITIF D'ACQUISITION (voir synoptique)

On relève les points suivants :

- Tous les éléments disposés en quartier classé grisouteux ont reçu un certificat de conformité.

- Tous les éléments non certifiés (ex Laboratoire SN 338 HR) sont disposés en amont d'une barrière de sécurité certifiée et placés en quartier non classé grisouteux.

- L'alimentation du laboratoire peut se faire suivant les cas :

- . directement à l'aide d'une batterie au plomb 12 V 120 Ah
- . par l'intermédiaire d'une alimentation 220 V triphasé - 12 Volts continu.

### III. 1. - LES CAPTEURS (voir annexe 1)

Désignés sous le nom de "Géophones" il s'agit de capteurs électro dynamiques (déplacement d'une bobine dans un champ magnétique), ils fonctionnent en vélocimètre et sont regroupés par trois pour définir un groupe géophone triaxial.

Ce groupe géophone se présente sous la forme d'un cylindre  $\emptyset$  40 mm longueur 200 mm qui prend place dans un forage de profondeur 2 mètres. L'ancrage à la paroi s'effectue par coincement.

On dispose d'une centaine de ces groupes géophones ce qui permet une mise en place à l'avance (prédéroutage).

### III. 2. - LES CABLES ET CONNECTEURS (voir annexe 2)

Les groupes géophones sont reliés au laboratoire d'enregistrement par l'intermédiaire de câbles multipaires torsadés ce qui permet d'obtenir de bonnes caractéristiques en diaphonie (- 60 dB) ; ainsi qu'une bonne protection contre les inductions parasites.

- Les portions de câbles sur lesquelles sont raccordés les groupes géophones, s'appellent "flûtes" et chacun de ces éléments permet le raccordement de 16 groupes avec un écartement maximum de 5 mètres.

- Les portions de câbles (par éléments de 100 mètres) reliant le dispositif d'acquisition au laboratoire d'enregistrement s'appellent "rallonges" et sont connectées entre elles par des connecteurs SOCAPEX type H 110.

### III.3. - LES MATERIELS ANNEXES DE FOND

#### III.3.1. Boitier de couverture (voir annexe 3)

Ce boitier réalise une fonction de sélection au niveau des groupes géophones.

#### III.3.2. Testeur de continuité (voir annexe 4)

Permet des opérations de contrôle sur le dispositif d'acquisition

#### III.3.3. Capteur de tir (voir annexe 5)

Il fournit une impulsion électrique correspondant au temps zéro du tir sismique.

### III.4. - LA BARRIERE DE SECURITE (voir annexe 6)

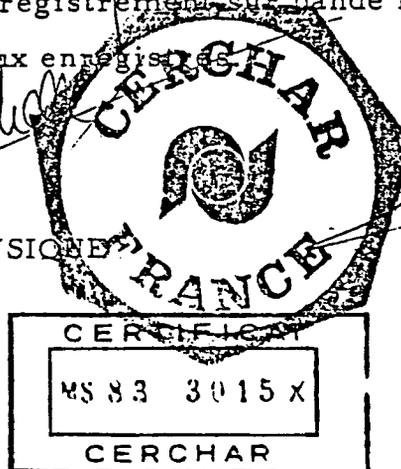
Elle réalise l'interface entre le quartier classé grisouteux où se trouve le dispositif d'acquisition et le quartier classé non grisouteux où se trouve le laboratoire.

### IV - LE LABORATOIRE D'ACQUISITION (voir annexe 7)

Il s'agit du SN 338 HR de SERCEL qui réalise les fonctions suivantes :

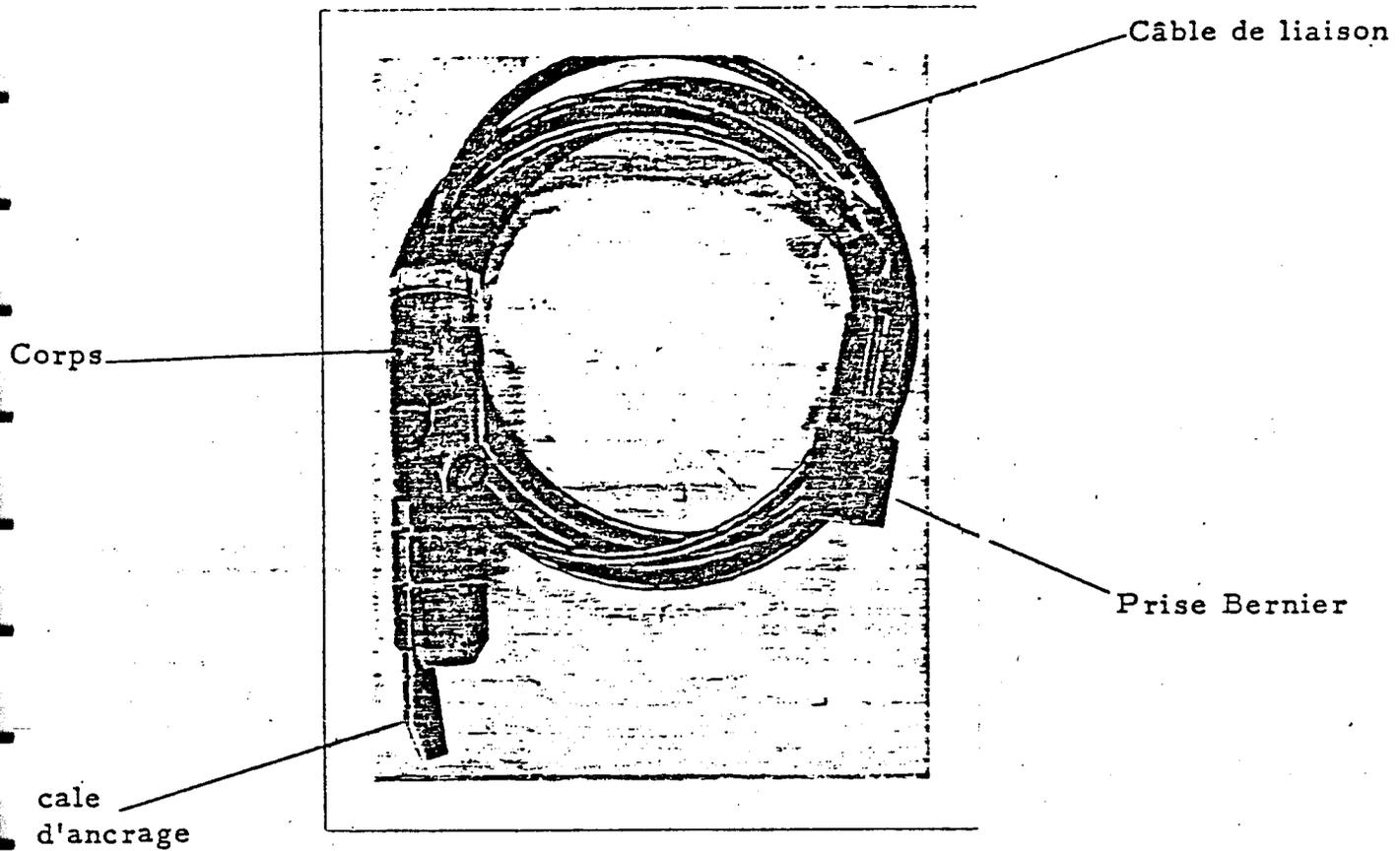
- amplification des signaux délivrés par les groupes géophones
- numérisation et enregistrement sur bande magnétique
- contrôle des signaux enregistrés

COMPAGNIE GENERALE DE GEOPHYSIQUES  
6, rue Galvani - 91301 MASSY



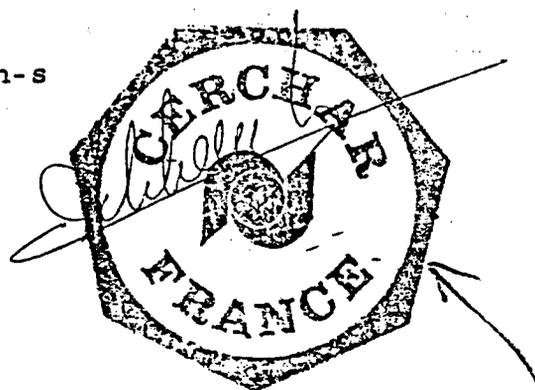
Y. Ollivier

# GRUPE GEOPHONE TRIAXIAL



## - Caractéristiques d'un géophone individuel

Type	SM7
Constructeur	SENSOR (Hollande)
Fréquence naturelle	30 Hz
Résistance	370 $\Omega$
Sensibilité	0,14 V-cm-s
Dimensions	$\phi$ 25,4 mm n = 31 mm
Poids	73 gr.



COMPAGNIE GENERALE DE GEOPHYSIQUE  
6, rue Galvani - 91301 MASSY

Y. Ollivier

YO/FG n° 83/02

**câbles standards  
étanches  
filled  
standard cables**

**BRONZE CÂBLÉ  
POLYURÉTHANE  
SÉRIE 300 Ω**

**STRANDED BRONZE  
POLYURETHANE  
300 Ω SERIE**

**Fournisseur**

**CABELTEL (Groupe Thomson)  
Courbevoie**

**Réf. F7 12 B55 U5**

**Self répartie : 0,058 mH/Km  
Capacité répartie : 7,2 nF/Km**

**CONDUCTEUR : AWG 28 (7 × AWG 36)  
0,08 mm<sup>2</sup> (7 × 0,12 mm) - Bronze câblé**

**RÉSISTANCE : 90 Ω/M<sup>2</sup> - 300 Ω.km.**

**ISOLATION : Polypropylène.**

**GAINE : Polyuréthane. Voir note (1).**

**GAMME DE TEMPÉRATURE : -40 °C + 80 °C  
-40 °F +176 °F**

**CONDUCTOR : AWG 28 (7 × AWG 36)  
0,08 mm<sup>2</sup> (7 × 0,12 mm) - Stranded bronze.**

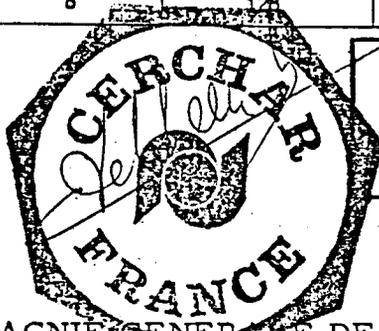
**RÉSISTANCE : 90 Ω/M<sup>2</sup> - 300 Ω.km.**

**INSULATION : Polypropylene.**

**JACKET : Polyurethane. See note (1).**

**OPERATING TEMPERATURE RANGE : -40 °C + 80 °C  
-40 °F +176 °F**

N° de la ligne Line number	Nombre de paires voir note (2) Number of pairs see note (2)	Référence Catalog number	Masse Weight		Diamètre extérieur voir note (3) Overall diameter see note (3)		Gaine épaisseur nominale Jacket nominal thickness	
			lb./M'	kg.km	Inch	mm	Inch	mm
1	13	F 7 12 B 13 U5	45	67	.28	7	.051	1,2
2	28	F 7 12 B 28 U5	74	110	.37	9,4	.055	1,4
3	42	F 7 12 B 42 U5	112	167	.43	11	.063	1,6
4	52	F 7 12 B 52 U5	132	196	.46	11,7	.063	1,6
5	55	F 7 12 B 55 U5	136	202	.46	11,7	.063	1,6
6	76	F 7 12 B 76 U5	165	245	.52	13,2	.063	1,6
7	104	F 7 12 B 104 U5	216	322	.598	15,2	.07	1,8
8	128	F 7 12 B 128 U5	277	412	.665	16,9	.07	1,8



**CERTIFICAT**

**MS 83 . 30.15 X**

**CERCHAR**

**NOTES**

Le câble 13 paires a un toron central d'acier pour améliorer la résistance à la rupture.

Ce type de câble convient aux missions marals.

(1) Couleur standard de la gaine : noire.  
Autres couleurs sur demande.

(2) Autre composition sur demande.

(3) Tolérance sur diamètre ± .02 inch (± 0.5 mm).

**NOTES**

13 pairs cable has a central steel stress member to improve breaking strength.

This type of cable is suitable for marsh operations.

(1) Standard jacket colour: black.  
Other colours on request.

(2) Other composition on request.

(3) Overall diameter: ± 0.02 inch ± 0.5 mm.

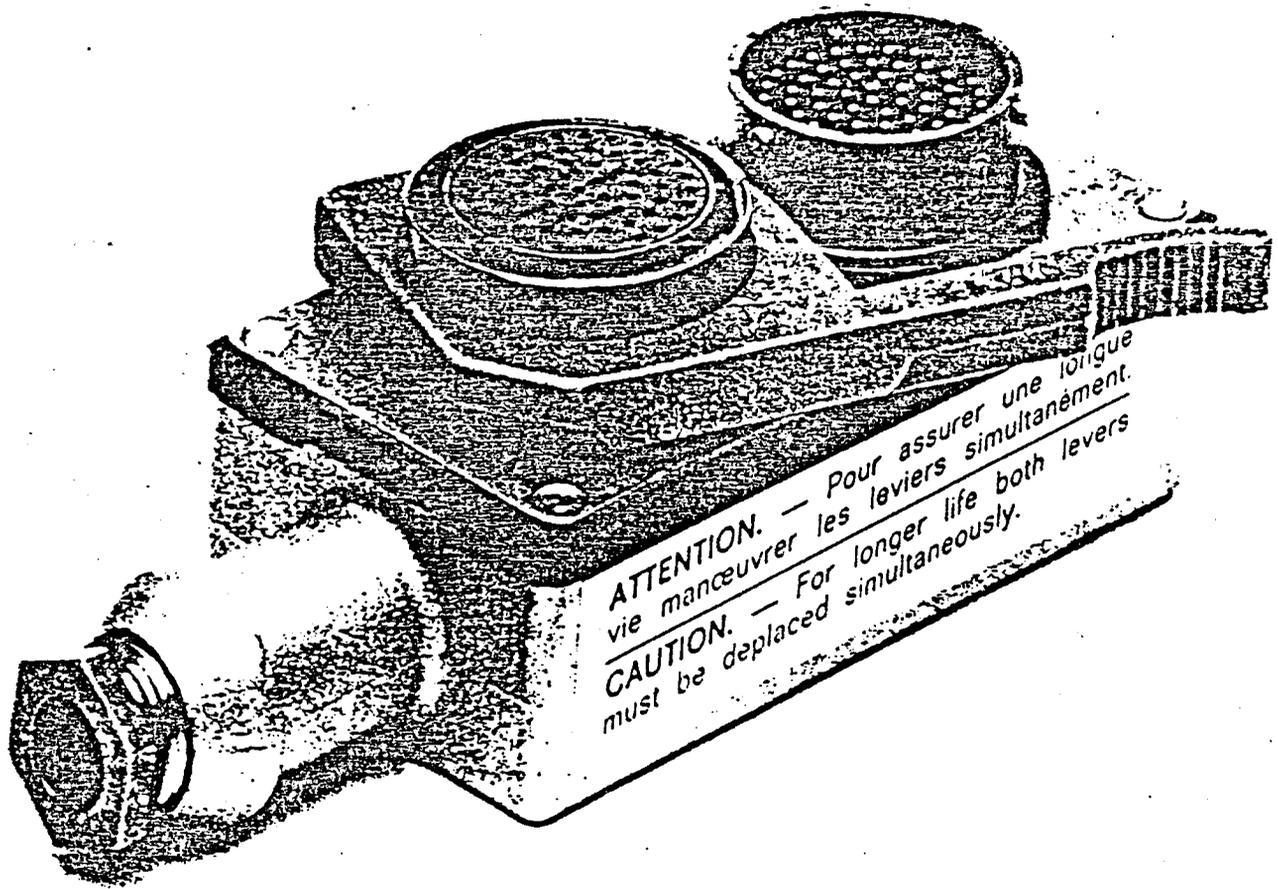
**COMPAGNIE GÉNÉRALE DE GEOPHYSIQUE  
rue Galvani - 91301 MASSY**

**Y. Ollivier**

**YO/FG n° 83/03**

# CONNECTEUR "SOCAPEX"

H110 - H122



BOITIER DE COUVERTURE  
TYPE BC10

Ce boîtier, entièrement statique, permet de réaliser une fonction de sélection au niveau d'un dispositif d'acquisition sismique.

DESCRIPTION

PRINCIPE : voir schéma électrique sur plan BC10/1

Les possibilités de sélection portent sur :

- 96 canaux au niveau entrée
- 2 x 24 canaux au niveau sortie.

Deux curseurs concentriques permettent d'obtenir un repérage des canaux sélectionnés par rapport à une référence terrain.

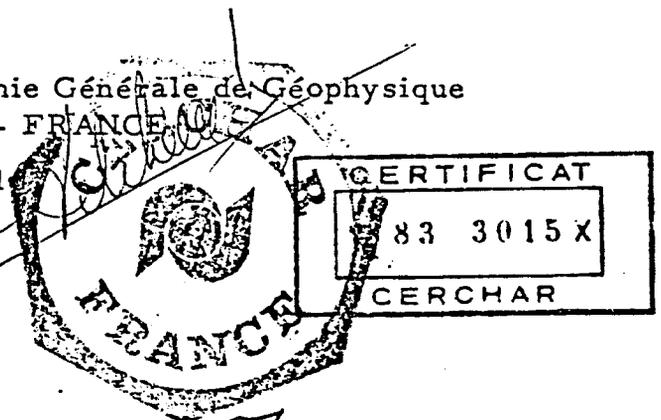
REALISATION MECANIQUE (voir Fig. 1)

L'ensemble est contenu dans un boîtier métallique peint.

- dimensions : 350 x 250 x 150 mm
- poids ..... : 5 kg

Une plaque signalétique gravée et rivetée sur le boîtier porte les indications suivantes :

1. le nom du constructeur : Compagnie Générale de Géophysique  
MASSY - FRANCE
2. la désignation du type agréé : BC10
3. le numéro de l'arrêté d'agrément
4. le numéro de construction.



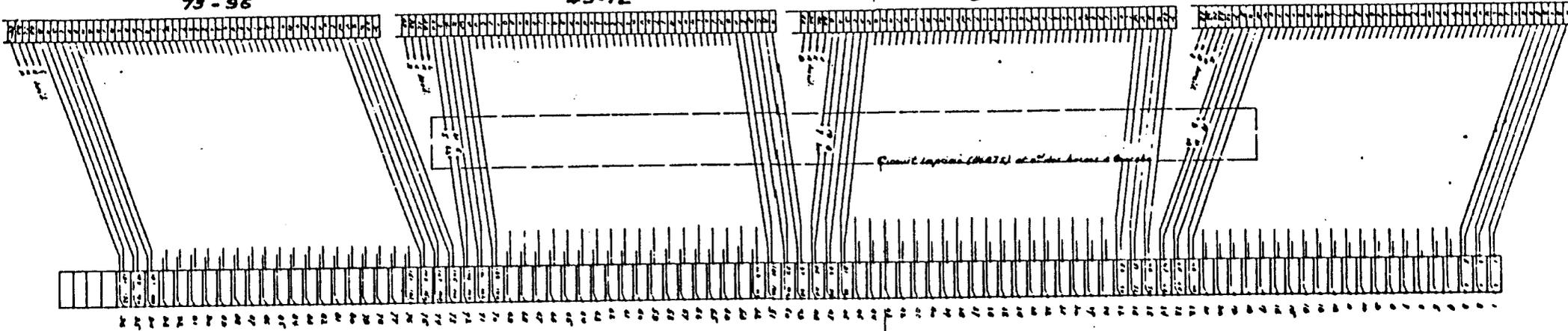
**ENTRÉES**

Embore Remak KPT 05 E 12-55 S "CAHNON"  
79-96

Embore môle KPT 05 E 12-55 P "CAHNON"  
79-72

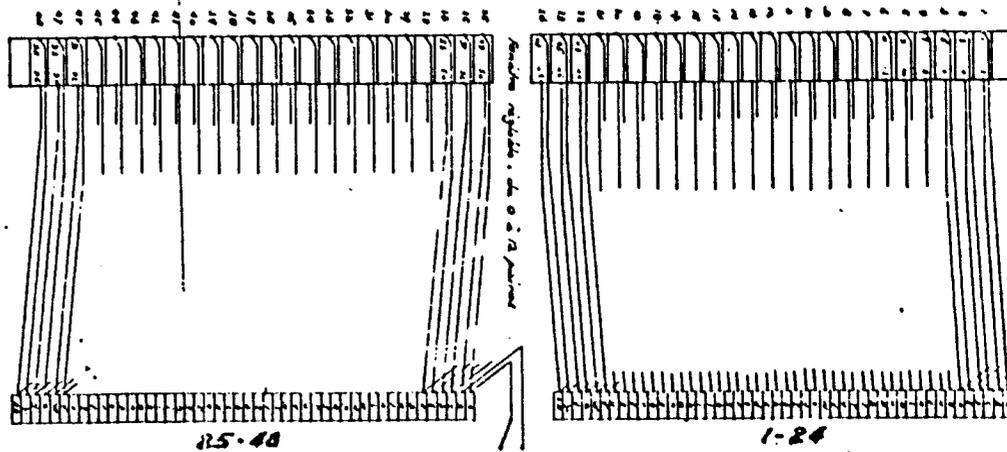
Embore môle EN 01 P 11-55 P "CAHNON"  
25-48

Embore Remak KPT 05 E 12-55 S "CAHNON"  
1-28



Embore Remak Fix. 36 points câblés.

2 Sauts Tournaits - 2 fois 20 points câblés.



**SORTIES** - 2 Embores KPT. 05 E. 12-55. P CAHNON



Embore KPT. 05. E. 12-55. P CAHNON

NOTES: Modification à pour permettre l'utilisation en 200 en parallèle.  
Tous les 200 points par 2000 sont réservés de la norme.

ET AIN EST LA REQUETE MAINTIENANT DE LA C <sup>te</sup> DETAILLE DE REPARTITION	
0	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	
61	
62	
63	
64	
65	
66	
67	
68	
69	
70	
71	
72	
73	
74	
75	
76	
77	
78	
79	
80	
81	
82	
83	
84	
85	
86	
87	
88	
89	
90	
91	
92	
93	
94	
95	
96	
97	
98	
99	
100	

BOITIER DE COUVERTURE BC 10  
BOITIER DE SORTIES - SCHEMA DE CABLAGE

BC 10/1



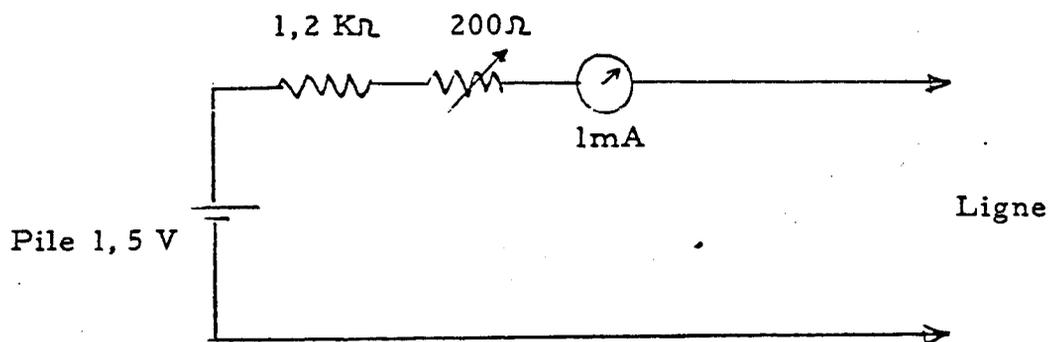
# TESTEUR DE CONTINUITÉ

## TYPE TC 10

Ce boîtier autonome est utilisé pour contrôler la continuité d'un dispositif d'enregistrement sismique.

PRINCIPE (Voir schéma électrique sur plan TC 10/1)

On effectue une mesure de la résistance de ligne en méthode série soit :



### REALISATION MECANIQUE (Fig. 1)

L'appareil est contenu dans un boîtier en tôle acier de dimensions  $210 \times 150 \times 130\text{ mm}$ , poids total : 3kg.

### NOMENCLATURE DU MATERIEL

- 1 boîtier tôle aciérée
- 1 commutateur Chambault, 4 galettes, 2 circuits.
- 1 galvanomètre Guerpillon calibre  $1\text{ mA}$  -  $R = 90\ \Omega$   
=  $2,5\text{ mH}$
- 1 résistance  $1,2\text{ K}\Omega$   $0,5\text{ W}$
- 1 pile torche étanche type R 20  $1,5\text{ Volts}$

- 1 potentiomètre de tarage 500  $\Omega$
- 1 prise type A 110 - prises 22-55 canon
- 1 prise auxiliaire Bernier GO 79

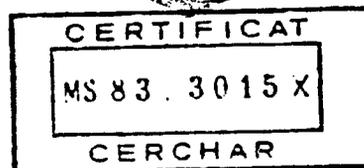
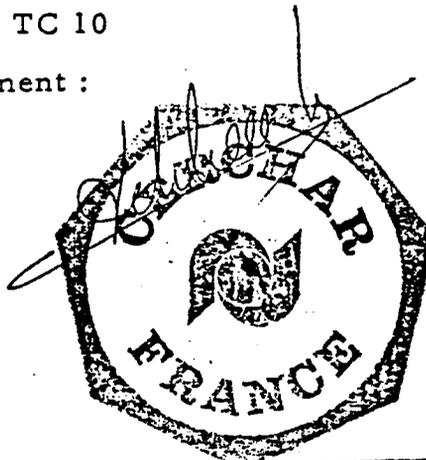
La résistance de protection  $R_1 = 1,2 \text{ K}\Omega$  est fixée rigidement sur un support isolant.

Le boîtier a ses couvercles maintenus par des vis BTR noyées.

SECURITE D'EMPLOI EN MINE GRISOUTEUSE

Le boîtier porte une gravure rivée avec :

- 1 - le nom du constructeur : Compagnie Générale de Géophysique  
MASSY - FRANCE
- 2 - la désignation du type agréé : TC 10
- 3 - le numéro de l'arrêté d'agrément :
- 4 - le numéro de construction :

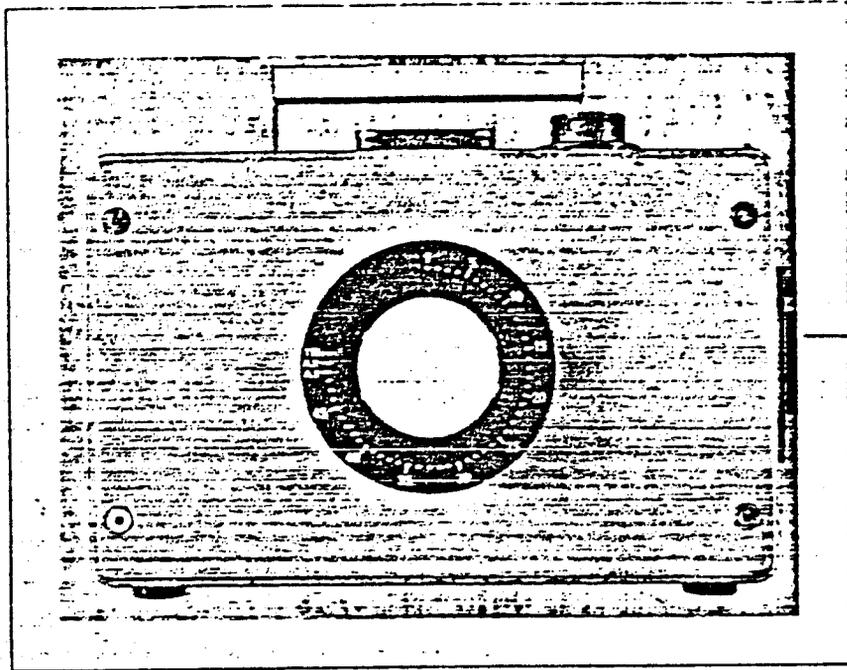


COMPAGNIE GENERALE DE GEOPHYSIQUE  
rue Galvani - 91301 MASSY

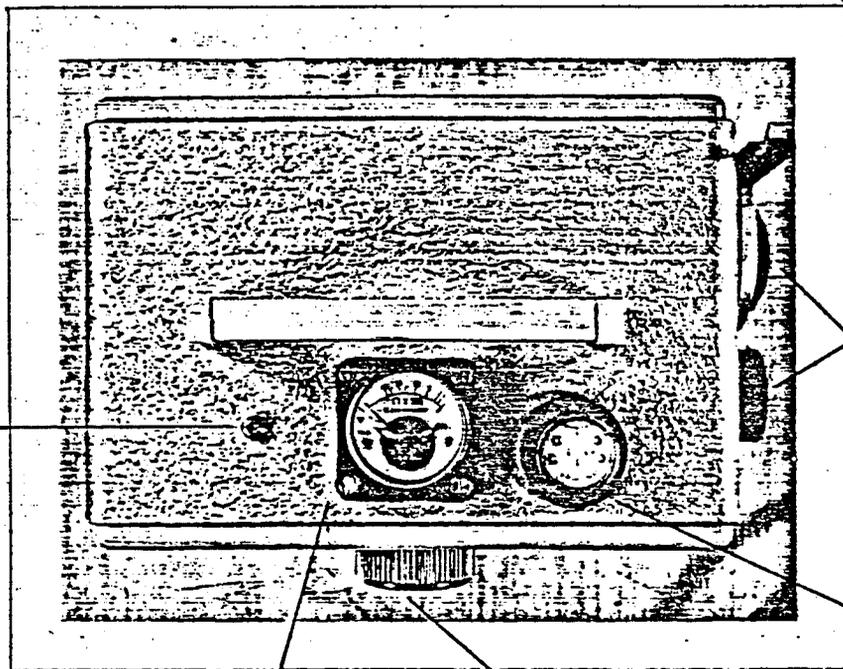
  
Y. Ollivier



TYPE TC 10



prise entrée



Tarage

prise pour  
Test d'un groupe

Géophone

Galvanomètre

Commutateur

Fig. 1

# CAPTEUR DE TIR

## TYPE C10

Ce capteur, entièrement statique, s'intercale en série dans la ligne de tir et en association avec un exploseur type super-boutefeu 850, permet de recueillir une impulsion électrique définissant l'instant zéro du tir.

### DESCRIPTION

PRINCIPE : voir schéma électrique sur plan C10/1

Le capteur comprend essentiellement :

- 1 transformateur d'isolement dont le primaire est intercalé en série dans la ligne de tir.
- 1 dispositif écrêteur de tension constitué par quatre diodes Zener.

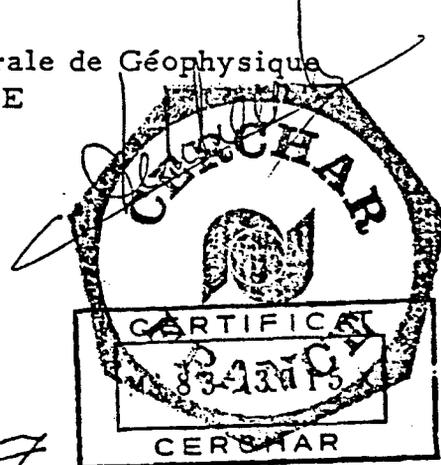
REALISATION : (voir Fig. 1)

Les éléments du capteur sont contenus dans un boîtier en tôle d'acier dimensions : 210 x 150 x 130 mm, poids : 1 kg.

Les couvercles sont fixés à l'aide de vis BTR à têtes noyées.

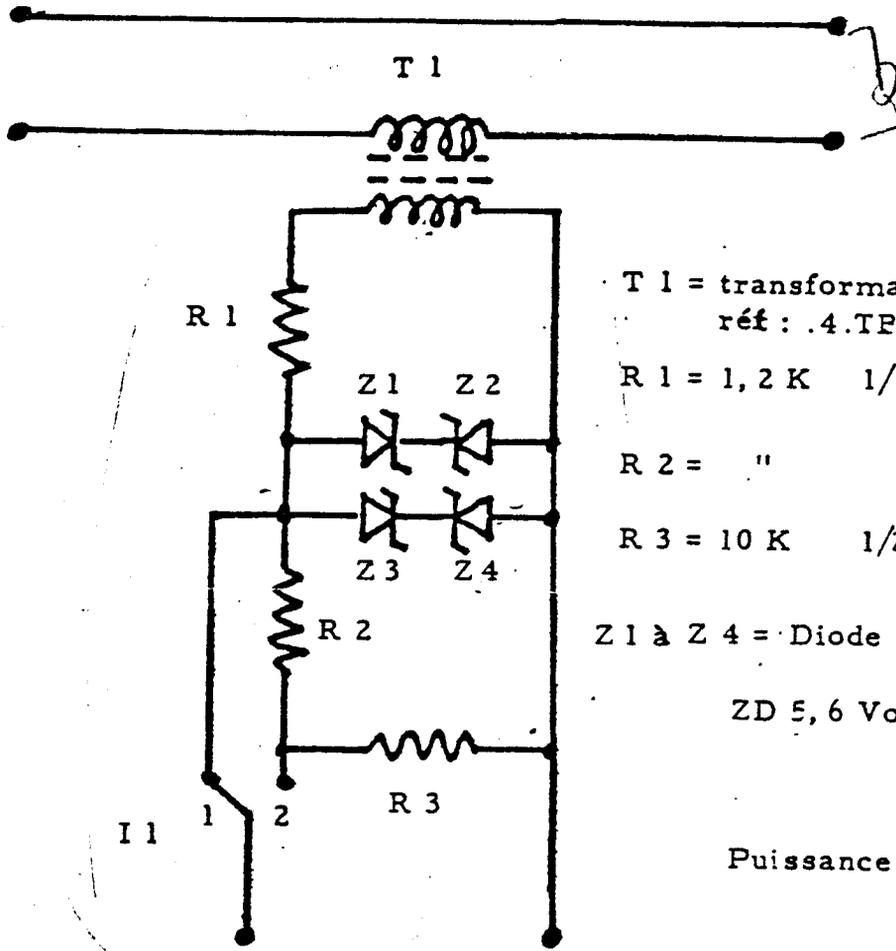
Une plaque gravée et rivetée porte les indications suivantes :

- 1 - le nom du constructeur : Compagnie Générale de Géophysique  
MASSY - FRANCE
- 2 - la désignation du type agréé : C10
- 3 - le numéro de l'arrêté d'agrément :
- 4 - le numéro de construction.



Exploseur

Ligne de tir



T 1 = transformateur  
réf : .4.TP.2741

R 1 = 1,2 K 1/2 W

R 2 = " "

R 3 = 10 K 1/2 W

Z 1 à Z 4 = Diode Zener

ZD 5, 6 Volts

ITT

Puissance : 1,3 W

1 = direct  
2 = atténué

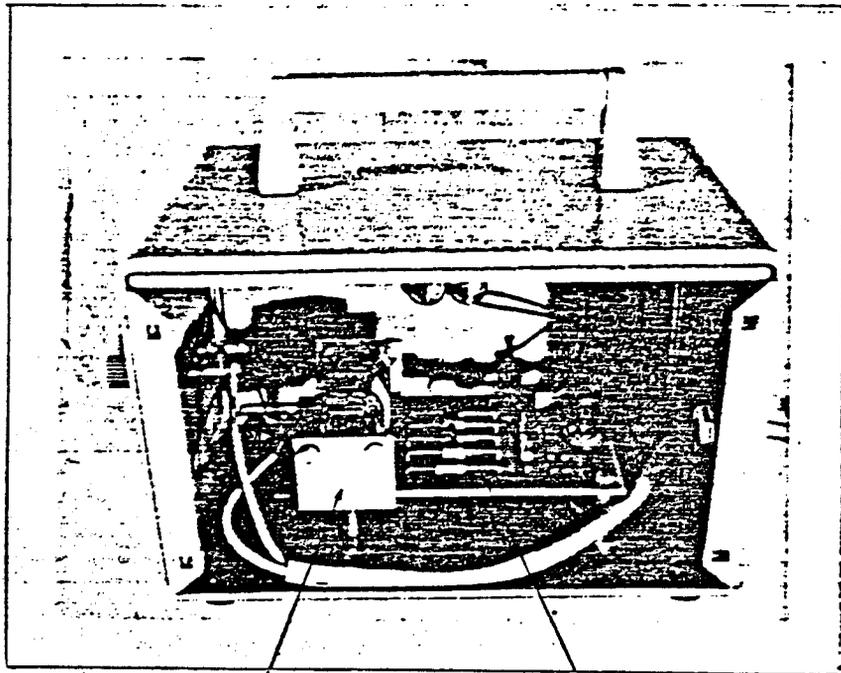
I 1

SORTIE

CE PLAN EST LA PROPRIÉTÉ INALIÉNABLE DE LA C<sup>o</sup> GÉNÉRALE DE GÉOPHYSIQUE

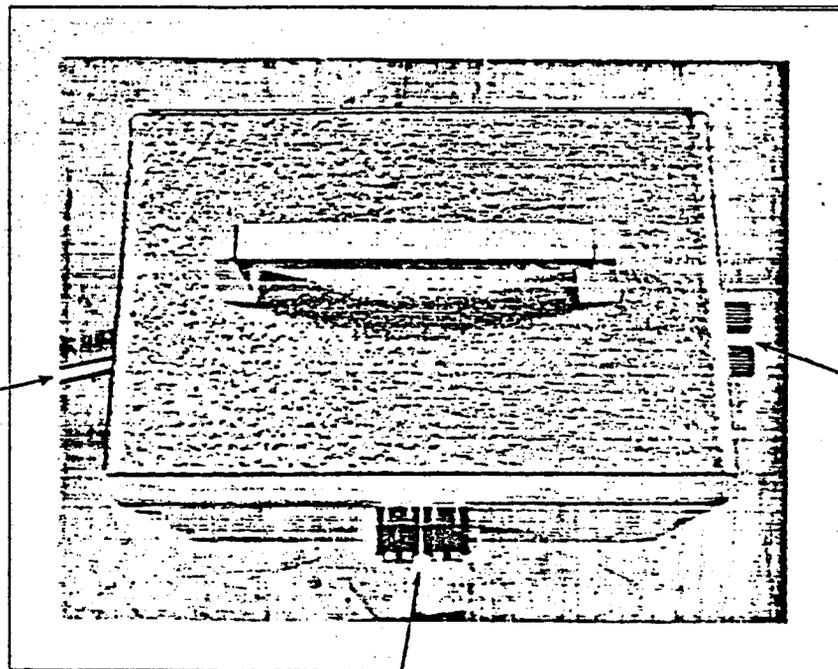
D										D
C										C
B										B
A										A
7. ECHELLE		8. MATIÈRE		9. TOLÉRANCE		10. USINAGE		11. TRAITEMENT		
6. TITRE										
<b>CAPTEUR DE TIR C10</b>										
7. DESSINÉ		8. VÉRIFIÉ		9. SYMBOLE		10. ANNÉE		COMPAGNIE GÉNÉRALE DE GÉOPHYSIQUE		
LE PAR		LE PAR		C 10				S. N <sup>o</sup> DE PLAN		
21/0383 YO		J M A						C 10/1		

# CAPTEUR TYPE C 10



Transformateur

Limiteur de  
tension (Zener)



Entrée  
Exploseur

Vers  
détonateur

Impulsion (temps zéro)

# BARRIERE DE SECURITE

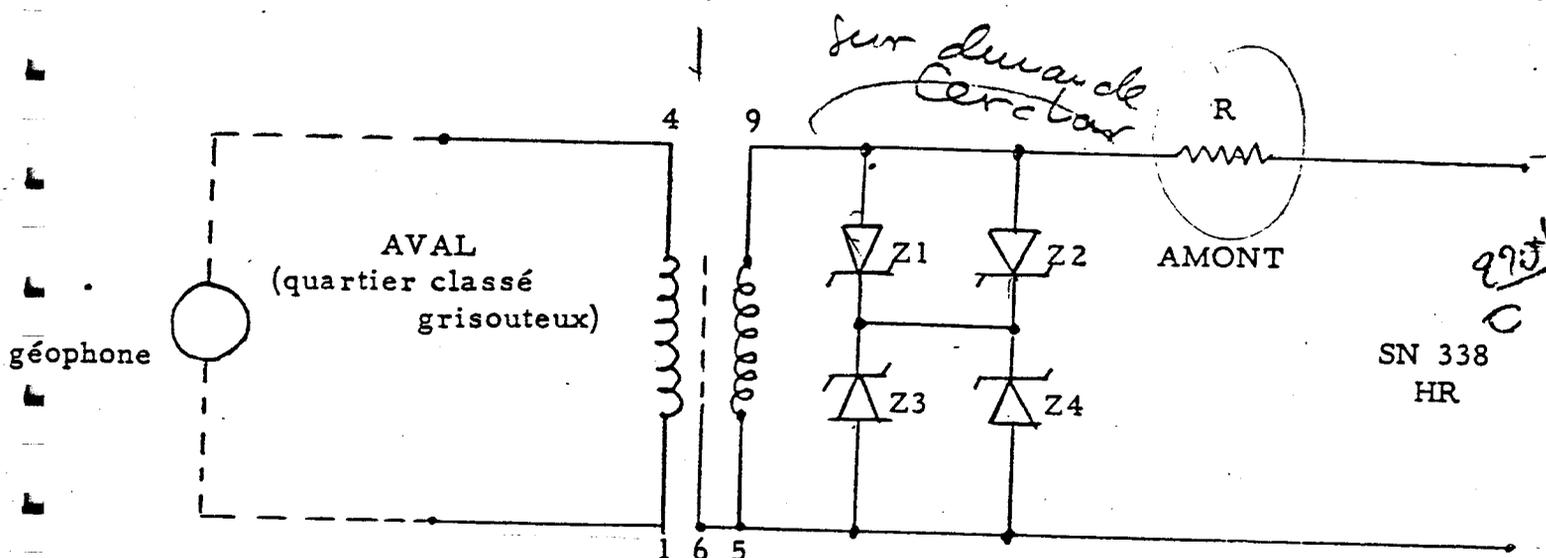
## TYPE BS 10

Cet élément réalise l'interface entre un ensemble de capteurs sismiques disposés en quartier classé grisouteux et un enregistreur sismique non de sécurité disposé en quartier non classé grisouteux.

### DESCRIPTION

PRINCIPE (voir schéma électrique sur plan BS 10/1)

Chaque voie d'enregistrement est conforme à ce qui suit :



On met en œuvre :

- un shunt constitué de diodes Zener elles mêmes protégées par une résistance bobinée vitrifiée
- un transformateur assurant l'isolation galvanique entre les zones amont et aval.

Le dispositif est dimensionné de façon telle qu'il assure sa fonction pour une tension accidentelle issue d'une distribution de fond en 220 Volts eff. entre phases.

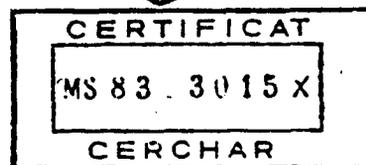
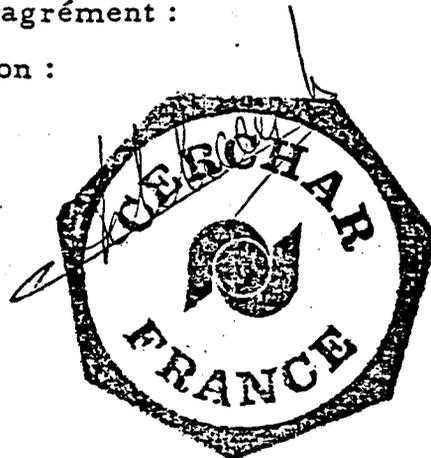
REALISATION MECANIQUE (voir plan BS 10/2 et 3)

Elle se présente sous forme de cartes en circuit imprimé double face ; chaque carte comporte 12 voies.

NOMENCLATURE (voir plan BS 10/4)

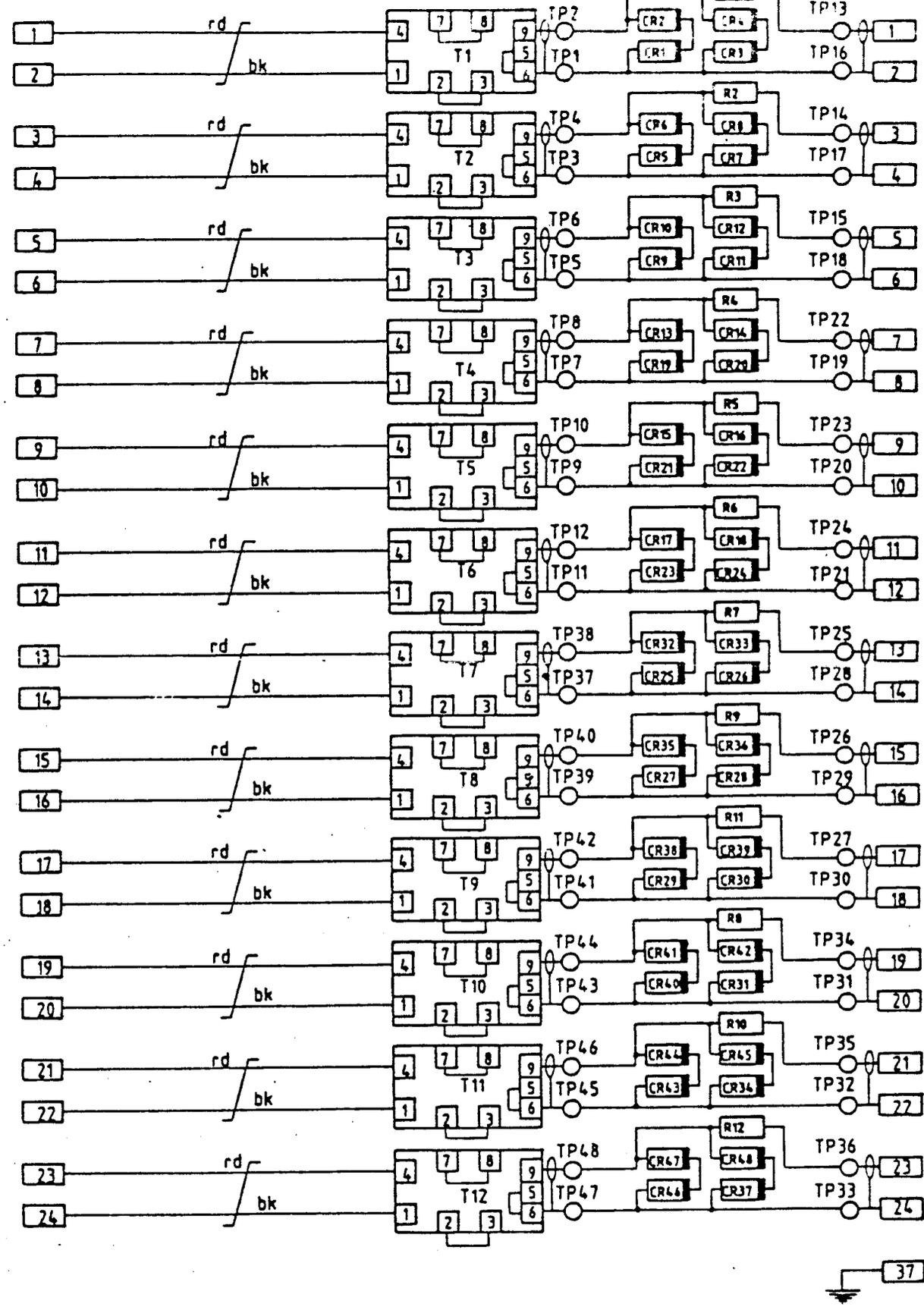
Sur chaque carte, une plaque gravée et rivetée porte les indications suivantes :

1. Le nom du constructeur : Compagnie Générale de Géophysique  
MASSY - FRANCE
2. La désignation du type agréé : BS 10
3. Le numéro de l'arrêté d'agrément :
4. Le numéro de construction :

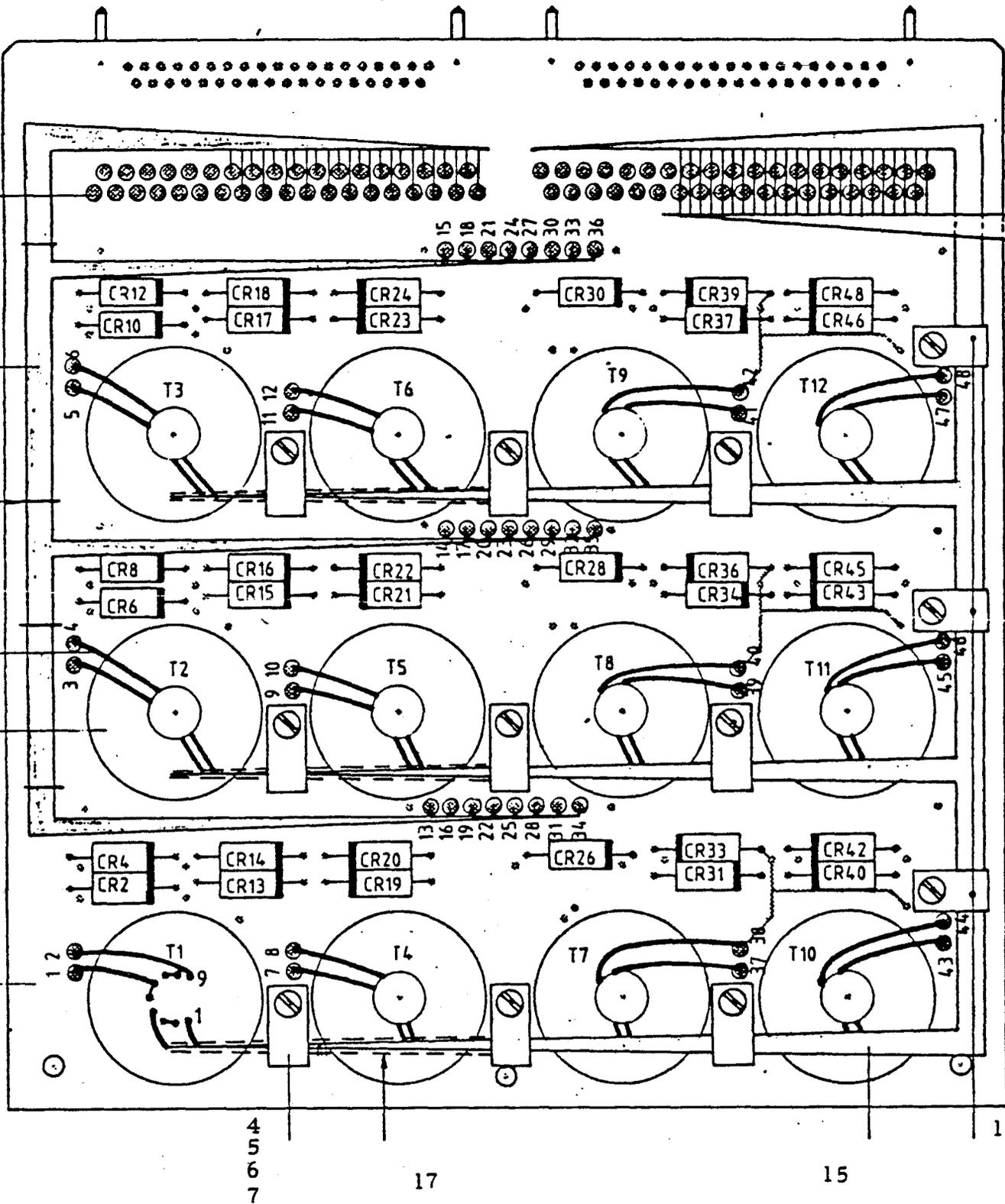


COMPAGNIE GENERALE DE GEOPHYSIQUE  
6, rue Galvani - 91301 MASSY

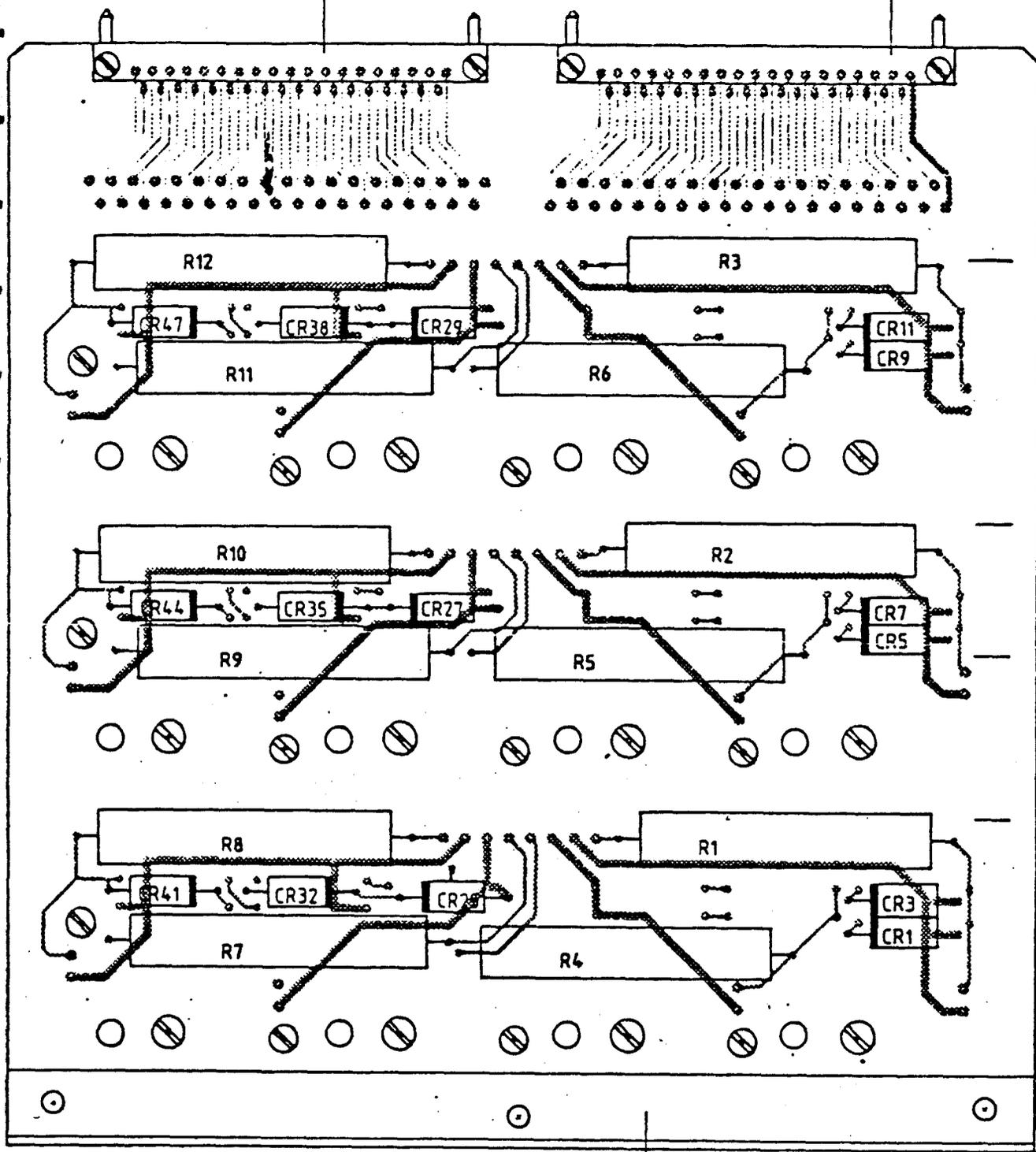
  
Y. Ollivier



M O D I F I C A T I O N S				
7. ECHELLE	8. MATIÈRE	9. TOLÉRANCE	10. USAGE	11. TRAITEMENT
0. TITRE				
<b>BARRIÈRE DE SECURITE TYPE BS 10</b>				
1. <b>DESSINÉ</b>	2. <b>VÉRIFIÉ</b>	3. <b>SYMBOLE</b>	4. <b>ANNÉE</b>	5. <b>COMPAGNIE GÉNÉRALE DE GÉOPHYSIQUE</b>
LE <b>PAR</b>	LE <b>PAR</b>	<b>BS 10</b>		<b>DE PLAN</b>
J M A	J J A			<b>BS 10 / 1</b>



MODIFICATIONS				
7. ECHELLE	8. MATIÈRE	9. TOLÉRANCE	10. USINAGE	11. TRAITEMENT
4. TITRE				
BARRIÈRE DE SECURITE TYPE BS 10				
TL. DESSINÉ	CL. VÉRIFIÉ	D. SYMBOLE	ANNÉE	COMPAGNIE GÉNÉRALE DE GÉOPHYSIQUE
PAR	PAR	BS 10		N. N.° DE PLAN
J M A	J M A			BS 10 / 2



8  
9

MODIFICATIONS				
1. ECHELLE	2. MATIERE	3. TOLERANCE	10. USINAGE	11. TRAITEMENT
6. TITRE				
BARRIERE DE SECURITE TYPE BS 10				
4. DESINE PAR	5. VERIFIE PAR	6. SYMBOLE	7. APPROVE	COMPAGNIE GENERALE DE GEOPHYSIQUE
J M A	J M A	BS 10		8. N° DE PLAN BS 10/3

REPERE	QUANTITE	NUMERO PLAN	IND	DESIGNATION	REFERENCE	FABRICANT	N.LIG
1	1			Circuit ou			1
2	12			Vis F/90° M4 x 10 Amagnetique			2
3	12			Rondelle onduflex φ4			3
4	12			Entretoise ENMET 2 Hauteur 35		Accel	4
5	9			Collier moulé H1P		Hellermann	5
6	24			Vis G M3 x 8 Acier inox			6
7	24			Rondelle onduflex φ3	52 03 0180	Namel	7
8	1			Equerre			8
9	3			Rivet PaP réf. TAP 042		MEOM	9
10	4			Vis G M 2,5 x 18 Acier inox			10
11	4			Rondelle onduflex φ 2,5	52 02 5180	Namel	11
12	1			Eccrou H M 2,5 Acier inox			12
13	3			Collier moulé H3P		Hellermann	13

MODIFICATIONS OU AMENDEMENT

ED	LIGNE	LIBELLE	CONTROLE	DESIGNATION: BARRIERE DE SECURITE
			OLLIVIER 21/4/1983	BS 10/4
				TYPE : BS 10
				1/3

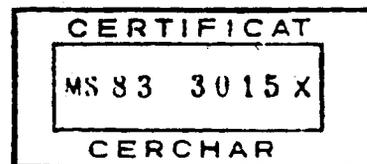
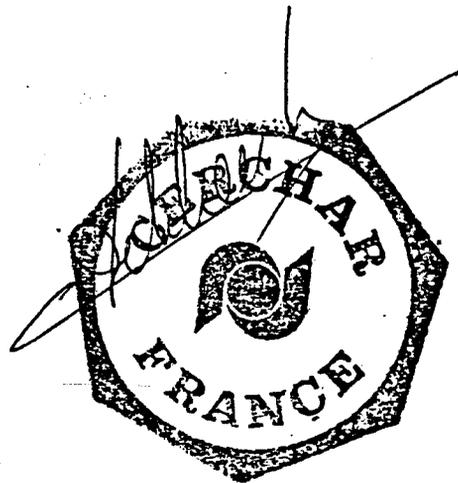
REPÈRE	QUANTITE	NUMERO PLAN	IND	DESIGNATION	REFERENCE	FABRIquant	ME
14	122			Casse réf Y206		MEOM	1
							2
15				Fil de câblage KZ04.06		CABELTEL	3
							4
16				Fil de câblage KY30.04 BLBV		CABELTEL	5
							6
17				Goine thermorétractable SEM 32		HELLERMAN	7
							8
							9
							10
T1	12			Transformateur 4TB 2949N N° 6152		SYSTEL	11
T2							12
T3							13
T4							14
T5							15
T6							16
T7							17
T8							18
T9							19
T10							20
T11							21
T12							22
							23
							24
							25
							26
							27

MODIFICATIONS OU AMENDEMENT				DESIGNATION: BARRIERE DE SECURITE	
ED	LIGNE	LIBELLE	CONTROLE		
			OLLIVIER 211411583	BS1014	TYPE : BS 10
					2/3



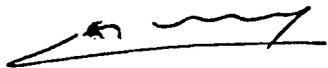
SN 338 HR

ENREGISTREUR SISMIQUE PORTABLE



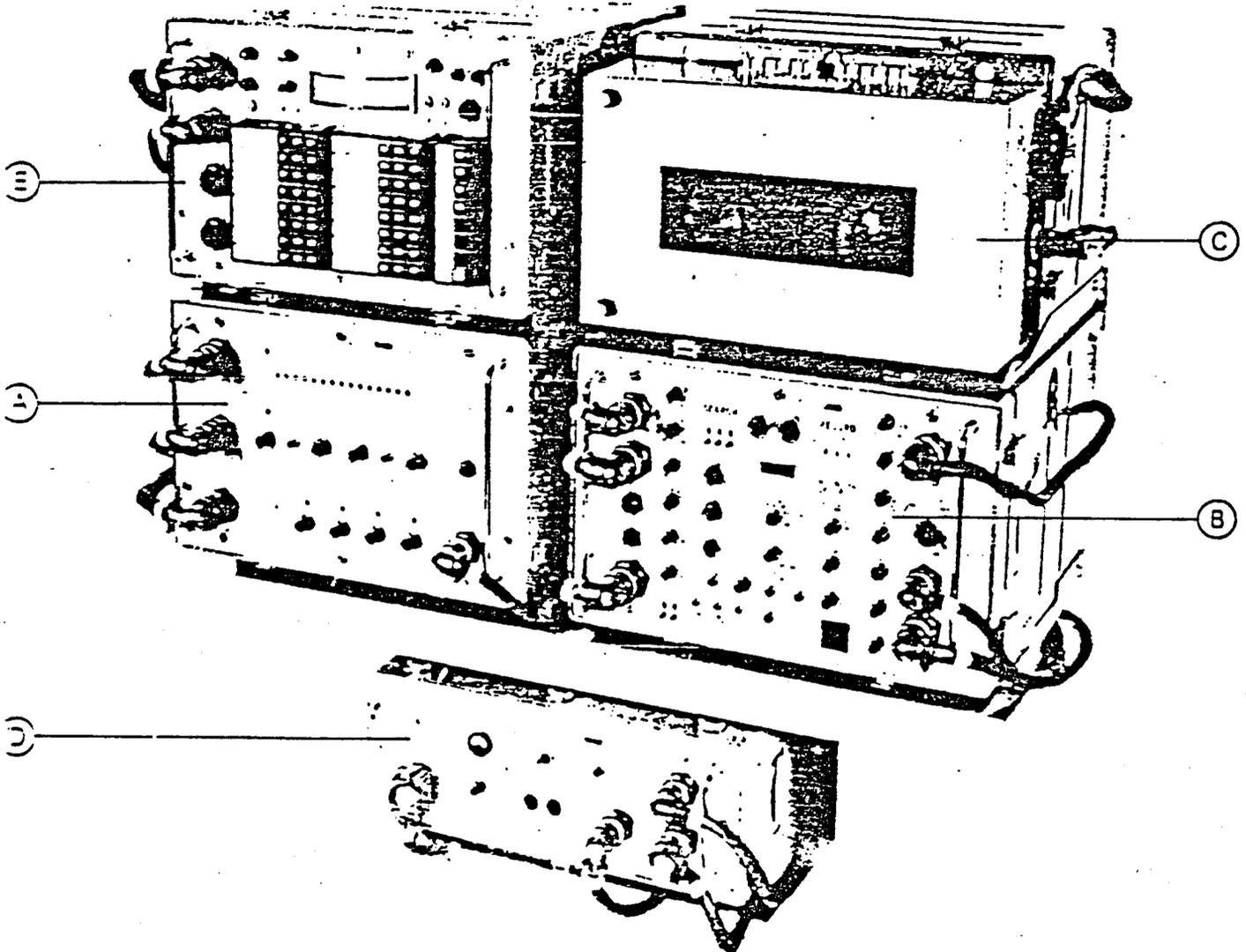
COMPAGNIE GENERALE DE GEOPHYSIQUE  
6, rue Galvani - 91301 MASSY

Y. Ollivier

  
YO/FG n° 83/08

SN 338 HR

VERSION 48 TRACES SISMIQUES (2 ou 4 ms)

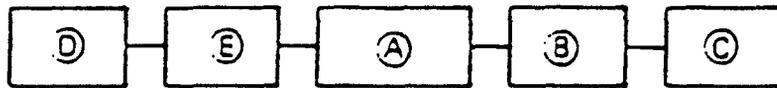


- A = Valise amplificateur
- B = Valise logique
- C = Valise dérouleur
- D = Valise alimentation
- E = Valise entrée

# I CONFIGURATIONS D'ACQUISITION

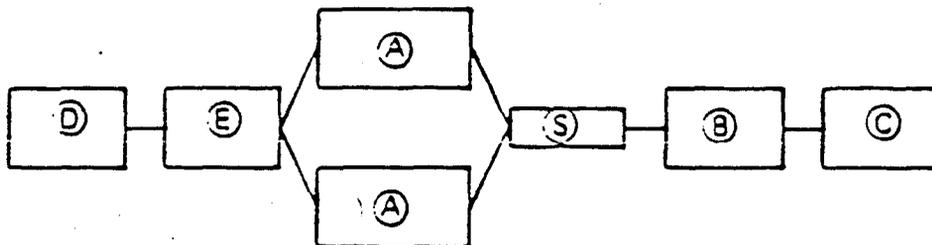
## I.1. SN 338 HR de base

48 canaux sismiques : 2-4 ms  
24 " " : 1-2-4 ms  
12 " " : 0,5-1-2 ms



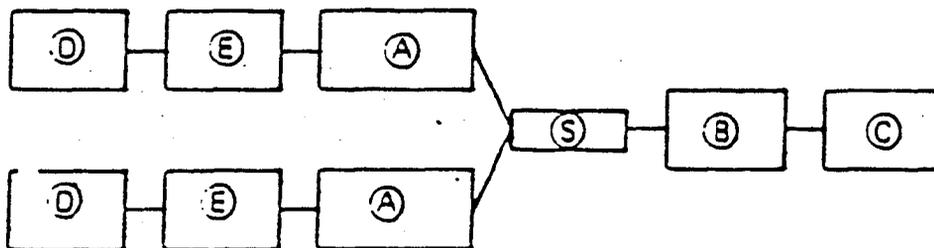
## I.2. Haute résolution

48 canaux sismiques : 1, 2, 4 ms  
24 canaux sismiques : 0.5, 1, 2 ms



## I.3. 96 Canaux

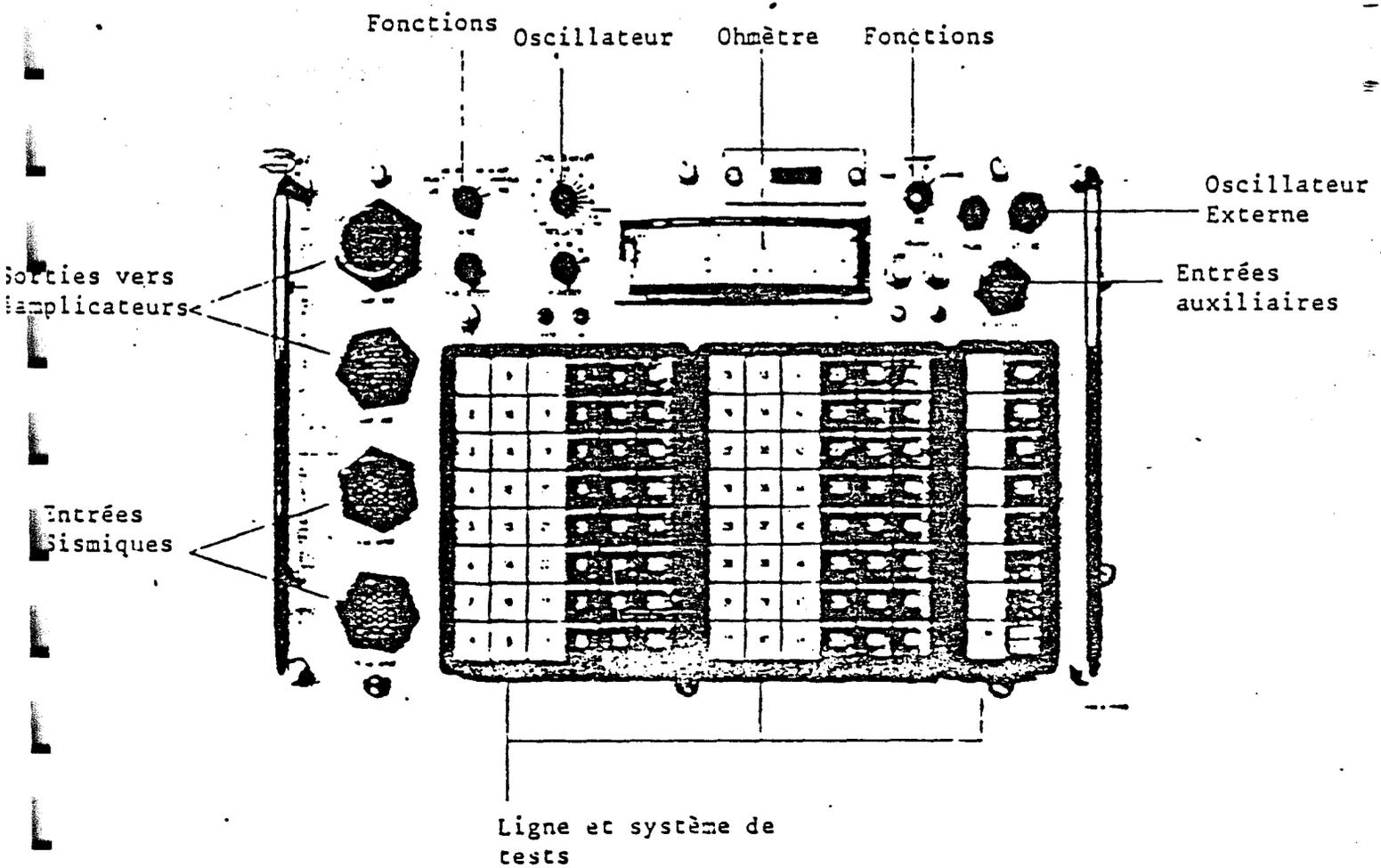
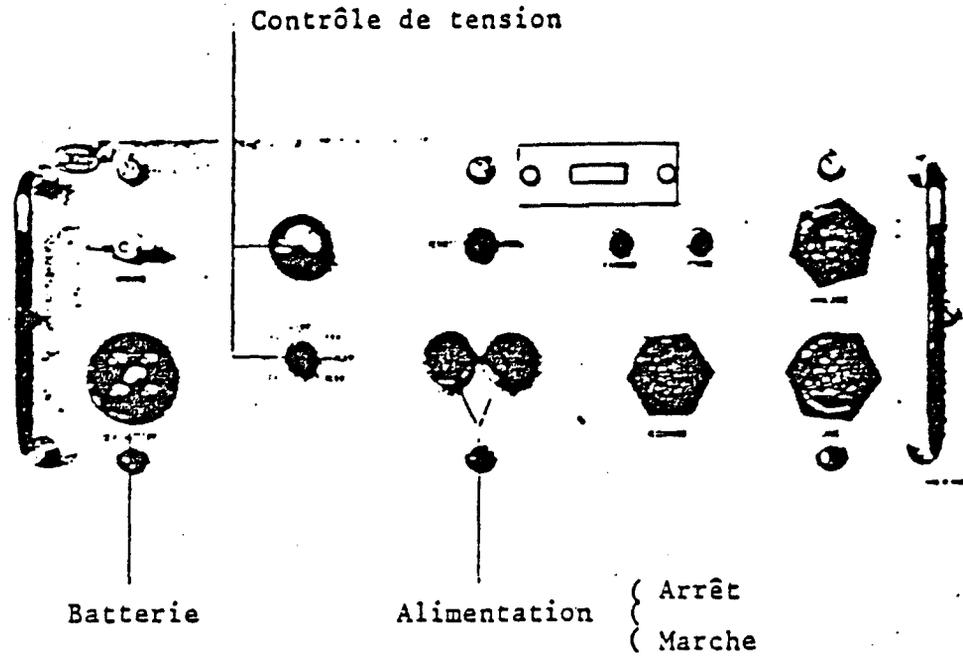
96 canaux sismiques : 2, 4 ms



### LEGEND :

- |   |  |   |                  |
|---|--|---|------------------|
| D | : Valise alimentation                          | E | : Valise logique |
| E | : Valise entrée                                | S | : Enregistreur   |
| A | : Valise amplificateur                         |   |                  |
| S | : Interface (intégré dans une valise A-B ou E) |   |                  |

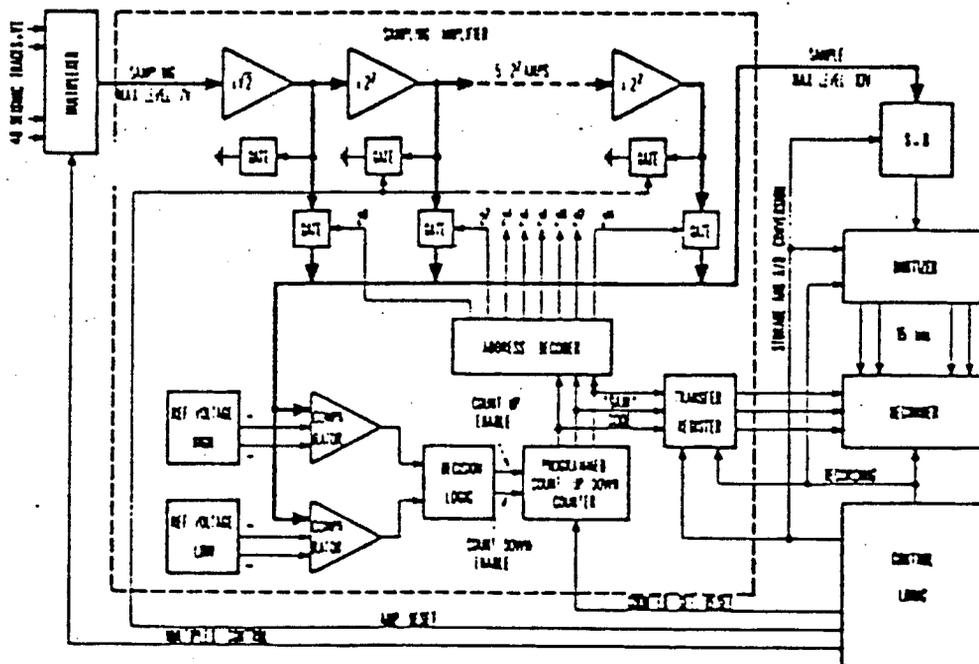
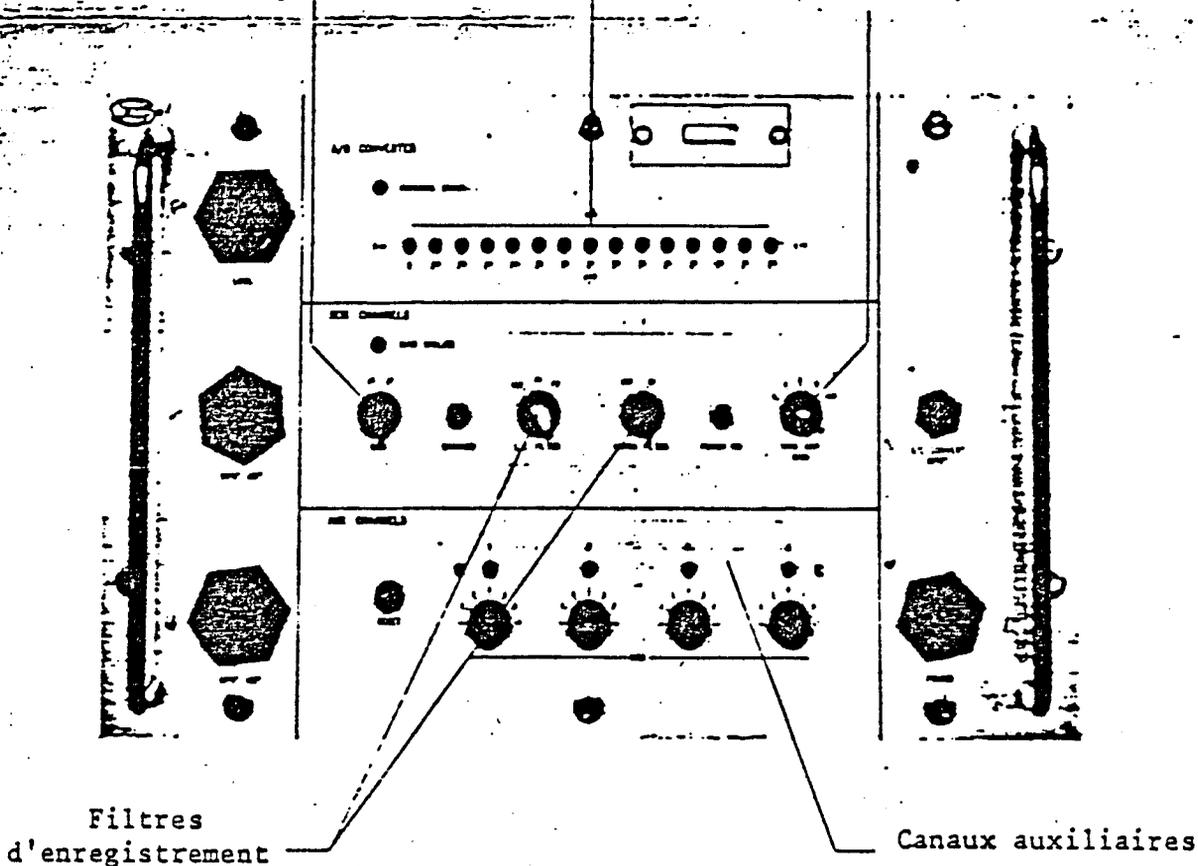
VALISE ALIMENTATION

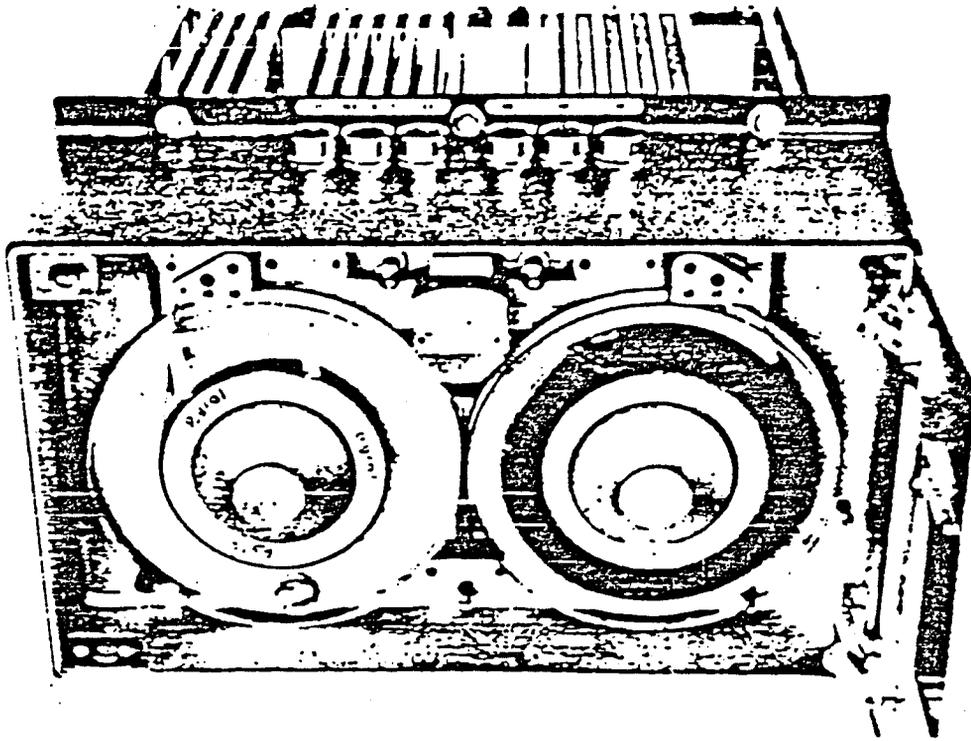


Gain  
Préamplificateur

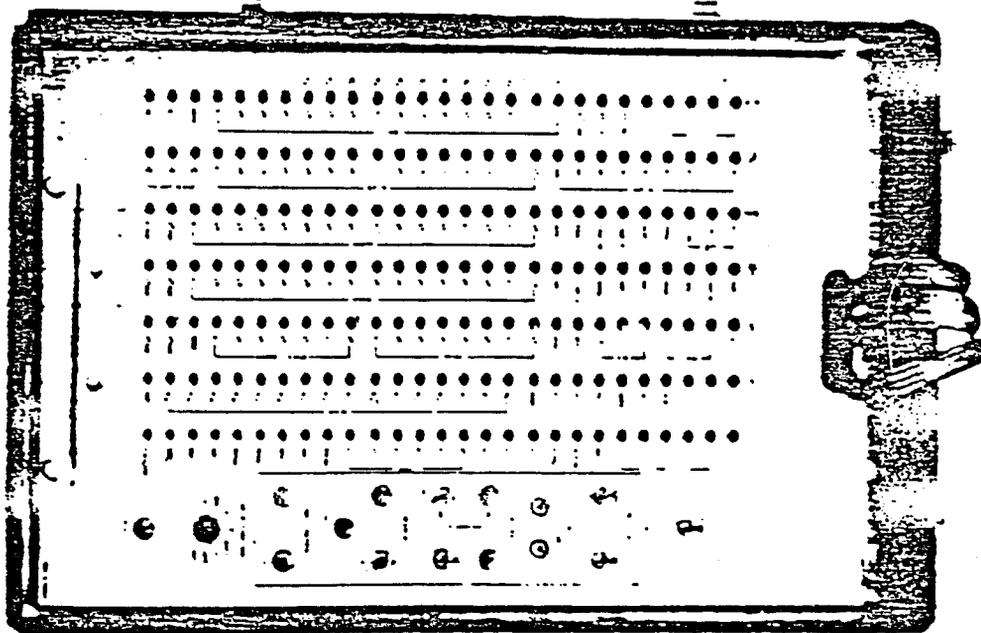
Contrôle  
Conversion  
A/N

Gain amplificateur  
principal  
(Mode test)





PANNEAU DE VISUALISATION (Dépannage)



Prend place dans un des couvercles de l'une des valises précédentes.

### III - RESUME DES CARACTERISTIQUES

#### III.1. ENREGISTREMENT

- Mode : Réflexion ou Réfraction
- Nombre de canaux : 12, 24, 48 ou 96 canaux sismiques avec  
1 canal auxiliaire en version de base  
4 canaux auxiliaires en option
- Impédance d'entrée : (Voir Fig. 7)  
Elle est équivalente à :  
L  $\gg$  500 Henrys  
R  $\gg$  1 M $\Omega$   
C = 0,045  $\mu$ F en parallèle
- Bande passante : 3 à 500 Hz
- Filtres  
(Voir Fig. 1 à 6):
  - Passé haut sans -3 dB à 3 Hz  
F1, F2 12 dB/octave  
choix de 2 fréquences de coupures  
(à -2 dB) parmi les valeurs suivantes :  
8-10-12,5-16-20 et 25 Hz
  - Passé bas 500-250-125 ou 62,5 Hz  
(anti-repliement) 24 ou 48 dB/octave  
72 dB/octave en option
  - Rejecteur (en Option)

F0	point a -3 dB	point a -40 dB
50 Hz	45 et 55,5 Hz	49,95 et 50,05 Hz
60 Hz	54 et 66,6 Hz	59,94 et 60,06 Hz

atténuation a F0 (25° C) 60 dB

atténuation a F0 de 0° à 60° C 30 dB

- Gain : Gain fixe  $2^5$  ou  $2^7$  par manoeuvre d'un commutateur en face avant
- : Gain variable 8 gains de  $2^0$  à  $2^{14}$  par sauts de  $2^2$
- Linéarité  $< 0,05\%$  entre sauts
- Bruit ramené à l'entrée :
  - (entre 3 et 500 Hz) impédance de source  $470 \Omega$

Gain Fixe	Bruit ramené à l'entrée en $\mu V$ efficaces	Signal max
$2^5$	$\leq 0,5 \mu V$	220 mV
$2^7$	$\leq 0,15 \mu V$	55 mV

- OFFSET continu moins de  $0,2 \mu V$  (ramené à l'entrée)
- Distorsion  $\leq 0,1\%$  pour un signal d'entrée compris entre 5 à 500 Hz d'un niveau de 50 mV eff.
- Diaphonie meilleure que -80 dB
- Conversion A/N nombre de bits (14 + Signe)
- Bande magnétique 9 pistes 1/2 inches  
Format SEG B  
Densité 1600 bpi  
6200 en option

### III.2. REPRODUCTION

- Recherche des enregistrements :
  - . en marche avant ou arrière
  - . retour au dernier enregistrement
- Mode de reproduction :
  - . en direct : lecture après écriture
  - . en différé

24 ou 48 canaux simultanés

- Contrôle de gain
    - a) passage de flottant en fixe
    - b) C.A.G numérique
      - gain initial : 0 à 84 dB par sauts de 6 dB
      - vitesse de compression : 6 dB par .1 - 2 - 4 ou 8 pas d'échantillonnage
      - vitesse d'expression : 6 dB par 8 - 16 - 32 ou 64 pas
    - c) Trace gain (Option)
  - Conversion N/A
    - 7 bits + signe
    - niveau de sortie ajustable sur 10 niveaux par sauts de 2 dB
  - Filtres de reproduction :
    - Passe haut : une fréquence de coupure choisie parmi 8 - 10 - 12,5 - 16 20 et 25 Hz plus une position sans filtre
    - pente 12 dB/octave
    - Passe bas : Trois fréquences de coupures choisies parmi 28 - 40 - 56 - 80 125 - 250 et 500 Hz
    - pente 12 dB/octave
  - Niveau de sortie : - une boîte d'atténuation peut être fournie en option, elle permet un ajustage individuel.
  - Numéro d'enregistrement : il est disponible au niveau rejeu caméra sous forme codée.
  - Reproduction des canaux auxiliaires : Elle peut être analogique ou logique suivant la configuration d'enregistrement des canaux considérés.
- Le comptage temps caméra est en général synchronisé par le démarrage du multiplexage.

### III.3. TESTS

- Ohmètre : Continuité : 2 échelles 3 et 10 K $\Omega$   
Fuites : 50 K $\Omega$  à 1/2 pleine échelle
- Oscillateur : Fréquences 10,20,40,50,60 et 80 Hz  
Distorsion inférieure à 0,01%  
Niveau de sortie : 55 m V eff x 2<sup>n</sup>  
avec -15 ≤ n ≤ 0  
  
Précision : 0,02% par saut  
Stabilité : ± 210<sup>-5</sup>/°C
- Signal programmé : il simule la dynamique du signal résultant d'un tir sismique
- Impulsion : positif ou négatif durée 0,2 ms  
départ au temps zéro ou manuel
- Voltmètre numérique : la conversion A/N peut être initialisée par un détecteur de crête, le résultat de la conversion A/N peut être visualisé en face avant.

### III.4. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

Valise	Dimensions mm	Poids kg
-Entrée	531 x 511 x 334	35
-Amplificateur	"	37
-Logique	"	33
-Enregistreur 1600 bpi	514 x 511 x 334	39
-Alimentation	531 x 511 x 195	20

Dirección suprema de minería

Renania-Westfalia

14.22 - 41 - 15

referencia

A d m i s i ó n

de la construcción de una instalación eléctrica de seguridad intrínseca

A solicitud de Prakla-Seismos GmbH, Hannover del 18 de octubre de 1977 - Kl/Pi admito la siguiente construcción de la instalación eléctrica de seguridad intrínseca, conforme al artículo 13, párrafo 1 del reglamento de minas de la dirección suprema de minería de Renania-Westfalia para instalaciones eléctricas del 15-10-71 con reserva de nueva orden:

instalación: instalación de medición sísmica MDH

fabricante: Prakla-Seismos GmbH

Instrumentos admitidos		restricciones	
a) aparato geófono distribuidor de trazas	b) tipo de construcción HGUA MDH/RLS 100	c) líneas cualquiera, que sea pero bien distinguible de las líneas de encendido y demás líneas (color del revestimiento externo azul claro)	las líneas de la instalación de seguridad intrínseca no podrán ser conducidas al interior de instrumentos deflagrantes exceptuando los aparatos mencionados en las columnas a) y b).
módulo análogo	MDH/DFS V módulo análogo A MDH/DFS V módulo análogo B		
módulo de control	MDH/DFS V módulo de control		
aparato de cintas magnéticas	MDH/DFS V transporte de la cinta		
oscilógrafo	MDH/OXBB-Camera		
aparato de mando	MDH/aparato de mando	No se admite el uso de cables libres y demás cables y líneas	
dispositivo de descifra	MDH/tiro teledirigido		
aparato de tiro	ZSUA		
teléfonos con seguridad intrínseca	MTS-H2K1		
piezas de unión veáse suplemento			

Hoja - 2 -

## Descripción corta del 21.10.1977

Planos no.:	HGUA-M 2.1	del 22.12.1977
	HGUA-M 0.2	del 21.10.1977
	MDH-E 1.0	del 22.12.1977
	MDH-E 0.4	del 21.10.1977
	MDH-E 0.5	del 21.10.1977
	MDH-E 7.2.0.3	del 21.10.1977
	MDH-E 1.1	del 21.10.1977
	MDH-M 1.2	del 21.10.1977
	MDH-M 1.3	del 21.10.1977
	MDH-M 1.27	del 21.10.1977
	MDH-M 3.1	del 21.10.1977
	MDH-M 3.4	del 21.10.1977
	MDH-M 4.1.1	del 21.10.1977
	MDH-M 4.1.2	del 21.10.1977
	MDH-M 4.3.1	del 21.10.1977
	MDH-M 5.1	del 21.10.1977
	MDH-M 5.10	del 21.10.1977
	MDH-M 7.2.1	del 21.10.1977
	MDH-M 7.2.2	del 21.10.1977
	MDH-M 7.2.3	del 21.10.1977
	MDH-M 9.1	del 21.10.1977
	MDH-M 9.2	del 21.10.1977
	MDH-M 9.3	del 21.10.1977
	MDH-M 9.5	del 21.10.1977
	MDH-M 9.6	del 21.10.1977
	MDH-M 9.10	del 21.10.1977

Cuadros de	MDH-E 0.1	del 21.10.1977
conexiones no.:	MDH-E 0.3	del 21.10.1977
	MDH-E 1.1.	del 21.10.1977
	MDH-E 1.2	del 21.10.1977
	MDH-E 1.3	del 21.10.1977
	MDH-E 1.4	del 21.10.1977
	MDH-E 1.5	del 21.10.1977

Hoja - 3 -

MDH-E 1.6	del 21.10.1977
MDH-E 1.7	del 21.10.1977
MDH-E 1.8	del 21.10.1977
MDH-E 1.9	del 21.10.1977
MDH-E 1.10	del 21.10.1977
MDH-E 1.12	del 21.10.1977
MDH-E 1.13	del 21.10.1977
MDH-E 1.14	del 21.10.1977
MDH-E 1.15	del 21.10.1977
MDH-E 1.16	del 21.10.1977
MDH-E 1.17	del 21.10.1977
MDH-E 1.18	del 21.10.1977
MDH-E 1.19	del 21.10.1977
MDH-E 1.20	del 21.10.1977
MDH-E 1.21	del 21.10.1977
MDH-E 1.22	del 21.10.1977
MDH-E 1.23	del 21.10.1977
MDH-E 1.24	del 21.10.1977
MDH-E 1.24	del 21.10.1977
MDH-E 2.1	del 21.10.1977
MDH-E 2.2	del 21.10.1977
MDH-E 2.3	del 21.10.1977
MDH-E 2.4	del 21.10.1977
MDH-E 2.5	del 21.10.1977
MDH-E 2.6	del 21.10.1977
MDH-E 2.7	del 21.10.1977
MDH-E 2.8	del 21.10.1977
MDH-E 2.9	del 21.10.1977
MDH-E 2.10	del 21.10.1977
MDH-E 2.11	del 21.10.1977
MDH-E 2.12	del 21.10.1977
MDH-E 2.13	del 21.10.1977
MDH-E 3.1	del 21.10.1977
MDH-E 3.2	del 21.10.1977
MDH-E 3.3	del 21.10.1977
MDH-E 4.0.2	del 21.10.1977

MDH-E 4.6.1	del 21.10.1977
MDH-E 5.1	del 21.10.1977
MDH-E 5.2	del 21.10.1977
MDH-E 5.3	del 21.10.1977
MDH-E 7.1.1	del 21.10.1977
MDH-E 7.2.1.1	del 21.10.1977
MDH-E 7.2.7.1	del 21.10.1977
MDH-E 7.2.10.1	del 21.10.1977
MDH-E 7.2.12	del 21.10.1977
MDH-E 7.3	del 21.10.1977
MDH-E 9.2	del 21.10.1977

Dictamen del Campo

de experimentos mineros: no. 31/77  
del 4.11.1977

Dortmund, a 13 de enero de 1978  
Dirección suprema de minería

por orden:

Schöttelndreier

Certificado

Firma

sello oficial



Intérprete autorizada de los tribunales y notarios de la circunscripción jurídica de Hannover.

Hannover, 12.1.84

Brigitte Schäfer

CAMPO DE EXPERIMENTOS MINEROS  
DE LA CAJA DEL SINDICATO MINERO

46 Dortmund-Derne, Beylingstr. 65  
Postfach 14 01 20  
teléfono (0231) 239041-45  
239058

encargado: Ingeniero Franke  
referencia: 324/594/76 Fe./Rog.

Certificado de verificación no. Z 1193 del 28-6-77  
conforme a artículo 11, párrafo 4 del segundo reglamento de aplicación de la ley sobre productos antideflagrantes (Segundo reglamento de aplicación de la ley sobre explosivos del 28.6.1976, boletín oficial del Estado 1976, parte I, pag.1713 y siguientes)

I. Indicaciones Generales

- 1) Objeto: aparato de tiro eléctrico deflagrante para fines sísmicos  
símbolo conforme al anexo II, segunda ley sobre explosivos: ZM
- 2) Denominación: ZSUA
- 3) Fabricante: Prakla-Seismos GmbH, Hannover
- 4) Solicitador: como mencionado bajo 3)
- 5) Documentos de verificación:
- a) solicitud de verificación del 21-10-1976
  - b) plano no. MDH-E 7.3 con la lista de piezas no. MDH-M 7.1.20  
MDH-M 7.1.10  
MDH-M 7.1.01  
MDH-M 7.1.11  
MDH-M 7.1.17  
MDH-M 7.1.30  
lista de piezas no. MDH-M 7.1 St
- Todos los documentos redactados el 20.10.1976

c) Descripción

Empleo: para encender como máximo 30 espoletas U conectadas en serie en explotaciones antideflagrantes para fines sísmicos

## II Descripción

El aparato de tiro corresponde a las indicaciones establecidas en los documentos de verificación I 5) b) y c).

Veáse las disposiciones relativas a marcación y envase, párrafos V y IX 2. del segundo reglamento de aplicación de la ley sobre explosivos.

## III Verificación

La verificación se efectuó conforme al segundo reglamento de aplicación de la ley sobre materias explosivas (segundo reglamento de la ley sobre explosivos del 28-6-1976, boletín oficial del gobierno federal 1976, parte I, página 1713 siguientes) y conforme a las disposiciones de verificación del anexo I de este reglamento. (suplemento no. 1S/74 del boletín oficial del gobierno federal no. 161 del 30-8-1974). Los números de los puntos de verificación se refieren al anexo I.

- 99 El aparato de tiro dispone de seguridad funcional.
- 100 El aparato de tiro tiene una caja resistente y cerrada.
- 101 Todos los elementos del aparato de tiro son dispuestos de manera que no sea posible un aflojamiento automático
- 102 la construcción del aparato de tiro dificultará un accionamiento por personas no autorizadas.
- 103 El aparato de tiro dispone de bornes fuertes de conexión con tuercas imperdibles. Los bornes de conexión tienen un diámetro cerrado. Son de latón con una resistencia a la tracción  $400 \text{ N/mm}^2$  como mínimo.  
El diámetro de los tornillos fijadores es de 4 mm, el de los tornillos del borne de 6 mm. Los bornes de conexión son protegidos contra contacto casual con piezas bajo tensión.
- 104 Entre los bornes de conexión está instalada una brida de materia aislante que sobrepasa en 8 mm a las conexiones.

- 105 La caja del aparato de tiro y las piezas de metal de la construcción mecánica no servirán de conductor de energía eléctrica. Las conducciones eléctricas desnudas son protegidas mediante materias aislantes especiales. Los bornes de conexión y todas las piezas que sirven de conductores de energía eléctrica tienen una resistencia a perforación eléctrica de 1500 V tensión alterna, exceptuando las piezas metálicas de la caja.
- 106 El material aislante corresponde a las reglas reconocidas de la seguridad técnica.
- 107 Después del accionamiento no habrá carga residual peligrosa sobre la batería de los condensadores
- 108 Se suprime (veáse 109)
- 109 El aparato de tiro de condensadores está asegurado con un dispositivo que hará imposible la puesta en marcha de la corriente de encendido en caso de que un condensador no esté cargado a la tensión de régimen.
- 110 El aparato de tiro para conexión en serie está previsto para 30 espoletas.
- 113 El aparato de tiro suministra conforme a los requerimientos con una resistencia máxima de 125 Ohm y una resistencia de 15 Ohm los corrientes siguientes:
- Después de 1 ms como máximo obtiene una intensidad de 2 A. El impulso eléctrico desde el comienzo hasta el momento en el que la intensidad de corriente alcance nuevamente por primer vez 1,5 A corresponde a más de 18 mWs/Ohm.
- 116 La protección deflagrante del aparato de tiro corresponde a las reglas reconocidas de la seguridad técnica. Conforme a las disposiciones esto no se refiere a los bornes de conexión. Y tampoco a los requerimientos especiales para materias aislantes así como distancia de descarga entre polos opuestos, líneas aéreas y distancia del tipo de protección "mayor seguridad".
- 117 La continuidad de la corriente de encendido no sobrepasa 4 ms. Una vez encendido un impulso no será posible la recarga casual del condensador y el encendido de un segundo impulso. La tensión de pico no sobrepasará 1200 V.

IV Resumen

El aparato de tiro tipo ZSUA de la Sociedad Prakla-Seismos GmbH, Hannover corresponde a los requerimientos establecidos en el segundo reglamento de aplicación de la ley sobre materias explosivas (segundo reglamento de aplicación de la ley sobre explosivos del 28-6-1976, boletín oficial del gobierno federal 1976, Parte I, página 1713 siguientes) referente a aparatos de tiro deflagrante para espoletas U conectadas en serie.

Campo de empleo: 010 solamente para tiros sísmicos  
(conforme al artículo 11 (4)  
Segundo reglamento sobre explosivos)

Indicaciones preliminares  
para el empleo: ningunas  
(Conforme al artículo 14 (4)  
Segundo reglamento sobre explosivos)

Motivos de rechazo: ningunas  
(conforme al artículo 4 (2)  
reglamento sobre explosivos)

Ensayos de comprobación: Ensayos de comprobación no  
(conforme al art. 13 (1) son necesarios  
Segundo reglamento sobre explosivos)

Dortmund-Derne, el 28-6-77

Campo de experimentos mineros  
Firma

El encargado:  
Firma



Intérprete autorizada de los tribunales y notarios de la circunscripción jurídica de Hannover.

Hannover, 12.1.84

Brigitte Schäfer

CAJA DEL SINDICATO MINERO DE WESTFALIA



Campo de experimentos mineros  
Instituto de protección contra explosiones y técnica de explosivos

4600 Dortmund-Derne (14), Beylingstr. 65      encargado: Ingeniero Franke  
Postfach 14 01 20  
Teléfono (0231) 239041-45      referencia: 324/E 1616/77 Fe/Rog  
239057-58

Dictamen de experto no. 31/77  
del 4-11-77

A solicitud de la Sociedad Prakla-Seismos GmbH, Hannover, se ha verificado

la instalación digital MDH

conforme a las disposiciones de la asociación de electrotécnicos alemanes no. 0170/2.61 y no. 0170 d/2.65.

La verificación se basa en los documentos siguientes:

a) Descripción de composición y modo de funcionamiento, establecida en agosto de 1977, revisión A, firmada el 21-10-1977

b) plano no.:	del:	firmado el:
MDH-E 0.1	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 0.2	9.7.1977	21.10.1977
MDH-E 0.3	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 0.4	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 0.5	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 1.1	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 1.2	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 1.3	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 1.4	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 1.5	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 1.6	4.7.1977	21.10.1977

Caja del Sindicato Minero  
Campo de experimentos mineros  
página 2 del dictamen no. 31/77

plano no.:	del:	firmado el:
MDH-E 1.7	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 1.8	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 1.9	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 1.10	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 1.11	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 1.12	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 1.13	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 1.14	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 1.15	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 1.16	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 1.17	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 1.19	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 1.18	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 1.20	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 1.21	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 1.22	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 1.23	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 1.24	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 2.1	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 2.2	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 2.3	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 2.4	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 2.5	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 2.6	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 2.7	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 2.8	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 2.9	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 2.10	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 2.11	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 2.12	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 2.13	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 3.1	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 3.2	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 3.3	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 4.0.2	4.7.1977	21.10.1977
MDH-E 4.6.1	4.7.1977	21.10.1977

Caja del Sindicato Minero  
Campo de experimentos mineros  
página 3 del dictamen no. 31/77

plano no.:	del:	firmado el:
MDH-E 5.1	4. 7.1977	21.10.1977
MDH-E 5.2	4. 7.1977	21.10.1977
MDH-E 5.3	4. 7.1977	21.10.1977
MDH-E 7.1.1	4. 7.1977	21.10.1977
MDH-E 7.2.0.3	4. 7.1977	21.10.1977
MDH-E 7.2.1.1	4. 7.1977	21.10.1977
MDH-E 7.2.7.1	4. 7.1977	21.10.1977
MDH-E 7.2.10.1	4. 7.1977	21.10.1977
MDH-E 7.2.12	4. 7.1977	21.10.1977
MDH-E 7.3	20.10.1977	21.10.1977
MDH-E 9.2	2.10.1977	21.10.1977
MDH-M 1.1	4. 7.1977	21.10.1977
MDH-M 1.2	4. 7.1977	21.10.1977
MDH-M 1.3	4. 7.1977	21.10.1977
MDH-M 1.27	4. 7.1977	21.10.1977
MDH-M 3.1	4. 7.1977	21.10.1977
MDH-M 3.4	4. 7.1977	21.10.1977
MDH-M 4.1.1	4. 7.1977	21.10.1977
MDH-M 4.1.2	4. 7.1977	21.10.1977
MDH-M 4.3.1	4. 7.1977	21.10.1977
MDH-M 5.1	4. 7.1977	21.10.1977
MDH-M 5.10	4. 7.1977	21.10.1977
MDH-M 7.2.1	4. 7.1977	21.10.1977
MDH-M 7.2.2	4. 7.1977	21.10.1977
MDH-M 7.2.3	4. 7.1977	21.10.1977
MDH-M 9.1	29. 3.1977	21.10.1977
MDH-M 9.2	29. 3.1977	21.10.1977
MDH-M 9.3	29. 3.1977	21.10.1977
MDH-M 9.5	29. 3.1977	21.10.1977
MDH-M 9.6	29. 3.1977	21.10.1977
MDH-M 9.10	4. 7.1977	21.10.1977

La instalación digital sirve a la exploración de campos en capas de carbón con ayuda de la sísmica en capa.





Caja del Sindicato minero  
Campo de experimentos mineros  
página 5 del dictamen no. 31/77

tensión nominal de las baterías .....	hasta	10 A
b) tensión de los circuitos de .....	hasta	15 V
senalización		
corriente en los circuitos .....	hasta	150 mA
c) tensión de los geófonos .....	hasta	10 V
corriente en los circuitos de .....	hasta	0,2 mA
geófonos		

#### Resultado de la verificación

El aparato digital sísmico MDH, caracterizado por las indicaciones antes mencionadas se verificó de manera requerida en el artículo 11 del "reglamento minero de la dirección suprema de minería de Renania-Westfalia para aparatos eléctricos del 15 de octubre de 1971". El aparato digital sísmico corresponde a los disposiciones de la asociación de electrotécnicos alemanes no. 0170/2.61 y no. 01170 d/2.66 para tipos de protección f, i, e, s.

#### Instrucciones para verificación por unidad

Para cada aparato digital sísmico habrá que realizar una verificación por unidad conforme al artículo 12 del reglamento minero del 15 de octubre de 1971, y conforme al artículo 49 de la asociación de electrotécnicos alemanes no. 0170 d/2.65. Habrá que controlar los valores de tensión y corriente de los circuitos de seguridad intrínseca. Una vez aprobada la verificación habrá que efectuar las inscripciones prescritas sobre las placas montadas en las cajas.

#### Medidas a tomar para garantizar la protección antideflagrante de la explotación

1. El aparato digital sísmico tendrá que ser de ejecución conforme a las indicaciones vinculantes establecidas, en lo que atañe los elementos de construcción, y sobre todo los valores eléctricos de esos elementos y su disposición.

Caja del Sindicato minero  
Campo de experimentos mineros  
página 6 del dictamen no. 31/77

- 2) No se admitirá una modificación de los valores eléctricos y del funcionamiento del aparato digital mediante modificación de la disposición o mediante el uso de elementos con valores eléctricos diferentes a causa del riesgo de menoscabo de la seguridad intrínseca.
  
- 3) Habrá de conectar las sondas de geófonos y los teléfonos de manera que no sea posible el paso de corriente ajeno a estos circuitos de seguridad intrínseca.

Dortmund-Derne el 4-11-1977  
Campo de experimentos mineros  
Firma

El encargado  
Firma

Intérprete autorizada de los tribunales y notarios de la circunscripción jurídica de Hannover.



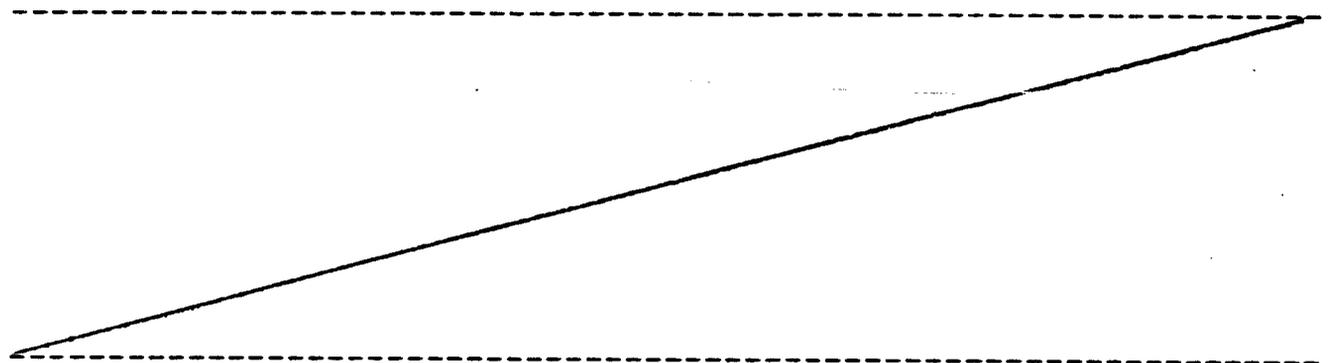
Hannover, 12.1.84  
Brigitte Schäfer



1. Se suprime la fijación del plazo de validez de la notificación de admisión no. 1193.

Por lo demás está vigente el texto de la notificación de admisión no. 1193 así como él del primer apéndice.

2. La admisión se concede con la condición de cuidar por medio de medidas apropiadas que sean eliminadas las interferencias comprobadas del aparato de tiro causadas por el sistema disparador teledirigido.



Berlin 45 / 20-12-1979

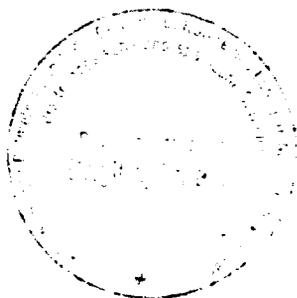
El Presidente del  
Instituto Federal de Inspección  
Material

por orden

Dr. Swart  
(Director y profesor)

Este apéndice consta de 2 páginas.

Apéndices de las notificaciones de admisión sin sello oficial no tienen vigencia.



Intérprete autorizada de los tribunales y notarios de la circunscripción jurídica de Hannover.

Hannover, 12.1.84  
Brigitte Schäfer



denominación: ZSUA/CU 30 K

nombre (firma) y sede del fabricante: PRAKLA-SEISMOS GMBH  
Haarstr. 5  
3000 Hannover 1

nombre (firma) y sede del importador: ----

mátricula de admisión: BAM - ZM - 702

restricción en el empleo: solamente para tiros sísmicos

precepto para el empleo: para encender como máximo 30 espoletas U  
conectadas en serie

La resolución sobre esta admisión se basa en los documentos e indicaciones mencionados en el anexo 1.

De acuerdo con dichos documentos el aparato de tiro deflagrante tipo ZSUA/CU 30 corresponde a los requerimientos establecidos en punto 3.4 del anexo 1 del reglamento sobre explosivos. No existen causas de rechazo conforme al artículo 5, párrafo 2 de la ley sobre materias explosivas.

La modalidad del aparato de tiro tiene que ser conforme a la muestra y a los documentos presentados a la inspección puesto que la admisión se basa en ellos.

Variaciones en composición y forma son lícitas solamente previa aprobación de la autoridad de inspección.

#### Cargas

1. Conforme al artículo 12, párrafo 3 del primer reglamento sobre explosivos hay que comunicar al usuario las disposiciones de la notificación de admisión mencionadas en los párrafos "Restricciones en el empleo" y "Disposiciones para el empleo".

2. En caso de que la fabricación se efectúe en otras fábricas que las indicadas habrá que indicarlo a la autoridad de admisión. Asimismo habrá que indicar el cese de una fábrica. Deberá entregarse una muestra de la producción del nuevo fabricante al campo de experimentos mineros para procedimiento de control.

Berlin 45, el 17-5-1978

El presidente del  
Instituto de Inspección Material

por orden

Dr. K.-H. Swart  
(director y profesor)

Esta notificación de admisión consta de 3 páginas y 1 anexo de 1 página.

Notificaciones sin sello oficial no tienen vigencia.

Documentos e indicaciones pertinentes para la resolución sobre esta decisión:

1. Certificados de prueba del campo de experimentos mineros:
  - 1.1 Certificado de prueba no. Z 1193 del 28-6-1977 referencia 324/594/76 Fe./Rog.
2. Reporte de prueba de la jefatura federal del distrito minero de Nordrhein-Westfalia del 21.3.1978, Referencia 17.13-6-1
3. Indicaciones y documentos de la Sociedad Prakla-Seismos:
  - 3.1 Descripción de una máquina de tiros tipo ZSUA/CU 30 K del 23-12-1977, no. 1.1 REV B
  - 3.2 Disposición eléctrica de la máquina de espoletas tipo ZSUA/CU 30 K del 23-12-1977, no. 2.1 REV B
  - 3.3 Instrucciones para el manejo del aparato de tiro tipo ZSUA/CU 30 K del 23-12-1977, no. 3.1 REV B
  - 3.4 plano no. MDH-E 7.3 "aparato de tiro ZSUA/CU 30 K cuadro de conexiones" del 20-10-1976/ REV A 23-12-1977 con la lista de piezas eléctricas correspondiente no. MDH - E 7.3 ST del 20-10-1976 / REV A 23-12-1977
  - 3.5 plano no. MDH - M 7.1.20 "Caja aparato de tiro" del 20-10-1976/ REV A 23-12-1977
  - 3.6 plano no. MDH - M 7.1.10 "Tapa de caja y cubierta" del 20-10-1976/ REV A 23-12-1977
  - 3.7 plano no. MDH - M 7.1.01 "Ventanas de lámpara" del 20-10-1976 / REV A 23-12-1977
  - 3.8 plano no. MDH - M 7.1.11 "casquillo de cojinete" del 20-10-1976 / REV A 23-12-1977
  - 3.9 plano no. MDH - M 7.1.17 "prolongación del árbol" del 20-10-1976 / REV A 23-12-1977
  - 3.10 plano no. MDH - M 7.1.30 "conector de seguridad" del 20-10-1976 / Revisión A 23-12-1977
  - 3.11 lista de piezas mecánicas no. MDH - M 7.1 ST "aparato de tiro ZSUA/CU 30 K" del 20-10-1976 / REV A 23-12-1977

REV = revisión



Instituto Federal de Inspección Material

Primer apéndice  
de la notificación de admisión no. 1193

A solicitud de la Caja del Sindicato minero de Westfalia  
4630 Bochum

del 12.7.1979

se amplia la admisión limitada del aparato de tiro deflagrante  
otorgada con notificación de admisión no. 1193 del 17-5-1979.

denominación: ZSUA/CU 30 K

nombre (firma) y dirección  
del fabricante:

Prakla-Seismos GmbH  
Haarstr. 5  
3000 Hannover 1

nombre (firma) y dirección  
del importador: -----

matrícula de admisión: BAM - ZM - 702

Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) Unter den Eichen 87 1000 Berlin  
Instituto Federal de Inspección Material  
Teléfono (030)8104-1  
Telégrafo 01-83261

El aparato de tiro ZSUA/CU 30 K podrá ser utilizado para el disparo de aparatos sísmicos, asimismo junto con la instalación disparadora del impulso trigger tipo AVER-DIGIREC 416.

Para la resolución de decisión sobre este apéndice se invoca el apéndice no. I del 27-6-1979 de la notificación de admisión no. Z 1193 del 28-6-1977, referencia: 324/211/79 Fe/Rog del campo de experimentos mineros.

Berlin 45 / 6-8-1979

El presidente del  
Instituto Federal de Inspección  
Material

por orden

sello oficial

Dr.-Ing. Zehr  
(director gerente y profesor)

Este apéndice consta de 2 páginas y 1 anexo de 9 páginas

Apéndices de las notificaciones de admisión sin sello oficial no tienen vigencia.

Intérprete autorizada de los tribunales y notarios de la circunscripción jurídica de Hannover.



Hannover, 12.1.84

Brigitte Schäfer

1. GEOPHYSICS GROUP PERSONNEL

D J Buchanan (Head), P M Taylor, C V Coulling, R A Jack and P W Maxwell (Data Acquisition), R Davis, P J Jackson, M E Finch and S C J Dawson (Data Processing).

2. SITE (see Figure 2)

Standard six feet seam (anthracite), approximately 2 metres thick, looking ahead of F52's face heading.

3. NEIGHBOURING SEAMS

Four Foot seam, 7 - 11 metres above, Upper Nine Foot seam, 11-14 metres below. Neither seam is worked in the vicinity of the survey.

4. PURPOSE

To locate faulting ahead at the face, which had not started producing coal at the time of the survey.

5. FIELD PROCEDURE (SEE FIGURE 3)

Twenty transmission shots were fired across F48's face pillar (about 1 km from F52's face) into a six geophone, two component array. Forty-six reflection shots were fired along F52's face into a 12 geophone y component array selected from the 24 geophones deployed along the face.

6. DATA QUALITY

Good. One channel of data was lost on all shots due to an instrument failure. A low level of mains pick-up was apparent on much of the data and was removed during pre-processing.

7. PROCESSING AND RESULTS

Transmission. An excellent channel wave was observed at all frequencies between 40 and 750 Hz; (see Figure 4) with a velocity of about 1800 m/sec at the lower frequency decreasing to 1050 m/sec at 300 Hz and above.

Reflection. A fairly strong feature was observed at all frequencies from 200 Hz to 500 Hz running at 10 degrees to the face line (see Figure 5). The strength of the reflection is greatest ahead of the left hand gate and decreases to very low levels to the south east.

8. FINAL INTERPRETATION (These results were discussed with Mr D Williams, and Mr C Parry prior to writing this report)

The strength and bandwidth of the reflection are such that it can be interpreted with high confidence as a fault the throw of which must be increasing to the north west (see Figure 1). In this slightly unusual situation, with no workings behind the survey line, there is a possibility that the reflection observed originates not from a fault in front of the face but from a feature behind it, in a position which would be the mirror image of that shown in Figure 1. Despite the existence of a fault in approximately the right position in the left hand gate (Figure 2) this possibility is seen as unlikely. Unfortunately it cannot be entirely discounted without carrying out a second survey on the other side of the heading.

NOTE ADDED AFTER PREPARATION OF REPORT.

After starting coal production on F52's, a fault of throw greater than seam thickness was found in the right hand gate, about 4 metres ahead of the survey line. While this feature is much too close to have been imaged by the seismic survey it may well account for the weakening of the reflection of Figure 5 toward the right hand gate, and it is no longer necessary to invoke a reduction in the throw of the fault in this direction.

The strength of the reflection over the remainder of the survey line indicates that the fault which has been found in the right hand gate does not continue with a significant throw for a distance of more than 50 metres into the panel.

## 9. CONFIDENCE LEVELS

The interpretation given in Figure 1 is on a scale of 1 to 4 in confidence level. The meanings are as follows.

--- . --- . --- The most confident result. It represents seismic results which were produced without any processing difficulties. The signal levels are high and there is little or no ambiguity about the result.

--- .. --- .. --- These results are good and the majority of seismic predictions will fall into this category.

--- ... --- ... --- Considerable effort is required to produce these results, and the signal levels may be relatively low. There may be some associated ambiguity.

..... A result barely worth mentioning and included for information purposes only.

The majority of results will fall into categories 2 and 3. It is possible for the confidence levels to change along the one seismic event.

As a rough guide reconsideration of mining plans should be contemplated for results in the first two categories but not for those in 3 and 4.

By far the most difficult situation is that where the intrinsic confidence level is low, but the mining implications are high. In such a case, action such as proving by an in-seam heading, may well be warranted even on the basis of a low confidence result. This of course is a decision for the mining engineers and not geophysicists.

Another difficult case is where the reflected signal is small simply because the fault is small. There may be little ambiguity in velocity and hence in location, but the event may be given low confidence solely on the basis of low signal strength. At some future date, when amplitude information can be used more quantitatively and diagnostically than at present, it may be possible to place such weak events at high confidence levels.

## 10. FAULT DETECTABILITY

It should be appreciated that the detection capabilities of in-seam seismology are dependent on (amongst other things) the structure and geometry of the target fault. The principal characteristics are as follows.

Throw: unless the fault has a large enough throw it will not be detectable.

Hade Angle: if the hade angle is large then the fault is effectively spread out in range from the survey line. The seismic reflection is not clear and there will be considerable ambiguity in position even if it can be detected. It is the combination of hade and throw that is important. A (relatively) large throw coupled with a very large hade will be a difficult fault to detect.

Trend Angle: the angle which the trend of the fault direction makes with the survey line must not be too large. The maximum angle is dependent on range and the lengths of both the survey line and the fault.

Fine Structure: a fault that is rough in both plan and section will be frequency selective. If the optimum reflected frequency coincides with one that is difficult to measure for other reasons (for example 50 Hz), then detection of the fault will be difficult.

Other Features: in principle, other discontinuities can also be detected. As yet in-seam seismology cannot differentiate between these events. For example, a washout that cuts out the seam sufficiently rapidly may be interpreted as a fault.

#### 11. FOLLOW UP

The area in front of F52's will quickly be proved by mining. The Geophysics Group at MRDE should be kept informed of any relevant information.

#### 12. FURTHER INFORMATION

Field Work - C V Coulling (MRDE Ext 191)  
Processing and Results - P J Jackson (MRDE Ext 194)

#### 13. REFERENCES

1. Fault Location by Channel Wave Seismology in UK Coal Seams - D J Buchanan, R Davis, P J Jackson and P M Taylor. Obtainable on application to D J Buchanan.

#### 14. DISTRIBUTION

##### MRDE

Geophysics Group

##### Denaby

Mr R E Elliott (Chief Geologist)

##### Area/Colliery

Mr M Allen, Area Geologist (15 copies for distribution)

GLOSSARY OF SOME SEISMIC TERMS

- AGC Automatic Gain Control. Typical amplitudes within a seismic record vary considerably, and the amplification of the record is varied smoothly during processing to show up the relatively weak data and to compensate for the progressive decrease in amplitude along the trace.
- ALS Acronym for Adaptive Lag Sum. A method of processing seismic data to produce an image of the geological structure under investigation.
- Channel Wave Also called seam wave. A seismic wave confined mainly to the coal seam and its immediate neighbourhood. Channel waves are dispersive (qv).
- Dispersion The term used to describe a wave whose velocity depends on the frequency components comprising the wave. The physical effect is that the wave becomes elongated as it propagates. The arrival of the wave at any point is not sharp; different frequencies arrive at different times.
- DTG Acronym for Dynamic Trace Gathering. A method of processing seismic data to produce an image of the geological structure under investigation. This technique differs from ALS (qv).
- Geophone The sensor used to detect seismic waves.
- Mix The process of averaging the data in adjacent traces to enhance the continuity of events across them, eg Mix 3 means input traces 1, 2 and 3 are combined to become output trace 1; 2, 3 and 4 become 2; 3, 4 and 5 become 3, etc.
- Move up The increment between the first of each set of input traces to be mixed. Example in definition of mix (qv) has move up 1.
- Offset The distance between shot and geophone.
- Recompression Process by which the effects of dispersion (qv) are removed from the trace, producing a sharp arrival.
- Reflection slowness stack A stack showing the dispersion (qv) of seismic energy reflected at a particular target (qv). If the target represents the true position of a reflector such as a fault, the dispersion should be similar to that of the transmission data.
- Reflection Survey A seismic survey in which the object is to reflect seismic waves from any target in the area under investigation. This will usually (but not necessarily) mean that the shots and geophones (qv) lie on the same roadway or coal face.

- Sercel The seismic recording equipment, that is used, has the name Sercel SN338B. Sercel is the name of the French manufacturer.
- Six-fold Shooting Pattern (n fold) A field procedure designed to enable any possible reflection point within a coal seam to be "seen" by six (n) different shot-geophone pairs.
- Slowness (milli-seconds per metre) The reciprocal of the velocity.
- Taper The data recorded includes a wide range of frequencies, each propagating at a different velocity due to dispersion (qv). Each frequency component is considered separately in processing by filtering out a range (the taper) around the component of interest.
- Target A hypothetical position of a reflector used in sorting the data during DTG (qv).
- Transmission Survey A seismic survey in which the object is to transmit seismic waves across a body of coal such as a panel. This usually means that the shots and geophones (qv) are on different roadways.
- x, y, z Component Geophones (qv) can record seismic waves in three directions, viz vertical and two horizontal directions. The y component is the horizontal direction parallel to the coal face. The x component is the horizontal direction at right-angles to the coal face. The z component is the vertical direction.

FIGURE 2: SITE PLAN.

NY 242.

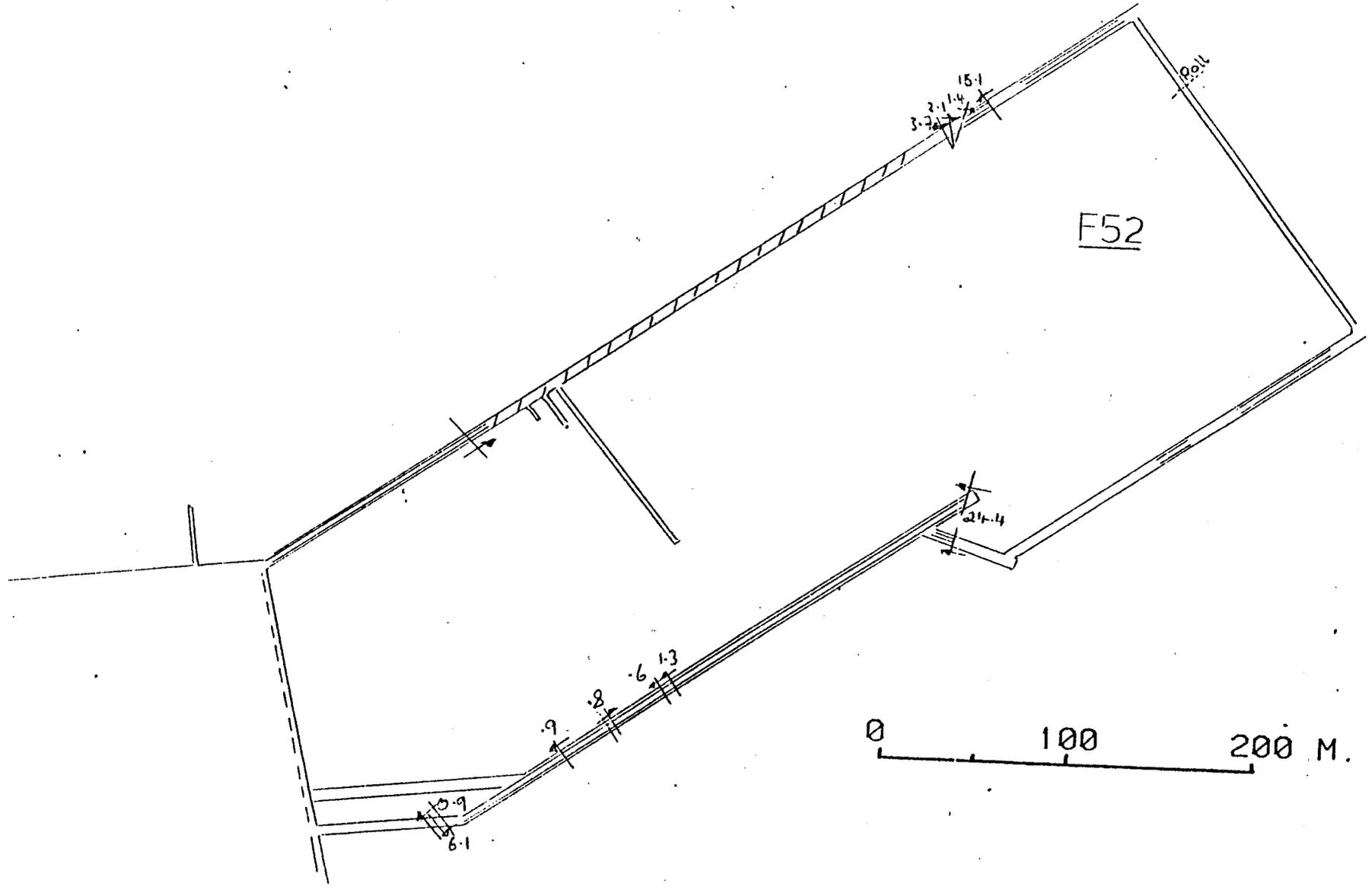
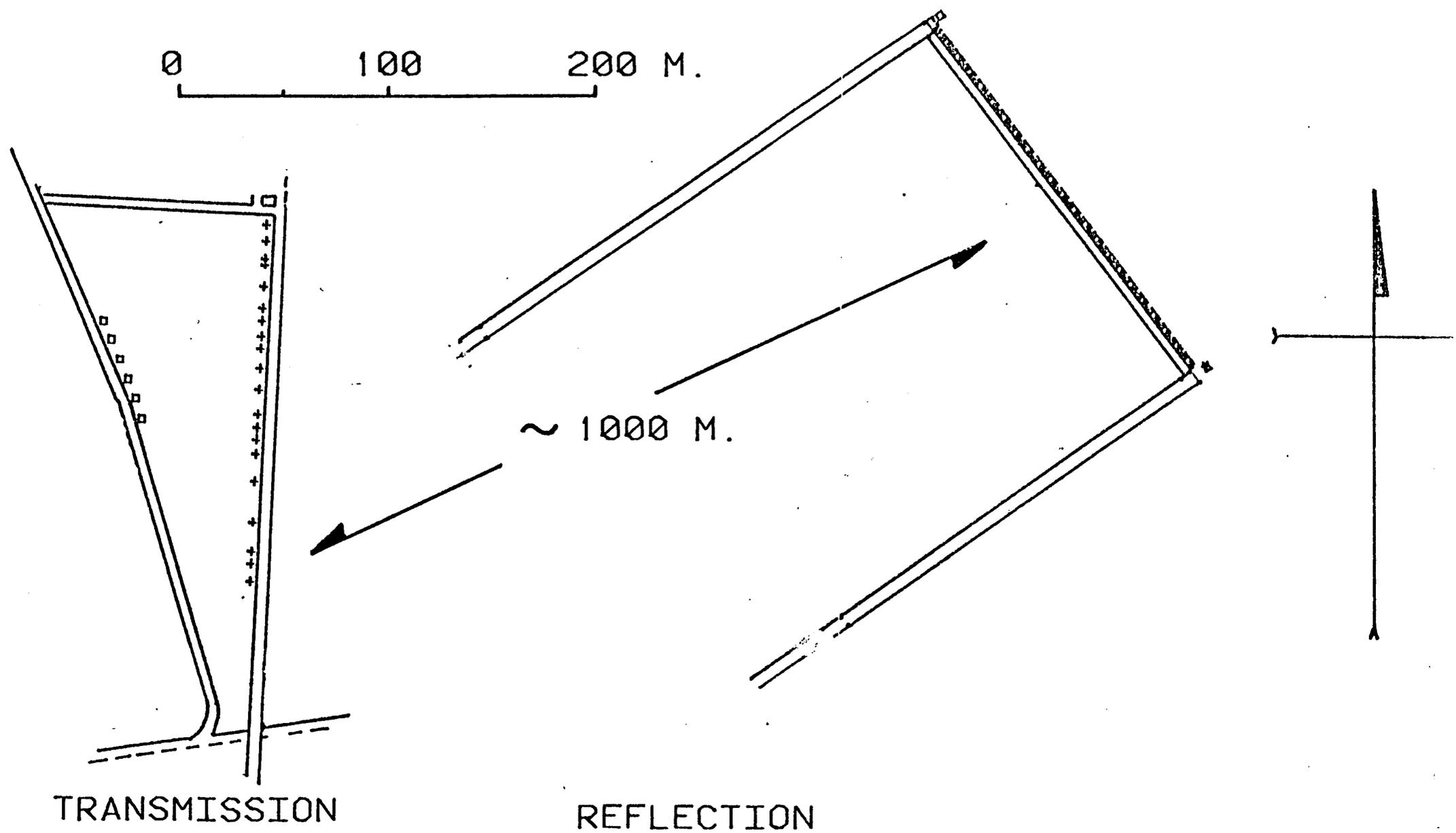


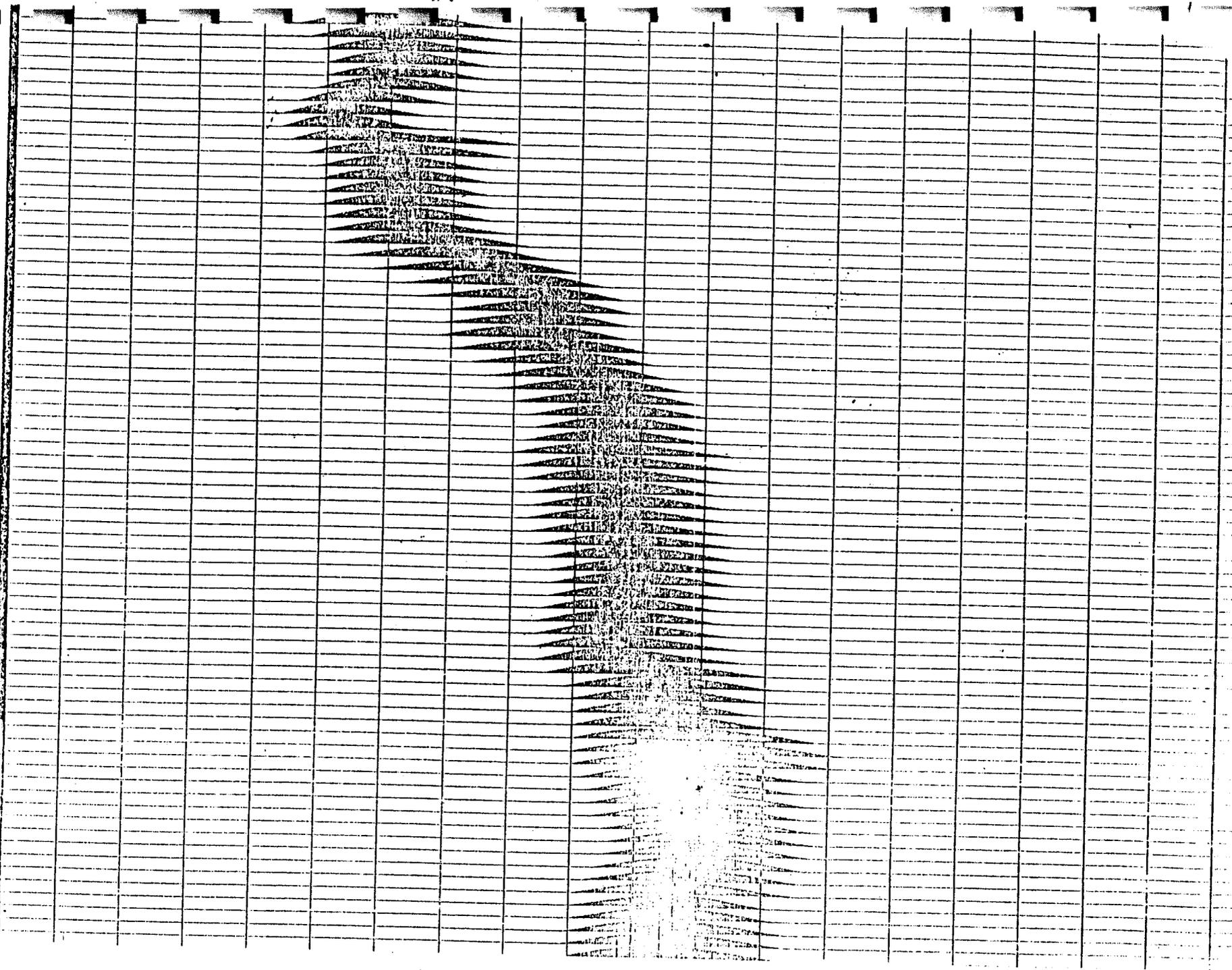
FIGURE 3: SHOOTING PLAN,



FREQUENCY HZ.

743

0

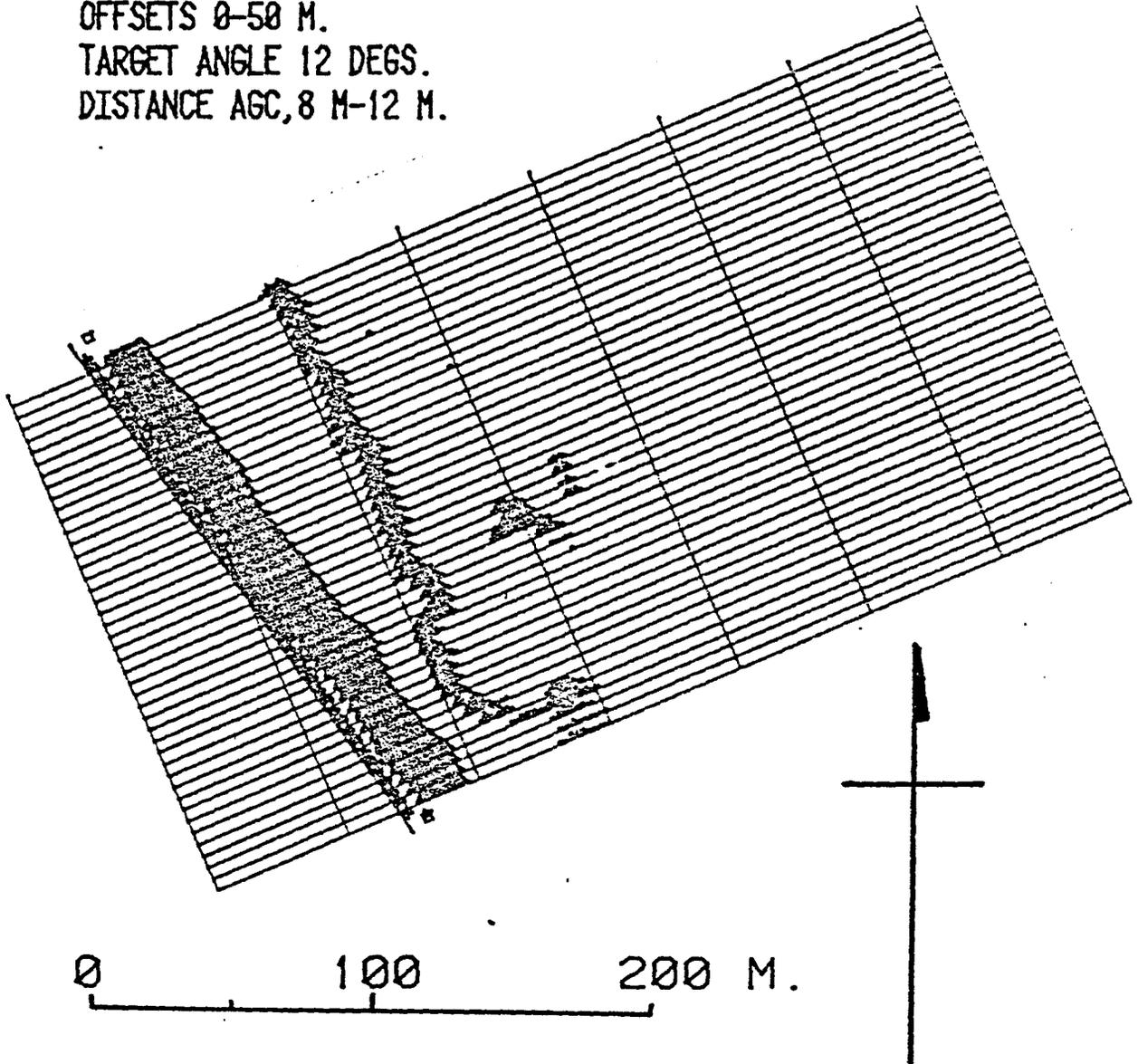


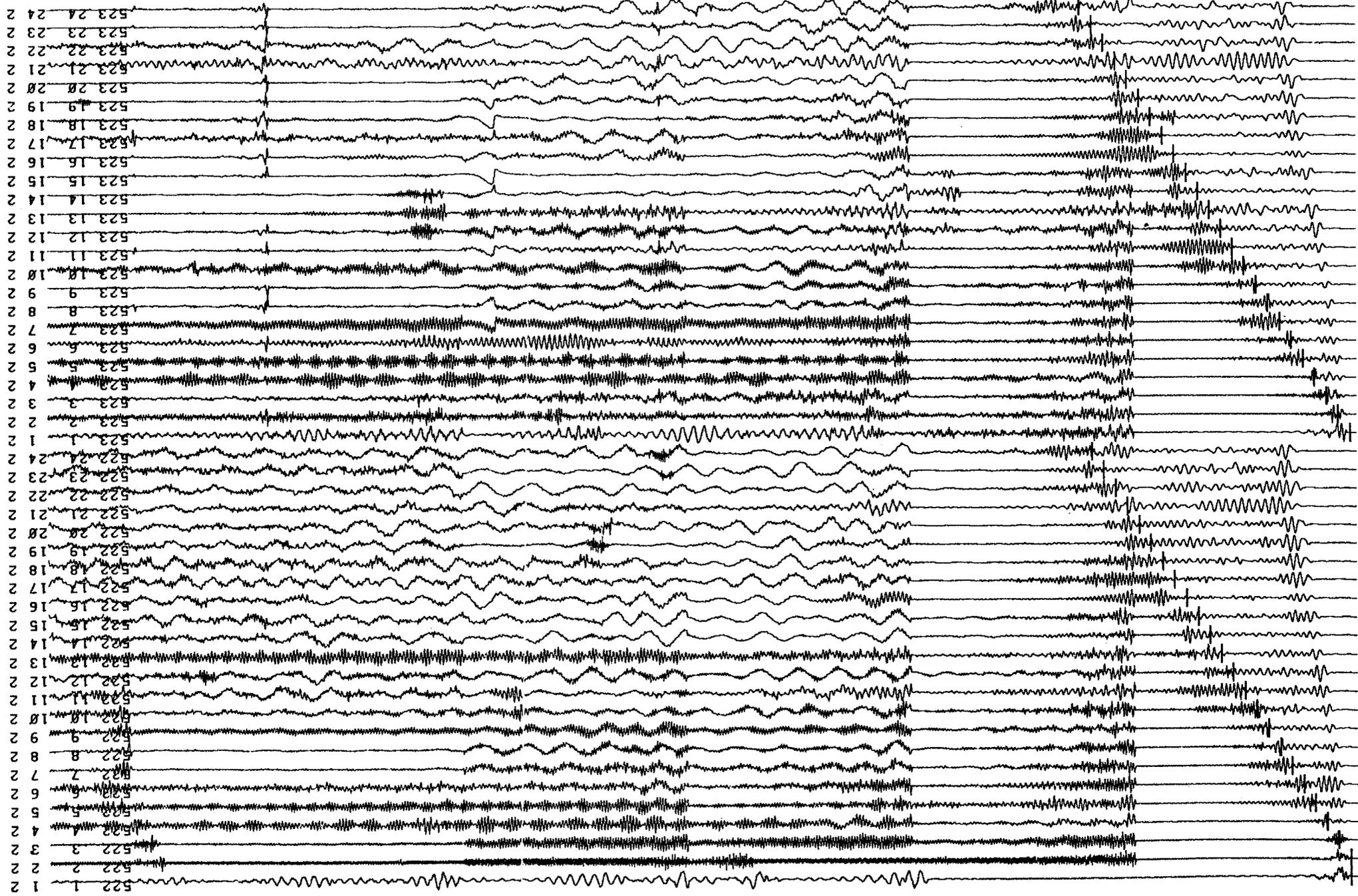
1

2

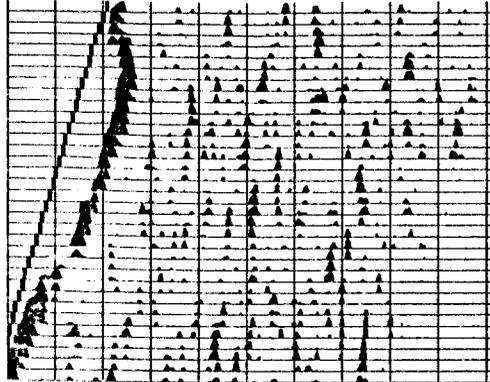
FIGURE 5.

SURVEY 242, F52'S.  
MULTI-FREQUENCY STACK  
230-450 HZ @ 20 HZ.  
MIX=3, 50% SHOWN 96-130 M.  
OFFSETS 0-50 M.  
TARGET ANGLE 12 DEGS.  
DISTANCE AGC, 8 M-12 M.

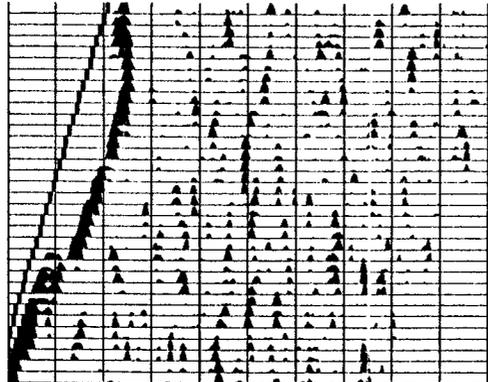




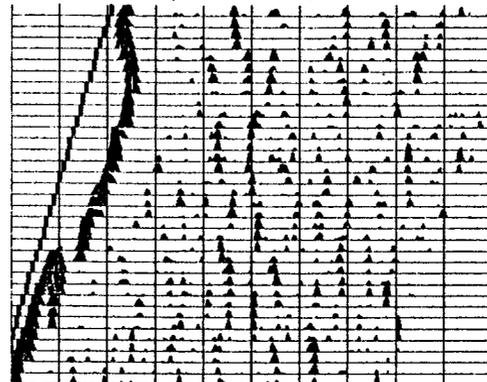
F 31=479, V 877,  $\emptyset$   
A 48, D183, OS 10-999



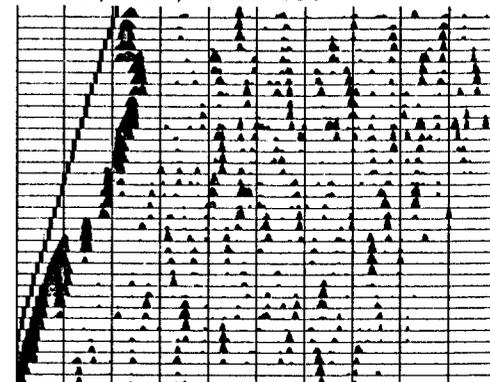
F 32=494, V 882,  $\emptyset$   
A 48, D183, OS 10-999



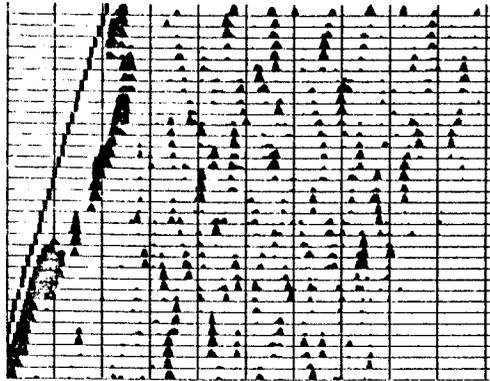
F 33=509, V 883,  $\emptyset$   
A 48, D183, OS 10-999



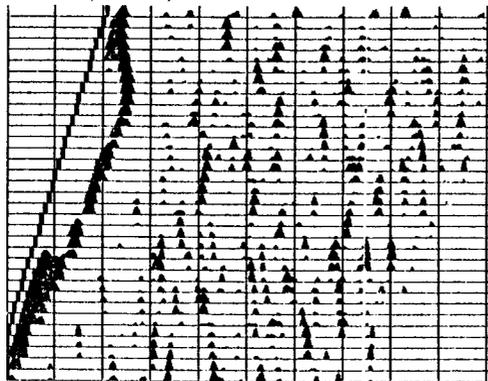
F 34=523, V 885,  $\emptyset$   
A 48, D183, OS 10-999



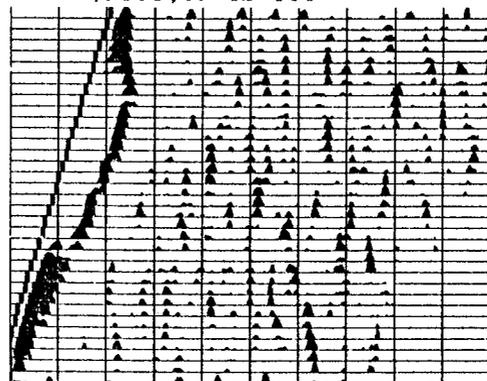
F 35=538, V 886,  $\emptyset$   
A 43, D183, OS 10-999



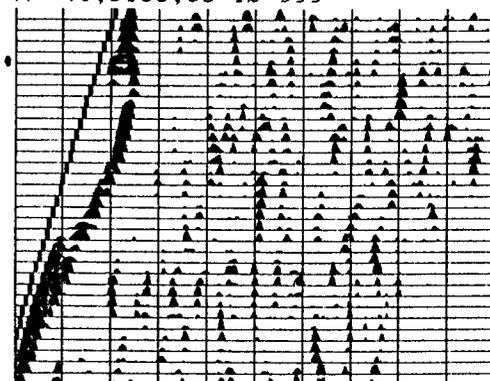
F 36=553, V 888,  $\emptyset$   
A 48, D183, OS 10-999



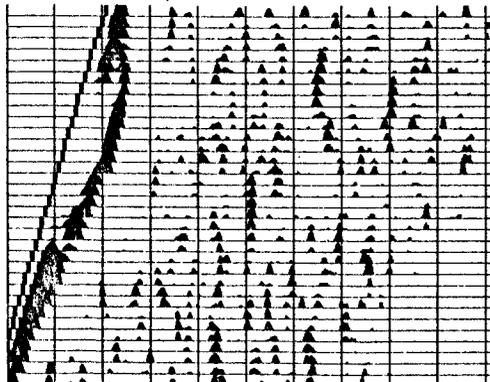
F 37=567, V 890,  $\emptyset$   
A 48, D183, OS 10-999



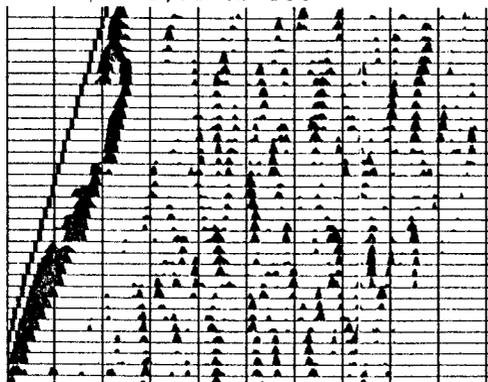
F 38=582, V 891,  $\emptyset$   
A 48, D183, OS 10-999



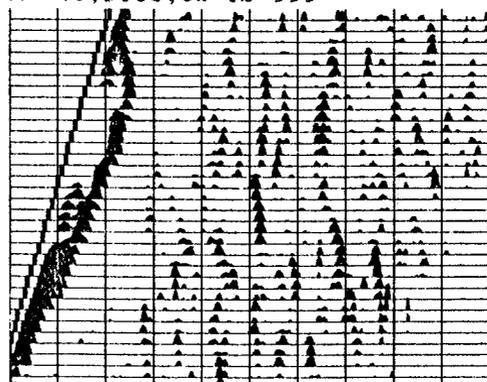
F 39=597, V 893,  $\emptyset$   
A 48, D183, OS 10-999



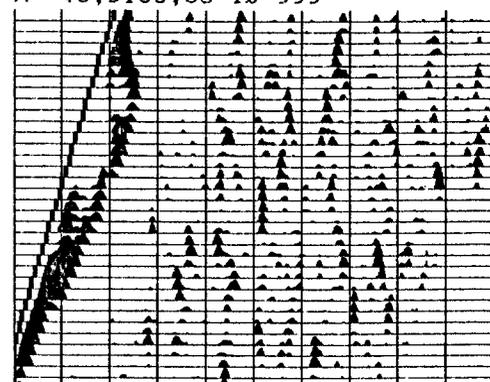
F 40=611, V 894,  $\emptyset$   
A 48, D183, OS 10-999



F 41=626, V 896,  $\emptyset$   
A 48, D183, OS 10-999

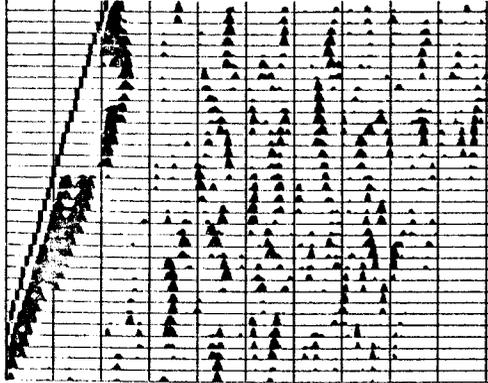


F 42=641, V 898,  $\emptyset$   
A 48, D183, OS 10-999

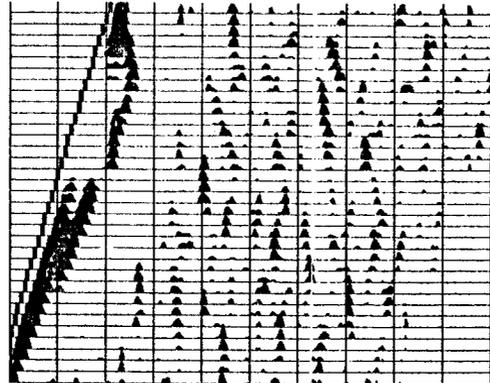


740

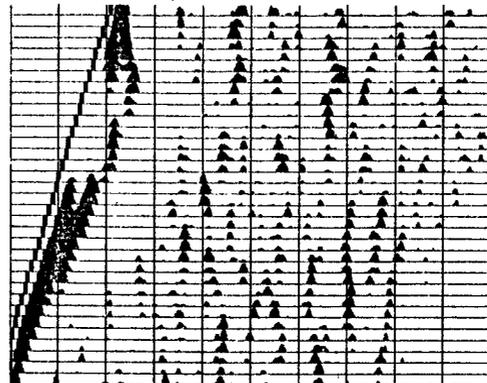
F 43=655,V 899, 0  
A 48,D183,OS 10-999



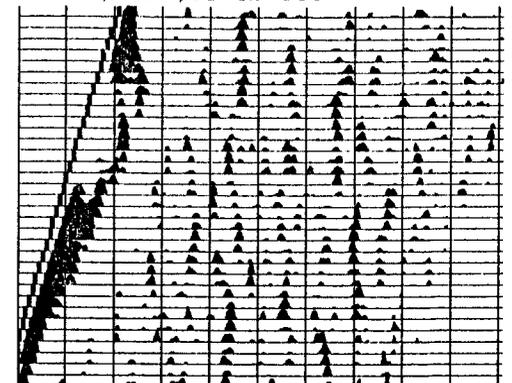
F 44=670,V 901, 0  
A 48,D183,OS 10-999



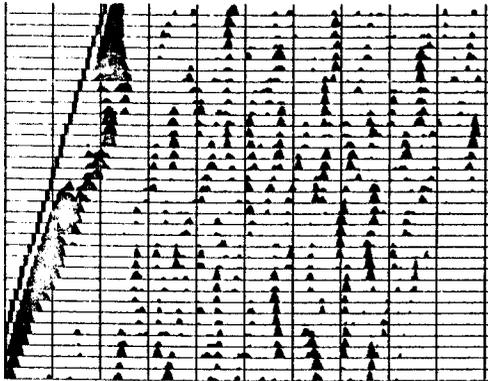
F 45=685,V 903, 0  
A 48,D183,OS 10-999



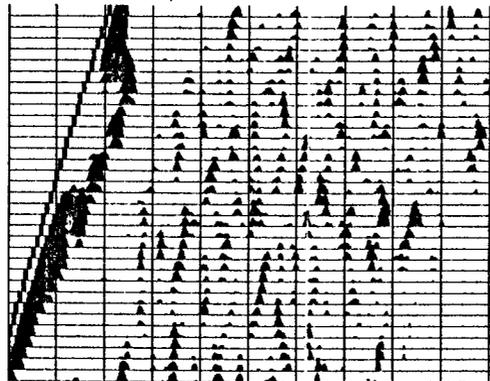
F 46=699,V 904, 0  
A 48,D183,OS 10-999



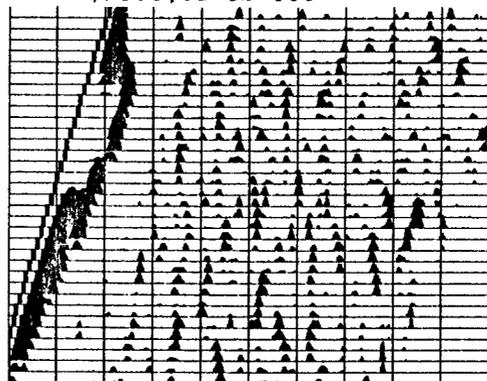
F 47=714,V 906, 0  
A 48,D183,OS 10-999



F 48=729,V 908, 0  
A 48,D183,OS 10-999



F 49=743,V 909, 0  
A 48,D183,OS 10-999



PROYECTO PEN - GEOFISICA EN CAPAS

Viaje a Moers (Rheinland)  
- Alemania Federal -

## 1.- ANTECEDENTES

Se enmarca dentro del desarrollo previsto en el proyecto, en su fase I-3.

De las fases I-1 y I-2, Análisis documental y Toma de contacto con Compañías, se ha obtenido previamente una información suficiente para conocer el estado actual de la técnica desde el punto de vista teórico y experimental.

Las compañías con las que en mayor grado se ha contactado son:

- . PRAKLA - Seismos (Alemania Federal).
- . Compañía General de Geofísica (Francia).
- . BRITISH MINING (Inglaterra).

De ellas se eligió la primera para presenciar una demostración por ser la que más años viene trabajando estas técnicas y posee un mayor grado de desarrollo en las etapas de procesado e interpretación de resultados, así como una casuística más abundante.

## 2.- ASISTENTES Y CALENDARIO

La visita se realizó en los días 18 al 24 de Noviembre de 1.983 y realizaron el viaje los técnicos Luis Savirón (ENADIM—

SA) y Félix Fernandez de Castro (HUNOSA).

La toma de medidas se realizó el fin de semana, a mina parada como es habitual, en la mina Rhein Preussen en Moers (próximo a Dusseldorf) y el resto se utilizó en mantener entrevistas con los responsables de las distintas áreas (operaciones, - procesado, interpretación) que engloba esta técnica en las oficinas centrales de PRAKLA en Mannover.

Todo el programa fue coordinado desde Madrid, por la Compañía Española de Sísmica, empresa española en la que participa PRAKLA - Seismos.

### 3.- DETALLES DEL DESARROLLO DE LA TOMA DE MEDIDAS

Se presenció una toma de medidas por reflexión en la que semanas antes se había realizado una toma por transmisión.

El objetivo era localizar una falla reconocida en labores mineras.

La capa de carbón variaba entre 1,3 y 1,9 m de potencia , con dos intercalaciones de 0,10 cm, un buzamiento de 7° y un 9% de cenizas. Estaba situada a unos 650 m de profundidad.

La explotación de dicha capa se realiza con rozadora y en tubación marchante.

Se realizó una revisión detallada de todas las incidencias del trabajo, características y disposición de los barrenos cargas utilizadas, características y disposición de los equipos de detección y registro, dispositivos antigrisú, rendimientos, etc.

El esquema de trabajo observado fue el convencional en su mayor parte conocido por nosotros a través de la etapa informativa anterior, es decir:

- . barrenos cada 4 metros, 50 mm de diámetro, 2,5 metros de profundidad, en el centro de la capa y con su mismo buzamiento.
- . cargas de 125 gr por barreno y explosiones aisladas.
- . geófonos bidireccionales perfectamente acoplados a las paredes del barreno por un sistema neumático.
- . equipo de medida completamente antigrisú por estar inmerso cada módulo de medida en compartimentos de gas inerte. La compartimentación de los equipos está calculada para facilitar su transporte en containers normalizados.
- . el equipo humano estaba compuesto por 1 supervisor, 1 operador, 1 dinamitero, 1 asistente, 2 peones, además de 1 topógrafo y 1 vigilante de la mina.
- . el rendimiento obtenido fue de 120 disparos cada 12 horas incluida la instalación, pero sin incluir la perforación. Cada 12 horas entra un nuevo relevo completo.
- . en el trascurso de las medidas estuvo siempre presente L. Geselle de PRAKLA.

#### 4.- RESUMEN DE LAS ENTREVISTAS MANTENIDAS EN LA OFICINA CENTRAL DE PRAKLA EN HACINOVER.

Nuestros interlocutores principales fueron los Sr. H. Arnetzl y L. Geselle, responsables del desarrollo tecnológico y

de operaciones respectivamente de estas técnicas.

Se revisó toda la casuística que hasta ahora ha abordado Prakla, intentando obtener una idea concreta de los casos en que el método da resultados claramente válidos.

Nos fueron mostrando un buen número de documentos (registros, planos, etc.) correspondientes a trabajos realizados por ellos en diversas minas.

Se les solicitó un informe que resumiese los casos típicos más importantes y mostrase un abanico de las posibilidades del método. Dicho informe todavía no nos ha sido enviado.

En el anexo adjunto se resume brevemente las conclusiones extraídas de dichas reuniones.

25773

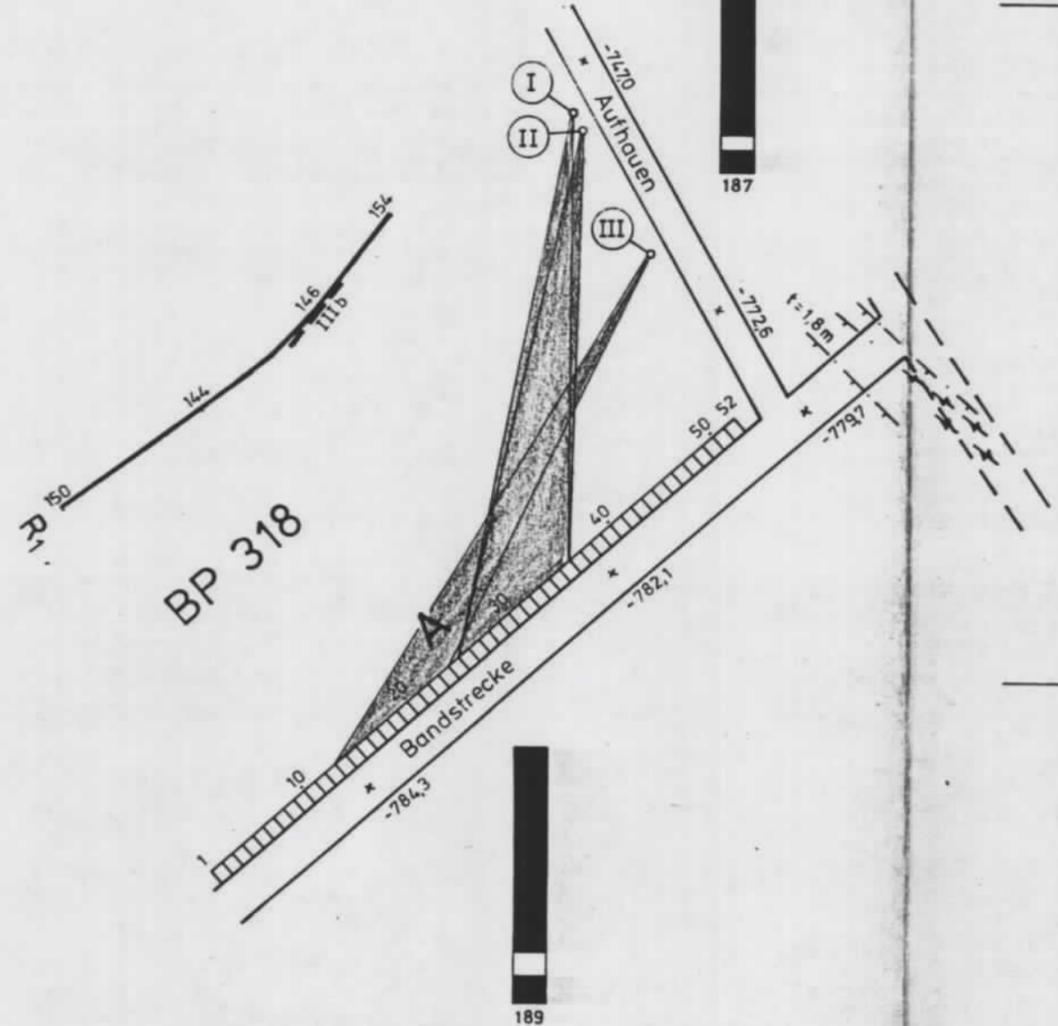
774

25775

5723,8

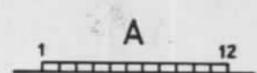
5723,7

II  
III  
I



### Legende :

#### DARSTELLUNG DER MESSANORDNUNG

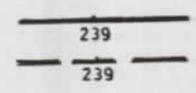


Geophonauslage mit Benennung und Angabe der Positionsnummern der Geophone (PG-Nrn.) und Richtung der Geophonbohrlöcher.  
 Schußpunkt mit Schußpunktnummer (römische Ziffern bezeichnen Durchschallungsschußpunkte). Wenn bei Reflexionsmessungen für Schußpunkte Geophonbohrlöcher benutzt wurden, erhalten sie die Positionsnummern der entsprechenden Geophone.

#### DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE REFLEXIONSSEISMISCHER MESSUNGEN



Reflexionselement mit Benennung. Die bei dem Reflexionselement angegebenen Zahlen sind Reflexionszeiten in ms.



#### QUALITÄT DER REFLEXIONEN

gute Reflexion  
 fragliche Reflexion  
 interpretierter Störungsverlauf

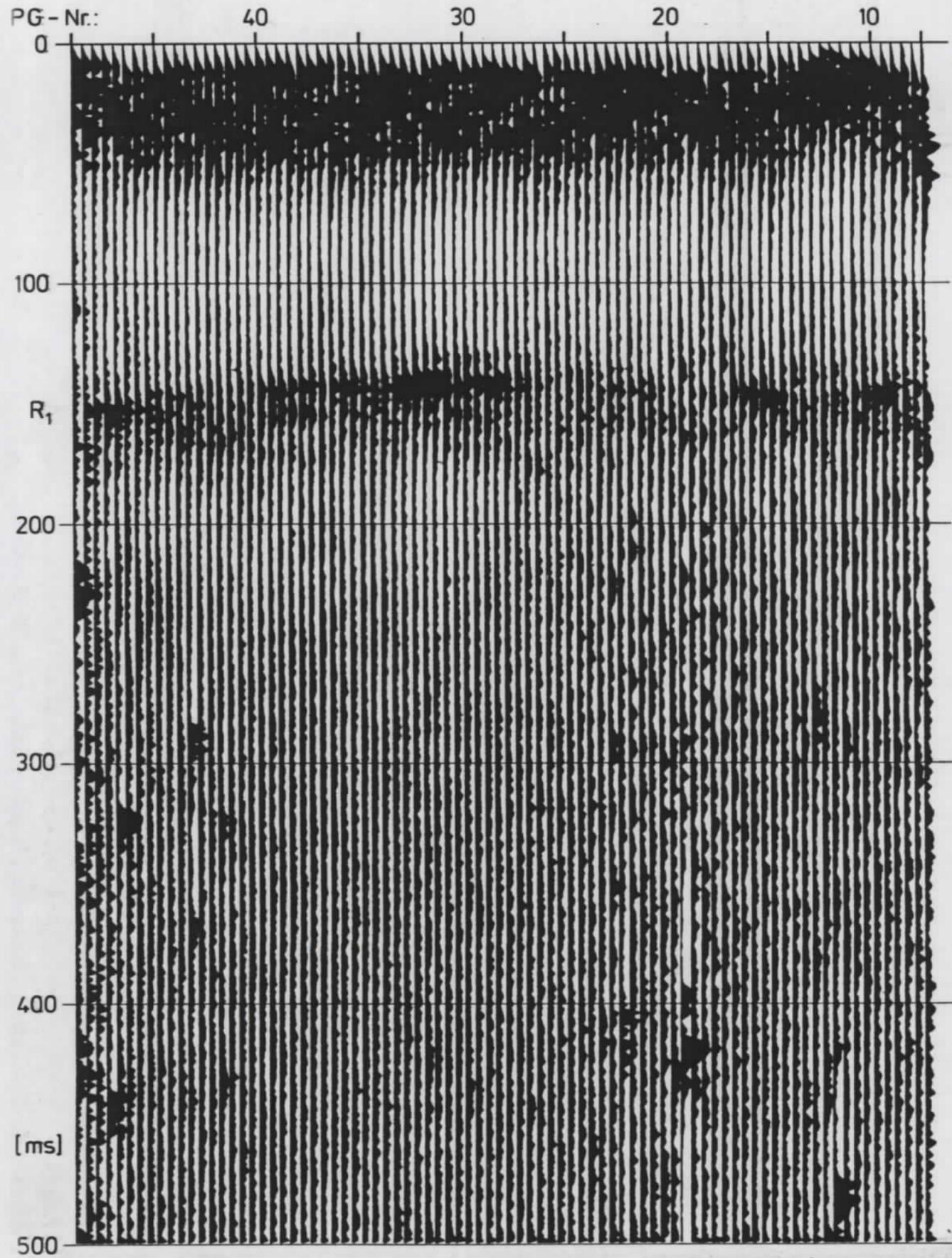
#### DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE VON FLÖZDURCHSCHALLUNGEN

##### EMFFANG DER FLÖZWELLE

- sehr guter Flözwellenzug mit deutlicher Airy-Phase
- guter Flözwellenzug mit Airy-Phase
- brauchbarer Flözwellenzug, Airy-Phase schwach
- mäßiger bis fraglicher Flözwellenzug, Airy-Phase undeutlich
- kein Empfang

in diesem Bereich dürfte keine das Flöz zur Ganze verwerfende Störung vorhanden sein  
 in diesem Bereich können Störungen mit Störungsbeträgen bis Flözmächtigkeit vorhanden sein  
 in diesem Bereich können Störungen mit Störungsbeträgen über Flözmächtigkeit vorhanden sein

Bearb.: Dipl.-Geol. Geselle / Knak		M. 1: 1000	Anl. 1
gez.: Knak	Dat.: 11. 11. 1983		

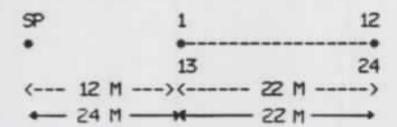


FELDTHECHNIK

AUSSENBETRIEB: DIPL.-GEOL. L. GESELLE  
 MESSAUFTRAG-NR.: 830 215  
 AUFNAHME DATUM: 03.11.1983  
 APPARATUR: TYP DFS V, MDH-01 (SCHLAGWETTERGESICHERT)  
 MAGNETBANDFORMAT: SEG-B, 9-SPUR, 1600 BPI  
 UEBERDECKUNGSGRAD: 6FACH  
 AUFNAHME LAENGE: 0.50 S  
 ABTA STRATE: 0.5 MS  
 FILTER: TIEFSCHNITT: 8 HZ / 18 DB/OKT  
 HOCHSCHNITT: 720 HZ / 70 DB/OKT  
 REGELUNG: IFP  
 POLARITAET: KOMPRESSIONSEINSAETZE = POSITIVE ZAHLEN  
 KABEL: TYP LAAK (UNTERTAGE)  
 EMPFAENGER: ZWEIKOMPONENTENGEOPHONE TYP HQUA (28 HZ)  
 ANZAHL DER GEOPHONE 24  
 (JE 12 IN X- UND Y-RICHTUNG)  
 GEOPHONABSTAND 2.0 M  
 EINZELGEOPHONE IN FLOEZMITTE

ENERGIEQUELLE: WETTER-DEVINIT A  
 TIEFE: 2.5 M, LADUNG 125 G  
 EINLOCHSCHUESSE  
 ABSTAND DER SCHUESSE: 2.0 M

AUFSTELLUNGSSCHEMA:



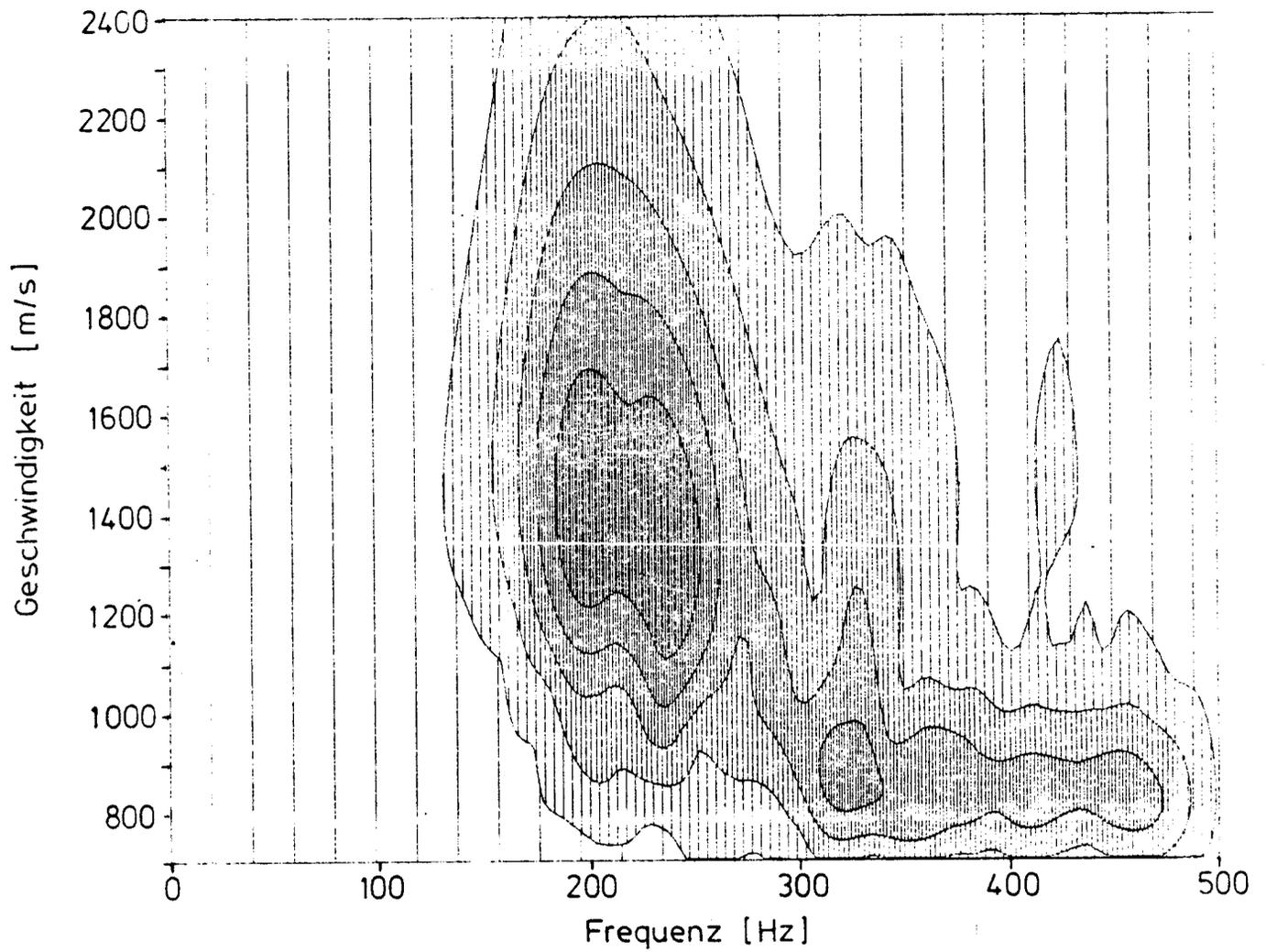
DATENVERARBEITUNG

SUPERVISOR: DIPL.-GEOL. N. ORDOWSKI  
 BEARBEITER: DR. H. SOMMER  
 DZ-AUFTR.-NR.: 830 215 50 DATUM: 09.11.1983

- 1 EINGABE: MAGNETBANDFORMAT SEG-B, 9-SPUR, 1600 BPI  
 ABTA STRATE 0.5 MS
- 2 ERSTELLUNG WAHRER AMPLITU DEN
- 3 FREQUENZFILTER  

LAUFZEITENBEREICH	TIEFSCHNITT	HOCHSCHNITT
S	HZ DB/OKT	HZ DB/OKT
0.0 - 0.50	400 60	720 60
- 4 ENVELOPPENBILDUNG
- 5 DYNAMISCHE KORREKTUREN  
 MIT KONSTANTER KORREKTURGESCHWINDIGKEIT  
 (V = 1000 M/S)
- 6 STAPELUNG: 6FACH
- 7 REGELUNG
- 8 DARSTELLUNG  
 MASSSTAB HORIZONTAL -1 : 500  
 VERTIKAL 1 S = 50 CM  
 SPURABSTAND ~2.0 MM  
 POLARITAET: POSITIVE ZAHLEN = SCHWARZ

• 1243/11/1983



SP III, PG-Nr.: 13 - 25 (x-Komponente)

Stapelung von 12 Dispersionskurven

Flözmächtigkeit ~ 1,90m

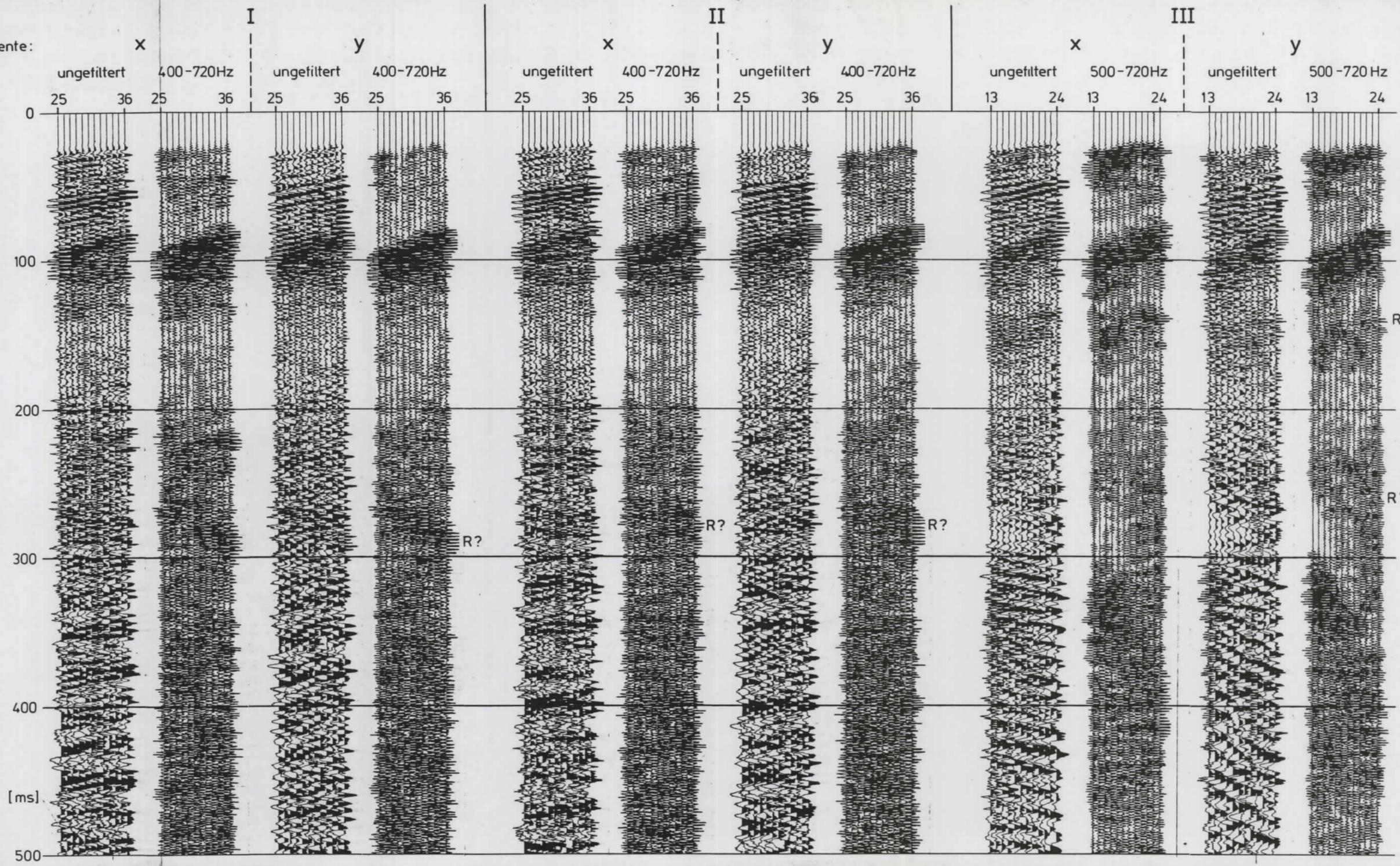
Gruppengeschwindigkeit der Flözwellen  $v = 850$  m/s

Schusspunkt:

Richtungskomponente:

Filter:

PG-Nr.:



### FELDTHECHNIK

AUSSENBERIEB: DIPL.-GEOL. L. GESELLE  
 MESSAUFTRAG-NR.: 830 215  
 AUFNAHME DATUM: 03.11.1983  
 APPARATUR: TYP DFS V, MDH-01 (SCHLAGLETTERGESICHERT)  
 MAGNETBANDFORMAT: SEG-B, 9-SPUR, 1600 BPI  
 UEBERDECKUNGSGRAD: EINFACH  
 AUFNAHME LAENGE: 0.5 S  
 ABTASTRATE: 0.5 MS  
 FILTER: TIEFSCHNITT: 8 HZ / 18 DB/OKT  
 HOCHSCHNITT: 720 HZ / 70 DB/OKT  
 REGELUNG: IFP  
 POLARITAET: KOMPRESSIONSEINSATZE = POSITIVE ZAHLEN  
 KABEL: TYP LAJK (UNTERTAGE)  
 EMPFÄNGER: ZWEIKOMPONENTENGEOPHONE TYP HQJA (28 HZ)  
 ANZAHL DER GEOPHONE 24  
 (JE 12 IN X- UND Y-RICHTUNG)  
 GEOPHONABSTAND 2.0 M  
 EINZELGEOPHONE IN FLOEZMITTE  
 ENERGIEQUELLE: LETTER-DEVINIT A  
 TIEFE: 2.5 M, LADUNG 125 G  
 EINLOCHSCHESSE

### DATENVERARBEITUNG

SUPERVISOR: DIPL.-GEOL. N. ORDOWSKI  
 BEARBEITER: DR. H. SOMMER  
 DZ-AUFTR.-NR.: 830 215 50 DATUM: 09.11.1983

- 1 EINGABE: MAGNETBANDFORMAT SEG-B, 9-SPUR, 1600 BPI  
 ABTASTRATE 0.5 MS
- 2 ERSTELLUNG WAHRER AMPLITUDEN
- 3 FREQUENZFILTER  
 LAUFZEITENBEREICH TIEFSCHNITT HOCHSCHNITT  
 S HZ DB/OKT HZ DB/OKT  
 0.0 - 0.5 SIEHE PROFILKOPFLEISTE
- 4 NORMIERUNG
- 5 DARSTELLUNG  
 MASSSTAB HORIZONTAL 1 : 1000  
 VERTIKAL 1 S = 50 CM  
 SPURABSTAND 2.0 MM  
 POLARITAET: POSITIVE ZAHLEN = WEISS

#### AUFSTELLUNGSSCHEMA:



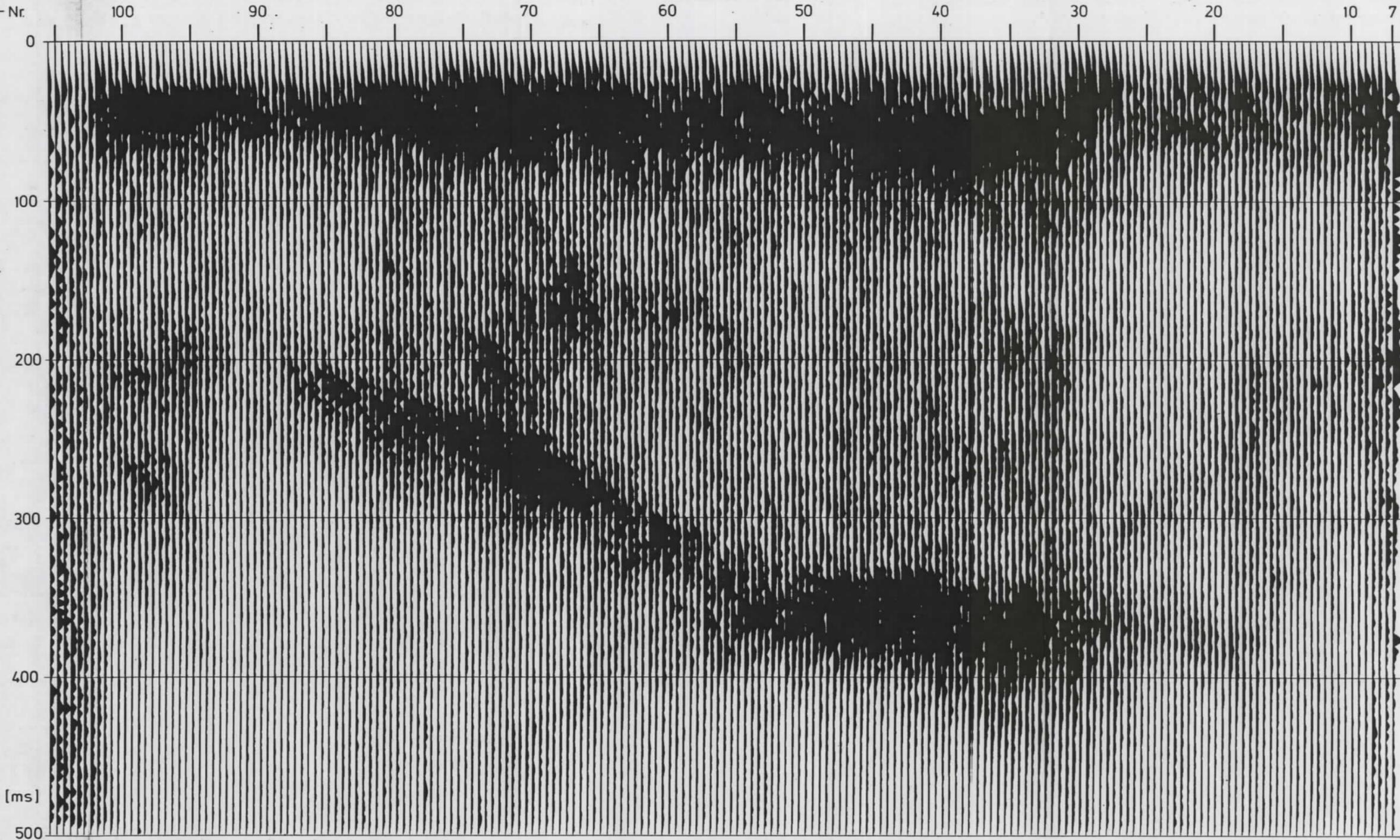
#### BEHERRKUNGEN:

SCHUSSPUNKTE SIND MIT ROEMISCHEN ZIFFERN GEKENNZEICHNET

• 1913/11/1983



PG-Nr.

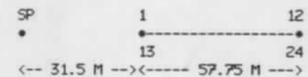


FELDTÉCHNIK

AUSSENBETRIEB: DIPL.-GEOL. K.-ST. BARTHOLDY  
 MESSAUFTRAG-NR.: 830 220  
 AUFNAHME DATUM: 18.12.1983  
 APPARATUR: TYP DFS V, MDH-01 (SCHLAGQUETTERGESICHERT)  
 MAGNETBANDFORMAT: SEG-B, 9-SPUR, 1600 BPI  
 UEBERDECKUNGSGRAD: 6FACH  
 AUFNAHME LAENGE: 0,5 S  
 ABTASTRATE: 0,5 MS  
 FILTER: TIEFSCHNITT: 8 HZ / 18 DB/OKT  
 HOCHSCHNITT: 720 HZ / 70 DB/OKT  
 REGELUNG: IFP  
 POLARITÄT: KOMPRESSIONSEINSAETZE = POSITIVE ZAHLEN  
 TYP LAYK (UNTERTAGE)  
 KABEL: TYP LAYK (UNTERTAGE)  
 EMPFÄNGER: ZWEIKOMPONENTENGEOPHONE TYP HGUA (28 HZ)  
 ANZAHL DER GEOPHONE 24  
 (JE 12 IN X- UND IN Y-RICHTUNG)  
 GEOPHONABSTAND 5,25 M  
 EINZELGEOPHONE 30 CM UNTER DEM BERGEMITTEL

ENERGIEQUELLE: WETTER-DEVINIT A  
 TIEFE: 2,5 M, LADUNG 125 G  
 EINLOCHSCHESSE  
 ABSTAND DER SCHESSE: 5,25 M

AUFSTELLUNGSSCHEMA:



DATENVERARBEITUNG

SUPERVISOR: DIPL.-GEOL. N. ORDOSKI  
 BEARBEITER: DR. H. SOMMER  
 DZ-AUFTR.-NR.: 830 220 50 DATUM: 21.12.1983

- 1 EINGABE: MAGNETBANDFORMAT SEG-B, 9-SPUR, 1600 BPI  
 ABTASTRATE 0,5 MS
- 2 ERSTELLUNG WAHRER AMPLITUDEN
- 3 FREQUENZFILTER = ORMSBY-FILTER  
 DURCHLASS (%) 0 100 100 0  
 FREQUENZ (HZ) 380 400 600 620
- 4 ENVELOPPENBILDUNG
- 5 DYNAMISCHE KORREKTUREN  
 MIT KONSTANTER KORREKTURGESCHWINDIGKEIT  
 (V = 1000 M/S)
- 6 STAPELUNG: 6FACH
- 7 REGELUNG
- 8 DARSTELLUNG  
 MASSSTAB HORIZONTAL 1 : 1250  
 VERTIKAL 1 S = 50 CM  
 SPURABSTAND 2,1 MM  
 POLARITÄT: POSITIVE ZAHLEN = SCHWARZ

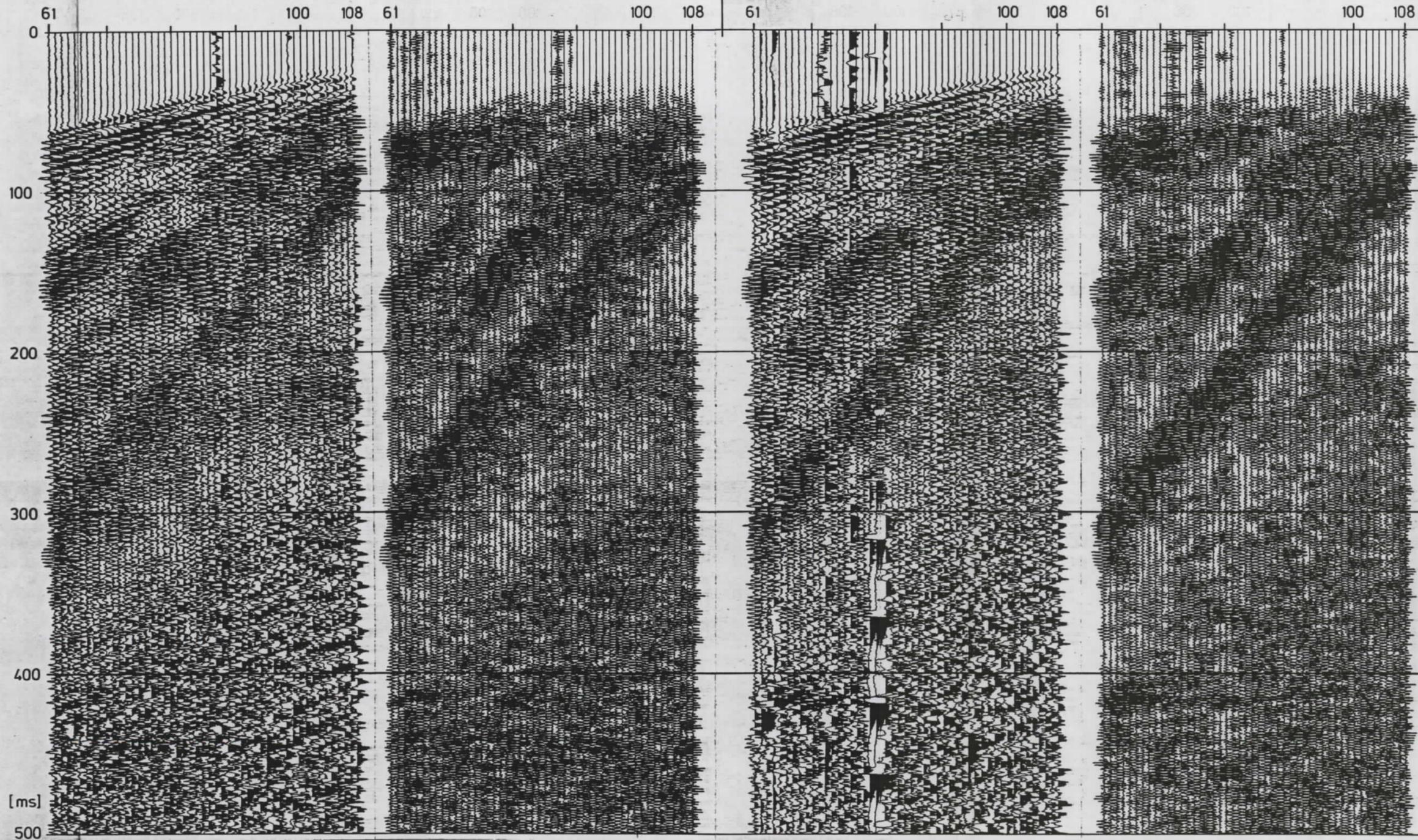
• 2912/12/1983

Schusspunkt:

Richtungskomponente:

Filter:

PG-Nr.:

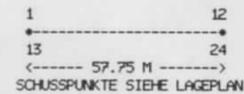


### FELDTHECHNIK

AUSSENBETRIEB: DIPL.-GEOL. K.-ST. BARTHOLDY  
 MESSAUFTRAG-NR.: 830 220  
 AUFNAHME DATUM: 18.12.1983  
 APPARATUR: TYP DFS V. MDH-01 (SCHLAGWETTERGESICHERT)  
 MAGNETBANDFORMAT: SEG-B, 9-SPUR, 1600 BPI  
 UEBERDECKUNGSGRAD: EINFACH  
 AUFNAHME LAENGE: 0,50 S  
 ABTA STRATE: 0,5 MS  
 FILTER: TIEFSCHNITT: 8 HZ / 18 DB/OKT  
 HOCHSCHNITT: 720 HZ / 70 DB/OKT  
 REGELUNG: IFP  
 POLARITÄT: KOMPRESSIONSEINSAETZE = POSITIVE ZAHLEN  
 TYP LARK (UNTERTAGE)  
 KABEL: ZWEIKOMPONENTENGEOPHONE TYP HQA (28 HZ)  
 EMPFÄNGER: ANZAHL DER GEOPHONE 24  
 (JE 12 IN X- UND Y-RICHTUNG)  
 GEOPHONABSTAND 5,25 M  
 EINZELGEOPHONE 20 CM UNTER BERGEMITTEL

ENERGIEQUELLE: WETTER-DEVINIT A  
 TIEFE: 2,5 M, LADUNG 125 G  
 EINLOCHSCHESSE

#### AUFSTELLUNGSSCHEMA:



#### BEMERKUNGEN:

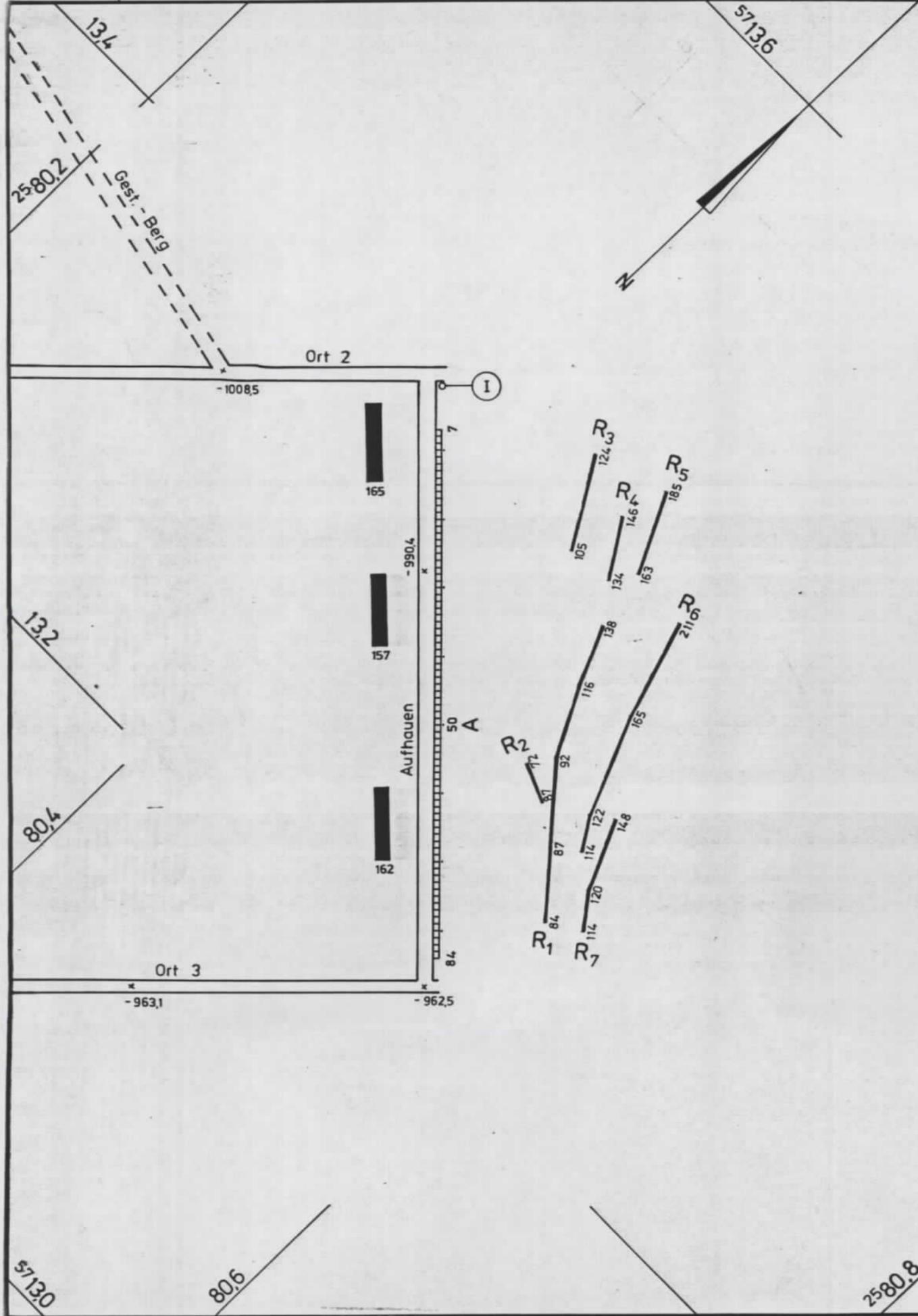
SCHUSSPUNKTE SIND MIT RÖMISCHEN ZIFFERN GEKENNZEICHNET

### DATENVERARBEITUNG

SUPERVISOR: DIPL.-GEOL. N. ORDOWSKI  
 BEARBEITER: DR. H. SOMMER  
 DZ-AUFTR.-NR.: 830 220 50 DATUM: 21.12.1983

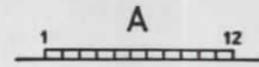
- 1 EINGABE: MAGNETBANDFORMAT SEG-B, 9-SPUR, 1600 BPI  
ABTA STRATE 0,5 MS
- 2 ERSTELLUNG WAHRER AMPLITUDEN
- 3 FREQUENZFILTER  
LAUFZEITENBEREICH TIEFSCHNITT HOCHSCHNITT  
S HZ DB/OKT HZ DB/OKT  
0,0 - 0,50 SIEHE PROFILKOPFLEISTE
- 4 NORMIERUNG
- 5 DARSTELLUNG  
MASSSTAB HORIZONTAL 1 : 2625  
VERTIKAL 1 S = 50 CM  
SPURABSTAND 2,0 MM  
POLARITÄT: POSITIVE ZAHLEN = WEISS

• 2283/12/1983



**Legende :**

**DARSTELLUNG DER MESSANORDNUNG**

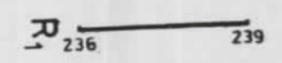


Geophonauslage mit Benennung und Angabe der Positionsnummern der Geophone (PG-Nrn.) und Richtung der Geophonbohrlöcher.



Schußpunkt mit Schußpunktnummer (römische Ziffern bezeichnen Durchschallungsschußpunkte). Wenn bei Reflexionsmessungen für Schußpunkte Geophonbohrlöcher benutzt wurden, erhalten sie die Positionsnummern der entsprechenden Geophone.

**DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE REFLEXIONSEISMISCHER MESSUNGEN**



Reflexionselement mit Benennung. Die bei dem Reflexionselement angegebenen Zahlen sind Reflexionszeiten in ms.

- QUALITÄT DER REFLEXIONEN**
- gute Reflexion
  - fragliche Reflexion
  - interpretierter Störungsverlauf

**DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE VON FLÖZDURCHSCHALLUNGEN**

**EMPFANG DER FLÖZWELLE**

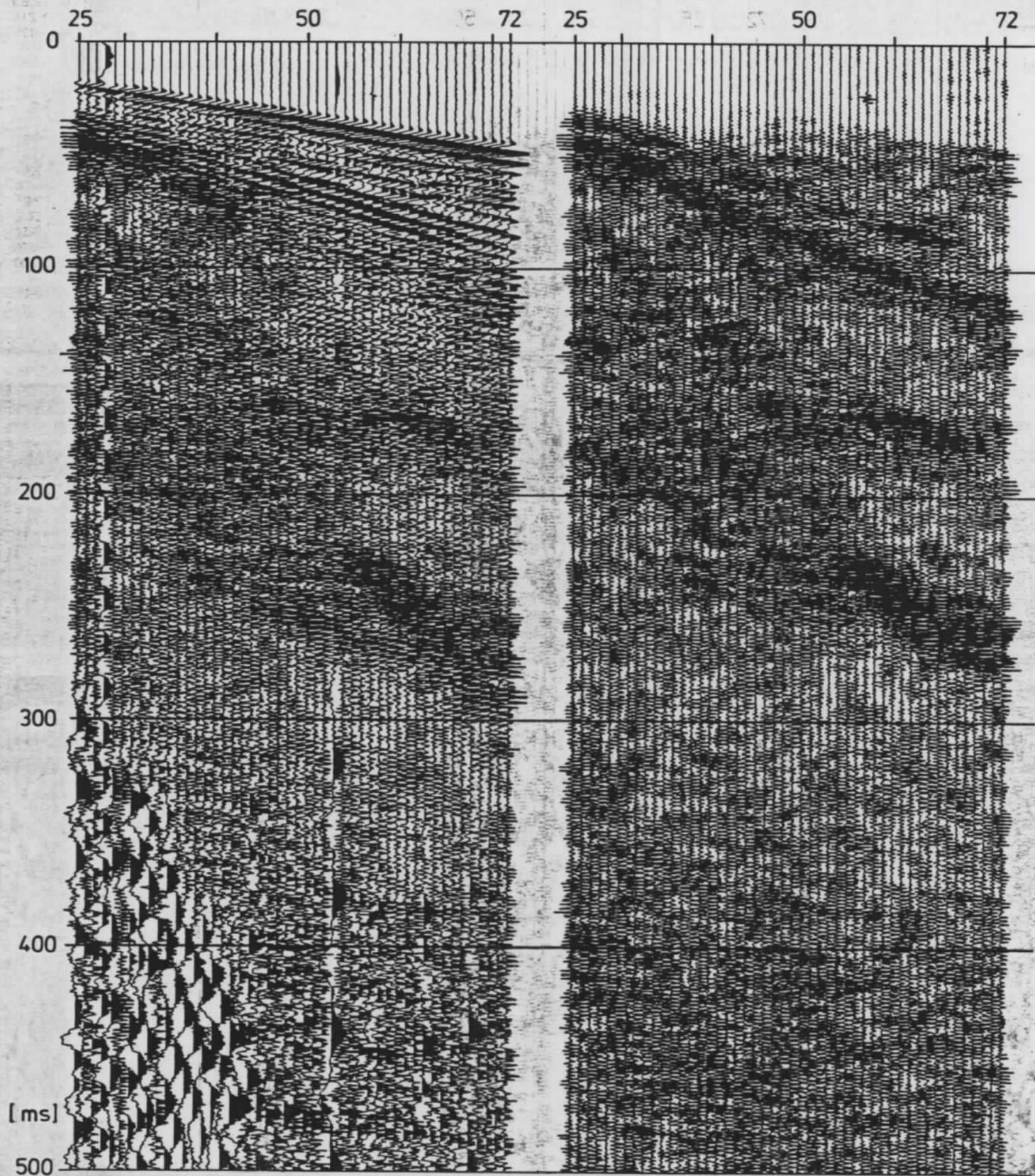
- sehr guter Flözwellenzug mit deutlicher Airy-Phase
  - guter Flözwellenzug mit Airy-Phase
  - brauchbarer Flözwellenzug, Airy-Phase schwach
  - mäßiger bis fraglicher Flözwellenzug, Airy-Phase undeutlich
  - kein Empfang
- in diesem Bereich dürfte keine das Flöz zur Gänze verwerfende Störung vorhanden sein
- in diesem Bereich können Störungen mit Störungsbeträgen bis Flözmächtigkeit vorhanden sein
- in diesem Bereich können Störungen mit Störungsbeträgen über Flözmächtigkeit vorhanden sein

Bearb. Dipl.-Geol. Geselle / Knak	M. 1: 2000	Anl. 1
gez.: Knak	Dat.: 29.12.1983	

Schußpunkt:  
 Richtungskomponente:  
 Filter:  
 PG-Nr.:

I  
 X  
 X

ungefiltert 357-008 500-720 Hz

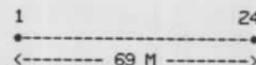


## FELDTÉCHNIK

AUSSENBETRIEB: DIPL.-GEOL. L. GESELLE  
 MESSAUFTRAG-NR.: 830 219  
 AUFNAHME DATUM: 10.12.1983  
 APPARATUR: TYP DFS V, MDH-01 (SCHLAGWETTERGESICHERT)  
 MAGNETBANDFORMAT: SEG-B, 9-SPUR, 1600 BPI  
 UEBERDECKUNGSGRAD: EINFACH  
 AUFNAHME LAENGE: 0.50 S  
 ABTA STRATE: 0.5 MS  
 FILTER: TIEFSCHNITT: 8 HZ / 18 DB/OKT  
 HOCHSCHNITT: 720 HZ / 70 DB/OKT  
 REGELUNG: IFP  
 POLARITAET: KOMPRESSIONSEINSAETZE = POSITIVE ZAHLEN  
 KABEL: TYP LAAK (UNTERTAGE)  
 EMPFAENGER: ZWEIKOMPONENTENGEOPHONE TYP HQVA (28 HZ)  
 ANZAHL DER GEOPHONE 24  
 (24 IN X-RICHTUNG)  
 GEOPHONABSTAND 3.0 MM  
 EINZELGEOPHONE IN FLOEZMITTE

ENERGIEQUELLE: WETTER-DEVINIT A  
 TIEFE: 2.5 M, LADUNG 125 G  
 EINLOCHSCHESSE

### AUFSTELLUNGSSCHEMA:



SCHUSSPUNKTE SIEHE LAGEPLAN

### BEMERKUNGEN:

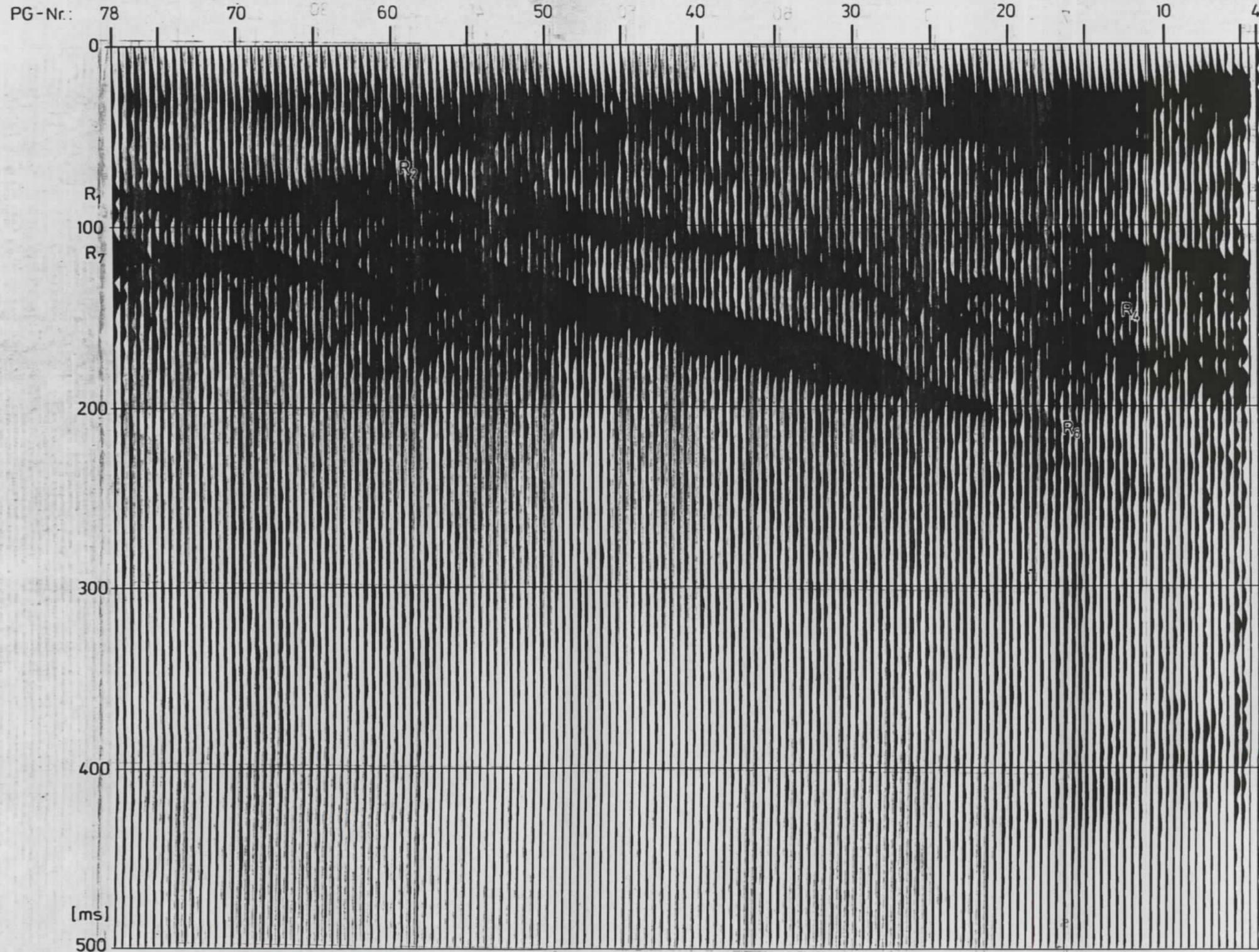
SCHUSSPUNKTE SIND MIT ROEMISCHEN  
 ZIFFERN GEKENNZEICHNET

## DATENVERARBEITUNG

SUPERVISOR: DIPL.-GEOL. N. ORDOWSKI  
 BEARBEITER: DR. H. SOMMER  
 DZ-AUFTR.-NR.: 830 219 50 DATUM: 14.12.1983

- 1 EINGABE: MAGNETBANDFORMAT SEG-B, 9-SPUR, 1600 BPI  
 ABTA STRATE 0.5 MS
- 2 ERSTELLUNG WAHRER AMPLITUDEN
- 3 FREQUENZFILTER  
 LAUFZEITENBEREICH TIEFSCHNITT HOCHSCHNITT  
 S HZ DB/OKT HZ DB/OKT  
 0.0 - 0.50 SIEHE PROFILKOPFLEISTE
- 4 NORMIERUNG
- 5 DARSTELLUNG  
 MASSSTAB HORIZONTAL 1 : 1500  
 VERTIKAL 1 S = 50 CM  
 SPURABSTAND 2.0 MM  
 POLARITAET: POSITIVE ZAHLEN = WEISS

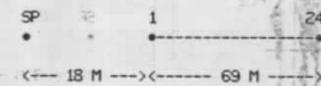
• 1567/12/1983



## FELDTHECHNIK

AUSSENBETRIEB: DIPL.-GEOL. L. GESELLE  
 MESSAUFTRAG-NR.: 830 219  
 AUFNAHME DATUM: 10.12.1983  
 APPARATUR: TYP DFS V. MDH-01 (SCHLAGJETTERGESICHERT)  
 MAGNETBANDFORMAT: SEG-B, 9-SPUR, 1600 BPI  
 UEBERDECKUNGSGRAD: 12FACH  
 AUFNAHME LAENGE: 0,50 S  
 ABTASTRATE: 0,5 MS  
 FILTER: TIEFSCHNITT: 8 HZ / 18 DB/OKT  
 HOCHSCHNITT: 720 HZ / 70 DB/OKT  
 REGELUNG: IFP  
 POLARITAET: KOMPRESSIONSEINSAETZE = POSITIVE ZAHLEN  
 KABEL: TYP LAAK (UNTERTAGE)  
 EMPFAENGER: ZWEIKOMPONENTENGEOPHONE TYP HQA (28 HZ)  
 ANZAHL DER GEOPHONE: 24  
 (24 IN X-RICHTUNG)  
 GEOPHONABSTAND: 3,0 M  
 EINZELGEOPHONE IN FLOEZMITTE  
 ENERGIEQUELLE: WETTER-DEVINIT A  
 TIEFE: 2,5 M, LADUNG 125 G  
 EINLOESCHESSE  
 ABSTAND DER SCHUESSE: 3,0 M

### AUFSTELLUNGSSCHEMA:



## DATENVERARBEITUNG

SUPERVISOR: DIPL.-GEOL. N. ORDOMSKI  
 BEARBEITER: DR. H. SOMMER  
 DZ-AUFTR.-NR.: 830 219 50 DATUM: 29.12.1983

- 1 EINGABE: MAGNETBANDFORMAT SEG-B, 9-SPUR, 1600 BPI  
 ABTASTRATE 0,5 MS
- 2 ERSTELLUNG WAHRER AMPLITUDEN
- 3 FREQUENZFILTER (ORMSBY)
 

LAUFZEITENBEREICH	TIEFSCHNITT	HOCHSCHNITT
S	HZ	% HZ
0,0 - 0,50	550	0 650 0
	550	100 670 100
- 4 ENVELOPPENBILDUNG
- 5 DYNAMISCHE KORREKTUREN  
 MIT KONSTANTER KORREKTURGESCHWINDIGKEIT  
 (V = 1150 M/S)
- 6 STAPELUNG: 12FACH
- 7 DARSTELLUNG
 

MASSTAB	HORIZONTAL	VERTIKAL
	1 : 750	1 S = 50 CM
		SPURABSTAND = 2,0 MM

 POLARITAET: POSITIVE ZAHLEN = SCHWARZ

• 2126/12/1983