

# CONSULTORES Y CONTRATISTAS DE EXPLORACIONES GEOFISICAS

•

PETROLEO  
MINERALES  
AGUA SUBTERRANEA  
Y  
APLICACION A LA INGENIERIA CIVIL

•

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

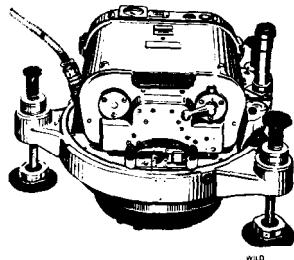
AV. JUAREZ 97 DESPACHO 302

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

MEXICO 1, D. F.

# COMPAÑIA MEXICANA AEROFOTO, S. A.

LOS SIGUIENTES ELEMENTOS RESPALDAN  
NUESTROS 31 AÑOS DE OPERACION.



#### EQUIPO DE RESTITUCION PARA PLANOS TOPOGRAFICOS:

- Autografo WILD A-7
- Autografo WILD A-8
- Autografo WILD A-9
  - Para fotografias granangulares y supergranangulares
- 4 Aviografos WILD B-8
- 3 Aparatos de Restitucion KELSH Multiplex con 8 proyectores

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

#### AVIONES DE ALTURA:

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

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

AVIONES DE MEDIANA ALTURA:  
Strato Helio, matrícula XB-YOI  
Beechcraft, matrícula XB-VIG  
Beechcraft, matrícula XB-RAU  
Cessna 190, matrícula XB-KUC

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

120 empleados especializados en los distintos aspectos de la fotogrametría

#### DIRECCION:

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

México 12, D. F.

Talleres de Aviación y Mangueras  
Lindero Sur, Aeropuerto Central  
Tels.: 22-22-58 y 22-29-64

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.

Tanto en  
Instrumentación  
como en  
Interpretación  
la compañía  
geofísica UNITED  
lleva la delantera  
en el Mundo al  
ofrecer los últimos  
adelantos en toda clase  
de servicios geofísicos.



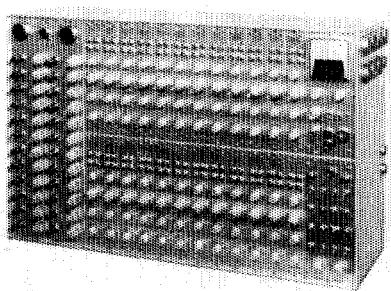
UNITED GEOPHYSICAL CORPORATION  
SEISMOGRAPH • GRAVIMETER • MAGNETOMETER

P.O. Box M-200 • Franklin Park • Pasadena, California  
Suite 1804 • Bunker Hill • Los Angeles • 3rd floor • 500 Travis St.  
Houston, Texas  
1908 LBJ Boulevard • Oklahoma City, Oklahoma  
1202 Pennsylvania • Dallas, Texas  
5900 E. 44th Street • Tulsa, Oklahoma  
1700 Broadway • 4th floor • Denver 2, Colorado  
345 Monongahela • 8th floor • Pittsburgh 24, Pennsylvania  
Suite B-104 • 14th Ave. S.W. • Calgary, Alberta, Canada  
P.O. Box 861 • Anchorage, Alaska

194 rue de Rivoli, Paris 1er, France  
Av. Pres. Vargas, 435, 19º andar, Rio de Janeiro, Brazil  
Casilla 26-D, Punta Arenas, Magallanes, Chile  
Apartado Interno 9, General Roca, Province of Rio Negro, Argentina  
P.O. Box 258, Tripoli, Libya  
Calle Triana No. 140, Las Palmas, Gran Canaria, Isles Canarias  
P.O. Box 289, Benin City, Nigeria  
P.O. Box 939 M, Brisbane, Australia  
Avda. Generalissimo, 53-59 Bis, Madrid 16, Spain

# INSTRUMENTAL GEOFISICO . . . . .

DA MEJOR  
RENDIMIENTO,  
MAYOR DURACION  
Y A UN COSTO MENOR



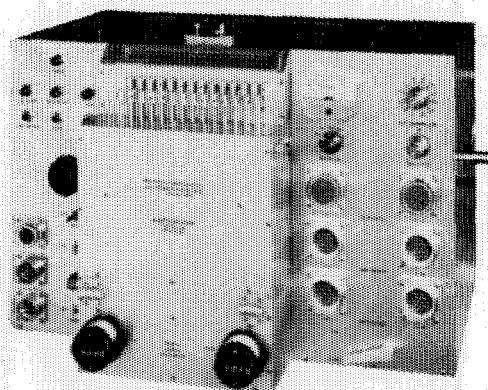
## FORTUNE T-1. SISTEMA DE AMPLIFICADORES SISMICOS TRANSISTORIZADOS PARA TRABAJOS DE REFLEXION Y REFRACCION.

**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 10 db a 0.5 microvoltios de entrada.

**POTENCIA REQUERIDA** — 2 amperes, a 120 voltios 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 trazas o más, empleando cintas normales de 8 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. Igualmente es posible obtener levas 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 tensión y grados o medidores ajustables (calibrados en su per ciente), es posible aplicar a cada traza la corrección dinámica adecuada.

### ESPECIFICACIONES DEL MODELO DC-2B.

Transportador de la cinta. Mediante bobinas, cuyo diámetro es de 7 1/2". Número de canales. 24 sismicos, 2 ó 4 auxiliares. Tamaño de la cinta. 8 1/2 ó 7" de ancho por 24 1/2" de largo. Distancia entre pistas. 1 1/4" (de centro a centro). Velocidad de la cinta. 3 5/8" /segundo. Tiempo útil de grabación. 6 seg. (el tambor da una vuelta completa en 6.6 seg.). Corrección dinámica máxima. 100 miliseg. Característica del motor. De histeresis de 400 ciclos. Acoplado al tambor. Corrección máxima. 700 miliseg/segundo. Rango de corrección estática. ± 50 miliseg. Polarización (bias). 8 miliamperes a 11 Kilohertz. Respuesta. De 5 a 200 cps. Relación de señal a ruido. 30 db RMS a RMS. Distorsión armónica total (a 100% el nivel de grabación). 2.5%. Alimentación cruzada (cross feed). --- 30 a 10 cps. Grado de exactitud del sistema de tiempo. ± 1 miliseg. Necesidades de entrada (a 100% el nivel de grabación). 50 milivolt a través de 40 ohms.\* Salida (a 100% el nivel de grabación). 100 microvoltos 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.



# GEOFISICOS CONSULTORES PARA PETROLEOS MEXICANOS



*Seismograph Service Corporation  
of Mexico*

AVE. JUAREZ 95 - 207 • MEXICO I, 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

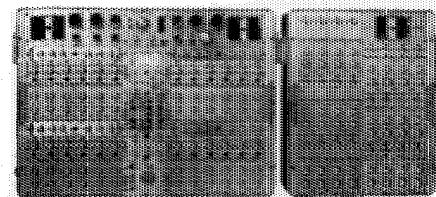
- Registros para Evaluación de Formaciones
- Registros de Pozos de Producción
- Servicio de Terminación Permanente
- Registro Continuo de Velocidad

# SIE entregará el sistema sísmico Número 1000 durante el año

Durante este año la SIE producirá y entregará el unmil sistema sísmico que ha fabricado desde que la compañía empezó a operar hace 18 años. Nadie sabe cuál sistema será el #1000 debido a que los records del pasado no están completos, por lo tanto es posible que el total ya haya pasado 1000 unidades.

Lo importante es que SIE se mantiene al frente en el ramo de instrumentos sísmicos. La calidad superior y la mejora continua del rendimiento de los instrumentos de la SIE ha sido gran influencia en el establecimiento de muchos de los conceptos que hoy día existen en instrumentos sísmicos. Entre los "primeros" de SIE, se encuentran:

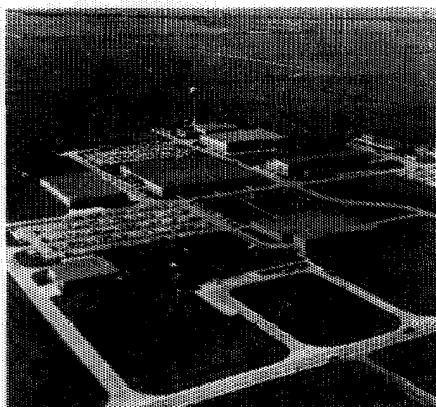
1. El sistema P-11, completamente portátil, integrable e independiente.
2. MR-4—el primer sistema de registro magnético FM (frecuencia modulada) aceptado por la industria.
3. PMR-6—el primer sistema portátil del registro magnético.
4. MS-12—el primer sistema para reducir datos sísmicos y procesar las cintas AM y FM.
5. PMR-20—el primer sistema portátil de registro magnético FM completamente transistorizado.
6. PT-100 con GCU-3—el primer sistema sísmico transistorizado, libre de distorsión, que incorpora medios para controlar el programa de ganancia.
7. TRO-6—la primera cámara registradora transistorizada capaz de proveer cinco tipos distintos de presentaciones, con un solo bosque de galvanómetros.



PT-100—sistema amplificador transistorizado libre de distorsión.

La Mayor parte de los geofisistas consideran los instrumentos sísmicos de SIE "el standard de la industria." La producción corriente de SIE incluye una línea completa de registradores y analizadores sísmicos, capaz de acoplar los mas vastos requisitos de exploración geofísica.

Investigaciones y desarrollo. En total, SIE ha invertido en investigaciones y desarrollo de instrumentos geofísicos desde el 1947 mas de dos millones de dólares. Actualmente hay 25 personas en el departamento de Ingeniería de SIE, las cuales representan 130 años total de experiencia en la compañía y 45 años total de experiencia en ingeniería geofísica.



CENTRO DE DRESSER ELECTRONICS EN LOS SUBURBIOS DE HOUSTON

Cuando quiera el mejor instrumento sísmico, ya sea de nuestra producción corriente, o de diseño especial para satisfacer cualquier problema especial, llame enseguida a la SIE, la compañía que ha establecido el "standard" desde hace 18 años. La dirección es DRESSER SIE, 10201 Westheimer Road (P. O. Box 36230), Houston 42, Texas. CABLE: SIECO HOUSTON. TELEX: 713 571 2412. Teléfonos: SUNset 2-2000, o directamente al Departamento de Geofísica SUNset 2-5749 (Ventos) y SUNset 2-2893 (Departamento de Servicio).

**G S I** DE MEXICO,  
S. A. DE C. V.

EXPLORACIONES  
GEOFISICAS

TECNOLOGIA  
DIGITAL  
APLICADA

Afiliados a:

**GEOPHYSICAL SERVICE  
INCORPORATED**

6000 Lemmon Avenue  
DALLAS, TEXAS 75228  
Tel. Fleetwood 7-5411

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

# **BOLETIN**

## **de la**

### **Asociación Mexicana de Geofísicos de Exploración**

---

#### **S U M A R I O**

Cálculo Matemático de Leyes de Velocidad. Método “Sigma” ( $\Sigma$ ) por la Srita. Ing. *Guadalupe Pérez Ruiz* e Ing. *Ernesto Elorduy Téllez*.

Una Aplicación Geofísica a la Ingeniería Civil, por el Ing. *G. Bello Orta*.

Cambio de Mesa Directiva para el período 1965-1966.

Resultados de la Votación.

Informe del Presidente saliente.

Informe de la Tesorería 1963-1964.

**Nuevos Socios.**

# ASOCIACION MEXICANA DE GEOFISICOS DE EXPLORACION

## MESA DIRECTIVA PARA EL PERIODO 1965-1966

Presidente: Alfonso Cornejo Toledo.

Vice-Presidente: Armando Eguía Huerta.

Vice-Presidente Especial: José Coffin Otero.

Secretario: Jorge Lázaro Nájera Villa.

Tesorero: Roberto Oñate Espinosa.

Vocal de Minas: Jorge Suárez Rodríguez.

Vocal de Petróleo: Antonio Cordero Limón.

Vocal de Ingeniería: Mariano Hernández Moedano.

Editor: Daniel Gutiérrez Gutiérrez.

Presidente Saliente: Guillermo Hernández Moedano.

---

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

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

---

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

ING. DANIEL GUTIERREZ GUTIERREZ

Av. Juárez No. 97, Despacho 302.

Teléfonos 18-41-41 y 12-58-70

México 1, D. F.

## CALCULO MATEMATICO DE LEYES DE VELOCIDAD.

### “METODO SIGMA” ( $\Sigma$ )

Por la Srita. Ing. GUADALUPE PEREZ RUIZ \* e  
Ing. ERNESTO ELORDUY TELLEZ \*

Agradeciendo la colaboración del Ing. SANTIAGO GUTIERREZ H.

#### *RESUMEN*

Se expone un método matemático práctico para determinar las leyes de velocidades, lineal, parabólica o cúbica, que correspondan a los datos obtenidos de las capas del subsuelo de pozos profundos.

Se le ha denominado “Método Sigma” ( $\Sigma$ ).

Se exponen los desarrollos matemáticos para obtención de ecuaciones inherentes a cada curva (lineal, parabólica o cúbica). Incluyendo ejemplos numéricos de aplicación práctica a cada caso, comparándolos con los métodos más usuales actualmente. Estos ejemplos van acompañados de su histograma de resultados.

#### *INTRODUCCION*

Es común en el campo de la ciencia tratar con gráficas que obedecen a leyes conocidas. La determinación de la ley que rige una gráfica determi-

---

\* Servicios Geofísicos. S. A. de C. V.

nada debe hacerse de una forma sencilla, rápida y que cumpla con la mayor exactitud posible.

Para el caso especial de la Exploración Petrolera es muy frecuente la necesidad de obtener leyes de velocidad a partir de los datos observados de un pozo profundo o de perfiles de velocidades. Para este fin los investigadores han desarrollado diversos métodos empíricos o matemáticos para obtener ecuaciones más o menos rápidamente, sacrificando la exactitud, otras más o menos exactas, pero muy laboriosas en su ejecución interviniendo el criterio del calculista en todos ellos.

El método "Sigma" admite tal tolerancia que si lo hacen varias personas por separado, siempre llegarán al mismo resultado.

Su aplicación es variada, pudiéndose usar en curvas de electricidad, datos de laboratorio, hidráulica, etc.

El concepto teórico del método es el siguiente:

De las hojas de cálculo de un pozo profundo se utilizan las columnas tiempo-profundidad referidas a un nivel dado o al nivel del mar ( $T_{gd}$  —  $D_{gd}$  ó  $T_{go}$  —  $D_{go}$ , respectivamente), existirá una curva que pase por la parte media de estos datos, o sea, que separe áreas aproximadamente iguales de uno y otro lado. Sumando estas áreas (positivas y negativas), el resultado deberá ser aproximadamente nulo, lo que significa, que la curva calculada seguirá la trayectoria observada, siendo esto de gran interés, pues se contará con un control más fiel a todo lo largo del tramo registrado. Este concepto es el mismo para todos los casos en que se aplique el método.

Pasaremos a exponer, a continuación, el desarrollo matemático del método "Sigma" aplicado a la ley lineal de velocidad.

## APLICACION DE LA LEY LINEAL

## *DESARROLLO DEL METODO*

En primer lugar se dividen los puntos observados ( $T$  y  $Z$ ) en dos partes, éstas pueden o no tener el mismo número de términos. Al primer grupo se le designará con la letra  $A$  ( $G = A$ ) y al segundo con  $B$  ( $G = B$ ). Como es sabido las coordenadas de estos puntos son ( $T, Z$ ), ahora bien, si la ley que rige a esa curva es lineal entonces cada punto debe satisfacer la ecuación:

$Z = \frac{V_o}{K} e^{-KT}$ , resultando las columnas siguientes:

$$Z_1 = (e^{KT_1} - 1) \frac{V_o}{K} \quad \dots \dots \quad Z_4 = (e^{KT_4} - 1) \frac{V_o}{K}$$

$$Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 = \sum_{a=1}^j Z_a =$$

$$= \frac{V_0}{K} [ e^{KT_1} + e^{KT_2} + e^{KT_3} + e^{KT_4} ]$$

$$Z_5 = (e^{-\frac{KT_5}{K}} - 1) \frac{V_o}{K} \quad \dots \quad Z_s = (e^{-\frac{KT_s}{K}} - 1) \frac{V_o}{K}$$

$$Z_s + Z_s + Z_s + Z_s = \sum_{b=1}^m Z_b =$$

$$= \frac{V_0}{K} [ e^{-KT_5} + e^{-KT_6} + e^{-KT_7} + e^{-KT_8} ]$$

Aplicando el principio de inducción, se tiene para el caso general ( $n$  términos) tanto para el grupo  $A$  como para el  $B$  que:

$$G = A \quad \sum_{a=1}^j Z_a = \sum_{a=1}^j (e^{-KT_a} - 1) \frac{V_o}{K} \quad \dots \dots \quad (1)$$

$$G = B \quad \sum_{b=1}^m Z_b = \sum_{b=1}^m (e^{-KT_b} - 1) \frac{V_o}{K} \quad \dots \dots \quad (2)$$

En donde  $j$  y  $m$  pueden ser:

$$j = m \text{ ó } j = -m$$

Despejando de (1) y (2),  $\frac{V_o}{K}$  e igualándolos se tiene:

$$\frac{\sum_{a=1}^j Z_a}{\sum_{a=1}^j (e^{-KT_a} - 1)} = \frac{\sum_{b=1}^m Z_b}{\sum_{b=1}^m (e^{-KT_b} - 1)} \quad \dots \dots \quad (3)$$

$$\frac{\sum_{a=1}^j Z_a}{\sum_{a=1}^j (e^{-KT_a} - \eta_a)} = \frac{\sum_{b=1}^m Z_b}{\sum_{b=1}^m (e^{-KT_b} - \eta_b)}$$

$$\frac{\sum_{a=1}^j Z_a}{\sum_{a=1}^j (e^{-KT_a} - \eta_b)} = \frac{\sum_{b=1}^m Z_b}{\sum_{b=1}^m (e^{-KT_b} - \eta_a)} \quad \dots \dots \quad (4)$$

$$\sum_{a=1}^j Z_a \frac{m}{b=1} K T_b = \eta_b \quad \sum_{a=1}^j Z_a = \sum_{b=1}^m Z_b \quad \sum_{a=1}^j \frac{m}{b=1} e = \eta_a \quad \sum_{b=1}^m Z_b$$

En la ecuación (4) la única incógnita existente es  $K$ . Para facilitar la resolución de esta ecuación, substituiremos

$$\sum_{b=1}^m e \quad \text{y} \quad \sum_{a=1}^j e$$

por sus series correspondientes. (Ver Apéndice A del artículo).

$$\begin{aligned} \sum_{a=1}^j K T_a &= \eta_a + K \sum_{a=1}^j T + K^2 \frac{\sum_{a=1}^j T^2}{2} + \\ &+ K^3 \frac{\sum_{a=1}^j T^3}{6} + K^4 \frac{\sum_{a=1}^j T^4}{24} + \dots \dots \quad (5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum_{b=1}^m K T_b &= \eta_b + K \sum_{b=1}^m T + K^2 \frac{\sum_{b=1}^m T^2}{2} + \\ &+ K^3 \frac{\sum_{b=1}^m T^3}{6} + K^4 \frac{\sum_{b=1}^m T^4}{24} + \dots \dots \quad (6) \end{aligned}$$

Substituyendo (5) y (6) en (4):

$$\begin{aligned}
 & \sum_{a=1}^j Z_a [\eta_b + K \sum_{b=1}^m T + K^2 \frac{\sum_{b=1}^m T^2}{2} + \\
 & + K^3 \frac{\sum_{b=1}^m T^3}{6} + K^4 \frac{\sum_{b=1}^m T^4}{24} - \eta_b] = \\
 & = \sum_{b=1}^m Z_b [\eta_a + K \sum_{a=1}^j T + K^2 \frac{\sum_{a=1}^j T^2}{2} + \\
 & + K^3 \frac{\sum_{a=1}^j T^3}{6} + K^4 \frac{\sum_{a=1}^j T^4}{24} - \eta_a] \dots \quad (7)
 \end{aligned}$$

Sacando como factor común  $K$  y pasándolo al 2º miembro, (7) queda en la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 & K^3 \left( \sum_{a=1}^j Z_a \frac{\sum_{b=1}^m T^4}{24} - \sum_{b=1}^m Z_b \frac{\sum_{a=1}^j T^4}{24} \right) + \\
 & + K^2 \left( \sum_{a=1}^j Z_a \frac{\sum_{b=1}^m T^3}{6} - \sum_{b=1}^m Z_b \frac{\sum_{a=1}^j T^3}{6} \right) +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + K \left( \sum_{a=1}^j Z_a \frac{\sum_{b=1}^m T^2}{2} - \sum_{b=1}^m Z_b \frac{\sum_{a=1}^j T^2}{2} \right) + \\
 & + \left( \sum_{a=1}^j Z_a \frac{\sum_{b=1}^m T}{b} - \sum_{b=1}^m Z_b \frac{\sum_{a=1}^j T}{a} \right) = 0 \dots \quad (7')
 \end{aligned}$$

Quedándonos una ecuación cúbica de la forma:

$$AK^3 + BK^2 + CK + D = 0 \dots \dots \dots \quad (8)$$

En donde:

$$\begin{aligned}
 A &= \left( \sum_{a=1}^j Z_a \frac{\sum_{b=1}^m T^4}{24} - \sum_{b=1}^m Z_b \frac{\sum_{a=1}^j T^4}{24} \right) \\
 B &= \left( \sum_{a=1}^j Z_a \frac{\sum_{b=1}^m T^3}{6} - \sum_{b=1}^m Z_b \frac{\sum_{a=1}^j T^3}{6} \right) \\
 C &= \left( \sum_{a=1}^j Z_a \frac{\sum_{b=1}^m T^2}{2} - \sum_{b=1}^m Z_b \frac{\sum_{a=1}^j T^2}{2} \right) \\
 D &= \left( \sum_{a=1}^j Z_a \frac{\sum_{b=1}^m T}{b} - \sum_{b=1}^m Z_b \frac{\sum_{a=1}^j T}{a} \right)
 \end{aligned}$$

$$D = \left( \sum_{a=1}^j Z_a \frac{\sum_{b=1}^m T}{b} - \sum_{b=1}^m Z_b \frac{\sum_{a=1}^j T}{a} \right)$$

La ecuación (8) se puede resolver por cualquiera de los métodos empleados para solución de cúbicas, siendo la raíz real el valor de  $K$ .

Por otra parte se tiene que:

$$\sum Z = \sum_{a=1}^m Z_a + \sum_{b=1}^m Z_b \quad \dots \dots \dots \quad (9)$$

Pero:

$$\sum_{a=1}^j Z_a = \frac{V_o}{K} [ \sum_{b=1}^m (e^{KT_a} - 1) ] \quad \dots \dots \dots \quad (\alpha)$$

$$\sum_{b=1}^m Z_b = \frac{V_o}{K} [ \sum_{b=1}^m (e^{KT_b} - 1) ] \quad \dots \dots \dots \quad (\beta)$$

$$\sum Z = \frac{V_o}{K} [ \sum (e^{KT} - 1) ] \quad \dots \dots \dots \quad (8)$$

La (9) queda en la forma siguiente:

$$\sum (e^{KT} - 1) = \sum_{a=1}^j (e^{KT_a} - 1) + \sum_{b=1}^m (e^{KT_b} - 1) \quad \dots \dots \dots \quad (10)$$

De la fórmula anterior se encuentra el valor de  $\sum (e^{KT} - 1)$  el cual substituyéndolo en (10) se puede despejar  $V_o$ .

$$V_o = \frac{K \sum Z}{\sum (e^{KT} - 1)} \quad \dots \dots \dots \quad (11)$$

A continuación se presentaran algunos ejemplos en donde se aplica este procedimiento, así como una comparación con otros métodos ya conocidos.

El procedimiento se muestra en la Tabla No. 1.

TABLE NO. 1

Los valores hallados en la Tabla se aplican a la fórmula (7'):

$$K^3 (19873.6 \times 0.010237 - 7013.6 \times 0.244761) + K^2 (19873.6 \times 0.084268 - 7013.6 \times 1.021515) + K (19873.6 \times 0.551984 - 7013.6 \times 3.266570) + (19873.6 \times 2.678 - 7013.6 \times 7.134) = 0$$

Desarrollando y simplificando nos queda:

$$- 1513.2097 K^3 - 5489.7891 K^2 - 11940.5061 K + 3186.4784 = 0$$

Dividiendo entre el coeficiente del término  $K^3$  queda:

$$- K^3 - 3.6279 K^2 + 7.8908 K + 2.1058 = 0$$

Por el método de Horner o división sintética. (Ver Apéndice B del artículo).

				K
— 1	— 3.6279	— 7.8908	+ 2.1058	
— 2.0000	— 11.2558	— 38.2932		2.00
— 1	— 5.6279	— 19.1466	=/= 0	
— 0.2000	— 0.7656	— 1.7313		0.20
— 1	— 3.8279	— 8.6564	— 0.3745	
— 0.2300	— 0.8873	— 2.0190		0.23
— 1	— 3.8579	— 8.7781	+ 0.0868	
— 0.2370	— 0.9160	— 2.0872		0.237
— 1	— 3.8649	— 8.8068	+ 0.0186	
— 0.2390	— 0.9242	— 2.1068		<u>0.239</u>
— 1	— 3.8669	— 8.8150	— 0.0010	
			Σ 0.0	

Según la fórmula (11)

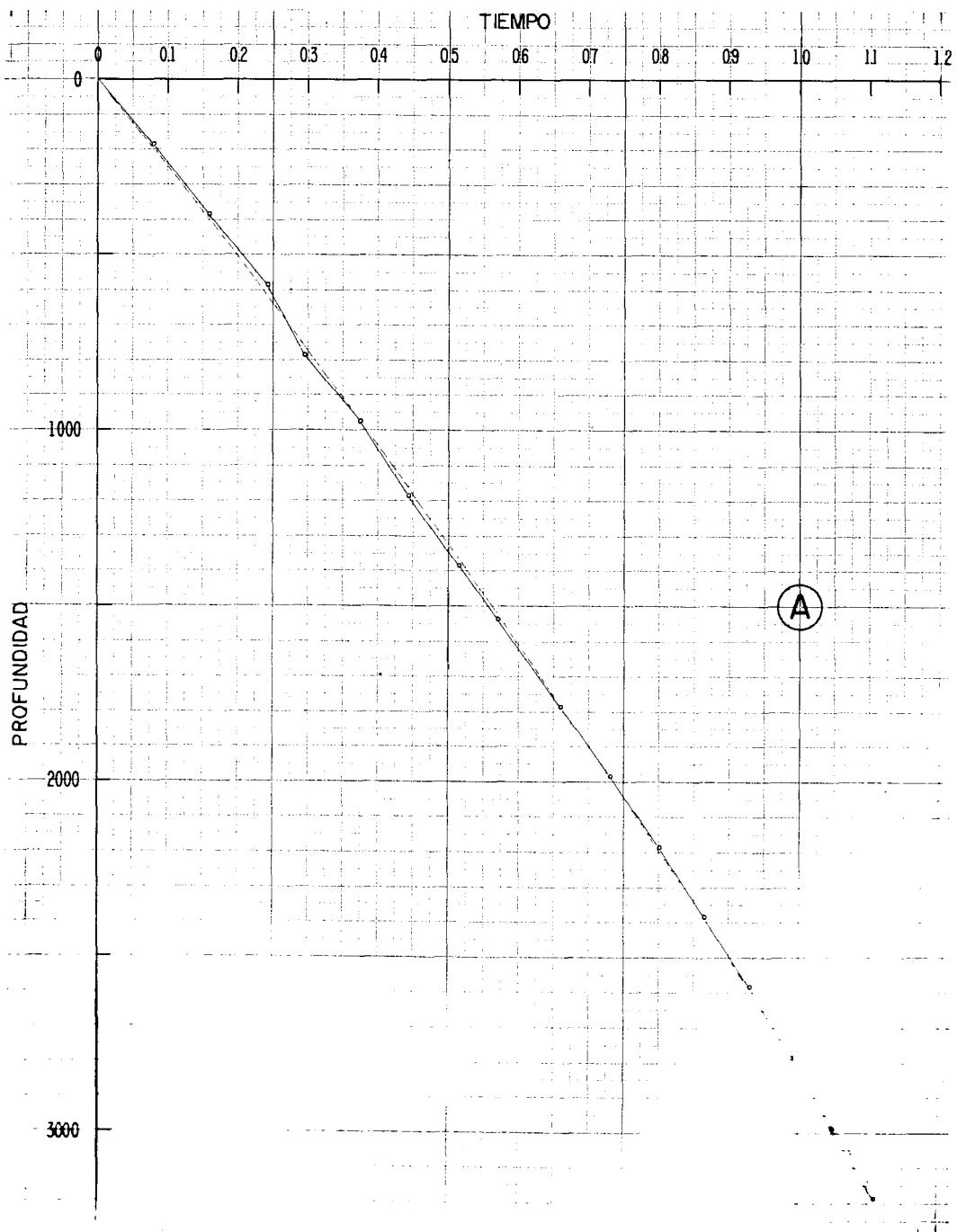
$$V_o = \frac{K \sum Z}{KT} = \frac{0.239 \times 26887.2}{2.5790} = 2492 \text{ m/s}$$

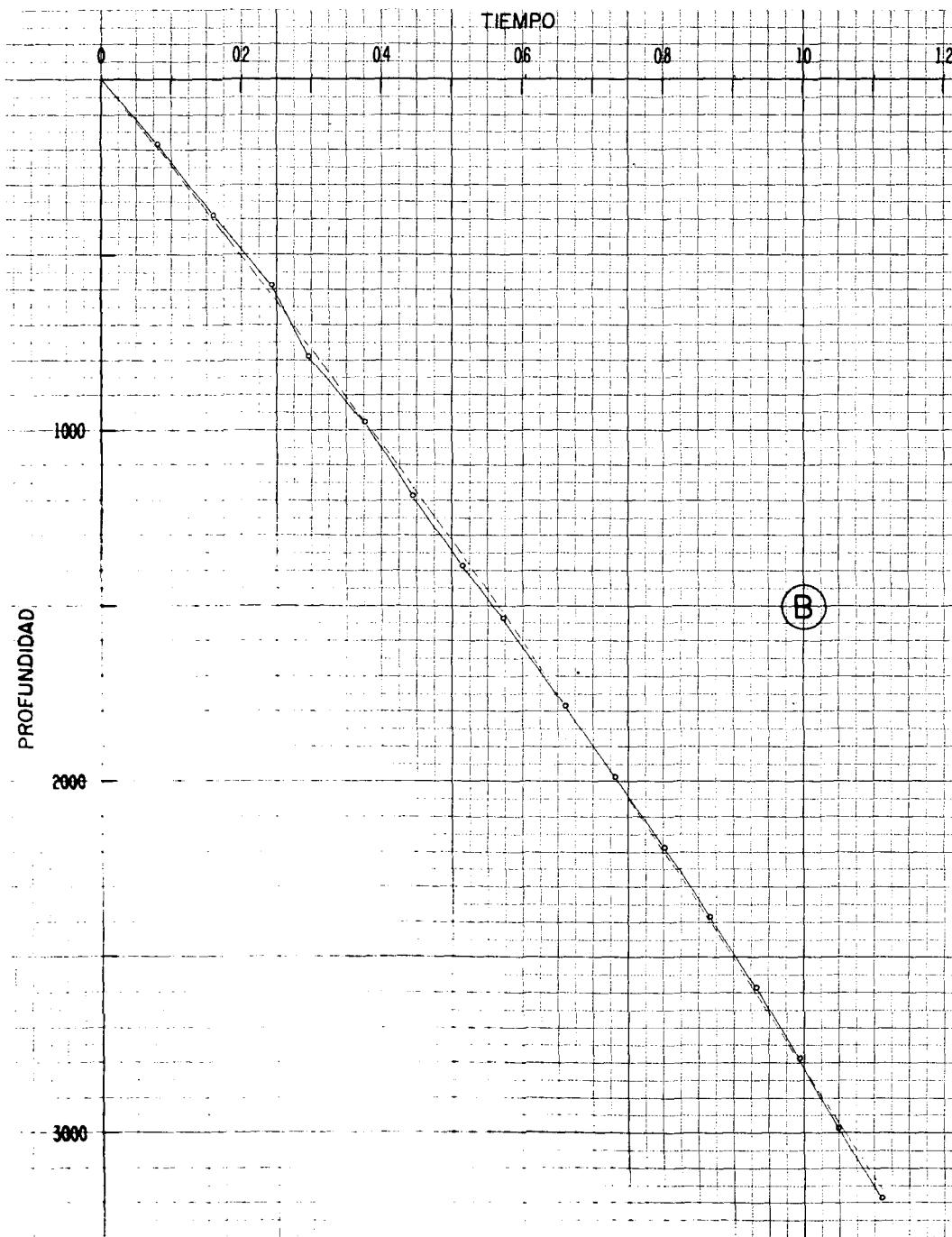
$$\frac{V_o}{K} = 10427$$

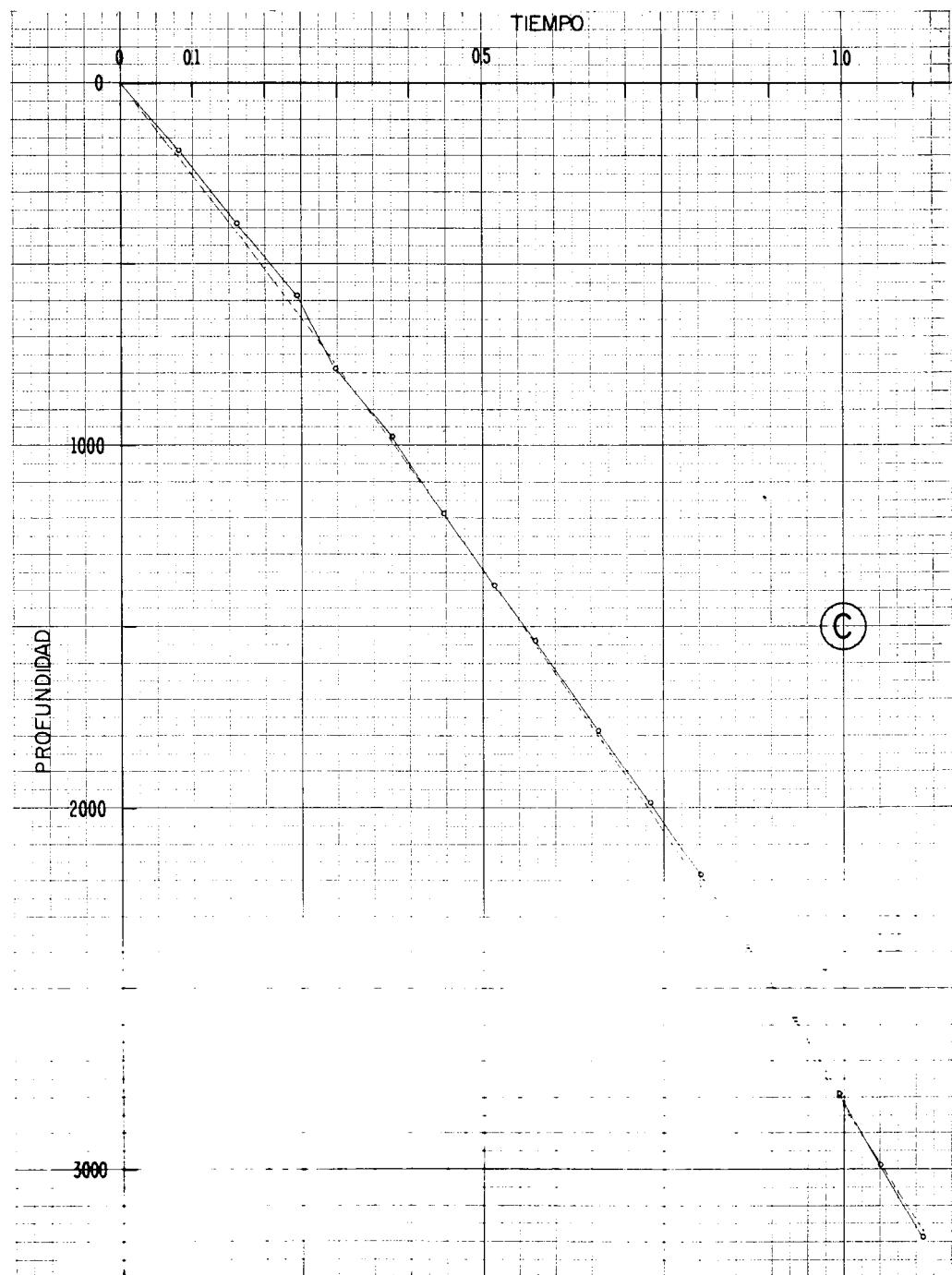
En las figuras Nos. 1 (A, B, C, D, E) y 2 (A, B, C, D, E) y en la figura 3, se pueden ver los resultados comparativos con respecto a otros métodos usuales.

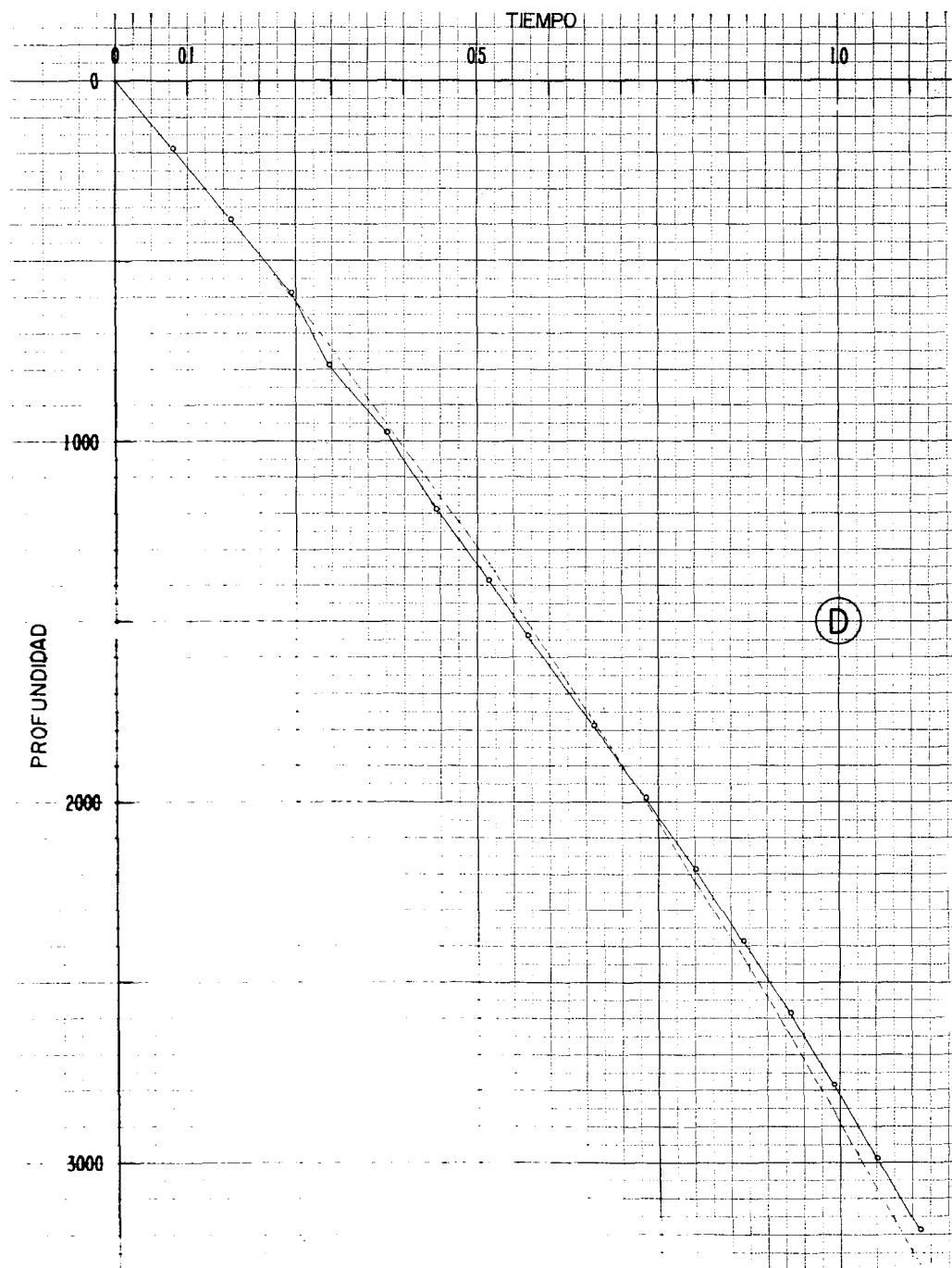
GRAFICAS COMPARATIVAS DE METODOS  
PARA DETERMINAR LA LEY LINEAL  
POZO EJEMPLO Nº 1

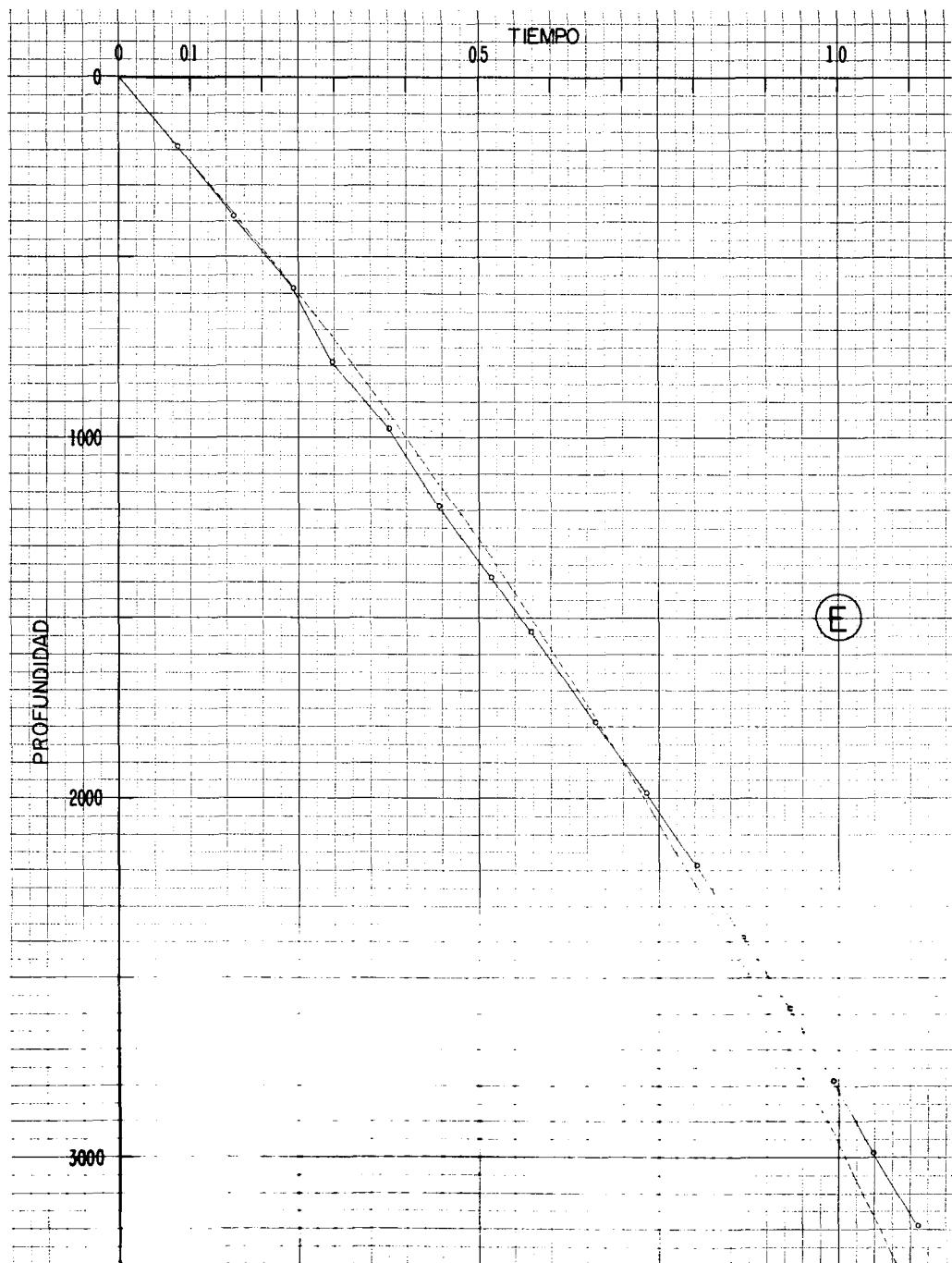
METODO	FUNCION CALCULADA
(A) SIGMAS ( $\Sigma$ )	$V_z = 2492 + 0.239 Z$
(B) MINIMOS CUADRADOS	$V_z = 2469 + 0.263 Z$
(C) MILLER	$V_z = 2550 + 0.205 Z$
(D) NOMOGRAMA UNIVERSAL	$V_z = 2343 + 0.410 Z$
(E) INCREMENTOS	$V_z = 2242 + 0.530 Z$





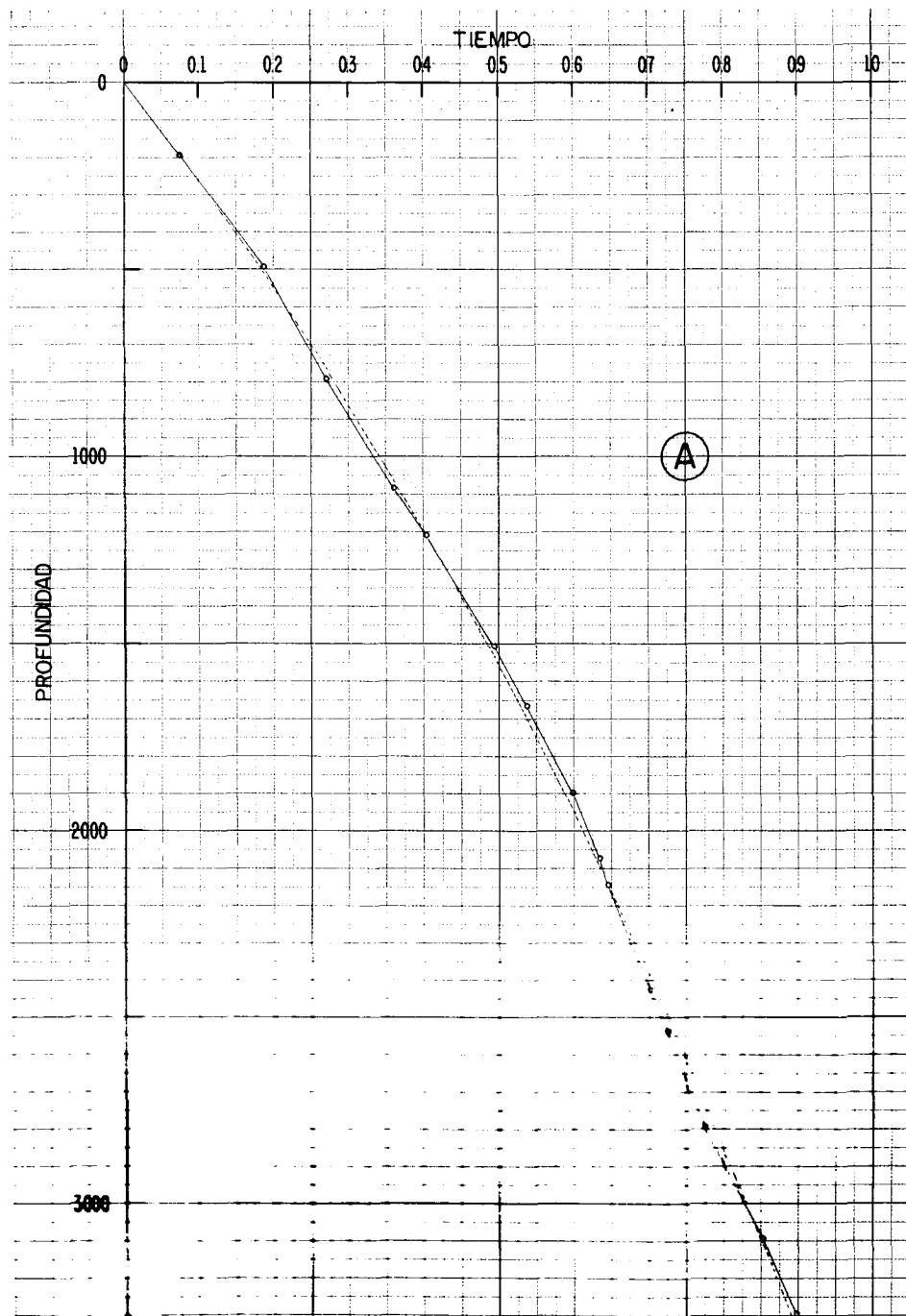


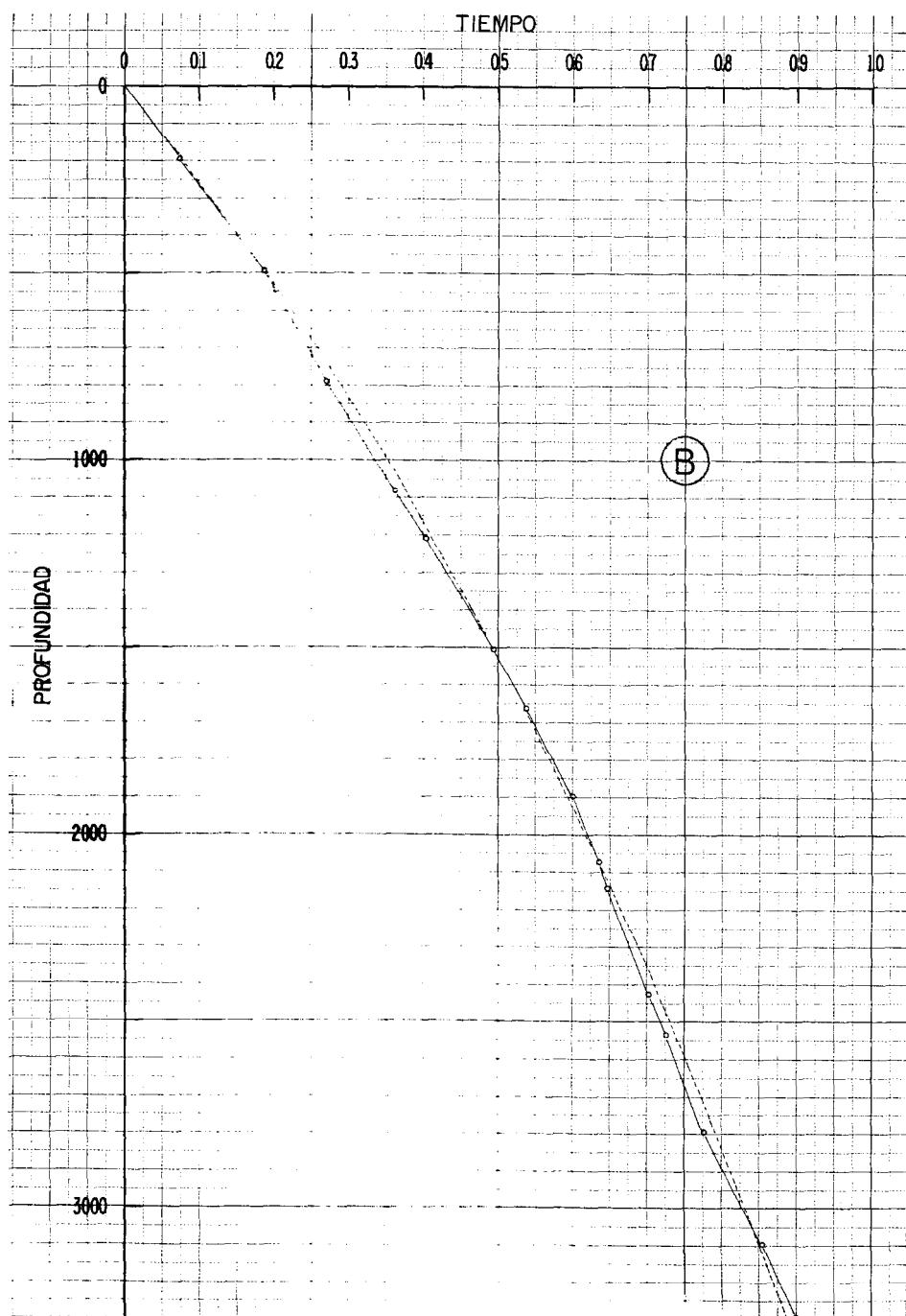


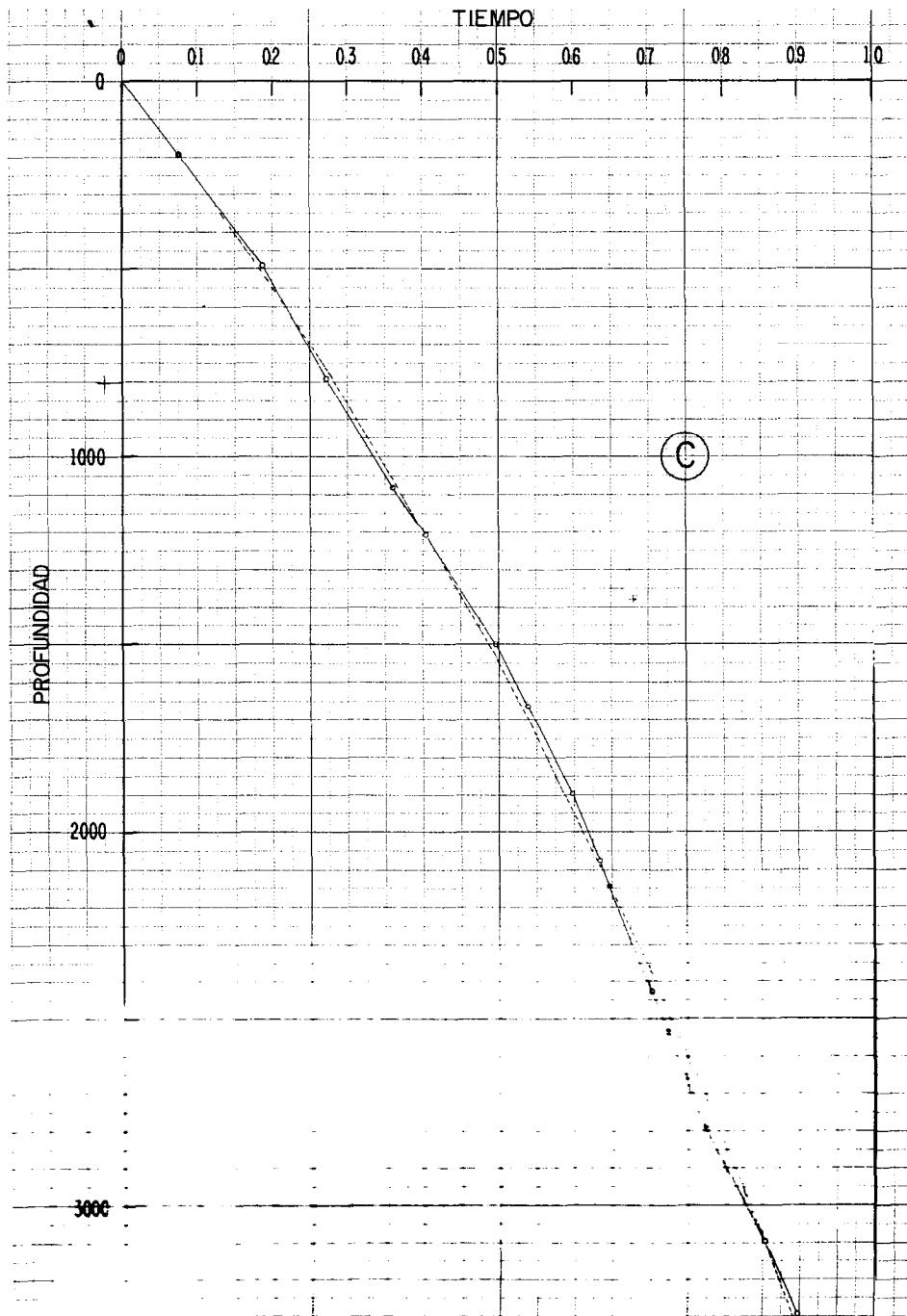


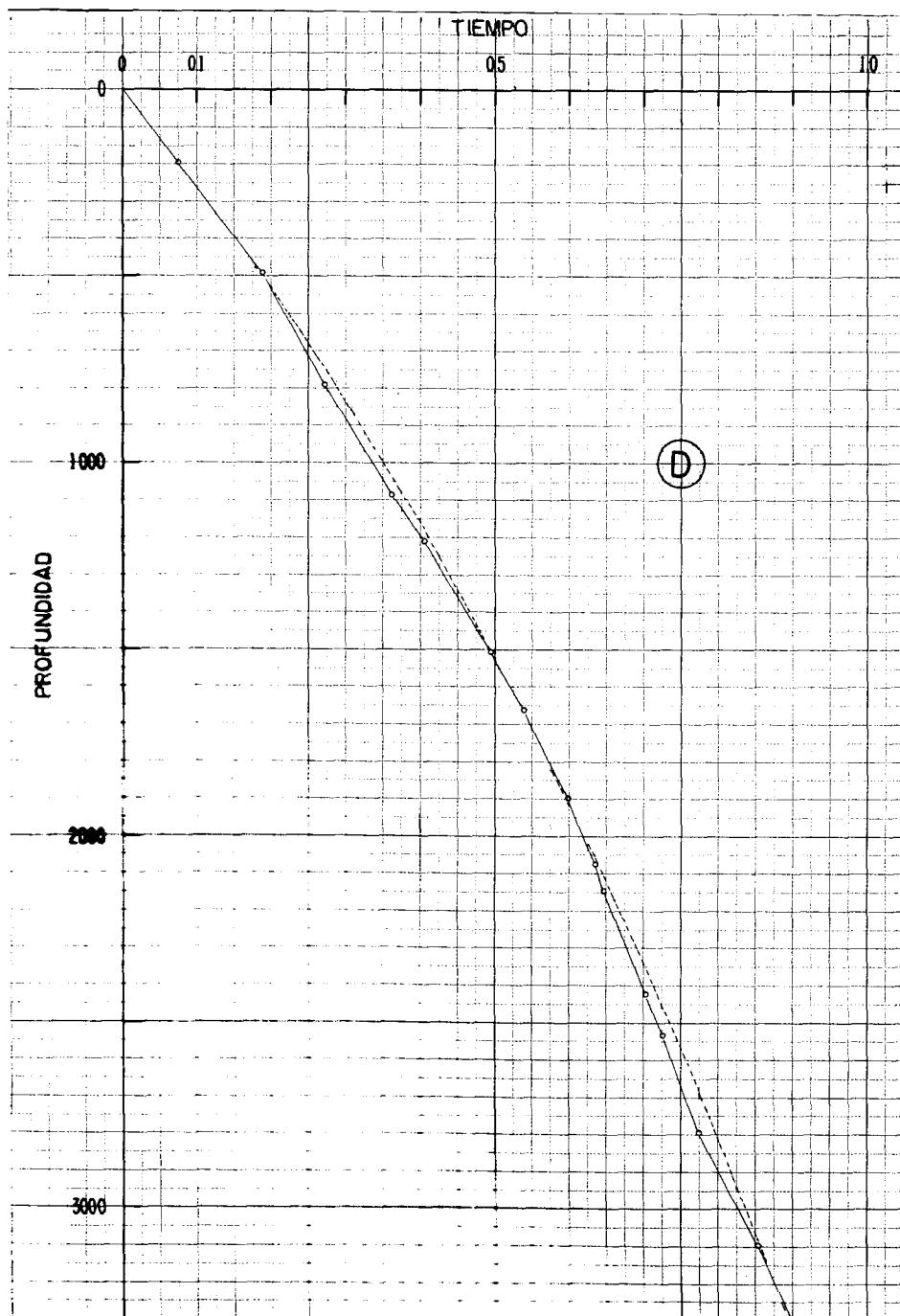
GRAFICAS COMPARATIVAS DE METODOS  
PARA DETERMINAR LA LEY LINEAL  
POZO EJEMPLO Nº 2

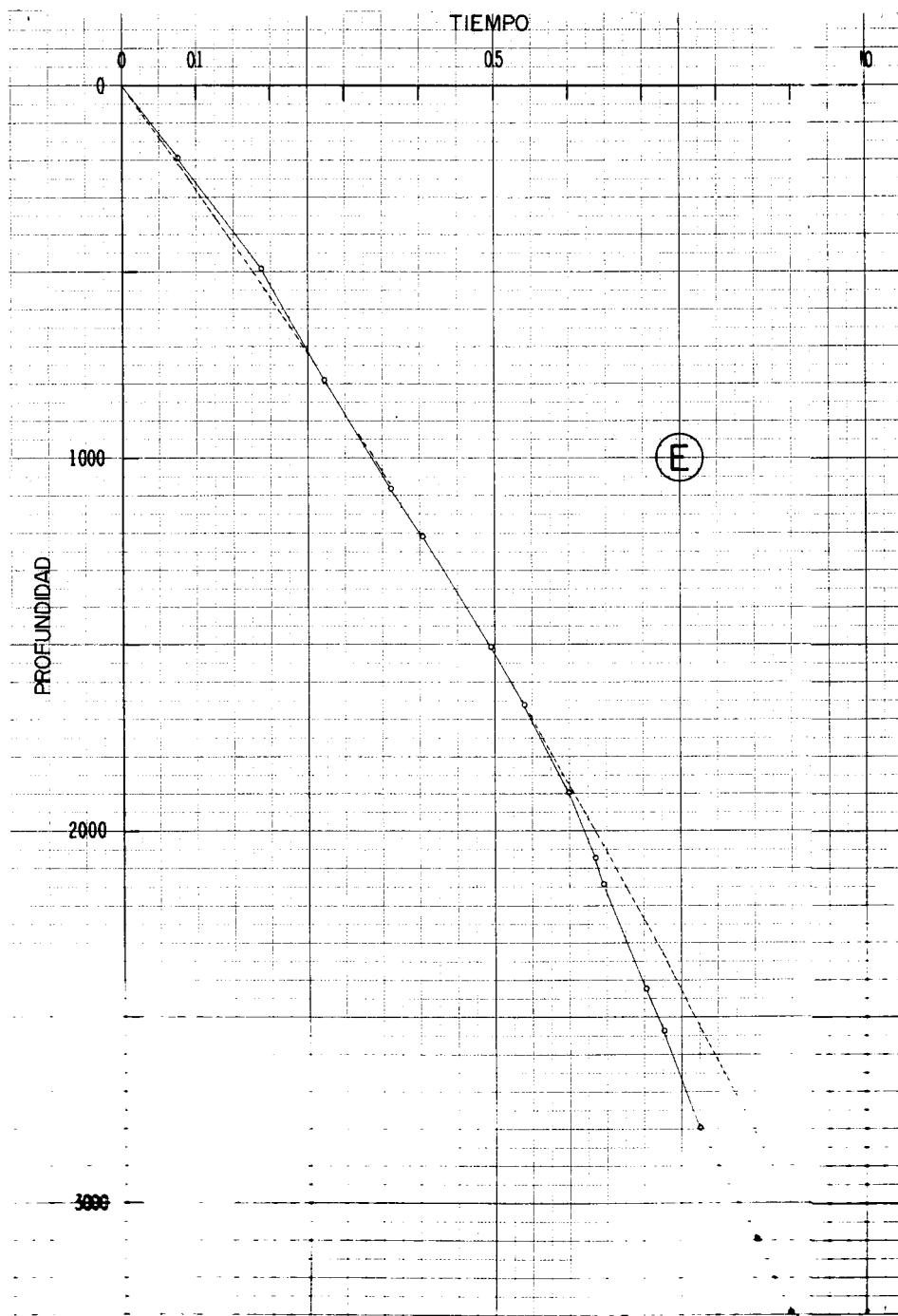
METODO	FUNCION CALCULADA
(A) SIGMAS ( $\Sigma$ )	$V_z = 2531 + 0.806 Z$
(B) MINIMOS CUADRADOS	$V_z = 2404 + 0.922 Z$
(C) MILLER	$V_z = 2536 + 0.792 Z$
(D) NOMOGRAMA UNIVERSAL	$V_z = 2433 + 0.870 Z$
(E) INCREMENTOS	$V_z = 2725 + 0.447 Z$







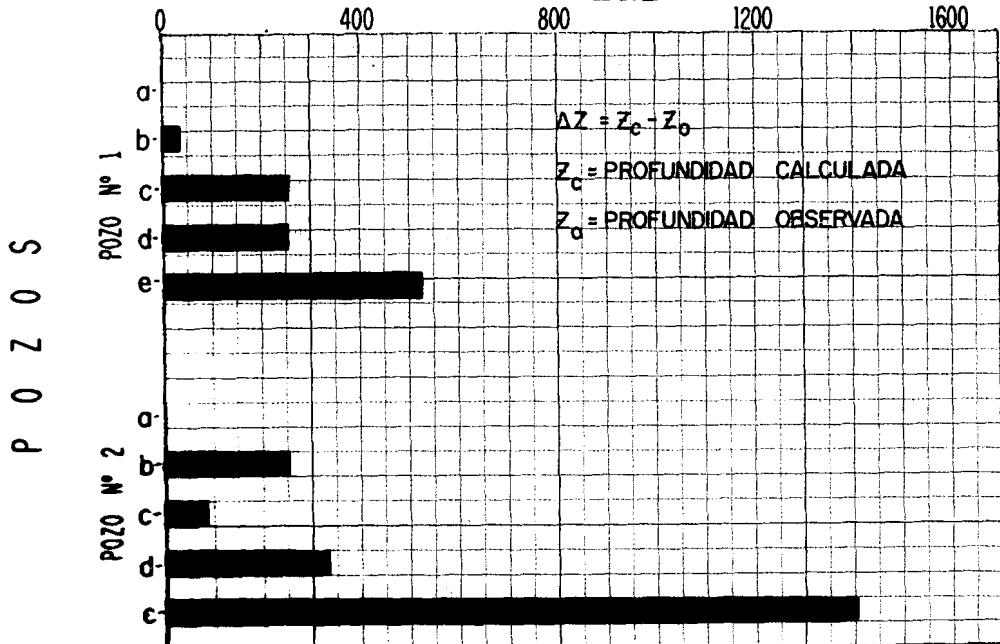




## HISTOGRAMA DE RESULTADOS

(COMPARACION DE 5 METODOS PARA  
EL CALCULO DE LA LEY LINEAL  $V_z = V_0 + kZ$ )

$\Sigma \Delta Z$  = APROXIMACION



	POZO N° 1	POZO N° 2	
LEYES	$\Sigma \Delta Z$	LEYES	$\Sigma \Delta Z$
a.- SIGMAS ( $\Sigma$ )	$V_z = 2492 + 0.239 Z$ - 0.7	$V_z = 2531 + 0.806 Z$ - 2.4	
b.- MINIMOS CUADRADOS	$V_z = 2469 + 0.263 Z$ + 36	$V_z = 2404 + 0.922 Z$ + 256	
c.- MILLER	$V_z = 2550 + 0.205 Z$ + 257	$V_z = 2536 + 0.792 Z$ - 86	
d.- NOMOGRAMA	$V_z = 2343 + 0.410 Z$ + 255	$V_z = 2433 + 0.870 Z$ - 434	
e.- INCREMENTOS	$V_z = 2242 + 0.530 Z$ + 529	$V_z = 2725 + 0.447 Z$ - 1405	

FIGURA 3

PARTE II.—APLICACION DEL METODO DE LAS SIGMAS “Σ” A LA  
 LEY LINEAL DE VELOCIDADES, RELACIONANDO  $T$ ,  $Z$  y  $V_m$   
 DE UN POZO PROFUNDO

Con las columnas  $T_{gd}$ ,  $D_{gd}$ ,  $V_m$  observadas en un pozo profundo, se forman dos grupos  $G\cdot A$ ,  $G\cdot B$ , en donde  $A$  y  $B$  pueden o no tener el mismo número de elementos.

El desarrollo matemático para encontrar las fórmulas aplicables a este caso es el siguiente:

$$V_z = V_o + K Z \quad Z = \frac{V_o}{K} \left( e^{\frac{KT}{K}} - 1 \right)$$

$$V_m = \frac{V_o}{KT} \left( e^{\frac{KT}{KT}} - 1 \right)$$

Para el  $G \cdot A$  vamos a tener:

$$V_{m_1} = \frac{V_o}{K} \left( \frac{e^{\frac{KT_1}{K}} - 1}{T_1} \right)$$

$$V_{m_2} = \frac{V_o}{K} \left( \frac{e^{\frac{KT_2}{K}} - 1}{T_2} \right)$$

$$V_{m_3} = \frac{V_o}{K} \left( \frac{e^{\frac{KT_3}{K}} - 1}{T_3} \right)$$

$$V_{mj} = \frac{V_o}{K} \cdot \frac{\frac{KT_j}{(e^{\frac{KT_j}{T_j}} - 1)}}{T_j}$$


---

$$\sum_{a=1}^j V_{ma} = \frac{V_o}{K} \cdot \sum_{a=1}^j \frac{\frac{KT_a}{(e^{\frac{KT_a}{T_a}} - 1)}}{T_a} \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

Para el grupo  $G \cdot B$  tenemos:

$$\sum_{b=1}^m V_{mb} = \frac{V_o}{K} \cdot \sum_{b=1}^m \frac{\frac{KT_b}{(e^{\frac{KT_b}{T_b}} - 1)}}{T_b} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

Despejando en (1) y (2)  $\frac{V_o}{K}$  e igualándolos tenemos:

$$\begin{aligned} \frac{\sum_{a=1}^j V_{ma}}{\sum_{a=1}^j \frac{(e^{\frac{KT_a}{T_a}} - 1)}{T_a}} &= \frac{\sum_{b=1}^m V_{mb}}{\sum_{b=1}^m \frac{(e^{\frac{KT_b}{T_b}} - 1)}{T_b}} \\ \sum_{a=1}^j \frac{m}{b=1} \frac{\frac{KT_b}{(e^{\frac{KT_b}{T_b}} - 1)}}{T_b} &= \sum_{b=1}^m \frac{m}{a=1} \frac{\frac{KT_a}{(e^{\frac{KT_a}{T_a}} - 1)}}{T_a} \quad \dots \dots \dots \quad (3) \end{aligned}$$

Para facilitar los cálculos se substituyen

$$\sum_{b=1}^m \frac{\frac{KT_b}{(e^{\frac{KT_b}{T_b}} - 1)}}{T_b} \quad \sqrt{\sum_{a=1}^j \frac{\frac{KT_a}{(e^{\frac{KT_a}{T_a}} - 1)}}{T_a}}$$

por sus series correspondientes:

$$\frac{X}{e} = 1 + X + \frac{X^2}{2} + \frac{X^3}{6} + \frac{X^4}{24}$$

$$\text{Si } X = KT$$

$$\frac{KT}{e} = 1 + KT + \frac{K^2 T^2}{2} + \frac{K^3 T^3}{6} + \frac{K^4 T^4}{24}$$

De donde:

$$\sum_{a=1}^j \frac{(e - 1)}{T_a} = N_a K + K^2 \sum_{a=1}^j \frac{T_a}{2} + K^3 \sum_{a=1}^j \frac{T_a^2}{6} + K^4 \sum_{a=1}^j \frac{T_a^3}{24} \dots \dots \quad (4)$$

$$\sum_{b=1}^m \frac{(e - 1)}{T_b} = N_b K + K^2 \sum_{b=1}^m \frac{T_b}{2} + K^3 \sum_{b=1}^m \frac{T_b^2}{6} + K^4 \sum_{b=1}^m \frac{T_b^3}{24} \dots \dots \quad (5)$$

Substituyendo (4) y (5) en (3), tenemos:

$$\begin{aligned} \sum_{a=1}^j V_{ma} [N_b K + K^2 \sum_{b=1}^m \frac{T_b}{2} + K^3 \sum_{b=1}^m \frac{T_b^2}{6} + \\ + K^4 \sum_{b=1}^m \frac{T_b^3}{24}] = \sum_{b=1}^m V_{mb} [N_a K + K^2 \sum_{a=1}^j \frac{T_a}{2} + \\ + K^3 \sum_{a=1}^j \frac{T_a^2}{6} + K^4 \sum_{a=1}^j \frac{T_a^3}{24}] \end{aligned}$$

Factorizando y dividiendo entre  $K$  nos queda:

$$\begin{aligned}
 & K^3 \left[ \sum_{a=1}^j V_{ma} \sum_{b=1}^m \frac{T_b^3}{24} - \sum_{b=1}^m V_{mb} \sum_{a=1}^j \frac{T_a^3}{24} \right] + \\
 & + K^2 \left[ \sum_{a=1}^j V_{ma} \sum_{b=1}^m \frac{T_b^2}{6} - \sum_{b=1}^m V_{mb} \sum_{a=1}^j \frac{T_a^2}{6} \right] + \\
 & + K \left[ \sum_{a=1}^j V_{ma} \sum_{b=1}^m \frac{T_b}{2} - \sum_{b=1}^m V_{mb} \sum_{a=1}^j \frac{T_a}{2} \right] + \\
 & + [N_b \sum_{a=1}^j V_{ma} - N_a \sum_{b=1}^m V_{mb}] = 0 \quad \dots\dots (3')
 \end{aligned}$$

La ecuación (3') es una cúbica de la forma:

$$AK^3 + BK^2 + CK + D = 0 \quad \dots\dots (6)$$

En donde:

$$\begin{aligned}
 A &= \sum_{a=1}^j V_{ma} \sum_{b=1}^m \frac{T_b^3}{24} - \sum_{b=1}^m V_{mb} \sum_{a=1}^j \frac{T_a^3}{24} \\
 B &= \sum_{a=1}^j V_{ma} \sum_{b=1}^m \frac{T_b^2}{6} - \sum_{b=1}^m V_{mb} \sum_{a=1}^j \frac{T_a^2}{6} \\
 C &= \sum_{a=1}^j V_{ma} \sum_{b=1}^m \frac{T_b}{2} - \sum_{b=1}^m V_{mb} \sum_{a=1}^j \frac{T_a}{2} \\
 D &= N_b \sum_{a=1}^j V_{ma} - N_a \sum_{b=1}^m V_{mb}
 \end{aligned}$$

Existen varios métodos para resolver la ecuación (6) siendo el más rápido y sencillo el de la división sintética o método de Horner, en donde la primera raíz real de dicha ecuación será el valor de  $K$ .

Por otra parte se tiene que:

$$\sum Z = \sum_{a=1}^j Z_a + \sum_{b=1}^m Z_b \quad \dots \dots \quad (7)$$

Pero:

$$\sum_{a=1}^j Z_a = \frac{V_o}{K} - \sum_{a=1}^j (e^{-T_a} - 1) \quad \dots \dots \quad (I)$$

$$\sum_{b=1}^m Z_b = \frac{V_o}{K} - \sum_{b=1}^m (e^{-T_b} - 1) \quad \dots \dots \quad (II)$$

Por lo que:

$$\sum Z = \frac{V_o}{K} - \sum (e^{-T} - 1) \quad \dots \dots \quad (III)$$

$$\therefore \sum (e^{-T} - 1) = \sum_{a=1}^j (e^{-T_a} - 1) + \sum_{b=1}^m (e^{-T_b} - 1)$$

De la ecuación anterior se obtiene el valor de  $\sum (e^{-T} - 1)$  ∵ de (III) se despeja  $T$ , quedando:

$$T = \frac{K \sum Z}{\sum (e^{-T} - 1)}$$

Pudiéndose aplicar también:

$$V_o = K \frac{\sum_{a=1}^j V_{ma}}{\sum_{a=1}^j \frac{(e^{KT_a} - 1)}{T_a}}$$

o también:

$$V_o = \frac{\sum_{a=1}^j V_{ma}}{V_a + K \sum_{a=1}^j \frac{T_a}{2} + K^2 \sum_{a=1}^j \frac{T_a^2}{6} + K^3 \sum_{a=1}^j \frac{T_a^3}{24}}$$

Calculados los valores de  $K$  y  $V_o$  se procede a graficar tanto los puntos observados como la ley calculada.

### APLICACION DEL METODO DE LAS SIGMAS “Σ” A LA LEY PARABOLICA

$$V_z = (V_o^2 + K Z)^{1/2}$$

$$V_z = \frac{dz}{dt} ; \quad dz = I_z dt \quad dt = \frac{dz}{V_z} = \frac{dz}{(V_o^2 + K Z)^{1/2}}$$

Llamando  $V_o^2 = a$  :  $K = b$  se tiene:

$$dt = \frac{dz}{(a + b Z)^{1/2}} \quad ; \quad \int dt = \int (a + b Z)^{-1/2} dz$$

$$\int dt = -\frac{1}{b} \cdot \frac{1}{1/2} (a + b Z)^{1/2} + C \quad \dots \dots \quad (1)$$

Condiciones iniciales  $t = 0 \quad Z = 0$

$$\therefore 0 = \frac{2}{K} V_o + C \quad \therefore C = -\frac{2 V_o}{K} \quad \dots \dots \quad (2)$$

$$\frac{\frac{K T}{2} + V_o}{2} = (V_o^2 + K Z)^{1/2}$$

$$(\frac{\frac{K T}{2} + V_o}{2})^2 = V_o^2 + K Z \quad \therefore$$

$$Z = -\frac{K T^2}{4} + T V_o = T (\frac{K T}{4} + V_o) \quad \dots \dots \quad (3)$$

En donde:

$Z$  = Profundidad

$T$  = Tiempo vertical

$K$  = Constante

$V_o$  = Velocidad inicial

Con las columnas  $T_{gd}$  y  $D_{gd}$  ó  $T_{go}$  y  $D_{go}$  observadas en un pozo profundo, se forman dos grupos  $G-A$ ;  $G-B$ ; en donde  $A$  y  $B$  pueden o no tener el mismo número de elementos.

Despejando de (3)  $V_o$  se tiene:

$$\frac{Z}{T} - \frac{K T}{4} = V_o \quad \dots \dots \dots \quad (3')$$

Si los puntos observados están sobre una curva parabólica, entonces cada uno de ellos deberá satisfacer la ecuación anterior, o sea que para cada punto se va a tener lo siguiente:

$$V_o = \frac{Z_1}{T_1} - \frac{K T_1}{4}$$

$$V_o = \frac{Z_2}{T_2} - \frac{K T_2}{4}$$

.....

$$V_o = \frac{Z_j}{T_j} - \frac{K T_j}{4}$$

$$N_a V_o = \sum_{a=1}^j \frac{Z_a}{T_a} - K \sum_{a=1}^j \frac{T_a}{4} \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

En donde  $N_a$  es el número de sumandos en el  $G - A$ .

$$\therefore V_o = \frac{1}{N_a} \left[ \sum_{a=1}^j \frac{Z_a}{T_a} - K \sum_{a=1}^j \frac{T_a}{4} \right] \quad \dots \dots \dots \quad (4')$$

Para el  $G - B$  se va a tener una ecuación similar a la (4')

$$V_o = \frac{1}{N_b} \left[ \sum_{b=1}^m \frac{Z_b}{T_b} - K \sum_{b=1}^m \frac{T_b}{4} \right] \quad \dots \dots \dots \quad (5)$$

En donde  $N_b$  es el número de sumandos en el  $G - B$ .

Igualando (4) y (5) se tiene:

$$\frac{1}{N_a} \left[ \sum_{a=1}^j \frac{Z_a}{T_a} + K \sum_{a=1}^j \frac{T_a}{4} \right] = \frac{1}{N_b} \left[ \sum_{b=1}^m \frac{Z_b}{T_b} + K \sum_{b=1}^m \frac{T_b}{4} \right]$$

Factorizando:

$$K \left[ N_a \sum_{b=1}^m \frac{T_b}{4} - N_p \sum_{a=1}^j \frac{T_a}{4} \right] = N_a \sum_{b=1}^m \frac{Z_b}{T_b} - N_b \sum_{a=1}^j \frac{Z_a}{T_a}$$

$$\frac{N_a N_b}{N_a N_b} = \frac{N_a N_b}{N_a N_b}$$

Despejando  $K$  queda:

$$K = \frac{N_a \sum_{b=1}^m \frac{Z_b}{T_b} - N_b \sum_{a=1}^j \frac{Z_a}{T_a}}{N_a \sum_{b=1}^m \frac{T_b}{4} - N_b \sum_{a=1}^j \frac{T_a}{4}} \quad \dots \dots \quad (6)$$

$$K = \frac{4 \left[ N_a \sum_{b=1}^m \frac{Z_b}{T_b} - N_b \sum_{a=1}^j \frac{Z_a}{T_a} \right]}{N_a \sum_{b=1}^m T_b - N_b \sum_{a=1}^j T_a} \quad \dots \dots \quad (7)$$

Para el caso particular en que  $N_b = N_a$ ,  $K$  queda reducida en la ecuación (7) a la forma:

En donde  $N_b$  es el número de sumandos en el  $G - B$ .

Igualando (4') y (5) se tiene:

$$\frac{1}{N_a} \left[ \sum_{a=1}^j \frac{Z_a}{T_a} - K \sum_{a=1}^j \frac{T_a}{4} \right] = \frac{1}{N_b} \left[ \sum_{b=1}^m \frac{Z_b}{T_b} - K \sum_{b=1}^m \frac{T_b}{4} \right]$$

Factorizando:

$$\frac{K \left[ N_a \sum_{b=1}^m \frac{T_b}{4} - N_b \sum_{a=1}^j \frac{T_a}{4} \right]}{N_a N_b} = \frac{N_a \sum_{b=1}^m \frac{Z_b}{T_b} - N_b \sum_{a=1}^j \frac{Z_a}{T_a}}{N_a N_b}$$

Despejando  $K$  queda:

$$K = \frac{N_a \sum_{b=1}^m \frac{Z_b}{T_b} - N_b \sum_{a=1}^j \frac{Z_a}{T_a}}{N_a \sum_{b=1}^m \frac{T_b}{4} - N_b \sum_{a=1}^j \frac{T_a}{4}} \quad \dots \dots \quad (6)$$

$$K = \frac{1 \left[ N_a \sum_{b=1}^m \frac{Z_b}{T_b} - N_b \sum_{a=1}^j \frac{Z_a}{T_a} \right]}{N_a \sum_{b=1}^m \frac{m}{T_b} - N_b \sum_{a=1}^j \frac{j}{T_a}} \quad \dots \dots \quad (7)$$

Para el caso particular en que  $N_b = N_a$ ,  $K$  queda reducida en la ecuación (7) a la forma:

$$K = \frac{4 \left[ \sum_{b=1}^m \frac{Z_b}{T_b} - \sum_{a=1}^j \frac{Z_a}{T_a} \right]}{\sum_{b=1}^m T_b - \sum_{a=1}^j T_a} \quad \dots \dots (7')$$

Obtenido el valor de  $K$ , éste se substituye ya sea en la ecuación (4) o en la (5) quedándonos:

$$V_o = \frac{1}{N_b} \left[ \sum_{b=1}^m \frac{Z_b}{T_b} - \frac{K}{4} \sum_{b=1}^m T_b \right]$$

Ya con los valores de  $K$  y  $V_o$ , se procede a tabular la ley parabólica resultante, e inmediatamente después, se grafican tanto los puntos observados, como los calculados.

### POZO EJEMPLO No. 3.

#### CALCULOS NUMERICOS

$t$	$Z$	$Z/t$
0.126	44	349.20
0.239	210	878.66
0.322	331	1027.95
0.414	551	1234.29
0.532	795	1494.36
0.607	1075	1771.00
2.240	2966	6755.46

<i>t</i>	<i>Z</i>	<i>Z/t</i>
0.680	1320	1941.17
0.740	1570	2121.62
0.796	1854	2329.15
0.852	2114	2481.22
0.934	2542	2721.63
0.978	2771	2833.33
—	—	—
4.980	12171	11428.12

$$K = \frac{4 [14428.12 - 6755.46]}{4.980 - 2.240}$$

$$K = \frac{4 \times 7672.66}{2.740} = \frac{30690.64}{2.740}$$

$$K = 11201 \quad \frac{K}{4} = 2800.3$$

$$V_o = \frac{1}{6} [14428.12 - 2800.3 \times 4.980]$$

$$V_o = \frac{1}{6} [14428.12 - 13945.45]$$

$$V_o = \frac{482.63}{6} = 80.3$$

$$Z = t (\frac{K \cdot t}{4} + V_o) = \frac{K \cdot t^2}{4} + V_o \cdot t$$

$Z_o$	$t$	$t^2$	$tV_o$	$\frac{K}{4}t^2$	$Z_c$	$Z_c - Z_o$
44	0.126	0.0159	10	45	55	+ 11
210	0.239	0.0571	19	160	179	- 31
331	0.322	0.1037	26	290	316	- 15
511	0.414	0.1714	33	480	513	+ 2
795	0.532	0.2830	43	792	835	+ 40
1075	0.607	0.3684	49	1032	1081	+ 6
<hr/>						
1320	0.680	0.4624	55	1295	1350	+ 29
1570	0.740	0.5476	59	1533	1592	+ 23
1854	0.796	0.6336	64	1774	1838	- 16
2114	0.852	0.7259	68	2033	2101	- 13
2542	0.934	0.8724	75	2443	2518	- 25
2771	0.978	0.9565	79	2678	2757	- 14

 $\Sigma = - 114$  $\Sigma = + 111$  $- 3$ 

La gráfica No. 1 ilustra el resultado comparativamente con la aplicación del método "sigma" a la ley lineal.

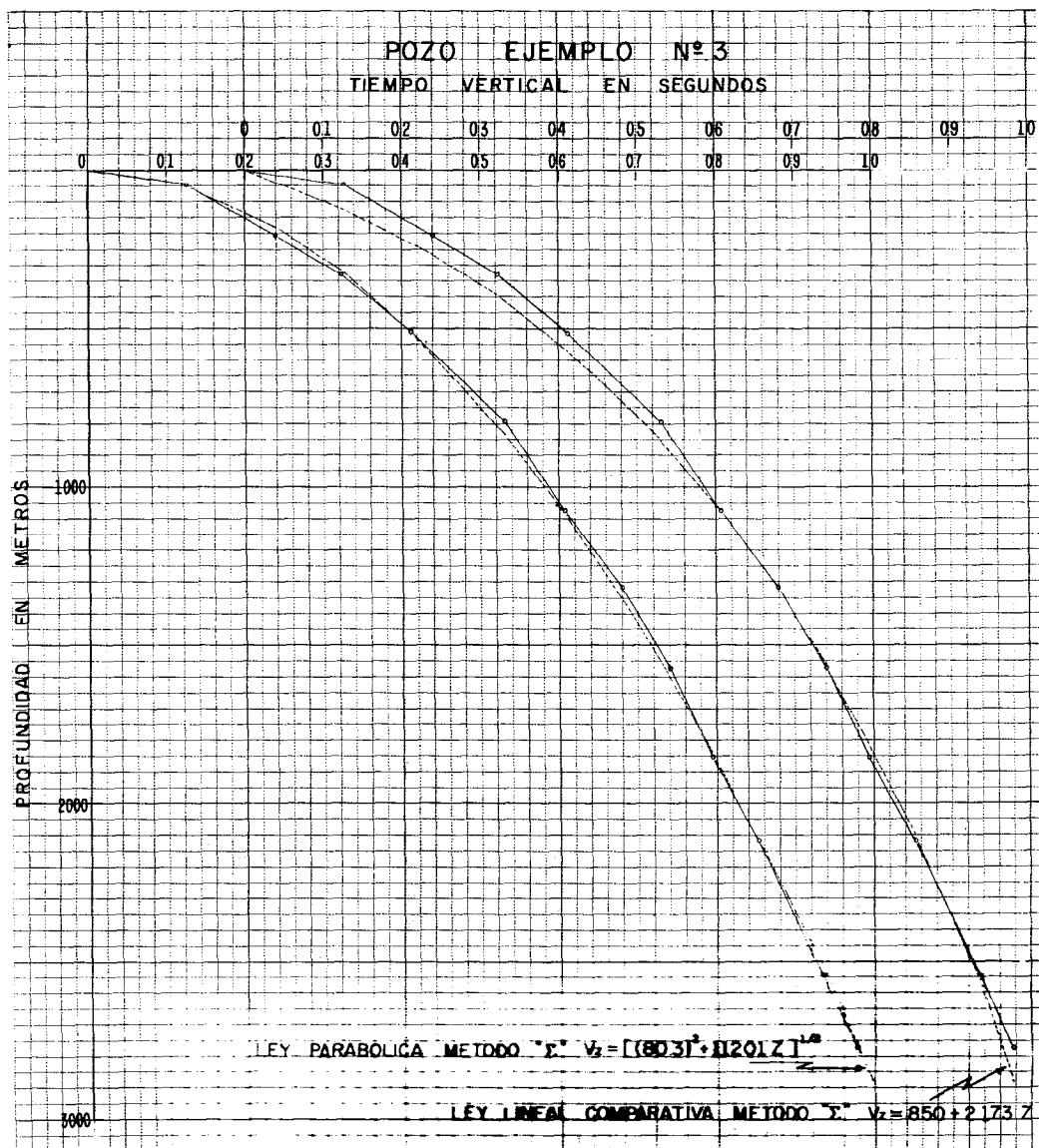


FIGURA No. 4

APLICACION DEL METODO DE LAS SIGMAS “ $\Sigma$ ” A LA LEY  
CUBICA DE UN POZO PROFUNDO

De los datos observados del pozo  $T_{gd}$  y  $D_{gd}$  ó  $T_{go}$  y  $D_{go}$ , se forman tres grupos denominándolos  $A$ ,  $B$  y  $C$  respectivamente. El número de términos de  $A$ ,  $B$  y  $C$  pueden o no ser iguales.

$$Z = \alpha T_o + \beta T^2_o + 8 T^3_o \quad \dots \dots \quad (1)$$

∴ Para el primer grupo vamos a tener:

$$Z_1 = \alpha T_1 + \beta T^2_1 + 8 T^3_1$$

$$Z_2 = \alpha T_2 + \beta T^2_2 + 8 T^3_2$$

.....

$$Z_j = \alpha T_j + \beta T^2_j + 8 T^3_j$$


---

$$\sum_{a=1}^j Z_a = \alpha \sum_{a=1}^j T_a + \beta \sum_{a=1}^j T^2_a + 8 \sum_{a=1}^j T^3_a \quad \dots \dots \quad (2)$$

Similarmente tendremos para el grupo B:

$$\sum_{b=1}^m Z_b = \alpha \sum_{b=1}^m T_b + \beta \sum_{b=1}^m T^2_b + 8 \sum_{b=1}^m T^3_b \quad \dots \dots \quad (3)$$

Para el  $G - C$  se tiene:

$$\sum_{c=1}^n Z_c = \alpha \sum_{c=1}^n T_c + \beta \sum_{c=1}^n T^2_c + 8 \sum_{c=1}^n T^3_c \quad \dots \dots \quad (4)$$

Para encontrar los parámetros  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $8$  haremos simultáneas las ecuaciones (2), (3) y (4); teniendo en cuenta que el denominador común  $\Delta$  es:

$$\Delta = \begin{vmatrix} \sum_{a=1}^j T_a & \sum_{a=1}^j T_a^2 & \sum_{a=1}^j T_a^3 \\ \sum_{b=1}^m T_b & \sum_{b=1}^m T_b^2 & \sum_{b=1}^m T_b^3 \\ \sum_{c=1}^n T_c & \sum_{c=1}^n T_c^2 & \sum_{c=1}^n T_c^3 \end{vmatrix}$$

$$\alpha = \frac{\begin{vmatrix} \sum_{a=1}^j Z_a & \sum_{a=1}^j T_a^2 & \sum_{a=1}^j T_a^3 \\ \sum_{b=1}^m Z_b & \sum_{b=1}^m T_b^2 & \sum_{b=1}^m T_b^3 \\ \sum_{c=1}^n Z_c & \sum_{c=1}^n T_c^2 & \sum_{c=1}^n T_c^3 \end{vmatrix}}{\Delta}$$

$$\beta = \frac{\begin{vmatrix} \sum_{a=1}^j T_a & \sum_{a=1}^j Z_a & \sum_{a=1}^j T_a^3 \\ \sum_{b=1}^m T_b & \sum_{b=1}^m Z_b & \sum_{b=1}^m T_b^3 \\ \sum_{c=1}^n T_c & \sum_{c=1}^n Z_c & \sum_{c=1}^n T_c^3 \end{vmatrix}}{\Delta}$$

$$8 = \frac{\begin{vmatrix} j & \sum_{a=1}^j T_a & \sum_{a=1}^j T^2_a & \sum_{a=1}^j Z_a \\ m & \sum_{b=1}^m T_b & \sum_{b=1}^m T^2_b & \sum_{b=1}^m Z_b \\ n & \sum_{c=1}^n T_c & \sum_{c=1}^n T^2_c & \sum_{c=1}^n Z_c \end{vmatrix}}{\Delta}$$

Calculando  $\alpha$ ,  $\beta$ , y  $\gamma$  se substituye en:

$$Z = \alpha T_o + \beta T^2_o + \gamma T^3_o \quad \dots \dots \dots (1)$$

En donde  $T_o$  es tiempo de reflejo y  $T_1$  tiempo vertical

$T_o = 2T_1$  substituyendo en (1) se tiene:

$$Z = 2 \alpha T_1 + 4 \beta T^2_1 + 8 \gamma T^3_1 \quad \dots \dots \dots (5)$$

Por otra parte:

$$V_z = \frac{dZ}{dT_o} \quad \text{Derivando (5)}$$

$$\frac{dZ}{dT_1} = V_z = 2 \alpha + 8 \beta T_1 + 24 \gamma T^2_1 \quad \dots \dots \dots (6)$$

Poniendo la ecuación (6) en función de  $T_o$  nos queda:

$$V_z = 2 \alpha + 4 \beta T_o + 6 \gamma T^2_o \quad \dots \dots \dots (7)$$

Se substituyen los valores de  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  en (7) encontrándose así la ley cúbica del pozo profundo.

A continuación se pone un ejemplo numérico aplicado a un pozo profundo.

En la figura No. 5 se muestra el resultado obtenido y se compara con la ley lineal usando el mismo método.

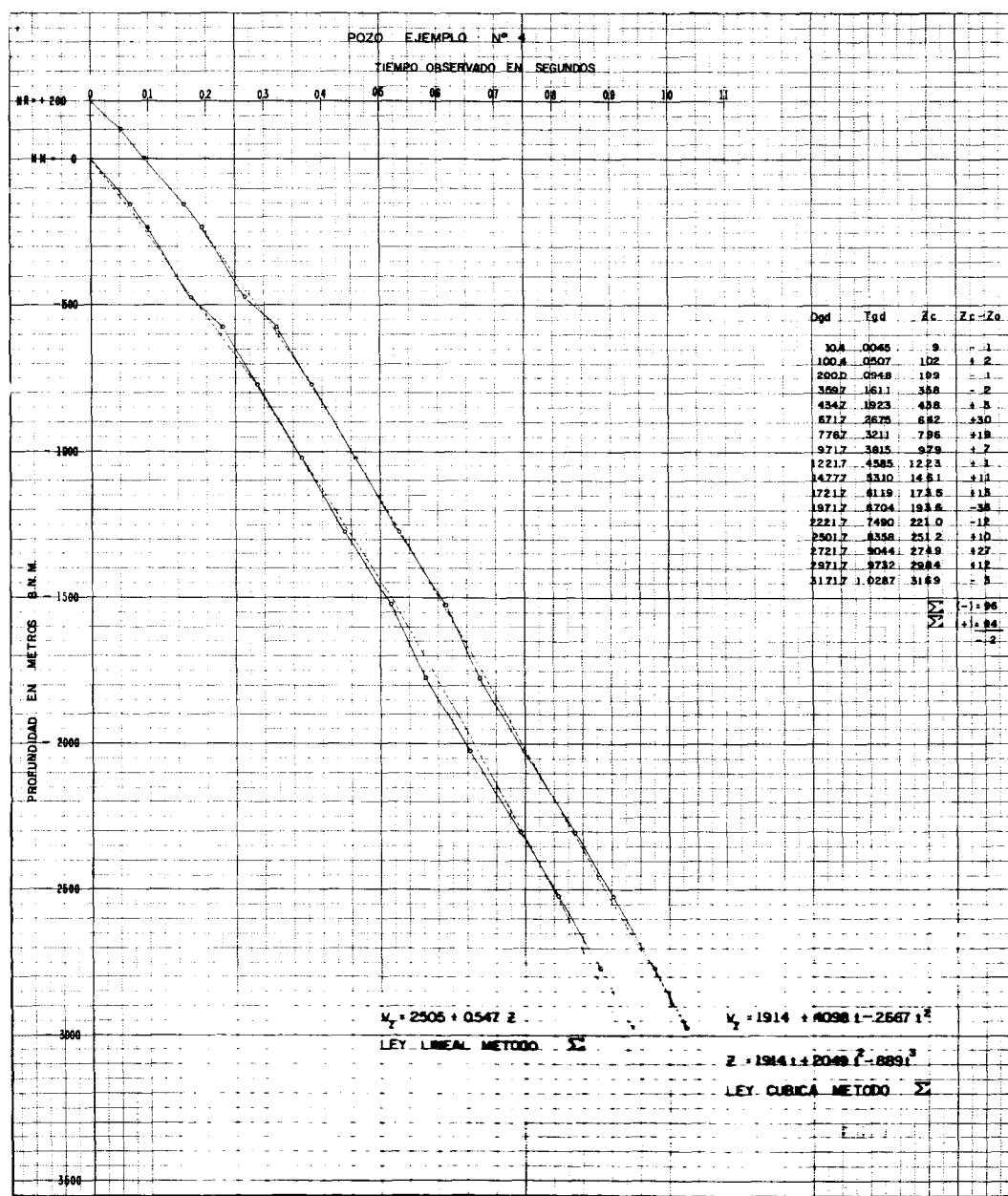


FIGURA No. 5

## POZO EJEMPLO No. 4

## CALCULOS NUMERICOS

Dgo.	Dgd	t	$t^2$	$t^3$	$Z_c$	$Z_{cNM}$	$Dgo - Z_{cNM}$
—	189.6	10.4	0.0045	0.000020	0.000000	9	— 191
—	99.6	100.4	0.0507	0.002570	0.000130	102	— 98
	0.0	200.0	0.0948	0.008987	0.000852	199	— 1
	150.7	359.7	0.1611	0.025953	0.004181	358	+ 158
	234.7	434.7	0.1923	0.036979	0.007111	438	+ 3
	1105.2	0.5034	0.074509	0.012274			
471.7	671.7	0.2675	0.071556	0.019141	642	442	— 30
576.7	776.7	0.3211	0.103105	0.033107	796	596	+ 19
771.7	971.7	0.3815	0.145512	0.055524	979	779	+ 7
1021.7	1221.7	0.4585	0.210222	0.096387	1223	1023	+ 1
1271.7	1471.7	0.5310	0.281961	0.149721	1461	1261	— 11
1521.7	1721.7	0.6119	0.374422	0.229109	1735	1535	+ 13
	6835.2	2.5715	1.186808	0.582989			
1771.7	1971.7	0.6701	0.449436	0.301302	1936	1736	— 36
2021.7	2221.7	0.7490	0.561001	0.420190	2210	2010	— 12
2301.7	2501.7	0.8358	0.698562	0.583858	2512	2312	+ 10
2521.7	2721.7	0.9044	0.817939	0.739744	2749	2549	+ 27
2771.7	2971.7	0.9732	0.947118	0.921735	2984	2784	+ 12
2971.7	3171.7	1.0287	1.058224	1.088595	3169	2969	— 3
	15560.2	5.1615	1.532280	1.055424		$\Sigma$ — 96	
						$\Sigma$ + 91	
							— 2

$$Z = 1914 t + 2049 t^2 - 889 t^3 \quad l_1 = 1914 + 4098 t - 2667 t^2$$

## POZO EJEMPLO No. 4

## CALCULOS NUMERICOS

$$\Delta = \begin{vmatrix} 0.5034 & 0.074509 & 0.012274 \\ 2.5715 & 1.186808 & 0.582989 \\ 5.1615 & 4.532280 & 4.055424 \end{vmatrix} = 0.5034 (1.186808 \times 4.055424) - 0.582989 (2.5715 \times 4.055424) - 0.582989 \times 5.1615 + 0.012274 (2.5715 \times 4.532280) - 5.1615 \times 1.186808)$$

$$\Delta = 0.5034 \times 2.170740 - 0.074509 \times 7.419425 + 0.012274 \times 5.529049$$

$$\Delta = 0.6078$$

$$\Delta \alpha = \begin{vmatrix} 1105.2 & 0.074509 & 0.012274 \\ 6835.2 & 1.186808 & 0.582989 \\ 15560.2 & 4.532280 & 4.055424 \end{vmatrix} = 1105.2 (1.186808 \times 4.055424) - 4.532280 \times 0.582989 - 0.074509 (6835.2 \times 4.055424) - 1560.2 \times 0.582989 + 0.012274 (6835.2 \times 4.532280) - 15560.2 \times 1.186808)$$

$$\Delta \alpha = 1105.2 \times 2.170740 - 0.074509 \times 18648.2 + 0.012274 \times 12512.2$$

$$\Delta \alpha = 1163.217 ; \quad \alpha = 1914$$

$$\Delta \beta = \begin{vmatrix} 0.5034 & 1105.2 & 0.012274 \\ 2.5715 & 6835.2 & 0.582989 \\ 5.1615 & 15560.2 & 4.055424 \end{vmatrix} = 0.5034 (6835.2 \times 4.055424) - 0.582989 \times 15560.2 - 1105.2 (2.5715 \times 4.055424) - 0.582989 \times 5.1615 + 0.012274 (2.5715 \times 15560.2) - 6835.2 \times 5.1615)$$

$$\Delta \beta = 0.5034 \times 18648.2 - 1105.2 \times 7.4194 + 0.012274 \times 1733.2$$

$$\Delta \beta = 1245.68 ; \quad \beta = 2049$$

$$\Delta \gamma = \begin{vmatrix} 0.5034 & 0.074509 & 1105.2 \\ 2.5715 & 1.186808 & 6835.2 \\ 5.1615 & 4.532280 & 15560.2 \end{vmatrix} = -0.5034 (6835.2 \times 4.532280) - \\ - 1.186808 (2.5715 \times 15560.2) - \\ - 0.074509 (5.1615 \times 6835.2) + \\ + 1105.2 (2.5715 \times 4.532280) - \\ - 5.1615 (1.186808)$$

$$\Delta \gamma = -540.6 ; \quad \gamma = -889 \quad Z = 1914 t + 2049 t^2 - 889 t^3$$

### APENDICE "A"

Obtención de las series:  $\sum_{a=1}^j e^{KT_a}, \sum_{b=1}^m e^{KT_b}$

Desarrollo de funciones en series de potencias.

Serie de Maclaurin.

Una serie convergente de potencias de  $X$  es una función de  $X$  para todos los valores dentro del intervalo de convergencia. Así podemos escribir:

$$f(x) = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_n x^n \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

Si hacemos  $x = 0$  en (1), se obtiene

$$f(0) = a_0 \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

y ya se ha determinado  $a_0$ , el primer coeficiente de la serie (1). Ahora supongamos que la serie (1) puede derivarse término a término y que admite derivadas sucesivas. Entonces tendremos:

$$\left. \begin{array}{l} f'(x) = a_1 + 2a_2x + 3a_3x^2 + \dots + na_nx^{n-1} \\ f''(x) = 2a_2 + 6a_3x + \dots + n(n-1)a_nx^{n-2} \\ f'''(x) = 6a_3 + \dots + n(n-1)(n-2)a_nx^{n-3} \end{array} \right\} \quad (3)$$

Haciendo  $x = 0$ , se obtiene:

$$f'(0) = a_1, f''(0) = 2!a_2, f'''(0) = 3!a_3, f^n(0) = n!a_n \dots \quad (4)$$

Despejando de (4) los valores de  $a_1, a_2, \dots, a_n$  y sustituyendo en (1) resulta:

$$f(x) = f(0) + f'(0)\frac{x}{1!} + f''(0)\frac{x^2}{2!} + \dots + f^n(0)\frac{x^n}{n!} \quad (5)$$

Esta fórmula expresa a  $f(x)$  como una serie de potencias, y decimos que “la función  $f(x)$  ha sido desarrollada en una serie de potencias en  $x$ ”. Esta es la serie (o fórmula) de Maclaurin (realmente la serie es debida a Stirling).

Aplicando lo anterior al caso en que  $f(x) = e^x$ , se tiene:

$$f(x) = e^x$$

$$f'(x) = e^x \quad \text{en donde } x = KT$$

$$f''(x) = e^x$$

$$f'''(x) = e^x$$

$$f^{IV}(x) = e^x$$

Haciendo  $x = 0$ , se tiene:

$$f(0) = 1, f'(0) = 1, f''(0) = 1, f'''(0) = 1, f^{IV}(0) = 1$$

Substituyendo lo anterior en (5), queda:

$$e^x = 1 + \frac{x}{1!} + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \frac{x^4}{4!} \quad \dots \dots \dots (5')$$

Se deja hasta la cuarta potencia, ya que con esto se obtiene suficiente aproximación.

Substituyendo en (5')  $x$  por  $KT$ :

$$e^{KT} = 1 + \frac{KT}{1!} + \frac{K^2T^2}{2!} + \frac{K^3T^3}{3!} + \frac{K^4T^4}{4!} \quad \dots \dots \dots (6)$$

$K$  es una constante, ∵ la variable va ser  $T$ , así que para cada  $T$ , se tiene una expresión diferente de  $e^{KT}$ , o sea:

$$\frac{KT_1}{e} = 1 + T_1K + \frac{T_1^2K^2}{2} + \frac{T_1^3K^3}{6} + \frac{T_1^4K^4}{24}$$

$$\frac{KT_2}{e} = 1 + T_2K + \frac{T_2^2K^2}{2} + \frac{T_2^3K^3}{6} + \frac{T_2^4K^4}{24}$$

$$\frac{KT_3}{e} = 1 + T_3K + \frac{T_3^2K^2}{2} + \frac{T_3^3K^3}{6} + \frac{T_3^4K^4}{24}$$

.....

$$\frac{KT_j}{e} = 1 + T_jK + \frac{T_j^2K^2}{2} + \frac{T_j^3K^3}{6} + \frac{T_j^4K^4}{24}$$

$$\sum_{a=1}^j e^{KT_a} = Na + K \sum_{a=1}^j T_a + K^2 \frac{\sum_{a=1}^j T_a^2}{2} + \\ + K^3 \frac{\sum_{a=1}^j T_a^3}{6} + K^4 \frac{\sum_{a=1}^j T_a^4}{24}$$

En forma similar se obtiene  $\sum_{b=1}^m e^{KT_b}$  ó sea:

$$\sum_{b=1}^m e^{KT_b} = Nb + K \sum_{b=1}^m T_b + K^2 \frac{\sum_{b=1}^m T_b^2}{2} + \\ + K^3 \frac{\sum_{b=1}^m T_b^3}{6} + K^4 \frac{\sum_{b=1}^m T_b^4}{24}$$

## APENDICE "B"

Existen varios métodos para resolver las ecuaciones de 3er. grado (como el que resulta después de aplicarse el método de los "Sigma" para determinar el coeficiente "K" en la ley lineal de un pozo profundo). Escogeremos entre ellos, el método de Horner por su rápida y fácil aplicación.

*Método de Horner.*

Si  $F(a)$  y  $F(b)$  difieren en signo, existe un número impar de raíces reales tal que  $F(X) = 0$  entre  $X = a$  y  $X = b$ .

Es decir, si se tiene un polinomio

$$F(X) = a_1X^n + a_2X^{n-1} + a_3X^{n-2} + \dots + a_n$$

y se desea saber cuáles son sus posibles raíces racionales; se toma el término independiente del polinomio en estudio ( $a_n$ ) y se encuentran sus divisores. Para verificar cuál de estos divisores es raíz (o sea que al ser substituído en el polinomio, lo anule). Aplicaremos para facilitar los cálculos la división sintética.

#### *División sintética.*

Como su nombre lo indica, es un método simplificado de la división algebraica. Esta consiste en que si se tiene un polinomio  $F(X)$  y se divide entre un binomio  $X - c$ , se tiene lo siguiente:

$$f(X) = q(X)(X-c) + r$$

en donde  $q(X)$  es un polinomio de grado menor en uno a  $f(X)$  y  $r$  es el residuo.

Cuando  $r = 0$  la división es exacta y  $c$  es una raíz del polinomio.

Ejemplo:

$$f(X) = X^2 - 6X + 8 = (X-4)(X-2)$$

Si se iguala cada uno de los multiplicandos a cero se tiene:

$$X - 4 = 0 \quad X_1 = 4$$

$$X - 2 = 0 \quad X_2 = 2$$

∴ Las raíces del polinomio van a ser 4 y 2. Lo demostraremos tanto aplicando la división algebraica como la sintética.

$$\begin{array}{r}
 X-2 \\
 \hline
 X - 4 \mid \overline{X^2 - 6X + 8} & f(X) = X^2 - 6X + 8 \\
 -X^2 + 4X & q(X) = X - 2 \\
 \hline
 -2X + 8 & r = 0 \\
 2X - 8 & X - c = X - 4 \\
 \hline
 0
 \end{array}$$

$$q(X)(X - c) + r = f(X) \quad \text{Substituyendo los valores:}$$

$$(X - 2)(X - 4) + 0 = X^2 - 6X + 8$$

$$X^2 - 6X + 8 = X^2 - 6X + 8$$

L.Q.Q.D.

Aplicando la división sintética a este ejemplo se tiene:

1.—Se toman los coeficientes del polinomio colocándolos en forma decreciente y substituyendo por ceros los coeficientes de los términos que no aparezcan con el polinomio en estudio.

2.—Se substituye el divisor  $X - c$  por  $+c$ , y si se tiene  $X + c$ , por  $(-c)$ .

3.—Se vuelve a escribir bajo el coeficiente de la mayor potencia de  $X$  y se multiplica por  $c$ . El producto obtenido se coloca inmediatamente bajo el coeficiente de  $X$  que sigue en orden y se suma algebraicamente con éste. La suma obtenida se multiplica por  $c$  y el producto obtenido se coloca bajo el coeficiente que sigue y se suma con el mismo. Se continúa así el procedimiento hasta obtener un producto que se suma al término constante.

$$\begin{array}{r}
 X^2 - 6X + 8 = 0 \quad \Rightarrow \quad X - 4 \\
 1 - 6 - 8 - 4 \\
 \hline
 1 - 2 - 0 \mid & f(X) = X^2 - 6X + 8 \\
 & X - c = X - 4 \\
 & c = 4 \\
 & q(X) = X - 2 \quad X - 2 = 0 \quad r = 0
 \end{array}$$

Similarmente dividiremos  $2X^4 + X^3 - 16X^2 + 18 \div X + 2$

$$\text{Como } X - c = X + 2 \quad c = -2$$

$$\begin{array}{r} 2 + 1 - 16 + 0 - 18 \\ - 4 + 6 + 20 - 40 \\ \hline 2 - 3 - 10 + 20 - 22 \end{array} \quad | -2$$

En donde el cociente  $q(X) = 2X^3 - 3X^2 - 10X + 20$  y el residuo  $r = -22$ .

. . Aplicando a una ecuación cualquiera tanto el método de Horner como la división sintética se tiene:

$$f(X) = X^4 + 4X^3 - X^2 - 12X - 6 = 0$$

Los divisores del término independiente (-6) son:

$$\pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 6.$$

Al dividir el polinomio  $f(X)$  entre estos divisores, se ve que ninguno de ellos es raíz. Si observamos los residuos de los divisores sintéticos vemos que  $f(1) = -14$  y  $f(2) = +14$ . . . existe una raíz entre 1 y 2.

La raíz se cumple cuando  $r = 0$ . Para lograrlo se pueden ir dando valores cuya variación sea pequeña y considerarlos entre 1 y 2, hasta que se tenga  $r = 0$ . En esta forma se verá que cuando  $c = 1.732$ ,  $r = 0$ , . . . 1.732 es una raíz de  $f(X)$ .

$$\begin{array}{r} 1 \quad 4 \quad - \quad 1 \quad -- \quad 12 \quad - \quad 6 \\ 1.732 \quad 9.928 \quad 15.469 \quad 5.998 \\ \hline 1 \quad 5.732 \quad 8.928 \quad 3.463 \quad - \quad 0.002 \end{array} \quad | 1.732$$

$r = 0$  . . . 1.732 es una raíz, quedando:

$$q(X) = X^3 - 5.732X^2 + 8.928X + 3.463 = 0$$

Ahora, para la solución de esta ecuación, se vuelve a repetir el procedimiento, quedando una ecuación de segundo grado; las raíces de la ecuación cuadrática se resuelven por la fórmula clásica para este caso, quedando determinadas así las cuatro raíces del polinomio original.

## UNA APLICACION GEOFISICA A LA INGENIERIA CIVIL

Por el Ing. G. Bello Orta \*

### P R O L O G O

El autor expresa su sincero agradecimiento a la Comisión Federal de Electricidad por autorizar la publicación de este artículo, a los Ings. R. Cañales L. y L. Ramírez de A., por su desinteresada contribución para obtenerlo, así como también al personal técnico de la Gerencia en el lugar de estudio, por su franca colaboración a este trabajo.

### INTRODUCCION

Entre las ciencias auxiliares a las que paulatinamente va recurriendo la Ingeniería Civil, en nuestro país, se introduce la Geofísica; esta ciencia estrechamente ligada a la Geología, componen un valioso elemento que auxilia eficazmente a la Ingeniería Civil.

La Geofísica aplicada, mediante la exploración indirecta del subsuelo, suministra información general de carácter cualitativo y cuantitativo, factible de utilizarse para tener un conocimiento previo de las condiciones del subsuelo, útil y confiable para la solución de problemas de cimentación de grandes proporciones. Los datos que se obtengan pueden o no ser absolutamente definitivos, pero siempre darán una idea que ineludiblemente se aplicará para una mejor solución del problema a resolver.

De los diferentes métodos con que cuenta la ciencia de la Geofísica se menciona el "Geo-eléctrico", cuya aplicación en este particular problema tuvo

---

\* Gerencia de Exploración, Petróleos Mexicanos.

la finalidad de localizar en el subsuelo (además de otras amplias aplicaciones), fallas, fractura y zonas de disolución. en formaciones calcáreas.

Para la utilización de este método se aprovechan las propiedades eléctricas (Conductividad y Resistividad) de las formaciones o estratos que forman la corteza terrestre y más concretamente a la variación de estas propiedades en función de las condiciones en que se encuentre un solo tipo de roca o estrato (como en el presente caso), debido a las alteraciones provocadas por la acción erosiva físico-química de los agentes de intemperismo.

Con objeto de aprovechar las características antes mencionadas se provoca la reacción adecuada del terreno que, para el método utilizado, se describe someramente a continuación: Mediante un generador de corriente alterna se energetiza el subsuelo verificándose el contacto galvánico por medio de dos electrodos entre los que se establece el flujo de corriente a través de terreno; si los estratos o rocas a través de los cuales fluye la corriente, son homogéneos, permaneciendo virtualmente estables sus propiedades eléctricas, las líneas de corriente serán regulares y simétricas con respecto a los puntos contacto fuente de corriente. Cualquier alteración o falta de homogeneidad de la formación terrestre en estudio, provocará distorsiones de las líneas de corriente; esta alteración, que bien puede ser originada por un cuerpo extraño a la masa constitutiva de la formación, una fractura, un plano de falla o una zona de disolución (caverna o sumidero), se manifestará por una conductividad tan alta que facilitará un gran flujo de corriente, o de una resistencia tan elevada que será un verdadero obstáculo para la fluidez de las líneas de corriente. Como consecuencia de lo anterior y en atención al principio de que un campo eléctrico de líneas equipotenciales es perpendicular a las líneas de corriente, se manifestará un incremento o decremento del campo equipotencial. Estas variaciones del campo equipotencial, que resultan de ser caídas de potencial entre diferentes puntos, son captadas por otro grupo galvánico denominado "electrodos de potencial", amplificadas por un dispositivo electrónico y finalmente compensadas y observadas en el conjunto que forma el "Medidor de Relaciones de Caídas de Potencial".

Como no cabe la pretensión de exponer absoluta y extensamente en este artículo todas las consideraciones de carácter teórico y científico, desde los puntos de vista matemático, electrónico y físico, que involucran la utilización y aplicación de este método de exploración, sino el de divulgar su utilidad práctica, se a permitido dar a conocer, a algunos, y recordar, seguramente a la mayoría, en forma concreta y sencilla, la demostración de la fórmula del Potencial.

Cuando una corriente eléctrica fluye a través de un medio conductor, el fluido eléctrico se comporta como si fuese incompresible en movimiento permanente, y da origen a un campo eléctrico estacionario (que no cambia con el tiempo).

La ley de Ohm, en su forma más simple, puede expresarse en la forma siguiente:

$$I = \frac{E}{R} \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

y dice que: "la intensidad, en amperes, de un circuito eléctrico es igual a la fuerza electromotriz, en volts, dividida entre la resistencia del circuito, en ohms". Esta ley puede expresarse como sigue, al considerarse dos secciones del conductor infinitamente cercanas entre sí y normales a las líneas de flujo entre las que exista una diferencia de potencial  $dV$ :

$$I = \frac{dV}{dr} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

Además, se sabe que:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S} \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

en la que:  $\rho$  = resistividad.

$S$  = sección del conductor.

$l$  = longitud del conductor.

se tendrá:

$$dR = \frac{\rho}{S} dl \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

Por lo cual:

$$I = \frac{dV}{dR} = \frac{S}{\rho} \cdot \frac{dV}{dl} \quad \dots \dots \dots \quad (5)$$

La corriente por unidad de área ( $\text{cm}^2$ ) valdrá:

$$i = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{dV}{dl} \quad \dots \dots \dots \quad (6)$$

que es la densidad de corriente.

La ecuación que va a establecerse es una de las soluciones de la ecuación de Laplace, y es, por lo tanto, una función armónica.

Si se considera un “punto-electrodo” rodeado de un medio homogéneo, infinito e isotrópico, del que emerge una corriente estable  $I$ , el potencial  $V$  variará sólo con la distancia, es decir:

$$V = V(r) \quad \dots \dots \dots \quad (7)$$

Si el origen de coordenadas coincide con el “punto-electrodo”, la distancia a un punto cualquiera donde se calcule el potencial, será:

$$r^2 = x^2 + y^2 + z^2 \quad \dots \dots \dots \quad (8)$$

y se procederá como sigue para valuar las segundas derivadas parciales de  $V$  en la ecuación de Laplace.

En el caso de las funciones (7) y (8), se sabe que:

$$\frac{\partial V}{\partial x} = \frac{dV}{dr} \cdot \frac{dr}{dx} \quad \dots \dots \dots \quad (9)$$

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = \frac{dV}{dr} \frac{\partial^2 r}{\partial x^2} + \frac{d^2 V}{dr^2} + \frac{d^2 V}{dr} \left( \frac{\partial r}{\partial x} \right)^2 \quad \dots (10)$$

de la (8) se obtiene:

$$2r \frac{dr}{dx} = 2x \quad \therefore \quad \frac{dr}{dx} = \frac{2x}{2r} = \frac{x}{r}$$

$$\frac{\partial^2 r}{\partial x^2} = \frac{r - x \frac{\partial r}{\partial x}}{r^2} = \frac{r - x \frac{x}{r}}{r^2} = \frac{r^2 - x^2}{r^3}$$

valor este último que se sustituye en la (10).

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = \frac{dV}{dr} \frac{r^2 - x^2}{r^3} + \frac{d^2 V}{dr^2} \frac{x^2}{r^2} \quad \dots \dots \dots (11)$$

En idéntica forma:

$$\frac{\partial^2 V}{\partial y^2} = \frac{dV}{dr} \frac{r^2 - y^2}{r^3} + \frac{d^2 V}{dr^2} \frac{y^2}{r^2} \quad \dots \dots \dots (12)$$

y

$$\frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = \frac{dV}{dr} \frac{r^2 - z^2}{r^3} + \frac{d^2 V}{dr^2} \frac{z^2}{r^2} \quad \dots \dots \dots (13)$$

La suma de estas tres últimas ecuaciones, la (11), (12) y (13), debe ser nula, es decir:

$$\frac{dV}{dr} = \frac{3r^2 - (x^2 + y^2 + z^2)}{r^3} +$$

$$+ \frac{d^2V}{dr^2} \frac{(x^2 + y^2 + z^2)}{r^2} = 0$$

o simplemente:

$$\frac{2}{r} \frac{dV}{dr} + \frac{d^2V}{dr^2} = 0$$

Multiplicando por  $r^2$ ,

$$2r \frac{dV}{dr} + r^2 \frac{d^2V}{dr^2} = \frac{d}{dr} (r^2 \frac{dV}{dr}) = 0$$

Integrando:

$$r^2 \frac{dV}{dr} = C : \quad dV = \frac{C dr}{r^2} \quad \therefore$$

$$V = -\frac{C}{r} + C_1 \quad \dots \dots \dots \quad (14)$$

Si se supone que, cuando  $r = \infty$ ,  $V = 0$ , resulta que  $C_1 = 0$ ; entonces la ecuación (14) es simplemente:

$$V = -\frac{C}{r} \quad \dots \dots \dots \quad (15)$$

De la ecuación (6),

$$i = \frac{-1}{\rho} \frac{dV}{dr} \quad \dots \dots \dots \quad (16)$$

con signo negativo, porque  $i$  disminuye con  $r$

De la ecuación (15)

$$\frac{dV}{dr} = \frac{C}{r^2} ; \quad \dots \dots \dots \quad (17)$$

pero

$$i = \frac{I}{4 \pi r^2} = \frac{-1}{\rho} \frac{C}{r^2} \quad \dots \dots \dots \quad (18)$$

debido a que se supone que las superficies equipotenciales son esferas.

De la ecuación (18) se tiene:

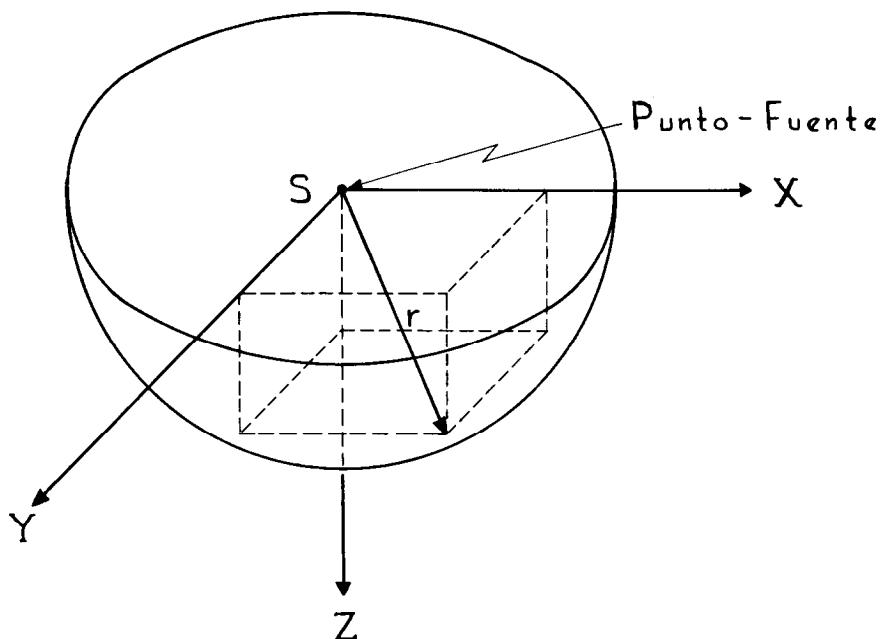
$$C = - \frac{I \rho}{4 \pi}$$

que al sustituirla en la ecuación (15), el potencial será:

$$V = \frac{\rho I}{4 \pi r} \quad \dots \dots \dots \quad (19)$$

En el caso de que el "punto-fuente" esté en la separación de los dos semiedmos (fig. A), las superficies equipotenciales serán hemisferios y el potencial es:

$$V = \frac{\rho I}{2 \pi r}$$



(Figura A)

## GENERALIDADES

Es ampliamente conocida la gigantesca labor que está desarrollando la C.F.E. para llevar a cabo la electrificación del país mediante un gran número de obras que se encuentran en proceso de construcción, algunas, y en operación otras. Entre tales obras se menciona el presente, denominado Proyecto Hidroeléctrico de "El Salto", en el Estado de San Luis Potosí, sobre el río del mismo nombre, obra muy próxima a entrar en operación.

A grandes rasgos se describe el conjunto de la obra civil, que comprendió: presa derivadora, canal de conducción, *tanque de regulación*, tubería de conducción y casa de máquinas.

Del conjunto anterior, la zona que presentó una aparente debilidad fue aquella donde se localizó el Tanque de Regulación, en atención a la evidencia superficial en puntos aislados de zonas de disolución (pequeños sumideros), así como por información esporádica obtenida mediante perforaciones que evidenciaron disoluciones no previstas y consecuentemente peligrosas (que podrían provocar asentamientos posteriores a la erección del tanque); en vista de ello y ante el corto tiempo disponible para explorar toda la superficie de sustentación del tanque (aproximadamente 40,000 m<sup>2</sup>) a base de perforaciones, así como la incertidumbre para su localización, la Jefatura del Departamento de Obras Civiles de la C.F.E. a través de su Laboratorio Mecánico de Suelos y Cimentaciones, tomó la decisión de estudiar las condiciones locales del subsuelo a base de procedimientos geofísicos.

#### BREVE DESCRIPCION DEL AREA. EXPLORACION

El lugar en cuestión, sin pormenorizar, se encuentra en la porción Este del Estado de San Luis Potosí, muy próximo a los límites de la parte Sur del Estado de Tamaulipas, localizándose aproximadamente a 12 kilómetros al Norte de la carretera "Antiguo Morelos-Huizache", entre los pequeños poblados de Nuevo Morelos y el Naranjo.

El cauce del río "El Salto", en la vecindad del lugar explorado, se encuentra labrado en formaciones sedimentarias de origen marino, las cuales, como se sabe, siendo calizas presentan facilidad para verificar el fenómeno de disolución.

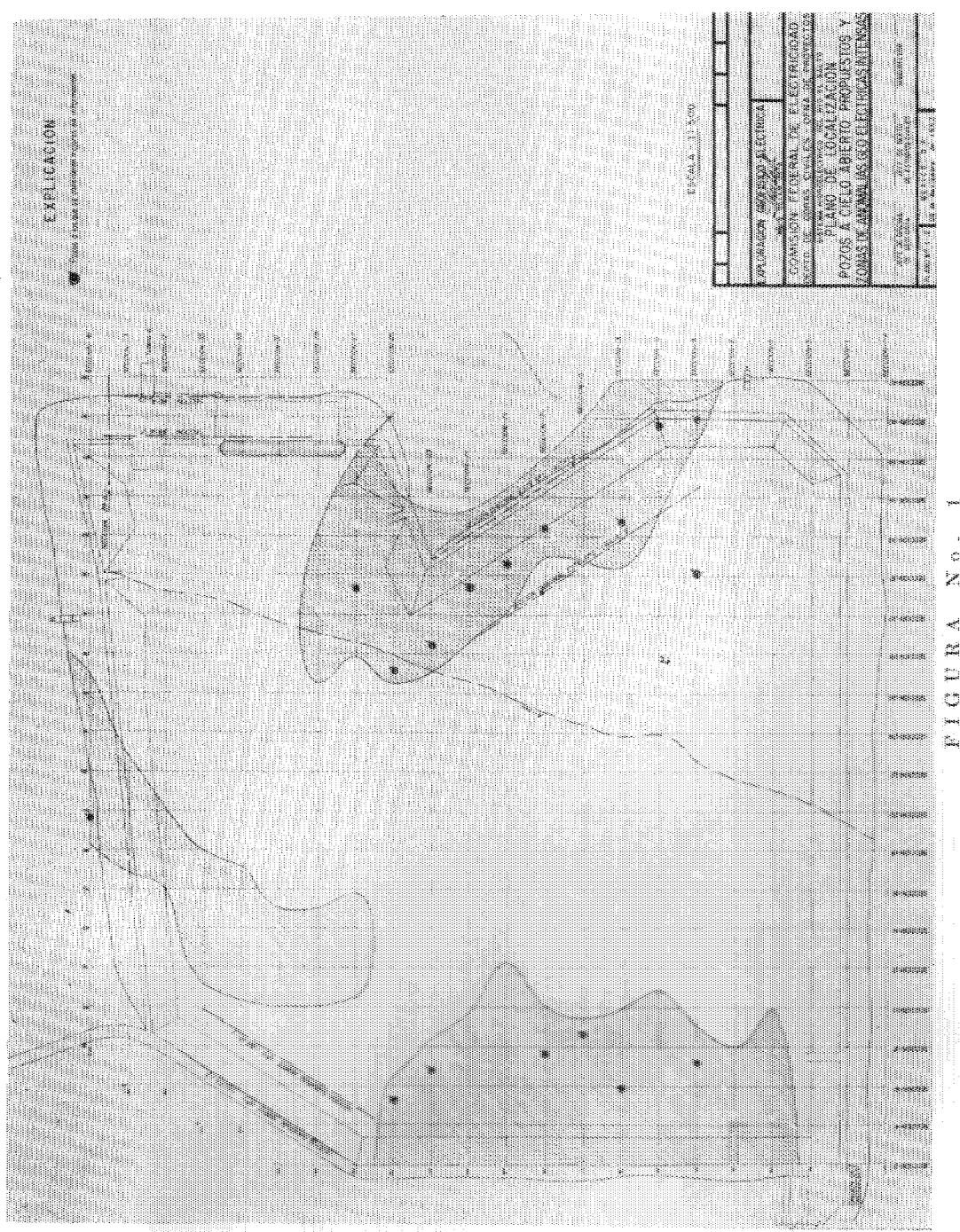
En una gran parte del área que se exploró, la formación calcárea está cubierta por depósitos arcillosos, arcillo-arenosos y arenosos con intercalaciones de holeos, lo que pareció indicar que antiguamente el río cursaba por parte de esta zona, y que posteriormente se comprobó al efectuar la limpieza y nivelación del área de sustentación del tanque mencionado.

Se cree conveniente mencionar lo que precede: el escurreimiento de las aguas meteóricas o fluviales, superficiales y subterráneas, se efectúa a través de las fracturas, planos de falla y zonas de disolución existentes, debido a las aguas percoladas, y a su vez van provocando otras, hasta formar una serie de

conductos intercomunicados; en consecuencia, tales conductos o cavidades pueden ser grandes o de dimensiones tan pequeñas, que una perforación de pequeño diámetro las puede omitir. En consideración a lo anteriormente expuesto se programó una minuciosa exploración, consistente en una retícula de secciones que cubrió totalmente la superficie ya descrita (Fig. No. 1); además, previendo la posible profundización así como desplazamiento lateral de estos disturbios geológicos, cada una de las secciones que formaron la retícula se exploró a varias profundidades, por medio de la variante denominada "Profundidad Constante". Los puntos de observación se dispusieron a las distancias mínimas que el mismo método permite para obtener los resultados más precisos posibles.

Con el abundamiento de datos cuantitativos, tanto del equipo Medidor de R. C. P., como topográficos, se procedió al cálculo y elaboración de las gráficas respectivas (Fig. 2); estas gráficas indican el valor promedio de las relaciones de caídas de potencial, cuyas fuertes anomalías mostradas son consecuencia de una alteración notable en la homogeneidad de la formación en el área de estudio. La magnitud de los valores calculados para las ordenadas, tomando como referencia el eje horizontal, facilita el conocer las zonas más afectadas; así, se comprobó, además de los lugares de intenso fracturamiento por plegamientos, empacamientos en los planos de falla y fractura con material de relleno diferente, tales como arcillas, arenas, limos, sellos de calcita; asimismo se tocaron zonas de disolución huecas, pero afortunadamente aisladas y sin intercomunicaciones, se observaron bloques residuales de gran tamaño cubiertos por el acarreo fluvial en la zona que anteriormente fue el cauce del mencionado río. Tal comprobación se logró mediante las perforaciones localizadas, posteriores a la exploración geofísica, en aquellos lugares que se interpretaron como los más indicativos; estas perforaciones, que fueron pozos a cielo abierto, ofrecieron la ventaja de presentar una mayor área de contacto, facilidad para examinar "in situ" la formación cortada y accesibilidad para operación de relleno.

De la apreciación de los resultados, en lo que a la interpretación se refiere, es indiscutible el hecho de que pueden existir discrepancias de criterio que den lugar a discusiones según puntos de vista, como lo suelen tener geofísicos de reconocida fama; sin embargo, el hecho fundamental radica en que la información obtenida por éste, o cualesquier otro método geofísico de exploración, es la pauta que puede utilizarse para auxiliar en la solución de problemas de ingeniería civil, como el descrito en el presente artículo.



## CAMBIO DE LA MESA DIRECTIVA PARA EL PERÍODO 1965-66

Con fecha 26 de Febrero de 1965, se efectuó en el Hotel Colón de la Ciudad de México, una Sesión-Cena, durante la cual se llevó a cabo el cambio de Mesa Directiva de la Asociación Mexicana de Geofísicos de Exploración.

El señor Ing. Guillermo Hernández Moedano, Presidente saliente, hizo un resumen de su gestión, durante los años de 1963 y 1964, destacando el hecho de no dejar pasivo, no obstante la instalación del domicilio social de la Asociación y la adquisición de libros. Además se celebró la II Convención Técnica en la Ciudad de Tampico, Tamps. El Ing. Hernández Moedano fue muy aplaudido por la labor desarrollada.

El acto de protesta de la nueva Mesa Directiva fue tomado por el señor Ing. Carlos Castillo Tejero, Presidente del Consejo Directivo Nacional del Colegio de Ingenieros de Minas, Metalurgistas, Petroleros y Geólogos de México. A continuación el señor Ing. Alfonso Cornejo Toledo a nombre de los integrantes de la nueva Mesa Directiva, dio las gracias por el voto de confianza recibido.



En la fotografía aparecen de izquierda a derecha: Ing. Carlos Castillo Tejero, atrás Ing. Mariano Hernández Moedano, Vocal de Ingeniería Civil;

Ing. Jorge Suárez Rodríguez, Vocal de Minas; Ing. Antonio Cordero Limón, Vocal de Petróleo; Ing. Daniel Gutiérrez Gutiérrez, Editor; Ing. Jorge L. Nájera, Secretario; Ing. Armando Eguía Huerta, Vice-Presidente; Ing. Alfonso Cornejo Toledo, Presidente; Ing. José Coffin Otero, Vice-Presidente Especial para la organización de la III Convención Técnica, e Ing. Roberto Oñate Espinosa, Tesorero.

Por separado se presenta el informe rendido por el señor Ing. Guillermo Hernández Moedano.

**RESULTADO DE LA VOTACION PARA LA ELECCION DE LA  
MESA DIRECTIVA DE LA ASOCIACION MEXICANA  
DE GEOFISICOS DE EXPLORACION**

En Octubre 10. de 1964 la Mesa Directiva nombró el Comité respectivo para que convocara a elecciones para la renovación del Comité Ejecutivo para el Bienio 1965-1966.

El Comité estuvo formado por los señores Juventino Islas Leal, Thomas Ortiz y Antonio Cordero Limón, quienes previamente enviaron la Circular No. 64-3 fechada Octubre 2 de 1964 para consultar a todos los miembros sobre los candidatos que serían más convenientes. De esta encuesta se formuló una tercera para cada puesto, la cual se envió en la Boleta de Elecciones con la Circular No. 64-6 de fecha Noviembre 18 de 1964.

El día 8 de Enero del presente año se reunió en el domicilio social de la Asociación Mexicana de Geofísicos de Exploración el Comité de Elecciones para realizar el cómputo de los votos recibidos.

Los resultados de la votación fueron como sigue:

**Presidente: Alfonso Cornejo Toledo.**

**Vice-Presidente: Armando Eguía Huerta.**

**Vice-Presidente Especial: José Coffín Otero.**

**Secretario: Jorge Lázaro Nájera Villa.**

**Tesorero: Roberto Oñate Espinosa.**

**Editor: Daniel Gutiérrez Gutiérrez.**

**Vocal de Minas: Jorge Suárez Rodríguez.**

**Vocal de Petróleo: Antonio Cordero Limón.**

**Vocal de Ingeniería Civil: Mariano Hernández Moedano.**

**Presidente saliente: Guillermo Hernández Moedano.**

## INFORME DEL PRESIDENTE DE LA ASOCIACION

Informe del señor Ing. Guillermo Hernández Moedano, Presidente de la Asociación Mexicana de Geofísicos de Exploración, A. C., de las actividades desarrolladas durante los años 1963 y 1964.

El Comité Ejecutivo que es el tercero en la vida de la Asociación Mexicana de Geofísicos de Exploración, al tomar posesión se preocupó por organizar una reunión nacional de todos los miembros de la Asociación. En juntas preliminares se decidió que esa reunión se efectuara en la Ciudad y Puerto de Tampico, Tamps.

Los miembros de Tampico aceptaron ser ellos los que hicieran la invitación y prácticamente con esto se inició la organización de la II Convención Nacional, la cual como todos conocen se efectuó los días del 20 al 24 de Noviembre de 1963. Resultó muy brillante tanto por la calidad técnica de los trabajos presentados como por los actos sociales.

Los buenos resultados se debieron al entusiasmo de la Delegación Tampico en la organización local de eventos sociales y en general al entusiasmo de todos los asociados. de la gran ayuda de nuestro asociado señor Ing. Antonio García Rojas, primer Presidente de la Asociación Mexicana de Geofísicos de Exploración quien dio la orientación general para los artículos técnicos que deberían presentarse en esa Convención.

En la Convención se presentaron 19 trabajos técnicos, de los cuales se han publicado en nuestro Boletín la mayoría, algunos de ellos su autor pidió plazo para prepararlo para su publicación.

La financiación de la Convención se hizo con aportaciones de diferentes compañías proveedoras, principalmente de Petróleos Mexicanos, de equipo y servicio geofísico y del pago de inscripción al Congreso de todos los partici-

pantes. Cabe hacer resaltar que aún los miembros e invitados que presentaron algún trabajo técnico pagaron su inscripción.

Con la aportación (\$ 1.000.00 M. N./mes) con que mensualmente Petróleos Mexicanos contribuye al sostenimiento de la Asociación, se rentó una oficina de 67 M<sup>2</sup> que renta \$ 800.00/mes, la cual se acondicionó para salón de conferencias y sesiones de consejo. Los muebles de la oficina se pagaron con una contribución voluntaria que se les pidió a cada uno de los socios. Al llamado de contribuir voluntariamente acudió el 80% de los miembros.

Durante el año de 1964 se hizo una Cena-Conferencia, la del señor Alfred J. Hermont, de la Shell Development Co., de Houston, Texas. Esta conferencia se publicará tan pronto se reciba el permiso correspondiente de su autor.

Los gastos de la Cena-Conferencia del señor Alfred J. Hermont fueron cubiertos casi en su totalidad por las Compañías: Carlos Alemán Arjona, Exploraciones, S. A., Geoexploraciones, S. A., G. S. I. de México, S. A. de C. V., Perforaciones, S. A., Seismograph Service Corporation of Mexico y Servicios Geofísicos, S. A. de C. V. y además cada asistente contribuyó con \$ 50.00 M. N. Con la cantidad que se reunió se pagó el saldo que faltaba cubrir de los muebles y, además, se adquirió la colección de los números que publica la Sociedad de Geofísicos de Exploración de los E. U. A. que consiste en 27 volúmenes, los cuales están a la disposición de cada uno de los socios. Además se propone dar el servicio de reproducción de artículos de esos boletines y del boletín de nuestra Asociación a los socios que lo soliciten. La reproducción se hará al costo que resulte, cargándole solamente un 10% para pagar al empleado que se encargará de dar este servicio.

Actualmente tenemos intercambio con las siguientes instituciones:

Society of Exploration Geophysicists, de los E. U. A.

Instituto de Geofísica, de la Ciudad de México, D. F.

Librarian U. S. Geological Survey, de los E. U. A.

Karl-Marx-Universitat. de Alemania Este.

Instituto Nacional de Geofísica, de España.

Cenap-Petrobrás, de Brasil.

Unión Geofísica Mexicana de la Ciudad de México. D. F.

Asociación de Ingenieros Petroleros de México. de la Ciudad de México, quienes nos envían sus revistas o boletines a cambio de los nuestros.

Se pretende informar a todos nuestros asociados por medio de nuestro boletín de las revistas y boletines que se reciban para que el que se interese pase a las oficinas de la Asociación a consultarlos.

La Society of Exploration Geophysicists (S.E.G.) de los E.U.A. y nuestra Asociación firmaron un pacto recíproco para que cualquiera de nuestros asociados que deseé pertenecer a esa sociedad lo pueda hacer con patrocinadores de la A.M.G.E. y en sentido contrario, los miembros de la S.E.G. lo pueden ser de la nuestra cuando su inscripción esté respaldada por dos miembros de la S.E.G., pagando naturalmente las cuotas correspondientes. Además la S.E.G. hizo extensivo su trato para que en sus convenciones anuales a los socios de la A.M.G.E. les cobren como si fueran de la S.E.G. e igual facilidad extenderemos nosotros.

De acuerdo con los estatutos se nombró una comisión electoral, para que propusiera una terna para cada uno de los puestos del Comité Ejecutivo. La forma en que actuó esta comisión fue la de enviar a cada socio una circular por correo, pidiéndole nombres de candidatos; con los resultados se formaron las ternas que fueron las que se enviaron en las boletas de elección. Los resultados los dio a conocer la comisión de elecciones cuya acta se publica por separado.

El estado financiero de la Asociación no es critico pero si tiene un margen pequeño de seguridad. El gasto principal es la publicación de su boletín y a la vez éste es la fuente de donde recibe más ingresos, pero el margen de utilidad no es suficiente para poder publicar más artículos por volumen.

El balance correspondiente se publica por separado.

ASOCIACION MEXICANA DE GEOFISICOS DE EXPLORACION, A. C.

Balance General al 28 de Febrero de 1965.

	A C T I V O	P A S I V O
<i>Circulante:</i>		
Bancos:	\$ 40,110.32	\$ 245,805.21 <i>Circulante:</i>
Moneda Nacional . . . . .	\$ 21,581.32	Acreedores Diversos . . \$ 2,613.00
Dólares . . . . .	18,529.00	
<b>Deudores Diversos:</b>		<b>SUMA EL PASIVO. . . . .</b>
Anuncios boletín . . . . .		\$ 2,613.00
Suscripción boletín . . . . .	\$ 6,400.00	
Almacén ( Al costo )		
Boletines . . . . .	195,507.81	Superávit al 28/Feb./63. . \$ 157,181.65
Volumenes . . . . .	1,605.08	Utilidad del ejercicio del
Inversiones en Valores . . . . .	3,000.00	lo. de Marzo/1963 al 28 de
		Feb./1965. . . . .
<i>Fijo:</i>		
Muebles y Equipo . . . . .	\$ 9,613.00	
Menos: Rva. p/Dep. de M. y E. . . . .	9,613.00	
<b>SUMA EL ACTIVO. . . . .</b>	<b>\$ 254,457.21</b>	<b>SUMA PASIVO Y PATRIMONIO</b>
		<b>\$ 254,457.21</b>

Todos los documentos que prueban el Balance anterior sehan en poder de la Asociación y pueden ser revisados libremente por cualquier socio que lo solicite.

El Tesorero: Ing. Alfonso Hernández Osuna.

Conforme:  
El Presidente: Ing. Guillermo Hernández Moedano.

Formuló:

Abraham Guiérrez Hernández, C. P.

## ASOCIACION MEXICANA DE GEOFISICOS DE EXPLORACION, A. C.

Estado de Pérdidas y Ganancias por el período del 1o. de Marzo de 1963  
al 28 de Febrero de 1965.

**INGRESOS:** . . . . . \$ 294,876.78

Cuotas Ordinarias. . . . .	\$ 33,897.91
Cuotas Extraordinarias. . . . .	10,900.25
Anuncios boletín. . . . .	80,274.74
Venta de boletines. . . . .	3,136.57
Donativos . . . . .	103,564.10
Suscripción boletín . . . . .	4,299.01
Venta boletos sesiones-cenas. . . . .	9,750.00
Venta de exhibidores II Convención .	10,998.40
Inscripción II Convención . . . . .	37,975.00
Otros . . . . .	80.80

**MENOS:**

Beneficios para socios . . . . .	\$ 80,406.32
Gastos II Convención . . . . .	72,914.00
Gastos de Administración . . . . .	46,893.90
	\$ 200,214.22
<b>UTILIDAD DEL EJERCICIO . . .</b>	<b><u>\$ 94,662.56</u></b>

ESTADO DE ORIGEN Y APLICACION DE RECURSOS DE LA II CONVENTION NACIONAL DE LA ASOCIACION MEXICANA DE GEOFISICOS  
DE EXPLORACION, A. C., EFECTUADA EN TAMPICO, TAMPS,  
EN NOVIEMBRE 20 - 24 DE 1963

O R I G E N E S

Contribuyentes . . . . .	\$ 50,590.00
Cuotas por inscripciones . . . . .	37,975.00
Venta de Exhibidores . . . . .	11,000.00
	<hr/>
	\$ 99,565.00

A P L I C A C I O N E S

Comisiones y Situaciones . . . . .	\$ 81.00
Correos, teléfonos y telégrafos . . . . .	1,037.30
Trabajos de imprenta . . . . .	1,940.00
Agasajos a invitados . . . . .	242.20
Obsequios y regalos . . . . .	3,621.00
Gastos de orquestas y conjuntos musicales . . . . .	6,500.00
Propaganda . . . . .	740.00
Pasajes y transportes . . . . .	6,070.00
Papelería y Utiles de escritorio . . . . .	960.15
Herramientas y Accesorios . . . . .	858.35
Aperitivos y licores . . . . .	2,813.00
Comidas y banquetes . . . . .	1,098.35
Gastos aduanales . . . . .	3,970.62
Gastos de carpintería y pintura . . . . .	2,876.00
Varios . . . . .	103.03
Saldo en poder A.M.G.E . . . . .	26,651.00
	<hr/>
	\$ 99,565.00

Abraham Gutiérrez Hernández. C. P.

**III CONVENCION**

**T ECNICA DE LA**

**A SOCIACION MEXICANA DE**

**G EOFISICOS DE EXPLORACION**



Lugar: - Monterrey, N. L.



Fecha: - Octubre de 1965.

**NUEVOS SOCIOS**

Ing. Ricardo Caraveo Rodríguez

Petróleos Mexicanos.

Departamento de Geología.

Apartado Postal No. 150.

Tampico, Tamps.

Ing. Daniel Estévez Tapia.

Juan Sarabia No. 4.

México 17, D. F.

Mr. Jack C. Kern.

P. O. Box 66247.

Houston, Texas, 77006.

U. S. A.

Mr. W. Harry Mayne

P. O. Box 2061.

San Antonio, Texas

U. S. A.

## NUEVOS SOCIOS

Ing. Jorge Moya García.  
Av. Juárez No. 95 Desp. 207.  
México 1, D. F.

Mr. Robert B. Pratt Maxwell.  
P. O. Box 2061.  
San Antonio, Texas.  
U. S. A.

Ing. Antonio Roldán González.  
Corregidora No. 84 Depto. 6.  
México 1, D. F.

Ing. Juan Heriberto Ruiz Chiñas.  
Netzahualpilli No. 42 Depto. 1.  
México 17, D. F.

Ing. Manuel Toledo Toledo.  
Petróleos Mexicanos.  
Departamento de Geología.  
Cerro Azul, Ver.

**Carlos Alemán A.**

**EXPLORACION**

**y**

**PERFORACION**

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

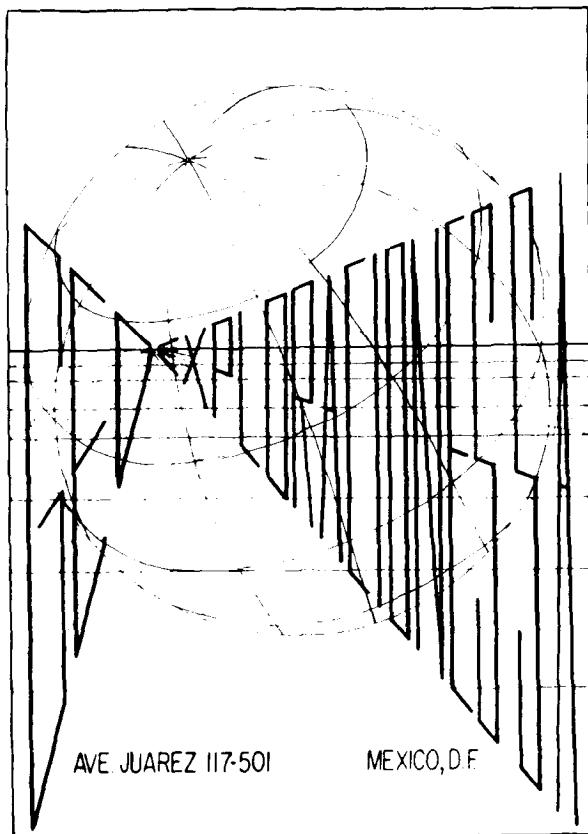
**MEXICO 1, D. F.**

S E R V I C I O S

GEOFISICOS

GEOLOGICOS

FOTOGEOLÓGICOS



AVE JUAREZ 117-501

MEXICO, D.F.

TEL. 46 - 11 - 81

GEOHIDROLOGICOS

RADIOACTIVOS

TOPOGRAFICOS

# **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**

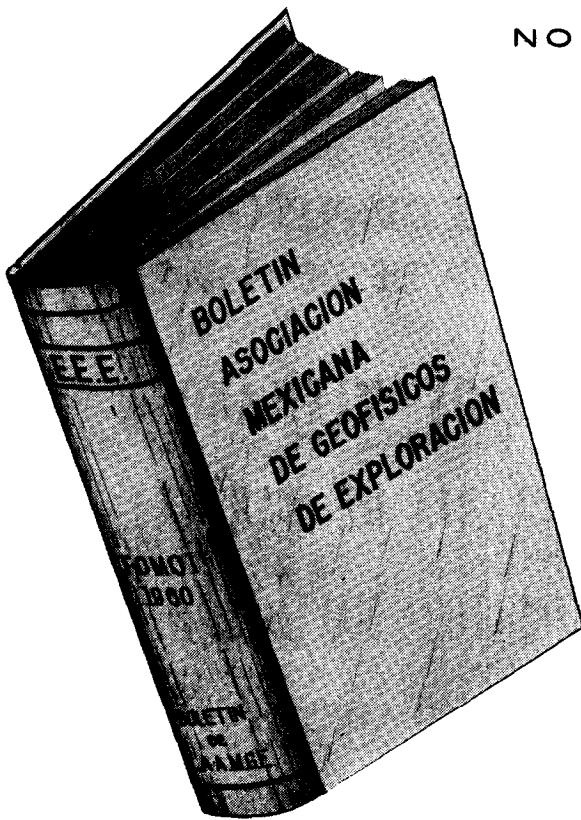
**MEXICO 1, D. F.**

S O C I O S

\$ 100.00

N O S O C I O S

\$ 150.00



ADQUIERA UD. LOS VOLUMENES NUMEROS I - II -  
III - IV Y V CORRESPONDIENTES A LOS AÑOS DE 1960  
1961 - 1962 - 1963 Y 1964 EMPASTADOS EN KERATOL  
CON SUS INICIALES GRABADAS EN ORO.

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

# EXPLORACIONES,

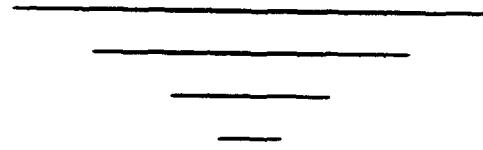
— S. A. —



Iturbide No. 36 Desp. 201

Tel. 10-15-64

MEXICO, D. F.



CURSO  
DE  
SISMOLOGIA APLICADA

Por el Ing. V. A. OLHOVICH



En las principales librerías  
o directamente en la

ASOCIACION MEXICANA DE GEOFISICOS DE EXPLORACION  
Av. Juárez 97. Desp. 302. México 1, D. F.

Estimado Socio:

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