

**CONSULTORES Y CONTRATISTAS
DE
GEOLOGIA Y GEOFISICA**

Compañía Mexicana de Exploraciones, S. A.

**RIO BALSAS 101 8º PISO APDO. POSTAL 5-255
MEXICO 5, D. F.**

TELS. 28-83-90 14-44-02

COMPañIA MEXICANA AEROFOTO, S. A.



ESPECIALIDADES

Cartografía
Catastro urbano y rural.
Cálculo electrónico
Diseño fotogramétrico electrónico
de obras de Ingeniería
Estudios preliminares
Fotointerpretación
Fotografía aérea pancromática.
Infrarroja y a color
Fotografía comercial aérea
Fotomurales
Levantamientos fotogramétricos
Localización de obras
Mosaicos fotográficos
Programación electrónica
Topografía

132 empleados especializados.

EQUIPO

1 Avion Queen Air A 80 Mar XB-XAX	4 Cámaras de Reproducción
1 Avion Riley Rocket Mar XB-SAR	3 Unidades de Teodolito MRA 3
1 Avion Beech Craft Mar XB-VIG	4 Teodolitos Wild T-2
2 Aviones Piper Astec Mar XB-MOI y NOO	2 Niveles automáticos Wild NAK 2
1 Avion Casena 185 Mar XB-TIS	4 Camionetas doble tracción
Unidad Central de Proceso IBM 1131	2 Autógrafos Wild A 7 con Registradora de coordenadas
Lectora perforadora de tarjetas IBM 1442	1 Estereo cartógrafo Wild A-8
Unidad Impresora IBM 1132	1 Autógrafo Wild A-9
1 Cámara Fotogramétrica Zeiss MKR A	4 Autógrafos Wild B-8
1 Cámara Fotogramétrica Wild RC-9	1 Balplex 760 de 7 proyectores
1 Cámara Fotogramétrica Wild RC-8	2 Kelish K-5 de 4 proyectores c u
1 Cámara Fotogramétrica Wild RC-5	3 Kelish K-1 de 2 proyectores c u
3 Cámaras Fairchild	2 Multiplex de 8 proyectores c u
4 Cámaras para fotografía oblicua	
6 Cámaras Rectificadoras	

DIRECCION

Av. Obrero Mundial Num 218 esq con Pestalozzi
Teléfonos 43-38 30 con tres líneas directas y 19-87-65
Cable AEROFOTO, MEXICO MEXICO 12 D 1
Servicios Aéreos Av. Santos Dumont Num 212

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.

**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**

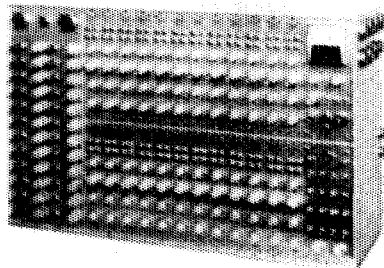
- Levantamientos :**
- Sismológicos
 - Gravimétricos
 - Magnetométricos
 - Procesado de Datos Magnéticos
 - LORAC - Levantamiento Electrónico

**SERVICIO DE
REGISTRO DE POZOS**

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

INSTRUMENTAL GEOFISICO

**DA MEJOR
RENDIMIENTO,
MAYOR DURACION
Y A UN COSTO MENOR**



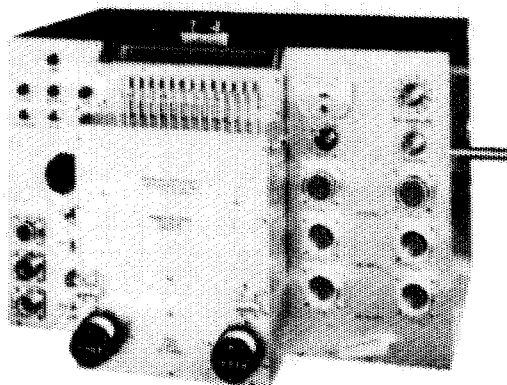
FORTUNE T-1. SISTEMA DE AMPLIFICADORES SISMICOS TRANSISTORIZADOS PARA TRABAJOS DE REFLEXION Y REFRACCION.

BAJO COSTO — El modelo T-1 es el amplificador transistorizado más barato en el mercado.

POCO PESO Y TAMAÑO REDUCIDO — El equipo T-1 de 24 canales, completo, pesa únicamente 73 libras (33.1 Kgs.) y está contenido en una sola caja, cuyas dimensiones son: 25 3/8" de largo, 15 3/4" de alto y 8" de fondo.

ALTA SENSIBILIDAD — Como el ruido propio del equipo es muy bajo, es posible operarlo con altas ganancias. La relación de señal a ruido, en los amplificadores, es de 20 db a 0.5 microvolts de entrada.

POTENCIA REQUERIDA — 2 amperes, a 12 volts de corriente directa.



FORTUNE DC-2B. SISTEMA DIRECTO DE GRABACION Y REPRODUCCION. COMPLETAMENTE TRANSISTORIZADO

El equipo DC-2B es capaz de aplicar, simultáneamente, correcciones estáticas y dinámicas a 24 traxas o más, empleando cintas normales de 6 1/2 ó 7" de ancho. Las correcciones dinámicas se aplican mediante una leva acoplada a la flecha del tambor y que puede ser referida a él. También es posible obtener levadas previamente calibradas y ajustadas a determinada función analítica.

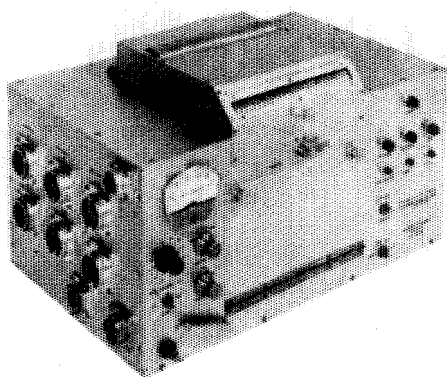
SE AJUSTA A CUALQUIER SISTEMA DE TIRO — No importa el sistema de tiro empleado, ya que mediante una barra universal de tendidos y gracias a medidores ajustables (calibrados en por ciento), es posible aplicar a cada traza la corrección dinámica adecuada.

ESPECIFICACIONES DEL MODELO DC-2B.

Transportador de la cinta. Mediante tambor, cuyo diámetro es de 7.5".
Número de canales. 24 sísmicos, 2 ó 4 auxiliares.
Tamaño de la cinta. 6 1/2 ó 7" de ancho por 24 1/2" de largo.
Distancia entre pistas. 1/4" (de centro a centro).
Velocidad de la cinta. 3.59"/segundo.
Tiempo útil de grabación. 6 seg. (el tambor da una vuelta completa en 6.6 seg.).
Corrección dinámica máxima. 150 miliseg.
Característica del motor. De histéresis de 400 ciclos.
Corrección máxima. 700 miliseg/segundo.
Rango de corrección estática. ± 50 miliseg.
Polarización (bias). 8 miliamperes a 11 Kilociclos.
Respuesta. De 5 a 200 cps.
Relación de señal a ruido. 50 db RMS a RMS.
Distorsión armónica total (a 100% el nivel de grabación). 2.5%.
Alimentación cruzada (cross feed). — 36 a 10 cps.
Grado de exactitud del sistema de tiempo. ± 1 miliseg.
Necesidades de entrada (a 100% el nivel de grabación). 50 milivolts a través de 40 ohms.*
Salida (a 100% el nivel de grabación). 100 microvolts a 50 ohms.
Potencia requerida. 0.5 amper en vacío y 14 amperes con carga.
Tamaño del transportador de la cinta. 15 X 18 X 14".
Peso. 90 libras (40.823 Kgs.).

* Al ordenar un equipo, las necesidades de entrada pueden ser cambiadas al gusto del cliente. Esto puede hacerse sin cambiar las demás especificaciones.

.... DE "FORTUNE ELECTRONICS"



FORTUNE SR-5. SISTEMA DE GRABACION DIRECTA EN UNA UNIDAD "BUFFERLESS" (DE MENOR AMORTIGUAMIENTO).

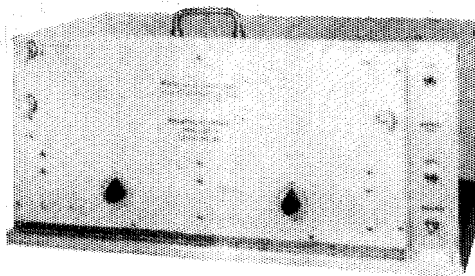
TOTALMENTE TRANSISTORIZADO — La grabadora SR - 5 ofrece los últimos adelantos en sencillez de manejo, presentando características iguales a las de sistemas más costosos y complicados.

PRECISION Y SENCILLEZ — Durante el proceso de grabación, las cabezas magnéticas están gobernadas desde la salida de los amplificadores sismicos. Para las reproducciones, las cabezas son conectadas directamente a la entrada de los amplificadores. La reproducción queda compensada mediante una red pasiva. La ventaja de todo este tipo de operación es que se obtienen resultados con un mínimo de complicaciones y conexiones.

UN SISTEMA COMPLETO — El modelo SR - 5 está equipado con sistemas Fortune de polarización y manejo, los cuales han sido probados cientos de veces en diferentes partes del Mundo. La unidad contiene los amplificadores necesarios para grabar instante de explosión, tiempo vertical y escala de tiempo. Tiene conexiones exteriores para diversos circuitos, tales como la acción de la supresión a partir del instante de tiro, el arranque de la cámara, etc., todo ello a base de levap. Para acoplar el SR - 5 a un equipo convencional, lo único que se requiere es un juego de cables interconectores.

ESPECIFICACIONES DEL MODELO SR-5.

Transporte de la cinta. Mediante tambor, cuyo diámetro es de 7.5".
 Número de canales. 24 sismicos y 2 ó 4 auxiliares.
 Tamaño de la cinta. 6 1/2 ó 7" de ancho por 24 1/2" de largo.
 Velocidad de la cinta. 3.59"/segundo.
 Tiempo útil de grabación. 6 seg. (el tambor da una vuelta completa en 6.6 seg.)
 Características del motor. De histéresis de 400 ciclos. Acoplado al tambor.
 Polarización (bias). 8 miliamperes a 6 kilociclos.
 Respuesta. De 5 a 200 cps.
 Correcciones estáticas (opcional) ± 100 milliseq.
 Relación de señal a ruido. 50 db RMS a RMS.
 Distorsión armónica total. (A 100% el nivel de grabación. 2.5%
 Alimentación cruzada. (Cross feed) Con entrada de 100%. —36 db a 10 cps.
 Nivel de grabación. 50 milivolts a través de 40 ohms.
 Potencia requerida. 0.5 amper en vacío y 6.5 amperes con carga.
 Medida del transportador de la cinta. 11 X 18 1/2 X 11 1/4".
 Peso. 53 libras (24.040 kgs.).



FORTUNE — LDR.

MICROISTA - 1 (UNIDAD DE DOS TAMBORES)

PARA USARSE EN OFICINAS O EN EL CAMPO
 La serie LDR se obtiene en uno, dos o tres tambores. También existe el tipo de un solo tambor ancho, con 54 cabezas de micropista, capaz de manejar, simultáneamente, una cinta ancha o dos cintas angostas.

Cada cabeza de micropista graba sobre un ancho de 0.006", teniendo para su control lateral hasta 20 posiciones, en forma manual o automática.

Actualmente los modelos LDR llevan 15, 12 y 6 pasos, pudiendo instalarles cabezas de doble micropista, para grabación simple o doble.

Si se desean combinar los resultados de diferentes pozos de tiro, para puntos de reflexión común (common depth point), es posible agregarle al equipo conexiones programadas y amplificadores de transcripción.

Para el sistema anterior (de punto común) o trabajos de caídas de peso (weight drop), pueden combinarse los modelos LDR - 1 y DC - 2B, obteniendo así un equipo sísmico completísimo.

Fortune
Electronics, Inc.

H. H. HAPPEL — H. H. HAPPEL, Jr.
 2505 SOUTH BOULEVARD, HOUSTON, TEXAS

Representante en Europa:

Techmation

113 Rue Lamarck, París, Francia.

Carlos Alemán A.

EXPLORACION

y

PERFORACION



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

MEXICO 1, D. F.

BOLETIN

de la

Asociación Mexicana de Geofisicos de Exploración

S U M A R I O

PROYECTO DE PLAN DE ESTUDIOS PARA LA
CARRERA DE INGENIERO GEOFISICO

SOLUCION APROXIMADA AL PROBLEMA
DE LA MAXIMA PROFUNDIDAD
EN LA INTERPRETACION GRAVIMETRICA

PROCESO DE CORRELACION DIGITAL Y ANALOGICA

ASOCIACION MEXICANA DE GEOFISICOS DE EXPLORACION
MESA DIRECTIVA PARA EL PERIODO 1969-1970

Presidente:	Ing. Armando Eguía Huerta
Vicepresidente:	Ing. Martín A. Cordero Baca
Secretario:	Ing. Antonio Cordero Limón
Tesorero:	Ing. Alberto Arroyo Pichardo
Editor:	Ing. Enrique Del Valle Toledo
Vocales:	Ing. Francisco Tiburcio Pérez
	Ing. Miguel Barrientos M.
	Ing. Roberto Hernández M.
	Ing. Raúl Silva Acosta.
Presidente Sa- liente:	Ing. Jesús Basurto García

Este boletín no se hace responsable de las ideas emitidas en los artículos que se publiquen, sino sus respectivos autores.

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 ó de Universidades, publicaciones, anuncios, etc., dirigirse a:

ING. ENRIQUE DEL VALLE TOLEDO
Balsas No. 101 - Séptimo Piso,
México 5, D. F.

EDITORIAL

Tenemos el gusto de informar a nuestros asociados que la Universidad Nacional Autónoma de México ha aprobado la creación de la carrera de Ingeniero Geofísico, en su sesión ordinaria del H. Congreso Universitario, el día 13 de febrero de 1970.

Dada la importancia que esto representa para nuestro medio profesional, recomendamos difundir ampliamente, y en particular a los elementos jóvenes, la aplicación de la Geofísica en sus diversas ramas para poder contar en el futuro con profesionistas, cuya preparación académica y título profesional, respondan a la demanda tecnológica de nuestro país, en la industria petrolera, minera y de ingeniería civil.

Incluimos en este Boletín el plan de estudios para Ingeniero Geofísico de la Facultad de Ingeniería.

Atentamente,

EL EDITOR

PROYECTO DE PLAN DE ESTUDIOS PARA LA CARRERA DE INGENIERO GEOFISICO

INTRODUCCION

Geofísica es la ciencia que se ocupa del conocimiento de la tierra, mediante el estudio de los fenómenos físicos relacionados a ella, dentro, en su superficie y fuera de la misma. Esta definición, por sí sola, indica el campo tan amplio que corresponde a la Geofísica, puesto que prácticamente no existe actividad del hombre, que no tenga relación con propiedades y fenómenos físicos de nuestro planeta.

Algunos aspectos particulares de la física de la tierra, son tan comunes e importantes que han dado origen a ciencias y técnicas especializadas tales como la Meteorología, la Hidrología, la Oceanografía, la Sismología, la Vulcanología, el Geomagnetismo, la Geodesia y la Tectonofísica. Frecuentemente se incluyen ciencias con otras definiciones particulares y que corresponden a estudios exhaustivos de una parte de las ciencias ya mencionadas.

En la actualidad se estudian las diferentes partes de la Geofísica de acuerdo con sus especialidades y aplicaciones, - distinguiéndose tres categorías que dependen de su objetivo y que son: Geofísica Pura, Geofísica Aplicada e Ingeniería Geofísica.

La Geofísica Pura deduce las propiedades físicas de la tierra y su constitución interna, a partir de los fenómenos físicos asociados a ella, tales como el campo geomagnético, el flujo de calor, la propagación de las ondas sísmicas, la fuerza de la gravedad, etc.

La Geofísica Aplicada es la tecnología del uso de los principios básicos de la Geofísica, para buscar información acerca del interior de la tierra, ya sea con fines prácticos o académicos.

La INGENIERIA GEOFISICA es el desarrollo de la tecnología de la Geofísica, encaminado a conocer el subsuelo de la tierra con fines comerciales e industriales, abarcando los estudios de diseño y fabricación de equipo, sistemas y técnicas de campo, - de laboratorio e interpretación, así como de preparar e interpretar las mediciones de campo de los fenómenos físicos asociados a la tierra.

Las actividades de investigación en Geofísica recaen,

4. ASOCIACION MEXICANA DE GEOFISICOS DE EXPLORACION

principalmente, en la Geofísica Pura y Aplicada, teniendo como motivo el estudio de la tierra en su conjunto. La Ingeniería Geofísica se ha desarrollado con el fin primordial de resolver problemas de Ingeniería, relacionados con la investigación de las características geológicas someras de la corteza terrestre, que tengan un interés económico o tecnológico.

Debido a que la Ingeniería Geofísica tiene como objetivo determinar las características geológicas de lugares específicos, se conoce como Métodos Geofísicos de Exploración, a los sistemas de observación e interpretación.

Los Métodos Geofísicos de Exploración consisten - en medir, en la superficie, las variaciones de fenómenos físicos - propios de la tierra que son originados por la distribución de las - rocas en el subsuelo. Así la diferente densidad de las rocas origina variaciones en el campo gravífico, las rocas con propiedades - magnéticas causan variaciones locales en el magnetismo terrestre, las propiedades eléctricas de las rocas producen cambios en los - campos eléctricos y las diferentes propiedades elásticas de las rocas afectan la velocidad de propagación de las ondas sísmicas.

El Ingeniero Geofísico puede deducir e interpretar las variaciones medidas en la superficie, en términos geológicos.

Los diferentes métodos geofísicos de exploración han probado su utilidad en trabajos de exploración petrolera, exploración minera y en la solución de diversos problemas de Ingeniería Civil. En la exploración petrolera los métodos geofísicos - permiten determinar la existencia de trampas, que sirven de receptáculo a los hidrocarburos, a profundidades que por otros medios no es posible determinar. En la exploración minera se pueden detectar yacimientos minerales que no son visibles en la superficie. En la Ingeniería Civil estos métodos tienen diversas aplicaciones, tales como la determinación de perfil y profundidad de rocas resistentes que puedan servir para la cimentación de puentes, presas y otro tipo de estructuras, en la construcción de caminos pueden emplearse para determinar el volumen de bancos de préstamo, en algunos casos se han utilizado para localizar grietas y cavernas del subsuelo. Las cuencas hidrológicas del Valle de México fueron determinadas con trabajos geofísicos.

En México, la Geofísica de Exploración ha sido hasta la fecha, con algunas excepciones, una actividad que desempeñan técnicos de la más variada extracción: ingenieros mecánicos, electricistas, geólogos, petroleros y civiles. Obviamente la incorporación a una actividad no específica en la preparación ingenieril de -

estas actividades, ha requerido tiempos prolongados de entrenamiento, no siempre en la forma adecuada. Por otra parte, es opinión generalizada que existen siempre puntos débiles en la preparación autodidacta del geofísico que así se forma. Suele señalarse que el progreso y desarrollo en estos términos, se ve limitado por carecer de la preparación geológica adecuada; o bien en el caso de tener una buena preparación geológica, por insuficiencia en conocimientos de Física y Matemáticas, además de la tecnología específica. En el plan de estudios propuesto se establece un equilibrio entre ambas áreas del conocimiento y, los cursos propios de la especialidad, están organizados de tal manera que se proporcione al alumno los conocimientos suficientes sobre los avances científicos y tecnológicos de esta especialidad.

La creciente demanda de los recursos naturales del subsuelo, aunada al empeño por satisfacerla, ha impulsado a las Instituciones de nuestro país vinculadas a la explotación de los recursos naturales allí contenidos, a intensificar los planes de exploración. La Geofísica aplicada a la exploración es, junto con la Geología, el núcleo de ciencia y tecnología en el cual se han fincado los esfuerzos exploratorios y en los que se delega la responsabilidad de proveer, con sus descubrimientos, las nuevas fuentes de riqueza que demanda el país.

En 1968, un grupo de profesores de esta Facultad, conscientes del problema que afrontarán las industrias que explotan los recursos del subsuelo en los años venideros, propuso la creación de la carrera de INGENIERO GEOFISICO. Se efectuó una investigación sobre el mercado de trabajo que tendría un Ingeniero Geofísico en México en los años venideros. La información obtenida en las instituciones que más requieren de estos servicios, pone de manifiesto que para los próximos cinco años se necesitarán un mínimo de 200 ingenieros geofísicos, correspondiendo el 50% de esta cantidad a la demanda de Petróleos Mexicanos.

Deseamos llamar la atención del H. Consejo Universitario, en el sentido de que el 75% de los cursos que integran el pensum para esta carrera se están impartiendo actualmente y, por lo tanto, el establecimiento de la misma representaría un aprovechamiento más eficiente de los recursos humanos y económicos de la Universidad.

Por otra parte la formación académica que con el plan de estudios propuesto se pretende dar al Ingeniero Geofísico, le capacitarán, si así lo desea, para cursar estudios de Post-grado y realizar trabajos de investigación.

En el desarrollo del plan de estudios que se presen-

ta a la consideración del H. Consejo Universitario, intervinieron en forma destacada, representantes de la Facultad de Ciencias, representantes del Instituto de Geofísica como parte de la Comisión - Tripartita que se integró para elaborar el proyecto, junto con los representantes de la Facultad de Ingeniería. Intervinieron también en la formulación de este pensum para la carrera de Ingeniero Geofísico, representantes de Petróleos Mexicanos, del Instituto Mexicano del Petróleo, de la Comisión de Energía Nuclear, así como de otras instituciones y compañías privadas que dieron a conocer su punto de vista a través de profesores que laboran, dentro de la Geofísica, en esos organismos. A todas estas personas manifestamos nuestro agradecimiento muy cumplido por su valiosa colaboración, para llevar adelante este proyecto.

PLAN DE ESTUDIOS PARA LA
CARRERA DE INGENIERO GEOFISICO

	Horas/Semana		
	Teoría	Lab. , Ejerc. Prácticas	Créditos
1er. SEMESTRE:			
Matemáticas I	5		10
Algebra	5		10
Geometría Descriptiva	5		10
Dibujo		5	5
Introducción a la Ingeniería	3		6
Total/Semana	18	5	41
2o. SEMESTRE:			
Matemáticas II	5		10
Mecánica I	5		10
Topografía General	6		12
Prácticas de Topografía		3	3
Técnicas del Aprendizaje y la Disertación	3		6
Total/Semana	19	3	41
3er. SEMESTRE:			
Matemáticas III	5		10
Física I	5		10
Mecánica II	5		10
Métodos Numéricos	5		10
Optativa de Humanidades	2		4
Total/Semana	22		44
4o. SEMESTRE:			
Matemáticas IV	5		10
Física II	5		10
Mecánica III	5		10
Probabilidad y Estadística	5		10
Química	4		8
Total/Semana	24		48

8. ASOCIACION MEXICANA DE GEOFISICOS DE EXPLORACION

Horas/Semana		
Teoría	Lab., Ejerc. Prácticas	Créditos

5o. SEMESTRE:

Geología General	5		10
Matemáticas Avanzadas de Ingeniería I	5		10
Físico - Química	3	2	8
Introducción a la Geofísica	3		6
Mineralogía y Petrografía	4	4	12
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
Total/Semana	20	6	46

6o. SEMESTRE:

Matemáticas Avanzadas de Ingeniería II	5		10
Física Moderna	3		6
Estratigrafía	3		6
Geología Estructural	3	3	9
Sociología	3		6
Mecánica del Medio Continuo	5		10
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
Total/Semana	22	3	47

PRACTICAS DE GEOLOGIA 4 Semanas (*)

7o. SEMESTRE:

Introducción a los Sistemas Lineales I	4		8
Elementos de la Teoría del Potencial	3		6
Electrónica Básica I	4	2	10
Prospección Eléctrica y Radiométrica	5	2	12
Economía	4		8
Interpretación de Cartas Geológicas	0	2	2
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
Total/Semana	20	6	46

(*) Prácticas obligatorias sin crédito.

Horas/Semana		
Teoría	Lab., Ejerc., Prácticas	Créditos

PRACTICAS DE PROSPECCION ELECTRICA Y
RADIOMETRICA 2 Semanas (*)

8o. SEMESTRE:

Introducción a los Sistemas Li- neales II	3		6
Física de Ondas	5		10
Electrónica Básica II	4	2	10
Prospección Gravimétrica y Mag- netométrica	5	2	12
Geología del Petróleo	5		10
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
Total/Semana	22	4	48

PRACTICAS DE PROSPECCION GEOFISICA 4 Semanas (*)

9o. SEMESTRE:

Recursos y Necesidades de México	3		6
Métodos de Geología de Minas	3	3	9
Computación Digital Aplicada a la Geofísica	3	2	8
Prospección Sismológica	5	2	12
Seminario I de Problemas Geofísicos	2	3	7
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
Total/Semana	16	10	42

PRACTICAS DE SISMOLOGIA 3 Semanas (*)

10o. SEMESTRE:

Perforación y Sondeos	3		6
Integración de Métodos Geológicos y Geofísicos	3		6
Geología Aplicada a la Ingeniería Civil	3		6
Registros de Pozos	3	3	9
Seminario de Problemas Geofísicos II		4	4
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
Total/Semana	12	7	31

TOTAL DE CREDITOS EN LA CARRERA PROPUESTA: 434
(*) Prácticas obligatorias sin crédito.

PROGRAMAS CONDENSADOS DE LA CARRERA DE ING. GEOFISICO

1er. SEMESTRE.

Algebra. - Conjuntos. Operaciones binarias. Números reales, Números Complejos, Espacios vectoriales. Matrices y determinantes. Transformaciones lineales. Ecuaciones lineales simultáneas. Teoría de ecuaciones. Estructuras algebraicas.

Matemáticas I. - Coordenadas y vectores. El plano. La recta. Ecuaciones y gráficas. Valores absolutos. Variables y funciones. Límite y continuidad. La derivada y primeras fórmulas de derivación. Derivadas sucesivas. La diferencial. Aplicaciones de la derivada. Función vectorial de un escalar. Variación de las funciones. La integral definida y la integral indefinida. La función inversa. Derivadas de la función circular. La función logaritmo y la función exponencial.

Dibujo. - Conceptos generales. Axonometría. Intersecciones. Desarrollos. Sombra. Elementos estructurales. Perspectiva. Ejecución de planos.

Geometría Descriptiva. - Nociones generales. La recta. El plano. Intersecciones de plano y rectas con planos. Paralelismo. Perpendicularidad. Métodos auxiliares. Aplicaciones fundamentales de los métodos auxiliares. Triedros. Poliedros. Superficies regladas. Superficie no regladas. Teoría general de los planos acotados.

Introducción a la Ingeniería. - Introducción a la Ingeniería. Características de un problema. Sistema procesador de información. Algunos problemas específicos. Algunas generalizaciones. Conclusión. La Ingeniería Clásica. La ingeniería de los tiempos modernos. El tecnólogo. La diferencia entre ciencia e ingeniería. Panorama general de la ingeniería. La especialización de la ingeniería. La trascendencia de la ingeniería. Cualidades de un ingeniero competente. Conocimientos proporcionados al ingeniero, indispensables para la solución de problemas. Otros conocimientos. Habilidades del ingeniero. Tres habilidades básicas de la ingeniería. Representación: icónica, diagramática, gráfica. Simulación: analógica y digital, otras formas de simulación. Importancia de los modelos. Simplificaciones, suposiciones e idealización. Modelos predictivos. Optimización. Modelos de optimización y de insumo-producto. Proceso solucionador de problemas. Formulación del problema. Análisis del problema. Búsqueda de las soluciones. La fase de decisión. Especificación de una solución. Perspectivas de la ingeniería. Oportunidades y atractivos.

2o. SEMESTRE

Matemáticas II. - El círculo. La Parábola. La elipse. La hipérbola. La cónica. Ecuación general de segundo grado. Integración indefinida. Cálculo de la integral definida. Representación paramétrica. Ecuaciones polares. Otras aplicaciones de la derivada. Formas indeterminadas. Aplicaciones del Cálculo Integral. Funciones hiperbólicas. Series. Integrales impropias.

Mecánica I. - Conceptos básicos y postulados de la Mecánica. La Mecánica y su subdivisión. Conceptos fundamentales: Longitud, masa, fuerza, etc. Leyes de Newton. Sistema de unidades. Cinemática del punto. Cinemática del cuerpo rígido. Sistemas de fuerzas. Principios fundamentales. Momentos. Tratamiento analítico de los sistemas de fuerzas. Tratamiento gráfico de los sistemas de fuerzas.

Topografía General. - Planimetría. Procedimientos que dan exclusivamente la proyección horizontal de la superficie por representar. Altimetría. Procedimientos que dan exclusivamente la proyección vertical de las superficies por representar. Planimetría y altimetría simultáneas. Trazo del eje de una vía de comunicación. Triangulación.

Prácticas de Topografía General. - Levantamiento con cintas exclusivamente. Levantamiento con brújula y cinta. Levantamiento con tránsito y cinta. Nivel fijo, Taquimetría. Estudio de un camino. Orientación.

Técnicas del Aprendizaje y la Disertación. - La investigación: Cómo investigar. Organización del trabajo mental. Los diferentes tipos de investigación. La metódica. La Disertación Oral y la Escrita. Como escribir y para qué escribir. La disertación oral: Conferencias, Polémicas, Cátedra. Informes, Discusiones libres, Exposiciones académicas. La disertación Escrita. Ejercicios de redacción. Síntesis y análisis de lecturas.

3er. SEMESTRE

Matemáticas III. - Funciones de varias variables. Superficies y curvas. Coordenadas cilíndricas y esféricas. Derivación y diferenciación de funciones de varias variables. Funciones implícitas. Máximos y mínimos para funciones de dos variables independientes. Cursores y torsores. Integrales múltiples. Campos vectoriales. Integral curvilínea.

Física I - Trabajo y energía. Impulso y momento lineal. Elasticidad. Hidrostática y tensión superficial. Hidrodinámica y viscosidad. Temperatura y calor. Transmisión del calor. Gases, líquidos y sólidos. Teoría cinética. La ecuación general de energía para un gas perfecto. Procesos reversibles y sin flujo para un gas perfecto. Los ciclos de las máquinas de combustión interna. Líquidos y vapores. Procesos con vapores. Ciclos con vapores.

Mecánica II - Nociones básicas. Fuerzas distribuidas y concentradas. Fricción. Fijación de los cuerpos al sistema tierra. Aislamiento de los sistemas mecánicos. Estática. El equilibrio de la partícula. El equilibrio del cuerpo rígido. Aplicaciones de la teoría de la fricción. Introducción a la mecánica estructural. Vigas isostáticas. Arcos Triarticulados. Armaduras Planas isostáticas. Armaduras tridimensionales isostáticas. El cable flexible. El cable parabólico. La catenaria. Momentos estáticos y centroides. Sistemas de partículas materiales. Sistemas continuos. El estado de inercia. Momentos y productos de inercia. El estado triaxial de inercia. El estado plano de inercia.

Métodos Numéricos - Escalas. La regla de cálculo logarítmica. Nomografía. Las computadoras analógicas y las digitales. Elementos de un super lenguaje algebraico. Solución numérica de ecuaciones. Interpolación. Fórmulas empíricas. Integración numérica. Diferenciación numérica.

Optativa de Humanidades.

4o. SEMESTRE

Matemáticas IV - Ecuaciones diferenciales en general. Ecuaciones diferenciales ordinarias. Ecuaciones de primer orden y primer grado. Aplicaciones. Trayectorias ortogonales. Ecuaciones diferenciales lineales. Ecuaciones diferenciales lineales y homogéneas con coeficientes constantes. Ecuaciones diferenciales lineales no homogéneas con coeficientes constantes. Operadores inversos. Transformada de Laplace. Transformada inversa de Laplace. Aplicaciones de las ecuaciones diferenciales lineales con coeficientes constantes. Sistemas de ecuaciones diferenciales lineales con coeficientes constantes. Existencia de soluciones. Ecuaciones diferenciales de primer orden y de grado superior. Casos especiales de ecuaciones de segundo orden.

Probabilidad y Estadística - Leyes generales de composición de eventos. Análisis combinatorio. Probabilidad. Experimentos.

Espacio de eventos. Variables aleatorias. Distribución y densidad - de probabilidad. Momentos. Distribuciones teóricas de variables - discretas y continuas. Distribuciones empíricas. Teorías de muestreo. Estimación y estimadores. Errores y nivel de significación. Teoría de muestras pequeñas.

Mecánica III. - Dinámica de la partícula. Fuerza masa y aceleración. Métodos energéticos. Impulso y cantidad de movimiento. Dinámica del cuerpo rígido. Movimientos del cuerpo rígido. Ecuaciones de Euler. Trabajo y Energía. Introducción a la mecánica - variacional. Desalojamiento virtuales. Principio de los trabajos virtuales. Ecuaciones de Lagrange. Principio de Hamilton. Dinámica de los sistemas vibratorios. Sistemas simples. Sistemas vibratorios con dos grados de libertad.

Física II. - Ley de Coulomb. El campo eléctrico, Potencial. Corriente. Resistencia. Resistividad. Circuitos con corriente directa. Fuerza electromotriz químico y térmico. Propiedades de los dieléctricos. Capacidad y condensadores. El campo magnético asociado a una corriente eléctrica y a una carga en movimiento. Galvanómetros, amperímetros y voltímetros. Fuerza electromotriz inducida. Inductancia. Propiedades magnéticas de la materia. - Ferromagnetismo. Corriente alterna. Oscilaciones eléctricas y - ondas electromagnéticas.

Química. - Naturaleza y propiedades de la materia. Constitución del átomo. Elementos químicos. Reacciones químicas. Iones. Valencia iónica y electrólisis. Sistemática periódica. Estructura electrónica y covalencia. Propiedades de los grupos químicos I, II y III del sistema periódico. Reacciones de oxidación. Reducción. Clases de reacciones químicas. Propiedades de las soluciones. Velocidad de las reacciones químicas. Equilibrio químico. Ácidos y bases. Producto de solubilidad y precipitación. Iones complejos. Agua. Estructura de los elementos metálicos. Hierro, cobalto, níquel y metales del grupo del platino. Cobre, cinc, galio, germanio y congéneres de estos elementos. Química de silicio. Radio química.

5o. SEMESTRE

Matemáticas Avanzadas de Ingeniería I. -

Funciones de Variable Compleja. - Funciones monógenas según Cauchy y Riemann, Integrales de las funciones de variable compleja. Desarrollos en serie, desarrollos en serie de potencias, las funciones gamma, beta y de los errores, desarrollo de series de Fourier. Geometría diferencial, antecedentes de cálculo vectorial, geometría diferencial de curvas alabeadas, geodésicas, asíntóticas y líneas de curvatura, análisis de las superficies por medio de coordenadas -

curvilíneas.

Introducción a la Geofísica. - La Geofísica como ciencia de la tierra, generalidades sobre el origen de la tierra. Sismología terrestre, Gravimetría, Geomagnetismo, Electricidad terrestre. Medición de los campos geomagnéticos y geoelectrónicos, temperatura de la tierra. Aplicaciones de los principios de la Geofísica en la solución de problemas geológicos de la Ingeniería.

Fisicoquímica. - Estado gaseoso. Estado líquido. Estado sólido. Soluciones. Fenómenos de superficie y coloides. Termodinámica química. Electroquímica.

Mineralogía y Petrografía. - Estructura de la materia. Cristalografía. Clasificación de los cristales. Propiedades físicas de los minerales. Rocas. Estructura y textura de las rocas ígneas. Clasificación de las rocas ígneas. Familia Granito-Riolita. Familia Sienita - Traquita, Familia Diorita-Andesita. Familia Gabbo-Basalto. Clan ultrabásico rocas piroclásticas. Intemperismo. Rocas sedimentarias. Estructuras de las rocas sedimentarias. Rocas sedimentarias clásticas. Rocas calcáreas. Sedimentos formados químicamente. Depósitos carbonosos. Metamorfismo.

Geología General. - La ciencia de la Geología. El planeta tierra. El interior de la tierra. Vulcanismo. Estructuras geológicas producidas por diastrofismo. Terremotos. Minerales. Rocas, intemperismo y suelos. Movimientos de gravedad. Corrientes. Aguas subterráneas. Glaciación. Pantanos y lagos. Océanos. Vientos. Mapas. Origen de la tierra. Evolución de la vida. Interpretación de la Geología Histórica. Eras Pre-Cámbricas, Era Paleozoica, Era Mesozoica, Era Cenozoica.

6o. SEMESTRE

Matemáticas Avanzadas de Ingeniería II. - Cálculo Funcional, elementos de cálculo de variaciones, funcionales lineales, la transformación de Laplace, Ecuaciones diferenciales ordinarias, ecuaciones del primer orden, ecuaciones lineales con coeficientes constantes, ecuaciones lineales con coeficientes variables, ecuaciones lineales en las derivadas parciales.

Mecánica del medio continuo. - Los medios continuos reales y sus idealizaciones. Esfuerzos en un medio continuo. Deformación y flujo. Relaciones entre esfuerzo y deformación. Los medios elásticos. Los plásticos ideales. Los fluidos perfectos. Los fluidos viscosos.

Física Moderna. - Teoría especial de la relatividad. Propiedades corpusculares de las ondas. Propiedades ondulatorias de las partículas. Estructura atómica. Modelo atómico de Bohr. Mecánica cuántica. Teoría cuántica del átomo de hidrógeno. Spin del electrón y átomos complejos. Física de las moléculas. Mecánica estadística. Estado sólido. Núcleo atómico. Degeneración del átomo. Reacciones nucleares. Partículas elementales.

Geología Estructural. - Definición. Principios mecánicos. Descripción de pliegues. Identificación de pliegues en el campo y su representación. Determinación de la cima de una capa. Pliegues de arrastre. Causas de los plegamientos y principios mecánicos. Ruptura en las rocas. Descripción y clasificación de las fallas. Criterio para identificar fallas en el campo. Fallas inversas y normales. Diaclasas. Discordancias. Domos salinos. Foliación. Alineación. Crucero. Rocas intrusivas. Tectónica de los granitos. Rocas efusivas.

Estratigrafía. - Ambientes de depósito. Procesos sedimentarios. Ambientes continentales, marinos mixtos. Estratificación; causas, tipos, reconocimiento. Estratigrafía; definiciones, bases, importancia. Principios guías. Discordancias; definiciones, tipos. Unidades estratigráficas. Unidades litoestratigráficas; rango, nomenclatura. Unidades cronoestratigráficas; nomenclatura, establecimiento de las unidades. Unidades bioestratigráficas; definición, zona, subzona, zónula, nomenclatura. Correlación. Criterios.

Sociología. - Sociedad, Cultura y Personalidad. Teoría de las Instituciones, Teoría de los grupos sociales. Teoría de la estratificación social. Teoría de las clases sociales. Teoría de la desorganización social. Teoría del cambio social.

7o. SEMESTRE

Teoría del Potencial. - Teoría de la gravitación y del potencial, con aplicaciones a distribuciones simples de masa. Teorema de Green y de Gauss. Fórmula de Green y superficies equivalentes de las capas. Potenciales de distribuciones dobles. Funciones armónicas.

Introducción a los Sistemas Lineales I. - Análisis matemático de sistemas lineales con parámetros concentrados. Soluciones operacionales de las correspondientes ecuaciones diferenciales lineales, para las respuestas transitorias y del estado permanente. La transformada de Laplace. Polos y ceros de sistemas.

Electrónica Básica I. - Mediciones eléctricas. Amplificadores. Circuitos amplificadores. Osciladores. Mediciones. Servosistemas.

Prospección Eléctrica y Radiométrica. - Introducción a los principios de instrumentación, procedimientos de campo, cálculos, interpretación y aplicaciones, de los métodos de exploración eléctrica y radiométrica. Trabajo de laboratorio con modelos matemáticos y a escala, cotejados con trabajo de campo en áreas de geología conocida.

Interpretación de Cartas Geológicas. - Lectura e interpretación de la Geología Histórica y la Geología Estructural, a partir de mapas topográficos y geológicos, fotografías aéreas, secciones geológicas. Características del mapa. Cartografía práctica.

Teoría Económica. - La Ciencia Económica: Concepto, objetivos y sus campos de estudio. Microeconomía y Macroeconomía. Mercados. Competencia perfecta monopolio-competencia monopolística. Sistemas económicos: Comunismo Primitivo-Esclavismo, Feudalismo-Capitalismo-Socialismo-Comunismo. La intervención del estado en la vida económica. El desarrollo económico - el crecimiento económico-objetivos y problemática del desarrollo económico-oligopolio-duopolio. El producto nacional - el ingreso nacional - el gasto nacional - las cuentas nacionales. El dinero - su naturaleza - funciones - el sistema financiero en México. El sistema fiscal - el caso de México. El comercio exterior - la balanza de pagos - el desequilibrio externo - el caso de México. El desarrollo económico de México - su problemática y evolución. La integración económica multinacional - modalidades - la Alalcperspectivas de México contra la Alalc. La planeación nacional-regional sectorial.

8o. SEMESTRE

Física de Ondas. - Principios básicos de Óptica. Acústica y Elasticidad. Teoría de la Mecánica Ondulatoria.

Introducción a los Sistemas Lineales II. - Extensión del primer curso a sistemas con parámetros distribuidos. Movimiento ondulatorio y ecuación de onda en una dimensión. Soluciones de Fourier a la ecuación de onda. Elasticidad de sustancias ideales. Ecuación general de onda en tres dimensiones. Ondas esféricas.

Electrónica Básica II. - Amplificadores para medición y control. Interruptores y registradores de tiempo de tipo electrónico. Sistemas de contabilización digital.

Prospección Gravimétrica y Magnetométrica. - Gravímetros y magnetómetros. Corrección de los valores observados de gravedad y magnetismo. Teoría de los efectos subsuperficiales. Métodos de interpretación.

Geología del Petróleo. - Generalidades. Trampas estratigráficas. Trampas estructurales. Trampas combinadas. Migración del petróleo. Geología de la exploración y explotación petroleras.

9o. SEMESTRE

Prospección Sismológica. - Propagación de las ondas en los medios elásticos. Transmisión y reflexión en una superficie única y en una interfase. Relaciones de energía. Atenuación. Técnicas de interpretación. Características de los instrumentos e interpretación de los registros de laboratorio.

Seminario de Problemas Geofísicos I. - Revisión de la literatura reciente, en temas de Ingeniería Geofísica. Reportes y discusión de tópicos de Geofísica, de interés general.

Computación Digital Aplicada a la Geofísica. - Aplicación de los métodos numéricos de cálculo en computadoras, a la solución de problemas típicos de la geofísica de exploración (anomalías, filtros, etc.)

Met. Geol. Minas. - Aplicación de los principios geológicos a la investigación de depósitos minerales. Métodos de mapeo y muestreo. Técnicas de exploración geofísicas y físicas. Investigaciones de laboratorio. Cálculo de tonelaje. Compilación de datos. Evaluación e informe.

Recursos y Necesidades de México. - Historia Política y Económica de México. El Mundo exterior-relaciones e influencias respecto a México. Geografía de México. Recursos humanos actuales. Irrigación. Comunicaciones. Otros servicios de infraestructura. Producción Agrícola. Producción Industrial. Situación del Ingeniero en México. La Misión del Ingeniero en México.

10o. SEMESTRE

Integración de Métodos Geológicos y Geofísicos. - Correlación entre los problemas geológicos de exploración que se plantean a la geofísica de exploración, y los métodos más apropiados de la Geofísica para su solución. Análisis de las características de cada uno de los métodos. Ventajas y desventajas para situaciones específicas.

Seminario de Problemas Geofísicos II. - Presentación y discusión de problemas e informes geofísicos técnicos y científicos. Selección de temas y desarrollo del trabajo escrito, requisito previo al examen profesional.

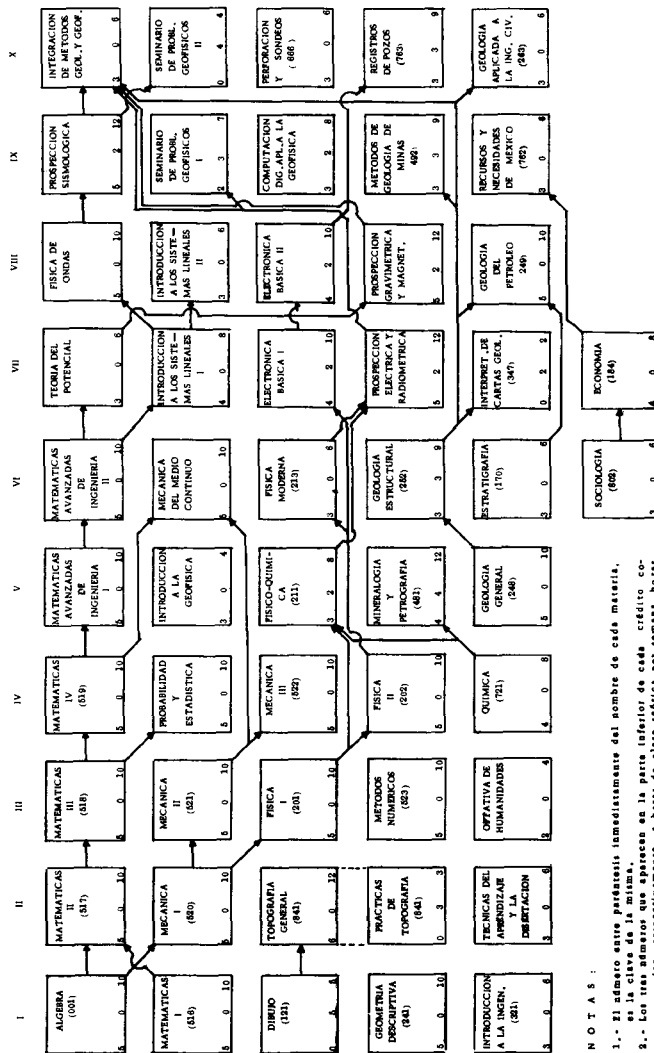
Perforación y Sondeos. - Historia de la perforación. Clasificación de los métodos de perforación. Pozos de exploración. Pozos de explotación. Métodos de perforación de pozos. Sistema de percusión. Sistema rotatorio. Terminación de pozos. Aforos. Equipos de bombeo y motores.

Registros de Pozos. - Clasificación. Fundamentos teóricos. Registro de temperatura, de calibración, de echados, de coples. Registros eléctricos convencionales; interpretación cualitativa y cuantitativa; ejercicios de aplicación. Registros radiactivos, sísmico, de inducción, de densidad; análisis cualitativo y cuantitativo; aplicaciones y ejercicios.

Geología Aplicada a la Ingeniería Civil. - Presas, túneles y galerías. Carreteras. Aeropuertos.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA PETROLERA, MINERA, GEOLOGICA Y GEOFISICA

PLAN DE ESTUDIOS PARA LA CARRERA DE INGENIERO GEOFISICO



NOTAS:

- El número entre paréntesis inmediatamente del nombre de cada materia, es la clave de la misma.
- Los tres semestres que aparecen en la parte inferior de cada crédito corresponden a la asignatura de Geografía, Historia y Economía, que son obligatorias para todos los estudiantes de la carrera de Ingeniero Geofísico.
- Para tener derecho a cursar la materia Recursos y Necesidades de México se requiere, además del antecedente señalado, haber acumulado un mínimo de 360 créditos.
- Entre los semestres V, VII, VIII, VIII y IX, y X se designa la asignatura de Geografía, Historia y Economía, que son obligatorias para todos los estudiantes de la carrera de Ingeniero Geofísico.
- Además de los estudiantes de la Facultad de Ingeniería, podrá cursar esta carrera los alumnos que hayan terminado los cuatro primeros semestres de la carrera de Ingeniería Civil, en la Facultad de Ingeniería.
- Se acordó con el plan de transición para el año 1970, que los estudiantes procedentes de la Facultad de Ciencias, llevarán dibujo y Geometría Descriptiva, en lugar de Matemáticas Avanzadas de Ingeniería.

Y Fisicoquímica, en el quinto semestre, Topografía General y Prácticas en las de Física Moderna, en el sexto semestre.

7.- El trabajo escrito, requisito previo al examen profesional, se desarrollará en el Seminario de Problemas Geofísicos II.

8.- La carrera conste de un total de 436 créditos.

"SOLUCION APROXIMADA AL PROBLEMA DE LA MAXIMA PROFUNDIDAD EN LA INTERPRETACION GRAVIMETRICA" **

Por: D. C. SKEELS*

En la actualidad, extensivamente se entiende que los datos de Gravedad no pueden ser interpretados en una forma única en términos de profundidad; que aún cuando se especifique el contraste de densidad, se puede encontrar una familia entera de configuraciones de la superficie de contraste de densidad, todas ellas a diversas profundidades y satisfaciendo cada una los datos observados de la gravedad. La configuración más somera posible está a profundidad cero, esto es, que en su punto más alto coincide con la superficie del terreno.

En el otro extremo, se puede demostrar que para cualquier anomalía dada, y para cualquier contraste de densidad considerado, existe una profundidad máxima tal que ninguna distribución de masa - con el contraste de densidad especificado - que quede enteramente abajo de esta profundidad, puede satisfacer la anomalía; aunque puede encontrarse al menos una configuración cuya cima que de a ésta profundidad, y que satisfaga la anomalía.

Este es un concepto muy útil en la interpretación práctica de la gravedad, ya que con frecuencia permite distinguir anomalías que deben estar asociadas con estructuras dentro de la sección sedimentaria, de aquellas que pueden deberse enteramente a variaciones de densidad dentro del basamento cristalino. Si la profundidad del basamento se conoce aproximadamente, ya sea por pozos o por datos de aeromagnetismo, y si se puede demostrar que la profundidad máxima de la fuente de la anomalía es menor que aquella profundidad, entonces al menos una parte de la anomalía tiene que deberse a algo más superficial que el basamento. Por otro lado, si la profundidad máxima es mayor que la profundidad del basamento, solo se puede decir que la fuente puede estar enteramente dentro del basamento; también puede estar parcialmente en el basamento y el resto en los sedimentos o enteramente dentro de los sedimentos. En ciertos casos ésta última posibilidad puede desecharse, ya que el espesor de sedimentos puede no ser suficientemente grande para acomodar una masa lo bastante grande como para producir la anomalía observada sin postular densidades que sean geoló-

* Imperial Oil Limited

** Traducido por: Ing. A. Camargo Z.

Gerencia de Exploración, México, D. F.

gicamente irrazonables.

Obviamente, sería de utilidad tener un método rápido - para determinar, aun aproximadamente, la profundidad máxima para una anomalía dada y para un contraste de densidad dado. En este artículo se da tal método, el cual fue desarrollado por el autor hace varios años mientras estuvo con la Compañía Standard Oil Company (N. J.) en Nueva York. El método ha sido probado un gran número de veces desde entonces, habiéndose verificado que es práctico y que proporciona resultados consistentes con los datos geológicos.

El método se basa en la observación de que cuando intentamos calcular configuraciones a varias profundidades, para satisfacer una anomalía gravimétrica dada, usando ya sea métodos de tanteo - como rejillas - o técnicas de continuación hacia abajo, - invariablemente encontramos que mientras mas se profundiza, las pendientes de las configuraciones tienen que volverse más pronunciadas. Esto sugiere que la configuración más profunda posible que puede satisfacer una anomalía dada, será la de una masa con lados verticales. Para una anomalía alargada esto significa un prisma de dos dimensiones de sección transversal rectangular; para una anomalía circular esto indica un cilindro circular de eje vertical.

Esta sugerencia conduce a nuestra consideración básica, que es la de que la máxima profundidad para una anomalía particular está representada muy aproximadamente por la profundidad de la cima de la masa de lados verticales - prisma o cilindro, según el caso - cuya anomalía da la aproximación más cercana a la anomalía observada, cuando el contraste de densidad usado es el máximo permitido, considerando la localidad geológica.

A este método se le denomina de solución aproximada, reconociendo el hecho de que indudablemente existen algunas formas raras en las que la masa se concentra en las orillas del cuerpo, con una deficiencia en el centro, y que podrían satisfacer a la anomalía a una profundidad ligeramente mayor que la calculada para el prisma o cilindro.

Para los propósitos de este método, definimos al prisma (o cilindro) que da la "mejor aproximación" a una anomalía particular, como el prisma (o cilindro) cuya anomalía calculada, para el contraste de densidad máximo permisible considerado, se ajusta a la anomalía observada en el máximo, a la mitad del máximo, y a tres cuartos del máximo. Si la anomalía observada es simétrica, esto significa que las mitades superiores de las anomalías calculada y observada son virtualmente idénticas. Puesto que hay tres parámetros que deben ser determinados para el prisma (D1, la

profundidad a la cima; D_2 , la profundidad a la base, y W el ancho), los tres valores observados de la anomalía sirven para identificar al prisma en forma única una vez que se ha asignado el contraste de densidad. Para anomalías circulares se cumple la misma ley, substituyendo el ancho por el radio R .

Mejor que usar esas cantidades por sí mismas, es más práctico, combinarlas como relaciones. Para la anomalía observada definimos las dos relaciones (ver Figura 1):

$$M = \Delta g_{\max} / X^{1/2} \Delta \rho \quad (\text{Miligal/Kilómetro})$$

$$F = X^{3/4} / X^{1/2}$$

donde:

Δg_{\max} es el valor máximo de la gravedad de la anomalía, después de corregir por los efectos regionales.

$X^{1/2}$ es la distancia horizontal del punto de máxima gravedad al punto donde la gravedad tiene la mitad de su valor máximo.

$X^{3/4}$ es la distancia horizontal del punto de máxima gravedad al punto donde la gravedad tiene tres cuartos de su valor máximo.

$\Delta \rho$ es el contraste de densidad máximo permitido por las consideraciones geológicas.

La cantidad M tiene las dimensiones de un gradiente; lo medimos en miligals por kilómetro. La cantidad F es un número puro, ya que es la razón de dos distancias; es una medida de la "Kurtosis" (un término de estadística) o de lo plano o agudo de la parte superior de la anomalía. Puede llamársele "factor de Aplanamiento". Nótese que tanto M como F son independientes de la escala, esto es, todos los prismas para los cuales las relaciones D_1/D_2 y W/D_2 son las mismas, y que tienen el mismo contraste de densidad, tienen los mismos valores de M y F .

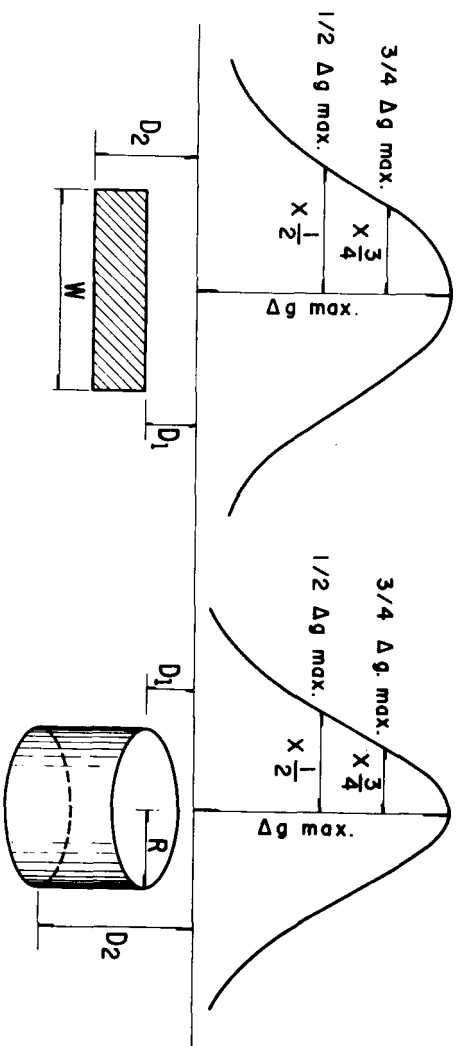
Además, se puede demostrar que para cualquier par de valores M y F existe un par y solo uno de valores D_1/D_2 y W/D_2 , de tal modo que esas relaciones están determinadas en forma única por M y F .

La figura 2 es una gráfica que muestra a M y F como funciones de D_1/D_2 y W/D_2 , para prismas bidimensionales rectangulares. Nótese que la escala horizontal cambia en $W/D_2 = 1.0$. Note también que los ángulos de intersección de las dos familias de

PARAMETROS PARA PRISMAS Y CILINDROS

PRISMA RECTANGULAR
(longitud infinito)

CILINDRO



$$F = \frac{X \frac{3}{4}}{4} / \frac{X \frac{1}{2}}{2}$$

$$M = \Delta g \text{ max.} / \frac{X \frac{1}{2}}{2} \cdot \Delta \rho$$

(MILIGALS / KILOMETRO)

$$N = D_1 / \frac{X \frac{1}{2}}{2}$$

($\Delta \rho$ DENSIDAD DIFERENCIAL)

FIGURA 1

PRISMAS BI-DIMENSIONALES — F y M COMO FUNCIONES DE W/D_2 Y D_1/D_2

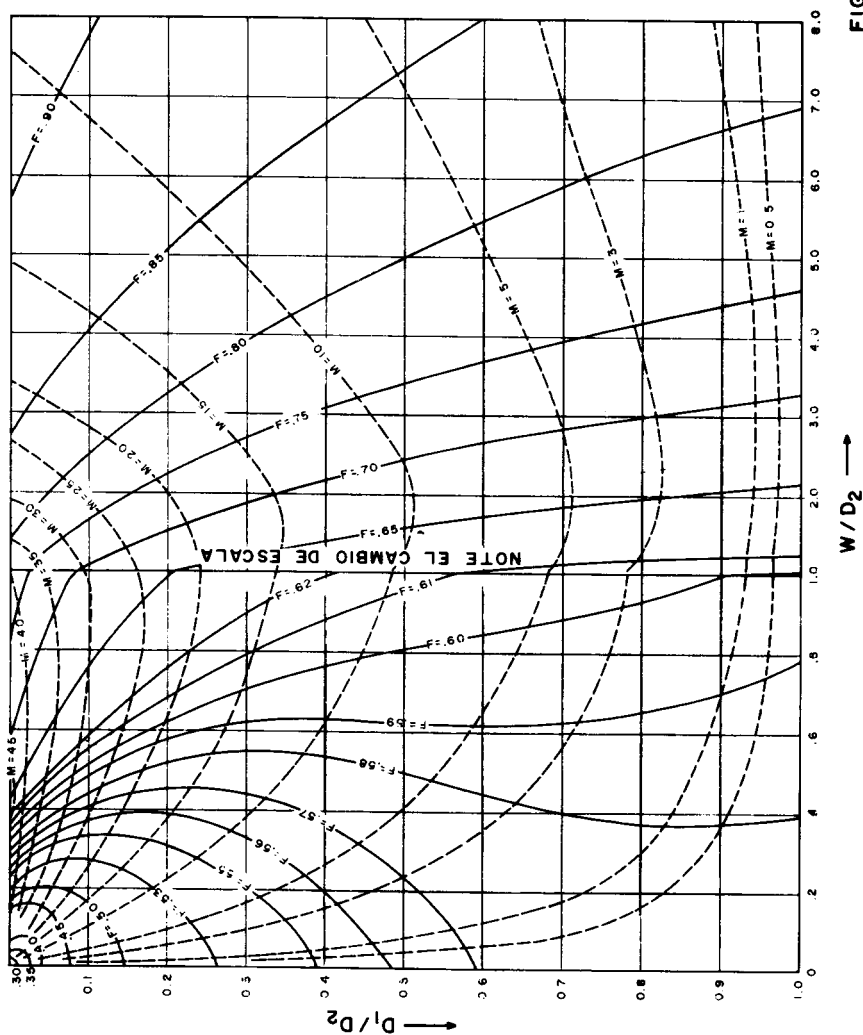


FIGURA 2

curvas F y M son bastante buenos en toda la gráfica, de modo que los valores $D1/D2$ y $W/D2$ para el prisma que se ajusta a la anomalía, pueden determinarse con gran precisión.

Para determinar la profundidad verdadera $D1$, que según nuestras consideraciones es la profundidad máxima, definimos otra relación, a la que llamamos "factor de profundidad".

$$N = D1/X \ 1/2$$

esto es, N es simplemente el factor por el cual debemos multiplicar la distancia a la mitad del máximo ($X \ 1/2$) para obtener $D1$, la profundidad a la cima del prisma.

La figura 3 muestra a N como función de $D1/D2$ y de $W/D2$. Por lo tanto, habiendo determinado $D1/D2$ y $W/D2$ de los valores de F y M usando la figura 2, podemos encontrar el valor de N de la figura 3. Multiplicando la distancia a la mitad del - máximo por N obtenemos $D1$, que consideramos que es la profundidad máxima. Si se divide $D1$ por $D1/D2$, obtenemos $D2$; y si multiplicamos $D2$ por $W/D2$ obtenemos W. Podemos por lo tanto encontrar todos los parámetros del prisma cuya anomalía satisface la parte superior de la anomalía de gravedad observada.

El procedimiento para anomalías circulares es completamente análogo. La figura 4 da los valores de F y M como funciones de $D1/D2$ y $R/D2$. La figura 5 da los valores de N como función de las mismas relaciones. Estas gráficas están trazadas en escala logarítmica, lo que es conveniente debido al comportamiento de las curvas de F y M para valores pequeños de $R/D2$ y $D1/D2$ (en la parte superior izquierda de la gráfica). Se notará que en ésta área las intersecciones no son buenas ya que las curvas F y M son virtualmente paralelas. Sin embargo, esto no es tan problemático como parece, ya que las curvas para N (figura 5) tienen virtualmente la misma tendencia. Esto significa que aunque puede haber alguna ambigüedad en relación con la profundidad a la base del cilindro, la profundidad a la cima está determinada con mucha aproximación por la anomalía de gravedad.

También se notará que la región superior derecha de - éstas gráficas para anomalías circulares, se ha dejado en blanco. Esto es debido a que el método usado para calcular los efectos de los cilindros fue aproximado, en el sentido de que el cilindro se reemplazó por cien láminas verticales de espesor infinitesimal e igualmente espaciadas. Esta aproximación es muy buena en tanto que la distancia entre láminas $R/50$, sea pequeña comparada con $D1$ y $D2$, esto es en tanto que $R/D1$ sea menor que 30 aproximadamente. Si llegara a ser importante tener los valores faltantes,

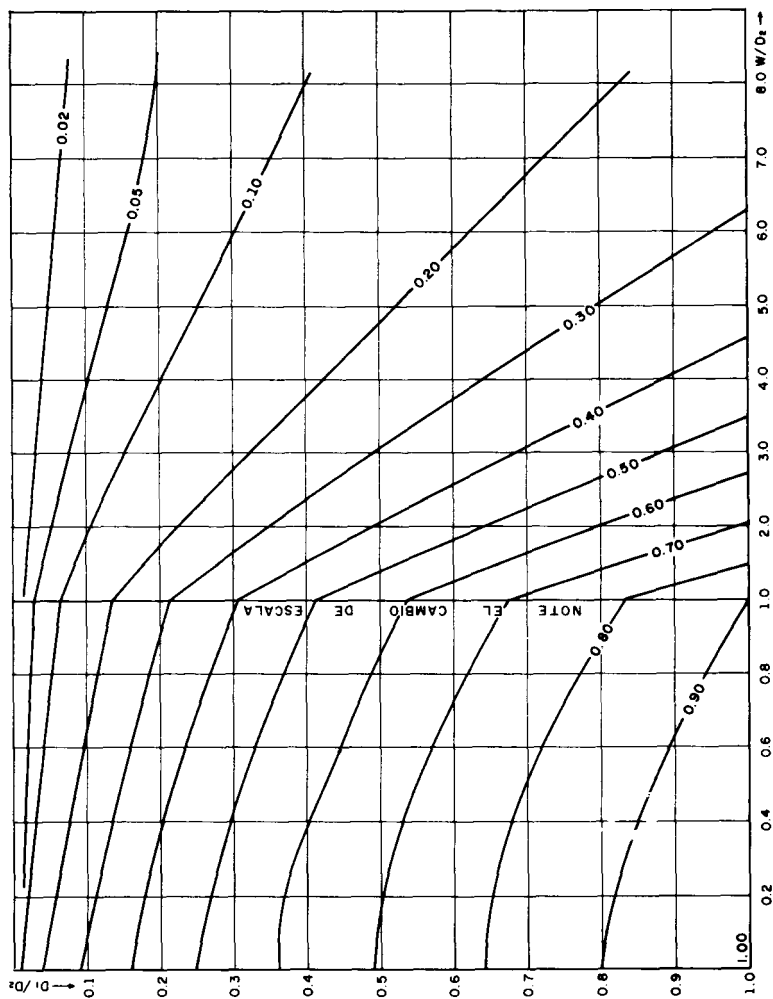
PRISMA BI-DIMENSIONALES - N. COMO FUNCION DE D_1/D_2 Y W/D_2 .

FIG - 3

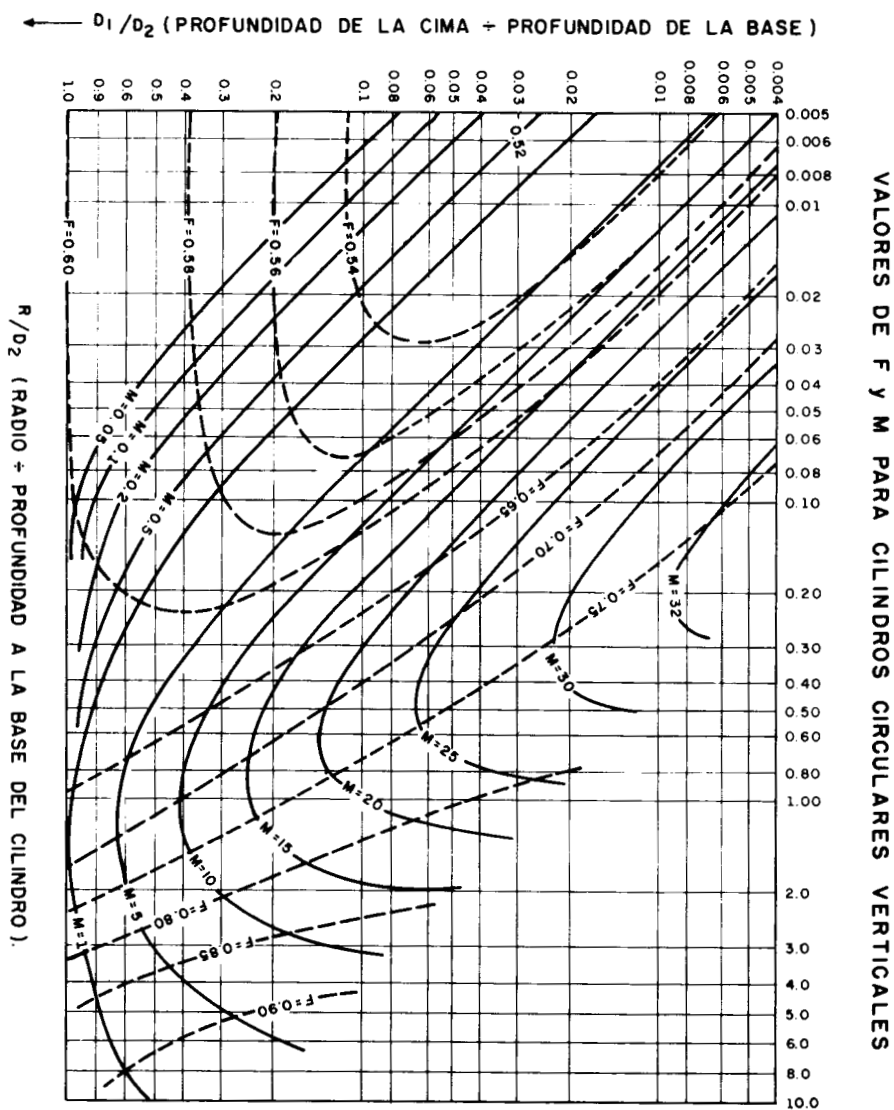


FIG. 4

VALORES DE $N(=D_1/X_{1/2})$ PARA CILINDROS CIRCULARES VERTICALES

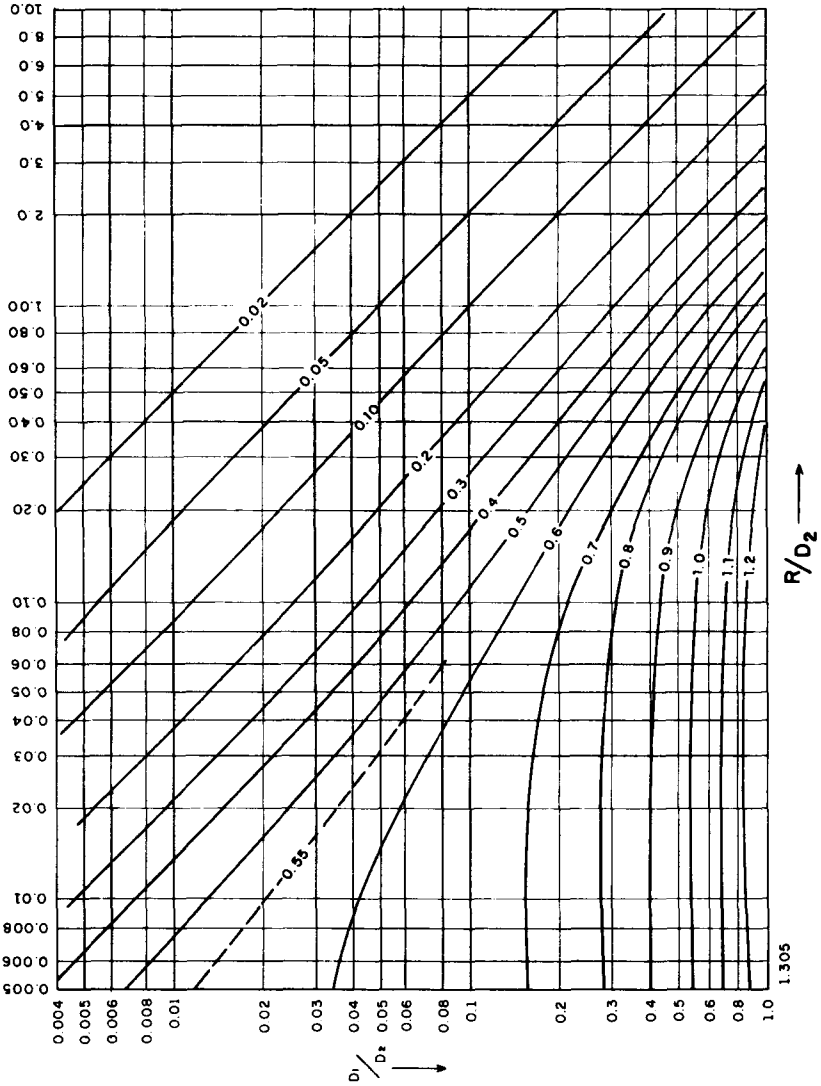


FIG.- 5

estos pueden ser calculados por otra fórmula, o podría usarse la misma aproximación y aumentar el número de láminas.

Si estamos interesados solamente en D_1 , la profundidad a la cima de la masa, y no en sus dimensiones, N puede obtenerse directamente de la figura 6 ó de la 7, que muestran a N como una función de F y M . Estas gráficas también nos dan una idea de las posibilidades y limitaciones del método. Por ejemplo, podemos observar de inmediato qué efecto tendría un cambio en el valor considerado de contraste de densidad - lo que afectaría el valor de M - en el valor calculado de N , y por lo tanto en D_1 . También se puede ver como un error en F , debido a la falta de puntos de control en la anomalía, afectaría el valor de N . Por ejemplo, en la Figura 6, si F es menor que 0.5, o mayor que 0.75, N no puede ser mayor que 0.4, no importando cual sea el valor de M . Por otro lado, si M es mayor que 20 mg/Km, N no puede ser mayor que 0.34, no importando cual sea el valor de F .

La necesidad de conocer o suponer un valor para el contraste de densidad es una limitación del método, y se le puede ocurrir al lector preguntar si esto es ó no necesario. Teóricamente, debiéramos ser capaces de identificar al prisma que mejor se ajusta a la anomalía, sin referirnos al valor real de la gravedad máxima, y por lo tanto sin hacer referencia a la densidad, con solo medir otra distancia en la anomalía, tal como la distancia a un cuarto del valor máximo, y usando la relación de ésta a la de la distancia a la mitad del máximo, en lugar del índice M que depende de la densidad. Originalmente se hizo un intento para efectuar esto, pero se encontró que en muchos casos, primas que tenían diferentes valores de N y los mismos valores para las distancias a los tres cuartos y a la mitad del máximo, tenían valores para la distancia a tres cuartos del máximo tan similares que éste parámetro fue de poca utilidad en la distinción de los diferentes prismas. También se tiene que la distancia a un cuarto del máximo está mucho más influenciada por errores en la estimación del nivel base, y por efectos de anomalías adyacentes, que lo que lo están las distancias a la mitad y tres cuartos del máximo. De todo ello, la conclusión parece ser que aún cuando consideramos que la anomalía se debe a un prisma alargado de forma rectangular, con un contraste de densidad no especificado, existe una ambigüedad considerable desde el punto de vista práctico, si no desde el teórico. Mucho de esta ambigüedad puede resolverse si se conoce el contraste de densidad.

Son necesarias algunas instrucciones generales y precauciones en relación con la aplicación del método:

PRISMAS BI-DIMENSIONALES - VALORES DE N COMO FUNCION DE F y M.

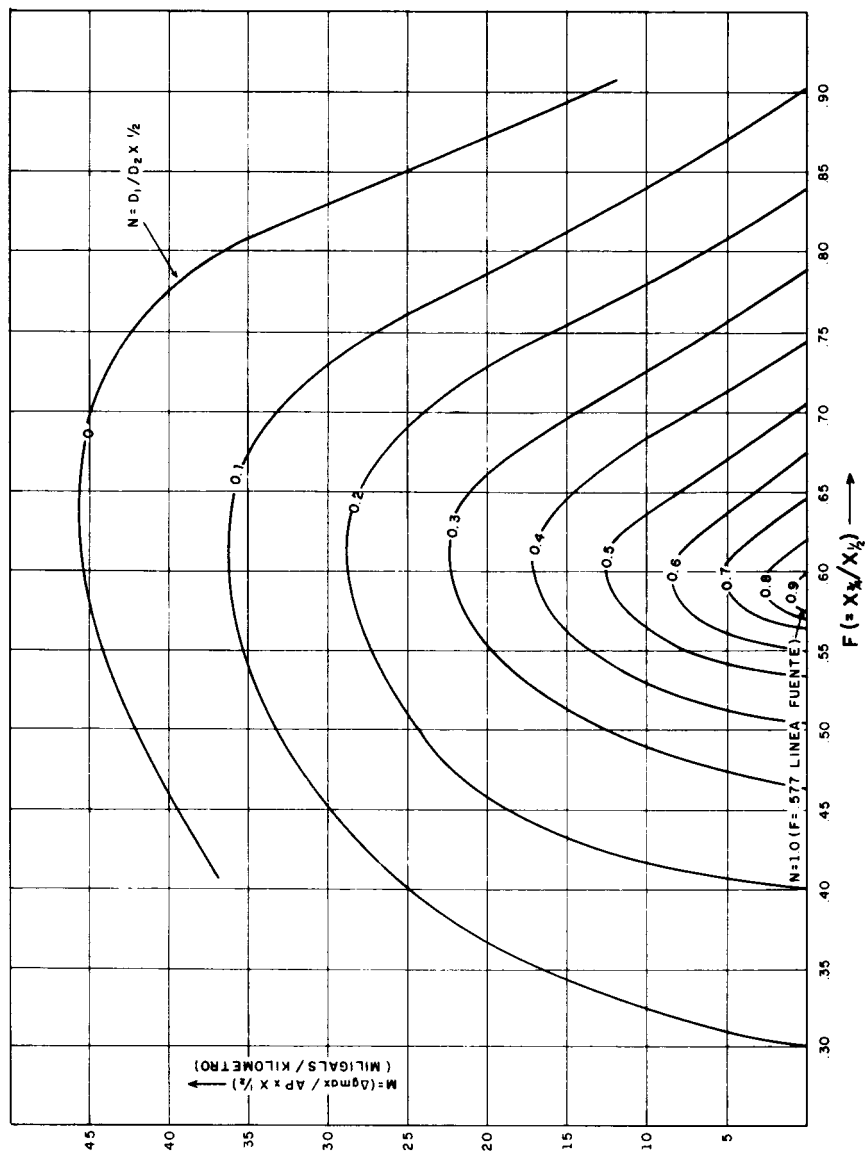


FIG-6

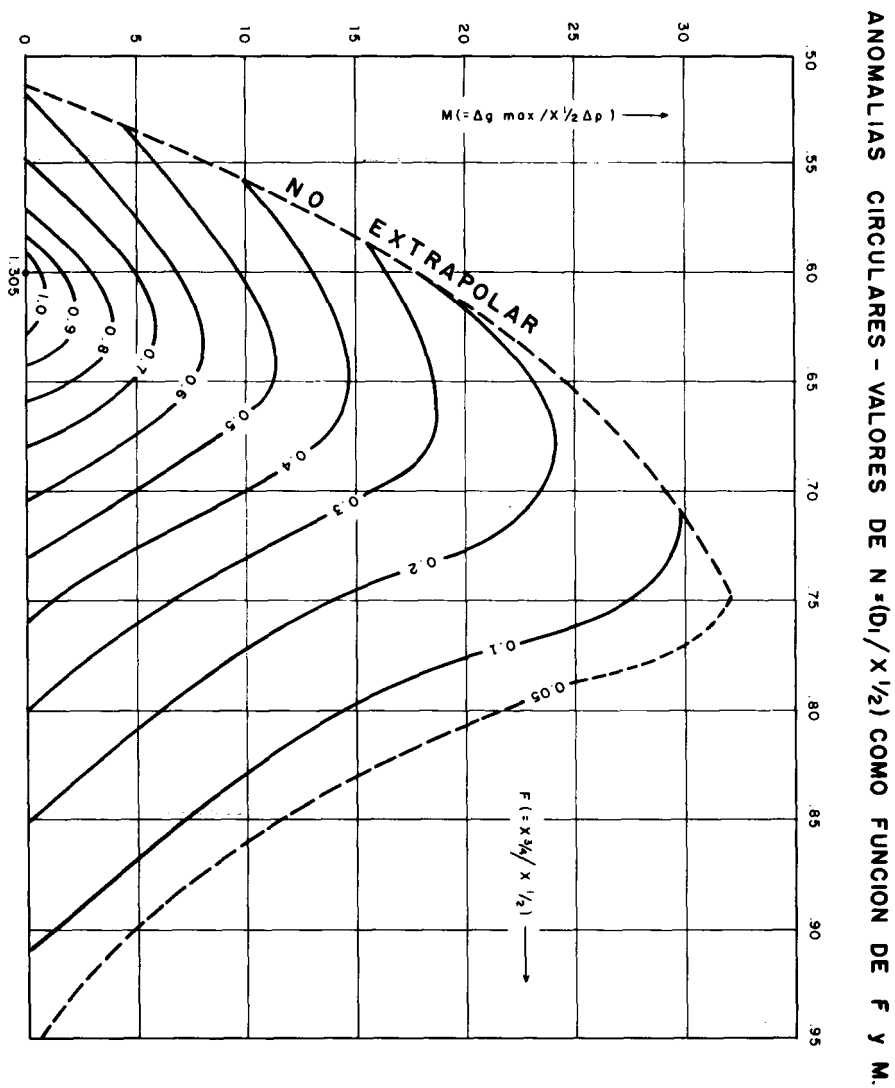


FIG.-7

1. - El intérprete debe recordar que no está resolviendo para la estructura que causa la anomalía, sino para una estructura particular que difiere de las otras posibles soluciones en que tiene lados verticales y el mayor contraste de densidad que es geológicamente permisible, y está por lo tanto, por consideración nuestra, más profunda que cualquier otra de las soluciones posibles.

2. - La anomalía debe estar separada de los efectos regionales, y tanto como sea posible, de los efectos de otras anomalías.

3. - Tanto M como F están influenciadas por la posición de la línea base; por lo tanto ésta debe estimarse con tanto cuidado como sea posible.

4. - Para anomalías que no son circulares ni notablemente alargadas (longitud/ancho mayor que 1.5 pero menor que 2.5), la mejor práctica es calcular D1 usando ambas gráficas y promediar los dos valores.

5. - Si el perfil de la anomalía es fuertemente asimétrico, el lado de mayor pendiente (que usualmente da el valor más pequeño para D1) es el que debe usarse para los cálculos. Si la anomalía es solo ligeramente asimétrica, probablemente lo mejor es utilizar los valores $X_{1/2}$ y $X_{3/4}$ determinados por promedio de los dos lados.

6. - La exactitud con la que puede calcularse D1 obviamente depende de la exactitud y cantidad de detalles de los datos de gravedad originales, así como del grado en que puedan eliminarse los efectos regionales. En la mayoría de las aplicaciones es suficiente obtener un valor aproximado, y eso es todo lo que se ha pretendido que proporcione el método.

Debe señalarse que las gráficas aquí presentadas pueden usarse también a la inversa, esto es, podemos usar las figuras 2 y 3 para calcular los valores de gravedad máxima, y los correspondientes a las distancias tres cuartos y media, para cualquier prisma supuesto. Pueden por lo tanto, ser usadas para determinar rápidamente el valor de gravedad que podría esperarse en una estructura geológica dada y por lo tanto si el método de gravedad es aplicable o no a un problema específico. Lo mismo se aplica, desde luego, a las figuras 4 y 5 para cilindros verticales; se pueden usar para calcular las anomalías que pueden esperarse de domos salinos o tapones ígneos.

Ejemplos de aplicaciones reales

Se dan cuatro ejemplos para mostrar el uso del método - para calcular la profundidad máxima a las fuentes de anomalías reales. La mayoría de los ejemplos provienen de los archivos de la - Compañía, por lo que no en todos los casos se puede dar la localización exacta. En todos los casos en que se encontró un regional pronunciado, éste fue restado.

La figura 8 es un perfil a través de una anomalía alarga da situada en el Noroeste de Cuba. Los conocimientos de la geología eran suficientes para indicar que el basamento cristalino se encontraba a una profundidad regularmente grande, y que el principal contraste de densidad sería entre las lutitas y margas del terciario y la caliza del cretácico. La forma peculiar de la anomalía sugería un origen muy somero. El factor de aplanamiento F , tiene un valor muy alto, de 0.87 y M es bastante alto, de 12.5 miligals/Km para $\Delta\rho = 0.3$. Se calculó que $D1$ era de 93 metros (305 pies). Ya que la caliza del cretácico era el objetivo, se decidió que no había suficiente cubierta para hacer un buen prospecto. Para comprobar esto, se perforó un pozo somero en la localidad, en el cual se encontró una caliza cavernosa del cretácico a 136 pies. La naturaleza cavernosa de la caliza puede ser responsable de las irregularidades presentes en la parte superior de la anomalía; éstas fueron - suavizadas para la interpretación.

La figura 9 proviene del volumen 1 de "Geophysical Case Histories".

Es un perfil combinado por Romberg y Barnes para la masa granítica "Smoothingiron". La profundidad máxima, calculada usando la gráfica para anomalías circulares es de 0.375 millas, o 1980 - pies. En éste ejemplo, la profundidad conocida al granito es cero, ya que aflora; sin embargo, es fácil imaginar un caso en el que una masa similar estuviera cubierta por una capa delgada de aluvión y en el que el conocimiento de que la cima de la masa estuviera a menos de 2 000 pies fuera de considerable importancia.

La figura 10 es un perfil a través de una anomalía situada en Alberta (Canadá) central. Esta anomalía no es ni circular ni muy alargada; es aproximadamente elíptica siendo su eje mayor - aproximadamente el doble que el menor. Por esta razón los cálculos se hicieron usando las gráficas de anomalías bidimensionales y circulares, habiéndose promediado los dos valores de $D1$, $D2$ y de W . El promedio para la profundidad máxima ($D1$) es de 1.27 millas que es casi idéntica a la del basamento (6,500 pies, ó 1.24 - millas) obtenida por interpolación de los valores en pozos cercanos. Por lo tanto, se concluye que ésta anomalía pudiera ser probable-

ANOMALIA FRAGOSA, COSTA NORTE DE CUBA.

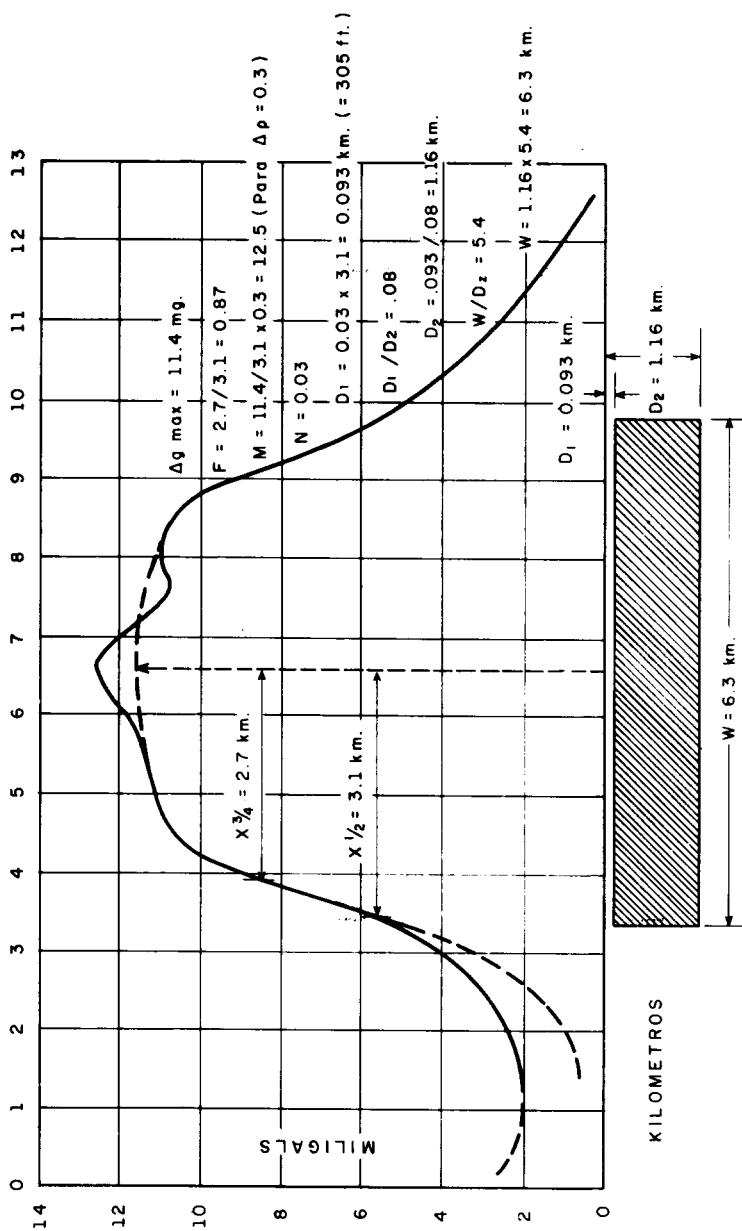


FIG.- 8

PERFIL GRAVIMETRICO COMPUESTO SOBRE
LA MASA GRANITICA "SMOOTHINGIRON."

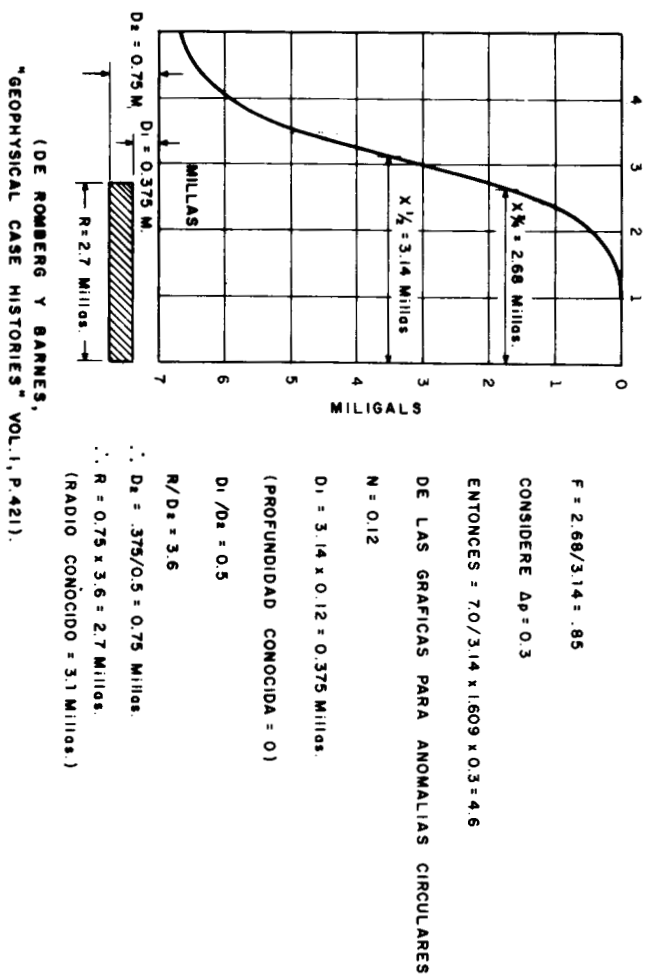


FIG.-9

PERFIL SOBRE UNA ANOMALIA GRAVIMETRICA
LIGERAMENTE ALARGADA
ALBERTA CENTRAL

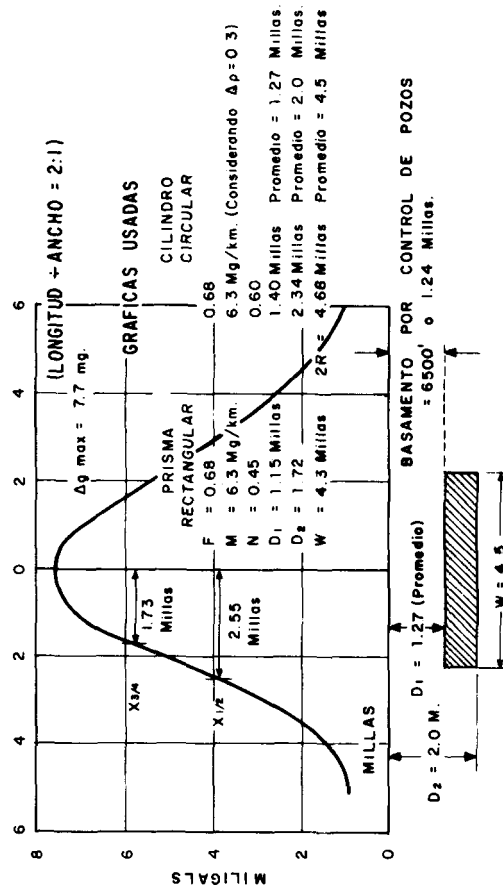


FIG. - 10

mente causada por una masa localizada enteramente dentro del basamento, y que ésta masa probablemente tiene su cima en la superficie del basamento.

La figura 11 muestra un perfil a través de una anomalía poco usual, cuya localización no puede darse ahora. El valor de F es muy pequeño, de 0.475, lo que indica una distribución vertical más que horizontal de la masa. La profundidad máxima calculada es de 1.6 Km. o sea una milla. Si la fuente de la anomalía está enteramente dentro del basamento, la profundidad a éste no puede ser mayor que una milla. Si la superficie del basamento está más profunda que una milla, entonces una parte de la anomalía tendría que originarse en la sección sedimentaria. El máximo contraste de densidad supuesto para esta anomalía fue de 0.3, lo que puede ser demasiado pequeño. Si el contraste de densidad se aumentara a 0.5 (lo que puede ser apropiado para peridotita intrusionando la corteza granítica), la profundidad máxima D aumentaría solo un 10% hasta 1.75; esto es, para los valores de M y F en cuestión, N no es muy sensible a los cambios en M .

Derivación de las gráficas

Las curvas para F , M y N se construyeron después de computar perfiles de gravedad para un gran número de prismas y cilindros circulares; los valores de F , M y N se calcularon y graficaron contra las relaciones $D1/D2$ y $W/D2$, pasándose contornos por los puntos. Para los prismas se utilizó la fórmula del Dr. Vening Meinerz⁽¹⁾. Para los cilindros se utilizó un método de integración numérico, en el que los cilindros se aproximaron por 100 tiras verticales de espesor infinitesimal, tal como se mencionó previamente.

La primera versión de las gráficas se construyó hace varios años, cuando el autor estaba trabajando en investigación para la interpretación de la gravedad en la Standard Oil Co. (N. J.). Se requirieron varios mes-hombre del tiempo del autor y un asistente para producir un juego de gráficas que se sabía tenían algunas inexactitudes debido al número insuficiente de puntos de control. Recientemente el juego entero fue recomputado usando la computadora IBM-704 de la Imperial. El programa se escribió de modo que la máquina no solo computó los perfiles de gravedad, sino que también seleccionó las distancias a los tres cuartos y a la mitad del máxi-

(1)

F. A. Vening Meinerz, "Gravity Expeditions at Sea 1923-1932", Vol. 2, pp. 23-24, Netherlands Geodetic Comission, Delft, 1934.

PERFIL SOBRE UNA ANOMALIA ALARGADA
DE UNA LOCALIDAD NO ESPECIFICADA.

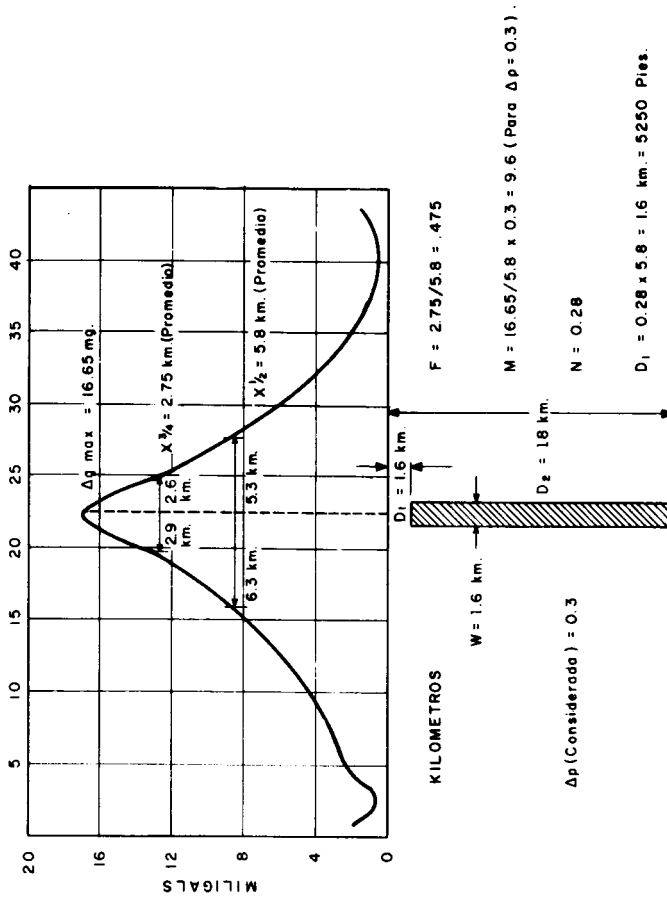


FIG.- 11

mo y calculó las relaciones F, M y N. El tiempo total de máquina fue de aproximadamente $2\frac{1}{2}$ horas, habiéndose calculado más de doscientos puntos de control para cada gráfica.

El autor desea agradecer a Standard Oil Co. (N. J.) y a Imperial Oil Ltd., por el permiso para publicar éste trabajo, y al Departamento de Procesado y Computación Electrónica de la Imperial, por su asistencia en la obtención del presente juego de gráficas.

APENDICE. - Comparación de las Profundidades Calculadas para cilindros horizontales y esferas.

Se le ha preguntado al Autor si la profundidad calculada por éste método difiere significativamente de aquellas que resultarían considerando un cilindro circular de extensión infinita con su eje horizontal (para anomalías alargadas) o una esfera para anomalías circulares. La respuesta depende del valor de F de la anomalía observada.

Para un cilindro horizontal de extensión infinita, el valor de F es 0.577, sin importar el valor del radio o la profundidad al centro del cilindro. La profundidad al centro del cilindro es igual a la distancia a la mitad del máximo. Un cálculo simple muestra que la profundidad a la cima del cilindro es:

$$D = X \frac{1}{2} \left[1 - \left(M/2\pi K \right)^{1/2} \right]$$

por lo tanto

$$N = 1 - \left(M/2\pi K \right)^{1/2}$$

donde N y M tienen el mismo significado de antes, y K es la constante gravitacional. Esto es, para el cilindro horizontal, N es función de M solamente.

Para la esfera, podemos demostrar que

$$N = 1.305 \left[1 - \left(0.575 M/\pi K \right)^{1/3} \right]$$

Estas relaciones se muestran gráficamente en la figura 12. De ésta gráfica, podemos leer los valores de N para cualquier valor dado de M, para el cilindro y la esfera.

Comparando los valores de N de la figura 12, con aquellos de las figuras 6 y 7, para valores dados de M, podemos llegar a una respuesta cuantitativa de la pregunta hecha al principio de -

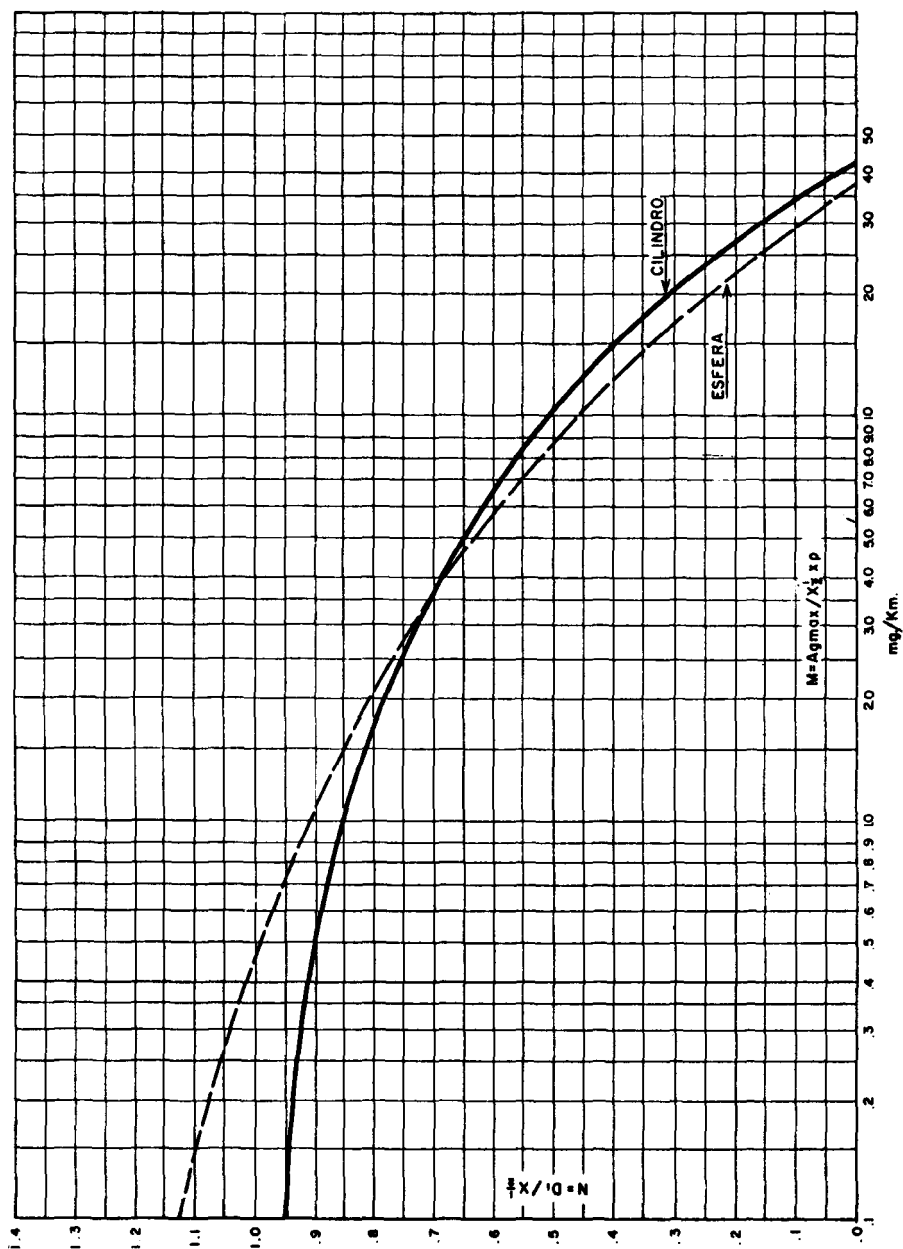


FIG.- 12

VALORES DE N-M PARA CILINDRO HORIZONTAL INFINITO Y ESFERA

éste apéndice. Por ejemplo, considérese que para una anomalía - alargada dada tenemos $M = 5 \text{ mg/Km}$. Si consideramos un cilindro horizontal, tenemos $N = 0.65$, y multiplicando ésto por la distancia a la mitad del máximo obtendremos la profundidad de la parte más somera del cilindro. En la figura 6, para el mismo valor de M , tenemos un rango de valores de N , dependiendo de F ; para $F = 0.40$, $N = 0.19$, para $F = 0.60$, $N = 0.70$, y para $F = 0.80$, $N = 0.21$. El valor central $N = 0.70$ (para $F = 0.60$) está muy cercano al de 0.65 para el cilindro horizontal, pero los valores - extremos son cada uno menor que un tercio del valor para el cilindro. Notemos que $F = 0.60$ está bastante cercano a 0.577 , el valor de F para el cilindro horizontal, y tentativamente concluimos que cuando la anomalía observada tiene un valor de F cercano a 0.58 , la profundidad calculada para el prisma rectangular no será muy diferente de la calculada para un cilindro horizontal. La comparación de las figuras 6 y 12 para otros valores de M soporta esta conclusión. También podemos observar que cuando el valor observado de F es muy diferente de 0.58 (mayor o menor), la anomalía para el cilindro horizontal no satisface realmente muy bien a la anomalía observada; la masa que la satisface tiene que ser más somera y tener una forma más rectangular.

La misma observación se puede hacer en relación a anomalías circulares, por medio de la comparación de las figuras 7 y 12; si el valor de F es muy cercano a 0.60 (el valor para la esfera), la profundidad calculada de la figura 7 no será muy diferente de la figura 12. Podemos observar, de hecho, que la tolerancia - es mucho mayor que en el caso bidimensional. Para $M = 20$ y $F = 0.70$, el valor de N para el cilindro vertical es 0.25 , mientras que para la esfera es 0.24 , o sea prácticamente el mismo. Sin embargo, para $M = 20$ y $F = 0.80$, el cilindro vertical da $N = 0.05$, que es solamente un quinto del valor derivado al considerar una esfera.

Por lo tanto, podemos decir que para anomalías que pueden satisfacerse por una esfera o un cilindro horizontal, el método presente ofrece una mejoría ligera sobre los cálculos basados en esas formas más simples, pero para anomalías notablemente planas o agudas, el método dado en éste trabajo casi siempre da un valor más restringido y por lo tanto más útil, de la profundidad máxima.

Un argumento adicional en favor de éste método es que las formas consideradas, que son prismas rectangulares y cilindros verticales, son formas que se encuentran más en geología que las de cilindros horizontales y esferas. Finalmente, debe señalarse que toma un poco más de tiempo derivar una profundidad por éste método que el que toma el cálculo para figuras más simples, y el intérprete tiene la satisfacción de saber que se satisfacen tres parámetros de la anomalía en lugar de solo dos.

PROCESO DE CORRELACION DIGITAL Y ANALOGA

Por: Thomas R. Shugart*

RESUMEN

La autocorrelación es un medio diagnóstico poderoso para el geofísico. La correlación cruzada puede ser empleada para determinar la velocidad. También se emplea para editar irregularidades estáticas automáticamente. La correlación, empleada originalmente como proceso análogo y actualmente usada como proceso digital, facilita el método de exploración de la superficie por frecuencia barrida (swept frequency). La circunvolución, también un proceso de correlación, ocurre en todos los sistemas físicos lineales, incluyendo la tierra estratificada. Aquí se describe un método para calcular la respuesta al impulso de la superficie estratificada cercana. Se presentan varios ejemplos sobre estas respuestas al impulso computados en sismogramas reales. Filtración análoga y digital se lleva a cabo por medio de circunvoluciones. Pueden diseñarse filtros digitales, lo cual resulta en onditas de reflexión más compactas, consistentes de una determinada respuesta a la frecuencia.

*
Teledyne Exploration Company.

INTRODUCCION

El proceso de correlación es uno de los medios de sísmología de exploración básicos y poderosos. Antiguamente, antes de que existiera el método moderno para procesar datos, correlación "al ojo" era el método principal empleado para la interpretación de la reflexión sísmica. La semejanza de dos trazos sísmicos o registros era juzgada cualitativamente.

El proceso de correlación sobre el que versaré en este artículo es un proceso familiar y matemáticamente bien definido, el cual incluye tres importantes variaciones que son: autocorrelación, correlación cruzada y circunvolución.

El propósito primordial de este artículo es repasar algunas de las generalidades fundamentales acerca de correlación. Luego mostraremos algunos ejemplos tomados de datos sísmográficos reales sobre como este proceso puede ser usado beneficiosamente para aumentar los datos y ayudar en la interpretación. Luego revisaremos el significado físico de la circunvolución y mostraremos algunos ejemplos de como la naturaleza circunvoluciona nuestras señales sísmicas, degradándolas severamente algunas veces. Concluiremos con una breve discusión sobre filtración de frecuencia.

GENERALIDADES

La correlación es un proceso en el cual dos formas de onda interactúan para producir una tercera forma de onda que es la forma de onda de "correlación". La interacción es obtenida por medio de:

1. - Desplazamiento de una forma de onda con relación a la otra.
2. - Multiplicación de los valores correspondientes a las dos formas de onda.
3. - Integración (suma) de los productos.

Dos formas de onda digitalizadas pueden ser "correlacionadas" mediante la repetición continuada de esta secuencia de operaciones. En el mundo análogo de sistemas físicos lineales el proceso es continuo, pero la misma definición es aplicable.

Hay pocas generalidades acerca de la correlación que han de tenerse en cuenta. Primero, es más poderosa con formas de ondas largas que con ondas cortas. Este hecho se ilustra por la aplicación de métodos tales como el de "radar de chirrido" y el

de exploración por "Vibroseis"

En ambos casos, una forma de onda larga es transmitida y los ecos que regresan son generalmente absorbidos en la profundidad de los ruidos del medio ambiente. La correlación de la forma de onda transmitida con la señal ruidosa que regresa permite que los ecos sean medidos con precisión, ya que cada eco produce un pulso de correlación de corta duración.

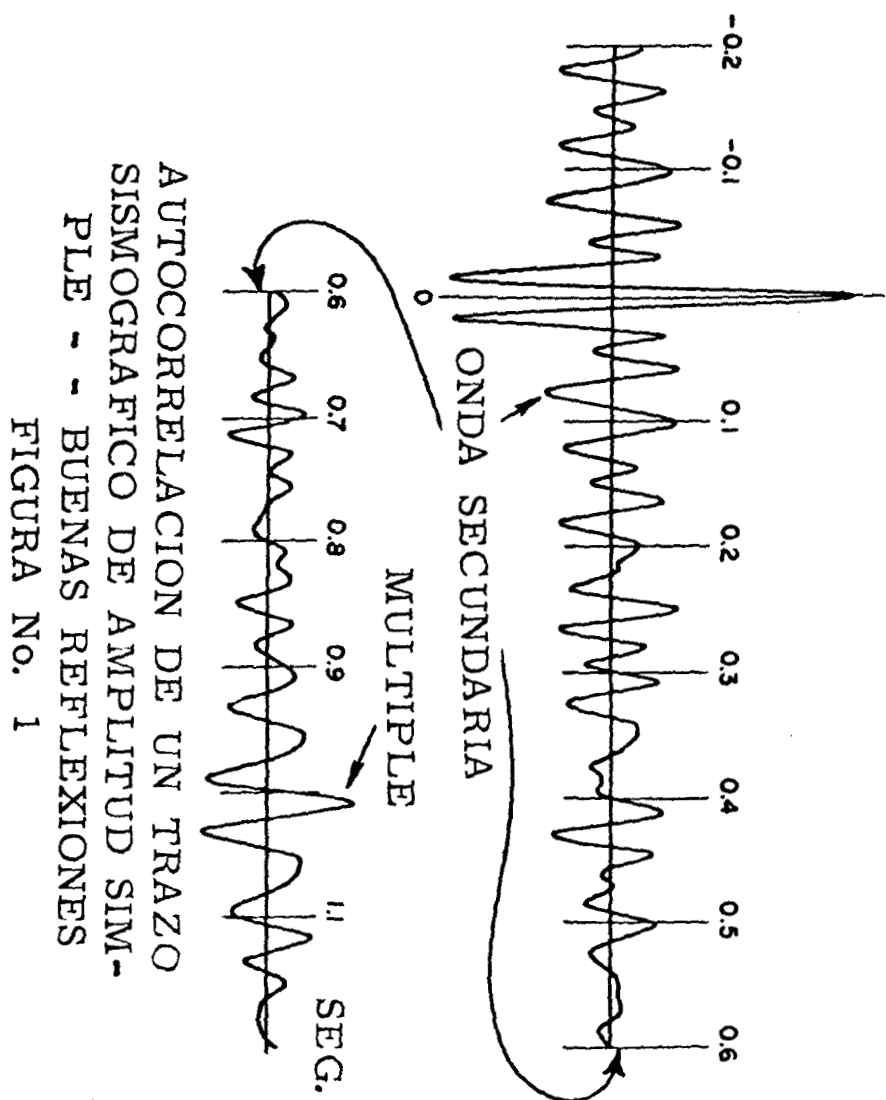
Otra generalidad consiste en que la efectividad del proceso de correlación es sensible por fases. En el ejemplo del "Vibroseis" esto significa que si la forma de onda que regresa fuera estirada o comprimida en tiempo en relación con la onda transmitida, el poder del proceso sería reducido.

Afortunadamente, esto no sucede en el Vibroseis. De aquí en adelante no nos referiremos específicamente al Vibroseis. Nuestros comentarios abarcarán todos los métodos de origen. Con cualquier método sísmico, nuestra configuración de la extensión de la geoforma pasa a ser una efectiva compresión de tiempo del espaciamiento de la reflexión en los trazos largos en relación con los cortos. Por lo tanto, siempre que utilicemos el proceso de correlación deberemos recordar la sensibilidad de su fase.

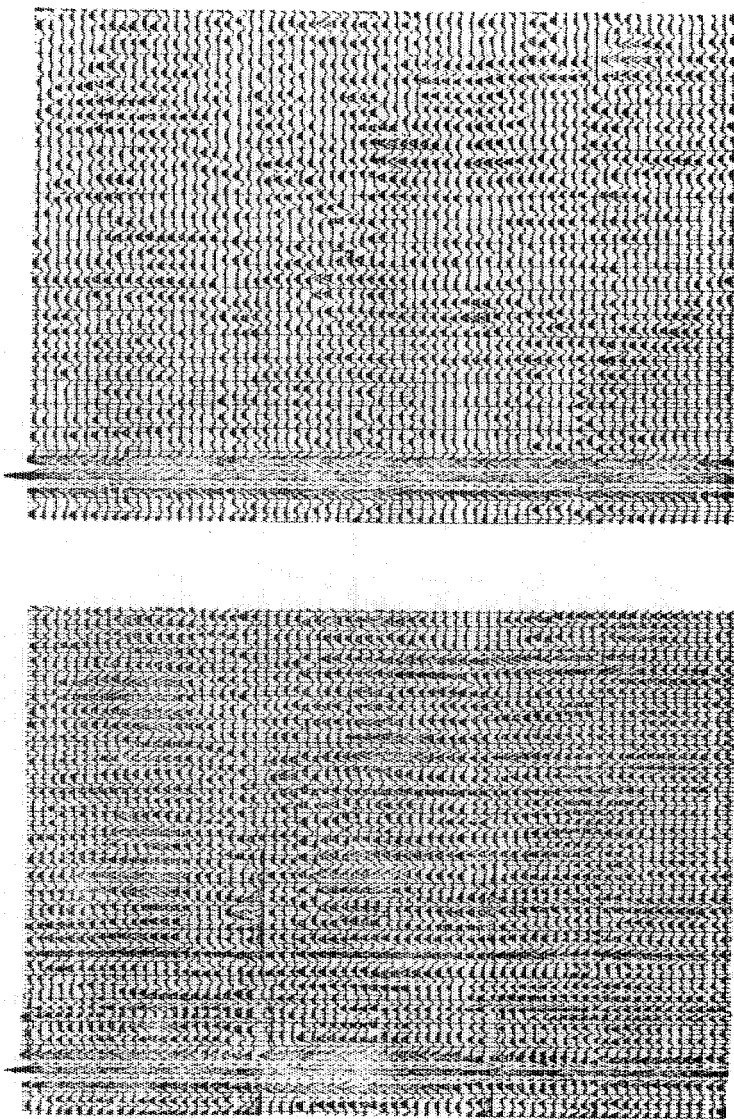
AUTOCORRELACION

Una de las variaciones del proceso de correlación, llamado autocorrelación, consiste simplemente en la correlación de una forma de onda consigo misma. Cuando la forma de la onda es una señal sísmica, su autocorrelación puede contener información de gran valor para el que la interpreta. La Figura No. 1 presenta la autocorrelación de una señal registrada en un área en donde la calidad de la reflexión fue buena y la interpretación fácil. La presencia de una onda secundaria o doble y de una múltiple (ambas débiles) puede observarse fácilmente. Nótese que la múltiple tiene una onda secundaria a cada lado, precisamente tal como el pulso principal lo tiene a cero de desplazamiento.

El Dr. N. A. Anstey ha hecho una excelente publicación titulada "El Autocorrelograma Seccional" en la revista "Geophysical Prospecting," edición de diciembre de 1966. En dicho artículo ilustra la utilidad de la sección de autocorrelación como un medio para obtener la posición en mapas de los horizontes reflectores. La Figura No. 2 muestra un ejemplar de dicha sección. A la izquierda puede verse que la múltiple a un tiempo de 270 milisegundos procede desde un reflector que es muy poco profundo como para ser puesto



SECCIONES DE AUTOCORRELACION



DESPUES

ANTES

DECONVOLUCION

FIGURA N° 2

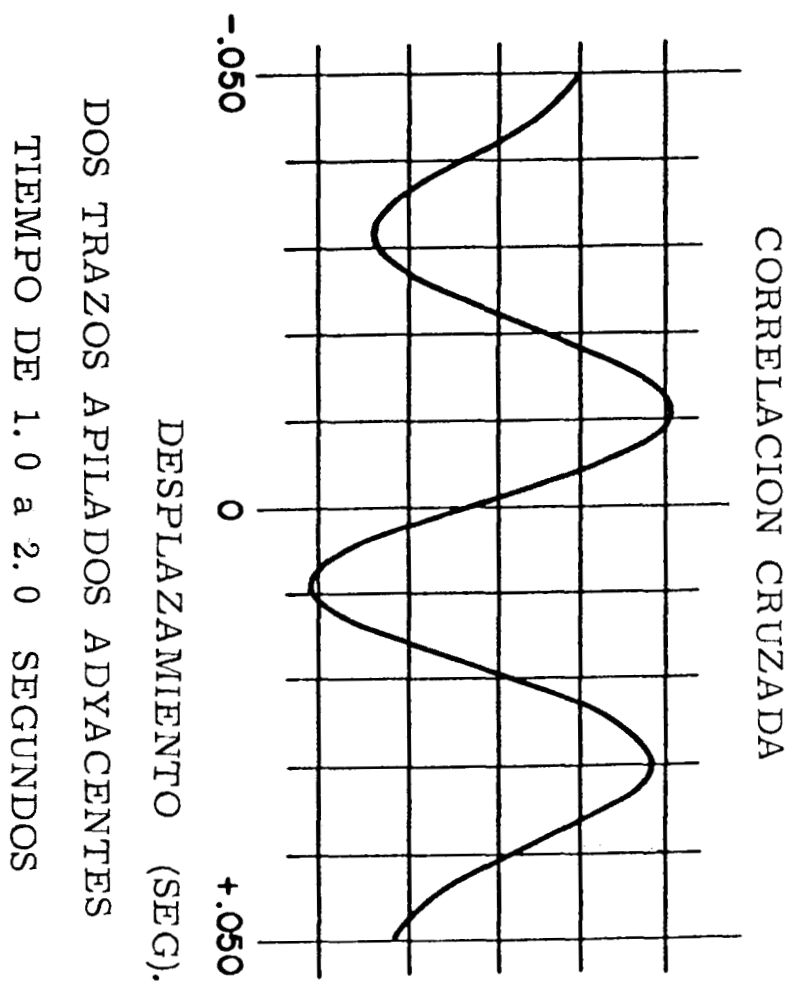


FIGURA N° 3

en un mapa desde su origen, pero su tiempo de ida y de regreso - puede ser fácilmente tomado en la sección de autocorrelación.

Esta sección también presenta una cantidad moderada de ecos, lo que indica que la descirconvolución puede aumentar los datos. La mitad derecha de la foto muestra el mismo perfil autocorrelacionado después de la descirconvolución. Aunque el valor del diagnóstico de la autocorrelación ha sido ampliamente reconocido, - no ha sido empleado tanto como se debiera. A medida que pase el tiempo, la industria utilizará este medio mucho más.

CORRELACION CRUZADA

Otra variación del proceso de correlación es conocido como correlación cruzada. Esta consiste en la correlación de dos formas de ondas distintas. La Figura No. 3 muestra la correlación de dos trazos sismográficos adyacentes de una sección de datos apilados. De la inspección resulta evidente que la mejor correlación - ocurre cuando uno de los trazos es desplazado diez u once milisegundos en relación con el otro. Esto se debería a un error estático o a un gran echado. En este caso, los echados fueron casi planos y se indica un error estático. Esta correlación sola no indica cual trazo debe ser corregido (podrían ser ambos). Sin embargo, es posible hacer correcciones que emparejen las irregularidades estáticas sin perturbar los echados, usando la correlación de varias de las - muchas combinaciones de trazos posibles.

En la Figura No. 6 se halla ilustrada otra aplicación que puede dársele a la correlación cruzada. Los trazos correlacionados cruzados fueron tomados desde un punto de profundidad común y la máxima correlación indica que un movimiento de correlación residual es necesario.

Juegos sencillos de correlación cruzada son raramente - tan definidos, pero sumando las correlaciones cruzadas de geometrías similares de una cantidad de puntos de profundidad común, - uno tiende a hallar el promedio de los errores debido a ruidos e - irregularidades estáticas y a sacar los errores residuales. Aún se están usando más y más refinamientos a este esquema general para los análisis de la velocidad.

CIRCONVOLUCION

Los dos procesos de correlación que hemos discutido, - autocorrelación y correlación cruzada, pueden ser llevados a cabo - análogamente en equipo especialmente construido (tal como el corre-

ANTES DE LA EDICION
ESTATICA

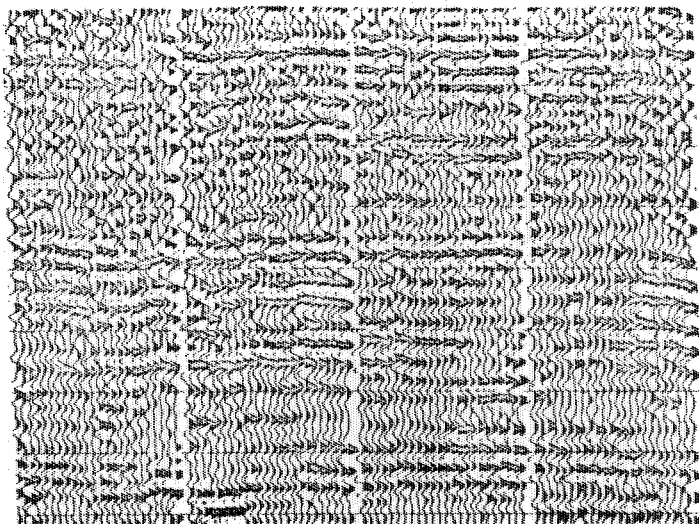


FIGURA N° 4

DESPUES DE LA EDICION
ESTATICA

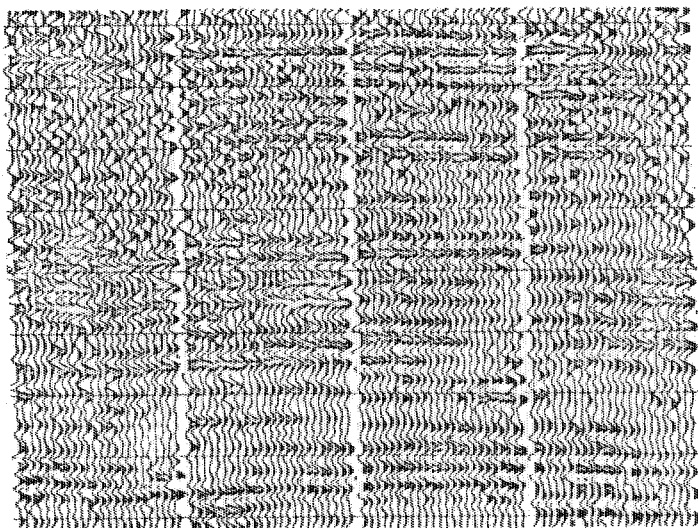
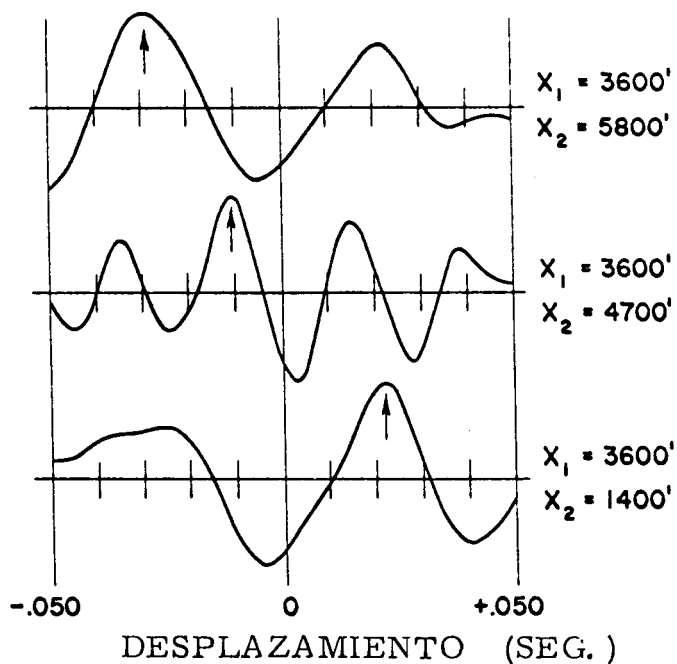


FIGURA N° 5

CORRELACION CRUZADA



PUNTO DE REFLEJO COMUN
 DESPUES DE - ANTES DE
 CORRECCIONES DINAMICAS APILAR
 TIEMPO DE 0.4 a 0.7 SEG.
 FIGURA Nº 6

lacionador Vibroséis), pero una completa flexibilidad en la variedad y número de formas de onda puede llevarse a cabo económicamente mediante el uso de los computadores digitales. Además, estos dos procesos no ocurren naturalmente en el mundo físico.

La circunvolución, que es otro proceso de correlación, - ocurre como un proceso análogo en todos los sistemas físicos lineales. Para simular este proceso numéricamente, sólo es necesario reversar cualquiera de las formas de onda, fin por fin, y luego correlacionarla cruzadamente con la otra. El resultado se llama circunvolución de las dos formas de onda. Vea la Figura No. 7

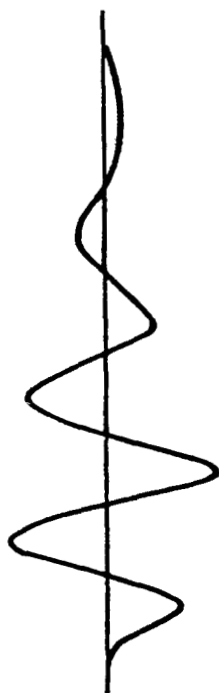
Para comprender el significado físico de la circunvolución, es necesario repasar primero una definición. La Figura No. 8 muestra una caja negra. Esta puede representar cualquier sistema físico lineal, mecánico, eléctrico, acústico, o una combinación de los tres. Si se aplica una entrada impulsiva, la salida del sistema es único y se llama la "respuesta al impulso" del sistema.

La Figura No. 9 ilustra el notable e importante hecho de que una vez que se conozca la respuesta al impulso de un sistema, - la forma de onda de salida del sistema, para cualquier forma de onda de entrada, es determinada en forma única. La forma de onda - resultante es simplemente la circunvolución de la forma de onda de entrada con la respuesta al impulso.

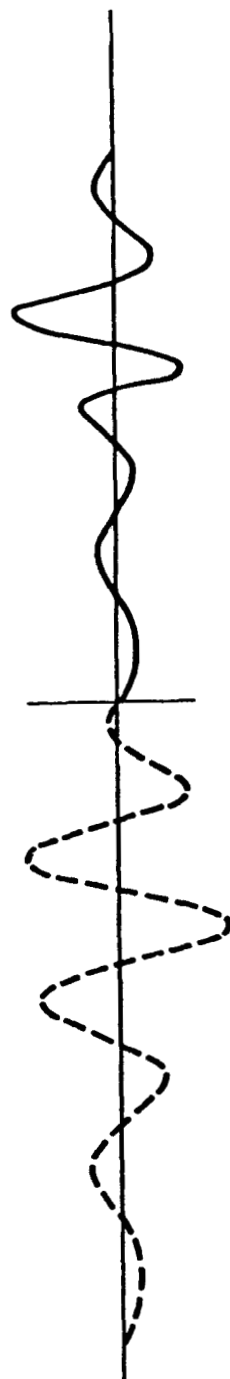
En esta ilustración la forma de onda de entrada es una - pequeña parte de un trazo sismográfico verdadero. La respuesta al impulso es la de una banda angosta de filtro sismográfico. Aunque - este filtro es fase mínima (o demora mínima) su respuesta al impulso es larga (porque el filtro es uno apretado) y el resultado filtrado tiene muchas más ondulaciones que el de la entrada aplicada.

La Figura No. 11 es un ejemplo de lo que se conoce como el teorema de circunvolución. El teorema dice simplemente que la circunvolución en el dominio del tiempo tiene un equivalente en el dominio de la frecuencia. Este equivalente es la multiplicación de - la amplitud de espectros y la suma de los espectros de la fase. Esto requiere decir que los filtros de frecuencia, ya sean análogos o - digitales, funcionan en la forma que lo hacen. El espectro de amplitud del rendimiento es el espectro de amplitud de la entrada multiplicado por la respuesta a la frecuencia del filtro, y los espectros de - la fase son agregados para obtener la fase de rendimiento.

FORMA DE ONDA "A"



FORMA DE ONDA "B"



FORMAS DE ONDA A CERO DE
DESPLAZAMIENTO
CONVOLUCION
FIGURA N° 7

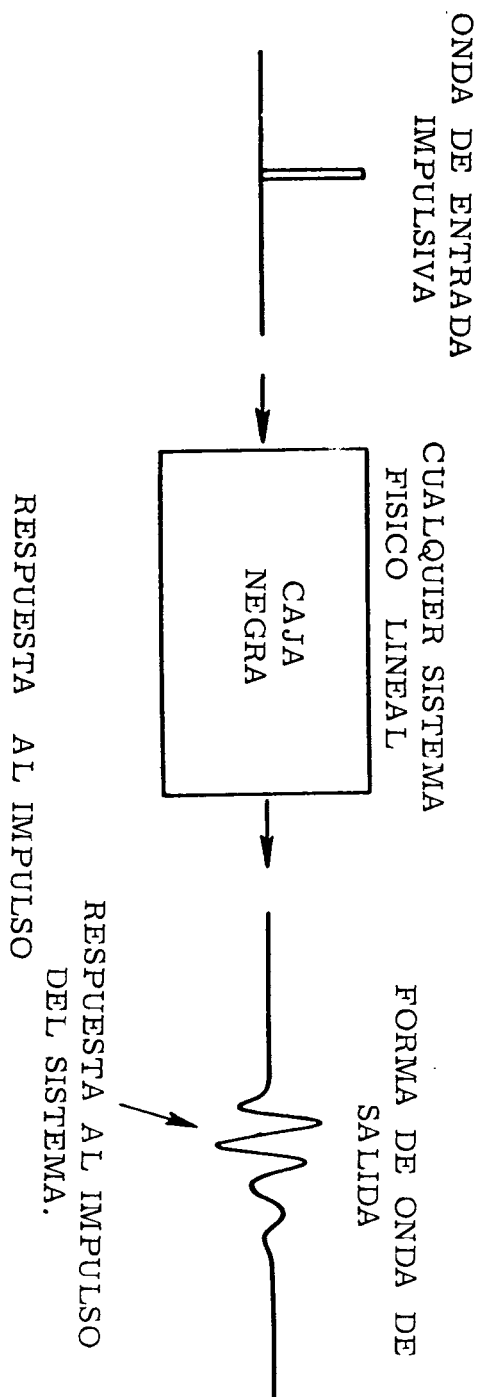
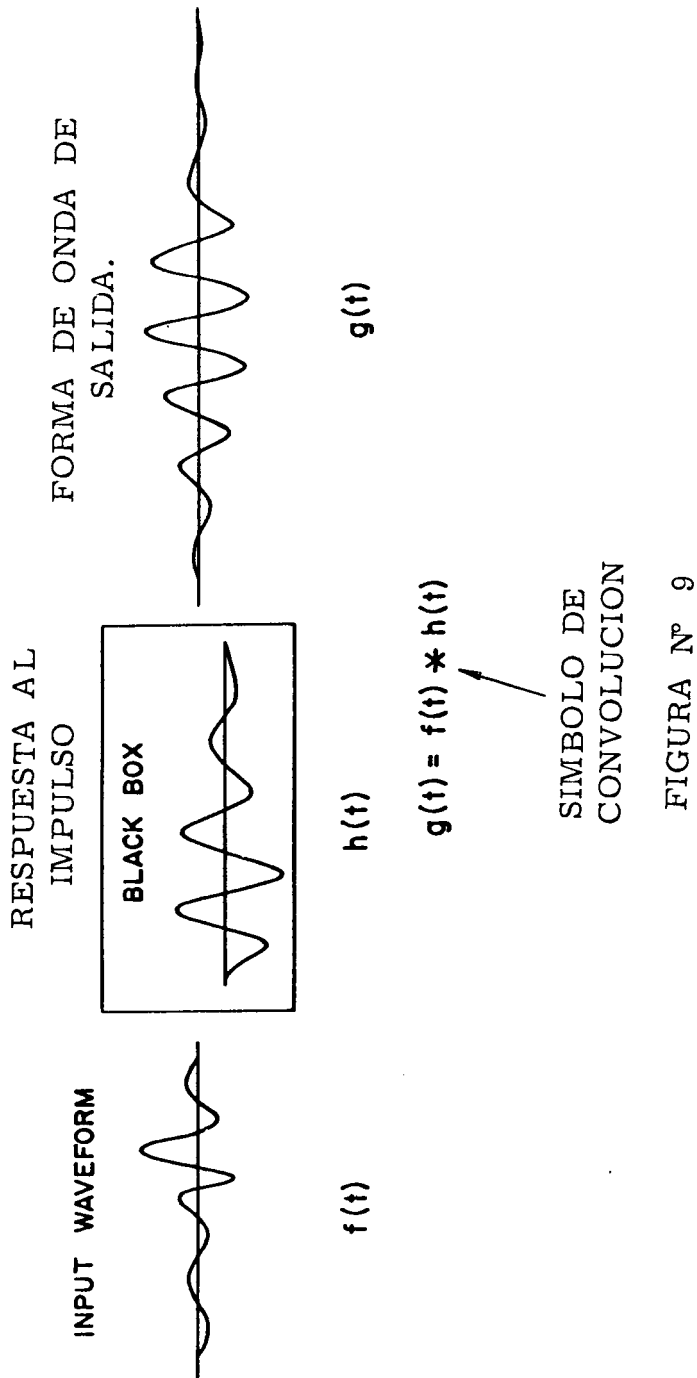


FIGURA Nº 8



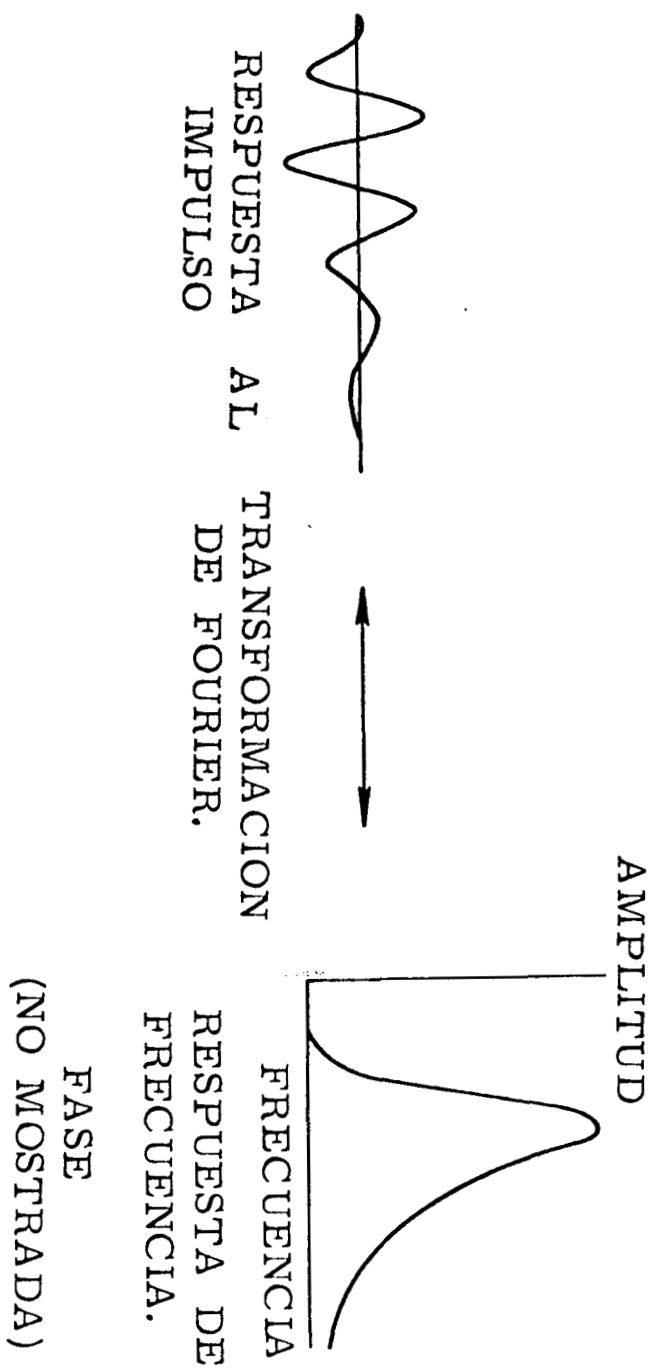


FIGURA N° 10

RESPUESTA AL IMPULSO DE LA ESTRATIFICACION TERRESTRE

Podemos ahora definir nuestra caja negra para incluir el sistema acústico de la estratificación terrestre, más el transductor eléctrico mecánico, los filtros, amplificadores y equipo grabador del sismógrafo. Si hacemos esto, es claro que un trazo sismográfico - registrado (menos cualquier ruido del ambiente) es en realidad la - respuesta al impulso del sistema total. Sin embargo, esto sucede - solamente si el registro muestra las verdaderas amplitudes del mo- - vimiento en la superficie de la tierra. El control de ganancia auto- mático no es lineal.

Pongamos ahora una restricción en lo que ha de ser in- cluído en la caja negra. Incluyamos solamente el sistema acústico de la estrata situada cerca a la superficie, más el sistema sismo- gráfico. La respuesta al impulso de este restringido sistema mos- trará una forma de onda corriente proveniente de las reflexiones - primarias, seguido por cualquier doble u onda secundaria, ecos y múltiples de corto período que esten presentes.

Luego mostraré como esta respuesta al impulso puede - ser calculada con una buena aproximación, pero primero veremos al- gunos ejemplos de esta respuesta al impulso computados con datos ^I de sismógrafos reales.

La Figura No. 12 es de un área del Este de Texas, área particularmente libre de problemas cercanos a la superficie. En es- te caso, la ondita grande, cerca de la estación de origen, represen- ta la forma corriente de la reflexión primaria de la ondita. La for- ma de ondita puede ser considerada por una capa superficial de un espesor de 11 milisegundos debajo del sismómetro. El producto del coeficiente de reflexión de la superficie, puede ser deducido a una - razón de decaimiento de aproximadamente -0.6.

Algunos de Uds. puede que se preocupen al ver que las - respuestas al impulso comienzan unos pocos milisegundos antes del p- punto cero. Esto es inconsistente, con demora mínima y, en verdad no es ni siquiera realizable físicamente. Es el resultado de aproxi- maciones inherentes en la computación. En seguida diré algo más - acerca de ésto, pero por el momento simplemente considérese que - toda la escala de duración debe ser cambiada a la izquierda, alrede- dor de diez milisegundos.

Las figuras 13 y 14 nos hacen pensar que sería magnífico si tuviéramos una caja negra en la cual pudieramos tener estas com- plicadas respuestas al impulso y obtener una ondita de salida compac- ta y simple. Tenemos una caja negra que haga esto con una aproxi-

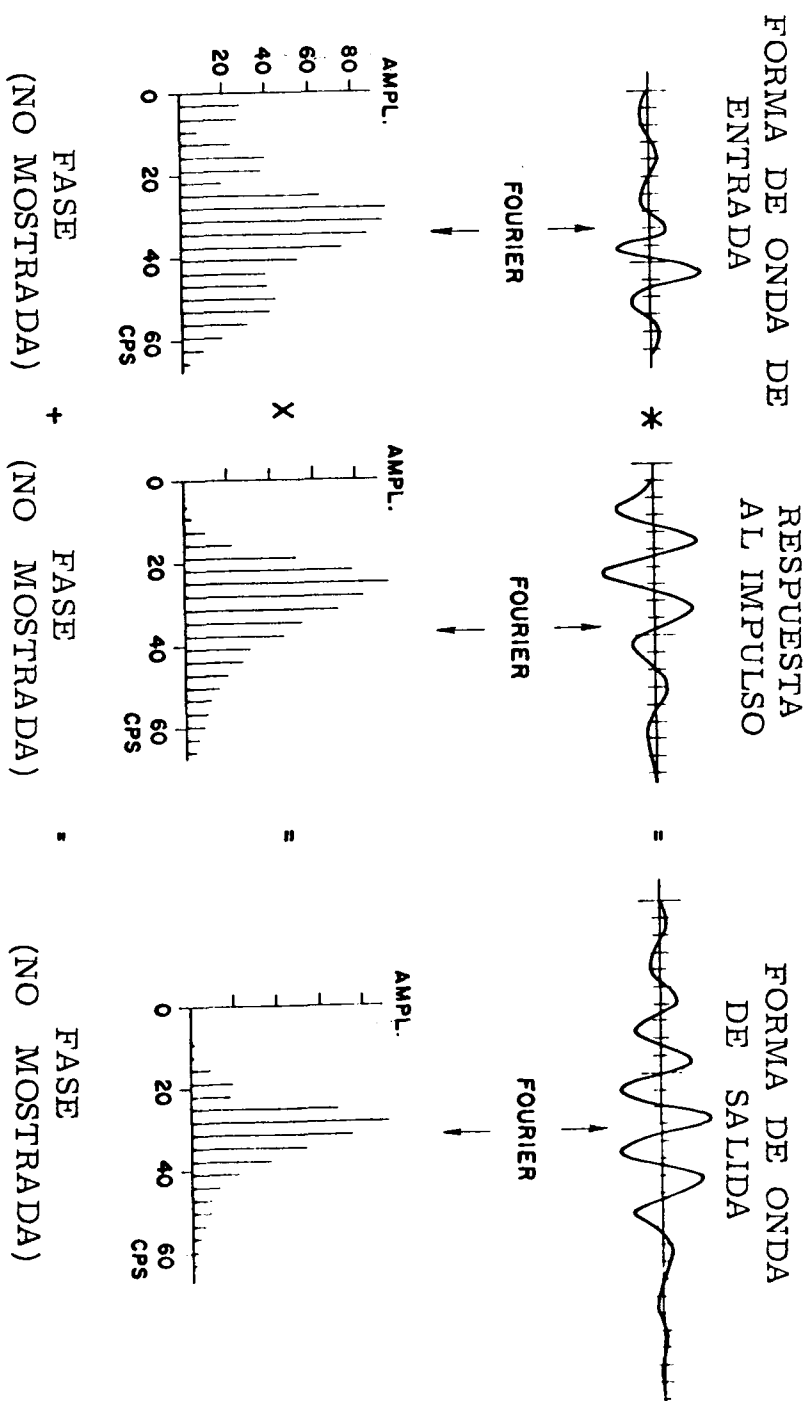
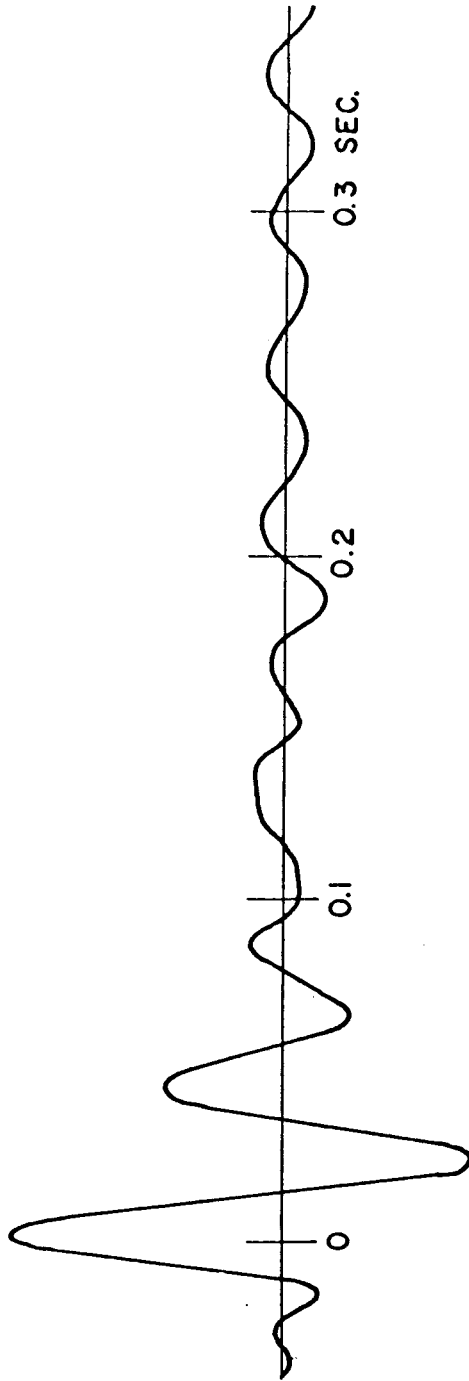
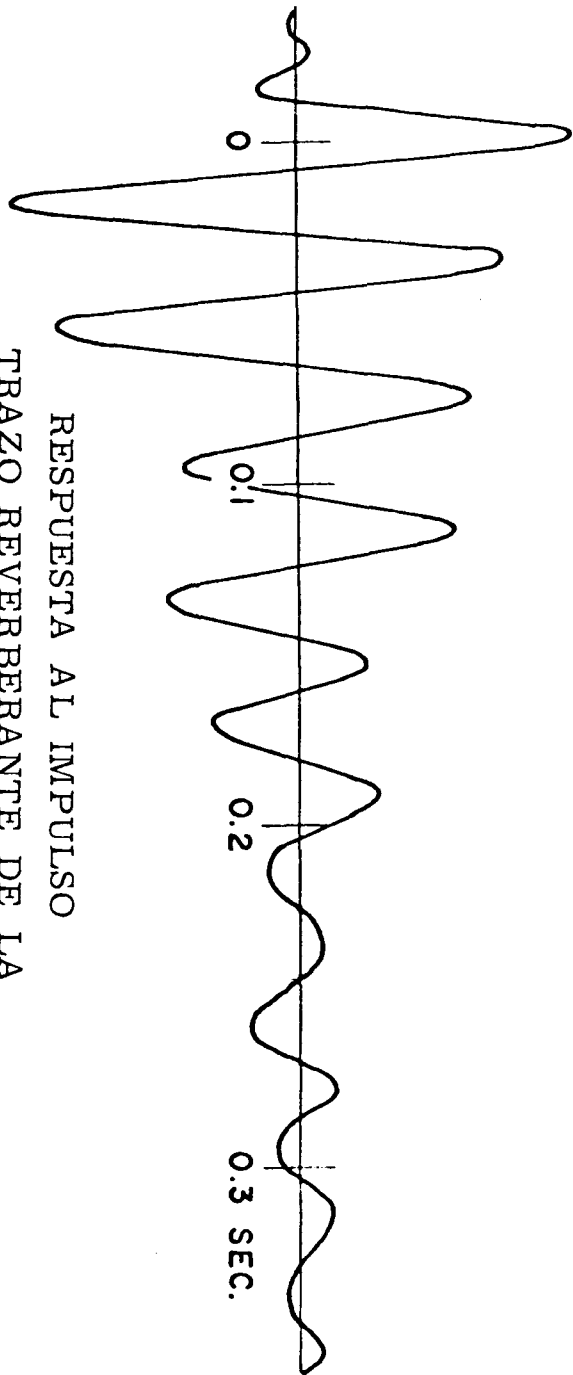


FIGURA N° 11

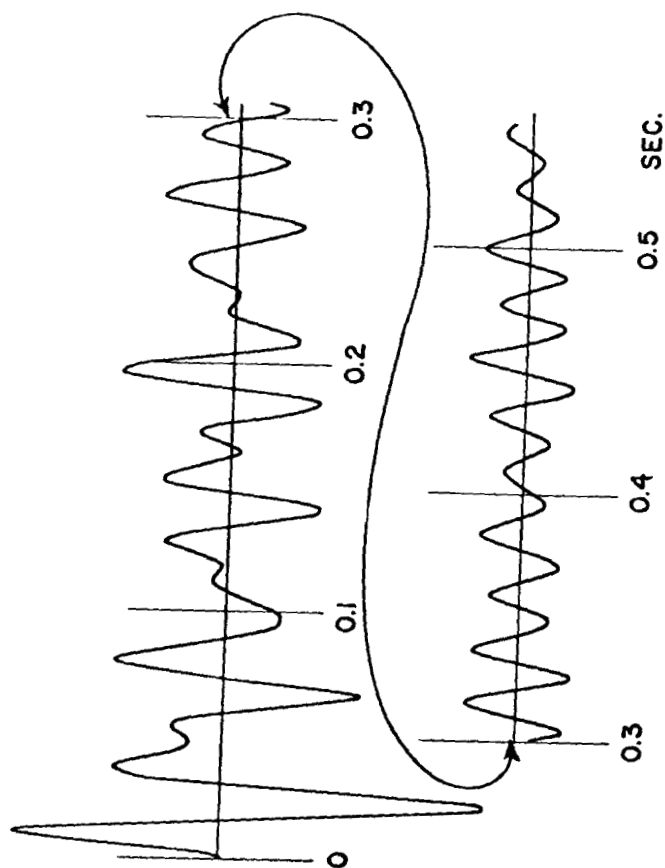


RESPUESTA AL IMPULSO
TRAZO DE CASS Co. , TEXAS

FIGURA N° 12



RESPUESTA AL IMPULSO
TRAZO REVERBERANTE DE LA
COSTA DE TEXAS.
FIGURA N° 13



RESPUESTA AL IMPULSO DE UNA CAPA
SUPERFICIAL Y EL SISTEMA
SISMOGRAFICO
TRAZO DE SAN ANTONIO BAY

FIGURA N° 14

mación aceptable, lo que llamamos descircunvolución. Estas dos - figuras muestran como nuestro simplemente corto tiro de impulso - acústico ha sido circunvolucionado por dos viajes a través de la estrata cercana a la superficie, produciendo la complicada respuesta - al impulso visto. El proceso de descircunvolución trata de deshacer la circunvolución que ocurrió cerca a la superficie y en el sistema sismográfico.

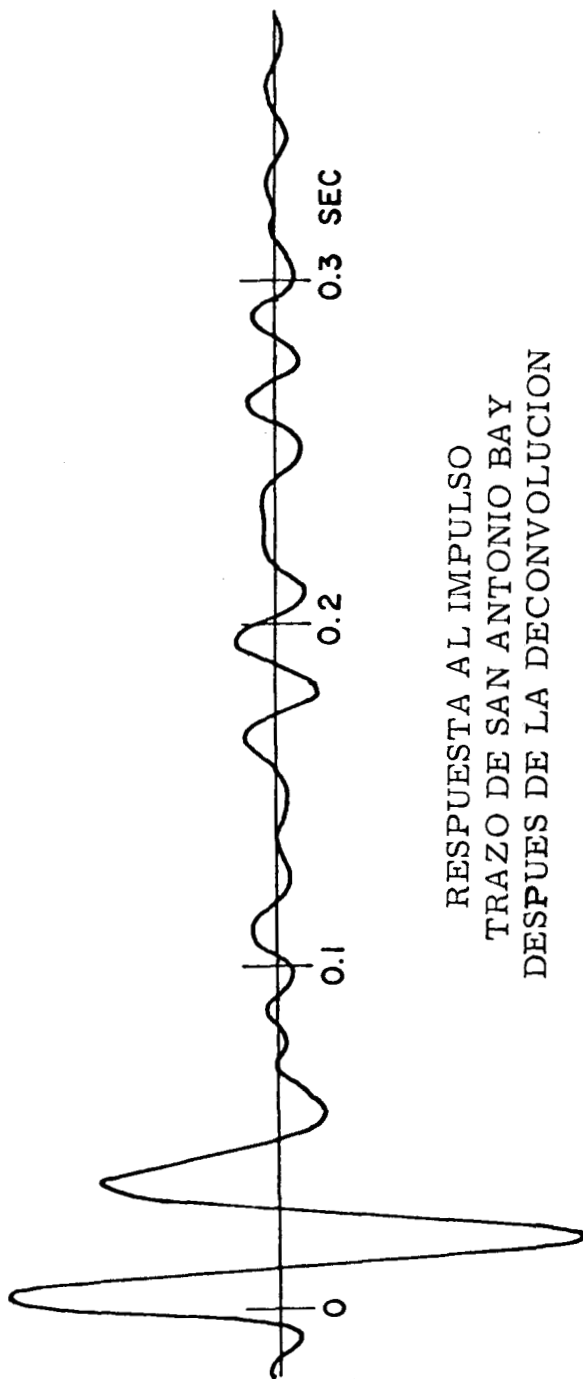
La figura No. 15 muestra la respuesta al impulso computada después de la descircunvolución para el mismo trazo que aparece en la Figura No. 14. Parece que la descircunvolución hizo algo de provecho.

Los pasos usados para computar la respuesta al impulso desde un trazo sísmico son:

1. - Autocorrelacione el trazo sismográfico
2. - Reduzca la función de autocorrelación
3. - Compute el espectro de potencia por transformación de Fourier de la función de autocorrelación
4. - Tome la raíz cuadrada del espectro de potencia para obtener el espectro de amplitud.
5. - El logaritmo natural del espectro de amplitud es el espectro de atenuación.
6. - La transformación Hilbert del espectro de atenuación es el espectro de fase mínima.
7. - La transformación Fourier inversa de la amplitud y espectros - de la fase es la respuesta al impulso requerida.

Hay varias aproximaciones inherentes en estos pasos. - Primero, comenzamos con un trazo de solo unos pocos segundos de duración. Para computar la respuesta a un impulso de un segundo - de largo, como se hizo en las ilustraciones anteriores, es necesario autocorrelacionar hasta un retraso de un segundo. A menos que - nuestro trazo sea de diez segundos de largo, esto viola el método - práctico empleado por los especialistas en estadísticas de ingeniería de comunicaciones: esto es, que el largo del retraso no ha de exceder del diez por ciento del largo de los datos.

Segundo, al tratar con datos que han sido muestreados en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia, nos veremos forzados a abandonar el concepto matemático de la transformación integral de Fourier. Solamente podemos hacer series finitas de análisis y síntesis de Fourier. Por lo tanto, nuestras series de tiempo son funciones periódicas, así como también nuestros espectros.



RESPUESTA AL IMPULSO
TRAZO DE SAN ANTONIO BAY
DESPUES DE LA DECONVOLUCION

FIGURA N° 15

Tercero, la transformacion de Hilbert, como la integral de Fourier, teóricamente abarcó integración entre límites infinitos. El error resultante de la computación numérica finita deja una deficiencia de fase en el espectro, la cual es con frecuencia lineal, a una primera aproximación, y esto explica el pequeño cambio de la escala de duración de la respuesta al impulso computada.

Evidencia en el sentido de que las respuestas a los impulsos así calculados son relativamente buenas está en el hecho de que filtros inversos computados de estas respuestas a los impulsos son operadores de descircunvolución efectivos.

FILTRACION DE LA FRECUENCIA

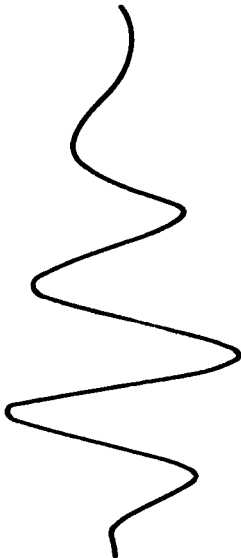
Antes de concluir quisiera discutir brevemente la filtración de la frecuencia. El filtro ideal para una respuesta dada a una frecuencia, sería aquella que dejaría cada ondita de reflexión tan compacta como es posible, consistente con esa respuesta a la frecuencia. Tal ondita sería simétrica (o sin fase). La mayoría de los filtros análogos en uso comercial son de fase mínima (o retraso mínimo). Esto significa que las onditas de reflexión filtradas con ellos tienen la energía concentrada hacia el comienzo, seguida por más o menos oscilaciones o colas. Mientras más apretado el filtro, más largas son las colas. Para un filtro de banda angosta la ondita de reflexión resultante está lejos de ser tan compacta como sería si fuera fase cero.

Es posible diseñar el filtro que produzca onditas de fase cero. Es simplemente cuestión de computación para cada trazo del espectro de fase mínima, como lo explicamos anteriormente. Invertiríamos el signo algebraico de cada ángulo de la fase, combinando luego éste con la amplitud deseada contra la respuesta a la frecuencia. Una transformación Fourier invertida produciría la respuesta a la frecuencia. Una transformación Fourier invertida produciría entonces un filtro que no sería sin fase sino que resultaría en reflexiones sin fase.

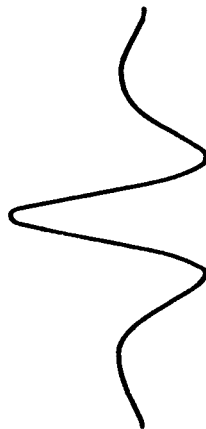
Aunque esto da resultados, no se recomienda en la práctica. Es casi tan costoso como la descircunvolución, ya que el filtro ha de ser ajustado para cada trazo. La descircunvolución puede resultar en reflexión sin fase y, además, hacer mucho más.

Cuál es entonces la forma alternativa menos costosa para filtración de frecuencia? Quizá lo mejor es hacer el filtro sin fase. La Figura No. 16 muestra las respuestas de impulso de un filtro análogo de fase mínima y de un filtro digital sin fase con idénticas respuestas a la frecuencia.

RESPUESTA AL IMPULSO



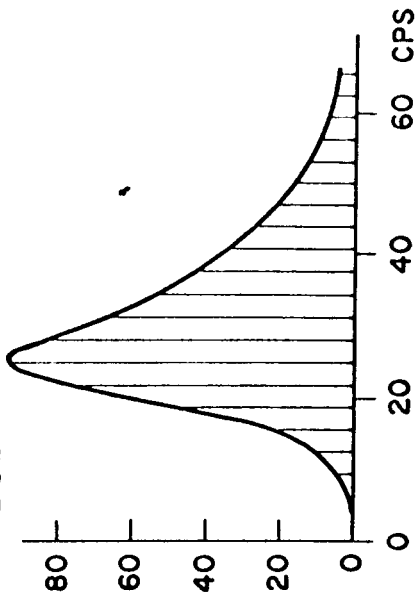
FILTRO ANALOGICO



FILTRO DIGITAL DE
FASE CERO.

20 CPS
31 CPS

AMPLITUD



RESPUESTA DE FRECUENCIA DE
AMBOS FILTROS.

24 db/octave
24 db/octave

FIGURA N° 16

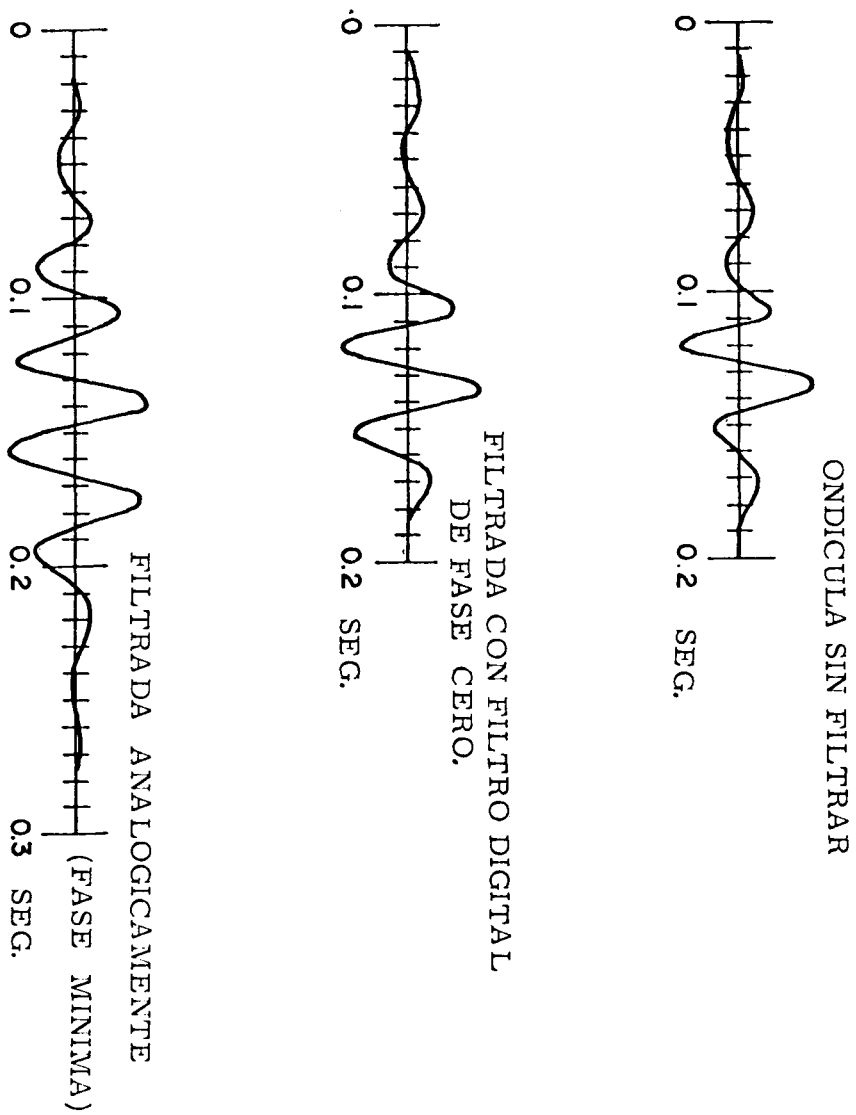


FIGURA N° 17

La Figura No. 17 vemos el resultado obtenido al filtrar una sección corta de un trazo con cada uno de estos filtros. El contraste es apreciable, pero recuerde, este filtro fue de banda muy angosta. Para filtros de banda más ancha la diferencia se hace me-
nos notable.

CONCLUSION

Hemos visto lo importante que es el proceso de correlación. En el mundo análogo real nuestros trazos sismográficos son producidos por circunvolución y algunas veces esto es llevado al extremo. Autocorrelación, correlación cruzada y circunvolución, llevadas a cabo digitalmente, pueden ser usadas en muchas formas para aumentar los datos y facilitar una mejor interpretación.

BIBLIOGRAFIA

- Anstey, N. L. A. , 1964, Correlation techniques, a review: Geophysical Prospecting, v 12, p. 355-382
- Anstey, N. L. , Newman, P. , 1966. The sectional auto-correlogram and the sectional retro-correlogram: Geophysical Prospecting, v 14, p. 389-426.
- Lee, Y. W. , 1960, Statistical theory of communication: New York, John Wiley & Sons, Inc. , p. 4-78.
- Series de Fourier; Muestreo de datos.
- Bracewell, Ron, 1965, The fourier transform and its applications: New York, McGraw-Hill Book Co. , p. 189-218.
- Hamming, R. W. , 1962, Numerical methods for scientists and engineers: New York, McGraw-Hill Book Co. , p. 67-78.
- McCowan, D. W. , 1966, Finite fourier transform theory and its application to the computation of convolutions, correlations and spectra:
Alexandria, Virginia, Research Department Technical Memorandum No. 8-66, Earth Sciences Division, 'Teledyne Industries, Inc. , P. 1-16

Transformada de Hilbert.

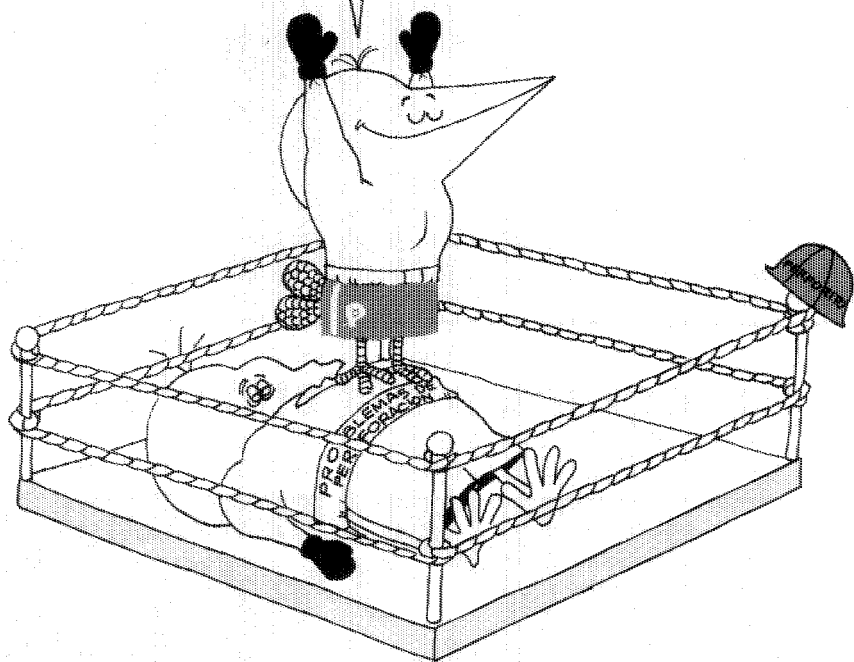
Bracewell, op. cit. , p. 267-272.

McCowan, op. cit. , p. c10-c12.

Relación entrada-salida.

Lanczos, C. , 1956, Applied analysis: Englewood Cliffs, N. J. ,
Prentice-Hall, Inc. , p. 255-262.

**¡TODO SE LO DEBO
A MI MANAGER Y A
FABRIMEX!**



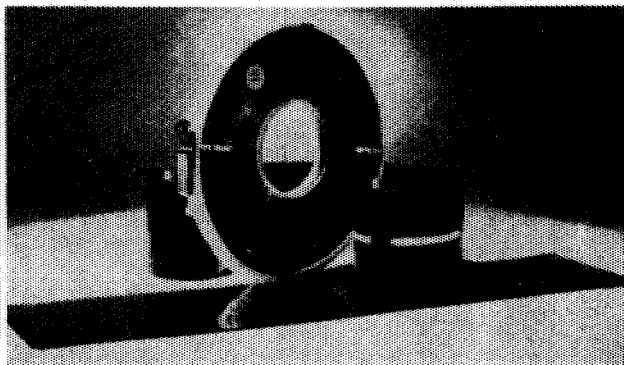
Usted también asegure su éxito.
Estamos para servirle.

FABRIMEX
S.A. DE C.V.

Fco. Novoa 105, México 14, D.F. Tel. 5-77-33-22

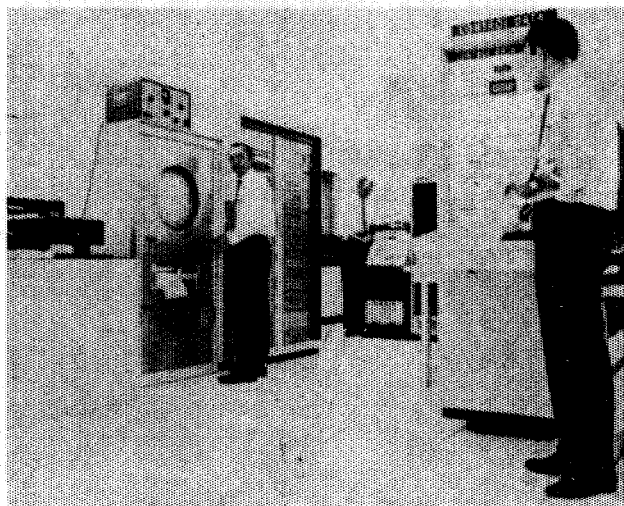
Petty procesa
cintas como estas

(Grabaciones Sismológicas,
analógicas o digitales hechas
por usted o por Petty)



en estas
computadoras

(El muy completo centro de
Proceso de Petty en San Antonio,
Texas, incluye un sistema de
Computación CDC, asociado con
equipo de conversión ADA, de
máxima capacidad sísmica
y un grupo experimentado de
programación Geofísica)



con

programas sofisticados

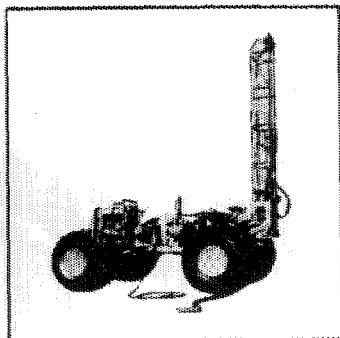
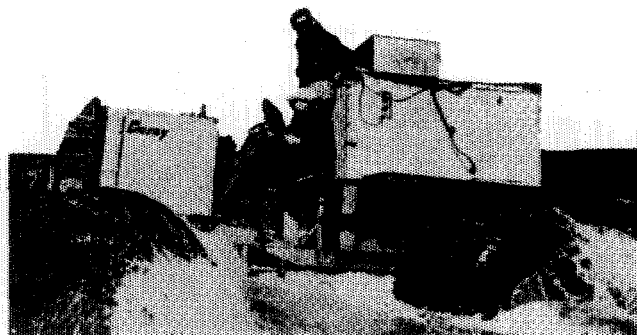
(Punto Común de Reflección,
apilamiento, deconvolución
de reverberación filtrado de
fase 0, etc.)

Para encontrar más aceite, lo
invitamos a usar los 40 años de
experiencia de Petty,
en Exploración Geofísica.



HOME OFFICE: TOWER LIFE BUILDING
SAN ANTONIO, TEXAS, U.S.A. — TEL: 512 CA 6-1393

PETTY GEOPHYSICAL ENGINEERING CO. DE MEXICO, S.A. DE C.V.
Av. Juárez 97 — Desp. 405-406 — Tel. 21-08-34 — Mexico 1, D.F.



LA UTILIDAD DEL TRANSPORTADOR FLOTANTE "CAREY"
EN ACCION EN EL AREA MAR DEL NORTE.

"TRANSPORTADOR FLOTANTE CAREY"

Considere estas ventajas cuando usted planee su próximo trabajo:

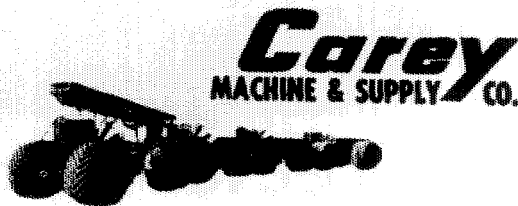
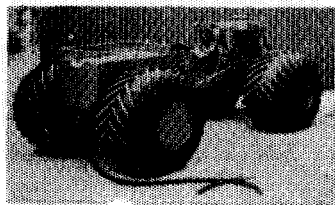
ROBUSTEZ.—Eje de Conducción Planetario (standard en todos los "transportadores flotantes" CAREY) elimina rompimientos del eje y diferencial.

SEGURIDAD.—Es fácilmente obtenible un servicio de campo completo y garantiza un máximo de eficiencia. Todos los "transportadores flotantes", utilizan máquina de encendido automático, dirección de poder, y en la parte trasera tiene un cabrestante o malacate. Es aprovechable para 24 hrs. de servicio.

VERSATILIDAD.—Los "transportadores flotantes" vienen equipados, con equipo de perforación, tanques de agua, cabina de instrumentos, soportes, y son completamente antibios para todas las operaciones. Dependiendo del terreno, son opcionales las llantas de tierra firme o llantas de agricultura.

Permita que CAREY trabaje con usted para sus diseños en áreas difíciles o pantanosas según sea su aplicación específica. Se puede tener rentado o comprado.

Llame o escriba a CAREY MACHINE & SUPPLY CO., 5810 South Rice Ave., Houston, Texas 77036. Teléfono 713 Mo 7-5695 o en México a Distribuidores Industriales. Lafragua No. 13-201, México 1, D. F., Tel. 35-24-07.



VEHICULO ANFIBIO CAREY
ROBUSTEZ - SEGURIDAD - ECONOMIA

REPRESENTANTES EN MEXICO:
DISTRIBUIDORES INDUSTRIALES, S. A.
Lafragua No. 13-201



**Vector
Fabrica Cables
para todo
uso en
Geofísica**

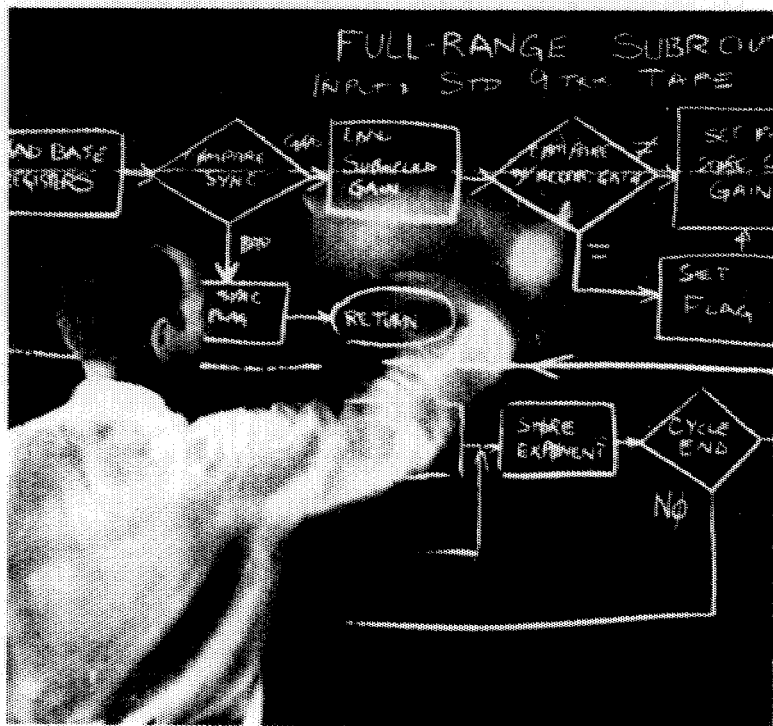
Vector Cable Company

5616 Lawndale
Houston, Texas
Phone — 713-926 8821
TWX — 713-571 1492

WESTERN

SIEMPRE *EN MARCHA*

desde la programación de rango completo producida por amplificadores de incremento binario, hasta los nuevos conceptos sobre orígenes sísmicos.



933 North La Brea Avenue • Los Angeles, California 90038, E.U.A.
820 North Market Street • Shreveport, Louisiana 71107, E.U.A.

WESTERN 
GEOGRAPHICAL
DIVISION OF LITTON INDUSTRIES

PERFORACIONES, S. A.

**CONTRATISTA DE PERFORACION
EXPLORATORIA DESDE 1950 PARA**

PETROLEOS MEXICANOS

SECRETARIA DE MARINA

CONSTRUCTORA MALTA, S. A.

NATIONAL SOIL SERVICES, CO.

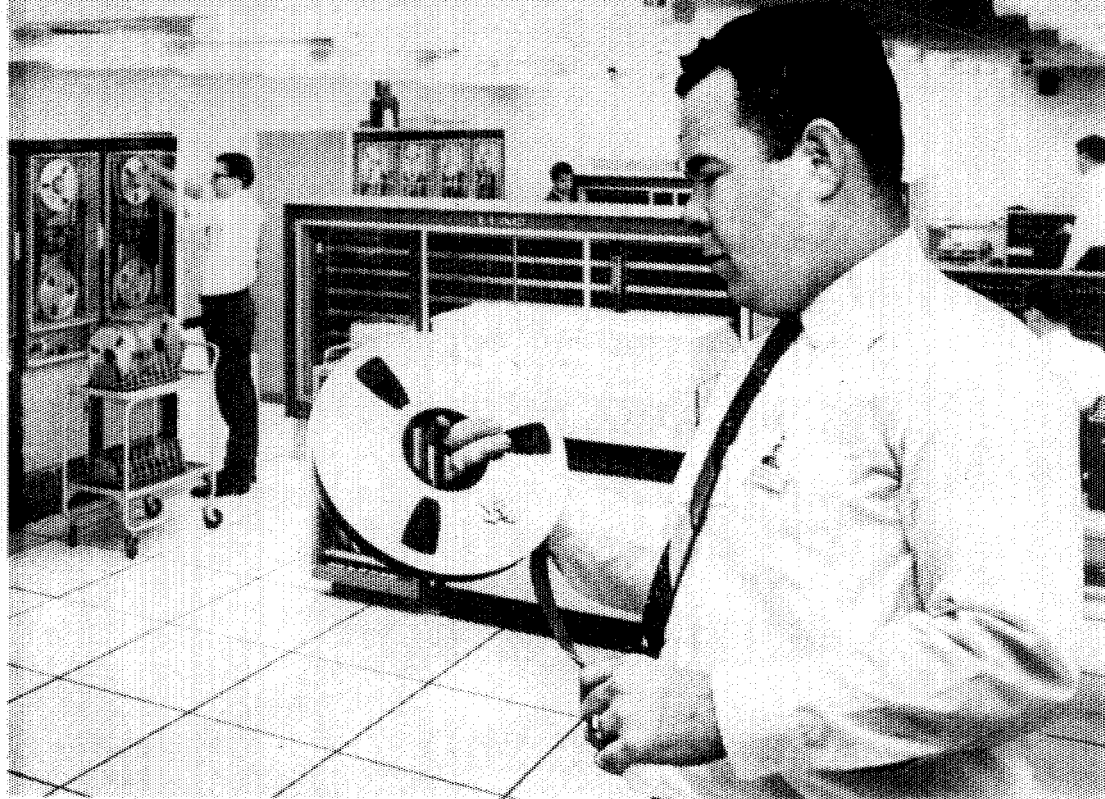
**CIA. FUNDIDORA DE FIERRO Y
ACERO DE MONTERREY, S. A.**

Y PARTICULARES

AVENIDA JUAREZ No. 119 - 5o. PISO

Teléfonos: 21-37-25 y 21-36-42

MEXICO 1, D. F.



Su trabajo: PRODUCCION SISMICA!

Procesos solicitados: PROGRAMAS AEN-0, DCN-1, DPG-0

La cinta que Carlos Bissell se prepara a montar en un centro GSI de procesamiento, contiene registros de una de las líneas principales de su levantamiento marino. La oficina de interpretación necesita una sección después de que los sismogramas han sido editados (eliminadas trazas ruidosas, cambio de polaridad, etc.), corregidos por desplazamiento horizontal, deconvueltos y reunidas las trazas de profundidad común. Usted tiene prisa por ver los resultados en el informe semanal. Ahora es el momento en que Carlos tiene que producir.

¿Qué le ayuda a Carlos a producir? Primero, él conoce su trabajo. Ha sido entrenado para ello y tiene más de cinco años de experiencia en producción sísmica. 12 meses de esta aquí mismo, en este centro. Segundo, trabaja con equipo digital de alta velocidad, probado en producción y específicamente diseñado para procesar datos sísmicos. Tercero, tiene a su mando una biblioteca completa de alta eficiencia, programas de producción para aprovechar la potencia elaboradora del TIAC. Sobre todo, él está respaldado por hombres de la mayor, experiencia digital en producción sísmica—

Programadores, geofísicos de área, sismólogos, investigadores y gerentes de operaciones.

Con todo este apoyo, Carlos tiene que producir. Es su levantamiento y Ud. quiere su información geofísica libre de ruido y múltiples, y deconvuelta.

GSI está entregando producción sísmica digital en todo el mundo. Carlos podría hacer este mismo trabajo al igual que otros en centros de procesamiento sísmica digital pertenecientes a GSI en Dallas, Nueva Orleans, Midland, Houston, Londres, Calgary y en otros que se abrirán próximamente.

GSI significa producción geofísica, sísmica digital o analógica, gravimetría, magnetometría, acumulación de datos de campo, procesamiento o interpretación.

Estamos obligados a ello. Es nuestro trabajo.

GSI

de Mexico S. A. de C. V.

AVENIDA JUAREZ 119, DESPACHO 42.

MEXICO CITY, 1, D. F.

