

CONSULTORES Y CONTRATISTAS DE EXPLORACIONES GEOFISICAS

•

PETROLEO

MINERALES

AGUA SUBTERRANEA

Y

APLICACION A LA INGENIERIA CIVIL

•

SERVICIOS GEOFISICOS, S. A. DE C. V.

AV. JUAREZ 97 DESPACHO 302

TELS. - 18-41-41 Y 12-89-70

MEXICO 1, D. F.

**GEOFISICOS CONSULTORES PARA
PETROLEOS MEXICANOS**



*Seismograph Service Corporation
of Mexico*

**AVE. JUAREZ 95 - 207 • MEXICO 1, D.F.
TELEFONOS : 18-27-25 • 18-56-33**

**SUBSIDIARIA DE
SEISMOGRAPH SERVICE CORPORATION
6200 East 41st. St. • Box 1590 • Tulsa, Oklahoma, U.S.A.**

ESPECIALIZADOS EN :

**SERVICIO DE
GEOFISICA**

- Levantamientos :
- Sismológicos
 - Gravimetricos
 - Magnetométricos
 - Procesado de Datos Magnéticos
 - LORAC - Levantamiento Electrónico

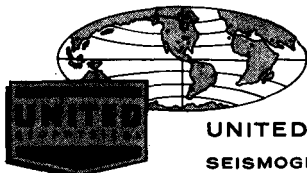
**SERVICIO DE
REGISTRO DE POZOS**

- Registros para Evaluación de Formaciones
- Registros de Pozos de Producción
- Servicio de Terminación Permanente
- Registro Continuo de Velocidad



from
INSTRUMENTATION
through
INTERPRETATION

**UNITED Leads in
Worldwide Integrated
Geophysical
Services**



UNITED GEOPHYSICAL CORPORATION
SEISMOGRAPH • GRAVIMETER • MAGNETOMETER

P.O. Box M, 2650 E. Foothill Blvd., Pasadena, California
Suite 203, 2920 Wesleyan, Houston 27, Texas
1202 Petroleum Life Building, Midland, Texas
5902 E. Admiral Place, Tulsa, Oklahoma
1700 Broadway, Room 1211-A, Denver 2, Colorado
345 Mt. Lebanon Blvd., Pittsburgh 34, Pennsylvania
531 Eighth Avenue S. W., Calgary, Alberta, Canada
P.O. Box 1861, Anchorage, Alaska

194 rue de Rivoli, Paris 1^{er}, France
Av. Pres. Vargas, 435, 19^o andar, Rio de Janeiro, Brazil
Casilla 26-D, Punta Arenas, Magallanes, Chile
Apartado Interno 9, General Roca, Province of Rio Negro, Argentina
P.O. Box 268, Tripoli, Libya
Calle Triana No. 140, Las Palmas, Gran Canaria, Isles Canarias
P.O. Box 289, Benin City, Nigeria
P.O. Box 939 M, Brisbane, Australia

Carlos Alemán A.

EXPLORACION

y

PERFORACION

Iturbide No. 36 Desp. 201. Tel. 10-15-64

MEXICO 1, D. F.

PMR-20

SISTEMA FM DE REGISTRO MAGNETICO



ESPECIFICACIONES CONDENSADAS

EL REGISTRO DE FM CON EL PMR-20 PROPORCIONA RELACION SEÑAL RUIDO EXCEPCIONALMENTE ALTA Y RESPUESTA DE AMPLIA FRECUENCIA ASEGURANDO EN EL MAXIMO DE REPRODUCCION — FIDELIDAD—COMPARATIVAMENTE MEJOR A CUALQUIER OTRO METODO DE REGISTRO. LA FM — TAMBIEN ELIMINA LOS EFECTOS DE IMPERFECCIONES E IRREGULARIDADES DE LAS CINTAS. EN EL PMR-20, TODO EL BAJO NIVEL DE RUIDO, BAJA DISTORSION, GRAN APROXIMACION EN LA MEDICION DEL TIEMPO. CARACTERISTICAS DEL SISTEMA MR-4 PRABADO EN EL CAMPO, ESTAN COMBINADAS CON PROPIEDADES ADICIONALES PARA PRODUCIR UN SISTEMA LIGERO, PORTATIL, DE BAJO CONSUMO DE POTENCIA, SIMPLE, EN EL QUE SE PUEDE — TENER ABSOLUTA CONFIANZA EN EL CAMPO

EL MR-20 CONTIENE EN DEPARTAMENTOS, EL TAMBOR DE REGISTRO, EL SISTEMA DE MOVIMIENTO Y LAS CABEZAS REGISTRADORAS. LOS MODULADORES, DEMODULADORES Y CIRCUITOS ELECTRONICOS AUXILIARES ESTAN EN LA UNIDAD MAESTRA MU-20. CADA UNIDAD CONTIENE SU PROPIA FUENTE DE PODER, TRANSISTORIZADA. ADEMAS DE LOS 24 CANALES SISMICOS SE INCLUYEN CANALES PARA "CORTE DE TIEMPO (TIME BREAK), SISMO" DE POZO, CANCELACION DE RUIDO Y MEDIDOR DE TIEMPO DE 100 c.p.s. LOS NIVELES DE MODULACION DE REGISTRO Y REPRODUCCION (PLAYBACK) SE LEEN DIRECTAMENTE EN UN TABLERO DE MEDICION SITUADO EN LA PARTE FRONTAL. TODAS LAS FUNCIONES DE INTERRUPCION DE REGISTRO Y REPRODUCCION ESTAN REUNIDAS EN UN SOLO INTERRUPTOR EN EL TABLERO FRONTAL. LAS CABEZAS, MOVIBLES O FIJAS, PUEDEN PROPORCIONARSE COMO SE DESEE. LOS AJUSTES SE AGREGAN A LAS CINTAS EN "PLAYBACK" A TRAVES DE LOS AMPLIFICADORES SISMICOS O DIRECTAMENTE A TRAVES DE SUS TRANSFORMADORES DE SALIDA.

CANALES:

FRECUENCIA DE RESPUESTA:

RELACION SEÑAL-RUIDO:

DISTORSION ARMONICA; INTERFERENCIA:

APROXIMACION RELATIVA MEDICION TIEMPO; POTENCIA NECESARIA

DIMENSIONES

P. E. S. O.:

24 SISMOLOGICOS

4 AUXILIARES (CORTE DE TIEMPO, SISMO DE-
POZO, 100 c.p.s. Y CANCELACION DE RUIDO).
1 c.p.s. a 300 c.p.s. CON 1 db; 3 db ABAJO A —
500 c.p.s.

60 db (RMS), 1 a 500 c.p.s. CON CANCELACION-
DE RUIDO
54 db (RMS), 20 a 200 c.p.s. SIN CANCELACION-
DE RUIDO.

MENOS DE 1 %
ABAJO DEL NIVEL DE RUIDO DEL SISTEMA
DE REGISTRO.

± 0.25 MS

	EN ESPERA	OPERANDO
REGISTRO	1.5 AMP	7 AMP
"PLAYBACK"	1.0 AMP	5.5 AMP

MR-20 REGISTRADOR.

ANCHO 21 cm ALTO 62.2 cm FONDO 38.1 cm

MU-20 UNIDAD MAESTRA

ANCHO 21 cm ALTO 62.2 cm FONDO 26.7 cm

MR-20 REGISTRADOR: 30.420 kg

MU-20 UNIDAD MAESTRA: 18.160 kg

Escribo para folletos gratis

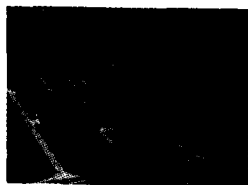


SOUTHWESTERN INDUSTRIAL ELECTRONICS CO.
A DIVISION OF DRESSER INDUSTRIES, INC.
10201 Westheimer • P. O. Box 22187 • Houston 27, Texas • HO mestead 5 3471
CABLE: SIECO HOUSTON TWX: HO-1188

MEXICO
SIE México
La Fragua N° 13-201
Mexico 1, D.F.
23-57-87
Tel: 46-45-20

CANADA
Southwestern Industrial Electronics (Canada) Limited
2513 Third Street S. E. Calgary, Alberta, Canada
Phone: Chestnut 3 0152, 3 0637, 3 0664, 3 0922

EUROPE
SIE Division of Dresser AG
Mühlbachstrasse 43, Zurich, Switzerland
Telephone: 32 86 87 89 • Telex: 52 6 83
Cables: Dresser-Zurich



BOLETIN

de la

Asociación Mexicana de Geofísicos de Exploración

S U M A R I O

Notas sobre el Empleo de Sismodetectores Múltiples.
Segunda Parte: Detectores de Diferentes Sensibilidades
Situados en Línea o Distribuidos en una Area, por *A. García Rojas* y *J. Basurto García*.

Algunas Perturbaciones que Obscurecen los Registros
Sismológicos de Reflexión, por *A. García Rojas*, *R. Ochoa E.*, *E. del Valle T.* y *J. Basurto G.*

Nuevos Socios.

ASOCIACION MEXICANA DE GEOFISICOS DE EXPLORACION

MESA DIRECTIVA PARA EL PERIODO 1963-1964

Presidente: Guillermo Hernández Moedano.

Vice-Presidente: Jesús Basurto García.

Secretario: Alfonso Cornejo Toledo.

Tesorero: Alfonso Hernández Osuna.

Vocal de Petróleo: Armando Eguía Huerta.

Vocal de Minas: Ernesto López Ramos.

Vocal de Ingeniería Civil: Enrique del Valle T.

Editor: Vladimir A. Olhovich.

Presidente Directivo Anterior: Santos Figueroa Huerta.

Este Boletín se publica cada tres meses y se distribuye gratuitamente a los socios.

El precio de subscripción para no socios es de \$ 150.00 m/n al año y
de \$ 50.00 m/n número suelto.

Para todo asunto relacionado con el Boletín: manuscritos, asuntos editoriales, subscripciones, descuentos especiales a bibliotecas públicas o de Universidades, publicaciones, anuncios, etc., dirigirse a:

ING. VLADIMIR A. OLHOVICH

Av. Juárez No. 97 Despacho 302.

Teléfonos 18-41-41 y 12-89-70

México 1, D. F.

Impreso por Abastecedora de Impresos, S. A. — Dr. Jiménez No. 352 — México 7, D. F.
Teléfono 19-56-75 con 3 líneas.

NOTAS SOBRE EL EMPLEO DE SISMO-DETECTORES MULTIPLES

SEGUNDA PARTE

Detectores de Diferentes Sensibilidades Situados en Línea o Distribuidos en una Area.

Por *A. García Rojas y J. Basurto García* *

I.—Reducción de las Señales de Ruido Empleando Detectores de Diferentes Sensibilidades.

La banda de atenuación que resulta para ciertas longitudes de onda cuando se interconecta un grupo de detectores iguales, con espaciamiento uniforme, ha dado origen a la investigación de las posibilidades de lograr un tendido que permita el paso sin atenuación de las señales debidas a las ondas reflejadas y que elimine completamente a las señales debidas a las ondas de ruido.

Este problema ha sido analizado por C. H. Savit et al, en un trabajo publicado en *Geophysics* en 1958, el cual se trata adelante por su interés general.

En el trabajo citado se considera un tendido con un número infinito de detectores espaciados en forma tal que la contribución de un elemento dx a la señal total registrada sea $f(x) dx$, en donde $f(x)$ representa la señal generada en los detectores del tendido por unidad de longitud, según se ve en la Fig. No. 1.

*) Gerencia de Exploración, Petróleos Mexicanos.

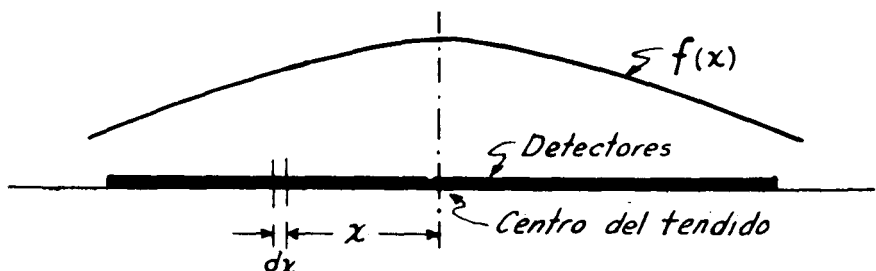


Fig. No. 1.—Distribución de detectores y variación de $f(x)$ en las consideraciones de Savit.

En estas condiciones la señal instantánea que proporciona al elemento dx al total de la señal del tendido es:

$$dA_T = \sum_{f_n=0}^{f_n=\infty} A_n \sin \left(2\pi f_n t + \frac{2\pi x}{\lambda_a} + \Theta_n \right) \cdot f(x) dx$$

y la salida total del tendido a una frecuencia f , para el caso de que los detectores estuvieran conectados en serie, sería:

$$A_T = \int_{-\infty}^{\infty} A \sin \left(2\pi f t + \frac{2\pi x}{\lambda_a} + \Theta \right) f(x) dx$$

$$A_T = A \int_{-\infty}^{\infty} \left[\sin (2\pi f t + \Theta) \cos \frac{2\pi x}{\lambda_a} + \cos (2\pi f t + \Theta) \sin \frac{2\pi x}{\lambda_a} \right] f(x) dx$$

en donde, si $f(x)$ es simétrica con relación al centro del tendido, la parte de la integral en función del seno se cancela y se tiene:

La ecuación 3 representa a una integral de Fourier que puede resolverse si la integral de $f(x) dx$ es finita para límites infinitos de la integral. Aplicando la transformación de Fourier, se tiene:

$$f(x) = 2 \int_0^{\infty} A \left(\frac{1}{\lambda} \right) \cos \frac{2\pi x}{\lambda} d\lambda = 2 \int_0^{\infty} \cos \frac{2\pi x}{\lambda} d\lambda =$$

$$= \left[\frac{\sin \frac{2\pi x}{\lambda_a}}{\pi x} \right]_0^{\infty} \quad (4)$$

en donde se ve que la función que se obtiene es finita y llena las condiciones a que se hizo mención anteriormente.

La forma de la variación de la sensibilidad del tendido para diferentes valores de $\frac{x}{\lambda_a}$ se indica en la figura No. 3, en la que se observa que $f(x)$ pasa por cero para valores de $\frac{x}{\lambda_a} = 0.5; 1.0; 1.5;$ etc. Las ordenadas muestran las sensibilidades relativas que deben tener los detectores con relación a la del detector en el centro del tendido.

Como puede verse, para lograr la cancelación total de las ondas de ruido se requiere un tendido infinito con detectores de diferentes sensibilidades situados a lo largo del mismo, o con grupos de detectores iguales inmediatamente cercanos que produzcan una sensibilidad variable por unidad de longitud, y que deben tener polaridades diferentes en los lóbulos adyacentes. Esta condición es difícil de controlar y por lo tanto no se ha llevado a la práctica. Sin embargo, el hecho de que el lóbulo central sea el que contribuye principalmente a determinar $A \left(\frac{1}{\lambda} \right)$, según puede verse en la ecuación (3) y de la figura 3, ha dado origen a que se ensayen diferentes aproximaciones para disminuir la relación señal ruido más allá de lo que se logra con detectores iguales con espaciamientos equidistantes.

La operación más común es emplear detectores de la misma polaridad, que se consideran distribuidos en la parte correspondiente al lóbulo central

de la figura 3, en donde la respuesta de cada detector sea aproximadamente proporcional a las sensibilidades requeridas para el caso teórico.

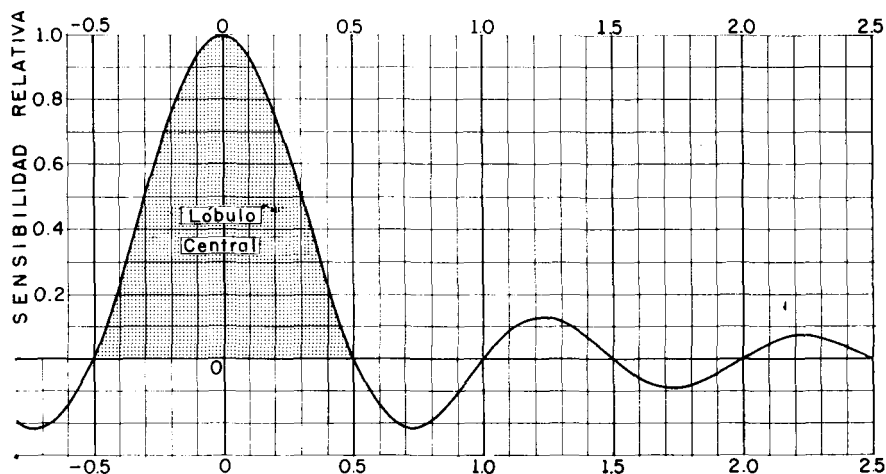


Fig. No. 3.—Variación relativa de la sensibilidad de los detectores de un tendido para cancelar totalmente las ondas de ruido.

El cálculo aproximado del largo adecuado de un tendido se puede hacer sobre la base de que la sensibilidad teórica igual a cero (para $\frac{x}{\lambda_a} = 0.5$) corresponda a un punto situado a una distancia $\frac{\Delta x}{2}$ hacia afuera de los detectores extremos, lo que equivale a establecer la ecuación:

$$\frac{L}{2} + \frac{\Delta x}{2} = 0.5 \lambda_a$$

pero como

$$\Delta x = \frac{L}{M - 1}$$

podemos poner

$$L + \frac{L}{M - 1} = \lambda_a$$

resultado

$$L = \lambda_a \frac{M - 1}{M} \quad (5)$$

en donde λ_a es la longitud máxima de las ondas de ruido que se desean cancelar, cuyo valor se conocerá en las pruebas de análisis de ruido en el área en estudio. El número M de detectores del tendido se escogerá tan grande como sea practicable en el terreno para lograr la mejor cancelación del ruido, y al valor aproximado de su sensibilidad relativa se obtendrá de la curva de la Fig. 3.

Las variaciones en la sensibilidad de los detectores y en la respuesta del terreno (plantado), no justifican llegar a una aproximación superior a la segunda cifra decimal, aunque teóricamente es posible disminuir la respuesta a las señales de ruido más allá de lo que se indica en los ejemplos que se tratan adelante.

Debe notarse que al emplear detectores de diferentes sensibilidades puede lograrse una reducción considerable en la amplitud de las señales de ruido sacrificando la anchura de la banda de atenuación para las mismas señales, según se indica en la Fig. No. 4 (Parr y Mayne), siendo posible obtener una respuesta satisfactoria mediante una selección adecuada de las variaciones de sensibilidad y con un número de detectores que generalmente es mayor de 8.

Como es natural no sería práctico construir detectores de diferentes sensibilidades, pero con un atenuador sencillo, construido con pequeñas resistencias, pueden emplearse detectores de igual sensibilidad alimentando a los amplificadores con una fracción de la señal que genera cada detector, en la forma adecuada para llenar las condiciones de sensibilidad que se indicaron en la Fig. 3.

Aún cuando no es práctica común, en algunas áreas de fuertes echados se han empleado con éxito detectores con polaridades diferentes, aproximándose con ello a las condiciones ideales para la cancelación de ruidos.

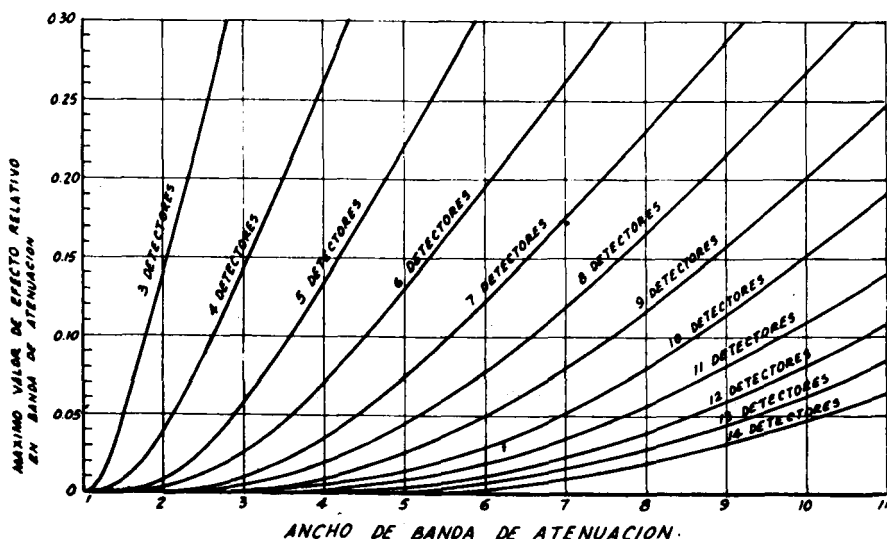


Fig. No. 4.—Máximos valores del efecto relativo para cualquier punto dentro de la banda de atenuación, que pueden ser obtenidos con diferente número de sismodetectores.

(Tomado de Parr & Mayne).

II.—Ejemplos, Fórmulas y Tablas para el Cálculo de la Respuesta de Tendidos con Detectores de Sensibilidad variable colocados en Línea.

Para el caso de un tendido de 5 detectores con diferentes sensibilidades relativas, basadas en el lóbulo central de la Fig. No. 3, se pueden considerar las condiciones indicadas en la Fig. No. 5.

Los valores aproximados de las sensibilidades relativas para este caso pueden tomarse de la Fig. No. 3 como sigue:

$$a_1 = a_5 = 0.25$$

$$a_2 = a_4 = 0.80$$

$$a_3 = 1.0$$

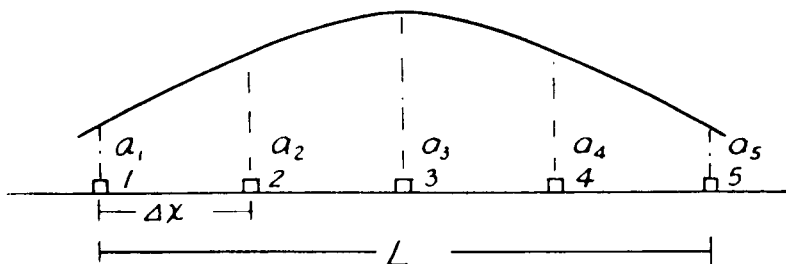


Fig. No. 5.—Variación Simétrica de Sensibilidad en un Tendido de 5 Detectores.

El defasamiento β de la componente de frecuencia f de las señales recibidas por cada detector, es

$$\beta = 2\pi f \Delta t = 2\pi f \frac{\Delta x}{V_a}$$

y como $\Delta x = \frac{L}{M-1}$ y $\frac{V_a}{f} = \lambda_a$, se tiene

$$\beta = \frac{2\pi}{M-1} \cdot \frac{L}{\lambda_a}$$

Teniendo en cuenta el defasamiento de las señales en cada detector, el voltaje de salida a la frecuencia f es:

$$V_1 = a_1 \operatorname{sen} (\alpha + 2\beta) = a_1 (\operatorname{sen} \alpha \cos 2\beta + \cos \alpha \operatorname{sen} 2\beta)$$

$$V_2 = a_2 \operatorname{sen} (\alpha + \beta) = a_2 (\operatorname{sen} \alpha \cos \beta + \cos \alpha \operatorname{sen} \beta)$$

$$V_3 = a_3 \operatorname{sen} \alpha = a_3 \operatorname{sen} \alpha$$

$$V_4 = a_2 \operatorname{sen} (\alpha - 2\beta) = a_2 (\operatorname{sen} \alpha \cos \beta - \cos \alpha \operatorname{sen} \beta)$$

$$V_5 = a_1 \operatorname{sen} (\alpha - 2\beta) = a_1 (\operatorname{sen} \alpha \cos 2\beta - \cos \alpha \operatorname{sen} 2\beta)$$

y la suma de las señales de los 5 detectores del tendido es:

$$V = 2a_1 \operatorname{sen} \alpha \cos 2\beta + 2a_2 \operatorname{sen} \alpha \cos \beta + a_3 \operatorname{sen} \alpha$$

Si dicha suma se compara con la señal que se recibiría si los 5 detectores estuvieran colocados en el centro del tendido, se tiene una respuesta relativa.

$$C_5 = \frac{V}{(2a_1 + 2a_2 + a_3) \operatorname{sen} \alpha} = \frac{2a_1 \cos 2\beta + 2a_2 \cos \beta + a_3}{2a_1 + 2a_2 + a_3}$$

y si se sustituyen en la ecuación anterior los valores de las sensibilidades supuestos en este ejemplo, y el defasamiento que en este caso vale

$$\beta = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{L}{\lambda_a}, \text{ se tiene:}$$

$$C_5 = \frac{0.5 \cos \pi \cdot \frac{L}{\lambda_a} + 1.6 \cos \frac{\pi}{2} \cdot \frac{L}{\lambda_a} + 1}{3.1}$$

$$= 0.161 \cos \pi \cdot \frac{L}{\lambda_a} + 0.515 \cos \frac{\pi}{2} \cdot \frac{L}{\lambda_a} + 0.323$$

Tabla No. 1.

Respuesta Relativa de un Tendido de 5 Detectores
con Sensibilidad Variable

$$C = \frac{1}{3.1} (0.5 \cos \pi \frac{L}{\lambda} + 1.6 \cos \frac{\pi}{2} \cdot \frac{L}{\lambda} + 1) = \frac{N}{3.1}$$

$$a_1 = a_5 = 0.25 a_3 ; a_2 = a_4 = 0.8 a_3$$

$\frac{L}{\lambda}$	$\pi \frac{L}{\lambda}$	$\frac{\pi}{2} \cdot \frac{L}{\lambda}$	$\cos \pi \frac{L}{\lambda}$	$\cos \frac{\pi}{2} \cdot \frac{L}{\lambda}$	$0.5 \cos \pi \frac{L}{\lambda}$	$1.6 \cos \frac{\pi}{2} \cdot \frac{L}{\lambda}$	N	Respuesta Relativa C
0	0	0	1	1	0.50000	1.60000	3.10000	1.000
0.1	18	9	.95106	.98769	0.47553	1.58030	3.05383	0.986
0.2	36	18	.80902	.95106	0.40451	1.52170	2.92621	0.944
0.3	54	27	.58779	.89101	0.29389	1.42561	2.71950	.877
0.4	72	36	.30902	.80902	0.15451	1.29443	2.44894	.790
0.5	90	45	0	.70711	0	1.13137	2.13137	.688
0.6	108	54	-.30902	.58779	-.15451	.94046	1.78595	.576
0.7	126	63	-.58779	.45399	-.29389	.72638	1.43249	.462
0.8	144	72	-.80902	.30902	-.40451	.49443	1.08992	.352
0.9	162	81	-.95106	.15643	-.47553	.25029	0.77476	.250
1.0	180	90	-1.00000	0	-.50000	0	.50000	.161
1.05	189	94.5	-.98769	-.07846	-.49384	-.12553	.38063	.123
1.10	198	99	-.95106	-.15643	-.47553	-.25029	.27418	.088
1.15	207	103.5	-.89101	-.23345	-.44550	-.37352	.18098	.058
1.20	216	108	-.80902	-.30902	-.40451	-.49443	.10106	.033
1.25	225	112.5	-.70711	-.38268	-.35355	-.61229	.03416	.011
1.30	234	117	-.58779	-.45399	-.29389	-.72638	-.02027	-.007
1.35	243	121.5	-.45399	-.52250	-.22699	-.83600	-.06299	-.020
1.40	252	126	-.30902	-.58779	-.15451	-.94046	-.09497	-.031
1.45	261	130.5	-.15643	-.64945	-.07821	-1.03912	-.11733	-.038
1.50	270	135	0	-.70711	0	-1.13137	-.13137	-.042
1.55	279	139.5	.15643	-.76041	.07821	-1.21666	-.13845	-.045
1.60	288	144	.30902	-.80902	.15451	-1.29443	-.13992	-.045
1.65	297	148.5	.45399	-.85264	.22699	-1.36422	-.13723	-.044
1.70	306	153	.58779	-.89101	.29389	-1.42561	-.13172	-.042
1.75	315	157.5	.70711	-.92388	.35355	-1.47821	-.12466	-.040
1.80	324	162	.80902	-.95106	.40451	-1.52170	-.11719	-.038
1.85	333	166.5	.89101	-.97237	.44550	-1.55579	-.11029	-.036
1.90	342	171	.95106	-.98769	.47553	-1.58030	-.10477	-.034
1.95	351	175.5	.98769	-.99692	.49384	-1.59507	-.10123	-.033
2.00	360	180	-1.00000	-1.00000	.50000	-1.60000	-.10000	-.032

Nota.-El cálculo de las tablas de respuesta para tendidos entre 3 y 10 detectores puede simplificarse considerablemente mediante el empleo de las Tablas Nos. 2 y 3.

El cálculo completo de la respuesta del tendido anterior se muestra en la Tabla No. 1, y la gráfica de respuesta correspondiente en la Fig. No. 6. En esta figura se ha puesto también la respuesta de un tendido de 5 detectores de igual sensibilidad y se ve claramente que es posible reducir considerablemente el nivel de ruido con el uso de detectores de sensibilidad variable (mediante un ajuste más cuidadoso de la señal que se tome de cada detector se puede reducir la amplitud de las señales de ruido por abajo del 15% de la que se recibiría con el uso de un solo detector).

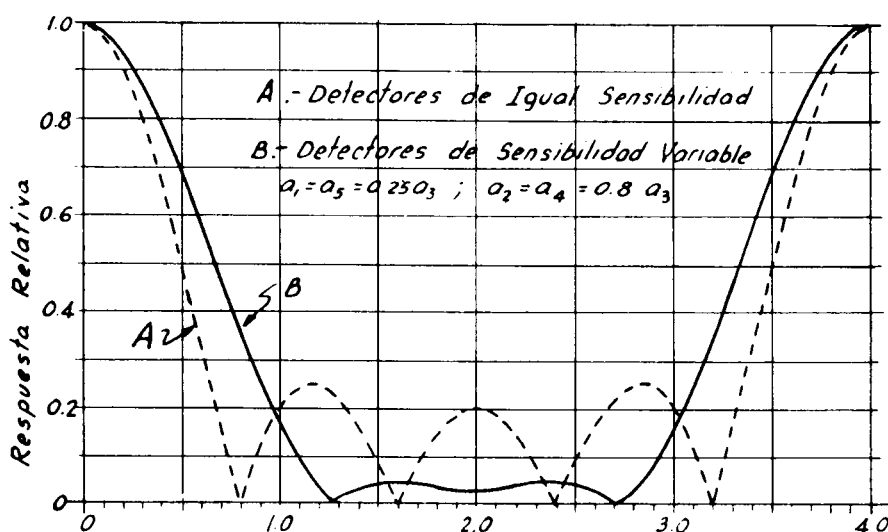


Fig. No. 6.—Respuesta relativa de un tendido de 5 detectores igualmente espaciados.

Nótese en la Fig. No. 6 que el ancho de la banda de atenuación se reduce cuando se emplean detectores de sensibilidad variable, pero generalmente esto no afecta la utilización práctica del método.

Es conveniente hacer siempre el cálculo de la respuesta para una distribución dada de sensibilidades para comprobar que el ancho de banda sea adecuado, y que no exista en la parte central un pico que exceda en amplitud a los picos laterales, lo que puede suceder en algunos casos.

Tabla N° 2.- FORMULAS PARA LA RESPUESTA RELATIVA DE TENDIDOS
DE 3 a 21 DETECTORES CON SENSIBILIDAD VARIABLE
SIMETRICA CON RELACION AL CENTRO

3 Detectores

$$C = \frac{2a_1 \cos \pi \frac{L}{\lambda} + a_2}{2a_1 + a_2}$$

4 Detectores

$$C = \frac{a_1 \cos \pi \frac{L}{\lambda} + a_2 \cos \frac{7}{3} \pi \frac{L}{\lambda}}{a_1 + a_2}$$

5 Detectores

$$C = \frac{2a_1 \cos \pi \frac{L}{\lambda} + 2a_2 \cos \frac{7}{2} \pi \frac{L}{\lambda} + a_3}{2a_1 + 2a_2 + a_3}$$

6 Detectores

$$C = \frac{a_1 \cos \pi \frac{L}{\lambda} + a_2 \cos \frac{3}{2} \pi \frac{L}{\lambda} + a_3 \cos \frac{1}{2} \pi \frac{L}{\lambda}}{a_1 + a_2 + a_3}$$

7 Detectores

$$C = \frac{2a_1 \cos \pi \frac{L}{\lambda} + 2a_2 \cos \frac{3}{2} \pi \frac{L}{\lambda} + 2a_3 \cos \frac{1}{2} \pi \frac{L}{\lambda} + a_4}{2a_1 + 2a_2 + 2a_3 + a_4}$$

8 Detectores

$$C = \frac{a_1 \cos \pi \frac{L}{\lambda} + a_2 \cos \frac{5}{2} \pi \frac{L}{\lambda} + a_3 \cos \frac{3}{2} \pi \frac{L}{\lambda} + a_4 \cos \frac{1}{2} \pi \frac{L}{\lambda}}{a_1 + a_2 + a_3 + a_4}$$

9 Detectores

$$C = \frac{1}{2a_1 + 2a_2 + 2a_3 + 2a_4 + a_5} \left(2a_1 \cos \pi \frac{L}{\lambda} + 2a_2 \cos \frac{3}{4} \pi \frac{L}{\lambda} + 2a_3 \cos \frac{1}{2} \pi \frac{L}{\lambda} + 2a_4 \cos \frac{1}{4} \pi \frac{L}{\lambda} + a_5 \right)$$

10 Detectores

$$C = \frac{1}{a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5} \left(a_1 \cos \pi \frac{L}{\lambda} + a_2 \cos \frac{7}{9} \pi \frac{L}{\lambda} + a_3 \cos \frac{5}{9} \pi \frac{L}{\lambda} + a_4 \cos \frac{1}{3} \pi \frac{L}{\lambda} + a_5 \cos \frac{2}{9} \pi \frac{L}{\lambda} \right)$$

11 Detectores

$$C = \frac{1}{2a_1 + 2a_2 + 2a_3 + 2a_4 + 2a_5 + a_6} \left(2a_1 \cos \pi \frac{L}{\lambda} + 2a_2 \cos \frac{4}{3} \pi \frac{L}{\lambda} + 2a_3 \cos \frac{2}{3} \pi \frac{L}{\lambda} + 2a_4 \cos \frac{1}{3} \pi \frac{L}{\lambda} + 2a_5 \cos \frac{1}{6} \pi \frac{L}{\lambda} + a_6 \right)$$

12 Detectores

$$C = \frac{1}{a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6} \left(a_1 \cos \pi \frac{L}{\lambda} + a_2 \cos \frac{9}{11} \pi \frac{L}{\lambda} + a_3 \cos \frac{7}{11} \pi \frac{L}{\lambda} + a_4 \cos \frac{5}{11} \pi \frac{L}{\lambda} + a_5 \cos \frac{3}{11} \pi \frac{L}{\lambda} + a_6 \cos \frac{1}{11} \pi \frac{L}{\lambda} \right)$$

(continuación de la Tabla No. 2)

$$\begin{aligned}
 & \frac{13 \text{ Detectores}}{C = \frac{2a_1 + 2a_2 + 2a_3 + 2a_4 + 2a_5 + 2a_6 + a_7}{1} \left(2a_1 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + 2a_2 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + 2a_3 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + 2a_4 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + 2a_5 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + a_7 \right)} \\
 & \frac{14 \text{ Detectores}}{C = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6 + a_7}{1} \left(a_1 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + a_2 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + a_3 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + a_4 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + a_5 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + a_6 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + a_7 \right)} \\
 & \frac{15 \text{ Detectores}}{C = \frac{2a_1 + 2a_2 + 2a_3 + 2a_4 + 2a_5 + 2a_6 + 2a_7 + a_8}{1} \left(2a_1 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + 2a_2 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + 2a_3 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + 2a_4 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + 2a_5 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + 2a_6 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + 2a_7 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + a_8 \right)} \\
 & \frac{16 \text{ Detectores}}{C = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6 + a_7 + a_8}{1} \left(a_1 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + a_2 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + a_3 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + a_4 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + a_5 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + a_6 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + a_7 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + a_8 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} \right)} \\
 & \frac{17 \text{ Detectores}}{C = \frac{2a_1 + 2a_2 + 2a_3 + 2a_4 + 2a_5 + 2a_6 + 2a_7 + a_8}{1} \left(2a_1 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + 2a_2 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + 2a_3 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + 2a_4 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + 2a_5 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + 2a_6 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + 2a_7 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + a_8 \right)} \\
 & \frac{18 \text{ Detectores}}{C = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6 + a_7 + a_8 + a_9}{1} \left(a_1 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + a_2 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + a_3 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + a_4 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + a_5 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + a_6 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + a_7 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + a_8 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + a_9 \right)} \\
 & \frac{19 \text{ Detectores}}{C = \frac{2a_1 + 2a_2 + 2a_3 + 2a_4 + 2a_5 + 2a_6 + 2a_7 + 2a_8 + 2a_9 + a_{10}}{1} \left(2a_1 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + 2a_2 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + 2a_3 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + 2a_4 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + 2a_5 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + 2a_6 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + 2a_7 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + 2a_8 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + 2a_9 \cos \frac{\pi}{2} n \frac{\lambda}{\lambda} + a_{10} \right)}
 \end{aligned}$$

(Continuación de la Tabla No. 2)

20 Detectores

$$C = \frac{1}{a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6 + a_7 + a_8 + a_9 + a_{10}} \left(a_1 \cos \pi \frac{k}{\lambda} + a_2 \cos \frac{17}{19} \pi \frac{k}{\lambda} + \right. \\ \left. + a_3 \cos \frac{15}{19} \pi \frac{k}{\lambda} + a_4 \cos \frac{13}{19} \pi \frac{k}{\lambda} + a_5 \cos \frac{11}{19} \pi \frac{k}{\lambda} + a_6 \cos \frac{9}{19} \pi \frac{k}{\lambda} + a_7 \cos \frac{7}{19} \pi \frac{k}{\lambda} + \right. \\ \left. + a_8 \cos \frac{5}{19} \pi \frac{k}{\lambda} + a_9 \cos \frac{3}{19} \pi \frac{k}{\lambda} + a_{10} \cos \frac{1}{19} \pi \frac{k}{\lambda} \right)$$

21 Detectores

$$C = \frac{1}{2a_1 + 2a_2 + 2a_3 + 2a_4 + 2a_5 + 2a_6 + 2a_7 + 2a_8 + 2a_9 + 2a_{10} + a_{11}} \left(2a_1 \cos \pi \frac{k}{\lambda} + \right. \\ \left. + 2a_2 \cos \frac{9}{10} \pi \frac{k}{\lambda} + 2a_3 \cos \frac{8}{10} \pi \frac{k}{\lambda} + 2a_4 \cos \frac{7}{10} \pi \frac{k}{\lambda} + 2a_5 \cos \frac{6}{10} \pi \frac{k}{\lambda} + 2a_6 \cos \frac{5}{10} \pi \frac{k}{\lambda} + \right. \\ \left. + 2a_7 \cos \frac{4}{10} \pi \frac{k}{\lambda} + 2a_8 \cos \frac{3}{10} \pi \frac{k}{\lambda} + 2a_9 \cos \frac{2}{10} \pi \frac{k}{\lambda} + 2a_{10} \cos \frac{1}{10} \pi \frac{k}{\lambda} + a_{11} \right)$$

TABLA NO. 3.- VALORES DE LA FUNCIÓN $\cos \pi \frac{1}{N}$ PARA EL CÁLCULO DE TENDIDOS DE 3 A 10 DETECTORES
 DE SENSIBILIDAD VARIABLE

$\frac{m}{L}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.1	95106	97030	97815	97476	97237	98229	98481	98769	99098	99452
0.2	80902	86935	91355	97816	97501	98278	98469	98765	99098	99452
0.3	58779	55319	56913	62386	62386	67897	66404	66404	67897	69452
0.4	30902	34202	50000	43366	32668	58779	64279	68152	71506	74314
0.5	0	-30902	-10453	-22325	-15643	-42578	-50000	-58779	-69098	-81010
0.6	-30902	-10453	-30902	-22325	-15643	-42578	-50000	-58779	-69098	-81010
0.7	-58779	-13911	-30902	0	-107846	-24869	-34202	-45399	-58779	-74314
0.8	-80902	-37461	-10453	-22325	-107846	-24869	-34202	-45399	-58779	-74314
0.9	-95106	-58779	-30902	-43366	-12533	-62579	-17365	-30902	-45399	-69098
1.0	-1	-76604	-50000	-62388	-1	-30902	-17365	-15643	-58779	-90100
1.1	-95106	-89879	-66913	-78152	-82644	-48175	-34202	-15643	-88889	-88056
1.2	-80902	-97815	-80902	-90108	-95106	-63742	-50000	-30902	-85042	-91355
1.3	-58779	-99939	-91355	-97476	-97476	-70751	-64279	-45399	-85042	-91355
1.4	-30902	-86603	-97815	-97476	-97476	-76604	-80902	-58779	-88056	-91355
1.5	0	-86603	-1	-97476	-97476	-95106	-80902	-69098	-88056	-91355
1.6	30902	-79134	-97815	-90108	-90108	-92921	-91369	-89092	-75310	-75310
1.7	-58779	-52992	-91355	-78152	-78152	-92921	-91369	-89092	-75310	-75310
1.8	80902	-30902	-66913	-62388	-62388	-90485	-98481	-95106	-72585	-82904
1.9	95106	-66976	-50000	-22325	-22325	-90485	-98481	-95106	-72585	-82904
2.0	1	-17365	-50000	-22325	-22325	-80902	-93969	-1	-63812	-78801
2.1	95106	-40674	-30902	0	23345	-68455	-86603	-98769	-95106	-74314
2.2	80902	-61566	-43399	22325	22325	-53583	-76604	-95106	-88889	-88056
2.3	58779	-79801	-38812	43366	43366	-38812	-64279	-89092	-74314	-74314
2.4	30902	-91355	-80902	62388	62388	-18738	-42578	-80902	-69098	-69098
2.5	0	-98481	50000	78152	92388	90108	-34202	-97476	-62388	-62388
2.6	-30902	99756	66913	90108	90108	18738	-17365	-93606	-39298	39298
2.7	-58779	95106	80902	97476	97476	16815	-17365	-88048	-35135	35135
2.8	-80902	84093	84093	95106	95106	53583	-17365	-80902	-30902	30902
2.9	-95106	69466	69466	90108	90108	80902	-34202	-72297	-26606	26606
3.0	1	50000	50000	90108	90108	80902	-34202	-62388	-30902	30902
3.1	-95106	-27664	97815	-78152	-52250	90483	-64279	-15643	-36812	-46947
3.2	-80902	-40490	91355	-62388	-90483	90483	-76604	-80902	-42578	-43837
3.3	-58779	-20791	80902	-43366	-90483	90483	-86603	-95106	-48175	-48175
3.4	-30902	-43399	66913	22325	92921	93969	-93969	-91355	-53583	-53583
3.5	0	-64279	50000	0	-38268	95106	-98481	-86603	-58779	-34202
3.6	30902	-80902	30902	-22325	-58779	86931	98481	-80902	-63742	30902
3.7	80902	-92716	-10453	-62388	-80902	70751	98481	-92716	-63742	30902
3.8	80902	-92716	-10453	-62388	-80902	70751	98481	-92716	-63742	30902
3.9	95106	-99452	-30902	78152	78152	98769	66404	-99452	-17365	17365
4.0	1	-93969	-30902	-90108	-90108	80902	-34202	-62388	-30902	30902
4.1	-95106	-82904	-66913	-97782	-97782	72417	-99452	-15643	-84432	-84432
4.2	80902	-66913	-1	1	1	80902	-95106	-10453	-30902	-30902
4.3	58779	-49447	-76041	-97476	-97476	89101	-88130	-97237	-90433	-90433
4.4	30902	-24192	-91355	-90108	-90108	80902	-93667	-10453	-92716	-92716
4.5	0	-38269	-1	-78152	-78152	97715	0	0	0	0

Siguiendo la misma secuela de cálculo se ha llegado a las fórmulas que dan la respuesta relativa de tendidos de 3 a 21 detectores de sensibilidad variable, pero simétrica con relación al centro del tendido, y con espaciamiento constante entre ellos. Tales fórmulas constan de una serie de términos en las que interviene, además de los coeficientes de sensibilidad, los cosenos del

ángulo $\pi \frac{L}{\lambda_a}$ multiplicado por distintos factores numéricos. Las fórmulas respectivas aparecen en la Tabla No. 2.

El cálculo de tendidos de 3 a 10 detectores se simplifica considerablemente mediante el uso de la Tabla No. 3, en la que se muestran los valores de

la función $\cos m \pi \frac{L}{\lambda_a}$ en la que m es la fracción que aparece en las fórmulas de la Tabla No. 2. (El cálculo de tendidos hasta de 10 detectores puede hacerse en unos 30 minutos).

En la Fig. No. 7 se muestra la característica de Respuesta para un tendido de 10 detectores con sensibilidad variable, calculada con ayuda de la Tabla No. 3, en la misma figura se muestra el resultado de un tendido con detectores de sensibilidad uniforme, siendo evidente la mejoría que puede lograrse.

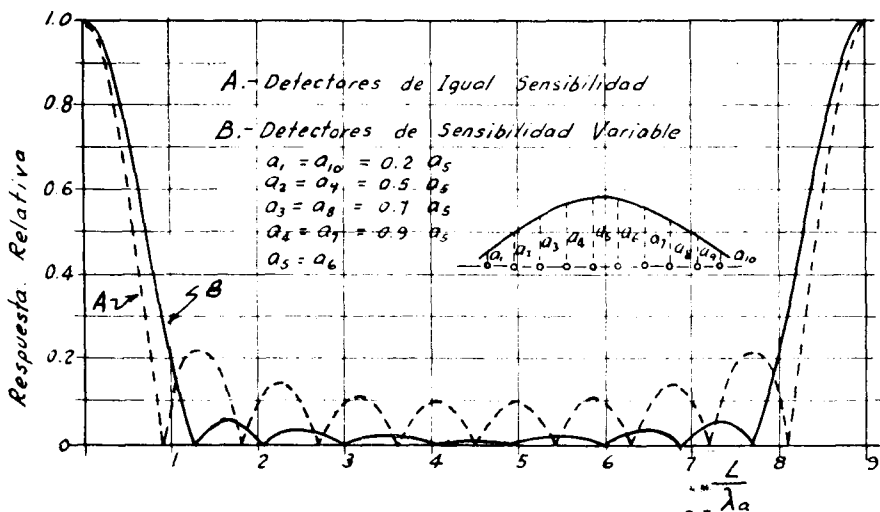


Fig. No. 7.—Respuesta relativa de un tendido de 10 detectores en línea igualmente espaciados.

III.—Caso de Tendidos con Detectores Distribuidos en una Superficie.

Aunque los detectores colocados en línea pueden dar una respuesta favorable mejorando la relación señal-ruido de un sismograma, no debe olvidarse que se está suponiendo que el frente plano de onda sísmica viaja a lo largo (o en la dirección) de la línea observada. Esto, naturalmente es sólo un caso especial, ya que en general el frente de ondas seguirá una dirección cualquiera formando un cierto ángulo con la línea en que se encuentran los detectores. Lo anterior equivale a decir que los reflejos y los ruidos no siempre proceden de contactos que tienen su máxima pendiente en la dirección de tiro. Por lo tanto, y a fin de hacer el tendido de detectores múltiples más apropiado a la situación física real, se ha desarrollado la técnica de distribuir los detectores en una superficie. En este caso la respuesta del grupo variará con la dirección de llegada de los frentes de onda, según se muestra adelante. Por facilidad en el tratamiento del problema primeramente se considerarán sólo detectores de igual sensibilidad formando distribuciones geométricas sencillas, para las que se dan soluciones que pueden aplicarse en cualquier caso más difícil.

En la Fig. No. 8 se presenta un caso de 13 detectores distribuidos en la forma indicada. La respuesta del tendido será diferente según sea la dirección de donde proceda el frente de onda.

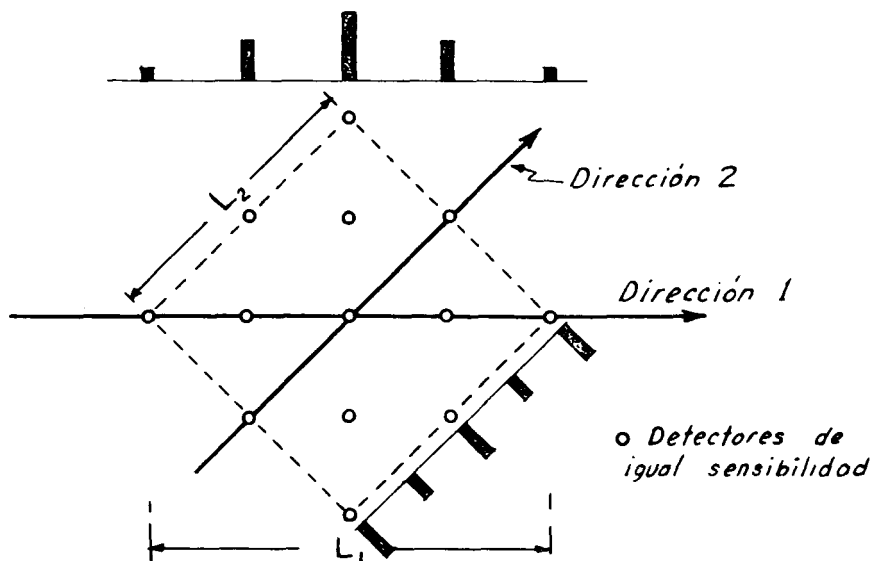


Fig. No. 8.—Tendido de 13 detectores de igual sensibilidad distribuidos en una área.

Para este caso se presentan dos posibilidades extremas por lo que se refiere a la respuesta del tendido:

a).—Si el frente plano de onda sigue la dirección 1, el tendido responderá como si se tratara de un tendido lineal de 5 detectores con sensibilidades proporcionales a los números 1, 3, 5, 3, 1 y su curva de respuesta relativa (Fig. No. 9, curva A) dependerá del largo L_1 del tendido, y se basará en las fórmulas de la tabla No. 2, obteniéndose:

$$C_{51} = \frac{2 \cos \pi \frac{L_1}{\lambda_a} + 6 \cos \frac{\pi}{2} \cdot \frac{L_1}{\lambda_a} + 5}{2 + 6 + 5}$$

$$= 0.154 \cos \pi \frac{L_1}{\lambda_a} + 0.461 \cos \frac{\pi}{2} \cdot \frac{L_1}{\lambda_a} + 0.385$$

b).—Si el frente plano de onda sigue la dirección 2, el conjunto también responderá como un tendido lineal de 5 detectores, pero esta vez con sensibilidades proporcionales a los números 3, 2, 3, 2, 3 y a un largo L_2 de tendido. La fórmula de respuesta relativa será por lo tanto:

$$C_{52} = \frac{6 \cos \pi \frac{L_2}{\lambda_a} + 4 \cos \frac{\pi}{2} \cdot \frac{L_2}{\lambda_a} + 3}{6 + 4 + 3}$$

$$= 0.461 \cos \pi \frac{L_2}{\lambda_a} + 0.308 \cos \frac{\pi}{2} \cdot \frac{L_2}{\lambda_a} + 0.231$$

cuya curva se representa en la Fig. No. 9 (Curva B).

La respuesta de tendidos con detectores de igual sensibilidad distribuidos en una área, según puede verse de los resultados del ejemplo anterior, mejora en ciertas direcciones (caso de la Curva A) al compararse con tendidos cuyos detectores se encuentran en línea, pero puede empeorar en otras direcciones, como sucede en el caso particular de la curva B, que fue escogida especialmente para mostrar la necesidad de calcular la respuesta de cada tendido en todas sus direcciones críticas.

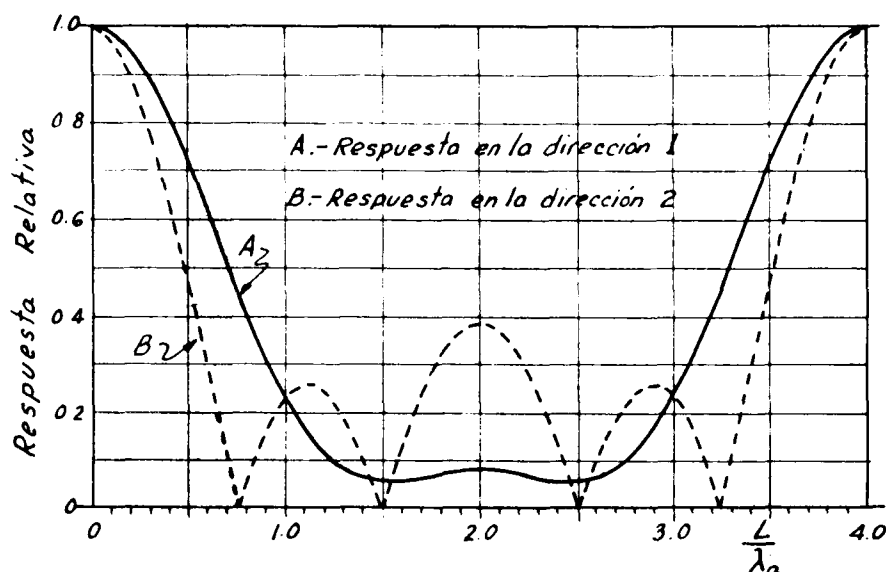


Fig. No. 9.—Respuesta relativa de un tendido de 13 detectores de igual sensibilidad distribuidos en una área como se muestra en la figura 8.

Con el fin de mejorar la respuesta de detectores distribuidos en superficie se han estudiado las características que se obtienen con el empleo de detectores de sensibilidad variable.

En la Fig. No. 10 se compara el efecto relativo de la variación de la respuesta para 7 detectores de igual sensibilidad colocado en línea recta y la respuesta que puede obtenerse para 2 casos de detectores distribuidos en una área. La respuesta que se obtiene en el caso de la distribución B permite reducir prácticamente a cero la respuesta para ondas de ruido que se propa-

guen en la dirección de la diagonal y que tengan longitud de onda comprendidas entre 0.56 y 0.24 veces la longitud L del tendido en la dirección de la diagonal.

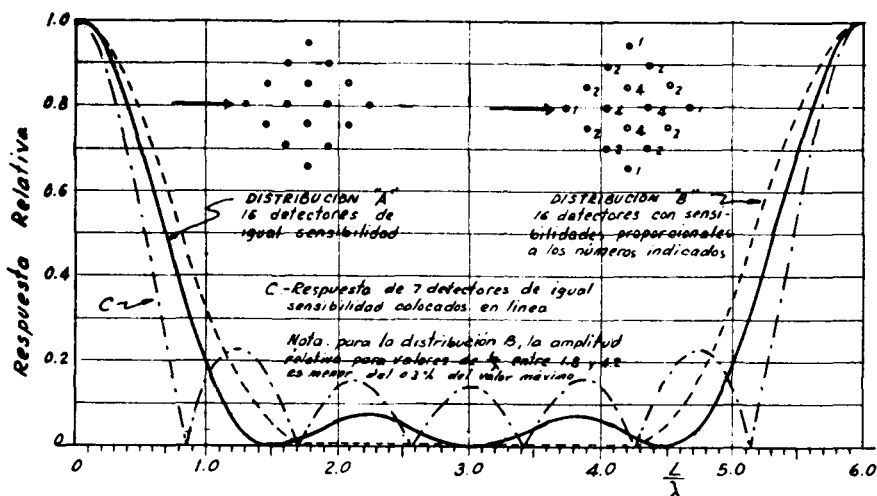


Fig. No. 10.—Respuesta relativa de un tendido de 16 detectores distribuidos en superficie.

Es conveniente hacer notar que la respuesta en la dirección del lado del cuadrado, presenta a las ondas de ruido coherente una atenuación bastante menor que la que se tiene en la dirección de la diagonal.

En la Fig. No. 11 se muestra la respuesta en el sentido del lado del cuadrado para la misma distribución B y se puede observar que la respuesta para ondas de ruido se reduce del 27% en el caso de 4 detectores en línea al 6% en este arreglo B. Sin embargo, el ancho del paso de la banda de atenuación, se reduce con respecto al caso de detectores en línea, con lo que se muestra la conveniencia de emplear un número grande de detectores para obtener una atenuación importante a las ondas de ruido coherente en el sentido del lado del cuadrado.

En general es posible, variando en forma adecuada las sensibilidades de los detectores y su distribución en el terreno, lograr que el paso por la banda de atenuación sea del orden del 2% o menor que en la banda de paso

y por lo tanto el empleo de detectores distribuidos en una área permite obtener información sismológica en regiones en las que las distribuciones convencionales de detectores no dan ninguna información, debido a una pequeña relación de señal a ruido, por ejemplo en las áreas desérticas del Medio Oriente y del Sahara, y ha permitido el desarrollo de técnicas de exploración en el caso de que se tengan señales reflejadas de muy poca energía, como sucede en los trabajos en que la señal sísmica se produce por la caída de un martinete o por señales de un vibrador aplicadas a la superficie del terreno (Vibroseis).

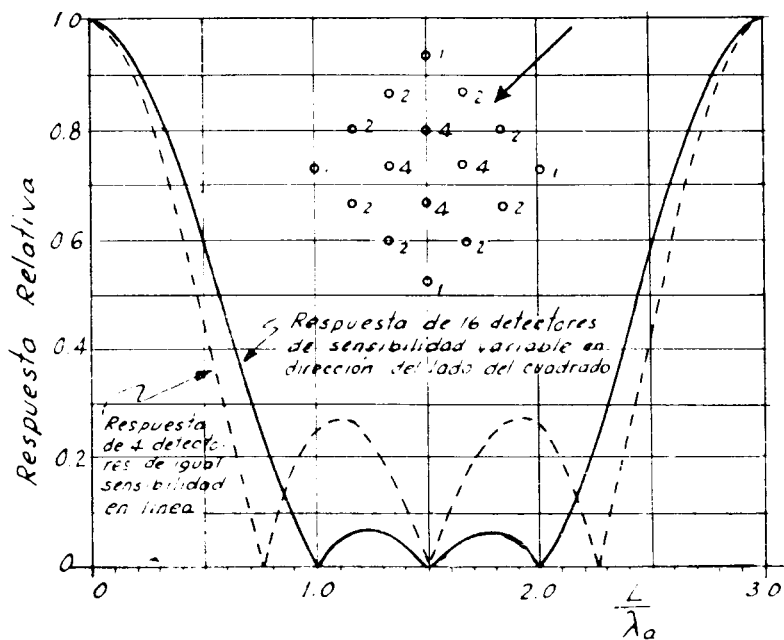


Fig. No. 11.—Respuesta relativa de 16 detectores de sensibilidad variable distribuidos en superficie.

IV.—Respuesta de Tendidos de Detectores Múltiples a Señales Sísmicas Transitorias.

En todos los casos tratados hasta el momento —en la primera y segunda parte de este trabajo— se ha considerado la respuesta de un tendido a ondas periódicas, puesto que el análisis matemático es mucho más fácil que para el caso de ondas transitorias.

Los resultados básicos a que se ha llegado se aproximan suficientemente al caso de ondas transitorias, y por lo tanto los resultados fundamentales son completamente válidos. Sin embargo, si se tiene en cuenta que las ondas sísmicas —tanto en lo que corresponde al ruido como en lo que corresponde a los reflejos— son señales transitorias de corta duración, se hace necesario justificar que los resultados teóricos presentados anteriormente se aplican con buena aproximación al caso de señales transitorias.

Lo anterior se indica en forma gráfica para un caso particular, entrándose posteriormente a un tratamiento matemático sencillo del caso general, de acuerdo con un trabajo de J. E. White, publicado en *Geophysics*.

La característica principal de una onda sísmica transitoria —ya sea debida a reflejo o ruido de carácter coherente— es que su forma es prácticamente igual a lo largo de un frente de onda, y se repite a tiempos ligeramente diferentes en cada uno de los detectores, propagándose a lo largo del tendido con una velocidad aparente V_a , de manera que la diferencia de tiempos de llegada a dos detectores separados entre sí por una distancia Δx será

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{V_a}$$

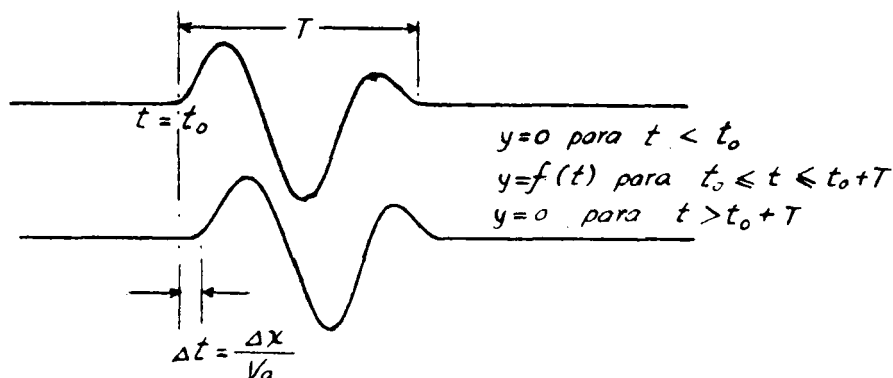


Fig. No. 12.—Defasamiento de un Impulso Transitorio de un Detector a otro.

La forma de la función puede considerarse representada por la ecuación $y = f(t)$, en donde los valores y son obtenidos experimentalmente, y la duración T del transitorio puede considerarse como finita e igual al tiempo transcurrido entre el momento en que se observa el primer impulso

y el momento en que deja de ser perceptible en un registro, siendo discernibles su principio y su terminación en el caso de que no ocurran simultáneamente otros eventos de amplitud semejante o mayor. (En el caso de que en un registro se observe un transitorio solamente en unas pocas trazas éste deberá ser considerado como ruido no coherente).

En un tendido cualquiera de detectores múltiples la respuesta del conjunto en un tiempo dado se podrá representar como la suma de las señales individuales registradas en ese mismo tiempo en cada detector. En la Fig. No. 13 se muestra la disposición de un tendido con la sensibilidad de cada detector, considerándose que se recibe el impulso de un frente de onda plano que llega primeramente al detector 1.

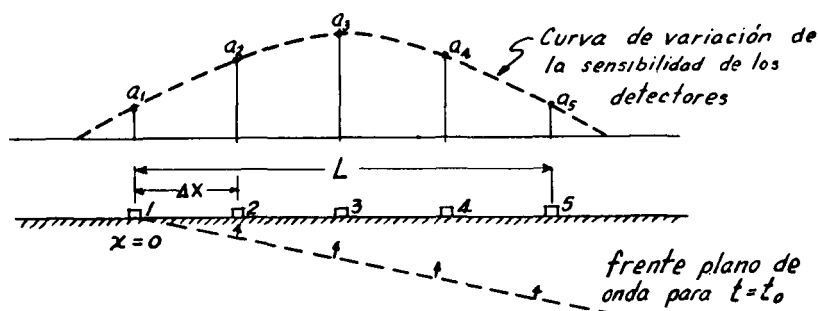


Fig. No. 13.—Variación de la Sensibilidad de los Detectores de un Tendido.

Los impulsos sísmicos que recibirán los diferentes detectores tendrán un defasamiento que dependerá de la velocidad aparente con que se propaga la onda sísmica, y sus valores podrán expresarse como se indica a continuación:

$$i_1 = a_1 f(t - t_0)$$

$$i_2 = a_2 f\left(t - t_0 - \frac{\Delta x}{V_a}\right)$$

$$i_3 = a_3 f\left(t - t_0 - \frac{2 \Delta x}{V_a}\right)$$

$$i_4 = a_4 f \left(t - t_o - \frac{3 \Delta x}{V_a} \right)$$

$$i_5 = a_5 f \left(t - t_o - \frac{4 \Delta x}{V_a} \right)$$

Para el caso general de un tendido como M detectores igualmente espaciados, la señal de un detector cualquiera n será:

$$i_n = a_n f \left[t - t_o - (n - 1) \frac{\Delta x}{V_a} \right]$$

y la suma de las señales será:

$$\sum_1^M i_n = \sum_1^M a_n f \left[t - t_o - (n - 1) \frac{\Delta x}{V_a} \right]$$

y la respuesta relativa del tendido será:

$$C = \frac{\sum_1^M a_n f \left[t - t_o - (n - 1) \frac{\Delta x}{V_a} \right]}{\sum_1^M a_n} \quad (6)$$

Cualquiera que sea la variación de las sensibilidades de los detectores situados a lo largo del tendido puede expresarse ésta, en la forma

$$a_n = A \left(\frac{x}{L} \right) \cdot (n - 1) \Delta x$$

siendo $A \left(\frac{x}{L} \right)$ una función que representa la variación de la sensibilidad por unidad de longitud (puede verse párrafo I de la Segunda Parte) con relación a la fracción $\frac{x}{L}$, la cual en forma gráfica está indicada en la Fig. No. 13 por la curva que une los valores a_n con línea punteada.

La señal total que recibe un detector puede considerarse proporcional al valor de la suma de los valores de a_n entre las distancias $+\frac{\Delta x}{2}$ y $-\frac{\Delta x}{2}$ a partir del detector que se considere o sea:

$$a_n = \int_{-\frac{\Delta x}{2}}^{+\frac{\Delta x}{2}} A \left(\frac{x}{L} \right) dx$$

y por lo tanto la fórmula (6) puede transformarse, para el caso de detectores distribuidos en todos los puntos a lo largo (L) del tendido, en

$$C = \frac{\int_0^L f \left(t - t_0 - \frac{x}{V_a} \right) A \left(\frac{x}{L} \right) dx}{\int_0^L A \left(\frac{x}{L} \right) dx} \quad (7)$$

siendo dx la distancia de un detector a otro.

La respuesta de un tendido de detectores a una señal transitoria puede calcularse aplicando la fórmula No. 6 según se indica en la Tabla No. 4 para el caso de las señales de baja velocidad aparente que se muestra en la Fig. No. 14.

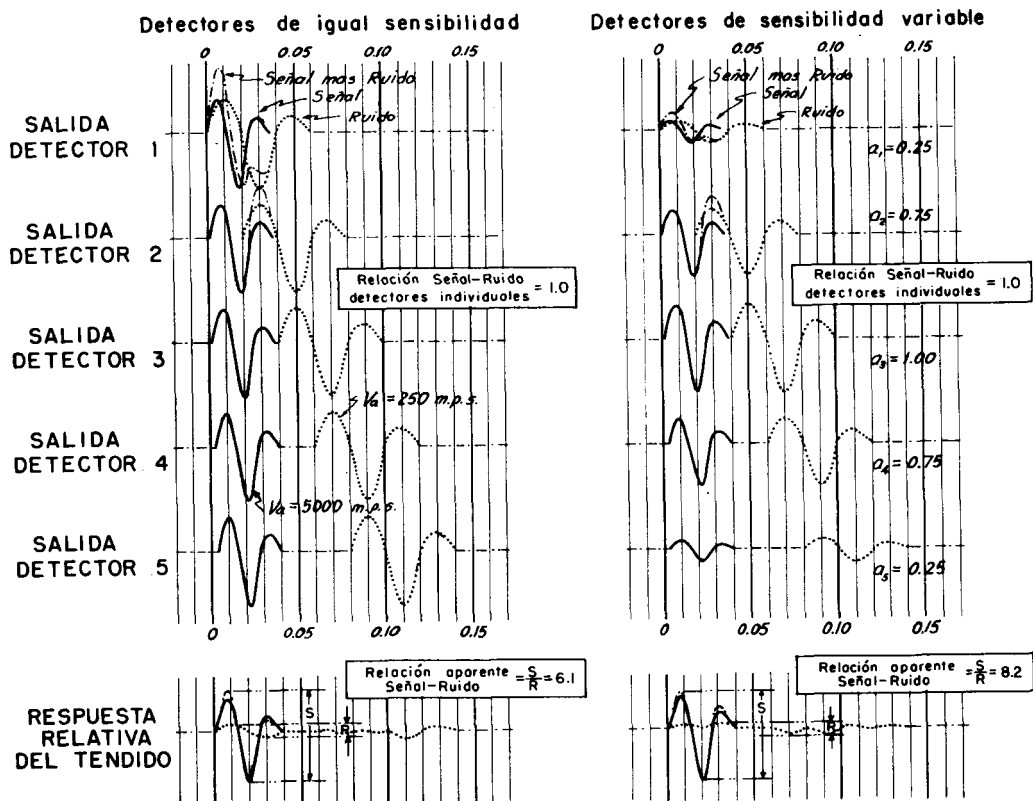


Fig. No. 14.—Respuesta de un Tendido de 5 Detectores con Espaciamiento de 5 metros a Impulsos Sísmicos Transitorios de Media y Baja Velocidad Aparente.

Aunque las fórmulas anteriores son rigurosamente exactas el cálculo es laborioso y solamente se puede aplicar a casos especiales de un transitorio

y para valores determinados de V_a , L y A ($\frac{X}{L}$), lo cual implica repetir

el cálculo para un gran número de casos, lo cual hace conveniente el empleo de calculadoras electrónicas, ya sean analógicas o digitales.

Para simplificar lo anterior es conveniente expresar la fórmula 7 en función de cantidades no dimensionales, para formas determinadas del transitorio, a fin de convertir los resultados generales a casos particulares de V_a y L , según se discute adelante.

Un impulso transitorio de duración T cuya amplitud en cualquier instante está dada por la función $f_n = f(t - t_0)$ puede representarse en la forma $f_n = f(t - t_0) = f(\tau)$ siendo τ el número de períodos transcurridos desde que se inició el transitorio hasta el tiempo considerado.

Lo anterior se explica gráficamente en la Fig. No. 15 en donde el valor de f_n en función del tiempo se obtiene multiplicando τ por T .

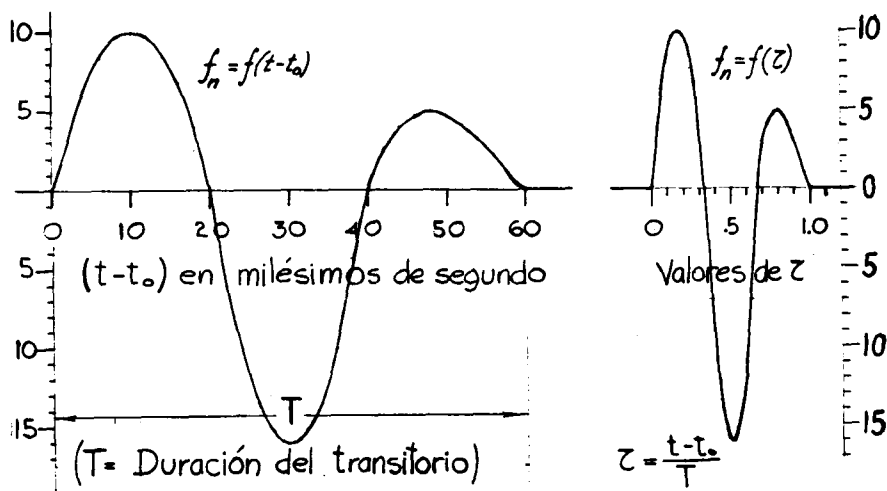


Fig. No. 15.—Impulso Sísmico Transitorio en Función del Tiempo $(t - t_0)$ y en Función de la Fracción τ

Por otra parte la curva de sensibilidad a lo largo del tendido de longitud L puede también expresarse en función de otro tendido de longitud unitaria. Como se muestra gráficamente en la Fig. No. 16 en la que se ha considerado $y = \frac{x}{L}$ o sea que la curva de sensibilidad está referida a una fracción de la longitud del tendido. Por lo tanto, se puede poner

$$A\left(\frac{x}{L}\right) dx = LA(y) dy$$

y la integral a lo largo del tendido resulta ser

$$\int_0^L A \left(\frac{x}{L} \right) dx = \int_0^1 A(y) dy = KL$$

siendo K un valor constante que depende del área limitada por la curva de sensibilidad de base unitaria.

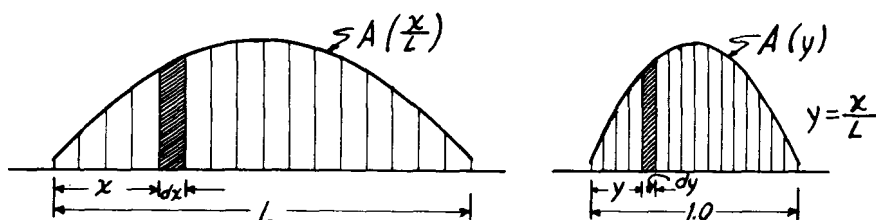


Fig. No. 16.—Variación de la Sensibilidad de los Detectores de un Tendido de Longitud L y en otro de Longitud Unitaria.

El defasamiento que sufre el impulso sísmico de uno a otro extremo del tendido, considerado como una fracción de la duración T del impulso, se designa como $\Delta \tau$ cuya expresión es

$$\Delta \tau = \frac{\frac{L}{V_a}}{T} = \frac{L}{V_a T} \quad (8)$$

con lo cual se encuentra que el defasamiento relativo en cualquier punto del tendido resulta

$$\frac{\frac{x}{V_a T}}{\frac{L}{V_a T}} = \frac{\frac{x}{L}}{\frac{L}{V_a T}} = y \Delta \tau$$

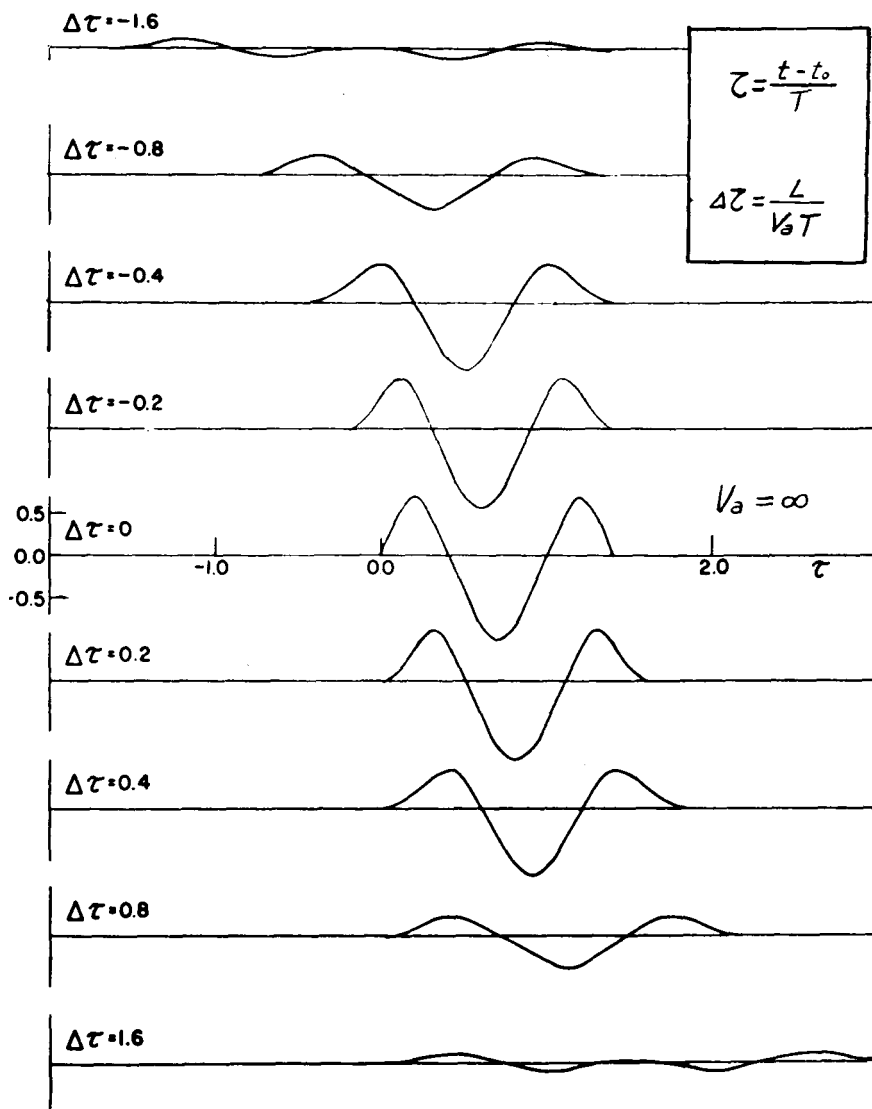


Fig. No. 17.—Modificación de la Respuesta Relativa de un Tendido de un gran número de Detectores de Igual Sensibilidad a un Impulso Sísmico Transitorio.

(Tomado de J. E. White).

y por lo tanto la fórmula 7, que dá la respuesta del tendido para diferentes valores de V_a , $f(t)$ y $A\left(\frac{x}{L}\right)$ se transforma en la expresión no dimensional

$$C_{(\tau)} = \frac{\int_0^1 f(\tau - y \Delta \tau) A(y) dy}{\int_0^1 A(y) dy} \quad (9)$$

En el trabajo de J. S. White a que se ha hecho referencia, se presentan los resultados de aplicar un transitorio de la misma forma a tendidos de detectores con diferente distribución de sensibilidades y para diferentes valores de $\Delta \tau$. En la Fig. No. 17 se muestra el caso más simple que corresponde a detectores de igual sensibilidad repartidos uniformemente en el terreno, para el caso en que $\int_0^1 A(y) dy = 1$ o sea cuando la respuesta de los diferentes tendidos sería de la misma amplitud para el caso de reflejos sísmicos de un horizonte de gran profundidad, o sea cuando la velocidad aparente es infinita.

En este caso se ve que cuando aumenta el valor absoluto de $\Delta \tau$ va disminuyendo sistemáticamente la amplitud de la señal que sale del grupo de detectores, y hay una disminución aparente en la frecuencia de la misma, hasta llegar al extremo, en el que para valores grandes se observen varias ondas, según se ve en la Fig. No. 17 para un valor de $\Delta \tau = 1.6$.

Un caso semejante se ilustra en la Fig. No. 18 en donde se ve el cambio en la amplitud de la señal resultante del tendido para ondas que llegan a la superficie con diferentes ángulos de incidencia. (Nótese que la figura equivale a una representación diferente del caso ilustrado en la Fig. No. 17).

En la Fig. No. 19 se muestra la respuesta de dos tendidos de 7 detectores, con diferentes distribuciones de sensibilidad en la que se ve que la respuesta para un impulso transitorio del tendido con sensibilidad variable, es mayor y la deformación de la onda sísmica es menor para valores de $\Delta \tau$ del orden de 1.5. Asimismo se ve que para valores altos de $\Delta \tau$, que corresponden a valores bajos de la velocidad aparente, o sea a las de las ondas de ruido que generalmente se desea eliminar, el nivel relativo de la señal es menor en el caso de detectores de sensibilidad variable, según se indica en la figura para valores de $\Delta \tau = 2.5$.

En el caso de los ejemplos calculados para la Fig. No. 14 en que se supuso un tendido de 5 detectores, $L = 20$ metros y dos impulsos sísmicos: uno de 5,000 m.p.s. de velocidad aparente y duración de 0.036 segundos, y otro de 250 m.p.s. y duración de 0.060 seg., los valores respectivos de $\Delta\tau$ son 0.11 y 1.33. Las curvas de respuesta en este caso son, como puede verse, comparables a los de la Fig. No. 19, que se refieren a un tendido de 7 detectores.

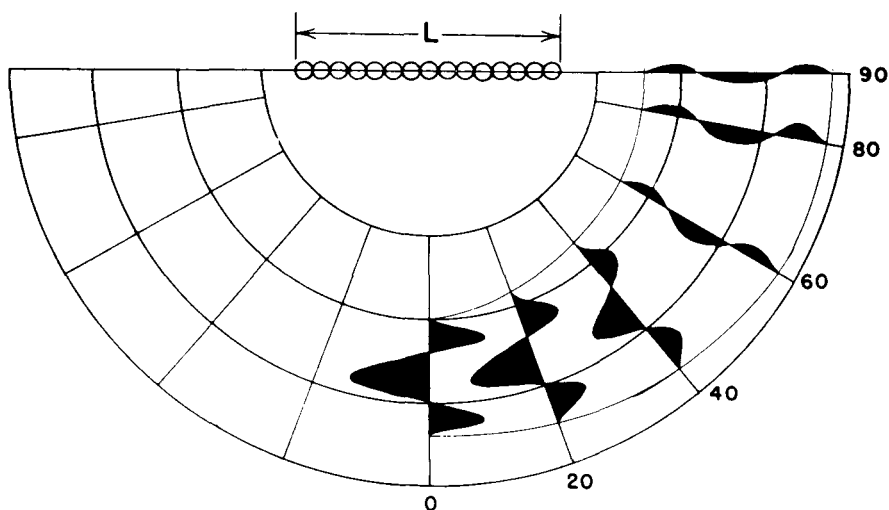


Fig. No. 18.—Efecto Direccional Sobre la Respuesta Relativa de un Tendido de un gran número de Detectores de Igual Sensibilidad para un Impulso Sísmico Transitorio.
(Tomado de J. E. White).

De la información contenida en el tratamiento de impulsos transitorios y de las figuras que se acompañan, se considera que el valor de $\Delta\tau$ para las ondas que se desea registrar debe ser del orden de 0.0 a 0.45 para detectores de la misma sensibilidad, lo que significa que la longitud máxima del tendido debe ser:

$$L = 0.45 V_a T = 0.45 \lambda_a$$

en donde V_a es la velocidad aparente de las ondas sísmicas correspondientes al echado máximo de la región en estudio, y T el período de las ondas refle-

jadas de menor frecuencia que se observen en la región. (Esta relación es muy semejante a la que se encuentra para el caso de tendidos de igual resistencia, según se indicó en la primera parte de este trabajo).

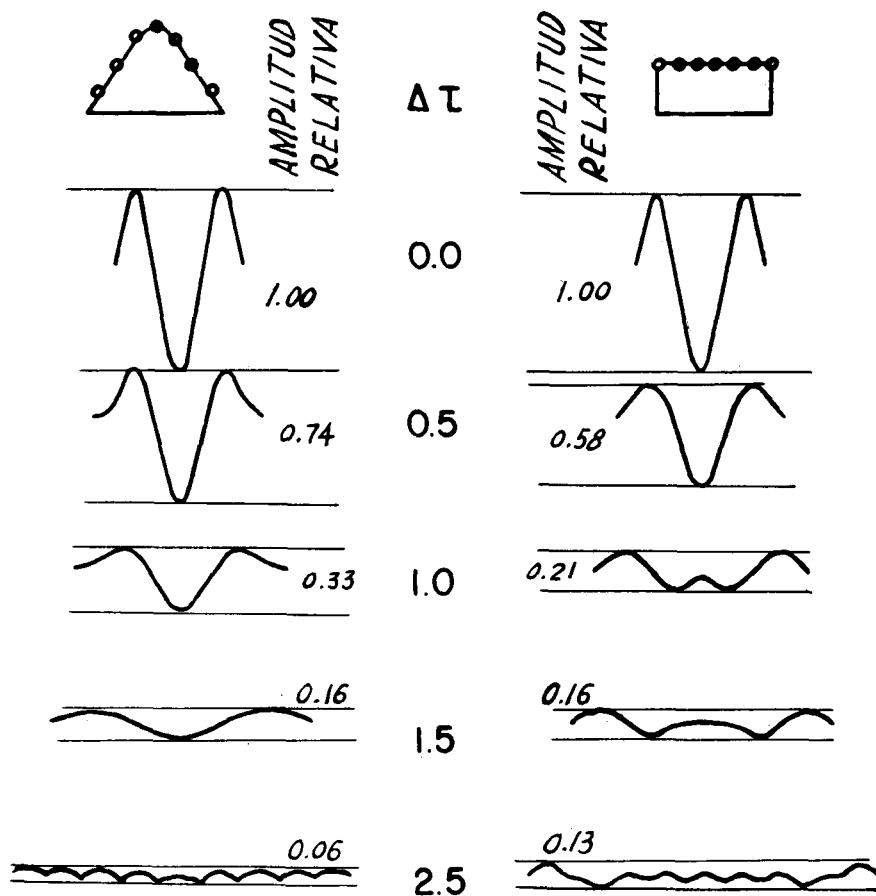


Fig. No. 19.—Respuesta Relativa de un Tendido de 7 Detectores en Línea a un Impulso Sísmico Transitorio para el caso de Sensibilidad Variable y para Sensibilidad Uniforme, con diferentes valores de τ . (Tomado de J. E. White).

Tratándose de tendidos con sensibilidad variable se puede aumentar ligeramente la longitud del tendido, siendo conveniente en cada caso determinar las formas típicas de la respuesta a un transitorio para el arreglo de detectores que se esté empleando en el área, lo cual puede hacerse con tablas semejantes a la No. 4 o bien mediante el uso de una calculadora electrónica.

En un trabajo por separado se mostrará la aplicación del mismo principio al efecto direccional que puede obtenerse al emplear los explosivos en forma de cargas largas o de cargas distribuidas.

V.—Reducción de la amplitud de señales de ruido incoherente.

El empleo de detectores múltiples, ya sea de igual o de diferentes sensibilidades, resulta en una reducción del nivel de ruido incoherente, según se muestra adelante.

En el ruido incoherente no se puede observar una relación definida entre las fases de las diferentes señales recibidas, pero puede emplearse el principio de conservación de la energía, de acuerdo con el cual al sumar las señales de ruido de los diferentes detectores la energía total será igual a la suma de la energía del ruido de cada detector considerado individualmente.

En un sistema que oscila en forma senoidal la energía es proporcional al cuadrado de la amplitud, y aunque las señales de ruido registradas por un detector no son exactamente senoidales, puesto que tienen un espectro de frecuencias relativamente amplio (según se indicó en la Fig. No. 1 de la primera parte) puede suponerse con suficiente exactitud que la energía del ruido es proporcional al cuadrado de su amplitud, es decir:

$$A_r^2 = \sum_1^M a_r^2$$

Siendo A_r la amplitud resultante de la señal de ruido al sumar las señales de M detectores diferentes.

En la práctica la amplitud de las señales de ruido en los diferentes detectores es aproximadamente igual, por lo cual puede ponerse:

$$A_r^2 = M a_r^2$$

de donde sale:

$$\frac{a_r}{A_r} = \frac{1}{\sqrt{M}}$$

En el caso de que en el tendido se hayan empleado detectores de diferentes sensibilidades se tendría:

$$A_r^2 = (a_1^2 + a_2^2 + \dots + a_n^2) a_r^2$$

en donde A_1, A_2, \dots, A_n representan las sensibilidades relativas de cada detector y se tendría:

$$\frac{A_r}{a_r} = \sqrt{(a_1^2 + a_2^2 + \dots + a_n^2)}$$

Anteriormente se ha mostrado que en un tendido de M detectores de igual sensibilidad, bien diseñado, prácticamente no existe atenuación al sumar las señales de las ondas reflejadas, mientras que la señal de ruido se reduce en una proporción de $1/\sqrt{M}$, lo cual muestra la conveniencia de emplear un número elevado de detectores.

La Fig. No. 20 muestra los resultados obtenidos por Neitzel al sumar respectivamente ruidos incoherentes y una señal en fase con una relación original de señal por ruido igual a 1. (Estos resultados pueden ser duplicados fácilmente en un laboratorio de registro magnético).

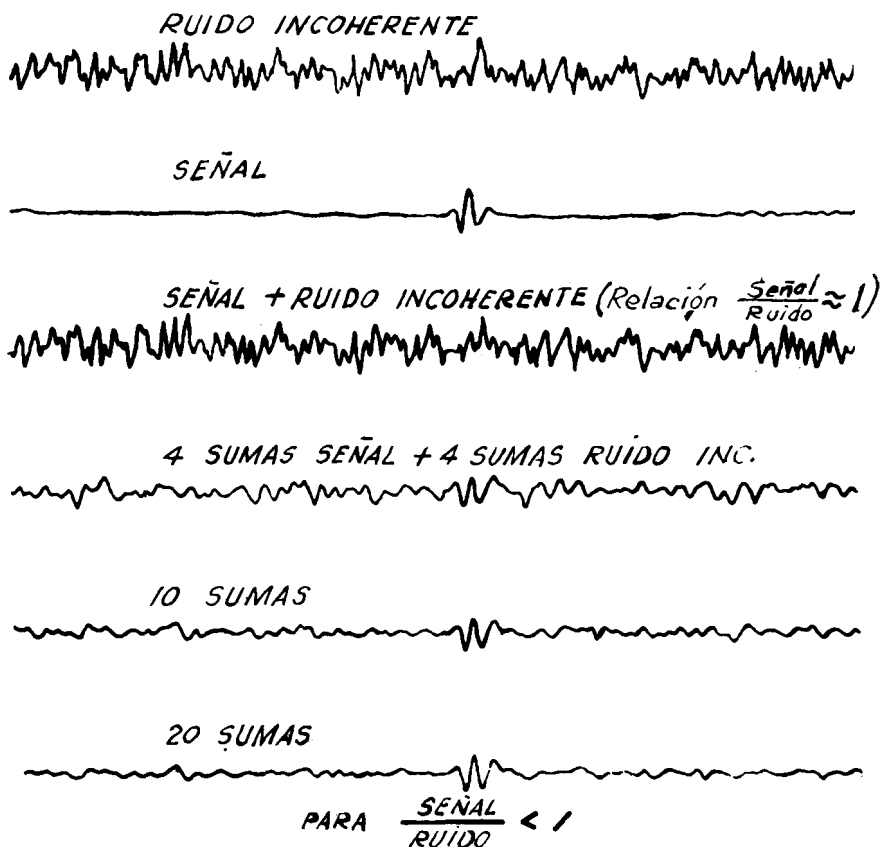


Fig. No. 20.—Ilustración de la cancelación del ruido incoherente que muestra el aumento de la relación señal-ruido cuando se suman las señales de varios detectores.. (Tomada de Edwin B. Neitzel.—Geophysics Vol. XXIII 1958 No. 1).

La aplicación más importante de los resultados anteriores se ha hecho en el empleo de los martinetes (Weight dropping) y del Vibroseis a los trabajos de exploración sismológica, en los cuales, a pesar de la pequeña amplitud de las señales reflejadas, que da origen a una relación muy baja de señal a ruido al emplear un detector, se logran resultados equivalentes a los de los trabajos sismológicos convencionales empleando de 40 a 100 detectores por traza y registrando las vibraciones generadas en diferentes puntos del terreno.

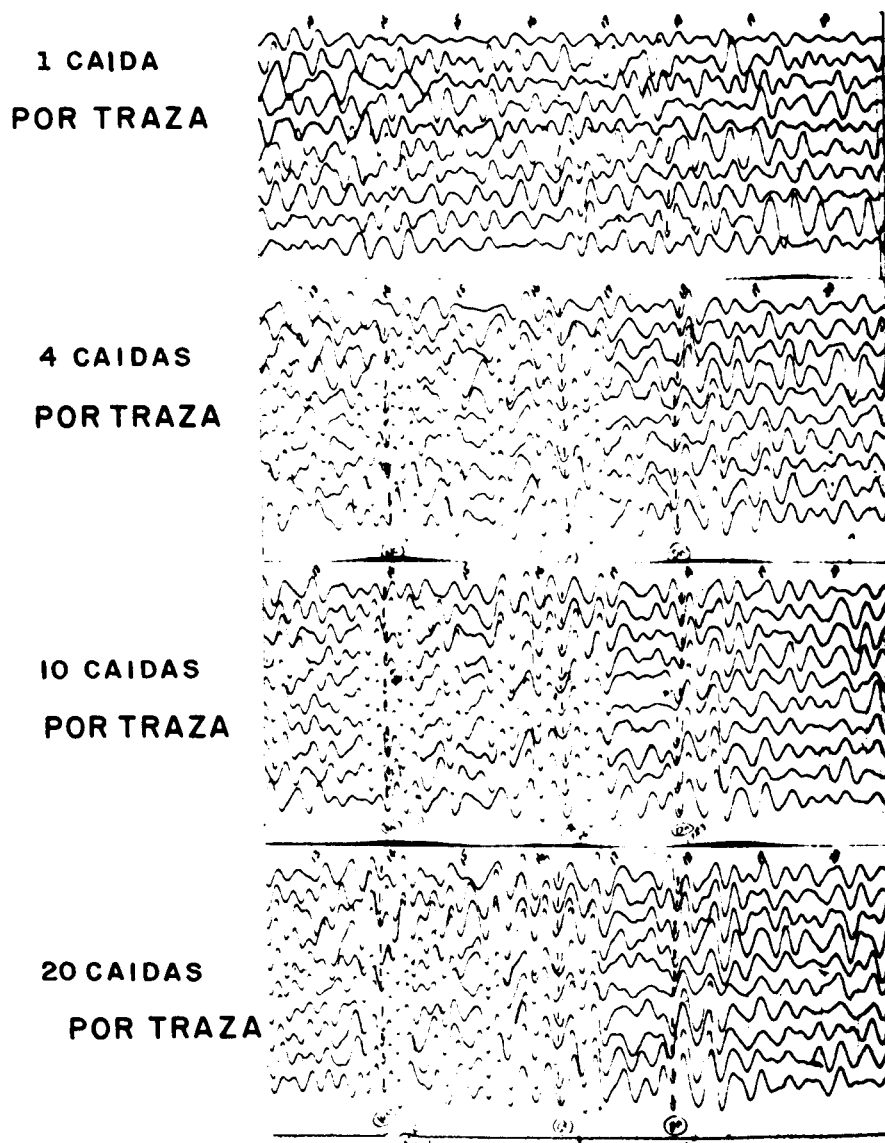


Fig. No. 21.—Registros Sismológicos mostrando el aumento en la relación señal-ruido cuando aumenta el número de caídas que se emplean para grabar una traza en el método sismológico de caídas de pesos. (El aumento de la relación señal-ruido se debe principalmente a la cancelación del ruido incoherente).

BIBLIOGRAFIA

- (1).—Figueroa Santos.—“Notas sobre dos nuevos métodos de Exploración Sísmica. Boletín de la Asociación Mexicana de Geofísicos de Exploración, Vol. II, No. 2, 1961.
- (2).—García Rojas, A.—Notas Sobre el Empleo de Sismodetectores Múltiples.—1a. Parte. Boletín de la Asociación Mexicana de Geofísicos de Exploración, Vol. III, No. 2, 1962.
- (3).—Johnson, C. H.—Steady State Polar Sensitivity Curves.—Geophysics, Vol. IV, 1939.
- (4).—Klipsch, P. W.—Some Aspects of Multiple Recording in Sismic Prospecting.—Geophysics, Vol. I, 1936.
- (5).—Neitzel, Edwin B.—Seismic Reflection Records Obtained by Dropping a Weight.—Geophysics, Vol. XXIII, 1958.
- (6).—Parr, J. O., Jr. and Mayne, W. H.—A New Method of Pattern Shooting.—Geophysics, Vol. XX, No. 3, 1955.
- (7).—Pieuchot, M. and Richard, H.—Some Technical Aspects of Reflection Seismic Prospecting in the Sahara.—Geophysics, Vol. XXIII, No. 3, 1958.
- (8).—Savit, C. H. et al.—The Moveout Filter.—Geophysics, Vol. XXIII, No. 1, 1958.
- (9).—White, J. E.—Transient Behavior of Patterns.—Geophysics, Vol. XXII, No. 1, 1958.

ALGUNAS PERTURBACIONES QUE OBSCURECEN LOS REGISTROS SISMOLOGICOS DE REFLEXION

Por los Ings. *A. García Rojas* *)
R. Ochoa E. *)
E. del Valle T. *)
J. Basurto G. *)

RESUMEN:

Se presentan algunos casos típicos de ruidos coherentes que se observan frecuentemente en los registros sismológicos de reflexión y la técnica de campo por medio de la cual pueden determinarse sus características principales para poder hacer la determinación del tendido de detectores más adecuado.

Este trabajo se preparó por indicaciones del Ing. Antonio García Rojas quien lo discutió con otros autores e hizo recomendaciones que se han incorporado dentro del texto.

Introducción.

En los trabajos sismológicos de reflexión es frecuente que no puedan seguirse los reflejos a lo largo de uno o más registros, lo que da la impresión de carencia de reflejos, en algunos casos absoluta, y puede ocurrir que se intercale en las secciones información errónea o dudosa en un esfuerzo por consignar datos.

*) Gerencia de Exploración, Petróleos Mexicanos.

En muchas áreas las dificultades de correlación se deben a perturbaciones originadas en el punto de tiro que tienen componentes con frecuencias iguales o cercanas a las de ondas reflejadas, y que por lo tanto no pueden ser eliminadas por los filtros eléctricos del sismógrafo.

Las perturbaciones originadas en el punto de tiro, pueden seguirse con facilidad a lo largo de los registros tirados con poca separación entre detectores, según se indica en las Figs. Nos. 1 y 2, y generalmente las diferencias de tiempo entre trazas para las ondas de ruido son mucho mayores que las diferencias de tiempo para las ondas reflejadas. Esto significa que la velocidad aparente de las ondas de ruido es baja y por lo tanto tienen una longitud aparente de onda pequeña.

Teniendo en cuenta que el empleo de detectores múltiples actúa como filtro en el dominio del tiempo, es decir, que discrimina señales que llegan a los detectores con diferentes valores de ΔT , es posible determinar el tendido más adecuado para cancelar parcialmente las ondas de ruido, según se indica en las "Notas Sobre el Empleo de Detectores Múltiples".

La banda de ruido (en la que las ondas de velocidad aparente baja pueden interferir con los reflejos) alcanza algunas veces a oscurecer la energía reflejada en gran parte del registro, según puede verse en la Fig. No. 1 para un caso en el cual el nivel de ruido es muy grande.

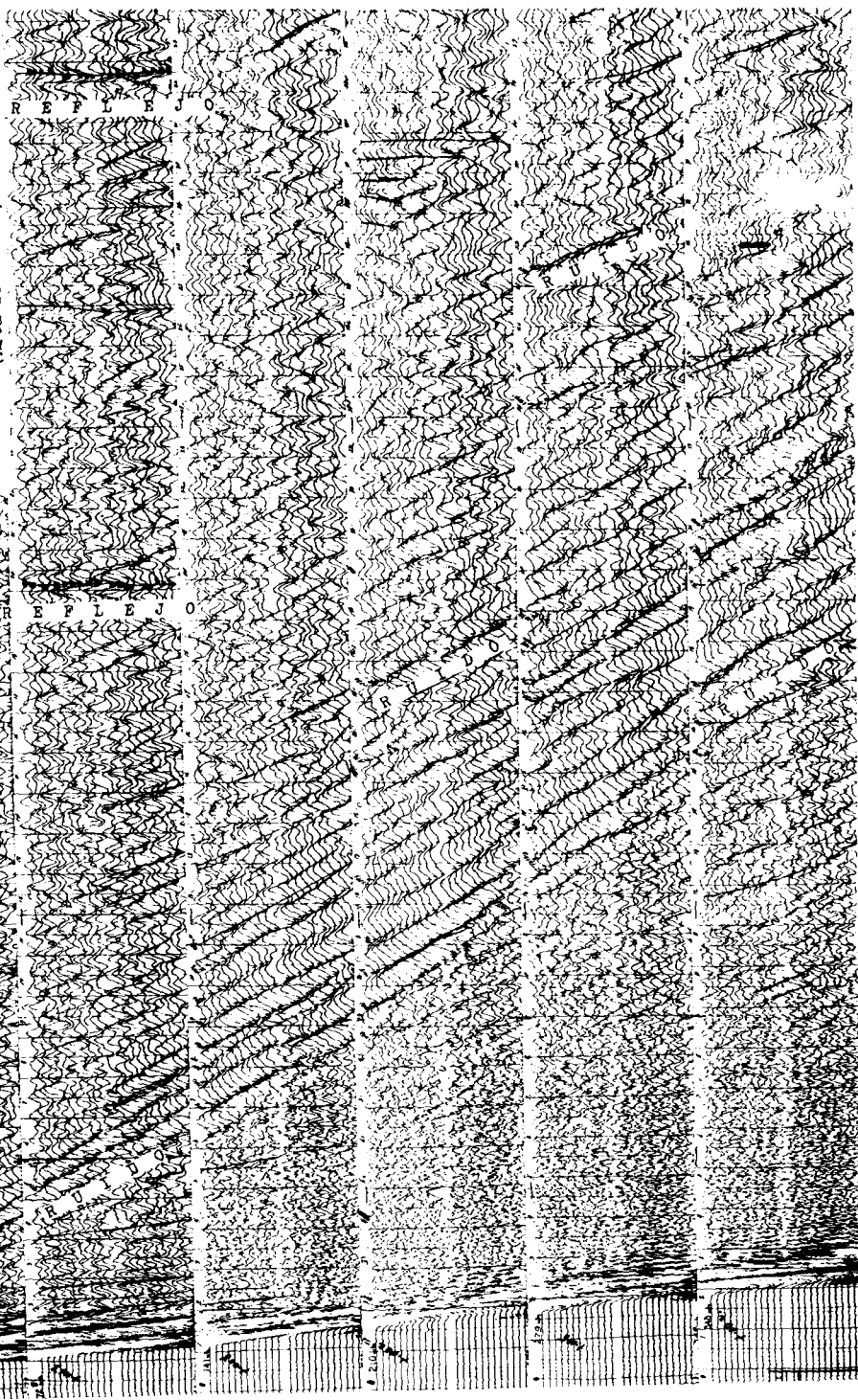
En otros casos la amplitud de la banda de ruido es menor, pero al ir aumentando la distancia de tiro el ruido va haciendo ilegibles los reflejos en diferentes porciones del registro normal, haciendo difícil observar la continuidad de las ondas reflejadas, según se indica en la Fig. No. 2, para un caso en el cual la intensidad del ruido es pequeña y que permite observar las ondas con distancias de 3 metros entre detectores.

Un estudio ligero de las figuras 2 y 2-a muestra que si la intensidad de ruido fuera mayor, sería imposible observar las ondas reflejadas entre distancias de 200 a 345 metros que quedan en las partes extremas de los registros de los trabajos normales.

En la Fig. No. 3, que corresponde a registros tomados en la misma localidad, se ve que no obstante que la interferencia del ruido no aparece muy notable en los registros tomados con detectores situados a 3 metros uno de otro, cuando se colocan los detectores a 30 metros de distancia es difícil observar la continuidad de las ondas reflejadas. El empleo de detectores múltiples, mejora considerablemente la calidad de los resultados, según se indica en la misma figura.

Figura No. 1. - Análisis de ruido mostrando una intensidad muy grande en el ruido coherente y una banda muy amplia del mismo que oscurece en los registros la energía reflejada.

(Area de Nautla, Ver.)



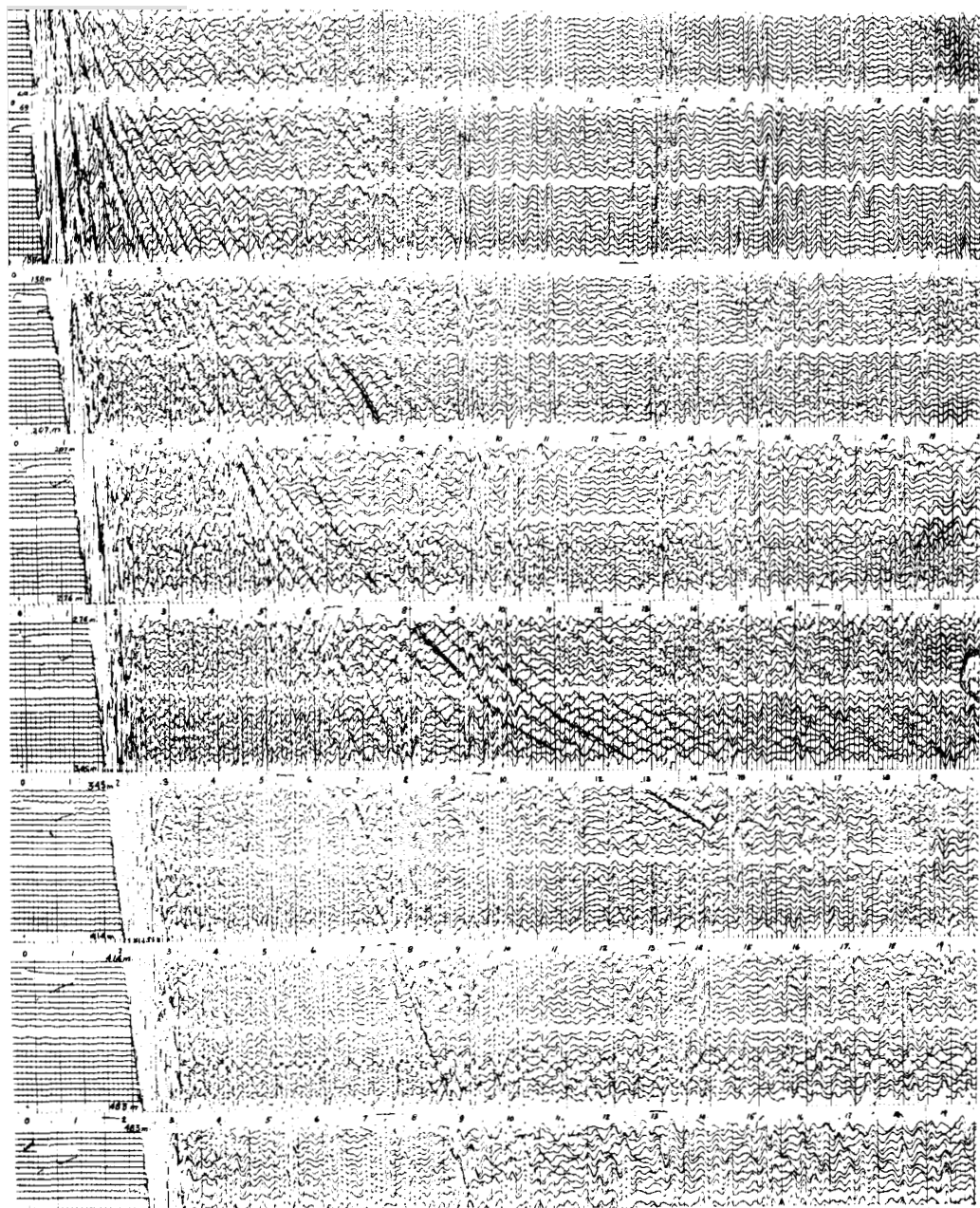


Fig. No. 2.—Registros para Análisis de Ruido tomado con distancias de 3 metros entre detectores y para distancia de tiro variando entre 36 y 516 metros. Puede apreciarse la interferencia de ruido coherente de poca intensidad con las señales reflejadas a diferentes distancias de tiro y diferentes tiempos de reflejo. — (Area al oriente de la Faja de Oro).

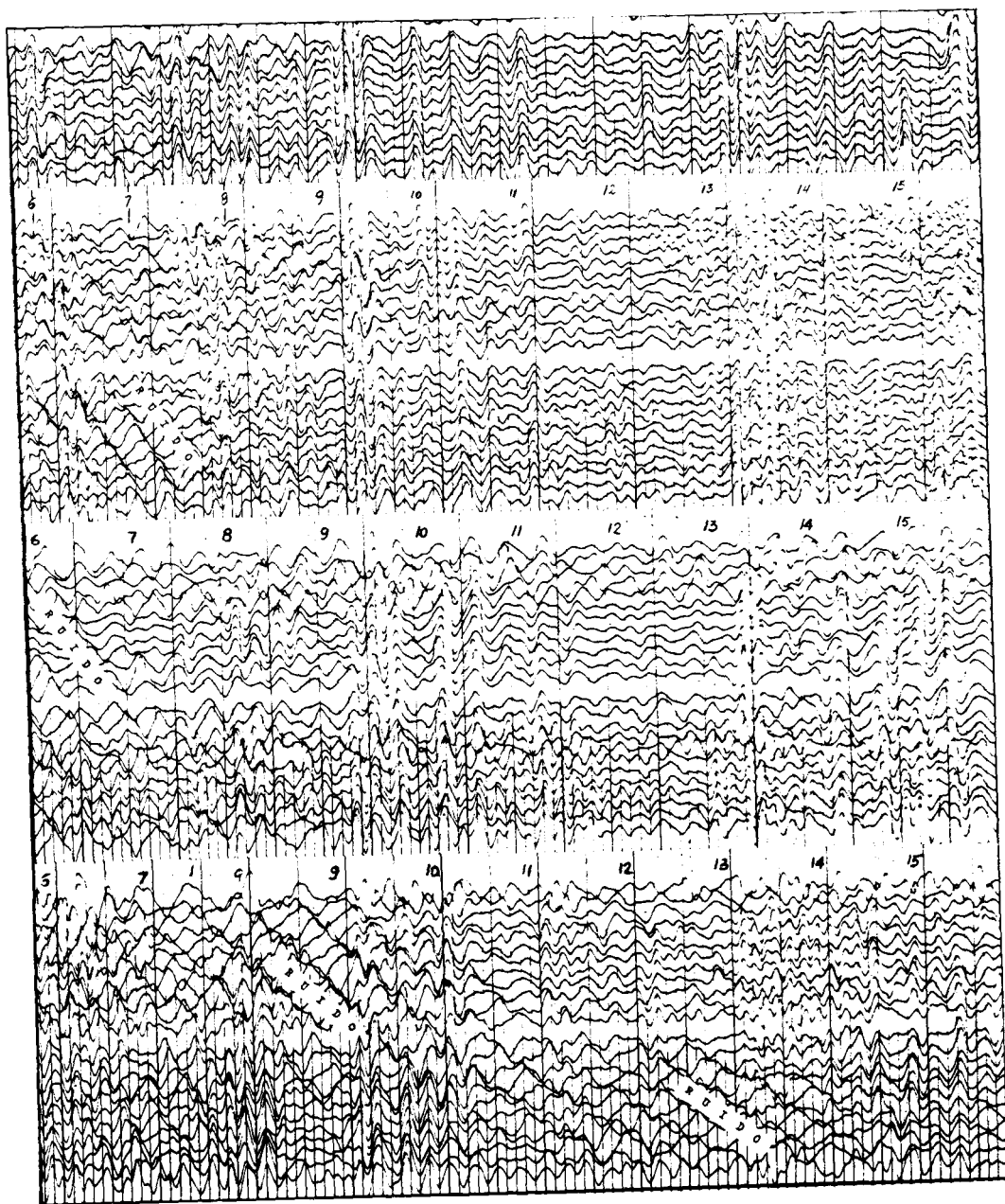


Fig. No. 2-A.—Ampliación de parte de los registros de la Figura 2, mostrando una intensidad de ruido moderada y su interferencia con las ondas reflejadas a diferentes tiempos y distancias de tiro. Si el nivel del ruido en la parte superior se extendiera con mayor intensidad hacia la parte inferior, haría ilegibles los registros en las distancias de 200 a 345 metros.

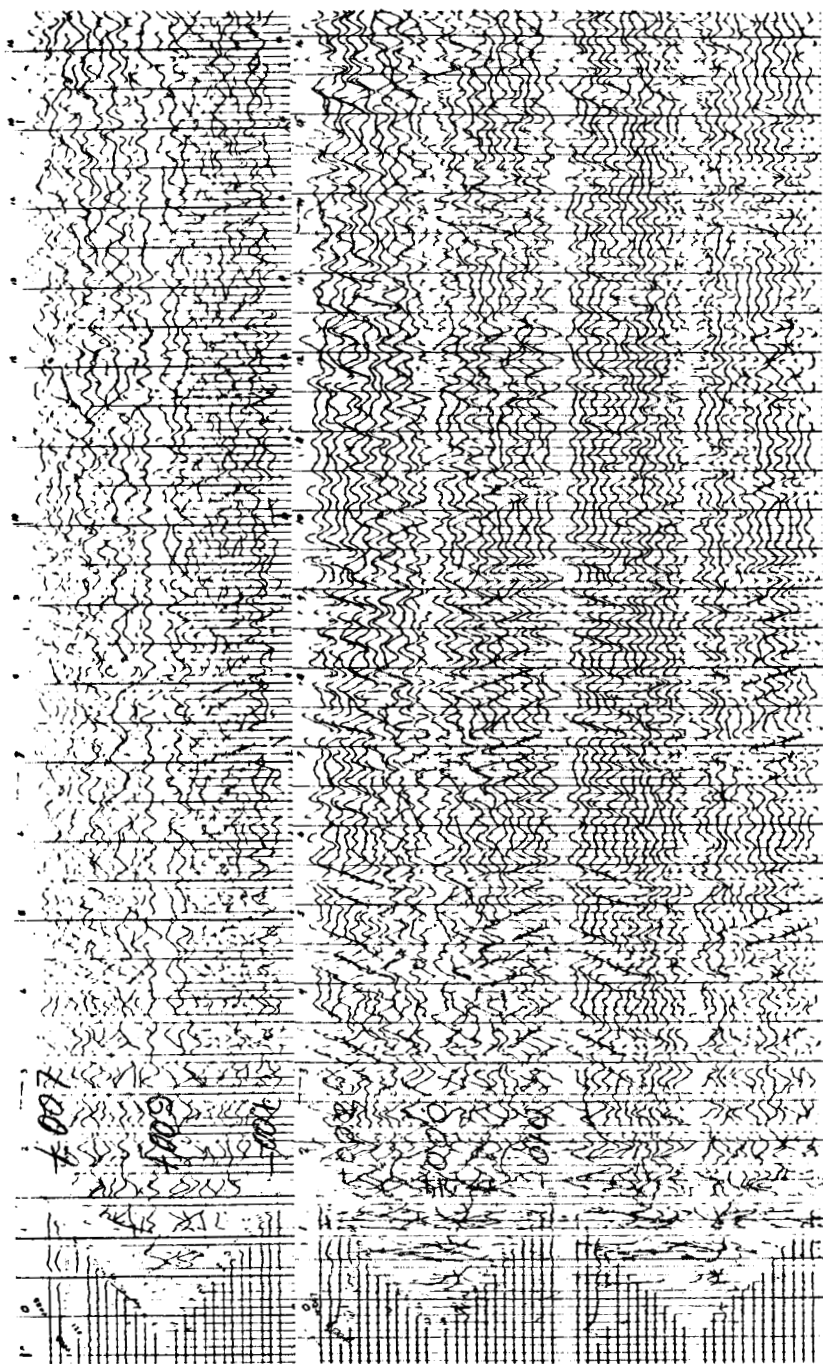


Fig. No. 3.—Un ejemplo del mejoramiento de la señal reflejada con el empleo de detectores múltiples en la misma localidad en que se observaron los registros de la Fig. No. 2.

El sismograma superior fue observado con un detector por traza, el intermedio fue registrado con ocho detectores por traza y el inferior es el registro intermedio mezclado. La columna geológica del área hace creer que no se obtendrían reflejos abajo de 1.3 a 1.5 segundos.

La intensidad del nivel de ruido varía de un pozo a otro, pero sus velocidades aparentes varían dentro de límites pequeños y por lo tanto, las medidas tendientes a cancelarlo parcialmente son aplicables en áreas de extensión considerable. Sin embargo, es conveniente hacer diferentes observaciones para análisis de ruidos en una área a fin de determinar si las medidas aplicadas son adecuadas para toda una región en estudio. (Ver Fig. No. 5).

Para aplicar las medidas tendientes a cancelar parcialmente las ondas de ruido, y por lo tanto hacer más notables las señales de energía reflejada, es necesario hacer análisis de ruido, mediante los cuales se determinan las siguientes características de las ondas de ruido:

a).—Su velocidad aparente.

b).—La amplitud relativa de las ondas reflejadas con relación a las ondas de ruido.

En este trabajo se presentan los métodos fundamentales para hacer un análisis de ruidos, el cual consiste en una observación continua de las señales que registran los detectores empleando un espaciamiento muy pequeño, que permita seguir las señales consecutivas de ondas coherentes por una distancia que se extienda un poco más allá de los límites normales de distancia de tiro de las observaciones de rutina en los trabajos de exploración.

PROCEDIMIENTO DE TIRO PARA ANALISIS DE RUIDOS

A.—Instrumento.

1.—La observación debe hacerse después de cerciorarse de que el aparato sismológico está trabajando normalmente y que, para una señal común, tengan la misma respuesta los amplificadores y detectores. Para esto debe tomarse un registro con el oscilador del sismógrafo, sin control automático de ganancia, con el control de ganancia en 50 ó 60%, el de amplitud cerca de 100% y controlando la respuesta con el supresor.

2.—Debe comprobarse, mediante un tiro sin control automático de volumen y agrupando los detectores en una área muy pequeña (del orden de 1 metro cuadrado), que los detectores individuales (o grupos de detectores) tienen la misma sensibilidad.

B.—Localización de los perfiles para análisis de ruidos.

El sismólogo localizará los sitios que a su juicio sean los más convenientes para estas pruebas, los cuales deberán reunir las siguientes condiciones:

- 1.—Ser planos o con relieves topográficos suaves.
- 2.—Pobres de reflejos.
- 3.—De ser posible escoger líneas sismológicas de fácil acceso, para poder repetir observaciones en caso necesario.

Es aconsejable que las pruebas no se limiten a una sola línea, sino que se hagan en diferentes partes del área en estudio, con objeto de tener un conocimiento general de las características del ruido dentro de la región en la que se trabaja.

C.—Distribución de Detectores y Pozos de Tiro.

1.—El perfil que se observe deberá tener una longitud tal, que se extienda desde el punto de tiro hasta un 30 ó 50% más allá de la distancia de tiro máxima empleada en el área.

2.—Háganse las observaciones con una distancia entre detectores (o grupo de detectores) del orden de 3 a 5 metros, de acuerdo con las dificultades que haya para correlacionar un evento de una traza a otra.

En estas observaciones deben emplearse detectores sencillos, o agruparlos dentro de una área muy pequeña (menos de un metro cuadrado).

3.—Para saber si se está recibiendo señales de ruido coherente con dirección lateral a la estación, deberá observarse una estación cruzada, perpendicular a la línea del perfil, repitiéndola cada 3 ó 4 estaciones.

De acuerdo con el conocimiento del terreno, deberán prepararse los pozos necesarios para unos 30 disparos.

Una distribución típica se indica en el esquema siguiente:

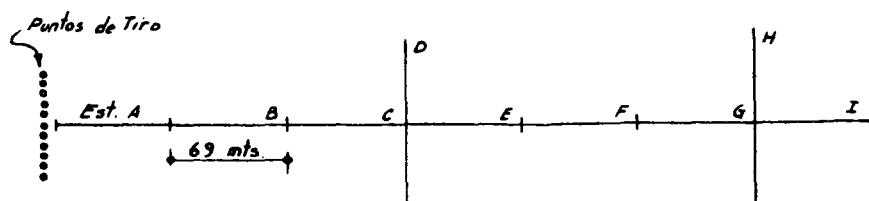


Fig. No. 4.— Esquema de una distribución de tendidos de detectores en observaciones para análisis de ruidos.

D.—Trabajo de observación.

Se considera que el método adecuado para hacer las observaciones es el siguiente:

1.—En cada estación (en línea o cruzada) debe tomarse un registro con control automático de volumen y una banda de paso entre 20 y 100 cps. aproximadamente, a las profundidades de tiro y con las cargas usuales.

2.—En cada tercera estación deben hacerse dos registros, sin control automático de volumen, en las posiciones de filtro que se usaron en los tiros anteriores. Uno de los sismogramas deberá registrar con una amplitud legible, las señales sísmicas al final del mismo (1.5 a 3.5 seg.).

El otro sismograma deberá registrar con amplitud legible la parte intermedia (0.6 a 1.3 seg.), aunque quede muy débil la parte final. Además, hágase para cada tiro un registro de calibración con el oscilador, marcando el voltaje de la señal que se puso al amplificador (puede emplearse el supresor si se considera conveniente).

3.—En caso de que los pozos resistan, háganse observaciones con control automático de volumen, y las cargas usuales a diferentes profundidades de tiro, a fin de determinar cuál es la que da mejores resultados.

4.—A una distancia de tiro intermedia, es conveniente hacer observaciones con control automático de volumen y con diferentes cargas situadas

abajo de la zona de intemperismo, a fin de definir el valor de la carga recomendable para el área. Comiéntese con una carga pequeña y en los tiros subsecuentes empleese el doble de carga que en el tiro anterior.

5.—Si se cuenta con registro magnético, hágase las reproducciones necesarias, con los filtros convenientes, para el trazo de las gráficas tiempo-distancia en el análisis de ruidos. Si es necesario, deben hacerse observaciones en varias posiciones de filtro para tratar de acentuar los reflejos.

E.—Trabajo de gabinete.

- 1.—Trácese las gráficas tiempo-distancia para cada evento correlacionable por más de 6 trazas, a una escala conveniente para determinar con buena precisión las velocidades aparentes de cada evento, según se indica en la Fig. No. 5.
- 2.—Usando de preferencia los registros sin control automático de volumen y los registros de calibración, defínase la amplitud de las ondas reflejadas y de las ondas de ruido y determínese la relación señal-ruido. (En la Fig. No. 6 se indica un ejemplo de esta determinación, en el cual se emplearon registros del análisis de ruido tomados con control automático de volumen).
- 3.—En el caso en que no se hayan observado reflejos en los tiros de análisis de ruido, márquese en la gráfica tiempo-distancia el tiempo de los reflejos que se han observado en otras partes del área y sus velocidades aparentes para el echado máximo que se ha observado o se espera en la región. (Esto se hace para definir la existencia de interferencias que pueden obscurecer los reflejos).
- 4.—Tomando los datos de la información anterior se recomienda hacer la tabulación que se indica adelante, la cual se requiere para determinar el número de detectores que debe emplearse dentro del área en estudio, según se trató en las notas sobre el empleo de detectores múltiples.

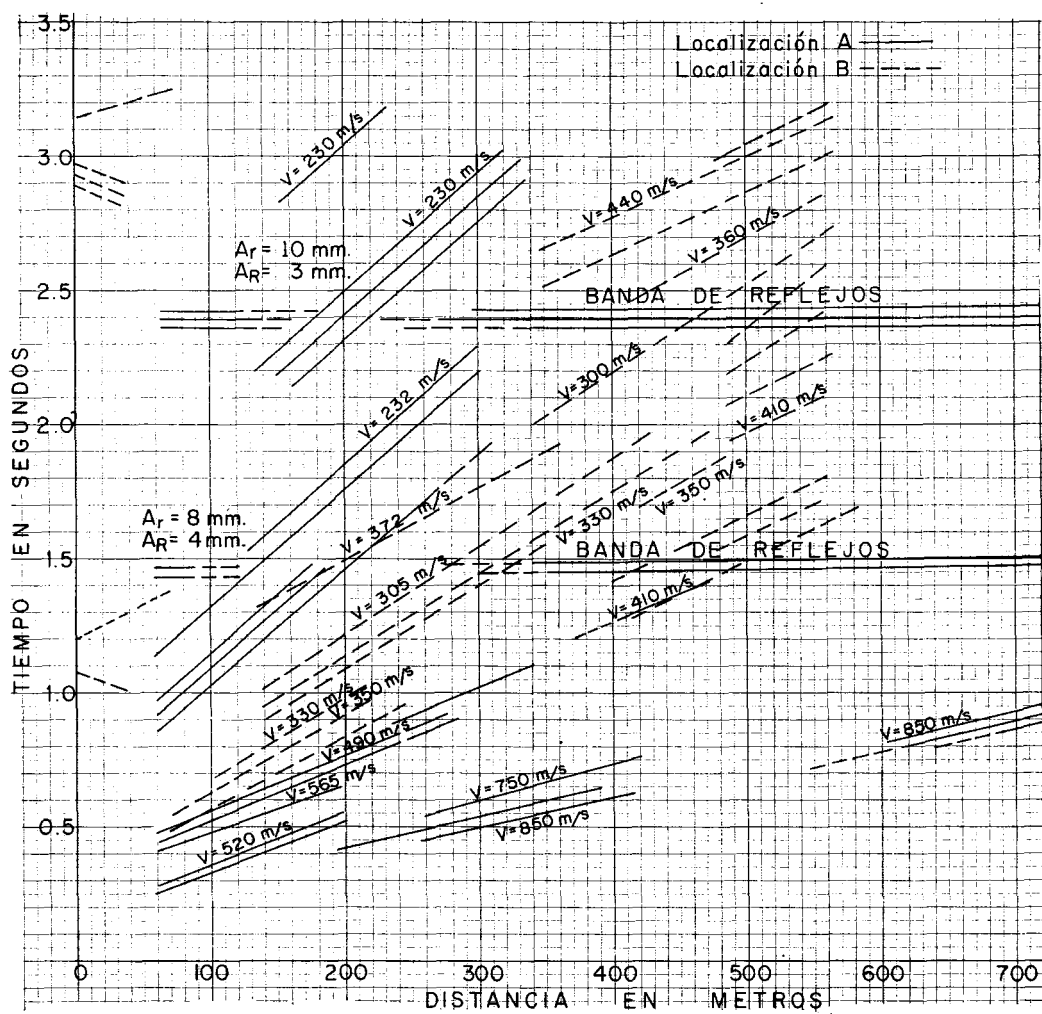
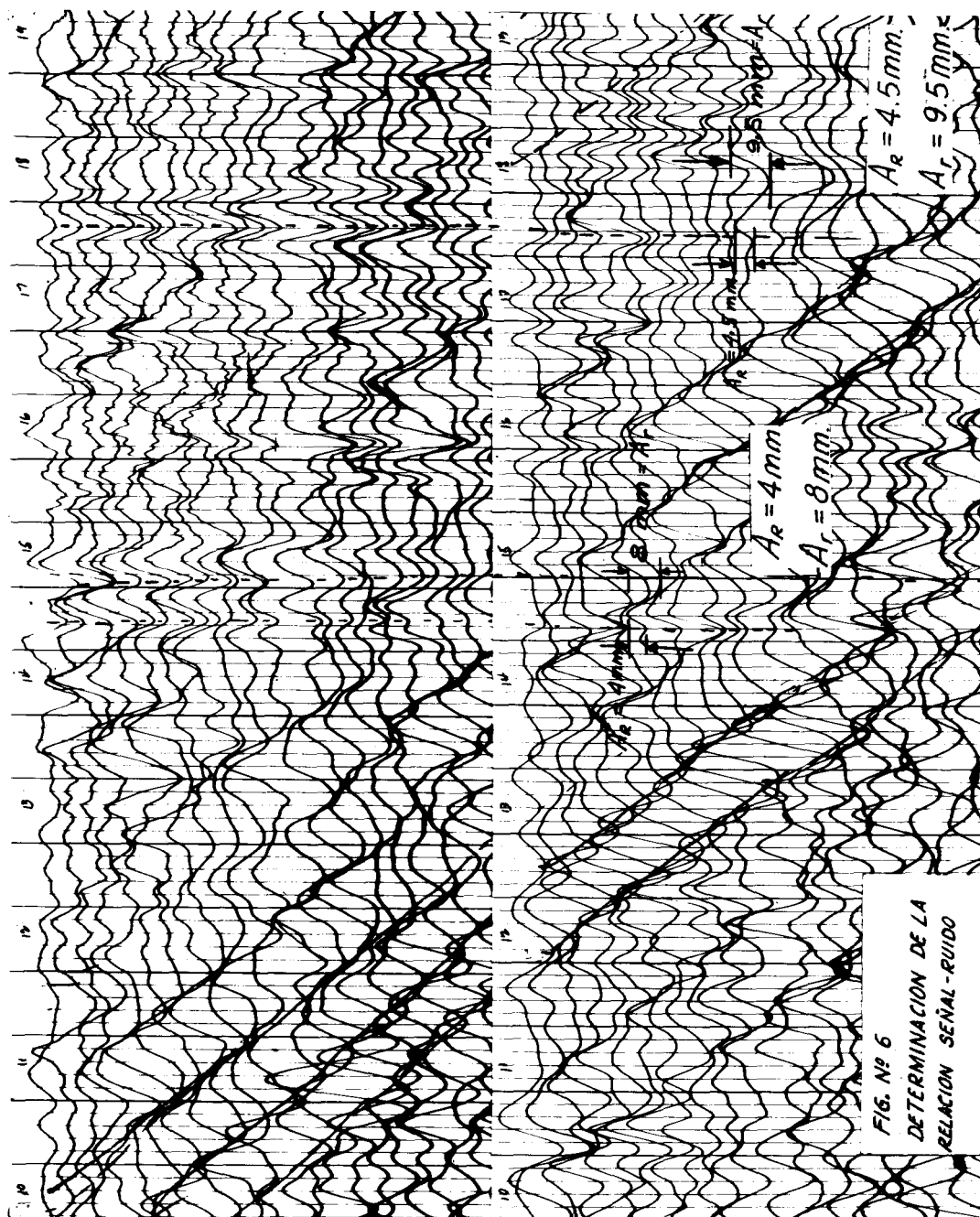


Fig. No. 5.—Gráfica tiempo-distancia de ondas de ruido y energía reflejada en dos localidades diferentes dentro de la misma área.—En la localidad A la amplitud de las ondas de ruido oscurece la presencia de energía reflejada en parte de la banda de reflejos.—En la localidad B (véase Fig. No. 1) la amplitud de la banda de ruido hace ilegibles los reflejos en los registros normales.



DETERMINACION DE LARGO DE TENDIDO Y NUMERO DE DETECTORES

(Para detectores de igual sensibilidad)

GRUPO SISMOLOGICO ANALISIS DE RUIDO No.....
 AREA LARGO ESTACION EN EL AREA.....mts.
 FECHA DIST. ENTRE SALIDAS CABLE.....mts.
 FREC. CORTE FILTROS: f_{max} =c.p.s.
 f_{min} =c.p.s.

LONGITUD APARENTE DE ONDAS REFLEJADAS PARA EL ECHADO MAXIMO OBSERVADO EN EL AREA

Profundidad, Z metros	Velocidad Media \bar{V} m. p. s.	Echado Máximo α grados	Sen α	$\frac{X}{2Z}$	Sen $\alpha + \frac{X}{2Z}$	Velocidad Aparente V_{aR} m.p.s.	Long. Apar. Mínima λ_{Rmin} m.

$$V_{aR} = \bar{V} / \left(\text{Sen } \alpha + \frac{X}{2Z} \right)$$

$$\lambda_{Rmin} = V_{aR} / f_{max}$$

LONGITUD APARENTE DE ONDAS DE RUIDO COHERENTE

Tiempo de Registro seg.	Velocidades Aparentes m. p. s.		Amplitud A_{re}	Longitud Aparente de Onda metros	
	V_{armax}	V_{armin}		λ_{rmax}	λ_{rmin}

$$\lambda_{rmax} = V_{armax} / f_{min}$$

$$\lambda_{rmin} = V_{armin} / f_{max}$$

RELACION DE SEÑAL A RUIDO INCOHERENTE

Tiempo de Registro seg.	Ampl. de las Ondas registradas		Relación Señal a Ruido Observada		Mínimo Estad. de Detectores $M = 4 / (A_R / A_P)^2$
	Reflejos A_R	Ruido Incoh. A_r	A_R / A_r	$(A_R / A_r)^2$	

CARACTERISTICAS LIMITES DEL TENDIDO

Número mínimo
de detectores

$$M_{min} = \frac{\lambda \ r_{max}}{\lambda \ r_{min}} + 1 =$$

Distancia máxima
entre detectores

$$\Delta X_{max} = \frac{\lambda \ r_{max}}{M_{min}} =$$

Longitud mínima
del tendido

$$L_{min} = (M_{min} - 1) \Delta X_{max} =$$

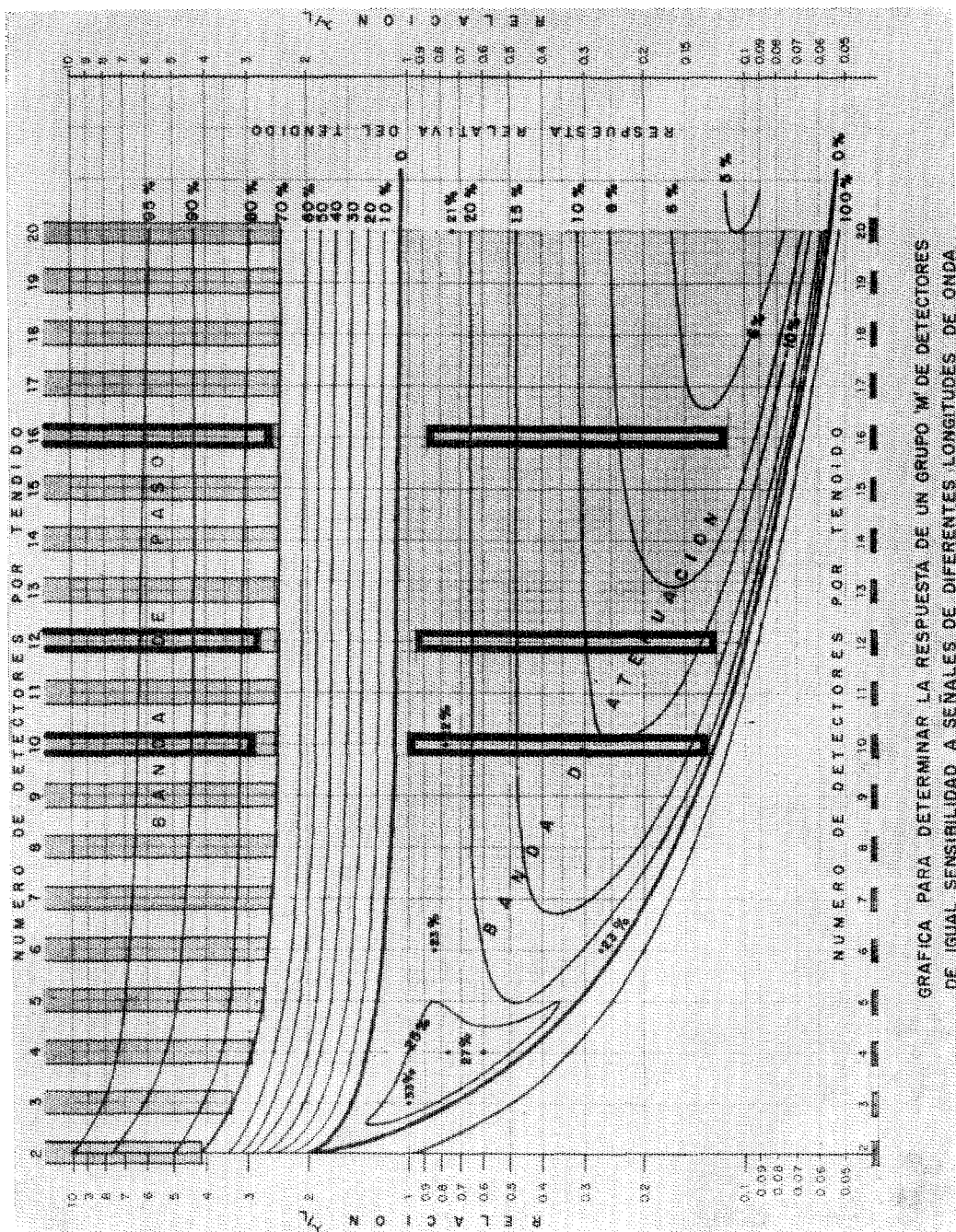
Longitud máxima
del tendido

$$L_{max} = \frac{\lambda \ r_{min}}{2.5} =$$

TENDIDOS POSIBLES

Número de detectores <i>M</i>	Distancia ΔX en m.	Largo del tendido <i>L</i> en m.	$\frac{\lambda r_{max}}{L}$	$\frac{\lambda r_{min}}{L}$	$\frac{\lambda R_{min}}{L}$
-------------------------------------	-------------------------------	----------------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------

TENDIDO ADOPTADO



GRAFICA PARA DETERMINAR LA RESPUESTA DE UN GRUPO M DE DETECTORES DE IGUAL SENSIBILIDAD A SEÑALES DE DIFERENTES LONGITUDES DE ONDA

BIBLIOGRAFIA

GARCIA ROJAS, A.—“Notas Sobre el Empleo de Sismodetectores Múltiples.—Primera Parte. Boletín de la Asociación Mexicana de Geofísicos de Exploración, Vol. III, No. 2, 1962.

GRAEBNER, R. J.—“Seismic Data Enhancement.—A Case History”.—Geophysics—1961, Vol. XXV, No. 1.

SMITH, MARK K.—“Noise Analysis and Multiple Seismometer Theory”.—Geophysics, 1956, Vol. XXI, No. 2.

DEZA SUAREZ, A.—“Análisis de Ruido en el Area San Lorenzo, Tam.—Boletín de la Asociación Mexicana de Geofísicos de Exploración, Vol. IV, No. 1, 1963.

NUEVOS SOCIOS

Ing. Hidelberto Guevara Contreras.

Norte 84-A No. 6659.

Col. San Pedro El Chico.

México 14, D. F.

Ing. Isidro Murillo Rubio.

Fresno No. 119-B.

México 4, D. F.

Ing. Robert B. Wall Marshall.

P. O. Box 61812.

New Orleans 60, La.

U. S. A.

Ing. Gustavo Cortés Martínez.

Iturbide 36 (1er. piso).

México 1, D. F.

SCHLUMBERGER

SCHLUMBERGER SURENCO, S. A.

AGENCIA EN MEXICO

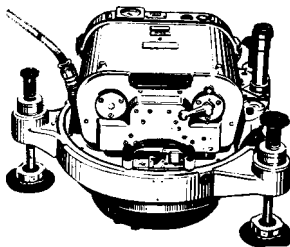
Av. Morelos 98, Desp. 306

Tels.: 46-85-25 y 46-13-85

MEXICO 6, D. F.

COMPAÑIA MEXICANA AEROFOTO, S. A.

LOS SIGUIENTES ELEMENTOS RESPALDAN
NUESTROS 31 AÑOS DE OPERACION.



WILD

EQUIPO DE RESTITUCION PARA PLANOS TOPOGRAFICOS:

- 1 Autógrafo WILD A-7
- 1 Autógrafo WILD A-8
- 1 Autógrafo WILD A-9
(Para fotografías granangulares
y supergranangulares)
- 4 Aviografos WILD B-8
- 3 Aparatos de Restitución KELSH
- 1 Multiplex con 8 proyectores

- 1 Cámara fotogramétrica WILD RC-8
- 1 Cámara fotogramétrica WILD RC-5
- 1 Cámara supergranangular WILD RC-9
- 3 Cámaras fotogramétricas FAIRCHILD
- 1 Cámara fotogramétrica para fotografía
infrarroja y a colores.

AVIONES DE ALTURA:

- F-15 Northrop, matrícula XB-FUJ
- Boeing B-17G, matrícula XB-BOE

Douglas Dauntless, matrícula XB-QUC
North American, O-47-B matrícula
XB-YUW

AVIONES DE MEDIANA ALTURA:

Strato Helio, matrícula XB-YOI
Beechcraft, matrícula XB-VIG
Beechcraft, matrícula XB-RAU
Cessna 190, matrícula XB-KUC

Además equipo completo de laboratorio, mapas para mosaicos, fotografías panorámicas y fotografías
rectificadas de reproducción

120 empleados especializados en los distintos aspectos de la fotogrametría

DIRECCION:

Av. Obrero Mundial Núm. 338, Esq. con Pestalozzi
Teléfono: 43-38-30 con tres líneas directas

México 12, D. F.

Talleres de Aviación y Hangares

Lindero Sur, Aeropuerto Central

Tels.: 22-22-58 y 22-29-64

PERFORACIONES, S. A.

**CONTRATISTA DE PERFORACION
EXPLORATORIA DESDE 1950 PARA**

PETROLEOS MEXICANOS

SECRETARIA DE MARINA

CONSTRUCTORA MALTA, S. A.

NATIONAL SOIL SERVICES, CO.

**CIA. FUNDIDORA DE FIERRO
Y ACERO DE MONTERREY, S. A.**

Y PARTICULARES

AVENIDA JUAREZ No. 119 - 5o. PISO

Teléfonos: 21-37-25 y 21-36-42

MEXICO 1, D. F.



SOCIOS
\$100.00
NO SOCIOS
\$150.00

ADQUIERA UD. LOS VOLUMENES NUMEROS
I - II Y III CORRESPONDIENTES A LOS AÑOS
DE 1960-1961 Y 1962 EMPASTADOS EN KERATOL
CON SUS INICIALES GRABADAS EN ORO.

PEDIDOS A LA
ASOC. MEX. DE GEOF. DE EXPL.

...SISMOLOGIA... GRAVIMETRIA... GEOQUIMICA...

MAGNETOMETRIA... ...SUE*

...PROCESADO DE DATOS MAE**

A R E A S :

Grandes o pequeñas, marinas o terrestres.

PROBLEMAS:

Técnicos u operacionales.

INFORMACION:

Superficial o profunda.

F O R M A :

Utilizando los métodos y equipos más modernos compatibles con áreas y presupuestos.

G E O P H Y S I C A L

S E R V I C E

I N C O R P O R A T E D

Exchange Bank Bldg.,
100 Exchange Park North,
DALLAS 35, TEXAS.
Tel. FLeetwood 7-4311

Avenida Juárez No. 119,
Despacho 42,
Tels. 46-37-20 - 21-74-67
MEXICO 1, D. F.

* Seismic Underwater Exploder.

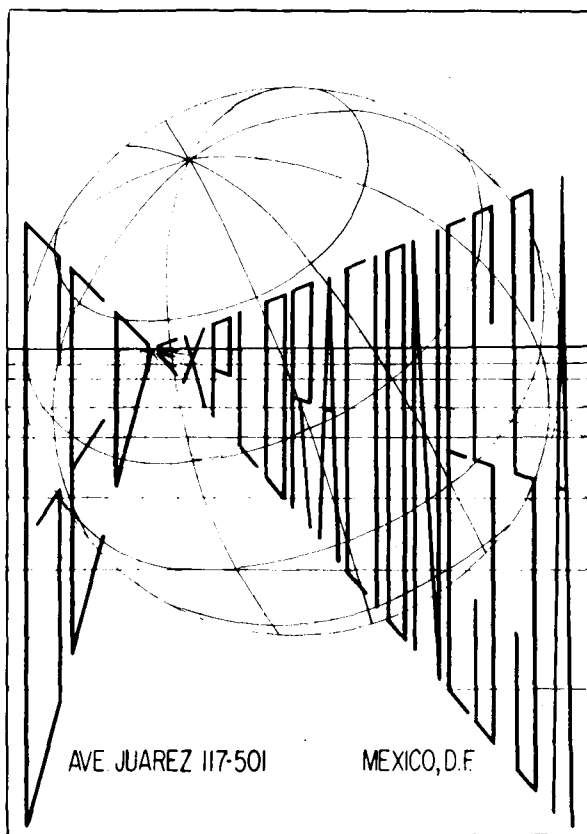
** Multiple Analyzer Eliminator.

S E R V I C I O S

GEOFISICOS

GEOLOGICOS

FOTOGEOLOGICOS



GEOHIDROLOGICOS

RADIOACTIVOS

TOPOGRAFICOS

EXPLORACIONES, S. A.



ITURBIDE No. 36 DESP. 201

TEL. 10 - 15 - 64

MEXICO 1, D. F.

CURSO DE SISMOLOGIA APLICADA

Por el Ing. V. A. OLHOVICH



En las principales librerías
o directamente en la

ASOCIACION MEXICANA DE GEOFISICOS DE EXPLORACION

Av. Juárez 97. Desp. 302.

México 1, D. F.

Estimado Socio:

Agradeceremos a Ud. su cooperación enviándonos Artículos para nuestro Boletín, o bien Comentarios o Sugerencias que nos permitan seguir adelante con nuestra publicación.

- INVESTIGACIONES • DISEÑO
- MANUFACTURA DE

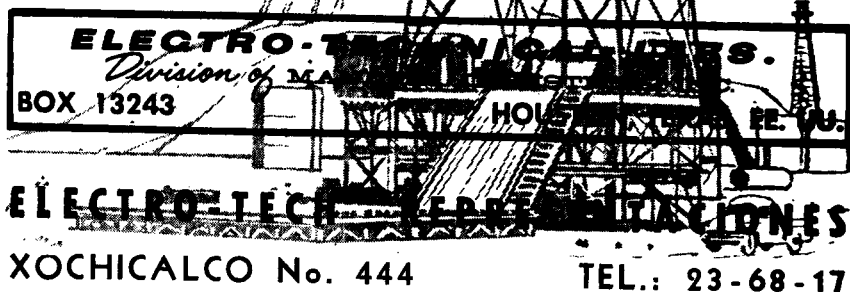
EQUIPO PARA EXPLORACION

ELECTRO-TECH

• GRAVIMETROS

• EQUIPOS SISMICOS

• REGISTRADORES PARA POZOS



ELECTRO-TECHNICAL SERVICES.
Division of **AMERICAN ELECTRIC**
BOX 13243 HOUSTON, TEXAS, U.S.A.

ELECTRO-TECH REPRESENTACIONES
XOCHICALCO No. 444 TEL.: 23-68-17

MEXICO 12, D. F.