

01174

4

20j

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**TEMA DE TESIS:**

**DETECCION DE ZONAS DE PERDIDAS DE CIRCULACION  
EN POZOS EXPLORATORIOS**

**PRESENTADA POR :**

**ALEJANDRO FUENTES RUIZ**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

1994



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## AGRADECIMIENTOS A:

### PETROLEOS MEXICANOS

*Por la oportunidad que me brindo para seguir superandome y poder contribuir en el desarrollo de la industria petrolera.*

### A LOS SEÑORES :

ING. EUSEBIO CAPITANACHI GONZALEZ

DR. VICENTE CASARIEGO GONZALEZ

DR. FERNANDO CASTREJON

M.I.P. FILEMON RIOS CHAVEZ

ING. BERNARDO MARTELL ANDRADE

*Por la dirección y sus valiosos consejos para la realización de esta tesis.*

M.I.P. MACLOVIO YAÑEZ MONDRAGON

*Por la gran ayuda brindada.*

## DEDICATORIAS:

### A LA MEMORIA DE MIS PADRES:

*JUAN FUENTES VALDEZ*

*LEONOR RUIZ GARCIA*

*De quien guardo un recuerdo  
perdurable.*

### A MIS FAMILIARES:

*GERARDO, Ma. EUGENIA, GERARDO,  
ANTONNETA, JUAN, MARIO, DABATA,  
MARJANA, MARIO, MANLIO, CLAUDIA,  
LEONOR, MARIO, PAOLA, GERARDO,  
SAMANTHA, ALEJANDRA, GERARDO,  
SALVADOR, AMALIA, SALVADOR, ILIANA,  
CARLOS GABRIEL, FERNANDO, FRANCISCO,  
Ma. TRINIDAD, IVON, JOSE LUIS, ROSA,  
GUADALUPE, JUAN, JESUS, DULCE,  
ADRIANA, EDUARDO, LUCIA, LUIS, PEDRO,  
PATRICIA, PEDRO IVAN, RAFAEL,  
ALEJANDRO, JUAN PABLO, CARLOS FELIPE,  
MARCOS, ROCIO, Ma. DEL ROCIO, CARMEN,  
MIRJAM, MARCOS, MARCO, LOURDES,  
MARCIAL, HILDA, JULIA Y VICTORIA.*

*Por la gran ayuda que me han  
brindado siempre*

**EN ESPECIAL A :**

*MI ESPOSA:  
MONICA A. DE FUENTES*

*Por los momentos de felicidad e  
impulso a seguir adelante.*

*MIS HIJOS:  
ALEJANDRO FUENTES A.  
PATRICIA FUENTES A.*

*Por darle una nueva dimensión  
a mi vida.*

*MI HERMANO:  
OSCAR FUENTES RUIZ*

*Como un incentivo para seguir  
superandose.*

*Y A TODOS LOS COMPAÑEROS DE TRABAJO, ESCUELA, PROFESORES,  
AMIGOS Y PERSONAS QUE HICIERON POSIBLE LA REALIZACION DE  
ESTE TRABAJO.*

## RESUMEN

Debido a los múltiples problemas relacionados con las pérdidas de fluido el presente trabajo tiene como finalidad de proporcionar una metodología para poder predecir las zonas de pérdidas de circulación en los pozos exploratorios.

El trabajo consta de seis capítulos, los dos primeros capítulos se refieren a las zonas de pérdidas de circulación y el método sísmico de reflexión, el tercero trata sobre las propiedades mecánicas y su relación con las zonas de pérdida de circulación y en el cuarto se presenta el programa de cómputo desarrollado. En el quinto se muestran la aplicación del método en las diferentes regiones Norte, Sur y Marina que comprende PETROLEOS MEXICANOS, siendo ésta de una forma práctica, confiable y versátil; el sexto capítulo presenta las conclusiones y recomendaciones derivadas de este trabajo.

Como ilustración de este estudio se presentan varios ejemplos de la aplicación del mismo, en uno de ellos se realiza un análisis económico y en otro se enumeran los pasos adecuados para su realización, de esta forma se ve la importancia de la metodología.

# CONTENIDO

Pág

RESUMEN

INTRODUCCION

## 1.- REVISION DE LITERATURA

1.1	PERDIDAS DE CIRCULACION	1-1
1.1. 1	Características en zonas de pérdidas horizontales	1-1
1.1. 2	Características en zonas de pérdidas verticales	1-2
1.1. 3	Técnicas empleadas en una pérdida de circulación	1-2
1.1. 3. 1	Técnicas preventivas	1-2
1.1. 3. 2	Técnicas correctivas	1-3
1.2	PROSPECCION GEOFISICA	1-4

## 2.- METODO DE REFLEXION SISMICA

2.1	Leyes de reflexión y refracción	2-1
2.2	Geometría de las trayectorias de reflexión	2-3
2.2.1	Velocidad constante	2-4
2.2.2	Velocidad variable	2-5
2.3	Registro sísmico, sónico y su relación con las zonas de pérdida de circulación	2-10

## 3.- ZONAS CON FRACTURAS NATURALES Y SU RELACION CON LA MECANICA DE ROCAS

3.1	Ondas y Velocidades	3-1
3.2	Registros utilizados para detectar fracturas naturales	3-5
3.3	La Mecánica de Rocas en las zonas de pérdida de circulación	3-11

## 4.- DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE COMPUTO PARA DETERMINAR LAS ZONAS DE PERDIDAS DE CIRCULACION

## 5.- APLICACIONES DEL PROGRAMA A DIFERENTES ZONAS

## 6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

NOMENCLATURA

REFERENCIAS

APENDICES

## LISTA DE TABLAS

### capítulo 3

TABLA 1.- Relación entre las Constantes Elásticas y los  
Parámetros de Formación.

### capítulo 4

TABLA 1.- Listado de Resultados de la Profundidad, Tiempo de Tránsito de Cizallamiento (ATS), Tiempo de Tránsito Compresional (ATC), Densidad de Formación (DB) y Litología.

TABLA 2.- Listado de Resultados de la Profundidad, Relación de Poisson (U), Módulo de Cizallamiento (G), Módulo de Young (E), Módulo de Volumen (KB) y Módulo de Compresibilidad (CB).

TABLA 3.- Listado de Resultados de los Esfuerzos en Coordenadas Cartesianas ( $S_x$ ,  $S_y$ ,  $S_z$ ) y Cilíndricas ( $S_r$ ,  $S_\theta$ ,  $S_{zz}$ ).

TABLA 4.- Listado de Resultados de Esfuerzos Efectivos en Coordenadas Cilíndricas ( $S_{ref}$ ,  $S_{oef}$ ,  $S_{zef}$ ,  $S_{reof}$ ,  $S_{soef}$  y  $S_{zeof}$ ).

TABLA 5.- Listado de Resultados de la Presión de Poro ( $P_p$ ) y la Presión de Sobrecarga ( $P_s$ ).

Las Tablas del Capítulo 4 se localizan en el Apéndice 1

## **capítulo 5**

**TABLA 1.- Listado de Resultados del análisis del pozo CANALETE - 1.**

**TABLA 2.- Listado de Resultados del análisis del pozo CUATRO MILPAS - 18.**

**TABLA 3.- Listado de Resultados del análisis del pozo BELLOTA - 101.**

**TABLA 4.- Listado de Resultados del análisis del pozo ABKATUM -91.**

**TABLA 5.- Listado de Resultados del análisis del pozo TABACO - 1.**

**TABLA 6.- Listado de Resultados del análisis del pozo SOYALO -1A.**

**TABLA 7.- Listado de Resultados del análisis del pozo MANI -1.**

**TABLA 8.- Análisis de costos de los tiempos empleados en la perforación del Pozo  
SOYALO -1A.**

**Las Tablas del capítulo 5 se localizan en el Apendice 2.**

## LISTA DE FIGURAS

### capítulo 2

- FIGURAS:**
- 2.1.- Leyes de reflexión y refracción
  - 2.2.- Geometría de la trayectoria de reflexión
  - 2.3.- Onda sísmica refractada
  - 2.4.- Distribución continua de la velocidad con la profundidad
  - 2.5.- Componente horizontal y vertical del rayo sísmico
  - 2.6.- Comparación entre el Reg. Sísmico y Sónico en las Zona de Pérdida de Circulación del Pozo Abkatún 1-B
  - 2.7.- Relación entre el Reg. Sísmico, Sónico y Zona de Pérdida de Circulación en el Pozo Bellota -101
  - 2.8.- Relación entre el Reg. Sísmico, Sónico y una Zona de Pérdida de Circulación en el Pozo Canalete-1
  - 2.9.- Comportamiento de la Resistividad en una Zona de Pérdida de Circulación
  - 2.10.- Comportamiento de la Porosidad en una Zona de Pérdida de Circulación
  - 2.11.- Comportamiento de la Conductividad en una Zona de Pérdida de Circulación
  - 2.12.- Comportamiento del tiempo de Tránsito en una Zona de Pérdida de Circulación
  - 2.13.- Comportamiento de la Densidad en una Zona de Pérdida de Circulación

### capitulo 3

- FIGURAS:
- 3.1.- Cálculo de Sensibilidad de la Densidad Real y la Cálculada.
  - 3.2.- Relación entre el Tiempo de Tránsito Compresional (ATC), Tiempo de Tránsito de Cizallamiento (ATS) y el factor de formación.
  - 3.3.- Registro Sísmico
  - 3.4.- Medición de calibrador de pozos
  - 3.5.- Mediciones de Densidad
  - 3.6.- Mediciones de Resistividad
  - 3.7.- Registros de Echado
  - 3.8.- Mediciones Sísmicas
  - 3.9.- Análisis de un elemento de roca a una x distancia del agujero
  - 3.10.- Análisis de un elemento de roca en la periferia del agujero
  - 3.11.- Análisis de Fracturamiento (1er.caso)
  - 3.12.- Análisis de Fracturamiento (2do.caso)

### capitulo 5

- FIGURAS:
- 5.1 a 5.4 .- Análisis de los resultados del pozo CANALETE -1.
  - 5.5 a 5.7.- " CUATRO MILPAS -18.
  - 5.8 a 5.10.- " BELLOTA -101.
  - 5.11 a 5.13.- " ABKATUN -91
  - 5.14 a 5.17.- " TABACO - 1.
  - 5.18 a 5.20.- " SOYALO -1A.
  - 5.21.- Análisis de los tiempos de perforación del Pozo Soyalo - 1A
  - 5.22.- Resumen de tiempos de perforación del Pozo Soyalo -1A
  - 5.23.- Parámetros relacionados con las Zonas de Pérdida de Circulación del Pozo Soyalo -1A

**5.24.- Estimación de costos del Pozo Soyalo -1A**

**5.25 a 5.27.-Análisis de resultados del Pozo Mani-1**

**5.28.- Parámetros finales del estudio del Pozo Mani -1**

**Las Fig's. del capítulo 5 se localizan en el APENDICE 2.**

## INTRODUCCION

La explotación de los yacimientos de hidrocarburos que cada día se encuentran a una mayor profundidad ocasionado que el número de problemas en la perforación de los pozos petroleros aumente. Uno de los principales es el relacionado con las pérdidas de circulación. Aparentemente, en la actualidad no se dispone de un método para identificar de antemano las posibles zonas de pérdida de circulación.

Las técnicas y métodos conocidos para solucionar el problema de pérdida de fluido son utilizadas una vez que el problema se presenta. Debido al papel importante que juegan las zonas de pérdida de circulación, Pemex Exploración - Producción decidió realizar un estudio para determinar con anticipación las zonas que puedan presentar pérdidas de circulación, dicha metodología debe ser aplicada en las diferentes Regiones Norte, Sur y Marina que comprende Petroleos Mexicanos.

El problema de la pérdida de fluido es importante, en virtud de que de esto depende alcanzar el objetivo. Más aún el evitar las pérdidas de circulación es primordial para la seguridad tanto para el personal como para el equipo y sobre todo que se minimice el daño a la ecología.

Para llevar a cabo la perforación de los pozos exploratorios es indispensable el conocimiento geológico-petrolero del área en estudio y de una técnica que pueda obtener la mayor información de las características de las formaciones que serán atravesadas en la perforación del pozo y de esta forma poder delimitar las zonas de pérdidas de circulación. El principal recurso que podemos utilizar para este fin es precisamente la información sísmica.

En este trabajo se da a conocer una metodología para la detección de zonas de pérdidas de circulación a partir del análisis e interpretación de la información sísmica y los esfuerzos in-situ de la roca, concluyendo con la elaboración de un programa de cómputo que tendrá la finalidad de predecir las Zonas de Pérdida de Fluido.

# CAPITULO 1

## 1.- REVISION DE LITERATURA

### 1.1 PERDIDAS DE CIRCULACION.

Pérdida de circulación, es la pérdida hacia vacíos en la formación del fluido usado durante las diferentes etapas de perforación. La pérdida de circulación se puede presentar desde una disminución gradual en las presas hasta una pérdida total. Estas pueden variar en tipo, severidad y ubicación en el agujero<sup>1</sup>.

Las pérdidas de circulación son uno de los problemas más comunes en la perforación de pozos petroleros, dando origen a problemas subsecuentes como pueden ser: derrumbes, pegaduras de tubería, brotes, etc. Debido a la gran variedad de posibles casos de pérdidas de circulación, se han clasificado en: zonas de pérdidas horizontales y verticales<sup>2</sup>.

#### 1.1.1 Características en Zonas de Pérdidas Horizontales

##### A.- Arenas y Gravas Porosas

- Disminución gradual del nivel del lodo
- Se puede tener pérdida total
- La permeabilidad (k) mayor de 10 darcys

##### B.- Fracturas Naturales

- Pueden ocurrir en cualquier tipo de formación
- La pérdida se presenta en forma inmediata

##### C.- Fracturas Inducidas

- Puede ocurrir en cualquier tipo de formación
- Incremento marcado en la presión de bombeo
- Aumento gradual del peso del lodo

#### D.- Zonas Cavernosas

- Confinadas normalmente a calizas
- Pueden ser repentinas y totales
- La perforación puede ser complicada

#### 1.1.2 Características en Zonas de Pérdidas Verticales

##### A.- Fracturas Naturales

- Pueden ocurrir en cualquier tipo de formación
- Posible pérdida de parcial a total

##### B.- Fracturas Inducidas

- Por lo regular presentes después de 762 m

#### 1.1.3 Técnicas empleadas en una pérdida de circulación

Las técnicas utilizadas cuando se presenta una zona de pérdida de circulación depende de una gran variedad de factores y sobre todo del tipo de formación, debido a esto las técnicas se clasifican en: preventivas y correctivas<sup>3</sup>.

##### 1.1.3.1 Técnicas Preventivas.

A.- Información de Pozos Vecinos.- El aprovechamiento de lo acontecido en los pozos cercanos al que se perfora, es de gran utilidad como una medida preventiva para el caso específico de una zona de pérdida de circulación. Los parámetros más comunes son:

- Distancia y dirección del pozo.
- Profundidad total.
- Columna geológica.
- Tipo y peso de fluido de perforación.
- Zonas de pérdidas de circulación, causas y acciones correctivas.
- Profundidad de asentamiento de las tuberías de revestimiento.
- Velocidad de perforación.
- Presión de bombeo.
- Peso sobre barrena.

B.- Adecuadas Propiedades del Lodo.- Procurar mantener valores bajos de viscosidad y gelatinosidad dentro de los límites de seguridad, debido a que estos parámetros influyen directamente en el valor de la densidad equivalente de circulación, la cual es determinante en las variaciones de presión contra la formación.

C.- Acondicionamiento o Cambio del fluido.- Utilizar agentes de puenteo (obturantes) antes de atravesar una posible zona de pérdida o en su defecto programar anticipadamente el cambio de fluido de perforación.

#### 1.1.3.2 Técnicas Correctivas.

A.- Registro de Temperatura.- Este tipo de registro permite detectar la zona de pérdida bajo circunstancias favorables. La información que se obtiene es buena aun cuando el lodo sea muy viscoso, muy denso o contenga restos de materiales obturantes en suspensión. El principio fundamental de esta herramienta, es que cuando en un pozo no existe pérdida de fluido, la herramienta registra un aumento constante en la temperatura del pozo en función de la profundidad, de acuerdo con el gradiente geotérmico de la región.

B.- Mollinete Hidráulico.- Esta herramienta está diseñada para medir la velocidad del fluido que se desplaza desde o hacia el yacimiento. La desventaja de esta herramienta es que su efectividad depende de que el fluido de perforación sea de baja densidad y viscosidad, además que no contenga restos de materiales obturantes que impidan el libre funcionamiento de la hélice.

C.- Trazadores Radioactivos.- Esta técnica hace uso de un material radiactivo en combinación con el registro de rayos gama. La técnica consiste en marcar un cierto volumen de lodo de perforación con un trazador radiactivo, que sea emisor de radiación gama de alta energía y sea soluble en el lodo de perforación.

D.- Colocación de Tapones.- Técnica utilizada únicamente cuando se haya perdido totalmente la circulación del lodo. El principio de esta técnica es la que a continuación se describe:

- Determinar el nivel estático del lodo en el agujero.
- Localizar la zona de pérdida de fluido.
- En base a la severidad de la pérdida, determinar las características del tapón.
- Determinar el volumen de lechada a bombear.
- Colocar 15 m arriba de la cima de la zona de pérdida, la tubería de perforación franca o con difusor.
- Bombear lechada y desplazarla con suficiente lodo o agua.
- Sacar la tubería adicionando lodo o agua, el volumen correspondiente de metal.

E.- Combinación de Tapones.- Esta técnica se recomienda para pérdidas totales severas y consiste de colocar primeramente un tapón de cemento, con la finalidad de formar una base y posteriormente introducir algún tipo de obturante granular y enseguida colocar otro tapón a base de cemento.

F.- Perforación Ciega.- Técnica utilizada generalmente cuando se presentan cavernas. La perforación se realiza bombeando baches de lodo de baja densidad y agua sin obtener circulación<sup>4</sup>.

## 1.2 PROSPECCION GEOFISICA. ( METODOS GEOFISICOS)

El objetivo principal de los métodos geofísicos es la exploración de recursos energéticos del subsuelo, efectuando mediciones de los parámetros físicos de las rocas y analizando su distribución en el subsuelo. Cuando esta información es manejada e interpretada convenientemente, facilita la búsqueda de recursos energéticos y/o minerales potencialmente económicos<sup>5</sup>.

Las diversas técnicas de prospección geofísica como son: El método de reflexión sísmica, el sísmico de refracción, el gravimétrico y el magnetométrico, están basados en varios principios físicos fundamentales.

La prospección geofísica en la Industria Petrolera ha evolucionado fuertemente, de tal manera que muchos de los equipos y técnicas desarrolladas para las exploraciones petroleras han sido empleadas ventajosamente en estudios relativos a la estructura de la corteza terrestre, en estudios y proyectos relativos a la Ingeniería de perforación, en la determinación de zonas geopresionadas y otras más.

En este trabajo se plantea su utilización para la detección de zonas de pérdida de circulación, aspecto de suma importancia, ya que es uno de los problemas más comunes que se presentan durante la perforación de pozos<sup>9</sup>.

## CAPITULO 2

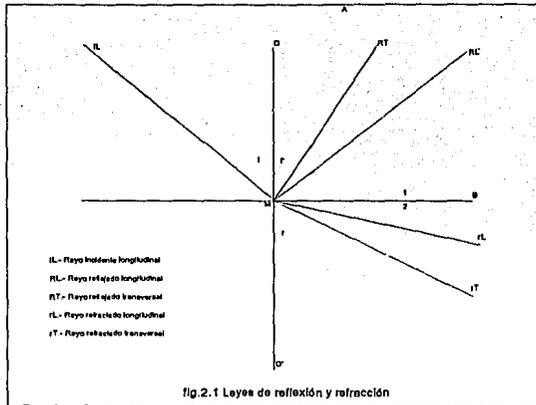
### 2.- METODO DE REFLEXION SISMICA

El método de reflexión sísmica, es la técnica usada en estudios con fines petroleros; esto se debe a que aporta un cuadro detallado de la estructura geológica del subsuelo. También con los datos que proporciona, es posible determinar las profundidades de la cima y base de las diferentes formaciones de interés.

El método es empleado casi exclusivamente por la prospección petrolífera ya que se obtienen buenos resultados en áreas donde los hidrocarburos están en trampas estructurales; además, nos permite localizar y detallar ciertos rasgos estratigráficos<sup>7</sup>.

Los métodos de prospección sísmica están basados en la transmisión de ondas elásticas en el subsuelo, las cuales están controladas por las leyes de reflexión y refracción, las cuales serán detalladas a continuación.

2.1 Leyes de Reflexión y Refracción .- Supongamos un rayo incidente longitudinal ( $IL$ ) que se propaga de un medio a otro, al llegar al contacto ( $AB$ ) de los medios, da lugar a cuatro rayos dos reflejados y dos refractados, que se indican en la figura 2.1.



La distribución de la energía inicial entre las ondas resultantes viene determinada por el ángulo con el que la onda llegue a la discontinuidad y por el contraste entre las propiedades elásticas de dichos medios. Según las leyes de la reflexión y refracción se verificará que el rayo incidente, la normal, los rayos reflejados y los refractados están en un mismo plano, llamado plano de incidencia.

Por otra parte, de los rayos reflejados en la fig. 2.1 se verifica que:

$$\overline{ILMO} = \overline{RLMO} \dots\dots\dots (2.1)$$

por lo que el ángulo incidente ( $i$ ) es igual al ángulo reflejado ( $i'$ ) para el rayo longitudinal.

La ley de refracción o ley de Snell nos dice que el seno del ángulo de incidencia ( $i$ ) es al seno del ángulo de refracción ( $r$ ), como la velocidad de la onda incidente es a la velocidad de la correspondiente onda refractada (longitudinal o transversal), de donde obtenemos que:

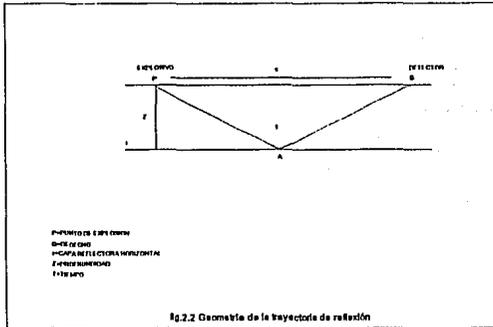
$$\frac{\overline{\text{sen } iLMO}}{\overline{\text{sen } rLMO'}} = \frac{V_{1L}}{V_{2L}} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\frac{\overline{\text{sen } iLMO}}{\overline{\text{sen } rTMO'}} = \frac{V_{1r}}{V_{2r}} \dots\dots\dots (2.3)$$

En prospección sísmica las ondas se generan principalmente por medio de explosiones con dinamita y camiones tipo vibrosismo en tierra y pistolas de aire en el mar, de tal forma que la deformación del medio por cizallamiento, que da lugar a las ondas transversales sea pequeña comparada con el cambio en volumen que se produce por medio de las ondas longitudinales. Por ello la mayor parte de la energía producida será de ondas longitudinales o de compresión. Si a esto le añadimos que los detectores empleados en la prospección registran sólo la componente vertical de la vibración, razón por la cual, sólo se consideran las ondas longitudinales en el estudio de la reflexión sísmica, sin embargo técnicas recientes utilizan fuentes y detectores de ondas transversales, en las cuales se han realizado trabajos de exploración muy completos<sup>9</sup>.

2.2 Geometría de las Trayectorias de Reflexión.- Cuando una onda elástica es producida por una fuente sísmica, cada superficie de separación que represente un cambio en las propiedades elásticas, reflejará hacia la superficie parte de la energía y un detector situado en ésta responderá a la llegada de cada onda reflejada, registrando el tiempo empleado en el recorrido completo desde la fuente de ondas al detector. A continuación se explicará el modelo que determina los tiempos de llegada cuando la velocidad permanece constante en toda la capa; posteriormente se presenta el caso general de velocidad como función continua de la profundidad.

2.2.1 Velocidad Constante.- En este caso los rayos sísmicos son líneas rectas. Sea ( P ) un punto de emisión de ondas, ( G ) un geófono cualquiera y ( r ) la capa reflectora horizontal ( ver fig.2.2 ).



si distancia = velocidad x tiempo entonces:

$$\overline{PAG} = \overline{V} \times T \dots\dots\dots ( 2.4 )$$

$$\overline{PA} = \overline{GA} = \frac{1}{2} \overline{V} \times T \dots\dots\dots ( 2.5 )$$

aplicando el teorema de Pitágoras:

$$\left( \frac{1}{2} \overline{V} \times T \right)^2 = Z^2 + \left( \frac{1}{2} X \right)^2 \dots\dots\dots ( 2.6 )$$

desarrollando y simplificando se obtiene:

$$\frac{1}{4}\bar{V}^2 \times T = Z^2 + \frac{1}{4}X^2 \dots\dots\dots (2.7)$$

$$T^2 = \frac{4Z^2 + X^2}{\bar{V}} \dots\dots\dots (2.8)$$

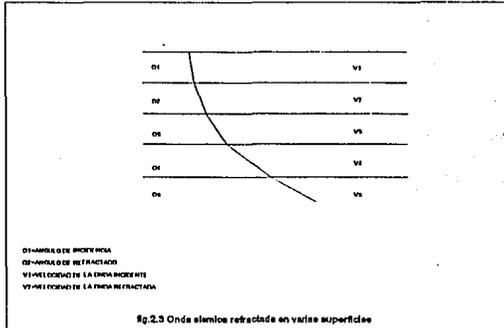
$$T = \frac{\sqrt{X^2 + 4Z^2}}{\bar{V}} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$Z = \frac{1}{2} \times \sqrt{\bar{V}^2 T^2 - X^2} \dots\dots\dots (2.10)$$

La ecuación ( 2.9 ) nos permite determinar el tiempo total de recorrido de la onda sísmica, para el caso de dos capas horizontales, la profundidad a que se encuentra el horizonte reflectante estará determinado por la ecuación ( 2.10 ) en función del tiempo, distancia horizontal y velocidad de la interfase.

2.2.2 Velocidad Variable.- El caso anterior está basado en los principios físicos del proceso de reflexión y se limita a considerar el caso sencillo de una superficie de contacto con dos estratos de espesor ilimitado y de diferente velocidad y densidad. Este cuadro ideal para ilustrar la óptica básica de las reflexiones, es un modelo que difiere de la reflexión de las ondas sísmicas tal como en la realidad tiene lugar en el subsuelo. Las formaciones sedimentarias están estratificadas de tal manera que la litología puede variar de manera considerable en el espacio de unos cuantos metros. A los cambios en la litología acompañan otros de las propiedades elásticas.

Para comprender la propagación de la onda sísmica en el subsuelo, supongamos el medio dividido en un cierto número de capas horizontales, cada una de ellas con una velocidad constante, tal como se muestra en la figura 2.3.



Supongamos el rayo  $OR$  con origen en  $O$ , formando un ángulo inicial  $\theta$  con la vertical. Aplicando la ley de Refracción ( conocida como también como Ley de Snell ), que dice que cuando una onda incidente choca con una superficie de separación que divide dos medios, el seno del ángulo de incidencia  $\theta_1$  es al seno del ángulo refractado  $\theta_2$ , como la velocidad de la onda incidente  $V_1$  es a la velocidad de la onda refractada  $V_2$ :

$$\frac{\text{sen}\theta_2}{\text{sen}\theta_1} = \frac{V_2}{V_1}; \frac{\text{sen}\theta_3}{\text{sen}\theta_2} = \frac{V_3}{V_2}; \dots; \frac{\text{sen}\theta_n}{\text{sen}\theta_{n-1}} = \frac{V_n}{V_{n-1}} \dots \dots \dots (2.11)$$

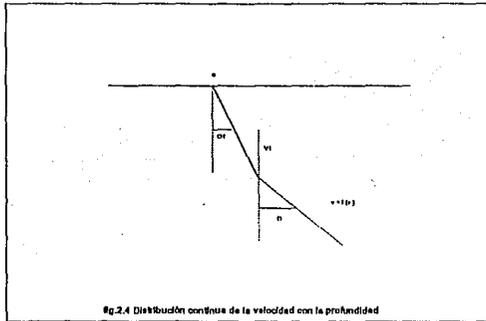
multiplicando estas relaciones sucesivamente encontramos que el ángulo vertical para un medio  $n$  está dado por la relación :

$$\text{sen}\theta_n = \frac{V_n}{V_1} \text{sen}\theta_1 \dots \dots \dots (2.12)$$

Si hacemos que el número de medios sea infinito, y cada medio tenga un espesor infinitamente pequeño, estaremos en el caso límite de una distribución continua de la velocidad con la profundidad y entonces el seno del ángulo  $\theta$ , a una profundidad cualquiera, estará dado por :

$$\text{sen } \theta = \frac{v}{v_1} \text{sen } \theta_1 \dots \dots \dots (2.13)$$

siendo  $v = f(z)$  ;  $v_1$  la velocidad superficial y  $\theta$  el ángulo del rayo con la vertical, como puede observarse en la figura 2.4



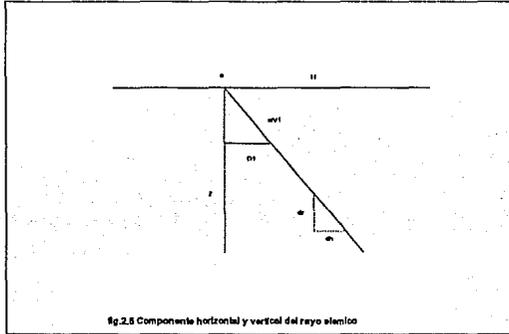
Si a  $\frac{\text{sen } \theta}{v_1}$  lo hacemos igual a la constante P, la ecuación ( 2.13 ) se transformará en :

$$\text{sen } \theta = P \times V \dots \dots \dots (2.14)$$

y como el rayo recorre una distancia ds en el tiempo dt, tenemos que:

$$ds = V \times dt \dots \dots \dots (2.15)$$

De la figura 2.5 vemos que la función trigonométrica de la tangente estará dada por:



$$\text{Tg}\theta = \frac{dh}{dz} = \frac{\text{sen}\theta}{\text{cos}\theta} \dots\dots\dots (2.16)$$

pero si consideramos:

$$\text{cos}\theta = \sqrt{1 - \text{sen}^2\theta} \dots\dots\dots (2.17)$$

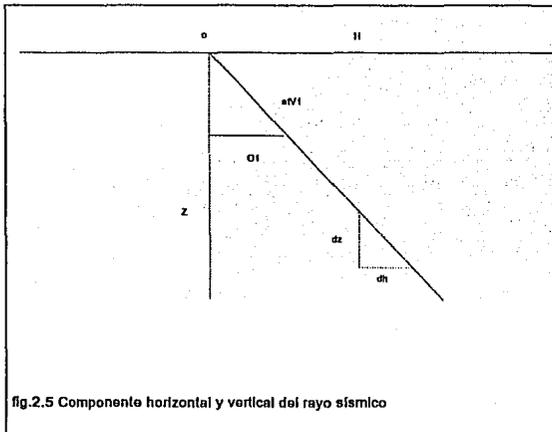
sustituyendo (2.14) y (2.17) en (2.16) :

$$\frac{dh}{dz} = \frac{P \times V}{\sqrt{1 - (P \times V)^2}} \dots\dots\dots (2.18)$$

Integrando la ecuación (2.19) obtendremos la distancia horizontal H :

$$H = \frac{P \times V}{\sqrt{1 - (P \times V)^2}} \dots\dots\dots (2.19)$$

De la figura 2.5 tenemos que el  $\cos \theta$  será :



$$\cos \theta = \frac{dz}{ds} \dots\dots\dots (2.20)$$

de donde  $ds = \frac{dz}{\cos \theta} \dots\dots\dots (2.21)$

sustituyendo ( 2.15 ) en ( 2.21 )

$$V dt = \frac{dz}{\cos \theta} \dots\dots\dots (2.22)$$

de donde  $\frac{dt}{dz} = \frac{1}{V \cos \theta} \dots\dots\dots (2.23)$

sustituyendo ( 2.14 ) y ( 2.17 ) en ( 2.23 ) tendremos:

$$\frac{dt}{dz} = \frac{1}{V\sqrt{1-(P \times V)^2}} \dots \dots \dots ( 2.24 )$$

integrando la ecuación ( 2.24 ) se tendrá el tiempo  $T$ :

$$T = 2 \int_0^z \frac{dz}{V\sqrt{1-(P \cdot V)^2}} \dots \dots \dots ( 2.25 )$$

Se ha multiplicado por dos ya que el tiempo registrado en el origen es dos veces el tiempo del origen al reflector.

Cuando la velocidad es una función conocida de  $Z$  las ecuaciones ( 2.19 ) y ( 2.23 ) son suficientes para determinar  $H$  y  $Z$  en función de los valores medios de  $T$  y  $P$ ; y se esta en condiciones de situar la profundidad de los medios reflectantes.

Sin embargo, las experiencias en medidas de velocidad efectuadas en pozos profundos, indica que se pueden hacer dos generalizaciones que simplifican el problema de la determinación de los horizontes sísmicos: 1) La velocidad aumenta con la profundidad y 2) Si bien la velocidad varía lateralmente de un punto a otro de la misma zona, esta variación, suele ser pequeña y no se considera salvo en casos especiales<sup>9,10,11</sup>.

### 2.3 Registro Sísmico, Sónico y su relación con las Zonas de Pérdidas de Circulación

El comportamiento de la ley de propagación de la onda sísmica en el subsuelo es necesario para la interpretación de los datos sísmicos, ya que sin ella no es posible determinar la profundidad de los cuerpos reflejantes a partir de las fórmulas normales utilizando los tiempos de reflexión.

La velocidad de intervalo se define como la velocidad promedio en el intervalo formado por dos cuerpos reflejantes y se obtiene aplicando la ecuación desarrollada por Dix<sup>12</sup>.

$$(v_i)_{i+1}^2 = \frac{(V_{i+1}^2 \times T_{i+1}) - (V_i^2 \times T_i)}{T_{i+1} - T_i} \dots\dots\dots (2.26)$$

donde *i* es el cuerpo superior e *i+1* es el inferior.

Una vez conocidas las velocidades medias se puede determinar la curva tiempo-profundidad y, por lo tanto, la ley de variación de la velocidad con la profundidad.

Como la cantidad de datos sísmicos es muy grande y los cálculos involucrados innumerables, la determinación de la velocidad se lleva a cabo por medio de un sistema de cómputo. Lo que nos permite obtener directamente gráficas de la velocidad media cuadrática contra el tiempo de reflexión.

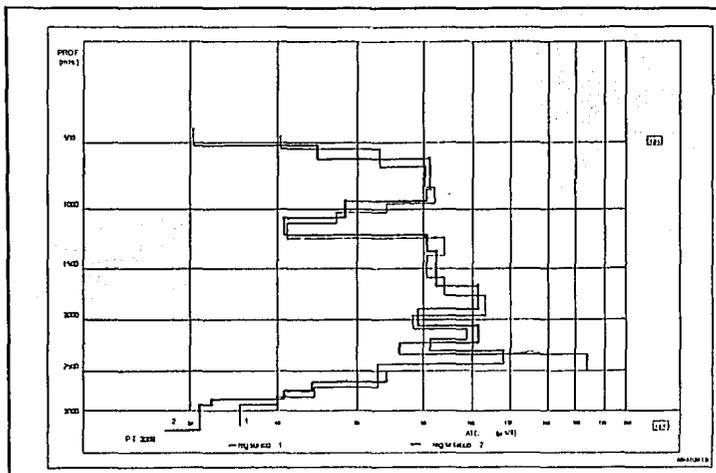
De los datos del análisis automático de velocidad se obtienen perfiles de velocidad de intervalo y consecuentemente los tiempos de tránsito, a lo que comunmente se le conoce como registro sísmico.

El objetivo es de visualizar que exista una traza sísmica cercana al pozo perforado, que represente adecuadamente las características de las formaciones atravesadas y compararlo con el registro sónico de porosidad obtenido del pozo en cuestión. Por otro lado, es importante considerar las posibles alteraciones de los parametros de formación en donde haya ocurrido una pérdida de fluido.

En realidad para esta comparación se hizo uso de técnicas conocidas y utilizadas en la exploración petrolífera, ya que la obtención de sismogramas sintéticos a partir del registro sónico y del registro de densidad, es una práctica común para ligar la información de pozo y de los datos sísmicos.

La idea de poner el ejemplo del pozo Abkatun 1B, el cual se perforó hasta 3309 m., es demostrar que ambos registros tratan de representar la misma información de velocidades, pero muestran diferentes resoluciones, además de observar que existen determinados

valores que de una y otra forma se pueden relacionar con las zonas de pérdidas de fluido, lo anterior puede observarse en la figura 2.6.



*fig. 2.6.- Comparación entre los valores del Registro Sísmico, Sónico en una Zona de Pérdida de Circulación, se observa una disminución en los valores de tiempo de tránsito de 90  $\mu$ s/ft a 30  $\mu$ s/ft.*

Por otro lado se presentan en forma similar el mismo análisis para el pozo Bellota- 101 y Canalete- 1. de la Región Sur que se presentan en las figuras 2.7 y 2.8. de las cuales podemos decir que existe gran similitud entre el registro sísmico y el sónico, así como también se observa que en la zona de pérdida de fluido hay una disminución de los valores del tiempo de tránsito.

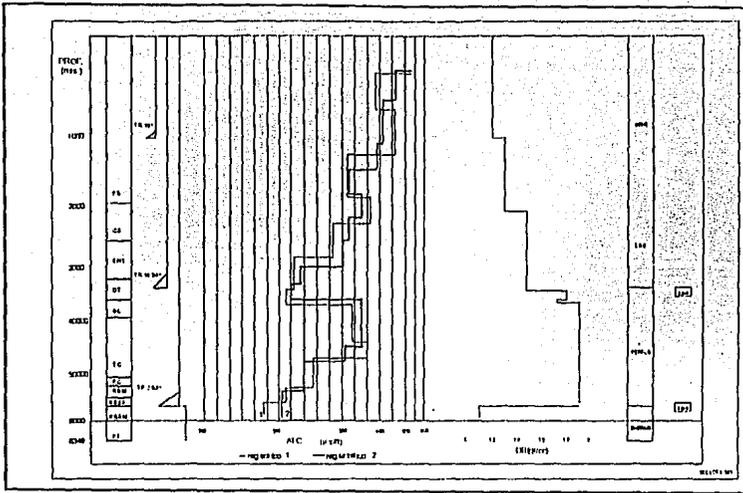


fig. 2.7.- Forma comparativa entre los Registros Sísmico y Sísmico

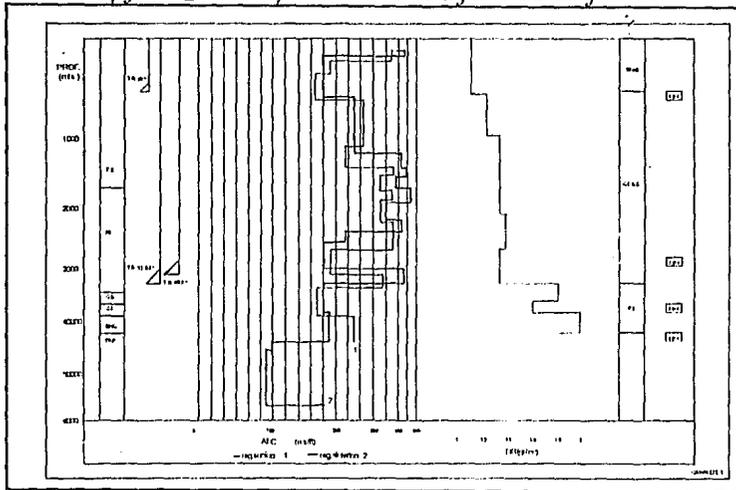
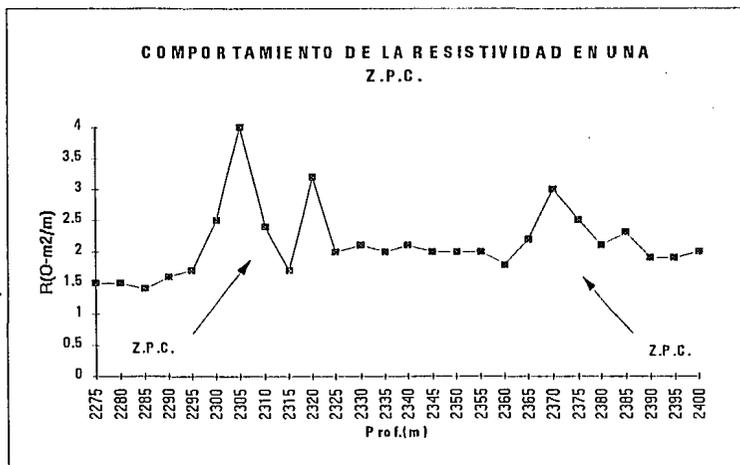


fig 2.8.- Gráfica del Pozo Canalatr-1, donde se observa al igual que en las figuras anteriores una disminución de los valores del tiempo de tránsito en las I.P.C.

Por último se presenta el análisis de los parámetros de formación únicamente en la zona de pérdida de fluido del Pozo Cuatro Milpas del Distrito Frontera, de la figura 2.9 a la 2.13. de las cuales podemos comentar que por ejemplo la resistividad en el intervalo conocido de las pérdidas de fluido se ven alterados, es decir su valor se incrementa de 1.5 a 2 hasta cerca de 4  $\Omega/m$  en la zona de problemas. En forma contradictoria la conductividad cuyo valor disminuye hasta 250 (mhm / m). El parámetro de la densidad de un valor promedio de 2.5 disminuye hasta cerca de 2.2 ( $gr/cm^3$ ), así mismo podemos observar que tanto el tiempo de tránsito como la porosidad presentan alteraciones en las zonas de pérdida de fluido.

Lo anterior tiene como finalidad de mostrar que si se presenta una relación del comportamiento de los parámetros de formación en la zona de pérdida de fluido, así como también podemos decir que tanto el registro sísmico como el sónico de donde se obtiene el tiempo de tránsito presentan similar comportamiento.



En la fig. 2.9 se presenta el comportamiento de la Resistividad en la cual observamos en las Z.P.C.

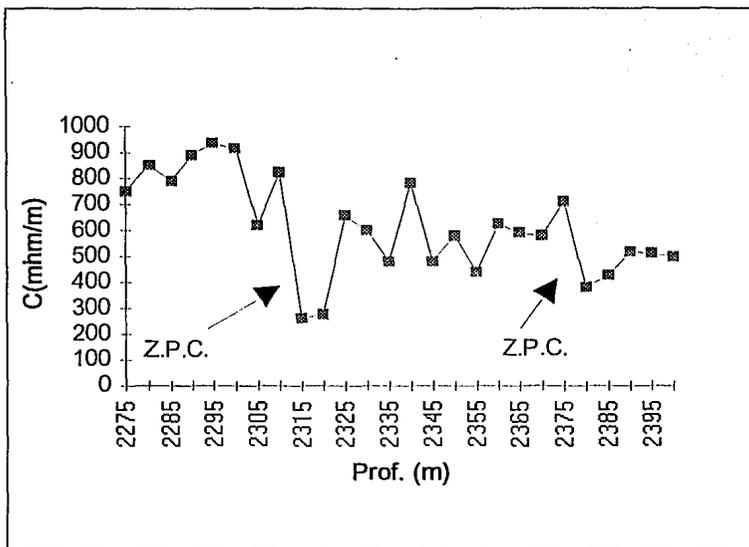


Fig. 2.10.- En las Z.P.C. los valores de continuidad tienden a disminuir.

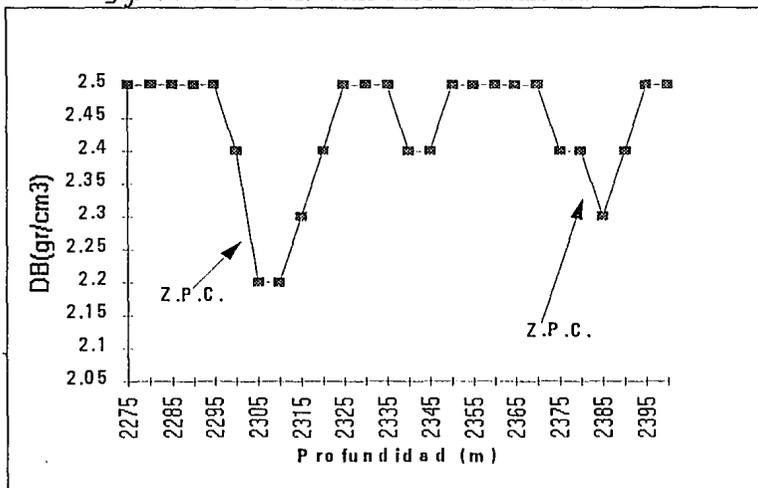


Fig. 2.11.- De la misma forma que la Conductividad los valores de la Densidad en la Z.P.C. disminuyen sus valores.

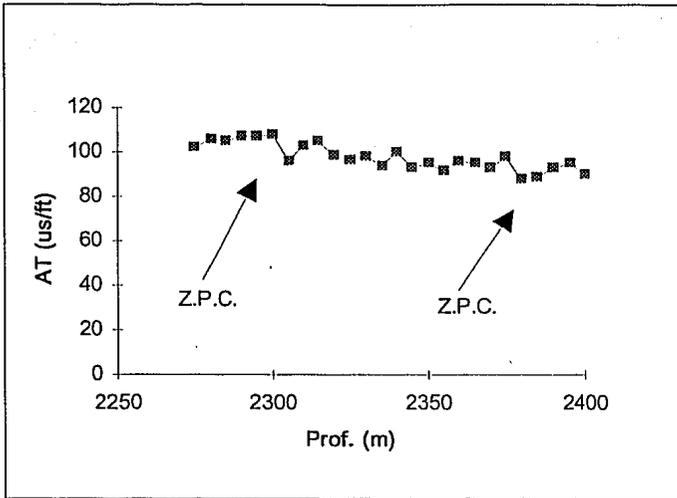


Fig. 2.12.- Los valores de Tiempo de Tránsito muestran una ligera disminución pero apreciable en la

Z.P.C.

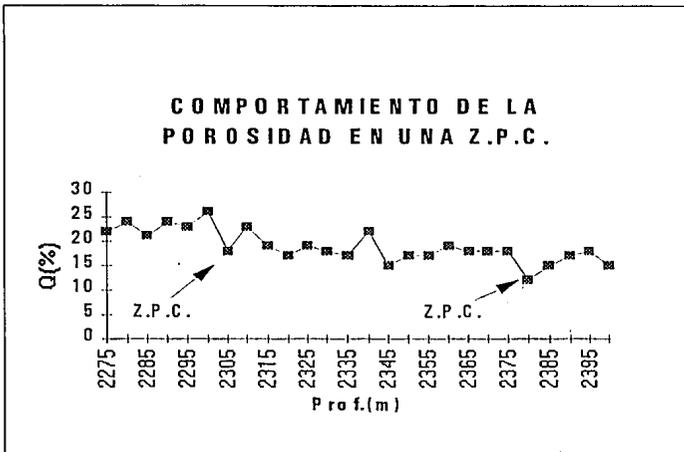


Fig. 2.13.- Los valores de Porosidad en las Z.P.C. tienden a aumentar en un principio e inmediatamente se presenta una disminución.

## CAPITULO 3

### 3.- ZONAS CON FRACTURAS NATURALES Y SU RELACION CON LA MECANICA DE ROCAS

El desarrollo de los programas sinérgicos representa una gran ayuda para la interpretación de las diversas propiedades in-situ de las rocas. Por lo tanto es de interés conocer su relación con las zonas de pérdidas de fluidos, la velocidad de propagación de las ondas sísmicas y las constantes elásticas.

#### 3.1 ONDAS Y VELOCIDADES

Los registros sísmicos, están basados en ciertas propiedades físicas de la materia, los cuales fueron planteados por Gudoy y Shane<sup>13</sup> mencionando que si dentro de la masa de cualquier material elástico, un agente físico desplaza momentáneamente una de las moléculas una cierta distancia de su posición de equilibrio, la molécula tenderá a regresar a su posición original en cuanto cesa la acción del agente perturbador; esta molécula a su vez transmite un movimiento a sus vecinas, ocasionando un movimiento vibratorio u oscilatorio que se llama onda elástica; se dice entonces que la onda se propaga. En términos generales se puede decir que el movimiento vibratorio de estas partículas obedece las leyes de un movimiento armónico simple, el desplazamiento de la partícula con respecto al tiempo se puede representar por medio de una curva seno o senoide.

Cuando una onda acústica cambia de un medio de propagación a otro en la frontera, se transforma parcialmente en ondas de otros tipos. A esto se llama conversión de modo de propagación.

Si rompemos el equilibrio de un cuerpo isotrópico y elástico mediante una presión o vibración instantánea aplicada en un punto cualquiera del mismo y expresamos analíticamente las ecuaciones de equilibrio de dicho cuerpo, obtendremos un sistema de ecuaciones de las cuales se han deducido cuatro soluciones que dan lugar a las ondas de Compresión (P), Cizallamiento (S), Rayleigh y Love.

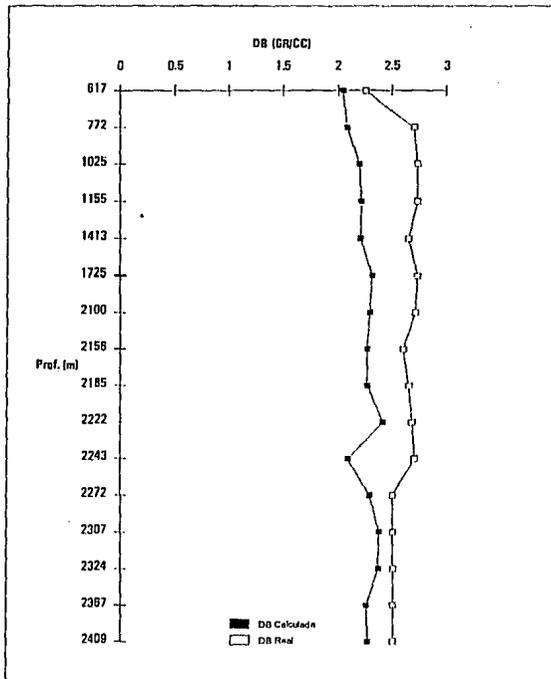
Las ondas de compresión se caracterizan porque la dirección del movimiento de las partículas es el mismo que el de la propagación de la onda formando un ángulo de 180°. Por otro lado las ondas transversales o de cizallamiento son aquellas en las que el movimiento de vibración de las partículas forma un ángulo recto con la dirección de propagación de la onda. Las ondas Rayleigh solo se propagan a lo largo de la superficie libre de un sólido elástico y el movimiento de las partículas, siempre en un plano vertical. Por último las ondas Love son solamente observables cuando hay una capa de baja velocidad superpuesta a un medio el cual tiene mayor velocidad las ondas elásticas.

Por otro lado las velocidades de los materiales sólidos no porosos, dependen de su composición química o mineralógica; la presión y la temperatura casi no las alteran. Cuando estos materiales son porosos, su velocidad depende además, de la porosidad y de la naturaleza de los fluidos que contienen.

Existe una gran variedad de características de las rocas que afectan directamente la velocidad de propagación. Entre las más importantes podemos citar: La litología, la edad geológica, la profundidad, la porosidad, la presión de formación, la densidad y el tipo de fluidos. Gardner, L.W.<sup>14</sup>, determinó que al graficar la velocidad contra la densidad en escala logarítmica, la velocidad se comporta en forma lineal para casi todos los tipos de roca y encontró una ecuación empírica para calcular la densidad en función de la velocidad que es válida para casi todas las rocas.

$$DB = 0.23 \times V^{0.25} \dots\dots\dots (3.1)$$

Debido a la importancia de analizar la densidad obtenida a partir de velocidades, se realiza un cálculo de sensibilidad al considerar valores reales de la misma, como ejemplo de ello se tomaran datos del Pozo Cuatro Milpas N.18, el cual se perforó a 2400 m. La comparación se muestra en la figura 3.1, en la cual podemos observar que generalmente la densidad real del pozo es mayor que la obtenida con la ecuación 3.1. De esta manera se puede ver que el método presentado tiene cierto margen de error en las zonas que no tienen problemas de pérdida de circulación, y una aceptable exactitud en las zonas con pérdida de fluido.



*La fig. 3.1. nos muestra la comparación entre la densidad calculada y la real del pozo, observando que la densidad real es mayor que la calculada.*

Faust, L.Y.<sup>15</sup> en 1950, realizó un estudio de velocidades sísmicas en rocas sedimentarias. Los datos los obtuvo en más de 500 registros de velocidad de los pozos petroleros de la Corporation Petroleum Amarada, en E.U. y Canadá, recopilados en un período mayor a quince años. Este autor consideró la velocidad como función de la profundidad, la edad geológica y la litología. Sin embargo, encontró que la litología varía considerablemente en las areniscas y las rocas carbonatadas. Al mantener constante la litología, determinó que no afecta al valor de la velocidad de intervalo, siempre y cuando se trate de cuerpos de arenas y lutitas. Concluyó sus estudios al establecer una relación entre la velocidad y las formaciones determinando rangos de variación, muestra de ello es que si la velocidad se encuentra en el intervalo de 20000 a 21000 (ft/s) la formación sería Arenisca. Al relacionarla con lo establecido según PICKETT<sup>31</sup>, el tiempo de tránsito de cizallamiento (ATS) se puede obtener a través de fórmulas empíricas, como puede observarse en la fig. 3.2.

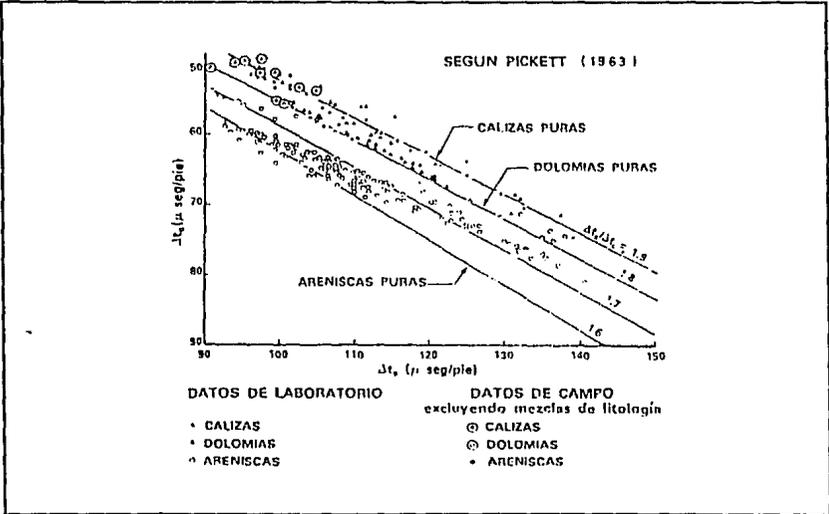


Fig. 3.2.- Relación entre  $\Delta t_s$ ,  $\Delta t_s$  y el factor de formación "f"

De esta forma se obtiene el factor  $f$  el cual variará de acuerdo al tipo de formación obtenida en función de la velocidad determinada, de esta forma ATS esta en función de la velocidad y el factor correspondiente.

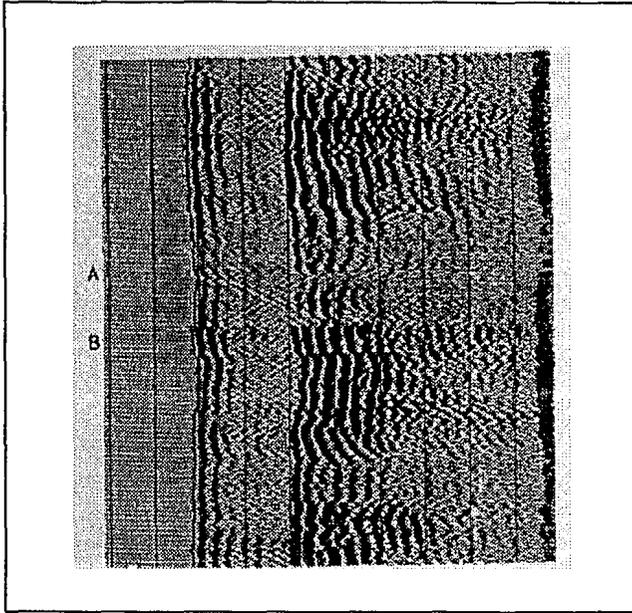
Por lo tanto, el conocimiento de la velocidad, es de suma importancia, ya que es el punto de partida para la detección de los diferentes parámetros a utilizar en la detección de zonas de pérdidas de circulación.

### 3.2 REGISTROS UTILIZADOS PARA DETECTAR FRACTURAS NATURALES

Las herramientas de registro están diseñadas para responder a diferentes características del pozo. Desafortunadamente, ninguna responde directamente a las fracturas y en particular las abiertas. Al buscar en los registros zonas fracturadas, la búsqueda se concentra generalmente en áreas donde se sospecha su presencia por las siguientes razones: Antecedentes locales de fracturas naturales, extrapolación de observaciones de afloramientos, aumento en la velocidad de penetración, presencia de cristales en los cortes de perforación, pérdidas de circulación, mala ó nula recuperación de muestras.

Dentro de los principales registros para definir zonas con probable fracturamiento son:

A.- Registro Sónico.- Uno de los indicadores de fracturas más antiguos es el de las ondas acústicas. Las mediciones basadas en la propagación de ondas sónicas responden a las propiedades mecánicas de la roca y el medio no las afecta. Desafortunadamente, tanto cambios en el diámetro del agujero como capas delgadas de diferente litología pueden producir anomalías similares a las producidas por fracturas como puede observarse en la figura 3.3.

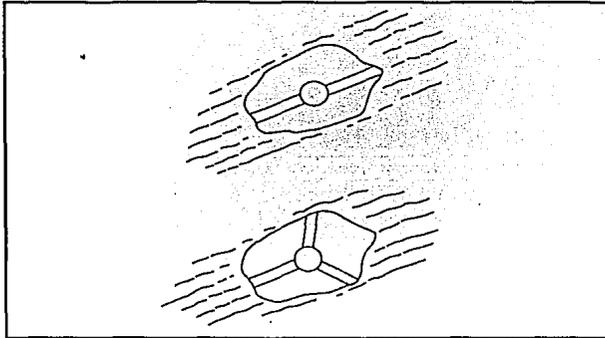


*La fig 3.3 es un ejemplo de aplicación del registro sísmico de onda completa donde se identifica con las*

*letras*

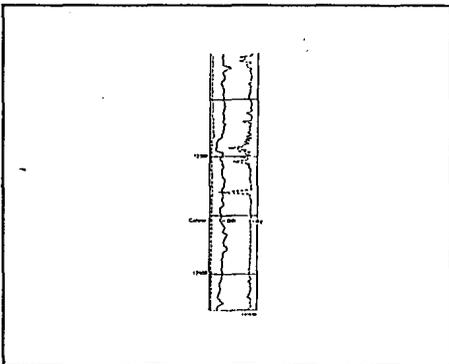
*A - B la zona de posibles fracturas*

B.- Mediciones de Calibrador de Pozos.- Al perforar una zona fracturada, los bordes rocosos de las fracturas a menudo se despostillan, lo que agranda el agujero y en particular su alargamiento en una formación que debería tener un agujero circular y calibrado puede indicar fracturas. Se debe ser muy cauteloso al usar el calibrador para detectar fracturas. La forma elíptica del agujero puede deberse a diversos factores, tales como: Perforación direccional, agujero desviado, perforación a través de capas inclinadas y sobre todo los intervalos en donde predominan las arcillas, ya que la respuesta puede ser similar. ( ver fig.3.4 ).



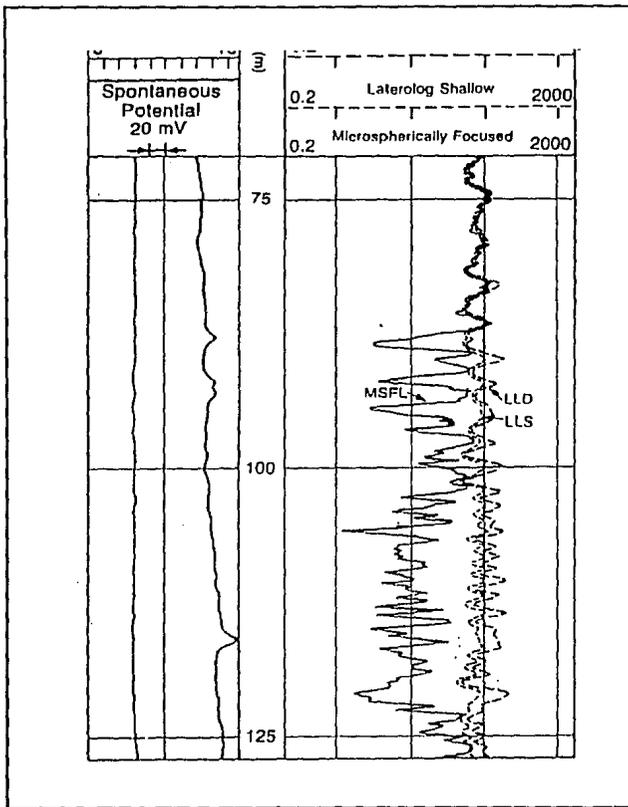
*La fig. 3.4 muestra que las irregularidades del pozo pueden causar errores de apreciación.*

C.-Mediciones de Densidad.- EL registro de densidad es otro indicador de fracturas. Responde a la rugosidad del agujero y al espesor del enjarre, pero también a una fractura llena de fluido (particularmente cuando los bordes de la fractura han sido despostillados durante el proceso de perforación). Una desventaja de la curva para detectar fracturas es que sólo ve una pequeña parte del agujero y, por lo tanto, puede no acertar a encontrar la fractura como se muestra en la figura 3.5.



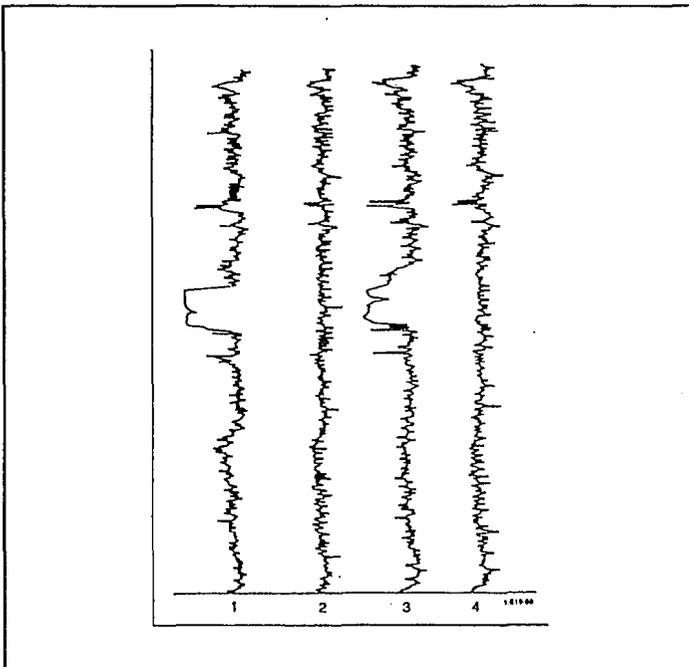
*En la fig. 3.5 se muestra un ejemplo de aplicación del registro de densidad se identifica la zona probable de fracturas.*

D.- Mediciones de Resistividad.- Bajo condiciones apropiadas, las herramientas de resistividad pueden ser bastante eficaces para localizar zonas fracturadas. Entre mayor sea la separación en las curvas del registro, mayor será la intensidad de la fractura ( ver fig 3.6. ).



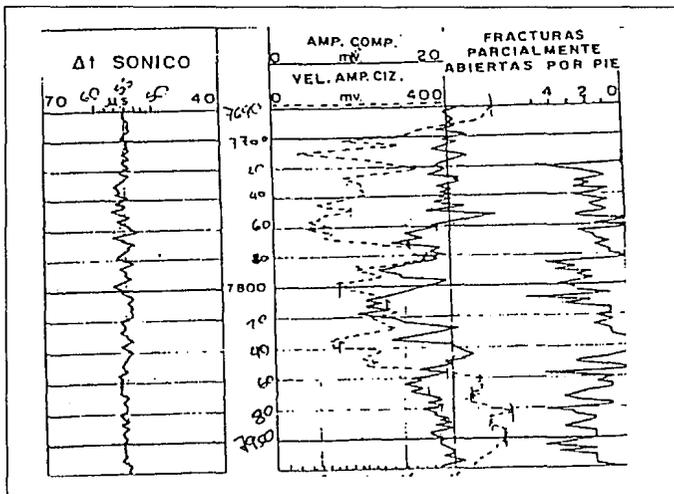
La fig. 3.6 en el intervalo de 100 a 125 mts. muestra probable zona de fracturas.

E.- Mediciones de Echado.- Las mediciones de microresistividad, son tal vez uno de los métodos más sencillos y eficaces para detectar fracturas. Cuando el lodo invade un sistema de fractura, generalmente provoca una lectura de microresistividad más baja en el patín frente a la fractura. Una comparación de las mediciones de patines adyacentes, (es decir separado por  $90^{\circ}$  ), indica fracturas. Si no existen diferencias, la probabilidad de fracturas es baja, si existen diferencias, la probabilidad es alta como se observa en la figura 3.7, el método no es perfecto pues los patines solamente cubren el 40% de la superficie de la pared en un agujero de 8"(20 cm).



*En la fig. 3.7 las curvas 1 y 3 nos indican la posible existencia de una fractura.*

Recientemente el uso de herramientas LSS, registro sónico de espacio largo, y Array-Sonic para registrar el tren de ondas sónicas ha cobrado popularidad. Además de los dos tiempos de viaje (cizallamiento y compresional) también puede registrarse la energía de los paquetes de onda de cizallamiento y compresional y su contenido respectivo de frecuencias. La herramienta Array-Sonic emite una cantidad dada de energía. Al medir la cantidad de energía que llega al receptor, se puede obtener una indicación de la compactación de la formación. Una señal muy intensa en el receptor sugiere una roca compacta con baja probabilidad de fracturas mientras que una fuerza muy baja de la señal sugiere una gran probabilidad de fracturas como se muestra en la figura 3.8. Claramente se observa que existe un problema al tratar de identificar una zona con fracturas naturales por las distintas alteraciones en las respuestas de los registros. Esto es una base más para el objetivo del presente trabajo<sup>16,17</sup>.



La fig. 3.8 ejemplifica la forma de detección de fracturas.

### 3.3 LA MECANICA DE ROCAS EN LAS ZONAS DE PERDIDA DE CIRCULACION

Para comprender los problemas de la mecánica de rocas, es necesario conocer los siguientes puntos como pueden ser los esfuerzos in-situ de la roca; la concentración de esfuerzos; la presión hidrostática del lodo; y, la resistencia de la roca. Para ello han sido desarrollados diferentes modelos matemáticos que representan el comportamiento de la roca por medio de ecuaciones constitutivas y distintos criterios los cuales determinan el estado de falla de la roca. Existe una gran cantidad de estudios realizados en este tópico, así podemos mencionar los siguientes modelos de mayor importancia: El Modelo Lineal Elástico, el Elástico Plástico, el de Elasticidad Dependiente del Esfuerzo, el Rígido plástico, etc. Algunos investigadores han incorporado los efectos de endurecimiento por deformación y reblandecimiento de la formación. Por lo tanto, es difícil de apreciar la calidad de un modelo constitutivo debido a que existen cierto número de incertidumbres en cada modelo<sup>18,19</sup>.

En la ciencia del estudio de las rocas, hay una creciente necesidad de desarrollar herramientas matemáticas para lograr simular problemas físicos. Hoy en día, en particular los pozos de aceite están siendo perforados a mayores profundidades, bajo tales condiciones, la mecánica de rocas, puede en sí misma, ser un factor primordial para en base a su estudio se puedan conocer mejor los diferentes problemas que se presentan durante la perforación<sup>20,21</sup>. En base a lo anterior, la idea de utilizar registros para el estudio de las propiedades mecánicas ha sido considerado por varios investigadores. Gstalder and Reynal<sup>22</sup> establecieron una relación entre la velocidad compresional sónica, el módulo de Young, y la dureza de la roca. Los resultados de sus estudios indicaron que era posible predecir la resistencia de las rocas a partir de datos del registro sísmico.

Elkington<sup>23</sup> analizó resultados de pruebas de carga puntual realizadas en diferentes tipos de rocas y las compararon con respuestas de diferentes registros concluyendo que el sísmico, el neutrón, y el de rayos gamma eran los que mejor caracterizaban la resistencia de las rocas.

Somerton<sup>24</sup> extendió el trabajo de Gstalder y Reynal, y propusieron un factor por mineralogía para correlacionar velocidades sísmicas con la dureza de los carbonatos. Onyia<sup>25</sup> estableció una serie de correlaciones estadísticas entre la porosidad, la velocidad compresional sísmica, la resistividad y la dureza de las rocas. Su trabajo indicó que la porosidad parece ser el factor que controla las relaciones entre la dureza de las rocas. Aunque la mayoría de los estudios realizados fueron de laboratorio, bajo condiciones de carga estática y presión atmosférica en un número limitado de muestras y tipos de rocas. Con el desarrollo en los últimos años de los registros, se han podido crear modelos de interpretación con los cuales se puede caracterizar el comportamiento mecánico de las rocas.

Actualmente, se trabaja a través de modelos sinérgicos de interpretación, como el programa de Evaluación de Propiedades Mecánicas que sirve para poder determinar los esfuerzos in-situ de las formaciones en estudio. La desventaja que presenta este tipo de evaluación para nuestro objetivo, es que es necesario correr determinados registros una vez perforado el pozo; pero como se tiene como finalidad estudiar el problema de la pérdida de fluido previo a la perforación, es necesario presentar un programa con este fin, para establecer una relación entre las constantes elásticas y los esfuerzos in-situ de la roca<sup>26</sup>.

Las constantes elásticas, que determinan la capacidad de las rocas para resistir esfuerzos, pueden ser relacionadas con parámetros medidos a partir de los registros geofísicos, tales como la densidad de formación y sísmico.

Además de la obtención de las constantes elásticas, el programa en estudio relaciona las rocas mediante el análisis de los esfuerzos ambientales de las mismas. Las propiedades derivadas de la medición en el laboratorio de la deformación de una muestra de roca sometida a un esfuerzo determinado, son las constantes elásticas estáticas.

Las constantes elásticas dinámicas se pueden determinar por la medición de velocidades de propagación de una onda elástica dentro de un material. El registro sísmico y las formas de onda contienen la información necesaria para conseguir tal medición y por lo tanto, determinar las propiedades mecánicas de las rocas. Las relaciones usadas entre las constantes elásticas y los parámetros de formaciones se presentan en la Tabla 3.1.

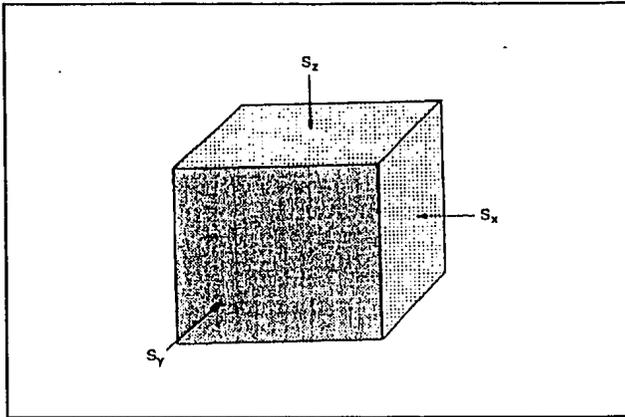
$\mu$	RELACION DE POISSON	$\frac{\text{DEFORMACION LATERAL}}{\text{DEFORMACION LONGITUDINAL}}$	$\frac{1/2 (J_1/J_2)^2 - 1}{(J_1/J_2)^2 - 1}$
G	MODULO DE CIZALLAMIENTO	$\frac{\text{ESFUERZO APLICADO}}{\text{DEFORMACION CIZALLAMIENTO}}$	$\frac{DB}{\Delta t_s^2} \times a$
E	MODULO DE YOUNG	$\frac{\text{ESFUERZO APLICADO}}{\text{DEFORMACION NORMAL}}$	$2 G (1 + \mu) \times a$
KB	MODULO DE VOLUMEN	$\frac{\text{ESFUERZO APLICADO}}{\text{DEFORMACION VOLUMETRICA}}$	$DB \left( \frac{1}{\Delta t_s^2} - \frac{4}{3 J_1^2} \right) \times a$
CB	MODULO DE COMPRESIBILIDAD	$\frac{\text{DEFORMACION VOLUMETRICA}}{\text{ESFUERZO APLICADO}}$	$\frac{1}{KB}$

$$a = 1.34 \times 10^{10} \text{ si } DB \text{ (gr/cm}^3\text{)} \text{ y } ATS, ATC \text{ en } \mu\text{s/ft}$$

*Tabla 3.1 Constantes elásticas dinámicas.*

Es posible evaluar los esfuerzos que actúan en la formación y en la vecindad inmediata del agujero, mediante la combinación de los valores de las constantes elásticas dinámicas y de los datos de presión de poro, presión de sobrecarga y litología.

Primero, consideremos un elemento de roca ubicado a alguna distancia del agujero como se muestra en la figura 3.9, el sistema triaxial mantiene el bloque estacionario. La componente vertical es la presión de sobrecarga.



*Fig 3.9 Análisis de un elemento de roca a una x distancia del agujero.*

Los componentes horizontales  $S_x$  y  $S_y$  a  $90^\circ$  una de la otra, son iguales si no existe ningún esfuerzo tectónico regional de dirección preferencial. Si el esfuerzo tectónico ( $S$ ) es conocido los esfuerzos horizontales se pueden representar de la siguiente forma:

$$S_x = m \times P_s + a \times P_p \times (1 - m) \times S \dots\dots\dots (3.2)$$

$$S_y = m \times P_s + a \times P_p \times (1 - m) \dots\dots\dots (3.3)$$

$$S_z = P_s \dots\dots\dots (3.4)$$

Ahora, si consideramos un elemento de roca ubicado en la periferia del agujero como puede observarse en la figura 3.10, los esfuerzos se pueden describir en un sistema de coordenadas cilíndricas.

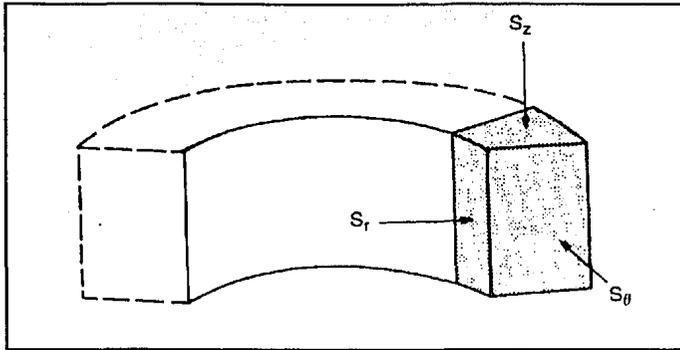


Fig. 3.10 Análisis de un elemento de roca en la periferia del agujero.

La componente radial del esfuerzo es la presión hidrostática (  $P_m$  ) que actúa sobre la pared del agujero. Es el único esfuerzo aplicado durante la operación de registros.

$$S_r = P_m \dots\dots\dots (3.5)$$

$$S_o = 3 \times S_x - S_y - P_m \dots\dots\dots (3.6)$$

$$S_z = P_s + 2 \times u \times (S_x - S_y) \dots\dots\dots (3.7)$$

Estas relaciones representan los esfuerzos soportados por un sistema poroso lleno de fluido. Para obtener los esfuerzos efectivos que actúan sobre la roca, es necesario restar los esfuerzos que resultan de la acción del fluido sobre el sistema.

$$S_{r\text{ef}} = S_r - a \times P_p = P_m - a \times P_p \dots\dots\dots (3.8)$$

$$S_{o\text{ef}} = S_o - a \times P_p = 3 \times S_x - S_y - P_m - a \times P_p \dots\dots\dots (3.9)$$

$$S_{z\text{ef}} = S_z - a \times P_p = P_s + 2 \times u \times (S_x - S_y) - a \times P_p \dots\dots\dots (3.10)$$

En estas ecuaciones, se considera que la diferencia entre la presión hidrostática y la presión de formación está soportada por el enjarre.

La componente tangencial ( $S_\theta$ ) del esfuerzo es realmente la base del análisis de fracturamiento. Se pueden presentar dos situaciones, según el valor del parámetro ( $S_r$ ) de resistencia natural de tensión de la roca ( ver fig. 3.11. ).

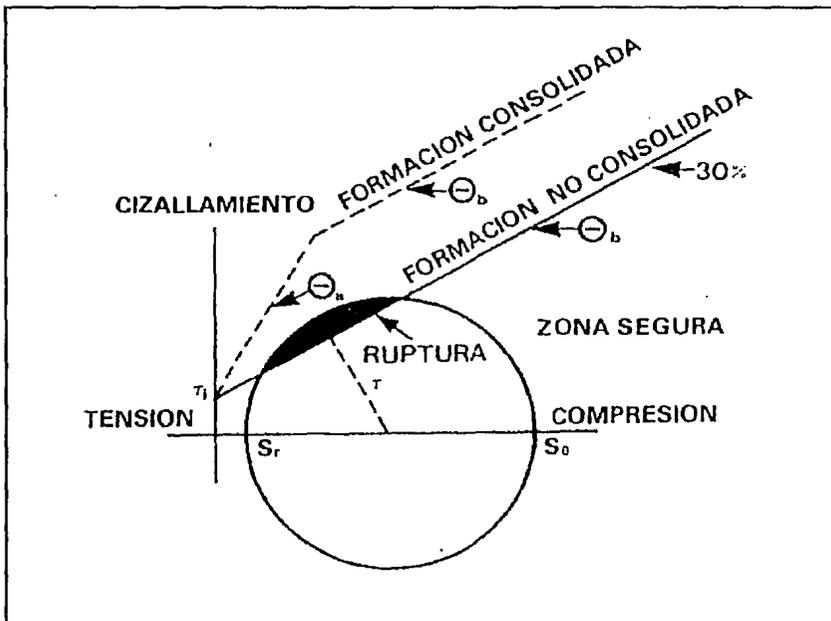
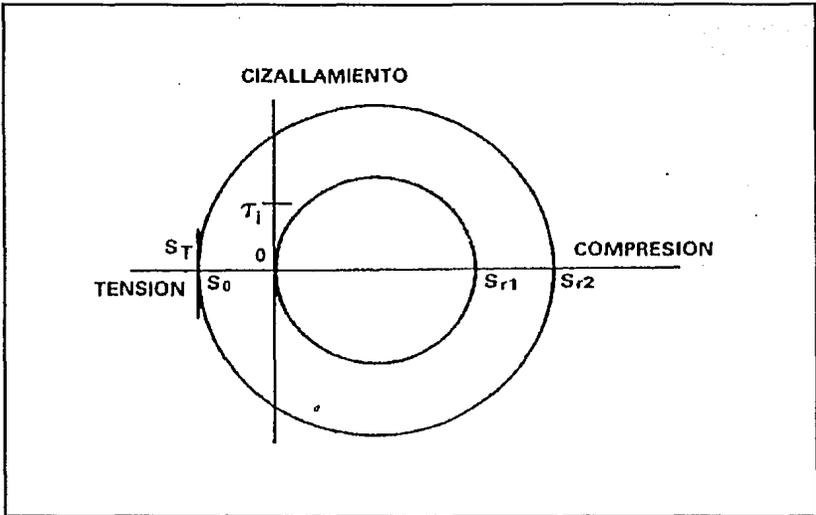


Fig. 3.11 Análisis de fracturamiento.

Si la resistencia natural de tensión ( $S_r$ ) es nula pueden ocurrir pérdidas de lodo desde el instante preciso en que la curva ( $S_\theta$ ) pasa por O ( ver fig.3.12. ).



*Fig. 3.12 Análisis de fracturamiento.*

En este caso, el gradiente de presión de fracturamiento determinado por el programa, corresponde al peso máximo de lodo que se debe aplicar para evitar la pérdida de fluido.

El segundo caso es cuando ( $S_f$ ) es igual a ( $T_i$ ), el cual no es objetivo de este estudio.

Con lo anterior se está en condiciones de poder elaborar el programa para detectar las zonas de pérdida de fluido, que es la razón del presente trabajo<sup>27,28</sup>.

## CAPITULO 4

### 4.- DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE COMPUTO PARA DETERMINAR LAS ZONAS DE PERDIDAS DE CIRCULACION

El objetivo del presente capítulo es de elaborar un programa de cómputo que represente el medio para poder determinar las Z.P.C. El análisis se lleva a cabo a partir de la información sísmica, como se muestra en el diagrama de flujo general. El estudio comprende desde la determinación de la velocidad de intervalo hasta el análisis de esfuerzos in-situ de la roca.

El programa está desarrollado en forma estructurada para su fácil entendimiento y aplicación, la presentación de resultados es en forma numérica, de tal forma que se pueda observar las alteraciones o el cambio donde se presente la zona de pérdida de fluido.

El Programa tiene un gran variedad de ventajas, iniciando con la programación, presentación, manejo de datos, análisis de variables y funciones de salida.

#### PROCEDIMIENTO GENERAL:

Las primeras funciones son para la presentación del programa, por otro lado también se declaran las constantes y variables. Posteriormente se hace uso de ciertas funciones de librería que son útiles para realizar cálculos. Finalmente se elabora las formas de presentación de los resultados.

A partir de la función principal main ( ) se declaran el nombre de las funciones que componen el programa principal, con la particularidad de que se utiliza el nombre de la correlación empírica utilizada.

Una de las funciones más importantes es la de DIX<sup>12</sup>, en ésta se realiza el cálculo de la velocidad de intervalo ( *VI* ), tiempo de tránsito compresional ( *ATC* ) y la profundidad de análisis ( *Z* ) con base en la siguiente ecuación.

$$VI = \frac{(Vr[i] \times td[i]) - (Vr[i-1] \times td[i-1])}{td[i] - td[i-1]} \dots\dots\dots (4.1)$$

Otra no menos importante es la de PICKETT<sup>31</sup>, con esta correlación se determina la litología en función de " *VI* " y el tiempo de tránsito de cizallamiento ( *ATS* ) será calculado por medio de la siguiente expresión.

$$ATS = ATC[i] \times f \dots\dots\dots (4.2)$$

el factor dependerá de la formación determinada con anterioridad.

La correlación de GARDNER<sup>14</sup> se utiliza para que en función del valor de " *VI* " se pueda calcular la densidad de formación ( *DB* ) con la siguiente expresión.

$$DB = 0.23 \times VI^{0.25} \dots\dots\dots(4.3)$$

Hasta este punto las expresiones anteriores nos servirán de base para calcular las constantes elásticas.

La determinación de las constantes elásticas es la parte medular del programa, debido a que la posible alteración de alguna de ellas nos servirá de patrón para identificar las zonas de pérdidas de fluido, para esto se utilizan las ecuaciones presentadas en la tabla 3.1 y que en el programa de cómputo se representan de la siguiente expresiones:

$$U[i] = a \frac{(ATS[i] + ATC[i])^2 - 2}{(ATS[i] + ATC[i])^2 - 1} \dots\dots\dots(4.4)$$

$$G[i] = a \frac{DB[i]}{(ATS[i])^2} \dots\dots\dots(4.5)$$

$$E[i] = a \times G[i] \times (1 + U[i]) \dots\dots\dots(4.6)$$

$$KB[i] = a \times DB[i] \times (1 / ATC[i]^2 - 4 / 3 \times ATS[i]^2) \dots\dots(4.7)$$

$$CB[i] = 1 / KB[i] \dots\dots\dots(4.8)$$

$$M[i] = \frac{U[i]}{1 - U[i]} \dots\dots\dots(4.9)$$

Una vez determinadas las constantes elásticas, es necesario calcular las presiones de poro y sobrecarga con las siguientes expresiones.

$$PP[i] = \frac{Z[i] \times c}{10} \dots\dots\dots (4.10)$$

$$PS[i] = \frac{DB[i] \times Z}{10} \dots\dots\dots (4.11)$$

Lo anterior es con la finalidad de poder realizar el análisis in-situ de la roca en coordenadas cartesianas con la representación en el programa de la forma siguiente: (ver ecuaciones de la 3.2 a la 3.4.)

$$SX[i] = (M[i] \times PS[i] + a) \times PP[i] \times (1 - M[i]) \dots\dots\dots (4.12)$$

$$SY[i] = (M[i] \times PS[i] + a) \times PP[i] \times (1 - M[i]) \dots\dots\dots (4.13)$$

$$SZ[i] = PS[i] \dots\dots\dots (4.14)$$

en igual forma se hace la consideración en coordenadas cilíndricas cuya representación en el programa es de la siguiente forma ( ver ecuaciones de la 3.5 a la 3.7).

$$SR[i] = PS[i] \dots\dots\dots (4.15)$$

$$S\theta = 3 \times SX[i] - SY[i] - PS[i] \dots\dots\dots (4.16)$$

$$SZ[i] = PS[i] + 2 \times U[i] \times SX[i] - SY[i] \dots\dots\dots (4.17)$$

Las ecuaciones anteriores ( 4.12 a 4.17 ) fueron codificadas para elaborar el programa de cómputo para la determinación de posibles zonas de pérdidas de fluido.

Para ilustrar el uso de las ecuaciones presentadas se calculan los dos puntos iniciales de los datos del Pozo Canalete 1, el ejemplo se detalla en el APENDICE 3.

La parte final del programa nos presenta dos alternativas para la obtención de resultados, tanto en pantalla como en forma de listado.

EL programa completo se presenta en el APENDICE 1<sup>o</sup>.

## CAPITULO 5

### 5.- APLICACIONES DEL PROGRAMA A DIFERENTES ZONAS

Con objeto de validar el programa desarrollado, se decidió aplicarlo en las diferentes zonas, esto permite comparar los resultados obtenidos con la información de los pozos. La aplicación del programa representa una gran ventaja, ya que por medio de él analizaremos los diferentes comportamientos que se presentan en cada uno de los pozos que tomaremos para estudio.

Para aplicar el método para la detección de pérdida de circulación se obtuvo información de diferentes pozos, ésta será en forma concreta señalando los puntos de mayor interés en lo relacionado a las zonas de pérdida de fluido.

Los datos fueron recabados de la Superintendencia de Exploración y Perforación de las tres regiones Norte, Sur y Marina que comprende PETROLEOS MEXICANOS.

#### POZO CANALETE-1.

Este pozo se encuentra localizado en el área Encrucijada perteneciente a lo que era antes la Región Sur con sede en Coatzacoalcos, Ver. La fecha de inició de perforación fue el 16 de junio de 1987, cuyo objetivo era evaluar el posible potencial económico petrolero de las rocas carbonatadas del Cretácico a la profundidad de 6000 m.

La 1era. zona de pérdida de circulación se presentó a 535 m, con una densidad de 1.10 gr / cm<sup>3</sup>. La 2da. se tuvo a 2898 m y una densidad de 1.36 gr / cm<sup>3</sup> y lodo CLSE. La 3era. de 3315 a 3465 m, con una densidad de 1.82 gr / cm<sup>3</sup> y lodo de E.I.

La profundidad total del pozo fue de 4134 m, se taponó por accidente mecánico en Agosto de 1991.

De los datos que nos proporciona la línea sismológica SP-170. donde se localizó el pozo antes mencionado se corrió el programa obteniendo los resultados que se observan ( TABLA 5.1 ) y sus correspondientes Fig's. ( 5.1 a 5.4 ) localizadas en el Apéndice 2.

De la  $\mu\text{s}/\text{ft}$  figura 5.1 podemos observar que el tiempo de tránsito compresional ( ATC ) a la profundidad de 449 m, tiene un valor de 120 , posteriormente tiende a un valor promedio de 130  $\mu\text{s}/\text{ft}$ . A la profundidad de 2711 a 3712 m presenta alteraciones de un valor promedio de 90  $\mu\text{s}/\text{ft}$  a 50  $\mu\text{s}/\text{ft}$ , coincidiendo con la zona de pérdida de circulación ( Z.P.C. ). La figura 5.2 donde se analizan los valores del tiempo de tránsito compresional ( ATC ) y el tiempo de tránsito cizallamiento ( ATS ) se observa un comportamiento similar en las zona de pérdida de circulación ( Z.P.C. ) existe otra alteración a la profundidad de 5450 m, donde no es posible asegurar la existencia de algún problema, ya que no se perforó hasta esa profundidad. Por otro lado se analiza el comportamiento de los módulos Cizallamiento ( G ) y Young ( E ) en la figura 5.3 que presenta similitud en el comportamiento de los valores en las zona de pérdida de circulación ( Z.P.C. ) sobre todo el módulo de Young ( E ), en la última figura 5.4 se presentan los valores de los esfuerzos con una tendencia clara de incrementar sus valores en las zonas de pérdidas de fluidos.

#### POZO CUATRO MILPAS-18.

El pozo se encuentra localizado en el área Providencia del Distrito Frontera de la Zona Norte. La fecha de inició de perforación fue en Enero de 1970, con interés de evaluar el potencial petrolífero a la profundidad de 2400 m.

Unicamente se presentó una zona de pérdida de circulación a partir de la profundidad de 2275 a 2400 m. La densidad utilizada fue de 1.75 gr / cm<sup>3</sup> y lodo Sódico, se terminó la operación en marzo del mismo año.

Se obtuvieron datos de la línea sismológica SP- 80 y se determinaron los resultados (Tabla 5.2 ) y sus correspondientes Fig's. ( 5.5 a 5.7 ) localizadas en el APENDICE 2.

En forma similar se presenta el comportamiento de tiempo de tránsito compresional (ATC ) y tiempo de tránsito cizallamiento ( ATS ) en la figura 5.5 donde se observa en forma relevante un incremento de los valores de 150 a 250  $\mu$ s/ft en la zona de pérdida de circulación ( Z.P.C. ) Los modulos Cizallamiento ( G ), de Young ( E ) y de Volumen (KB) no son muy representativos, los esfuerzos presentados en la figura 5.7 presentan una ligera disminución en su tendencia sobre la zona con problemas.

#### **POZO BELLOTA-101.**

Esta localización exploratoria del prospecto Arrastradero perteneciente al área de Villahermosa de lo que era antes la Zona Sureste. Su intervención tuvo lugar en junio de 1982. El objetivo principal era la explotación petrolífera del Cretácico superior a una profundidad programada de 6000 m.

Este pozo presentó una 1ra. área de interés en lo concerniente a la pérdida de fluido a la profundidad de 3455 m, con una densidad de 1.80 gr / cm<sup>3</sup> y lodo LSE.

La 2da. zona de pérdida de circulación ocurrió a la profundidad de 5350 m y una densidad de 1.92 gr / cm<sup>3</sup> y lodo Perfoil. La profundidad total del pozo fue de 6348 m.

Entre los puntos de tiro 405 a 425 de la línea sismológica SP- 79/30 se localizó el pozo.

Se obtuvieron una diversidad de datos los cuales se procesaron y cuyos resultados se muestran en la Tabla 5.3 y sus correspondientes Fig's. ( 5.8 a 5.10 ) que se presentan en el Apéndice 2. La figura 5.8 presenta el comportamiento de los tiempo de tránsito compresional ( ATC ) y el tiempo de tránsito de cizallamiento ( ATS ), se observa que de 617 a 2990 m, tienden a disminuir los valores de 250 a 100  $\mu\text{s}/\text{ft}$ , pero en la zona de pérdida de fluido se presenta aún más pronunciado hasta 75  $\mu\text{s}/\text{ft}$ , en forma similar en la 2da. zona de pérdida de circulación ( Z.P.C. ) donde se presenta el mismo comportamiento.

Los módulos representados en la figura 5.9 muestran claras alteraciones en las zonas con problemas sobre todo el módulo de Volumen ( KB ) y de Young ( E ), en la 2da. zona es clara la anomalía sobre todo a la profundidad de 4987 m, los esfuerzos presentan comportamientos similares.

#### POZO ABKATUN-91.

Este pozo se encuentra localizado en el campo Abkatún de la Zona Marina, su intervención fue en octubre de 1981, llegando a la profundidad de 3875 m. Se presentaron dos zonas de pérdidas de fluidos, la 1era. a la profundidad de 500 m y la siguiente zona se tuvo a partir de los 3000 m, con una densidad de 1.15  $\text{gr} / \text{cm}^3$  y lodo CLSE.

Los datos obtenidos de la línea sismológica SP-110. se utilizaron para alimentar el programa, los resultados ( Tabla 5.4 ) y sus Fig's. ( 5.11 a 5.13 ) obtenidas, se presentan en el APENDICE 2.

En un principio se presentan una gran diversidad de valores sobre todo a profundidades someras de los parámetros tiempo de tránsito compresional ( ATC ) y tiempo de tránsito de cizallamiento ( ATS ), posteriormente se estabilizan los valores. Por último se vuelve a presentar la alteración de los mismos, lo anterior coincide con las dos zonas de pérdidas de fluidos, los módulos unicamente presentaron coincidencia con la 2da. zona de problemas, en igual forma los esfuerzos donde se observa variaciones de 500 hasta 5000 Kg / cm<sup>2</sup>.

#### **POZO TABACO-1.**

Este pozo se encuentra localizado en el área Cuatajapa, pertenece a la Región Sur. Inició la perforación el 11 de Mayo de 1988 y su objetivo principal fue evaluar el potencial petrolífero del Cretácico a una profundidad de 6800 m.

La perforación como todo pozo tuvo varias zonas de pérdidas de fluido, la 1era. a 470 m, con una densidad de 1.10 gr / cm<sup>3</sup> y lodo bentonítico, la 2da. a 2356 m, con una densidad de 1.36 gr / cm<sup>3</sup> y lodo CLSE. La última a la profundidad de 6400 m, con una densidad de 2.07 gr / cm<sup>3</sup> y lodo E.I., la operación del pozo finalizó el 24 de marzo de 1991 a la profundidad de 6619 m.

De los datos obtenidos de la línea sismológica SP- 160 se procesó el programa, los resultados ( Tabla 5.5 ) y correspondientes Fig's. ( 5.14 a 5.17 ), se presentan en el APENDICE 2.

En forma similar se observa similitud del comportamiento de los parametros expuestos coincidiendo sus variaciones con las zonas de problemas.

## POZO SOYALO 1-A.

Este pozo es uno de los que presenta mayor anomalías en cuanto a las pérdidas de circulación. La localización se ubica sobre una estructura anticlinal superficial del Municipio Bochil del Estado de Chiapas.

El objetivo era evaluar el posible potencial económico petrolero de las rocas carbonatadas del Jurásico superior y del Cretácico inferior a la profundidad de 4500 m, inició la perforación el 24 de Junio de 1991.

La perforación del pozo se presentó de la siguiente forma: de la profundidad de 0 a 104 m, densidad de 1.08 gr/cm<sup>3</sup> se perforó de manera normal. De 105 a 1540 m, se perforó con agua sin circulación bombeando baches de lodo bentonítico.

Posteriormente de la profundidad de 1541 a 2665 m, con una densidad de 1.10 gr / cm<sup>3</sup> y pérdidas parciales de lodo bentonítico. De 2666 a 3524 m, se perforó con agua sin circulación y una densidad de 1.06 gr / cm<sup>3</sup> bombeando baches de lodo bentonítico. De 3524 a 4368 m, con densidad de 1.10 gr / cm<sup>3</sup> se perforó de manera normal, terminando el 31 de Diciembre de 1992. Igual que los pozos anteriores se obtuvieron datos de la línea sísmológica SP- 110 cuyos resultados ( Tabla 5.6 ) y la lista de Fig's. ( 5.18 a 5.20 ) se presentan en el APENDICE 2.

Debido a la importancia de la problemática de la operación del pozo se vió la necesidad de realizar un análisis técnico-económico de tal forma que se pueda apreciar con claridad algunos puntos sobre las pérdidas de fluidos.

De la distribución de tiempos tomados del expediente de operación del pozo se obtuvo la información que se presenta en la figura 5.21.

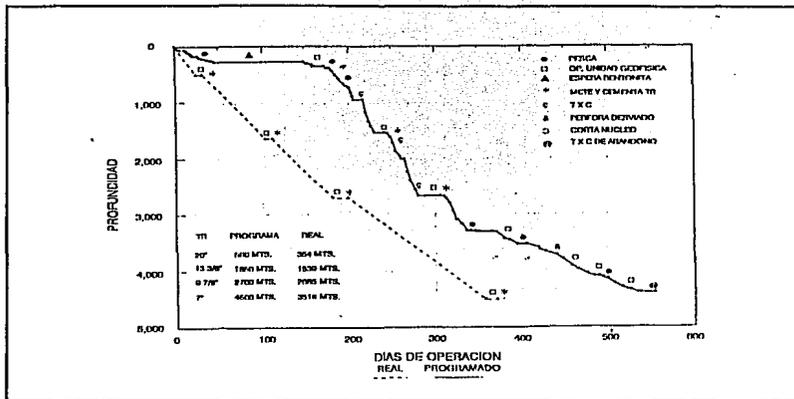


Fig. 5.21.- Análisis de tiempos de perforación del pozo Soyalo 1-A

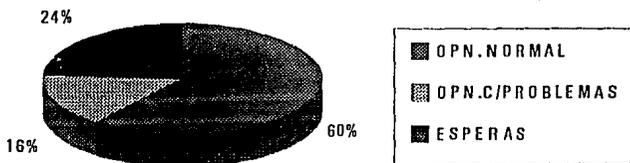
En este pozo no se presenta uniformidad en los valores, podemos mencionar que se debe a la situación, donde la mayor parte fue de problemas relacionados con pérdidas de fluidos.

Realizando un resumen con los resultados determinados se tiene:

	HORAS	%	DIAS
OPERACION NORMAL:	8290	60.60	345.4
OPERACION CON PROBLEMAS:	2125	15.53	88.5
ESPERAS:	3265	23.87	136.0
<b>TOTALES:</b>	<b>13680</b>	<b>100.00</b>	<b>570.0</b>

Lo anterior se presenta en la fig. 5.22.

**DISTRIBUCION DE TIEMPOS DE PERFORACION**



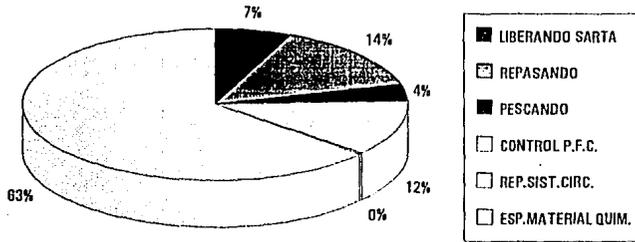
*Fig. 5.22.- Se muestra la importancia del tiempo relacionado con la operación de perforación del pozo*

**Análisis de parámetros relacionados con la pérdida de fluidos de circulación. (P.F.C.)**

	HORAS	%	DIAS
<b>OPERACION: P.F.C.</b>			
LIBERANDO SARTA	260	1.90	10.8
REPASANDO	574	4.19	24.0
PESCANDO	148	1.08	6.1
CONTROL DE P.F.C.	468	3.42	19.5
REP.SIST.CIRC.	6	0.04	0.3
ESP.MATERIAL QUIM.	2528	18.48	105.3
<b>SUBTOTALES</b>	<b>3984</b>	<b>29.11</b>	<b>166.0</b>

Lo anterior se presenta en la fig. 5.23

**PROBLEMAS RELACIONADOS CON LA P.F.C.**

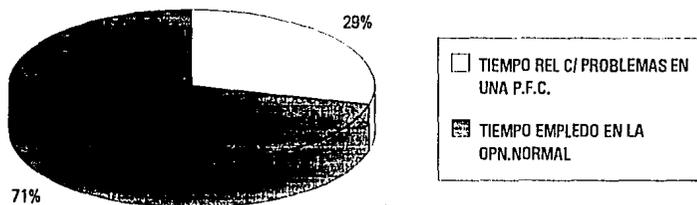


*En la fig. 5.23 se presentan los porcentajes de las operaciones relacionadas con las P.F.C.*

Si lo anterior lo comparamos con el total de tiempo necesario para la perforación del pozo se observa lo siguiente, lo cual se muestra además en la fig. 5.24.

SUBTOTALES: P.F.C.	3984	29.11	166.0
TOTALES: T.T.P.	13680	100.0	570.0

### DISTRIBUCION DEL TIEMPO TOTAL EMPLEADO EN LA PERFORACION



*La fig. 5.24 resalta la importancia en el aspecto económico lo relacionado con P.F.C. en forma general se observa una pérdida de tiempo de un 29%.*

Por otro lado, se considerará el aspecto económico tomando en cuenta que el costo por día-equipos operando es de MN\$ 11.78 perteneciente a la Región Sur.

Afectando esta cantidad por los días relacionados a los factores involucrados con lo relacionado con las pérdidas de circulación se tiene:  $MN\$ 11.78 \times 166 = MN\$ 1955.8$  en igual forma para el total de días de operación;  $MN\$ 11.78 \times 570 = MN\$ 6714.6$  si relacionamos ambas cantidades se observará que se presenta un 29% de pérdida económica en lo referente a los problemas ocasionados por las Zonas de Pérdidas de Circulación.

En igual forma si se considera un costo a nivel nacional e internacional se tendra una estimación de cierto porcentaje que esta ligado a las zonas de pérdida de fluido lo anterior se muestra en la tabla 5.8.

*Tabla No. 8.- Análisis de costos del pozo Soyalo 1-A*

	ANALISIS ECONOMICO			
	COSTO DIA/EQ.	DIAS/P.F.C. 166	DIAS/OPN. 570	%
REGIONAL	N\$11.78	N\$1,955.80	N\$6,714.60	30
NACIONAL	N\$24.98	N\$4,140.70	N\$14,238.60	30
INTERNACIONAL	DLL\$54.55	DLL\$9,055.30	DLL\$31,093.50	30

Cantidad en Millas

Por último, se considera la aplicación del método en estudio en un pozo del área Cuatajapa, con alto índice de problemas relacionados a las pérdidas de fluidos.

#### POZO MANI-1.

El pozo se localiza a 7.40 Km al norte franco del pozo CANALETE-1 la profundidad programada del pozo es 6600 m, tuvo como objetivo buscar acumulación de hidrocarburos en rocas carbonatadas del Cretácico y Jurásico superior.

La Superintendencia de Exploración proporcionó los datos de línea sísmológica SP-110, necesarios para poder procesar el programa de cómputo. Por otro lado, se presenta la secuencia lógica de los pasos utilizada para realizar este estudio:

- 1.- ESTUDIOS SISMOLOGICOS
- 2.- OBJETIVO DEL POZO
- 3.- LOCALIZACION DEL POZO
- 4.- DATOS DE TIEMPO Y VELOCIDAD DE SISMOLOGIA
- 5.- CORRER PROGRAMA DE COMPUTO
- 6.- LISTA DE RESULTADOS EN FORMA TABULAR
- 7.- OBTENCION DE GRAFICAS DE RESULTADOS
- 8.- PRESENTAR GRAFICA DE APLICACION CON

LOS SIGUIENTES PARAMETROS:

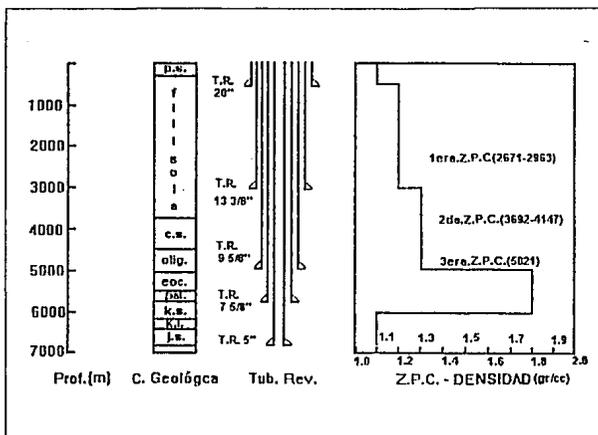
PROFUNDIDAD DE ESTUDIO  
COLUMNA GEOLOGICA  
ASENTAMIENTOS DE T.R.'S  
IDENTIFICACION DE Z.P.C.  
DENSIDAD

Los resultados ( Tabla 5.7 ) y las Fig's. ( 5.25 a 5.27 ) se presentan en el APENDICE 2.

De las gráficas podemos concluir que el comportamiento del tiempo de tránsito compresional ( ATC ) y tiempo de tránsito de cizallamiento ( ATS ) nos muestran tres zonas de posibles de pérdidas de fluidos, la 1ra. de 2401 a 2963 m, la 2da. de 3692 a 4147 m, la 3era. a partir de 5021 m.

Las constantes elásticas dinámicas presentan en forma similar tres zonas, la 1ra. de 2401 a 3137 m, la 2da. de 3288 a 4394 m y la última de 4606 a 5421 m, por otro lado los esfuerzos muestran unicamente dos zonas, la 1ra. de 3692 a 4394 m, la 2da. 4606 a 5421 m, lo anterior tiene importancia sobre todo en la planeación de la perforación, la cual se presenta en forma gráfica en la figura 5.28.

*Planación de la perforación del pozo Mani 1 en base a la detección de Z.P.C.*



*La fig. 5.28 muestra los posibles asentamientos de T.R.'s. y la densidad del fluido a utilizar en función de las Z.P.C.*

**De esta forma se puede indicar que las zonas de pérdidas de fluidos es detectada cuando:**

- a.- Se analizan las alteraciones de los valores de parámetros tanto del tiempo de tránsito compresional y de cizallamiento.**
- b.- En igual forma las constantes elásticas dinámicas y los esfuerzos.**

**Por otro lado el aspecto económico se puede resumir que al aplicar el método se presentará una disminución en el costo total de la perforación del pozo.**

## CAPITULO 6

### 6.1.- CONCLUSIONES

- El programa de cómputo procesa los datos sismológicos y analiza el comportamiento de las constantes elásticas y los esfuerzos in-situ de la roca en forma general, así como también delimita la zonas de pérdida de fluido.
- El análisis de la zonas de pérdida de fluidos se realizó con datos de las diferentes regiones, con el objetivo de analizar el comportamiento en cada una de ellas, de esta forma resaltar la importancia del estudio.
- Con la aplicación de esta metodología se comprueba la veracidad y confiabilidad de los resultados como fue en el ejemplo de aplicación como puede observarse en el pozo Canaleta 1.
- Dentro de las constantes elásticas dinámicas, la de mayor importancia para identificar posibles zonas de pérdida de circulación es el módulo de Young.
- Las consecuencias de la aplicación del método son de importancia económica, porque pueden reducir de manera considerable el costo de perforación del pozo.
- La confiabilidad de los resultados que se obtengan con la aplicación de esta técnica dependerá de la calidad y procesamiento de los datos sismológicos obtenidos en el campo.
- Los parámetros de formación de los registros como la porosidad, la resistividad, la densidad, la conductividad y la porosidad presentaron alteraciones en sus valores en las zonas de pérdida de fluido.

## **6.2.- RECOMENDACIONES**

- **Aplicar la metodología presentada para un campo específico.**
- **Actualizar el programa de cómputo de acuerdo a la tecnología de punta.**
- **En virtud de que las constantes elásticas dinámicas son los parámetros más confiables para detectar las zonas de pérdidas de circulación, se sugiere su aplicación para detectar zonas anormalmente altas.**

NOMENCLATURA

REFERENCIAS

APENDICES

## NOMENCLATURA

$a$	=	1 - CR / CB	
A-B	=	Eje horizontal	
AT	=	Tiempo de tránsito	( $\mu$ sp)
ATC	=	Tiempo de tránsito compresional	( $\mu$ sp)
ATS	=	" " " cizallamiento	( $\mu$ sp)
C	=	Conductividad	(mm / m)
CB	=	Módulo de compresibilidad	(Kg / cm <sup>2</sup> )
C	=	Constantes	
DB	=	Densidad	(gr / cm <sup>3</sup> )
E	=	Módulo de Young	(Kg / cm <sup>2</sup> )
G	=	Módulo de corte	(Kg / cm <sup>2</sup> )
H	=	Distancia Horizontal	
i	=	Literal usada como indicativo de interacción	
K	=	Permeabilidad	Darcys
KB	=	Módulo de Volumen	(Kg / cm <sup>2</sup> )
M	=	Literal que relaciona la Cte. Poisson = $\frac{\mu}{1-\mu}$	
OM	=	Eje vertical	
Pp	=	Presión de poro	(Kg / cm <sup>2</sup> )
Pf	=	Presión de formación	(Kg / cm <sup>2</sup> )
Pm	=	Presión hidrostática	(Kg / cm <sup>2</sup> )
Ps	=	Presión de sobrecarga	(Kg / cm <sup>2</sup> )
PAG	=	Distancia del punto de explosión al geófono	
P.F.C.	=	Pérdida de fluido de circulación	

$\phi$	= Porosidad	(%)
R	= Resistividad	( $\Omega / m$ )
rL	= Rayo refractado longitudinal	
rT	= Rayo refractado transversal	
RL	= Rayo reflejado longitudinal	
RT	= Rayo reflejado transversal	
Sx	= Componente horizontal en la dirección x	(Kg / cm <sup>2</sup> )
Sy	= " " " " " y	"
Sz	= " vertical " " " z	"
Sr	= " radial del esfuerzo	"
S $\theta$	= " tangencial " "	"
Sz	= " vertical " "	"
Sref	= " radial " " efectivo	"
Soef	= " tangencial " " "	"
Szef	= " vertical " " "	"
St	= Resistencia natural de tensión de la roca	
T	= Tiempo	(seg)
Ti	= Esfuerzo tectónico	(Kg / cm <sup>2</sup> )
td	= Tiempo doble	(seg)
T.T.P.	= Tiempo total de perforación	
U	= Relación de Poisson	
V	= Velocidad	(m / seg)
Vl	= Velocidad de onda Longitudinal	(m / seg)
Vl	= Velocidad de Intervalo	(m / seg)
Vr	= Velocidad de reflejo	(m / seg)
VT	= Velocidad de onda transversal	(m / seg)
z	= Profundidad	(m)

## REFERENCIAS

- 1.- Anonymous., " New lost circulation remedy is easy to use ".,World Oil.,1977.
- 2.- Messenger,J.U., " Lost circulation "., Tulsa Oklahoma 74101.,1981.
- 3.- Howard,G.C.and Scott,P.P., " An analysis and control of circulation "., Trans.AIME,1951.
- 4.- Capitanachi,G.E., " Alternativas para prevenir, detectar y combatir las pérdidas de circulación durante la perforación de pozos de desarrollo ".,Congreso Lat. de Perf.,Oct.,1982.
- 5.- Dobrin,M.B., " Introduction to Geophysical Prospecting ".,Geophysics,Vol.20,No. 1, January 1955,pp. 68-86.
- 6.- Sheriff,E.R., " A first course in Geophysical Exploration ".,Human Resources Development Corporation, Printed in USA.,1977.
- 7.- Pennebaker,E.S., " An Engineering Interpretation of Seismic Data".,paper No. SPE-2165. Presented at the 43rd. Annual fall meeting,of the SPE, Houston Texas, Sep.29-Oct.-2,1968.
- 8.- Dale,G.S., " Decomposition of Seismic Traces "., Presented at the 49th annual meeting of the Society Exploration Geophysics in New Orleans, Louisiana. Nov.4-8,1979.

- 9.- Dix,C.H., " Seismic Velocities from Superface  
measurments ".,Geophysics, Vol.20,No.1,pp.68-86.,January  
1955.
- 10.- Domenico,S.N., " A presentation to the AAPG-SEG  
stratigraphic interpretation of seismic data school ".,  
August 13-18, Jackson Hole, Wyoming.,1979.
- 11.- Faust,L.Y., " An interpretative approach to seismic  
velocities ".,Geoquest International Ltd., June 1,1975.
- 12.- Lindseth,O.R., " Stratigraphic interpretation with  
synthetic Sonic logs "., Continuing Education  
Program,S.E.G., Tulsa Oklahoma,Nov.3-6,1980.
- 13.- Gómez,R.O., " Registros de Pozos ".,Ira.ed.,Caps.13-  
14,1975.
- 14.- Gardner,L.W., " Vertical Velocities from reflection  
shooting ".,Geophysics,Vol.12,pp.200-228,1947.
- 15.- Faust,L.Y.: " Seismic Velocity as a Function of Deph  
and Geologic Time ".,Geophysics,Vol.20,pp-190-  
210,June,1955.
- 16.- Anderson,R.A., Ingram,D.S. and Zainer,A.M., " Fracture  
Pressure Gradient determination from well logs ".,paper  
SPE-4135,1972.
- 17.- Schlumberger., " Principios y Aplicaciones de  
Interpretación de Registros ".,Cia.pp.187-196.1993.
- 18.- Goodman,R.E., " Introduction to the Rock  
Mechanics ".,2da.Edition, University of California at  
Berkeley,1989.

- 19.- Fairhurst,C., " Methods of Determinig in-situ Rock Stress at Great Depths ", Technical Report No.1-68, (Missouri River Division of Eng.) , Minneapolis, Minn. February, 1968.
- 20.- Bourgoyne Jr.A.T., Millheim, K.K., Chenevert, E.M. and Young Jr.F.S., " Applied Drilling Engineering ", First Printing, SPE, Richardson, TX, Cap.VI, pp.246-294., 1986.
- 21.- Fung, Y.C., " A First Course in Continuum Mechanics ", Pretice-Hall, Inc., 2nd.Ed. Englewood Cliffs, New Jersey, 1977.
- 22.- Gstalder, S. and Raynal, J., " Measurements of some Mechanical Properties of rocks and their relationship to Rock Drillability ", JPT, pp.991-996., 1966.
- 23.- Elkington, P.A., Stouthamer, P. and Brown, J.R., " Rock Strength Predictions from Wireline Logs ", Int.J.Rock Mech.Min.Sci.and Geomec.Abstrac., V.19, pp.91-97., 1982.
- 24.- Somerton, W.H., Esfandiari, F., and Singhal, A., " Further Studies of the Relations of Physical Properties to Rock Drillability ", SPE-2390., 1969.
- 25.- Onyia, E.C., " Relationship Between Formation Strength, Drilling Strength and Electric Log Properties ", SPE-18166., 1988.
- 26.- Schlumberger., " Evaluación de Formaciones en México ", WEC., 1984.
- 27.- Brown, R.O., " Application of Fracture Identification Logs in the Cretaceous of North Louisiana and Mississippi ", Trans., 1978.

- 28.- Bruce, S., " A Mechanical Stability Log "., SPE/ IADC  
19942, Drilling Conference Held in Houston, Texas,  
February 27, 1990.
- 29.- Expedientes de Perforación de las Regiones Norte, Sur  
y Marina de Petróleos Mexicanos.
- 30.- Adams, J.N. and Charrier T., "Drilling a Complete Well  
Planning Approach "., Research Associate, Penn Well  
Books., Penn Well Publishing Company., Tulsa, Oklahoma.,  
Cap. 19., pags. 740-774., 1985.
- 31.- Pickett, G.R.; "Acoustic Character Log and their  
Applications in Formation Evaluation "., JPT., Trans.  
AIME., June, 1963.

## APENDICE 1.

```

/**/
/**/
/**/
/*PROGRAMA DE DETERMINACION DE PERDIDAS DE CIRCULACION */
/*EN BASE A INFORMACION SISMICA */
/*Elaboro:Ing. Alejandro Fuentes Ruiz */
/*Fecha de Inicio:Mayo 13/05/94. */
/*Fecha de conclusion: 13/08/94 */
/**/
/**/
/**/
/* Directrices para el preprocesador (#) */
/**/
/**/
/**/
#include <ctype.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <math.h>
#include <conio.h>
#include <dos.h>
#include <graphics.h>
/**/
/**/
/**/
/* Definición de constantes */
/**/
/**/
/**/
/* para controlar el cursor se necesita command.com y ANSI.SYS */
/* es preciso crear un CONFIG.SYS que incluya la orden: DEVICE=ANSI.SYS*/
/* para controlar el cursor se necesita command.com y ANSI.SYS */
/* es preciso crear un CONFIG.SYS que incluya la orden: DEVICE=ANSI.SYS*/
/**/
#define BORRA printf("\x1B[2J");
#define SITUA(fi,co) printf("\x1B[%d;%df", (fi), (co));
#define VIDEI printf("\x1B[7m");
#define AZUL printf("\x1B[%d;%dm", 37, 44);
#define ROJO printf("\x1B[%d;%dm", 37, 41);
#define VERDE printf("\x1B[%d;%dm", 33, 42);
#define MAGENTA printf("\x1B[%d;%dm", 36, 45);
#define NEGRO printf("\x1B[%d;%dm", 33, 40);
#define AMARILLO printf("\x1B[%d;%dm", 30, 43);
#define NORMAL printf("\x1B[0m");
#define LUZ printf("\x1B[1m"); /* define VIDEO resaltante */
/**/
/**/
/**/
/*****
#define AF 1
#define VF 304878
#define LUTITA 0001
#define SAL 0002
#define LUTITAARENOSA 0003
#define ARENISCA 0004
#define ANHIDRITA 0005
#define CALIZA 0006
#define DOLOMIA 0007
#define CURSIZE 1
#define STOPBIT 0x20
#define VIDEO 0x10
/**/
/**/
/**/
/* Declaración de variables */
/**/
/**/
/**/
float td[100] = {0.17,024,0.37,0.53,0.66,0.78,0.94,1.04,1.17,1.33,
1.52,1.65,1.77,1.87,1.93,2.16,2.35,2.57,2.80,3.12,
3.37,3.57,3.73,3.89,3.98,4.24,4.33,4.49,4.62,4.72,
4.81,4.94};

float vr[100] = {1505,1580,1690,1695,1745,1845,1950,1980,2035,2200,
2200,2285,2330,2405,2450,2555,2630,2800,2810,2825,
2925,3035,3245,3730,4125,4125,4125,4130,4135,4145,
4155,4160};

```

```

float resv1[100];
float resv2[100];
float atc[100];
float ats[100];
float a,b,c,vi=0;
float z1=0;
float z2[100];
float db[100];
float dm[100];
float u[100];
float g[100];
float e[100];
float kb[100];
float kr[100];
float cb[100];
float cr[100];
float af[100];
float m[100];
float pp[100];
float ps[100];
float pm[100];
float sx[100];
float sy[100];
float sz[100];
float sr[100];
float so[100];
float szz[100];
float sref[100];
float soef[100];
float szef[100];
float sreef[100];
float soeef[100];
float szeef[100];
float pss[100];
float psi[100];
float gd[100];
float gd1[100];
float atcn[100];
float pfk[100];
float pfpsi[100];
float efra[100];
float rp[100];
float ts;
float tc;
float tiempo;
float velocidad;
float ram[] = {0.51,0.24,0.45,0.30,0.03,0.64,0.15,0.09,0.21,0.91,
0.50,0.07,0.27,0.85,0.54,0.65,0.08,0.39,0.62,0.53,0.77,0.03,0.93,
0.58,0.58,0.93,0.63,0.44,0.63,0.09,0.53,0.13,0.98,0.18,0.39,0.54,
0.26,0.81,0.25,0.29,0.27,0.32,0.96,0.60,0.57,0.70,0.06,0.85,0.19,
0.71};
int f[100];
int i,j,k,l,sw1,sw2 = 0;
int col,lin = 0;
int tec,s = 0;
int hoja = 1;
char titulo[10];
char titulo2[37] = ("DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION");
char titulo3[22] = ("EN POZOS EXPLORATORIOS");
char n1[7];
char n3[6];
static char cad[81];
int n = 0;
int n2;
/**
**/
/**
**/
/* Inicio del programa main() y llamada a funciones */
/**
**/
/**
**/
main()
(
tec = 0;
do
(
NEGRO;
BORRA;
cursor_off();

```

```

char n3[6];
static char cad[81];
int n = 0;
int n2;
/**/
/**/
/**/
/* Inicio del programa main() y llamada a funciones */
/**/
/**/
/**/
main()
{
    tec = 0;
    do
    {
        NEGRO;
        BORRA;
        cursor_off();
        cuadro1();
        empresa();
        tecla();
        if (tec != 27)
        {
            clearemp();
            VIDE1;
            gotoxy(40-37/2,10);
            printf("%s", titulo);
            gotoxy(40-22/2,13);
            printf("%s", titulo2);
            delay(1500);
            NORMAL;
        }
        tec = 32;
        while(tec != 27)
        {
            cuadro1();
            cuadro2();
            /*datos()*/
            dix();
            pickett();
            gardner();
            conselas();
            calpre();
            gradf();
            aesf();
            do
            {
                if (tec != 27)
                {
                    VIDE1;
                    gotoxy(1,25);
                    printf("Desea Repetir Presione <-- F3 Imprimir Datos");
                    NORMAL;
                    tec = getch();
                }
                if (kbhit() && tec == 0)
                {
                    tec = getch();
                    if (tec == 61)
                    {
                        op();
                    }
                    gotoxy(1,25);
                    printf(" ");
                }
            }while(tec != 13 && tec != 27);
            BORRA;
        }
        }while(tec != 27);
        BORRA;
        return;
    }
    /**/
    /**/
    /**/
    /* Fin del programa principal */
    /**/
    /**/
    /**/
    cursor_off()

```

```

(
    union REGS regs;
    regs.h.ch = STOPBIT;
    regs.h.ah = CURSIZE;
    int86(VIDEO,&regs,&regs);
    return;
)
cuadro1()
(
    NEGRO;
    for(i=1;i<81;i++)
    (
        gotoxy(i,2);
        printf("■");
        gotoxy(i,24);
        printf("■");
    )
    for(i=2;i<24;i++)
    (
        gotoxy(1,i);
        printf("■");
        gotoxy(80,i);
        printf("■");
    )

    VIDEI;
    gotoxy(1,1);
    printf("<Esc>Para salir");
    gotoxy(16,1);
    printf(" ");
    gotoxy(54,1);
    printf("Para Continuar Presione ←");
    NORMAL;
    return;
)
empresa()
(
    delay(200);
    gotoxy(40-45/2,10);
    printf(" ");
    delay(200);
    gotoxy(40-45/2,11);
    printf(" ");
    delay(200);
    gotoxy(40-45/2,12);
    printf(" ");
    delay(200);
    gotoxy(40-45/2,13);
    printf(" ");
    delay(200);
    gotoxy(40-45/2,14);
    printf(" ");
    return;
)
clearemp()
(
    delay(200);
    gotoxy(40-45/2,10);
    printf(" ");
    delay(200);
    gotoxy(40-45/2,11);
    printf(" ");
    delay(200);
    gotoxy(40-45/2,12);
    printf(" ");
    delay(200);
    gotoxy(40-45/2,13);
    printf(" ");
    delay(200);
    gotoxy(40-45/2,14);
    printf(" ");
    return;
)
cuadro2()
(
    gotoxy(10,10);
    printf(" ");
    gotoxy(10,13);
    printf(" ");
)
cuadro1();

```

```

gotoxy(40-36/2,4);
printf("Deteccion de Perdidas de circulacion");
return;
}

```

```

datos()
{
int i,j = 0;
int c=0;
int col= 0;
char ch;
char cad[10];
while (c != 27)
{
c=0;
gotoxy(40-29/2,6);
printf("Captura de datos a procesar");
gotoxy(10,15);
printf("Digite el dato de tiempo doble :");
gotoxy(10,18);
printf("Digite el dato de velocidad RMS:");
i = 0;
while (c != 27 && c != 13)
{
col = 44 + i;
gotoxy(col,15);
if (c == 75)
printf(" ");
ch = getch();
c = ch;
if (kbhit() && c == 0)
{
ch = getch();
c = ch;
if (c == 75)
{
if (i>0)
{
i = i-1;
}
}
}
}
if (ch > 47 && ch < 58 || ch == 46)
{
gotoxy(44+i,15);
printf("%c",ch);
cad[i] = ch;
i++;
}
else
{
if(c == 13 && cad != '')
{
if (atof(cad) != 0.0)
{
td[j] = atof(cad);
j++;
}
else
{
gotoxy(44,15);
printf(" ");
}
}
}
}
if (c != 27)
capvi();
gotoxy(44,15);
printf(" ");
gotoxy(5,23);
printf("Desea continuar s/n :");
gotoxy(5,44);
ch = getch();
c = ch;
if(ch == 'n' || ch == 'N' || c == 27)
c = 27;
gotoxy(5,23);
printf(" ");
}

```

```

    return;
}
capvi()
{
    int c=0;
    int col= 0;
    char ch;
    char cad[10] = {'\0'};
    i = 0;
    while (c != 27 && c != 13)
    {
        col = 44 + i;
        gotoxy(col,18);
        if (c == 75)
            printf(" ");
        ch = getch();
        c = ch;
        if (kbhit() && c == 0)
        {
            ch = getch();
            c = ch;
            if (c == 75)
            {
                if (i>0)
                {
                    i = i-1;
                }
            }
        }
        if (ch > 47 && ch < 58 || ch == 46)
        {
            gotoxy(44+i,18);
            printf("%c",ch);
            cad[i] = ch;
            i++;
        }
        else
        {
            if(c == 13 && cad != '\0')
            {
                if (atof(cad) != 0.0)
                {
                    vr[j] = atof(cad);
                    j++;
                    gotoxy(44,18);
                    printf(" ");
                }
                else
                {
                    gotoxy(44,18);
                    printf(" ");
                }
            }
        }
    }
    return;
}

```

```

dix()
{
    i=0;
    while(td[i] != 0.0 || vr[i] != 0.0)
    {
        if (i == 0)
        {
            a = (vr[i]*td[i]);
            c = td[i];
            vi = a/c;
        }
        if (i>0)
        {
            a=(vr[i]*td[i]);
            b=(vr[i-1]*td[i-1]);
            c=(td[i]-td[i-1]);
            vi = (a-b)/c;
            if (vi < 0)
                vi=vi *(-1);
        }
        resvi[i] = vi;
        resvi2[i] = resvi[i] * 3.28;
    }
}

```

```

    atc[i] = VF/resvi[i];
    if (atc[i]<0)
        atc[i] = atc[i]*(-1);
    z1 = (td[0]/2)*resvi[0];
    i++;
}
i=0;
while(td[i] != 0 || vr[i] != 0)
    (
        if (resvi[i+1]!=0)
            (
                if(i==0)
                    z2[i] = z1+((td[i+1] - td[i])/2)*(resvi[i+1]);
                if(i != 0)
                    z2[i] = z2[i-1]+((td[i+1] - td[i])/2)*(resvi[i+1]);
            )
        i++;
    )
    return;
}
pickett()
(
    i=0;
    while(td[i] != 0 || vr[i] != 0)
        (
            if (resvi2[i] > 1000 && resvi2[i] < 17000)
                (
                    if (resvi2[i] == 15000)
                        (
                            f[i] = SAL;
                            ats[i] = atc[i] * 2.15;
                        )
                    else
                        (
                            f[i] = LUTITA;
                            ats[i] = atc[i] * 1.75;
                        )
                )
            if (resvi2[i] > 17000 && resvi2[i] < 20000)
                (
                    f[i] = LUTITAARENOSA;
                    ats[i] = atc[i] * 1.80;
                )
            if (resvi2[i] == 20000)
                (
                    f[i] = ANHIDRITA;
                    ats[i] = atc[i] * 2.45;
                )
            if(resvi2[i] > 20000 && resvi2[i] < 21000)
                (
                    f[i] = ARENISCA;
                    ats[i] = atc[i] * 1.6;
                )
            if (resvi2[i] > 21000 && resvi2[i] < 23000)
                (
                    f[i]=CALIZA;
                    ats[i] = atc[i] * 1.9;
                )
            if (resvi2[i] > 23000)
                (
                    f[i] = DOLOMIA;
                    ats[i] = atc[i] * 1.8;
                )
        )
        i++;
    )
    return;
}
gardner()
(
    i=0;
    while(td[i] != 0 || vr[i] != 0)
        (
            if (resvi2[i] <0)
                resvi2[i] = resvi2[i] * (-1);
            db[i] = 0.23 * pow(resvi2[i],0.25);
            if (i==0)
                dm[i] = pow(z1,(1/(10.42-0.00023*z1)));
            if (i==1)

```

```

    dm[i] = pow(z2[i],(1/(10.42-0.00023*z2[i-1])));
    if (i!=1 && i!=0)
        dm[i] = pow(z2[i-1],(1/(10.42-0.00023*z2[i-1])));
    i++;
}
return;
}
conselas()
{
    i=0;
    while(td[i] != 0 || vr[i] != 0)
    {
        u[i] = .5*((ats[i]/atc[i])*(ats[i]/atc[i])-2)/((ats[i]/atc[i])*(ats[i]/atc[i])-1));
        g[i] = 1.34 * pow(10,10) * (db[i]/((ats[i])*(ats[i])));
        e[i] = (2*g[i])*(1+u[i]);
        kb[i] = 1.34 * pow(10,10) *(db[i]*(1/(atc[i]*atc[i])))-((1.33/(ats[i])*(ats[i]))));
        cb[i] = 1/kb[i];
        m[i] = u[i]/(1-u[i]);
        i++;
    }
    return;
}
calpre()
{
    i=0;
    while(td[i] != 0 || vr[i] != 0)
    {
        if (i == 0)
            pp[i] = (z1 * 1.07)/10;
        if (i == 1)
            pp[i] = z2[i] * 1.07/10;
        if (i != 0 && i != 1)
            pp[i] = z2[i-1] * 1.07/10;
        if (i == 0)
            ps[i] = db[i] * z1/10;
        if (i == 1)
            ps[i] = db[i] * z2[i]/10;
        if (i != 0 && i != 1)
            ps[i] = db[i] * z2[i-1]/10;
        pss[i] = ps[i] * 4.3363;
        pm[i] = ps[i];
        i++;
    }
    return;
}
aef()
{
    i=0;
    while(td[i] != 0 || vr[i] != 0)
    {
        sx[i] = m[i] * ps[i] + AF * pp[i] * (1 - m[i]);
        sy[i] = m[i] * ps[i] + AF * pp[i] * (1 - m[i]);
        sz[i] = ps[i];
        sr[i] = pm[i];
        so[i] = 3 * sx[i] - sy[i] - pm[i];
        szz[i] = ps[i] + 2 * u[i] * (sx[i] - sy[i]);
        sref[i] = sr[i] - AF * pp[i];
        soef[i] = so[i] - AF * pp[i];
        szef[i] = sz[i] - AF * pp[i];
        sreef[i] = pm[i] - AF * pp[i];
        soeef[i] = 3 * sx[i] - sy[i] - pm[i] - AF * pp[i];
        szeef[i] = ps[i] + 2 * u[i] * (sx[i] - sy[i]) + AF * pp[i];
        i++;
    }
    return;
}
grad()
{
    i=0;
    while(z2[i+1] != 0)
    {
        gd[i] = ps[i] - 0.1074;
        if(i==0)
            atcn[i] = 1820436.2/(z1 + 10547.08);
        if(i==1)
            atcn[i] = 1820436.2/(z2[i] + 10547.08);
        if(i!=1 && i!=0)
            atcn[i] = 1820436.2/(z2[i-1] + 10547.08);
        gd1[i] = pow(atcn[i] / atc[i],3);
        pfk9[i] = (ps[i] - gd[i]) * gd1[i];
    }
}

```

```

pfpsi[i] = pfkg[i] * 4.3363;
if(i==0)
  gfra[i]= pfpsi[i] + (pss[i] * log((z1 / 242.20621) / 4.53366));
if(i==1)
  gfra[i] = pfpsi[i] + (pss[i] * log((z2[i] / 242.20621) / 4.53366));
if(i != 0 && i != 1)
  gfra[i] = pfpsi[i] + (pss[i] * log((z2[i-1] / 242.20621) / 4.53366));
i++;
}
return;
}
anr()
{
for(j=0,k=0;j<50;j++,k++)
{
ts = ram[j];
tc = ram[j+1];
rp[k] = .5*((ts/tc)*(ts/tc)-2)/((ts/tc)*(ts/tc)-1);
j++;
}
return;
}
}
lista()
{
int i,j;
NEGRO;
BORRA;
cuadro1();
gotoxy(10,15);
printf(" ");
gotoxy(10,18);
printf(" ");
LUZ;
gotoxy(55,25);
printf("Presione cualquier Tecla");
NORMAL;
gotoxy(23,79);
tecla();
gotoxy(55,25);
printf(" ");
i=0;
j=0;
if (tec != 27)
while(tdi[i] != 0 || vr[i] != 0 && tec == 27)
{
gotoxy(40-36/2,4);
printf("Deteccion de Perdidas de circulacion");
gotoxy(40-29/2,6);
printf(" Resultados del Proceso ");
gotoxy(6,8);
printf("PROF.");
gotoxy(7,9);
printf("(m)");
gotoxy(19,8);
printf("VI.");
gotoxy(17,9);
printf("(m/s)");
gotoxy(31,8);
printf("ATC.");
gotoxy(29,9);
printf("(us/ft) ");
gotoxy(42,8);
printf("ATS.");
gotoxy(41,9);
printf("(us/ft)");
gotoxy(54,8);
printf("db.");
gotoxy(52,9);
printf("(gr/cc)");
gotoxy(62,8);
printf("LIT.");
if (i == 0)
{
gotoxy(4,12+j-1);
printf("%8.2f",z1);
}
if (i != 0)
{
gotoxy(4,12+j-1);
printf("%8.2f",z2[i-1]);
}
}
}
}

```

```

    }
    gotoxy(16, 12+j-1);
    printf("%8.2f", resvi[i]);
    gotoxy(28, 12+j-1);
    printf("%8.2f", atc[i]);
    gotoxy(39, 12+j-1);
    printf("%8.2f", ats[i]);
    gotoxy(49, 12+j-1);
    printf("%8.2f", db[i]);
    if(f[i] == LUTITA)
    {
        gotoxy(62, 12+j-1);
        printf("LUTITA");
    }
    if(f[i] == SAL)
    {
        gotoxy(62, 12+j-1);
        printf("SAL");
    }
    if(f[i] == LUTITAARENOSA)
    {
        gotoxy(62, 12+j-1);
        printf("LUTITAARENOSA");
    }
    if(f[i] == ARENISCA)
    {
        gotoxy(62, 12+j-1);
        printf("ARENISCA");
    }
    if(f[i] == ANHIDRITA)
    {
        gotoxy(62, 12+j-1);
        printf("ANHIDRITA");
    }
    if(f[i] == CALIZA)
    {
        gotoxy(62, 12+j-1);
        printf("CALIZA");
    }
    if(f[i] == DOLOMIA)
    {
        gotoxy(62, 12+j-1);
        printf("DOLOMIA");
    }
    }
    i++;
    j++;
    if (tec != 27)
    if(12+j-1>22)
    {
        gotoxy(23, 79);
        tecla();
        gotoxy(55, 25);
        printf("
");
        BORRA;
        cuadro1();
        j=0;
    }
    LUZ;
    gotoxy(55, 25);
    printf("Presione cualquier Tecla");
    NORMAL;
}
if (tec != 27)
    tecla();
tec = 27;
return;
}
lista1()
{
    if (tec != 27)
    {
        int i, j;
        NEGRO;
        BORRA;
        cuadro1();
        LUZ;
        gotoxy(55, 25);
        printf("Presione cualquier Tecla");
    }
}

```

```

NORMAL;
tecla();
gotoxy(23,79);
gotoxy(55,25);
printf("
");
i=0;
j=0;
while(td[i] != 0 || vr[i] != 0 && tec == 27)
{
gotoxy(40-36/2,4);
printf("Deteccion de Perdidas de circulacion");
gotoxy(40-29/2,6);
printf(" Resultados del Proceso ");
gotoxy(5,8);
printf("PROF.");
gotoxy(6,9);
printf("(m)");
gotoxy(14,8);
printf("U.");
gotoxy(12,9);
printf("(ad)");
gotoxy(22,8);
printf("ig.");
gotoxy(19,9);
printf("(kg/cm2)");
gotoxy(37,8);
printf("E.");
gotoxy(34,9);
printf("(kg/cm2)");
gotoxy(51,8);
printf("kb.");
gotoxy(49,9);
printf("(kg/cm2)");
gotoxy(68,8);
printf("cb.");
gotoxy(66,9);
printf("(kg/cm2)");
if (i == 0)
{
gotoxy(2,12+j-1);
printf("%8.2f",z1);
}
if (i != 0)
{
gotoxy(2,12+j-1);
printf("%8.2f",z2[i-1]);
}
gotoxy(12,12+j-1);
printf("%3.2f",u[i]);
gotoxy(19,12+j-1);
printf("%8.1f",g[i]);
gotoxy(34,12+j-1);
printf("%8.1f",e[i]);
gotoxy(49,12+j-1);
printf("%8.1f",kb[i]);
gotoxy(65,12+j-1);
printf("%2.12f",cb[i]);
i++;
j++;
if (tec != 27)
if(12+j-1>22)
{
gotoxy(23,79);
tecla();
gotoxy(55,25);
printf("
");
BORRA;
cuadro1();
j=0;
}
LUZ;
gotoxy(55,25);
printf("Presione cualquier Tecla");
NORMAL;
}
}
if (tec != 27)
tecla();
tec = 27;
return;

```

```

)
lista2()
(
  if (tec != 27)
  (
    int i,j;
    NEGRO;
    BORRA;
    cuadro1();
    LUZ;
    gotoxy(55,25);
    printf("Presione cualquier Tecla");
    NORMAL;
    tecla();
    gotoxy(23,79);
    gotoxy(55,25);
    printf("                ");
    i=0;
    j=0;
    while(td[i] != 0 || vr[i] != 0 && tec == 27)
    (
      gotoxy(40-36/2,4);
      printf("Deteccion de Perdidas de circulacion");
      gotoxy(40-29/2,6);
      printf("  Resultados del Proceso  ");
      gotoxy(5,8);
      printf("PROF.");
      gotoxy(6,9);
      printf("(m)");
      gotoxy(17,8);
      printf("Sx.");
      gotoxy(16,9);
      printf("kg/cm2");
      gotoxy(27,8);
      printf("Sy.");
      gotoxy(26,9);
      printf("kg/cm2");
      gotoxy(37,8);
      printf("Sz.");
      gotoxy(36,9);
      printf("kg/cm2");
      gotoxy(47,8);
      printf("Sr.");
      gotoxy(46,9);
      printf("kg/cm2");
      gotoxy(57,8);
      printf("So.");
      gotoxy(56,9);
      printf("kg/cm2");
      gotoxy(67,8);
      printf("Szz.");
      gotoxy(66,9);
      printf("kg/cm2");
      if (i == 0)
      (
        gotoxy(2,12+j-1);
        printf("%8.2f",z1);
      )
      if (i != 0)
      (
        gotoxy(2,12+j-1);
        printf("%8.2f",z2[i-1]);
      )
      gotoxy(15,12+j-1);
      printf("%3.2f",sx[i]);
      gotoxy(25,12+j-1);
      printf("%3.2f",sy[i]);
      gotoxy(35,12+j-1);
      printf("%3.2f",sz[i]);
      gotoxy(45,12+j-1);
      printf("%3.2f",sr[i]);
      gotoxy(55,12+j-1);
      printf("%3.3f",so[i]);
      gotoxy(66,12+j-1);
      printf("%3.3f",szz[i]);
      i++;
      j++;
    )
    if (tec != 27)
    if(12+j-1>22)
    (

```



```

    )
    gotoxy(15,12+j-1);
    printf("%3.2f",sref[i]);
    gotoxy(25,12+j-1);
    printf("%3.2f",soef[i]);
    gotoxy(35,12+j-1);
    printf("%3.2f",szef[i]);
    gotoxy(45,12+j-1);
    printf("%3.2f",sreef[i]);
    gotoxy(55,12+j-1);
    printf("%3.3f",soeef[i]);
    gotoxy(66,12+j-1);
    printf("%3.3f",szeef[i]);
    i++;
    j++;
    if (tec != 27)
    if(12+j-1>22)
    (
        gotoxy(23,79);
        tecla();
        gotoxy(55,25);
        printf("          ");
        BORRA;
        cuadro1();
        j=0;
    )
    LU2;
    gotoxy(55,25);
    printf("Presione cualquier Tecla");
    NORMAL;
}
)
if (tec != 27)
tecla();
tec =27;
return;
)
lista4()
(
if (tec != 27)
(
int i,j;
NEGRO;
BORRA;
cuadro1();
LU2;
gotoxy(55,25);
printf("Presione cualquier Tecla");
NORMAL;
tecla();
gotoxy(23,79);
gotoxy(55,25);
printf("          ");
i=0;
j=0;
while(td[i] != 0 || vr[i] != 0 && tec == 27)
(
gotoxy(40-36/2,4);
printf("Deteccion de Perdidas de circulacion");
gotoxy(40-29/2,6);
printf("  Resultados del Proceso  ");
gotoxy(5,8);
printf("PROF.");
gotoxy(6,9);
printf("(m)");
gotoxy(16,8);
printf("Pp.");
gotoxy(15,9);
printf("kg/cm2");
gotoxy(27,8);
printf("Ps.");
gotoxy(26,9);
printf("kg/cm2");
gotoxy(36,8);
printf("Pf.");
gotoxy(35,9);
printf("kg/cm2");
if (i == 0)
(
gotoxy(2,12+j-1);

```

```

        printf("%8.2f",z1);
    }
    if (i != 0)
    {
        gotoxy(2,12+j-1);
        printf("%8.2f",z2[i-1]);
    }
    gotoxy(15,12+j-1);
    printf("%3.2f",pp[i]);
    gotoxy(25,12+j-1);
    printf("%3.2f",ps[i]);
    gotoxy(35,12+j-1);
    printf("%3.2f",pkg[i]);
    i++;
    j++;
    if (tec != 27)
    if(12+j-1>22)
    {
        gotoxy(23,79);
        tecla();
        gotoxy(55,25);
        printf("                ");
        BORRA;
        cuadro1();
        j=0;
    }
    LUZ;
    gotoxy(55,25);
    printf("Presione cualquier Tecla");
    NORMAL;
}
}
if (tec != 27)
tecla();
tec =27;
return;
}
op()
{
if (tec != 27)
{
while(tec!=32&&tec!=80&&tec!=112&&tec!=73&&tec!=105)
{
BORRA;
NEGRO;
BORRA;
cuadro1();
ROJO;
gotoxy(40-51/2,10);
printf("Opciones De Inpresion");
gotoxy(40-51/2,11);
printf("<P>ANTALLA <I>MPRESORA");
gotoxy(40-51/2,12);
printf("E-<Esc> exit");
tecla();
if (tec==80||tec==112)
{
opp();
}
if (tec==73||tec==105)
{
opi();
}
if (tec==27)
tec =32;
}
NEGRO;
BORRA;
cuadro1();
}
return;
}
op()
{
BORRA;
NEGRO;
BORRA;
cuadro1();
ROJO;
gotoxy(40-51/2,9);

```

```

printf("\n-----Opciones De Inpresion-----\n");
gotoxy(40-51/2,10);
printf("\n\n");
gotoxy(40-51/2,11);
printf("\n 'A' Tabla #1          'D' Tabla #4          |\n");
gotoxy(40-51/2,12);
printf("\n 'B' Tabla #2          'E' Tabla #5          |\n");
gotoxy(40-51/2,13);
printf("\n 'C' Tabla #3          |\n");
gotoxy(40-51/2,14);
printf("\n\n          Elija opcion          |\n");
gotoxy(40-51/2,15);
printf("\n#-----<Esc> exit-----#\n");
do
(
    tecla();
    if(tec == 65 || tec == 97)
        lista();
    if(tec == 66 || tec == 98)
        lista1();
    if(tec == 67 || tec == 99)
        lista2();
    if(tec == 68 || tec == 100)
        lista3();
    if(tec == 69 || tec == 101)
        lista4();
}while (tec != 27);
NEGRO;
BORRA;
cuadro1();
tec = 32;
return;
)
opi()
(
BORRA;
NEGRO;
BORRA;
cuadro1();
ROJO;
gotoxy(40-51/2,9);
printf("\n-----Opciones De Inpresion-----\n");
gotoxy(40-51/2,10);
printf("\n\n");
gotoxy(40-51/2,11);
printf("\n 'A' Tabla #1          'D' Tabla #4          |\n");
gotoxy(40-51/2,12);
printf("\n 'B' Tabla #2          'E' Tabla #5          |\n");
gotoxy(40-51/2,13);
printf("\n 'C' Tabla #3          |\n");
gotoxy(40-51/2,14);
printf("\n\n          Elija opcion          |\n");
gotoxy(40-51/2,15);
printf("\n#-----<Esc> exit-----#\n");
do
(
    tecla();
    if(tec == 65 || tec == 97)
        listap();
    if(tec == 66 || tec == 98)
        listap1();
    if(tec == 67 || tec == 99)
        listap2();
    if(tec == 68 || tec == 100)
        listap3();
    if(tec == 69 || tec == 101)
        listap4();
}while (tec != 27);
NEGRO;
BORRA;
cuadro1();
tec = 32;
return;
)
listap()
(
int s,s1;
char lit1[] = {"LUTITA"};
char lit2[] = {"SAL"};
char lit3[] = {"LUTITA ARENOSA"};

```





```

sprintf(cad, " \n");
fputs(cad, stdprn);
sprintf(cad, "
Lista De Resultados De La Tabla #3 \n");
fputs(cad, stdprn);
sprintf(cad, " \n\n\n");
fputs(cad, stdprn);
sprintf(cad, " Prof.          Sx.          Sy.          Sz.          Sr.          So.          Sz2\n");
fputs(cad, stdprn);
sprintf(cad, " (m)          \n\n\n");
fputs(cad, stdprn);
return;
}
listap3();
{
int s;
/* sprintf() escribe en cadena buffer cad[81] */
/* fputs(cad, stdprn); /* escape cadena buffer a impresora */
titlp3();
s = 0;
do
{
if (s < 1)
{
sprintf(cad, "%5.2f          %4.2f          %4.2f          %4.2f          %4.2f          %4.2f          %4.2f\n\n", z1, sref[s], soef[s], szef[s], sreef[s], soef[s], szef[s]);
fputs(cad, stdprn);
}
if (s > 0)
{
sprintf(cad, "%5.2f          %4.2f          %4.2f          %4.2f          %4.2f          %4.2f          %4.2f\n\n", z2[s-1], sref[s], soef[s], szef[s], sreef[s], soef[s], szef[s]);
fputs(cad, stdprn);
}
s++;
if (s == 22)
{
sprintf(cad, "\n\n\n\n\n\n\n\n\n\n");
fputs(cad, stdprn);
hoja = hoja + 1;
titlp3();
}
}while(z2[s-1] != 0);
hoja = 1;
return;
}
}
/*****/
titlp3();
{
sprintf(cad, "
Hoja # %d\n", hoja);
fputs(cad, stdprn); /* escape cadena buffer a impresora */
sprintf(cad, "
DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION \n");
fputs(cad, stdprn); /* escape cadena buffer a impresora */
sprintf(cad, " \n");
fputs(cad, stdprn);
sprintf(cad, "
Lista De Resultados De La Tabla #4 \n");
fputs(cad, stdprn);
sprintf(cad, " \n\n\n");
fputs(cad, stdprn);
sprintf(cad, " Prof.          Sref          Soef          Szef          Sreef          Soeef          Szeef\n");
fputs(cad, stdprn);
sprintf(cad, " (m)          (kg/cm2)          (kg/cm2)          (kg/cm2)          (kg/cm2)          (kg/cm2)          (kg/cm2)\n\n\n");
fputs(cad, stdprn);
return;
}
listap4();
{
int s;
/* sprintf() escribe en cadena buffer cad[81] */
/* fputs(cad, stdprn); /* escape cadena buffer a impresora */
titlp4();
s = 0;
do
{
if (s < 1)
{
sprintf(cad, "%4.2f          %1.2f          %7.2f          %8.2f\n\n", z1, pp[s], ps[s], pfgk[s]);
fputs(cad, stdprn);
}
if (s > 0)
{
sprintf(cad, "%4.2f          %1.2f          %7.2f          %8.2f\n\n", z2[s-1], pp[s], ps[s], pfgk[s]);
fputs(cad, stdprn);
}
}
}

```

```

)
s++;
if (s == 22)
(
    printf(cad, "\n\n\n\n\n\n\n\n\n\n");
    fputs(cad, stdprn);
    hoja = hoja + 1;
    titlp4();
)
}while(z2[s-1] != 0);
hoja = 1;
return;
)
/*****
titlp4()
(
    printf(cad, "
    fputs(cad, stdprn); /* escupe cadena buffer a impresora */
    printf(cad, "
    fputs(cad, stdprn); /* escupe cadena buffer a impresora */
    printf(cad, "\n");
    fputs(cad, stdprn);
    printf(cad, "
    fputs(cad, stdprn);
    printf(cad, "\n\n\n");
    fputs(cad, stdprn);
    printf(cad, " Prof. Pp Ps Pf\n");
    fputs(cad, stdprn);
    printf(cad, " (m)\n\n\n");
    fputs(cad, stdprn);
    return;
)
)
tecla()
(
    tec = getch();
    return;
)

```

Hoja #%d\n", hoja);

Lista De Resultados De La Tabla #5 \n");

INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
 LABORATORIO DE QUÍMICA ANALÍTICA

## APENDICE 2.

POZO CANALETE-1.

LINEA SISMOLOGICA SP- 160

DATOS:

TIEMPO	VELOCIDAD
0.53	1695
0.65	1809
0.78	1835
0.85	1905
0.94	1940
1.10	2035
1.23	2110
1.34	2190
1.49	2200
1.71	2395
1.87	2480
2.00	2550
2.09	2585
2.19	2595
2.32	2660
2.41	2675
2.51	2800
2.64	2810
2.70	2825
2.93	2835
3.02	3070
3.18	3160
3.34	4130
3.50	4515
3.76	4545
3.85	4565
4.01	4630
4.40	4715
4.65	4585
4.78	4930

**DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION**

Listado de resultados de la tabla # 1

<b>PROF</b>	<b>VI</b>	<b>ATC</b>	<b>ATS</b>	<b>DB</b>
<b>(m)</b>	<b>(m/s)</b>	<b>(us/ft)</b>	<b>(us/ft)</b>	<b>(gr/cc)</b>
449	1695.00	179	314	1.98
587	2312.50	131	230	2.14
721	1959.26	155	272	2.05
809	2764.68	110	192	2.24
917	2249.90	135	237	2.13
1125	2596.69	117	205	2.2
1301	2728.05	110	193	2.24
1526	2807.01	108	190	2.25
1639	2345.21	130	227	2.15
2052	3692.13	82	144	2.41
2323	3390.92	89	157	2.36
2552	35874.85	85	149	2.39
2711	3314.97	91	160	2.34
2846	2813.56	108	189	2.25
3088	3774.17	80	141	2.42
3234	3037.84	100	175	2.29
3519	5948.83	51	92	2.71
3712	3006.90	101	177	2.29
3822	3444.50	88	154	2.37
4068	4930.11	61	108	2.59
4359	5806.09	52	94	2.7
4659	6006.26	50	91	2.72
4969	6206.04	49	78	2.74

**DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION**

Listado de resultados de la tabla # 1

<b>PROF</b>	<b>VI</b>	<b>ATC</b>	<b>ATS</b>	<b>DB</b>
(m)	(m/s)	(us/ft)	(us/ft)	(gr/cc)
5450	9614.56	31	57	3.06
5785	6706.51	45	86	2.8
6130	6907.06	44	83	2.82
6486	7106.71	42	77	2.84
6851	7307.70	41	75	2.86
7226	7507.46	40	73	2.88
7612	7706.70	39	71	2.9

**DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION**

Lista de resultados de la tabla # 2

<b>PROF</b>	<b>G</b>	<b>E</b>	<b>KB</b>
<b>(m)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>
449	268599	675567	642711
587	540327	1359004	1319947
721	372119	935936	899282
809	807562	2031141	1994617
917	507970	1277623	1238737
1125	701321	1763930	1725647
1301	803205	2020182	1983570
1526	835637	2101755	2065838
1639	557674	1402636	1363536
2052	1548237	3894051	3888034
2323	1278159	3214763	3194628
2552	1439793	3621299	3609274
2711	1214871	3055586	3032576
2846	840027	21122797	2076980
3088	1626720	4091449	4090040
3234	998240	2510725	2479347
3519	4279672	10928449	11772193
3712	975170	2452702	2420581
3822	1324115	3330350	3312411
4068	2966741	7461804	7564278
4359	4052549	10348475	11135392
4659	4373412	11167820	12035192
4969	5958484	14055912	12369102

**DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION**

Lista de resultados de la tabla # 2

<b>PROF</b>	<b>G</b>	<b>E</b>	<b>KB</b>
(m)	(Kg/cm2)	(Kg/cm2)	(Kg/cm2)
5450	12598931	32172270	35353076
5785	5030198	13163316	15770518
6130	5374052	14063132	16867238
6486	8384987	16304521	17699164
6851	6796472	17355278	18861794
7226	7222251	18442534	20066014
7612	7662485	19566704	21312322

**DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCUALCION**

Listado de resultados de tabla # 3

<b>PROF</b>	<b>Sx</b>	<b>Sy</b>	<b>Sz</b>
<b>(m)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>
449	62	62	89
587	104	104	154
721	101	101	148
809	119	119	181
917	131	131	195
1125	164	164	248
1301	192	192	292
1526	225	225	343
1839	237	237	353
2052	315	315	495
2323	352	352	548
2552	390	390	610
2711	410	410	636
2846	421	421	641
3088	475	475	749
3234	483	483	743
3519	598	598	956
3712	554	554	850
3822	581	581	906
4068	650	650	1055
4359	738	738	1177
4859	793	793	1269
4969	714	714	1365

**DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCUALCION**

Listado de resultados de tabla # 3

<b>PROF</b> <b>(m)</b>	<b>Sx</b> <b>(Kg/cm2)</b>	<b>Sy</b> <b>(Kg/cm2)</b>	<b>Sz</b> <b>(Kg/cm2)</b>
5450	999	999	1670
5785	1065	1065	1620
6130	1134	1134	1729
6486	1133	1133	1843
6851	1202	1202	1980
7226	1274	1274	2082
7612	1347	1347	2207

### COMPORTAMIENTO DEL TIEMPO DE TRANSITO COMPRESIONAL

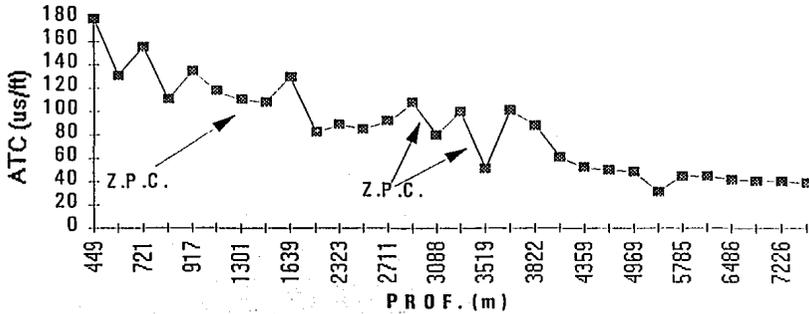
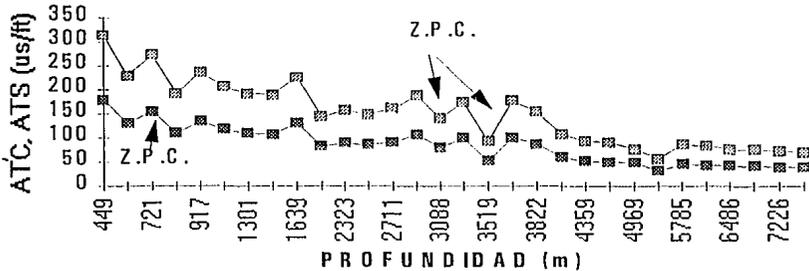


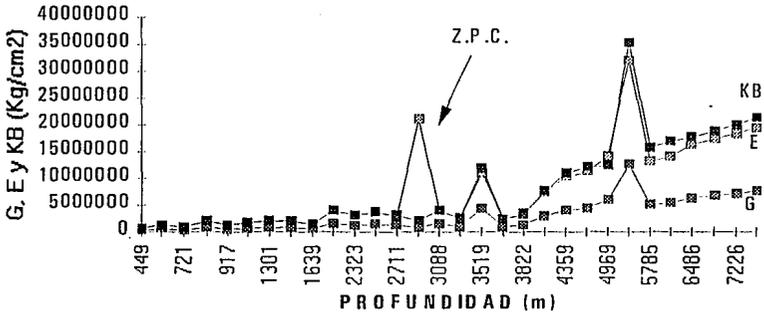
Fig.5.1.- Los valores del tiempo de tránsito compresional tienden a disminuir en las Z.P.C.

### COMPORTAMIENTO DEL TIEMPO DE TRANSITO COMPRESIONAL Y DE CIZALLAMIENTO



En la fig.5.2 los valores de los tiempos de tránsito compresional y de cizallamiento disminuyen en las Z.P.C., presentando un comportamiento casi similar.

### COMPORTAMIENTO DE LOS MODULOS DE CIZALLAMIENTO, YOUNG Y DE VOLUMEN



En la fig.5.3 el módulo de Young y el de Volumen presentan una respuesta muy similar en las Z.P.C.

### COMPORTAMIENTO DE LOS ESFUERZOS

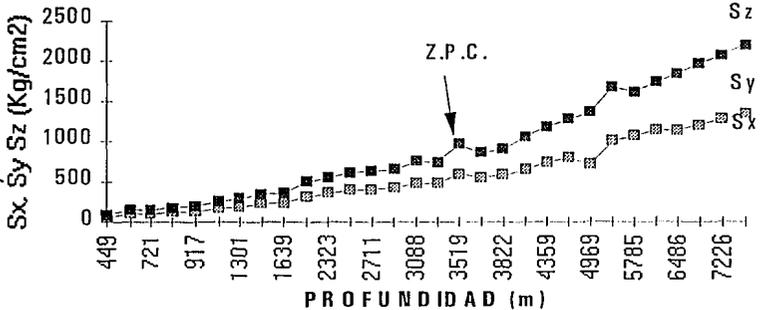


Fig.5.4.- Los esfuerzos en las Z.P.C. presentan un ligero aumento de sus valores.

POZO CUATRO MILPAS - 18.

LINEA SISMOLOGICA SP- 80

DATOS:

TIEMPO	VELOCIDAD
0.65	1900
0.80	1930
1.00	2050
1.10	2100
1.30	2175
1.50	2300
1.75	2400
1.79	2410
1.81	2415
1.83	2420
1.85	2425
1.87	2431
1.89	2442
1.90	2447
1.93	2453
1.96	2459
1.98	2466
1.99	2472
2.11	2510
2.21	2535
2.32	2565
2.43	2592
2.53	2621
2.62	2642
2.74	2663
2.81	2685
2.92	2700
3.00	2710
3.12	2733
3.21	2750
3.30	2764

**DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION**

Lista de resultados de la tabla #1

<b>PROF.</b>	<b>VI</b>	<b>ATC</b>	<b>ATS</b>	<b>DB</b>
(m)	(m/s)	(us/ft)	(us/ft)	(gr/cc)
617	1900.00	160	280	2.04
772	2060.12	147	258	2.08
1025	2530.10	120	210	2.19
1155	2600.01	117	205	2.21
1413	2587.65	117	206	2.20
1725	3112.58	97	171	2.31
2100	3000.17	101	177	2.29
2156	2847.73	107	187	2.26
2185	2862.70	106	186	2.26
2222	3696.38	82	144	2.41
2243	2059.01	148	259	2.08
2272	2986.07	102	178	2.28
2307	3470.83	87	153	2.37
2324	3392.05	89	157	2.36
2367	2833.17	107	188	2.25
2409	2845.07	107	187	2.26
2441	3152.17	96	169	2.31
2459	3660.00	83	145	2.40
2635	3197.46	95	166	2.32
2788	3060.10	99	174	2.30
2949	3225.19	94	165	2.33
3110	3213.30	94	166	2.33
3313	4067.20	74	131	2.47

**DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION**

Lista de resultados de la tabla #1

<b>PROF.</b>	<b>VI</b>	<b>ATC</b>	<b>ATS</b>	<b>DB</b>
(m)	(m/s)	(us/ft)	(us/ft)	(gr/cc)
3434	2417.17	126	220	2.17
3595	3209.24	95	166	2.32
3759	3279.31	92	162	2.34
3915	3120.23	97	171	2.31
4065	3000.17	101	177	2.29
4236	3423.28	89	155	2.36
4400	3277.20	93	162	2.34
4560	3212.00	94	166	2.33

**DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION**

Lista de resultados de la tabla # 2

<b>PROF.</b>	<b>G</b>	<b>E</b>	<b>KB</b>
(m)	(Kg/cm2)	(Kg/cm2)	(Kg/cm2)
617	347271	873439	837503
772	416556	1047702	1010021
1025	661445	1663635	1624930
1155	703335	1768995	1730736
1413	695751	1749919	1711569
1725	1054310	2651751	2622304
2100	970500	2440955	2408687
2156	863010	2170603	2135331
2185	873275	2196419	2161402
2222	1551923	39003322	3897516
2243	416095	1046543	1008871
2272	960349	2415424	2382842
2307	1346949	3387781	3370966
2324	1279372	3217816	3197737
2367	853161	2145830	2110320
2409	861303	2166308	2130994
2441	1084659	2728082	2699752
2459	1518083	3818210	3810479
2635	1120170	2817398	2790436
2788	1014716	2552185	2521336
2949	1141998	2872300	2846210
3110	1132456	2848299	2821825
3313	1924597	4840655	4858516

**DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION**

Lista de resultados de la tabla # 2

<b>PROF.</b>	<b>G</b>	<b>E</b>	<b>KB</b>
<b>(m)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>
3434	596822	1501098	1462020
3595	1129287	2840329	2813728
3759	1185472	2981644	2957361
3915	1060036	2686152	2636912
4065	970498	2440951	2408683
4236	1305836	3284375	3265552
4400	1183842	2977543	2953191
4560	1131668	2846318	2819812

**DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION**

Lista de resultados de la tabla # 3

<b>PROF.</b>	<b>Sx</b>	<b>Sy</b>	<b>Sz</b>
<b>(m)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>
817	86	86	126
772	145	145	213
1025	149	149	225
1155	169	169	255
1413	207	207	312
1725	258	258	398
2100	313	313	481
2156	319	319	487
2185	324	324	494
2222	341	341	536
2243	319	319	467
2272	339	339	520
2307	351	351	548
2324	352	352	549
2367	350	350	534
2409	357	357	544
2441	367	367	566
2459	377	377	592
2635	396	396	613
2788	417	417	641
2949	444	444	688
3110	468	468	724
3313	515	515	819

## DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION

Lista de resultados de la tabla # 3

<b>PROF.</b> <b>(m)</b>	<b>Sx</b> <b>(Kg/cm2)</b>	<b>Sy</b> <b>(Kg/cm2)</b>	<b>Sz</b> <b>(Kg/cm2)</b>
3434	498	498	745
3595	541	541	837
3759	568	568	880
3915	587	587	905
4065	607	607	931
4236	643	643	1002
4400	664	664	1030
4560	687	687	1062

### COMPORTAMIENTO DEL TIEMPO DE TRANSITO COMPRESIONAL Y DE CIZALLAMIENTO

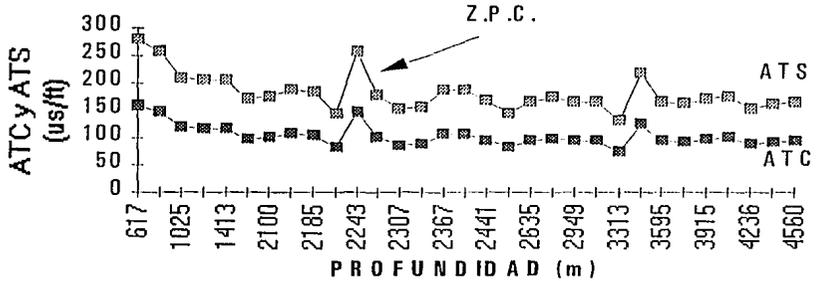
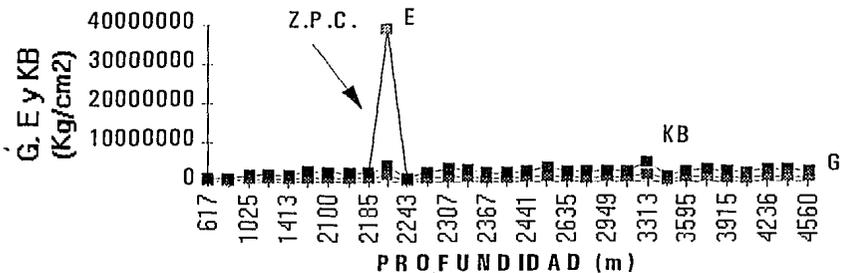


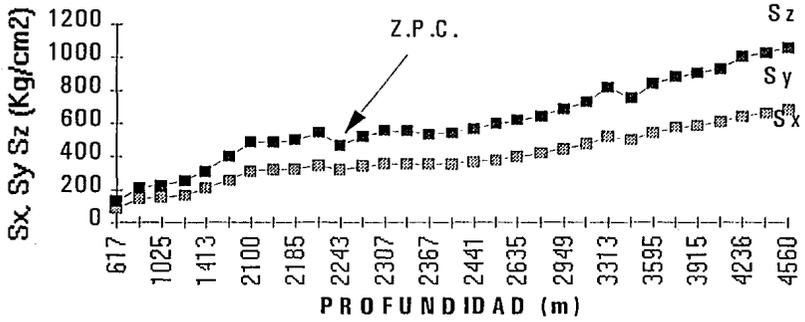
Fig. 5.5.- Al observar los tiempos de tránsito compresional y de cizallamiento tienen muy similar comportamiento en las Z.P.C.

### COMPORTAMIENTO DE LOS MODULOS DE CIZALLAMIENTO, YOUNG Y DE VOLUMEN



En la fig. 5.6 el módulo de Young es el que tiene mejor respuesta en las Z.P.C.

## COMPORTAMIENTO DE LOS ESFUERZOS



*Los esfuerzos que se presentan en la fig.5.7, tienen una ligera alteración en su comportamiento en las Z.P.C. sobre todo el esfuerzo en la dirección z.*

POZO BELLOTA-101.

LINEA SISMOLOGICA SP- 79/30

DATOS:

TIEMPO	VELOCIDAD
0.65	1900
0.80	1930
1.00	2050
1.10	2100
1.30	2175
1.50	2300
1.80	2400
2.00	2475
2.30	2600
2.50	2750
2.60	2825
2.80	2826
3.10	2827
3.30	2828
3.50	2850
3.80	2975

## DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION

Lista de resultados de la tabla # 1

PROF.	VI	ATC	ATS	DB
(m)	(m/s)	(us/ft)	(us/ft)	(gr/cc)
617	1900.00	160	280	2.04
772	2060.12	147	258	2.08
1025	2530.10	120	210	2.19
1155	2600.01	117	205	2.21
1413	2587.65	117	206	2.2
1725	3112.58	97	171	2.31
2160	2900.00	105	183	2.27
2475	3150.21	96	169	2.31
2990	3433.69	88	155	2.36
3437	4475.60	68	119	2.53
3672	4700.55	64	113	2.56
3956	39.24	107	187	2.25
4381	36.53	107	188	2.25
4666	43.74	107	187	2.26
4987	2312.30	94	166	2.33
5652	4433.94	68	120	2.52

**DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION**

Lista de resultados de la tabla # 2

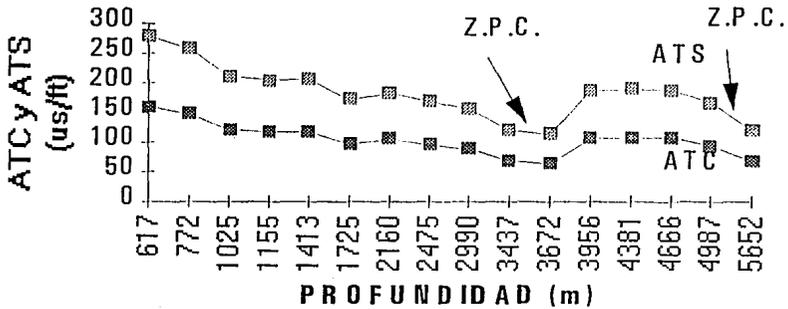
<b>PROF.</b>	<b>G</b>	<b>E</b>	<b>KB</b>
(m)	(Kg/cm2)	(Kg/cm2)	(Kg/cm2)
617	347271	873439	837503
772	416556	1047702	1010021
1025	661445	1663635	1624930
1155	703335	1768995	1730736
1413	695751	1749919	1711569
1725	1054310	2651751	2622304
2160	899225	2261687	2227345
2475	1083106	2724178	2695789
2990	1314722	3306725	3288329
3437	2386475	6002348	6054822
3672	2664973	6702812	6778476
3956	857225	2156052	2120640
4381	855415	2151500	2116044
4666	860282	2163740	2128401
4987	1132459	2848306	2821833
5652	2336772	5877336	2925843

## DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION

Lista de resultados de la tabla # 3

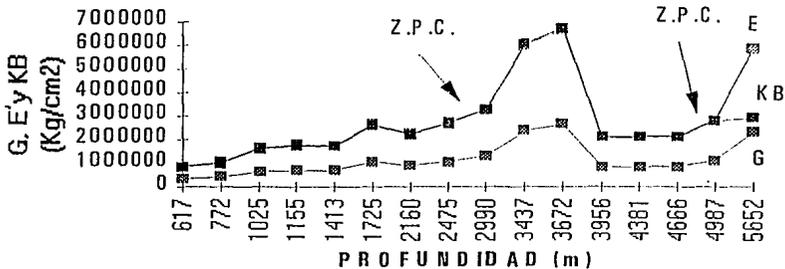
PROF. (m)	Sx (Kg/cm <sup>2</sup> )	Sy (Kg/cm <sup>2</sup> )	Sz (Kg/cm <sup>2</sup> )
617	86	86	126
772	145	145	213
1025	149	149	225
1155	169	169	255
1413	207	207	312
1725	258	258	398
2160	321	321	490
2475	372	372	573
2990	454	454	708
3437	542	542	870
3672	583	583	941
3956	586	586	893
4381	649	649	989
4666	691	691	1054
4987	751	751	1162
5652	890	890	1427

## COMPORTAMIENTO DEL TIEMPO DE TRANSITO COMPRESIONAL Y DE CIZALLAMIENTO

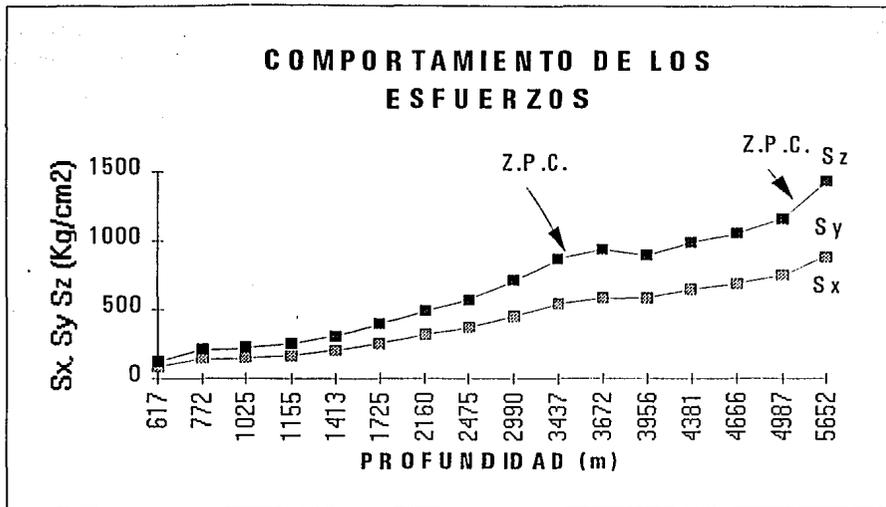


*Los tiempos de tránsito compresional y de cizallamiento en las Z.P.C. confirman su comportamiento al disminuir sus valores, como puede observarse en la fig.5.8.*

## COMPORTAMIENTO DE LOS MODULOS DE CIZALLAMIENTO, DE YOUNG Y DE VOLUMEN



*Fig.5.9.- Las constantes elásticas dinámicas presentan una respuesta positiva en las Z.P.C.*



*En la fig.5.10 los esfuerzos presentan una mínima alteración de sus valores en las Z.P.C. aunque no es muy notoria en los esfuerzos de la dirección x y.*

POZO ABKATUN-91.

LINEA SISMOLOGICA SP- 110

DATOS:

TIEMPO	VELOCIDAD
0.62	1007
0.65	1179
0.68	1224
0.71	1234
0.74	1437
0.77	1617
0.80	1626
0.83	1638
0.86	1648
0.89	1700
0.91	1748
0.94	1752
0.97	1763
1.00	1772
1.03	1783
1.06	1785
1.09	1815
1.12	1824
1.15	1862
1.18	1899
1.20	1914
1.23	1923
1.26	1924
1.29	1942
1.32	1952
1.35	1963
1.38	1973
1.41	1980
1.44	1990
1.47	1994
1.49	1999
1.52	2056
1.55	2064
1.58	2150
1.61	2164
1.64	2172
1.67	2197
1.70	2207
1.73	2215
1.76	2220
1.78	2227
1.81	2236

1.84  
1.87  
1.90  
1.93  
1.96  
1.99  
2.02  
2.05  
2.07  
2.10  
2.13  
2.16  
2.19  
2.22  
2.25  
2.28  
2.31  
2.34  
2.36  
2.39  
2.42  
2.45  
2.48  
2.51

2245  
2252  
2265  
2277  
2283  
2284  
2287  
2294  
2296  
2299  
2300  
2304  
2314  
2317  
2469  
2483  
2523  
2625  
2682  
2699  
2810  
2873  
2864  
2910

**DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION**

Lista de resultados de la tabla # 1

<b>PROF</b>	<b>VI</b>	<b>ATC</b>	<b>ATS</b>	<b>DB</b>
<b>(m)</b>	<b>(m/s)</b>	<b>(us/ft)</b>	<b>(us/ft)</b>	<b>(gr/cc)</b>
312	1007.00	302	529	1.74
383	4733.68	64	112	2.56
416	2199.06	138	242	2.11
438	1460.70	208	365	1.91
531	6242.38	48	78	2.75
622	6057.58	50	90	2.73
650	1857.08	164	287	2.03
696	3064.71	99	174	2.30
730	2251.35	135	236	2.13
756	1757.42	173	303	2.00
778	2155.07	141	247	2.10
821	2900.83	105	183	2.27
849	1877.44	162	284	2.03
881	2118.67	143	251	2.09
912	2072.02	147	257	2.08
944	2160.72	141	246	2.11
972	1855.73	164	287	2.03
1016	2905.26	104	183	2.27
1048	2160.11	141	247	2.11
1098	3318.94	91	160	2.34
1139	4082.45	74	130	2.47
1177	2514.04	121	212	2.19
1207	2040.13	149	261	2.08

## DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION

Lista de resultados de la tabla # 1

PROF (m)	VI (m/s)	ATC (us/ft)	ATS (us/ft)	DB (gr/cc)
1240	2218.10	137	240	2.12
1281	2716.06	112	196	2.23
1317	2392.13	127	223	2.16
1357	2688.04	113	198	2.22
1390	2203.03	138	242	2.12
1431	2693.03	113	198	2.22
1462	2086.06	146	255	2.09
1485	2288.01	133	233	2.14
1519	2247.36	135	237	2.13
1593	4944.50	61	107	2.59
1630	2477.47	123	215	2.18
1730	6680.06	45	86	2.79
1774	2915.53	104	183	2.27
1813	2609.36	116	204	2.21
1867	3588.91	84	148	2.39
1909	2773.88	109	192	2.24
1949	2676.48	113	199	2.22
1975	2660.13	114	200	2.22
2015	2642.35	115	201	2.21
2057	2779.19	109	191	2.24
2099	2797.04	109	190	2.25
2139	2688.51	113	198	2.22
2185	3088.62	98	172	2.30

## DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION

Lista de resultados de la tabla # 1

PROF	VI	ATC	ATS	DB
(m)	(m/s)	(us/ft)	(us/ft)	(gr/cc)
2231	3049.08	99	174	2.30
2271	2675.07	113	199	2.22
2309	2552.34	119	209	2.20
2351	2765.58	110	192	2.24
2376	2501.05	121	213	2.18
2413	2506.18	121	212	2.18
2449	2370.00	128	225	2.15
2488	2588.00	117	206	2.20
2533	3034.21	100	175	2.29
2571	2536.21	120	210	2.19
2777	13720.88	22	40	3.34
2830	3533.17	86	151	2.38
2914	5563.46	54	98	2.67
3071	10480.50	29	52	3.13
3164	9532.08	32	58	3.04
3187	1540.33	197	346	1.93
3446	17234.48	17	31	3.54
3565	7956.10	38	68	2.92
3622	3782.60	80	141	2.42
3698	5059.37	60	105	2.61

**DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION**

Lista de resultados de la tabla # 2

<b>PROF</b>	<b>G</b>	<b>E</b>	<b>KB</b>
<b>(m)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>
312	83231	209340	191409
383	2708121	6811336	6890731
416	482479	1213509	1174848
438	192181	483366	454980
531	6035070	14236577	12532230
622	4457426	11382356	12270985
650	329837	829591	794227
696	1018205	2560941	2530230
730	508700	1279458	1240567
756	291336	732755	698871
778	461030	1159560	1121153
821	899689	2262855	2228526
849	338018	850168	814529
881	443724	1116034	1077876
912	422035	1061483	1023698
944	463762	1166432	1127989
972	329304	828250	792905
1016	902719	2270476	2236229
1048	463438	1165617	1127177
1098	1217986	3063421	3040548
1139	1940590	4880878	4899048
1177	652070	1640056	1601273
1207	407512	1024955	987458

**DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION**

Lista de resultados de la tabla # 2

<b>PROF</b>	<b>G</b>	<b>E</b>	<b>KB</b>
<b>(m)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>
1240	491912	1237234	1198480
1281	775915	1951545	1914406
1317	583019	1466382	1427278
1357	758038	1906581	1869127
1390	484455	1218479	1179797
1431	761211	1914561	1877161
1462	428477	1077686	1039782
1485	527533	1326826	1287822
1519	506669	1274349	1235473
1593	2986408	7511268	7615545
1630	630868	1586730	1547799
1730	4985303	13045832	15627407
1774	909958	2288684	2254634
1813	709031	1783322	1745136
1867	1452348	3652876	3641523
1909	813477	2046018	2009617
1949	750648	1887995	1850418
1975	740383	1862175	1824435
2015	729367	1834468	1796562
2057	817002	2054884	2018559
2099	828949	2084933	2048866
2139	758245	1907101	1869651
2185	1035981	2605651	2575553

**DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION**

Lista de resultados de la tabla # 2

<b>PROF</b>	<b>G</b>	<b>E</b>	<b>KB</b>
<b>(m)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>
2231	1006529	2531573	2500469
2271	749811	1885890	1848300
2309	674653	1696855	1658274
2351	807088	2032213	1995698
2376	644510	1621041	1582200
2413	647416	1628349	1589530
2449	571028	1436223	1397112
2488	696047	1750665	1712318
2533	995426	2503647	2472177
2571	664983	1672533	1633860
2777	28043830	71611920	79727328
2830	1402150	3526620	3512612
2914	3680874	9399377	10094652
3071	15301175	39072644	43077508
3164	11842218	30238950	33194218
3187	216564	544693	514690
3446	46841204	119612360	134197840
3565	8230852	21018070	22923064
3622	1634873	4111450	4110519
3698	3145468	7911330	8030427

## DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION

Lista de resultados de la tabla # 3

<b>PROF</b>	<b>Sx</b>	<b>Sy</b>	<b>Sz</b>
(m)	(Kg/cm2)	(Kg/cm2)	(Kg/cm2)
312	40	40	54
383	66	66	106
416	59	59	88
438	59	59	83
531	76	76	146
622	106	106	169
650	91	91	132
696	104	104	160
730	105	105	155
756	105	105	151
778	111	111	164
821	122	122	186
849	119	119	173
881	125	125	185
912	129	129	190
944	135	135	199
972	136	136	197
1016	151	151	230
1048	150	150	221
1098	166	166	258
1139	177	177	281
1177	171	171	257
1207	171	171	251

## DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION

Lista de resultados de la tabla # 3

<b>PROF</b>	<b>Sx</b>	<b>Sy</b>	<b>Sz</b>
(m)	(Kg/cm2)	(Kg/cm2)	(Kg/cm2)
1240	178	178	263
1281	188	188	286
1317	191	191	285
1357	199	199	302
1390	199	199	294
1431	210	210	319
1462	208	208	305
1485	214	214	318
1519	218	218	3123
1593	254	254	413
1630	237	237	356
1730	318	318	484
1774	264	264	403
1813	265	265	401
1867	285	285	447
1909	282	282	428
1949	286	286	433
1975	290	290	439
2015	296	296	447
2057	304	304	462
2099	310	310	472
2139	314	314	476
2185	327	327	504

**DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION**

Lista de resultados de la tabla # 3

<b>PROF</b>	<b>Sx</b>	<b>Sy</b>	<b>Sz</b>
<b>(m)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>
2231	333	333	513
2271	334	334	505
2309	337	337	508
2351	347	347	527
2376	346	346	520
2413	352	352	528
2449	354	354	529
2488	364	364	549
2533	379	379	582
2571	375	375	564
2777	539	539	930
2830	432	432	675
2914	490	490	778
3071	570	570	961
3164	577	577	963
3187	437	437	618
3446	695	695	1222
3565	634	634	1042
3622	558	558	879
3698	593	593	965



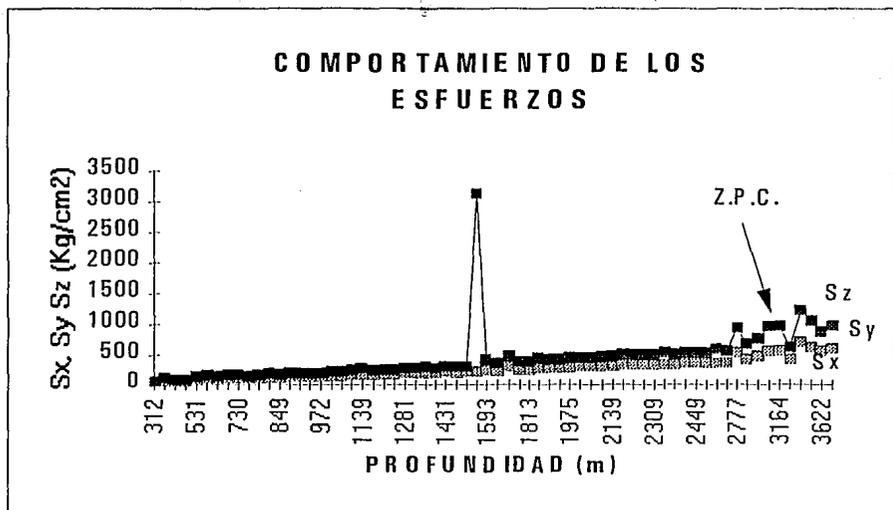


Fig.5.13.- La tendencia de los esfuerzos en las Z.P.C. es presentar alteraciones con aumentos y disminuciones en sus valores.

POZO TABACO - 1.

LINEA SISMOLOGICA SP- 160

DATOS:

TIEMPO	VELOCIDAD
0.27	1385
0.33	1430
0.49	1685
0.56	1785
0.72	1770
0.81	1845
0.97	1925
1.10	1980
1.20	2015
1.29	2035
1.42	2130
1.61	2135
1.71	2240
1.90	2250
2.06	2300
2.25	2440
2.41	2505
2.51	2700
2.67	2750
2.86	2800
2.93	2810
3.02	2820
3.15	2850
3.21	2870
3.31	2950
3.53	2970
3.63	3470
3.73	3495
3.89	4125

**DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION**

Lista de resultados de la tabla # 1

<b>PROF</b>	<b>VI</b>	<b>ATC</b>	<b>ATS</b>	<b>DB</b>
(m)	(m/s)	(us/ft)	(us/ft)	(gr/cc)
186	1385.00	220	385	1.88
243	1603.80	190	332	1.95
421	227.01	136	239	2.12
499	2618.55	116	203	2.21
637	1717.52	177	310	1.99
747	2445.08	124	218	2.17
933	2330.15	130	228	2.15
1089	2390.45	127	223	2.16
1209	2400.00	127	222	2.16
1325	2588.59	117	206	2.20
1512	2874.30	106	185	2.26
1718	2172.42	140	245	2.11
1915	3930.81	77	135	2.45
2137	2340.17	130	228	2.15
2369	2893.95	105	184	2.27
2745	3957.91	77	134	2.45
3018	3419.06	89	156	2.36
3388	7399.95	41	74	2.87
3671	3539.40	86	150	2.38
4003	3502.73	87	152	2.38
4116	3216.72	94	165	2.33
4258	3145.66	96	169	2.31
4488	3547.15	85	150	2.38

**DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION**

Lista de resultados de la tabla # 1

<b>PROF</b>	<b>VI</b>	<b>ATC</b>	<b>ATS</b>	<b>DB</b>
(m)	(m/s)	(us/ft)	(us/ft)	(gr/cc)
4620	3770.44	80	141	2.42
4882	5818.73	52	94	2.70
5242	3271.22	93	163	2.34
6298	21128.06	14	25	3.73
6518	4402.00	69	121	2.52

**DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION**

Lista de resultados de la tabla #2

<b>PROF</b>	<b>G</b>	<b>E</b>	<b>KB</b>
<b>(m)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>
186	170504	428843	402072
243	237094	596328	565109
421	496350	1248396	1209603
499	714543	1797185	1759071
637	276688	695912	662676
747	612491	1540509	1501485
933	549570	1382253	1343169
1089	582137	1474163	1425058
1209	587418	1477447	1438350
1325	696256	1751189	1712844
1512	881345	2216718	2181906
1718	469432	1180694	1142180
1915	1782298	4482749	4491070
2137	554892	1395637	1356541
2369	89894870	2250735	2216277
2745	1810369	4553353	4563509
3018	1302457	3275878	3256893
3388	6993745	17859028	19419588
3671	1403381	3529717	3515772
4003	1375183	3458794	3443399
4116	1136877	2859419	2833123
4258	1079679	2715557	2687040
4488	1414613	3557966	3544608

## DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION

Lista de resultados de la tabla #2

PROF	G	E	KB
(m)	(Kg/cm2)	(Kg/cm2)	(Kg/cm2)
4620	1622718	4081384	4079734
4882	4062319	10373423	11162773
5242	1178098	2965107	2940545
6298	74056688	189109040	213547184
6518	2300357	5785746	5831382

**DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION**

Lista de resultados de la tabla # 3

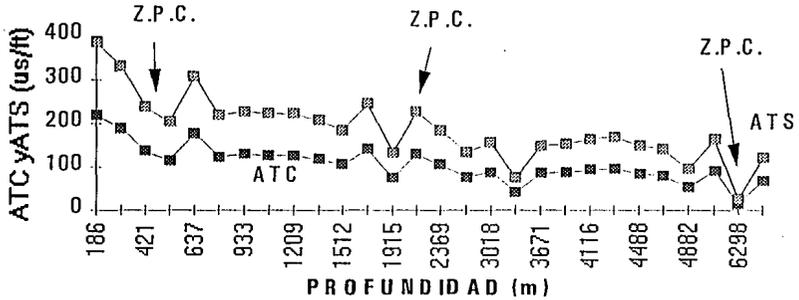
<b>PROF</b>	<b>Sx</b>	<b>Sy</b>	<b>Sz</b>
<b>(m)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>
186	25	25	35
243	58	58	82
421	60	60	89
499	73	73	110
637	88	88	126
747	108	108	162
933	134	134	200
1089	157	157	235
1209	175	175	261
1325	194	194	292
1512	224	224	342
1718	246	246	363
1915	296	296	469
2137	309	309	460
2369	352	352	537
2745	425	425	673
3018	458	458	714
3388	596	596	972
3671	560	560	876
4003	610	610	953
4116	620	620	959
4258	640	640	987
4488	685	685	1072

## DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION

Lista de resultados de la tabla # 3

<b>PROF</b>	<b>Sx</b>	<b>Sy</b>	<b>Sz</b>
<b>(m)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>
4620	711	711	1120
4882	827	827	1319
5242	792	792	1227
6298	1315	1315	2350
6518	1025	1025	1643

### COMPORTAMIENTO DEL TIEMPO DE TRANSITO COMPRESIONAL Y DE CIZALLAMIENTO



La disminución de los tiempos de tránsito compresional y de cizallamiento en las Z.P.C. es característico, como puede observarse en la fig.5.14.

### COMPORTAMIENTO DE LOS MODULOS DE CIZALLAMIENTO, YOUNG Y DE VOLUMEN

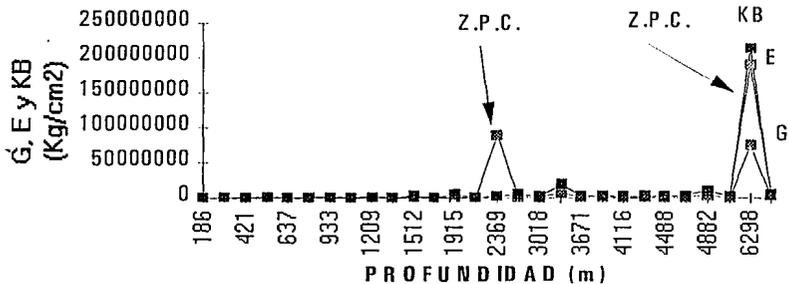
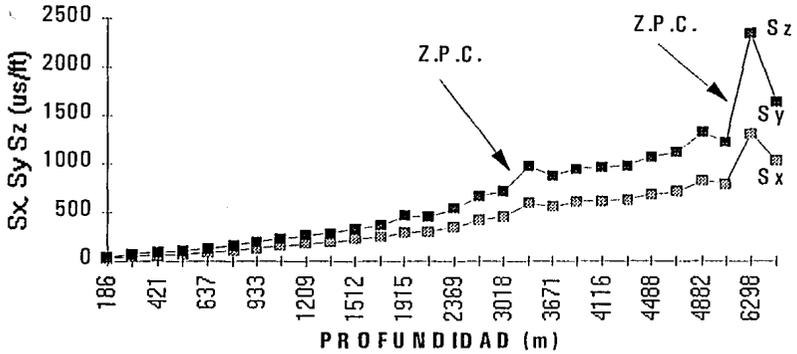


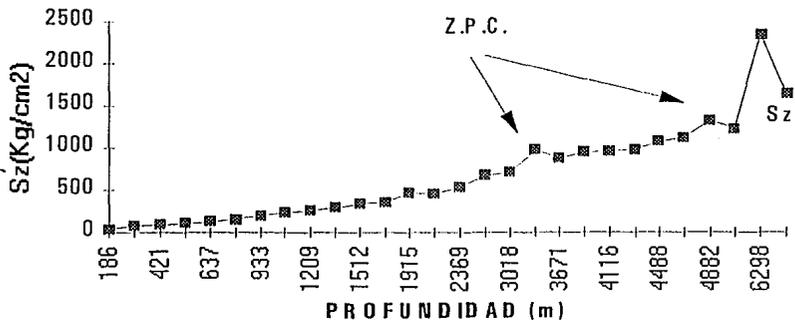
Fig.5.15.- Los módulos de Young y Volumen presentan una respuesta positiva en las Z.P.C.

### COMPORTAMIENTO DE LOS ESFUERZOS



En la fig.5.16 el esfuerzo en la dirección z presenta una mejor respuesta en las Z.P.C.

### COMPORTAMIENTO DEL ESFUERZO EN LA DIRECCION Z



En la fig. 5.17 se presenta el comportamiento del esfuerzo en la dirección z en las Z.P.C.

POZO SOYALO - 1.

LINEA SISMOLOGICA SP- 80/34

DATOS:

TIEMPO	VELOCIDAD
0.24	1500
0.30	1510
0.43	1650
0.56	1720
0.72	1785
0.81	1860
0.91	1900
0.97	1940
1.20	1965
1.33	2050
1.61	2090
1.74	2265
1.90	2340
2.06	2342
2.22	2435
2.32	2460
2.41	2475
2.61	2480
2.83	2705
2.99	2750
3.21	3150
3.31	3505
3.47	3675
3.60	3880
3.69	3980
3.85	3980

## DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION

Lista de resultados de la tabla #1

<b>PROF</b>	<b>VI</b>	<b>ATC</b>	<b>ATS</b>	<b>DB</b>
<b>(m)</b>	<b>(m/s)</b>	<b>(us/ft)</b>	<b>(us/ft)</b>	<b>(gr/cc)</b>
180	1500.00	203	355	1.92
226	1550.00	196	344	1.94
354	1973.19	154	270	2.06
481	1951.59	156	273	2.05
642	2012.52	151	265	2.07
753	2460.00	123	216	2.17
864	2224.08	137	239	2.12
940	2546.80	119	209	2.19
1179	2020.47	147	257	2.08
1363	2834.45	107	188	2.25
1682	2280.14	133	234	2.13
1970	4432.65	88	120	2.52
2223	3155.76	96	169	2.31
2412	2365.77	128	225	2.15
2702	3632.52	83	146	2.40
2853	3015.01	101	176	2.29
2982	2861.89	106	186	2.26
3236	2480.00	120	210	2.19
3827	2525.49	56	102	2.65
4111	3596.33	85	150	2.38
5055	8588.11	35	63	2.97
5800	14901.17	20	36	3.41
6376	7192.21	42	76	2.85

## DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION

Lista de resultados de la tabla #1

PROF	VI	ATC	ATS	DB
(m)	(m/s)	(us/ft)	(us/ft)	(gr/cc)
6984	9352.08	32	58	3.04
7343	7981.09	38	68	2.92

**DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION**

Lista de resultados de la tabla # 2

<b>PROF</b> <b>(m)</b>	<b>G</b> <b>(Kg/cm2)</b>	<b>E</b> <b>(Kg/cm2)</b>	<b>KB</b> <b>(Kg/cm2)</b>
180	204022	513147	483951
226	219643	552437	522244
354	378047	950847	914037
481	368825	927653	891087
642	395256	994128	956900
753	620978	1561855	1522869
864	494909	1244772	1205992
940	671290	1688396	1649783
1179	421319	1059681	1021909
1363	854249	2148566	2113082
1682	523391	1316408	1277425
1970	2335555	5874275	5922686
2223	1087464	2735137	2706912
2412	568725	1430431	1391321
2702	1492456	3753753	3744591
2853	981451	2468498	2436576
2982	872700	2194973	2159941
3236	667490	1678840	1640190
3827	3405896	8697200	9325854
4111	1413733	3555753	3542348
5055	9774052	24958740	27305004
5800	33783656	86268976	96320056
6376	6559917	16751218	18193276

**DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION**

Lista de resultados de la tabla # 2

<b>PROF</b>	<b>G</b>	<b>E</b>	<b>KB</b>
<b>(m)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>
6984	11844915	30246836	33201908
7343	8289130	21166886	23088326

**DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION**

Lista de resultados de la tabla # 3

<b>PROF</b>	<b>Sx</b>	<b>Sy</b>	<b>Sz</b>
<b>(m)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>
180	24	24	34
226	48	48	68
354	50	50	73
481	68	68	99
642	91	91	133
753	109	109	164
864	124	124	183
940	137	137	206
1179	167	167	246
1363	202	202	307
1682	242	242	359
1970	310	310	497
2223	334	334	515
2412	349	349	520
2702	414	414	649
2853	426	426	654
2982	442	442	675
3236	472	472	711
3827	641	641	1014
4111	627	627	981
5055	910	910	1506
5800	1142	1142	1983
6376	1116	1116	1817

## DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION

Lista de resultados de la tabla # 3

PROF (m)	Sx (Kg/cm <sup>2</sup> )	Sy (Kg/cm <sup>2</sup> )	Sz (Kg/cm <sup>2</sup> )
6984	1274	1274	2125
7343	1307	1307	2148

### COMPORTAMIENTO DEL TIEMPO DE TRANSITO COMPRESIONAL Y DE CIZALLAMIENTO

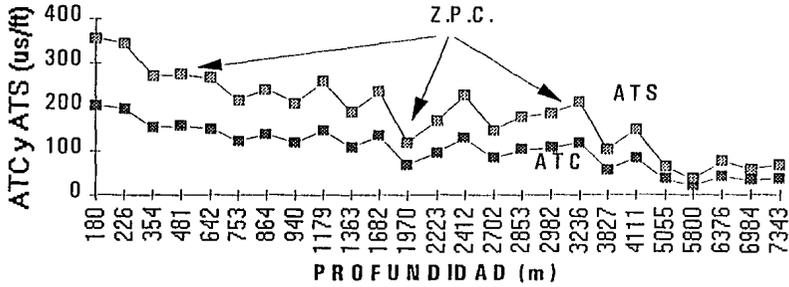
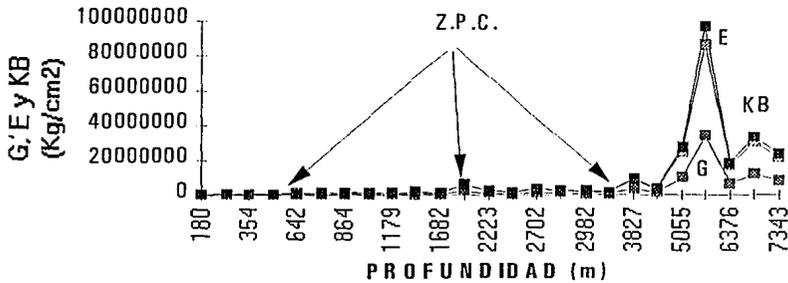


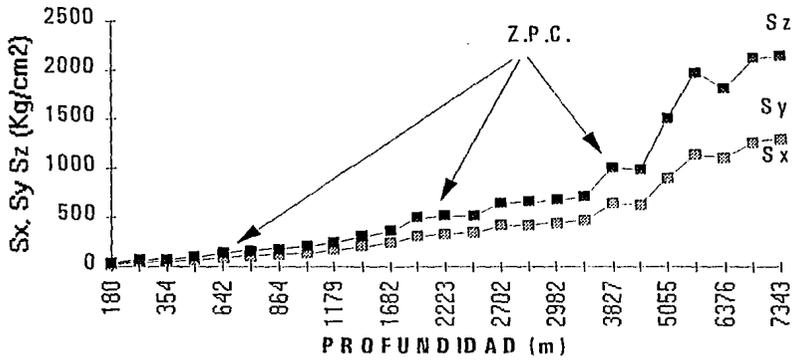
Fig. 5.18.- En forma similar a las anteriores figuras donde se presentan los tiempos de tránsito, se observa el mismo comportamiento.

### COMPORTAMIENTO DE LOS MODULOS DE CIZALLAMIENTO, YOUNG Y DE VOLUMEN



En la fig. 5.19 la respuesta del módulo de Young es muy clara en relación a la del módulo de Cizallamiento.

## COMPORTAMIENTO DE LOS ESFUERZOS



la fig.5.20 el esfuerzo en la dirección z tiene una mejor respuesta en comparación con los demás esfuerzos.

POZO MANI-1.

LINEA SISMOLOGICA SP- 110

DATOS:

TIEMPO	VELOCIDAD
0.21	1775
0.40	1785
0.53	1805
0.62	1820
0.75	1835
0.88	1855
0.20	1980
1.36	2035
1.52	2125
1.62	2130
1.74	2195
1.93	2205
2.13	2255
2.25	2375.
2.38	2490
2.51	2500
2.61	2520
2.74	2695
2.86	2900
3.02	2910
3.15	2925
3.25	3090
3.47	3125
3.66	3150
3.76	3175
3.95	3185

**DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION**

Lista de resultados de la tabla #1

<b>PROF</b>	<b>VI</b>	<b>ATC</b>	<b>ATS</b>	<b>DB</b>
<b>(m)</b>	<b>(m/s)</b>	<b>(us/ft)</b>	<b>(us/ft)</b>	<b>(gr/cc)</b>
186	1775.00	171	300	2.00
357	1796.14	169	297	2.01
478	1866.63	163	285	2.03
564	1908.35	159	279	2.04
688	1906.55	159	279	2.04
816	1970.38	154	270	2.06
1188	2323.76	131	229	2.14
1383	2447.63	124	217	2.17
1615	2890.11	105	184	2.26
1741	2530.11	120	210	2.19
1909	2802.70	108	190	2.25
2127	2296.63	132	232	2.14
2401	2737.52	111	194	2.23
2671	4505.36	67	118	2.53
2963	4480.86	68	119	2.53
3137	2683.31	113	198	2.22
3288	3022.18	100	176	2.29
3692	6209.32	49	78	2.74
4147	7582.14	40	72	2.88
4394	3088.93	98	172	2.30
4606	3273.68	93	162	2.34
5021	8289.23	36	66	2.95
5421	3642.07	83	146	2.40

## DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION

Lista de resultados de la tabla #1

<b>PROF</b>	<b>VI</b>	<b>ATC</b>	<b>ATS</b>	<b>DB</b>
<b>(m)</b>	<b>(m/s)</b>	<b>(us/ft)</b>	<b>(us/ft)</b>	<b>(gr/cc)</b>
5764	3606.74	84	147	2.39
5969	4090.12	74	130	2.47
6290	3383.02	90	157	2.36

**DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION**

Lista de resultados de la tabla # 2

<b>PROF</b>	<b>G</b>	<b>E</b>	<b>KB</b>
<b>(m)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>
186	297967	749433	715272
357	305978	769581	735098
478	333661	839209	803714
564	350707	882081	846040
688	349965	8800216	844197
816	376888	947931	911151
1188	546259	1373924	1334848
1383	613902	1544057	1505039
1615	892263	2244177	2209649
1741	661445	1663634	1624929
1909	832627	2094183	2058198
2127	531993	1338043	1299018
2401	789804	1986478	1949600
2671	2422625	6093270	6148664
2963	2362939	6018605	6071600
3137	754914	1898723	1861217
3288	986586	2481415	2449658
3692	5963788	14068423	12380399
4147	7385300	18858892	20527472
4394	1036296	2606441	2576355
4606	1180967	2970311	2945837
5021	9025218	23046540	25177210
5421	1501411	3776278	3767612

**DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION**

Lista de resultados de la tabla # 2

<b>PROF</b>	<b>G</b>	<b>E</b>	<b>KB</b>
(m)	(Kg/cm2)	(Kg/cm2)	(Kg/cm2)
5764	1468714	3694038	3683572
5969	1949176	4902474	4922042
6290	1271661	3198421	3177982
6603	1197665	3012311	2988551

**DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION**

Lista de resultados de la tabla # 3

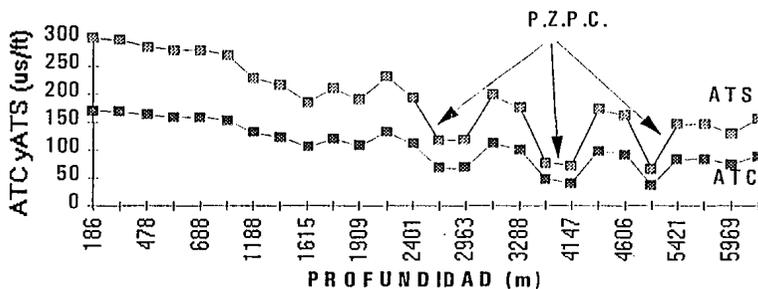
<b>PROF</b>	<b>Sx</b>	<b>Sy</b>	<b>Sz</b>
<b>(m)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>
186	26	26	37
357	66	66	96
478	67	67	97
564	79	79	115
688	96	96	140
816	115	115	168
1188	171	171	255
1383	201	201	301
1615	240	240	366
1741	254	254	382
1909	282	282	430
2127	306	306	455
2401	354	354	537
2671	421	421	677
2963	467	467	750
3137	461	461	698
3288	491	491	754
3692	530	530	1014
4147	732	732	1197
4394	658	658	1013
4606	696	696	1078
5021	899	899	1482
5421	831	831	1303

**DETECCION DE PERDIDAS DE CIRCULACION**

Lista de resultados de la tabla # 3

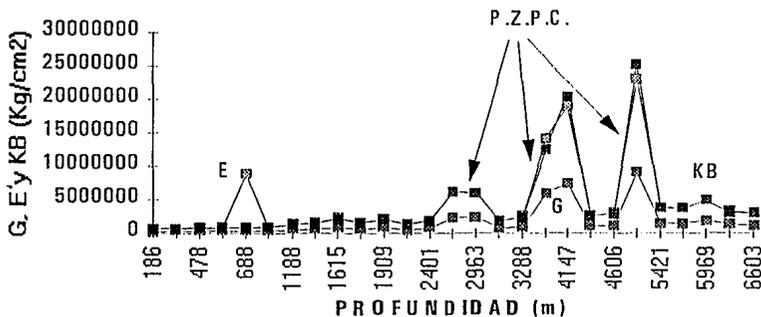
<b>PROF</b>	<b>Sx</b>	<b>Sy</b>	<b>Sz</b>
<b>(m)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>
5764	882	882	1382
5969	929	929	1477
6290	954	954	1484

### COMPORTAMIENTO DEL TIEMPO DE TRANSITO COMPRESIONAL Y DE CIZALLAMIENTO

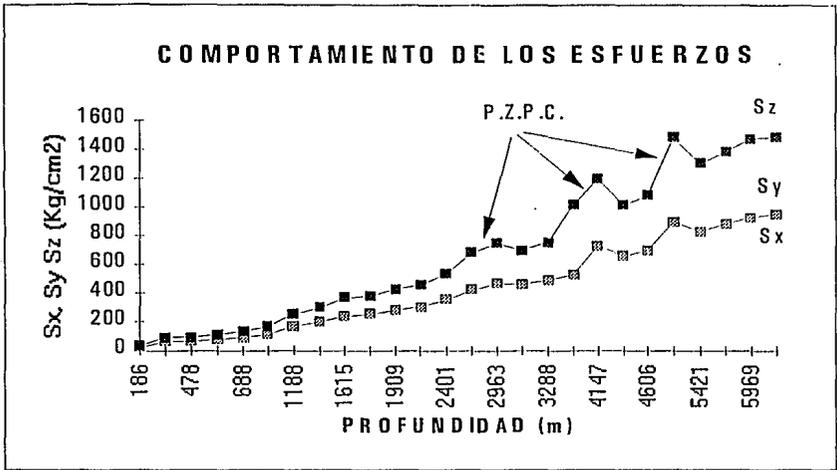


La fig.5.25 presenta el análisis de los tiempos de tránsito compresional y de cizallamiento donde es factible observar las posibles Z.P.C.

### COMPORTAMIENTO DE LOS MODULOS DE CIZALLAMIENTO, YOUNG Y DE VOLUMEN



La fig.5.26 señala las posibles Z.P.C. en función de los módulos de Young y Volumen.



*En la fig.5.27 el análisis de los esfuerzos confirman la existencia de las posibles Z.P.C. que se pueden presen en el Pozo Mani-1.*

**APENDICE 3.**

## EJEMPLO DE APLICACION.

Partiendo de los datos proporcionados por la Suptcia. de Exploración se analizará dos puntos del pozo Canalete 1.

$$\text{1er.} \quad \text{td} = 0.53 \text{ seg.} \quad \text{vr} = 1695 \text{ m/seg.}$$

$$\text{2do.} \quad \text{td} = 0.65 \text{ seg.} \quad \text{vr} = 1809 \text{ m/seg.}$$

1.- Haciendo uso de la ecuación de DIX se determinara la velocidad de intervalo.

$$V_I = \frac{(A - B)}{C}$$

$$A = \text{vr}(i) \times \text{td}(i)$$

$$B = \text{vr}(i - 1) \times \text{td}(i - 1)$$

$$C = \text{td}(i) - \text{td}(i - 1)$$

sustituyendo datos para el 1er. y 2do caso respectivamente, tenemos:

$$V_I = \frac{(A - B)}{C} = \frac{898.35}{0.53} = 1695 \text{ m/seg}$$

$$A = \text{vr}(i) \times \text{td}(i) = 1695 \times 0.53 = 898.35$$

$$B = \text{vr}(i - 1) \times \text{td}(i - 1) = 0$$

$$C = \text{td}(i) - \text{td}(i - 1) = 0.53$$

$$V_I = \frac{(A - B)}{C} = \frac{1175.8 - 898.35}{0.12} = 2312 \text{ m/seg}$$

$$A = \text{vr}(i) \times \text{td}(i) = 1809 \times 0.65 = 1175.8$$

$$B = \text{vr}(i - 1) \times \text{td}(i - 1) = 1695 \times 0.53 = 898.35$$

$$C = \text{td}(i) - \text{td}(i - 1) = 0.65 - 0.53 = 0.12$$

2.- Se procede ATC de la siguiente forma:

$$ATC = \frac{VF}{VI}$$

de donde VF es un factor de conversión de unidades. Para el 1er. y 2do. caso se tiene:

$$ATC_1 = \frac{VF}{VI} = \frac{304878}{1695} = 179.8 \mu s/p$$

$$ATC_2 = \frac{VF}{VI} = \frac{304878}{2312.5} = 131.8 \mu s/p$$

3.- Se procede a calcular la profundidad de análisis de la siguiente forma:

$$Z = Z_{ant} + \frac{[td(i+1) - td(i)]}{2} \times VI$$

$$Z = \frac{0.53}{2} \times 1695 = 449m$$

$$Z = 449 + \frac{(0.65 - 0.53)}{2} \times 2312.5 = 587.7m$$

4.- Ahora se determinará el ATS en función de la VI, para lo cual utilizaremos la correlación de Faust y Pickett.

Para utilizar la 1ra.correlación es necesario expresar VI en ft/seg para lo cual unicamente afectaremos el valor obtenido por 3.28. para la 1era. velocidad será de 5559 ft/seg y la 2da. será de 7585 ft/seg en base a esto la litología correspondiente será Lutita, ahunado con esto el factor corespondiente será de 1.75.

de donde:

$$ATS_1 = ATC \times 1.75 = 179.8 \times 1.75 = 314.6 \mu s/ft$$

$$ATS_2 = ATC \times 1.75 = 131.8 \times 1.75 = 230.6 \mu s/ft$$

5.- En a la ecuación de Gardner se calculará la densidad de formación en función de la VI.

$$DB = 0.23 \times VI^{0.25}$$

sustituyendo valores se tiene:

$$DB = 0.23 \times VI^{0.25} = 0.23 \times 5559^{0.25} = 1.98 \text{ gr/cm}^3$$

$$DB = 0.23 \times VI^{0.25} = 0.23 \times 7585^{0.25} = 2.14 \text{ gr/cm}^3$$

6.- Cálculo de las constantes elásticas dinámicas.

$$U[i] = 0.5 \frac{(ATS[i] + ATC[i])^2 - 2}{(ATS[i] + ATC[i])^2 - 1}$$

$$G[i] = a \frac{DB[i]}{(ATS[i])^2}$$

$$E[i] = a \times G[i] \times (1 + U[i])$$

$$KB[i] = a \times DB[i] \times (1 / ATC[i]^2 - 4 / 3 \times ATS[i]^2)$$

$$CB[i] = 1 / KB[i]$$

$$M[i] = \frac{U[i]}{1 - U[i]}$$

$$U[i]_1 = 0.5 \frac{(ATS[i] + ATC[i])^2 - 2}{(ATS[i] + ATC[i])^2 - 1} = 0.5 \frac{\left(\frac{314.6}{179.8}\right)^2 - 2}{\left(\frac{314.6}{179.8}\right)^2 - 1} = 0.257 = 0.26$$

$$G[i]_1 = a \frac{DB[i]}{(ATS[i])^2} = 1.34 \times 10^{10} \frac{1.98}{314.6^2} = 268072 \text{ Kg/cm}^2 = 268599 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E[i]_1 = a \times G[i] \times (1 + U[i]) = 2 \times 268072 \times (1 + 0.26) = 675541 \text{ Kg/cm}^2 = 675567 \text{ Kg/cm}^2$$

$$KB[i]_1 = a \times DB[i] \times (1 / ATC[i]^2 - 4 / 3 \times ATS[i]^2)$$

$$= 1.34 \times 10^{10} \times 1.98 \times \left(\frac{1}{179.8^2} - \frac{4}{3 \times 314.6^2}\right) = 640191 \text{ Kg/cm}^2 = 642711 \text{ Kg/cm}^2$$

$$CB[i]_1 = 1 / KB[i] = \frac{1}{642711} = 1.55 \times 10^{-6}$$

$$M[i]_1 = \frac{U[i]}{1 - U[i]} = \frac{0.26}{1 - 0.26} = 0.351$$

$$U[i]_2 = 0.5 \frac{(ATS[i] + ATC[i])^2 - 2}{(ATS[i] + ATC[i])^2 - 1} = 0.5 \frac{\left(\frac{230.65}{131.8}\right)^2 - 2}{\left(\frac{230.65}{131.8}\right)^2 - 1} = 0.26$$

$$G[i]_2 = a \frac{DB[i]}{(ATS[i])^2} = 1.34 \times 10^{10} \times \frac{2.14}{230.65^2} = 539028 \text{ Kg/cm}^2 = 540327 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E[i]_2 = a \times G[i] \times (1 + U[i]) = 2 \times 539028 \times (1 + 0.26) = 1358350 \text{ Kg/cm}^2 = 1359004 \text{ Kg/cm}^2$$

$$KB[i]_2 = a \times DB[i] \times (1 / ATC[i]^2 - 4 / 3 \times ATS[i]^2)$$

$$= 1.34 \times 10^{10} \times 2.14 \times \left(\frac{1}{131.8^2} - \frac{4}{3 \times 230.65^2}\right) = 1314931 \text{ Kg/cm}^2 = 1319946 \text{ Kg/cm}^2$$

$$CB[i]_2 = 1 / KB[i] = \frac{1}{1319946} = 7.57 \times 10^{-7}$$

$$M[i]_2 = \frac{U[i]}{1 - U[i]} = \frac{0.26}{1 - 0.26} = 0.351$$

7.- Cálculo de las presiones de poro y sobrecarga con las siguientes expresiones. De donde  $c$  es la densidad específica del agua y puede variar en las diferentes zonas.

Para el primer punto:

$$PP[i]_1 = \frac{Z[i] \times c}{10} = \frac{449 \times 1.07}{10} = 48 \text{ Kg/cm}^2$$

$$PS[i]_1 = \frac{DB[i] \times Z}{10} = \frac{1.98 \times 449}{10} = 88.9 \text{ Kg/cm}^2$$

Para el segundo punto tenemos:

$$PP[i]_2 = \frac{Z[i] \times c}{10} = \frac{587 \times 1.07}{10} = 77.16 \text{ Kg/cm}^2$$

$$PS[i]_2 = \frac{DB[i] \times Z}{10} = \frac{2.14 \times 587}{10} = 154.79 \text{ Kg/cm}^2$$

8.- Por ultimo se calculará los esfuerzos en coordenadas cartesianas, de donde  $a$  es la relación entre compresibilidades de la roca y la matriz.

$$SX[i]_1 = (M[i] \times PS[i] + a) \times PP[i] \times (1 - M[i]) = 0.351 \times 89 + 1 \times 48 \times (1 - 0.351) = 62.39 \text{ Kg/cm}^2$$

$$SY[i]_1 = (M[i] \times PS[i] + a) \times PP[i] \times (1 - M[i]) = 0.351 \times 89 + 1 \times 48 \times (1 - 0.351) = 62 \text{ Kg/cm}^2$$

$$SZ[i]_1 = PS[i] = 89 \text{ Kg/cm}^2$$

$$SX[i]_2 = (M[i] \times PS[i] + a) \times PP[i] \times (1 - M[i]) = 0.351 \times 154 + 1 \times 77 \times (1 - 0.351) = 104 \text{ Kg/cm}^2$$

$$SY[i]_2 = (M[i] \times PS[i] + a) \times PP[i] \times (1 - M[i]) = 0.351 \times 154 + 1 \times 77 \times (1 - 0.351) = 104 \text{ Kg/cm}^2$$

$$SZ[i]_2 = PS[i] = 154 \text{ Kg/cm}^2$$