



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN
INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA

“DISEÑO DE POZOS PARA LAS
FORMACIONES DEL PERIODO Terciario
(MIOCENO), DE LA ESTRUCTURA
CAMARONERO”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERIA

INGENIERIA PETROLERA Y GAS NATURAL - PERFORACION

PRESENTA:

RÓMULO ARANGO LALO

TUTOR:

JAIME ORTIZ RAMIREZ

2010



JURADO ASIGNADO:

Presidente: Jaime Ortíz Ramírez

Secretario: Daniel García Gavito

Vocal: José Angel Gómez Cabrera

1^{er}. Suplente: Fernando Samaniego Verduzco

2^{do}. Suplente: David Trujillo Morales

México, D. F. a Febrero 2010

Ciudad Universitaria.

TUTOR DE TESIS

JAIME ORTIZ RAMIREZ

FIRMA

Agradezco a todos y cada uno de mis Profesores, Amigos y Compañeros, y queda una vez mas demostrado que cuando se tiene un poco de fe, se puede volar, dedicado a todos los que como yo tenemos mucha fe en nosotros mismos y el apoyo de todos nuestros seres queridos, que nos han visto crecer y nos verán llegar alto, porque una vez aprendiendo a volar el cielo será muy pequeño para mis alas....los quiere su amigo Rómulo.

Agradecer ante todo a Dios Padre,
Profesores,
Mis Padres Rómulo e Irma
Mi Esposa Mónica
Mis Hijas Saromy, Amelié y Xunaxí
Mis Hermanas Patricia y Araceli
Mis Suegros Juan y Sonia
Mis Sobrinos Diego, Alex, Ayumí, Galy y Moy
Mis Cuñados Alex, Katya, Juan y Oscar
Mis Amigos y Compañeros
Y a la UPMP.

“DISEÑO DE POZOS PARA LAS FORMACIONES DEL PERIODO TERCIARIO (MIOCENO), DE LA ESTRUCTURA CAMARONERO”

TABLA DE CONTENIDO:

Resumen

1.- Planteamiento del Problema y Toma de Información	
a) Introducción.....	1
b) Objetivo.....	4
2.- Análisis Conceptual.....	5
a) Conceptos Básicos.....	6
3.- Desarrollo del Problema	
a) Antecedentes del Problema.....	17
b) Planteamiento del Problema.....	45
c) Desarrollo del Problema.....	47
4.- Resultados Obtenidos	
a) Conclusión.....	90
5.- Observaciones	
a) Recomendaciones.....	94
6.- Apéndice.....	96
a) Fórmulas.....	97
b) Ilustraciones.....	98
c) Software.....	108
d) Glosario.....	109
7.- Bibliografía.....	110

Resumen

Primeramente para el estudio del análisis geomecánico, se solicitaron los registros de apoyo contando con las curvas de profundidad, rayos gamma, caliper, densidad, tiempo de tránsito, potencial espontáneo, resistividad profunda y media, neutrones porosidad, factor fotoeléctrico, neutrones; entonces para la construcción del modelo geomecánico se generó la curva de sobrecarga (Sv) con el registro sonico y de ahí se tomó el perfil de densidad, con una densidad promedio de la roca de 2.6 gr/cc, el carril de los rayos gamma nos indica de una línea promedio al lado derecho lutitas y al lado izquierdo arenas; de aquí se genera la gráfica de esfuerzos TVD contra la de sobrecarga (Sv).

Para la obtención de la Presión de Poro se tomaron los registros sonico, resistividad y densidad, para determinar las presiones de cierre de las fracturas y así obtener el esfuerzo horizontal mínimo. Apoyado con pruebas de fracturamientos para determinar el esfuerzo horizontal mínimo con los datos de la presión de cierre en el registro de densidad en (gr/cc).

Para la obtención del esfuerzo horizontal máximo se consideró el mapa de orientación regional de esfuerzos; Así como del análisis de las resistencias de las rocas con el registro sonico para la obtención del cálculo de UCS (psi) se considera tomar un registro de imágenes a 360°.

Para dar la validación al modelo se empleó el registro de caliper y la experiencia de perforación en el campo.

Para los datos de la Relación de Poisson, Coeficiente de Biot, Coeficiente de Angulo de Fricción Interno, Esfuerzo de Tensión, UCS, se deben realizar los análisis de esfuerzos triaxiales en núcleos convencionales.

En resumen para un estudio integral que incluya Petrofísica, Geología y Geomecánica, nos puede guiar y ayudar en el campo Camaronero a identificar la raíz de la causa de los problemas de perforación. En la mayoría de los pozos se presenta una inconsistencia de diseño, en el cual no se toman en consideración ninguna propiedad petrofísica y geológica de la formación.

Un diseño optimizado reduciría los riesgos de perforación. Que es el tema que nos lleva a este trabajo, dar las bases para realizar un diseño óptimo.

I.- Planteamiento del Problema y Toma de Información

A.- INTRODUCCIÓN

Antes de adentrarnos al tema en específico, haremos una remembranza principalmente de donde viene el fondo de todo este estudio que realizaremos, y como hoy en día es un tema principal para diversas áreas, tanto para nosotros los Petroleros como para las Industrias de la Construcción, Minería, Civil, etc.

No podemos hoy en día realizar un análisis o estudio de los pozos sin tener en cuenta un tema tan importante, la Geomecánica.

GEOMECANICA: disciplina que estudia el comportamiento de los materiales geológicos ante campos de esfuerzos y cambios en el ambiente físico.

El estado de esfuerzos que actualmente está en el subsuelo puede conocerse de manera indirecta mediante la interpretación de los efectos que dejan las herramientas de perforación sobre las rocas. La orientación preferente de elipticidad del agujero del pozo y las fracturas inducidas observadas con imágenes de pozo (FMI), permiten conocer la orientación del mínimo esfuerzo (S_{hmin}).

La Geomecánica tiene su origen en la Ingeniería Civil, principalmente en el uso del suelo y rocas como material de construcción, posteriormente se usa en obras civiles, tales como túneles de vialidad, etc. Luego se utilizó para fines Mineros, en la construcción de túneles de la minería subterránea, estabilidad de taludes, en minería a cielo abierto, etc. En la década de los 60's, se comienza a utilizar la Geomecánica en las actividades Petroleras, para Fracturamiento Hidráulico, Estabilidad de Hoyos, Compactación y Subsistencia, etc.

Haciendo reseñas importantes de la aplicación de la Geomecánica tenemos:

~ 5000 ac	Minas en China
~ 3000 ac	Presas de Rocas en la India
~ 1000 ac	Templos Egipcios y Griegos (Vigas Planas)
~ 500 ac	Construcciones Romanas con Arcos
Siglo III	Domos y Contrafuertes
Siglo XVIII	Ley de Darcy (Flujo) Ley de Coulomb (Fricción)
Siglo XIX	Revolución Industrial (Minas de Carbón)
Siglo XX	~ 1920 Terzagui (Esfuerzos Efectivos) ~ 1940 Biot (Poroelasticidad) ~ 1950 King Gubert (Fracturamiento Hidráulico) Geertsma (Geomecánica Petrolera)

La Geomecánica Petrolera entonces tuvo sus comienzos para los finales de los 50's, pero adquiere su mayor importancia para la década de los 70's y 80's, en la Primer Conferencia de la SPE-ISRМ de 1992.

Nos interesa el estado actual de esfuerzos en la roca y sus propiedades mecánicas; una cuenca sedimentaria esta sujeta a:

- ❖ Esfuerzos Tectónicos que originan levantamientos, depresiones, basculamientos, fallamiento.
- ❖ Erosión, Meteorización, Ambiente Deposicional.
- ❖ Tasa de Sedimentación.

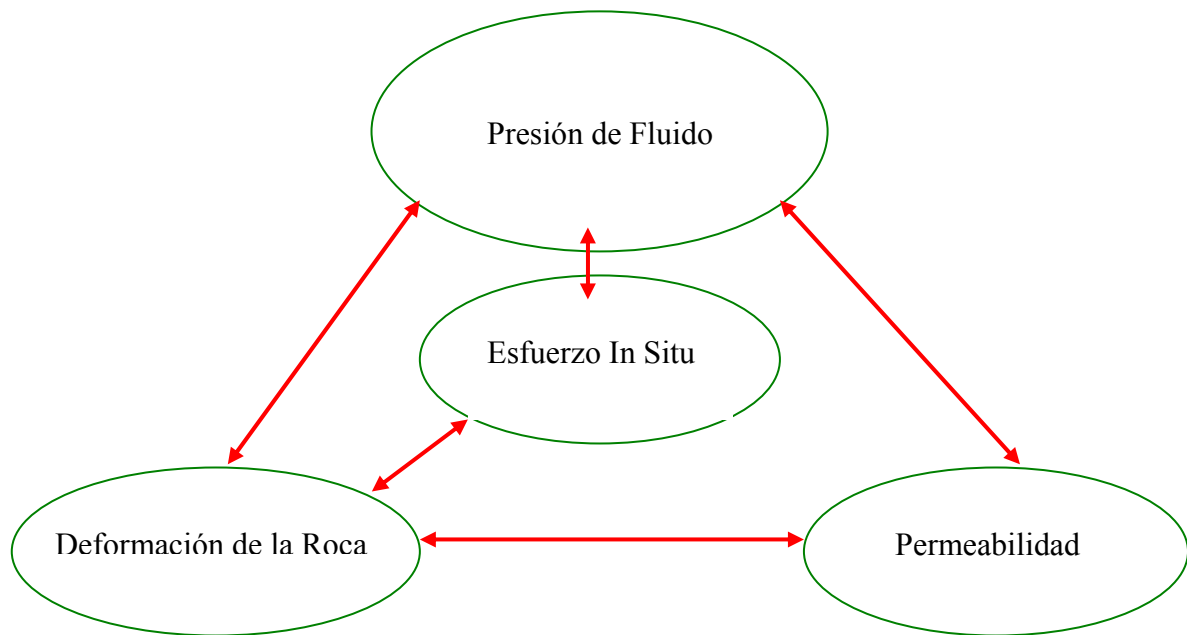
- ❖ Diagénesis.
- ❖ Solución, Precipitación de Agentes Cementantes.
- ❖ Cambios Térmicos.

B.- OBJETIVO

Elaborar un programa estratégico para el Diseño de Pozos Profundos en el área Camaronero, que permita perforar nuevas localizaciones exploratorias, reduciendo los tiempos y costos incurridos en los pozos Camaronero-1 y Camaronero 1-A, así como evaluar las propiedades mecánicas de la roca para poder caracterizar mejor al yacimiento, lo que permitirá optimizar el Diseño de Pozos; así como determinar las zonas altamente geopresionadas, para prevenir la pérdida de grandes volúmenes de fluido de perforación, con apoyo de geopresiones a partir de registros geofísicos convencionales.

II.- Análisis Conceptual

Objetivo de la Geomecánica.- estudia las características mecánicas de los materiales geológicos, que se interrelacionan como se indica:



A.- CONCEPTOS BASICOS

- **PRESION:** La fuerza que un fluido ejerce uniformemente en todas direcciones dentro de un recipiente, tubería, pozo, etc, tal como la que se ejerce contra la pared de un tanque o como la que ejerce en el fondo de un pozo el fluido de perforación. La presión se expresa en términos de fuerza ejercida por una unidad de área, como kilogramos por centímetros cuadrados, o libras por pulgada cuadrada o en el sistema CGS dina por centímetro cuadrado. Ec. # 1, Ver Fig. # 1

- **ESFUERZO:** Mientras que las fuerzas son transferidas a través de líquidos por la presión, las fuerzas son transferidas a través de los sólidos por los esfuerzos. El Esfuerzo es la fuerza dividida por el área y tiene las mismas unidades que la presión. Se representa por la letra griega σ . Ec.# 2. El esfuerzo puede ser positivo o negativo. Un sólido puede estar sujeto a los siguientes esfuerzos:
 - **ESFUERZO COMPRESIVO.-** Este ocurre cuando el material esta sujeto a Compresión.
 - **ESFUERZO DE TENSION.-** Este ocurre cuando el materia esta sujeto a Tensión.
 - **ESFUERZO CORTANTE (CIZALLA).-** Este resiste el movimiento lateral dentro del material; Ver Fig. # 2.

Un sólido puede estar sujeto a los tres esfuerzos simultáneamente. Es importante observar que la mayoría de fallas en el agujero del pozo ocurren por excesivos esfuerzos de corte. Los esfuerzos de corte aumentan mientras que la diferencia entre esfuerzos perpendiculares aumenta. La diferencia entre esfuerzos perpendiculares causa que un objeto se deforme. El orden para que el objeto se deforme, el movimiento lateral debe ocurrir entre los

elementos dentro del objeto. Los esfuerzos de corte causan este movimiento lateral y se representa por la letra griega T. Ver Fig # 2-A.

➡ **ESFUERO EFECTIVO.**- no todos los esfuerzos en la formación son transmitidos por la matriz de roca. Algo de este esfuerzo es transmitido por el líquido atrapado en los espacios de poro dentro de la roca, Ver Fig. # 3. Según lo mencionado previamente, cuando la lutita primero se deposita, esta agua es expulsada fuera. Sin embargo, la secuencia de lutita es a veces demasiado gruesa o la permeabilidad llega a ser tan reducida que el líquido no puede salir fuera de la lutita mientras se compacta. Cuando esto ocurre, el líquido en los espacios de poro comienza a aceptar algo de carga, similar como la presión de aire en un neumático que apoya la carga del coche. El esfuerzo total que siente la formación se divide entre el esfuerzo transmitido por la matriz de roca y el esfuerzo transmitido por el líquido en el poro.

Una parte del esfuerzo que siente la matriz de roca es llamada esfuerzo efectivo, esfuerzo intergranular y esfuerzo de matriz son otros nombres para el esfuerzo efectivo. El esfuerzo transmitido por el líquido en los espacios de poro se expresa como presión del poro. La combinación de presión de poro y el esfuerzo efectivo es el esfuerzo total.

ESFUERZO TOTAL= PRESION DE PORO + ESFUERZO EFECTIVO

La deformación y la resistencia de un espécimen de roca es dependiente solamente del esfuerzo efectivo. Es el esfuerzo que se siente entre los granos el que controla el movimiento de estos granos en relación con otros. El resbalamiento y la deformación intergranulares son independientes de la presión de poro.

- ➡ **DEFORMACIÓN:** La Deformación se define como un material que cambia de longitud o de anchura bajo la influencia de un esfuerzo. Se representa por la letra griega ϵ . A mayor esfuerzo que este sujeta la roca, mayor deformación experimenta. Ec. # 4, Ver Fig. # 4

- **DEFORMACION NORMAL.-** cuando el material se deforma por elongación o contracción.

- **DEFORMACION CORTANTE.-** cuando el material se deforma de manera angular.

- ➡ **PERMEABILIDAD:** La habilidad de un fluido para fluir dentro de la red de poros interconectados de un medio poroso. La permeabilidad puede ser Absoluta, Efectiva o Relativa. Ec. # 5, Ver Fig. # 5.

- **PERMEABILIDAD ABSOLUTA.-** medida de la habilidad que posee un solo fluido (como agua, gas, aceite) para pasar a través de una roca cuando está saturada completamente por el fluido. La permeabilidad medida en una roca saturada con un solo fluido, es diferente de la permeabilidad medida en la misma roca saturada con dos o más fluidos.

- **PERMEABILIDAD EFECTIVA.-** medida de la habilidad de una roca de permitir el flujo de un fluido cuando los espacios porosos no están completamente saturados por éste.

- **PERMEABILIDAD RELATIVA.-** la medida de la habilidad de un fluido, como agua, gas o aceite, para fluir a través de una roca, cuando ésta se encuentra saturada con dos o más fluidos. El valor de la permeabilidad en una roca saturada con dos o más fluidos es distinto del valor de permeabilidad de la misma roca saturada con un solo fluido, Ec. # 6, Ver Fig. # 6.

- **PRESIÓN DE PORO:** La presión de poro es un parámetro importante en cualquier estudio de mecánica de rocas que se realice a sistemas porosos, saturados de fluidos. El fluido alojado en los poros soportará parte de los esfuerzos totales aplicados al sistema, liberando a la matriz rocosa de parte de la carga. Como se mencionó, el esfuerzo efectivo es igual al esfuerzo total menos la presión de poro. Este concepto fue introducido por primera vez en 1923 por Terzaghi en mecánica de suelos, sobre una base empírica. Después fue redefinido por Biot.

En una formación saturada, la presión de poro se irá desarrollando conforme los sedimentos se vayan depositando sobre ésta. Si el fluido alojado en los poros puede ser expelido y migrar hacia la superficie a un ritmo aproximadamente igual que el de compactación, se mantendrá un gradiente de presión de poro normal, el cual está dado por el peso de la columna de fluido sobreyacente. Por lo tanto, un gradiente de presión normal está dado por la densidad del agua salada (agua de mar) y se encuentra comúnmente en el rango de 1.03 a 1.07 gr/cm³.

Sin embargo, se pueden desarrollar zonas con presiones de poro mayores que las dadas por el gradiente normal. Estas zonas son llamadas zonas de presión anormal o sobrepresionadas. Altas presiones de poro en el yacimiento lo harán más prolífico. Pero, por otro lado, las formaciones sobrepresionadas representan un problema potencial durante la perforación. Si se perfora en una formación de este tipo no prevista con anterioridad, existe el peligro de que ocurra un reventón, especialmente en formaciones someras de gas a alta presión. Frecuentemente, los problemas de estabilidad durante la perforación son atribuidos a lutitas sobrepresionadas.

Debido a la baja permeabilidad de las arcillas, la cual se desarrolla durante su compactación, las zonas arcillosas se pueden sobrepresionar fácilmente. Se pueden desarrollar permeabilidades del orden de nanoDarcys o aún menos. Por lo tanto, una formación de arcillas con espesor considerable no será capaz de expulsar los fluidos al mismo ritmo

que es compactada. Los cuerpos de arena intercalados o adyacentes a arcillas también se sobrepresionarán. Las presiones anormales tienden a declinar en el transcurso del tiempo geológico, sin embargo, si el cuerpo de arena se encuentra aislado o la sección de arcilla es muy gruesa, esto puede tomar un período de tiempo muy largo. La sedimentación rápida es otra posible razón de la formación de sobrepresiones. Además de las causas litostáticas de las sobrepresiones, la actividad tectónica puede ser resuelta en una presión de poro anormal si el sistema permanece cerrado y no sufre fracturamiento. Otro ejemplo es el proceso levantamiento-erosión Ver Fig. # 7.

Si la roca mantiene su presión de poro después del levantamiento, estará anormalmente presurizada comparada con las formaciones contiguas a la misma profundidad. Otra posible de las sobrepresiones, especialmente en secciones de lutita, es la diagénesis de la montmorilonita a illita. Ésta última contiene mucho menos agua absorbida que la primera, de tal manera que la diagénesis estará acompañada por la liberación de agua a los poros libres de la misma. Esta transición depende en gran manera de la temperatura, requiriendo temperaturas de 70 a 95°C, o profundidades de 2 a 3 kilómetros en áreas con gradientes geotérmicos promedio. Ec. # 7, Ver Fig. # 8.

➤ TIPOS DE FALLAS SEGÚN ANDERSON: Ver Fig. # 9

- NORMAL
- INVERSA
- TRANSCURRENTE

- **MODULOS ELASTICOS:** la teoría de la elasticidad lineal investiga las relaciones entre las cargas externas aplicadas a un cuerpo y el resultado en los cambios de su tamaño y forma; esta teoría supone desplazamientos pequeños y que el cuerpo regresa a su condición original después que la carga deja de ser ejercida. La fuerza aplicada y los cambios en tamaño y forma resultantes son descrita por los esfuerzos y las deformaciones.

Como se indicó en la Fig. # 4 de la curva de esfuerzo-deformación, la cual es obtenida al aplicar diferentes magnitudes de carga o fuerza a un espécimen de prueba. Los esfuerzos por abajo del límite elástico son proporcionales a la deformación (Ley de Hooke). Las constantes de proporcionalidad difieren para diferentes condiciones de carga y son definidas como módulos elásticos los cuales son propiedades fundamentales de un material.

- **MODULO DE YOUNG (E).**- es la relación que existe entre el esfuerzo axial (compresivo o de tensión) y la deformación axial bajo condiciones de carga uniaxial. Fig. # 4.

Fuerza	Esfuerzo	Deformación Longitudinal
F ₁	σ ₁	ε ₁
F ₂	σ ₂	ε ₂
F ₃	σ ₃	ε ₃
F ₄	σ ₄	ε ₄
.	.	.
.	.	.
.	.	.

$$E = \sigma_x / \epsilon_x$$

$$0 < \sigma < 0.5$$

ROCA MUY COMPRESIBLE

ROCA COMPLETAMENTE INCOMPRESIBLE

roca	σ
shale	0.25-0.40
arena	0.15- 0.33
arena con gas	0.1
limestone	0.32

- RELACION DE POISSON (ν).- como consecuencia de la deformación axial o acortamiento longitudinal debido a un esfuerzo compresivo aplicado bajo condiciones de carga uniaxial, existirá un incremento del diámetro o deformación transversal. Es la relación entre la deformación transversal y longitudinal. Ver Fig. # 10.

$$\nu = \varepsilon_y / \varepsilon_x$$

- MODULO DE CORTE (G).- es una medida de la resistencia de la roca a cambiar de forma. Es la relación entre el esfuerzo de corte y la deformación de corte. Ver Fig. # 11.

$$G = \sigma_{xy} / \varepsilon_{xy}$$

- MODULO DE LAMÉ (A).- es el equivalente al modulo de Young E, bajo condiciones triaxiales de carga, es decir es la relación entre el esfuerzo medio bajo condiciones de carga triaxial y la deformación volumétrica; Ver Fig. # 12, donde el esfuerzo medio se expresa como:

$$\bar{\sigma} = 1/3 (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)$$

Y la deformación volumétrica se expresa como:

$$\varepsilon_v = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z$$

Por lo tanto el modulo de Lamé se expresa como:

$$\lambda = \bar{\sigma} / \varepsilon_v$$

- **MODULO VOLUMETRICO.-** describe el cambio de volumen bajo una presión hidrostática, es decir es la relación entre un esfuerzo hidrostático y la deformación volumétrica, Ver Fig. # 13. Bajo condiciones de esfuerzo hidrostático tenemos que:

$$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z$$

Por lo que el esfuerzo medio es igual a una presión hidrostática ejercida en todo el cuerpo:

$$\bar{\sigma} = P_c$$

Por lo tanto el modulo volumétrico es:

$$K = \bar{\sigma} / \varepsilon_v$$

Además el inverso del modulo volumétrico nos representa la propiedad de la compresibilidad de la roca.

$$C_o = 1/K$$

- **CIRCULO DE MOHR:** es la representación gráfica del estado de esfuerzos en un punto el cual incluye todas las posibilidades de rotación del sistema coordinado, Ver Fig. # 14. Para orientaciones especiales del sistema coordinada el tensor de esfuerzos tiene una forma particular y simple considerando inicialmente dos dimensiones. El esfuerzo normal (σ) y de corte (τ) orientados a una superficie es una dirección θ en el plano xy.

Para que exista el equilibrio de fuerzas se debe tener:

$$\sigma_x = \sigma_x \cos^2 \theta + \sigma_y \sin^2 \theta + 2 \tau_{xy} \sin \theta \cos \theta$$

$$\tau = \frac{1}{2} (\sigma_x + \sigma_y) \sin 2\theta + \tau_{xy} \cos 2\theta$$

Para un ángulo específico θ se tendrá que $\tau = 0$ y esto ocurre cuando:

$$\tan 2\theta = 2 \tau_{xy} / \sigma_x - \sigma_y$$

- **POROELASTICIDAD:** frecuentemente, la región de validez para la elasticidad lineal es excedida en situaciones prácticas. En la mecánica de rocas relacionada con el petróleo, mucho del interés se enfoca en rocas con porosidades y permeabilidades significativas. La teoría elástica para materiales sólidos no es capaz de describir completamente el comportamiento de tales materiales. Es por esto que se debe considerar el concepto de poroelasticidad.

Generalmente, las rocas son materiales compuestos y por lo tanto, no homogéneos en escala microscópica. La manera en que la roca se comporta, su respuesta elástica, sus esfuerzos de falla, etc., dependen en gran medida de la parte no sólida de los materiales. A continuación se considerará el espacio poroso, el cual no solo es esencial para producir aceite de un yacimiento, sino que también juega un papel importante en el comportamiento mecánico de las rocas. Estos estudios fueron realizados por Maurice A. Biot.

➤ DETERMINACION DE LA MEDICION DE LA MAGNITUD DEL ESFUERZO HORIZONTAL MAYOR:

- En cuencas pasivas (sin tectonismo) los esfuerzos horizontales son iguales y siempre menores que el esfuerzo vertical.

$$\sigma_H = \sigma_h = \left(\frac{\nu}{1-\nu} \right) \sigma_v + u \left(\frac{1-2\nu}{1-\nu} \right)$$

- Los esfuerzos horizontales en cuencas activas pueden ser diferentes y por encima del esfuerzo vertical.
- Zona geológica compleja debido a varias inversiones tectónicas (callamiento normal, callamiento inverso, callamiento transcurrente).
- Presencia de sobrepresiones modifica la relación de esfuerzos horizontales y verticales.
- No existen mediciones del esfuerzo horizontal mayor.
- No hay registros de imágenes en pozos del terciario que permita hacer retroanálisis de fracturas inducidas y breakouts.

➤ DETERMINACION DE LA DIRECCION DEL ESFUERZO HORIZONTAL MAYOR:

- Ver Fig. # 15

➤ EFECTO DE SOBREPRESION EN ESTADO DE ESFUERZOS:

- En las zonas de sobrepresión el esfuerzo horizontal menor es muy alto y ligeramente superior a la presión de poro.
- Para estados de esfuerzos que producen fallas normales, inversas o transcurrentes la sobrepresión disminuye la anisotropía de esfuerzos.
- Para las altas sobrepresiones del pozo Camaronero.1A (0.98 psi/pie = 2.2638 gr/cc) no hay anisotropía de esfuerzos horizontales. El esfuerzo horizontal mayor y el esfuerzo horizontal menor se consideran iguales.

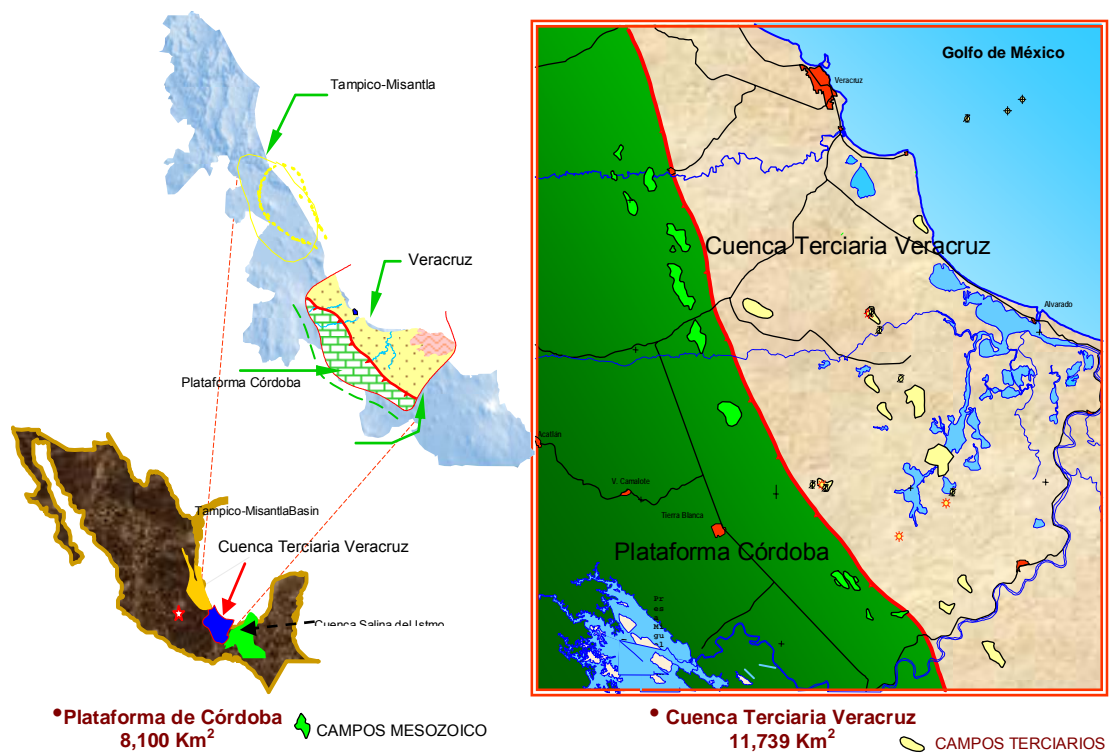
- No existe efecto del azimut del pozo en la estabilidad del agujero en la zona de sobrepresión; si puede existir un efecto de inclinación, perforar un pozo vertical es más sencillo.

III.- Desarrollo del Problema

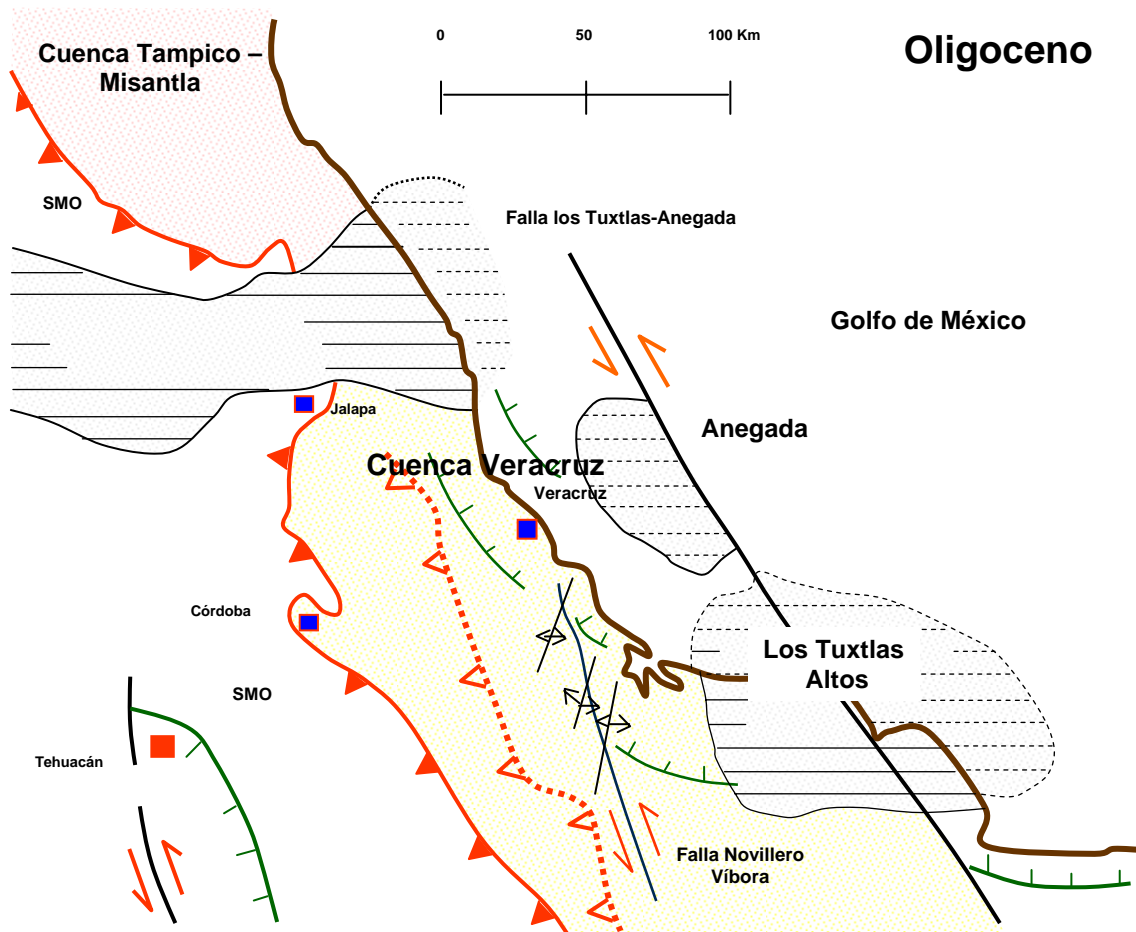
a) Antecedentes del Problema.-

Antecedentes de Perforación de los Pozos Camaronero

UBICACIÓN GEOLOGICA



RASGOS ESTRUCTURALES



ESCALA DE TIEMPO GEOLOGICO

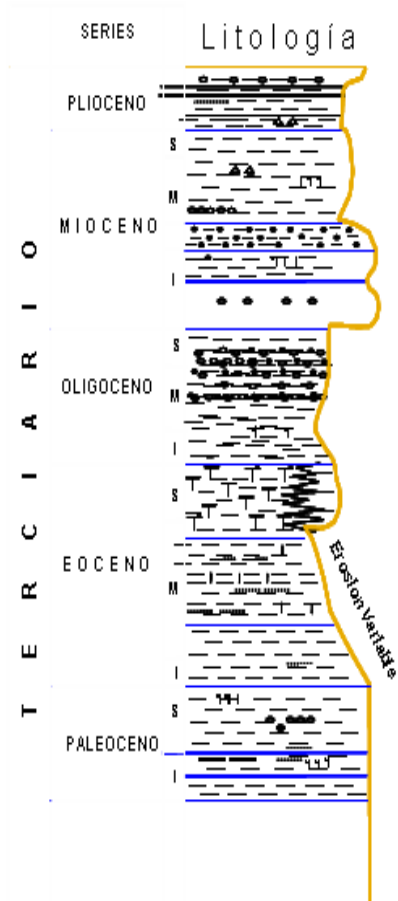
Antes de adentrarnos al Área de Estudio, primeramente recordaremos en que parte de la Historia estaremos trabajando, y esto es con apoyo de la Tabla del Tiempo Geológico; mediante el empleo de indicadores de edad relativa ha sido posible ordenar cronológicamente los distintos tramos rocosos que aparecen en la corteza terrestre construyendo una escala ordenada de eventos y materiales. De esta forma, la historia geológica de la corteza se ha dividido en distintas unidades, que de mayor a menor orden son: cinco ERAS (definidas principalmente a partir de discordancias, es decir, señalando ciclos orogénico, es decir, períodos en que hubo formación de montañas); las ERAS a su vez están subdivididas en PERIODOS (definidos principalmente mediante discordancias y contenido faunístico) y estos a su vez en EPOCAS (definidos principalmente por contenido faunístico y cambios litológicos significativos).

Como se ilustra en la siguiente tabla:

TABLA DE TIEMPO GEOLOGICO

ERA	PERÍODO	ÉPOCA	PRINCIPALES EVENTOS	HACE (millones de años)
CENOZOICA	Cuaternario	Holoceno	Tiempo histórico y prehistórico. Se toma como punto de partida de este periodo el fin de la última glaciación. El progresivo retro de los glaciares, produjo grandes cuencas hidrográficas que suministraron el agua, en tomo a la cual se inició el desarrollo de las grandes comunidades y civilizaciones. A comienzos del Holoceno se consolidó el poblamiento de la especie humana de toda la extensión del planeta.	2
		Pleistoceno	En vastas regiones del planeta (Europa, Asia) se produce una convivencia entre dos géneros de la especie humana: los Neandertal y el <i>Homo sapiens sapiens</i> . Inicio la expansión desde las tierras desérticas del África hacia zonas más beneficiosas para la vida humana. Edad del Hielo. Grandes glaciaciones. Los australopitecos y homos, convivieron y compartieron más de un millón de años, su estadía en la Tierra. Cuatro Edades de Hielo; glaciares en el hemisferio norte; elevación de cordilleras.	
	Terciario	Plioceno	Desde hace unos 7 millones de años se inició el bipedismo en una rama de los simios antropomorfos. Se inicia con el <i>Proconsul</i> la separación definitiva entre los primates y la especie humana. Posteriormente surgirían el <i>Dryopithecus</i> , <i>Oreopithecus</i> y el <i>Ramapithecus</i> . Ancestros del Hombre ó prosimios.	10
		Mioceno	Dominio de las angiospermas (aparición de las gramíneas).	24
		Oligoceno	Radiación de los mamíferos, pájaros e insectos polinizadores. Los camellos se extinguen en América.	38
		Eoceno	Rápida evolución de nuevas especies de mamíferos, tales como caballos, rinocerontes, camellos, murciélagos, ardillas, primates.	55
		Paleoceno	Se forma el Atlántico Norte. Separación de Australia de la Antártica.	65
MESOZOICA	Cretácico	Al final del Periodo ocurrió una extinción masiva de dinosaurios y otras especies. Separación de los continentes. La placa africana se fractura de Gondwana. Extinción de reptiles acuáticos y amonites en el mar. Radiación de las plantas con flores (angiospermas).	138	
	Jurásico	Aparición de los mamíferos y de las aves. Desarrollo de los dinosaurios. En los mares el <i>Ichiosaurio</i> y el <i>Plesiosaurio</i> . En el aire el <i>Pterosaurio</i> y en la tierra los <i>Allosaurios</i> carnívoros y <i>Apatosaurios</i> herbívoros, pueblan el planeta. Aparición de las primeras aves o etapas evolutivas intermedias entre las aves y los dinosaurios, como el <i>Archaeopteryx</i> . Formación del Atlántico Sur. Bosques tropicales de gimnospermas (coníferas). A mediados del Jurásico aparecen las <i>Angiospermas</i> (plantas con flores y frutos). Se inicia el proceso de fractura del continente originario: Pangea y da comienzo a la deriva continental. Formación de muchas montañas; desiertos extensos. Evolución de los primeros mamíferos a partir de un grupo de reptiles llamados <i>therapsidos</i> . Expansión de los insectos. Aparición de los dinosaurios.	205	
	Triásico	Se inicia el proceso de fractura del continente originario: Pangea y da comienzo a la deriva continental. Formación de muchas montañas; desiertos extensos. Evolución de los primeros mamíferos a partir de un grupo de reptiles llamados <i>therapsidos</i> . Expansión de los insectos. Aparición de los dinosaurios.	240	
PALEOZOICA	Permico	Aparición de los reptiles. Continentes en un solo bloque: Pangea. Gran difusión de bosques y organismos marinos. Esta situación produce que los sedimentos de este periodo son los generadores del carbón, petróleo y gas natural de hoy día. Predominio de los Anfibios. Inicia glaciación hemisferio Austral. La redistribución de las aguas y tierras en Gondwana, producen un cambio de clima global.	290	
	Carbonifero	Surgen las gimnospermas. Surgen anfibios e insectos. Expansión de los bosques primitivos. Diversificación de peces con esqueleto interno. Este periodo se caracteriza por un clima cálido que fomentó el desarrollo de grandes bosques. Difusión de helechos. Un grupo de peces desarrollaron lóbulos en lugar de aletas y se convirtieron en los primeros anfibios. Al final del periodo, invadieron la Tierra.	360	
	Devónico	Primeras plantas y artrópodos terrestres. Surgen los peces con mandíbulas. Se diversifican peces sin mandíbulas. Glaciaciones hacia los extremos Norte y Sur y clima cálido hacia el Ecuador. Crecimientos de grandes arrecifes coralinos en las aguas cálidas.	410	
	Silúrico	Primeras plantas y artrópodos terrestres. Surgen los peces con mandíbulas. Se diversifican peces sin mandíbulas. Glaciaciones hacia los extremos Norte y Sur y clima cálido hacia el Ecuador. Crecimientos de grandes arrecifes coralinos en las aguas cálidas.	435	
	Ordovicico	Primeros peces sin mandíbula. Abundan las algas marinas. Al principio del periodo mares poco profundos cubrieron grandes extensiones de tierra, que al retirarse, más avanzado el mismo, permitieron el depósito de arenisca y caliza.	500	
	Cámbrico	Surgimiento esponjas, gusanos, invertebrados marinos, moluscos, invasión de artrópodos (trilobites).	570	
PROTEROZOICA	Precámbrico	Grandes glaciaciones. Organismos pluricelulares. Gran producción de oxígeno. Primeras algas verdes e inicia la fotosíntesis. Primeras bacterias. Surgen las primeras células y con ellas, la vida en nuestro planeta.	2 600	
AZOICA	Arcalca	Formación de los océanos. Formación de la corteza terrestre. Se forma la atmósfera de la Tierra. Formación de montañas. Enfriamiento del planeta. Se origina la Tierra.	4 600	

COLUMNA GEOLOGICA



OBJETIVO

CONCEPTO

CAMPO



Plioceno Inferior
Mioceno Superior

Arenas canalizadas
Arenas canalizadas
y tabulares

Cocuite, Playuela, Chalpa
Cocuite, Lizamba, Veinte



Mioceno Medio

Arenas canalizadas
y tabulares

Cocuite, Novillero, Veinte



Mioceno Inferior

Conglomerados

Novillero, Mirador



Eoceno Superior

Conglomerados

Perdiz



Productor de gas



Productor de aceite y gas

AREA DE ESTUDIO

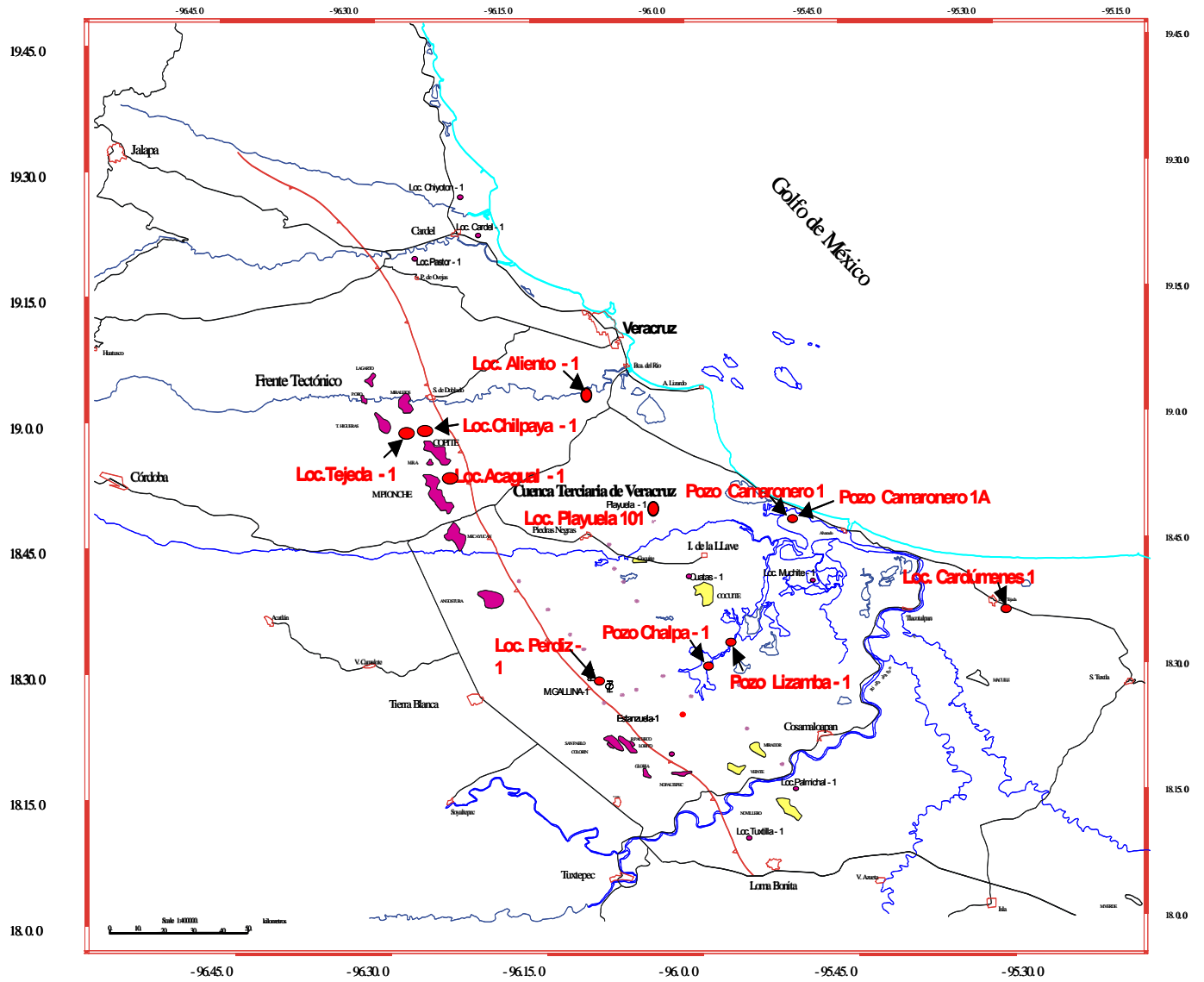
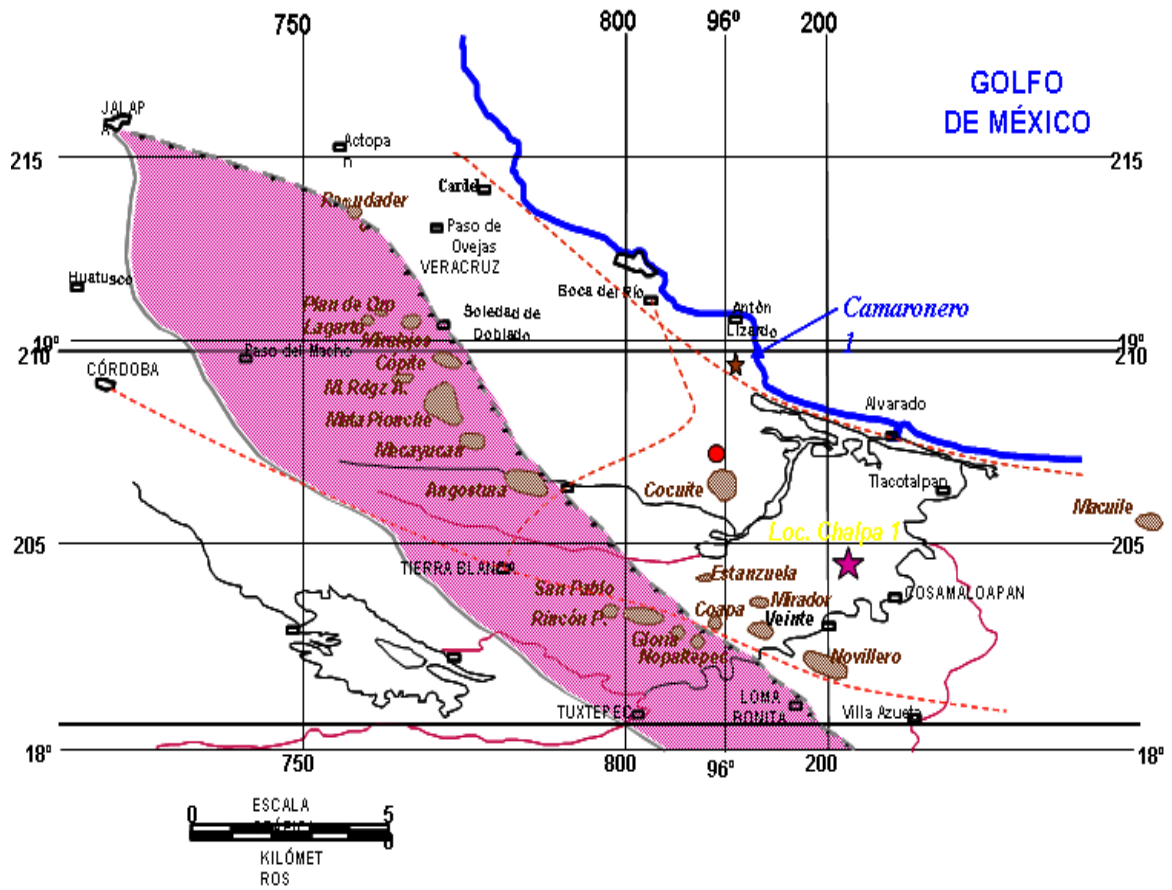
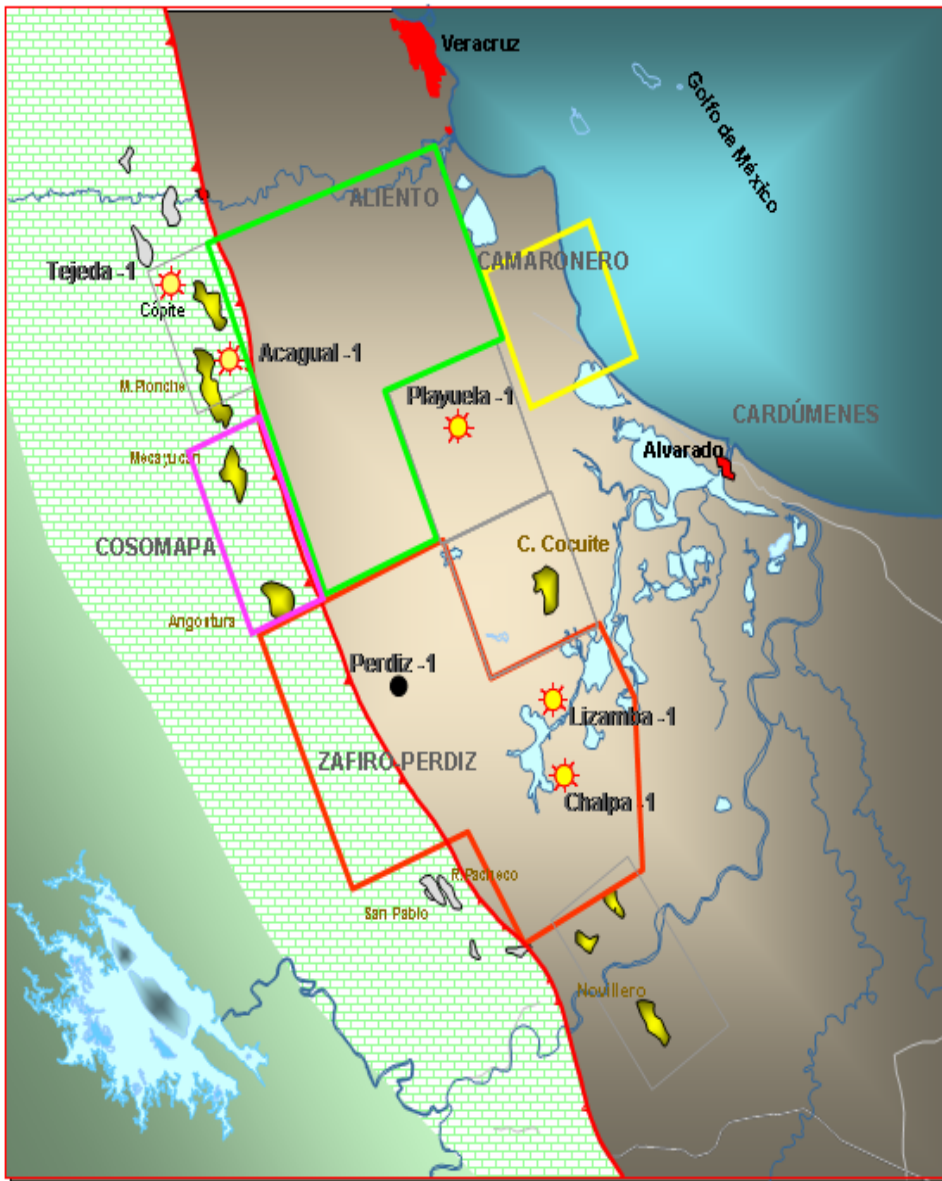


Fig. I. 1

PLANO DE LOCALIZACION



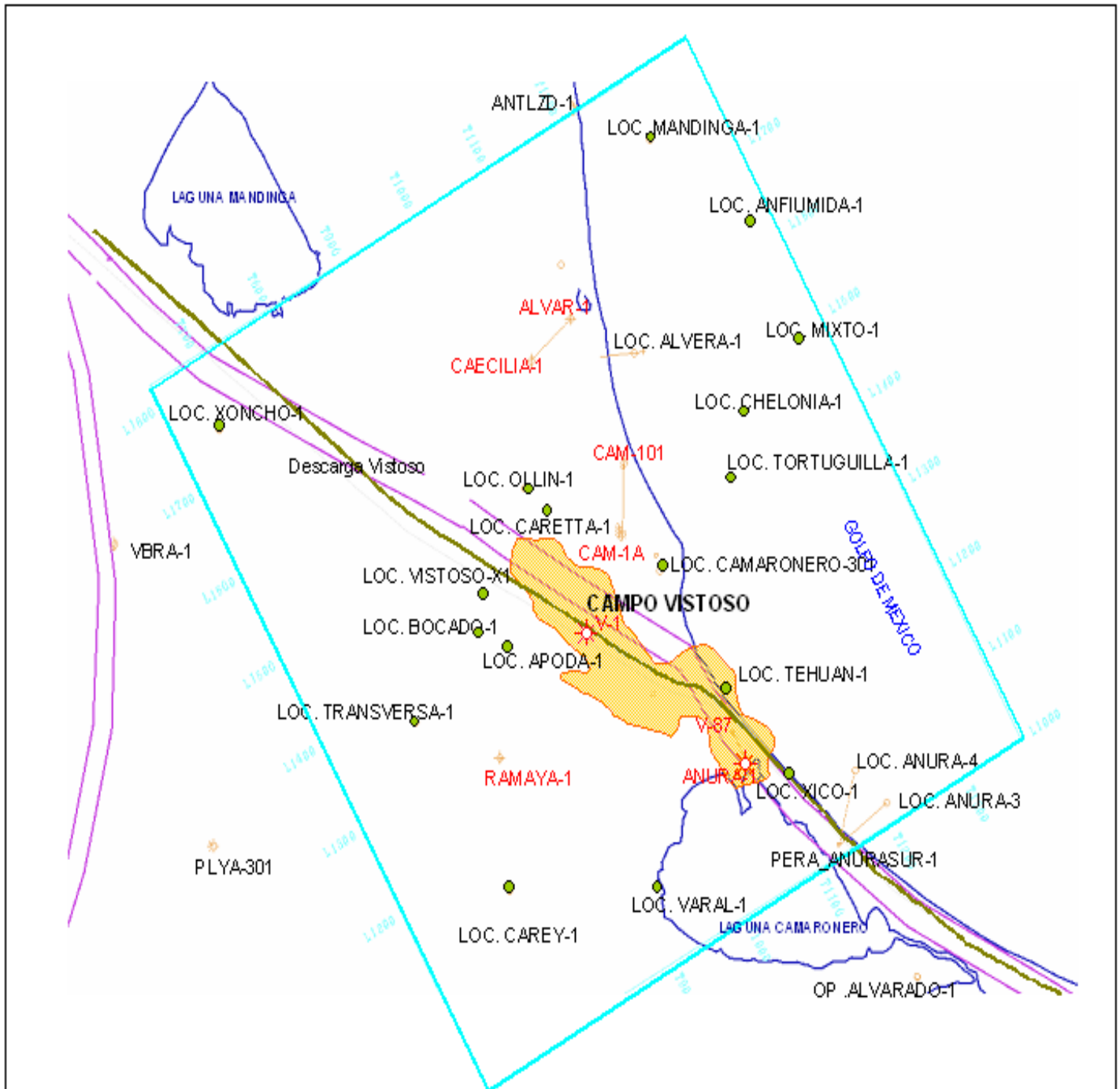
CUBOS SISMICOS





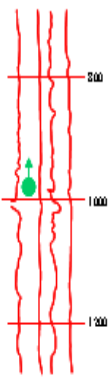
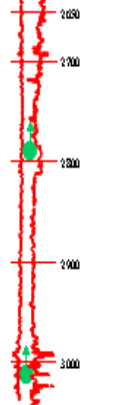
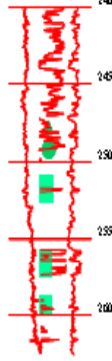

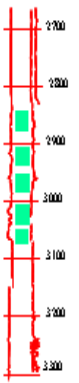

Sísmica



LOCALIZACIONES EXPLORATORIAS AREA CAMARONERO

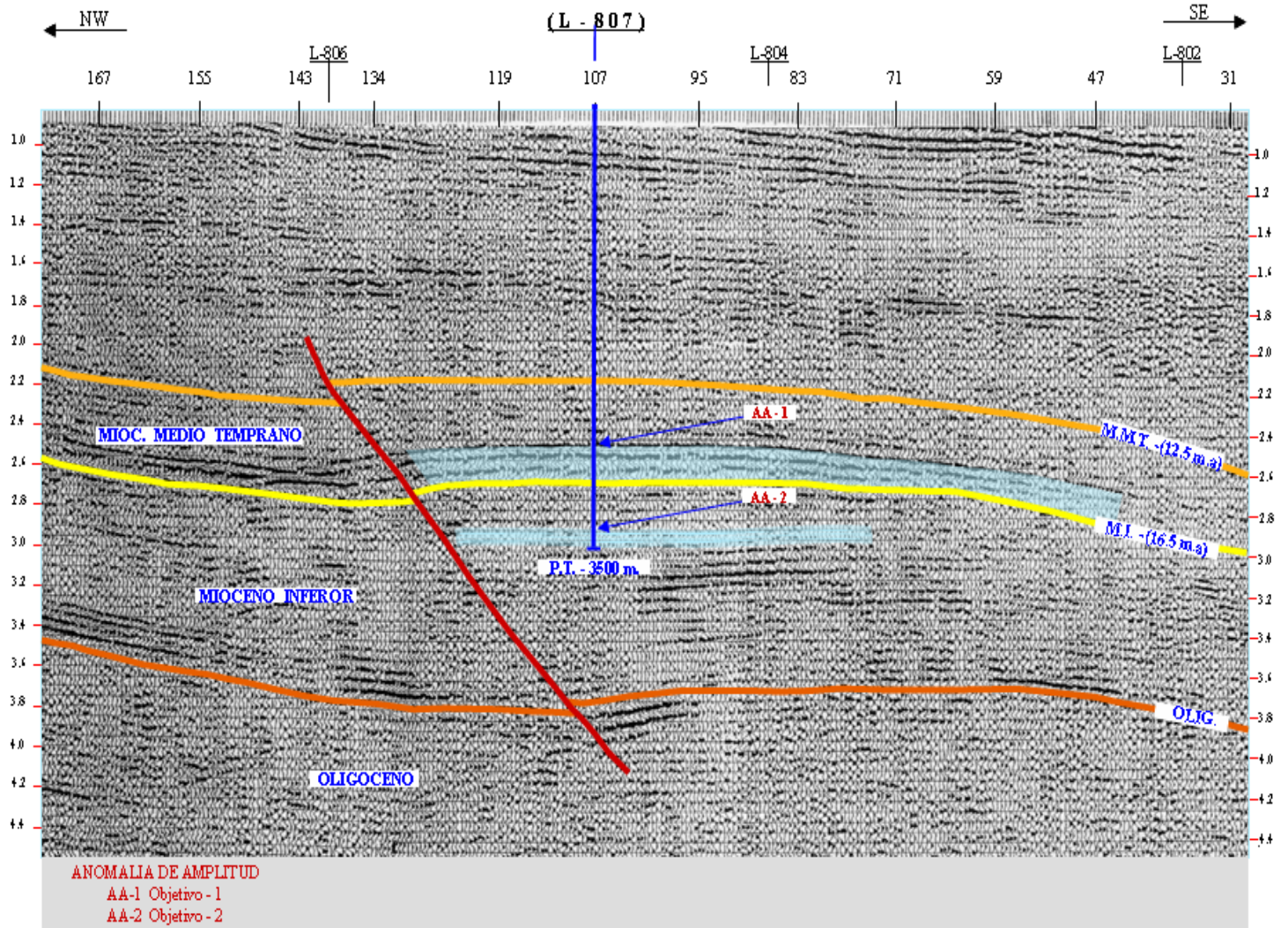


DATOS PETROFISICOS Y MANIFESTACIONES DE GAS DEL OBJETIVO MIOCENO MEDIO

	Anton Lizardo-1	Cocuite-102	Cocuite-201	Novillero-1	Novillero-14	Mirador-1
Manifestaciones y/o Inter. Prod.	968-937 PF. no abrió prob. 980 lodo 1.23-11.11 1064 lodo 1.60-1.20 1135 flujo a/s 8000ppm	2384-2388 2990-2993 3011-3013 3022-2025	2594-2600 2565-2571 2517-2520 2484-2490	2850 2865-2875	2862-2874 2915-2919 2952-2960 3030-3036 3055-3060	2252-2395 2440-2465
Espesor (m)	730	750	770	575	440	80
Porosidad (%)	9	25		10	10	8
Permeabilidad (Md)						
Saturación Agua (%)		80		45	48	49
<p>Simbología</p> <p>Intervalo productor de Gas</p>  <p>Manifestación de Gas</p> 						

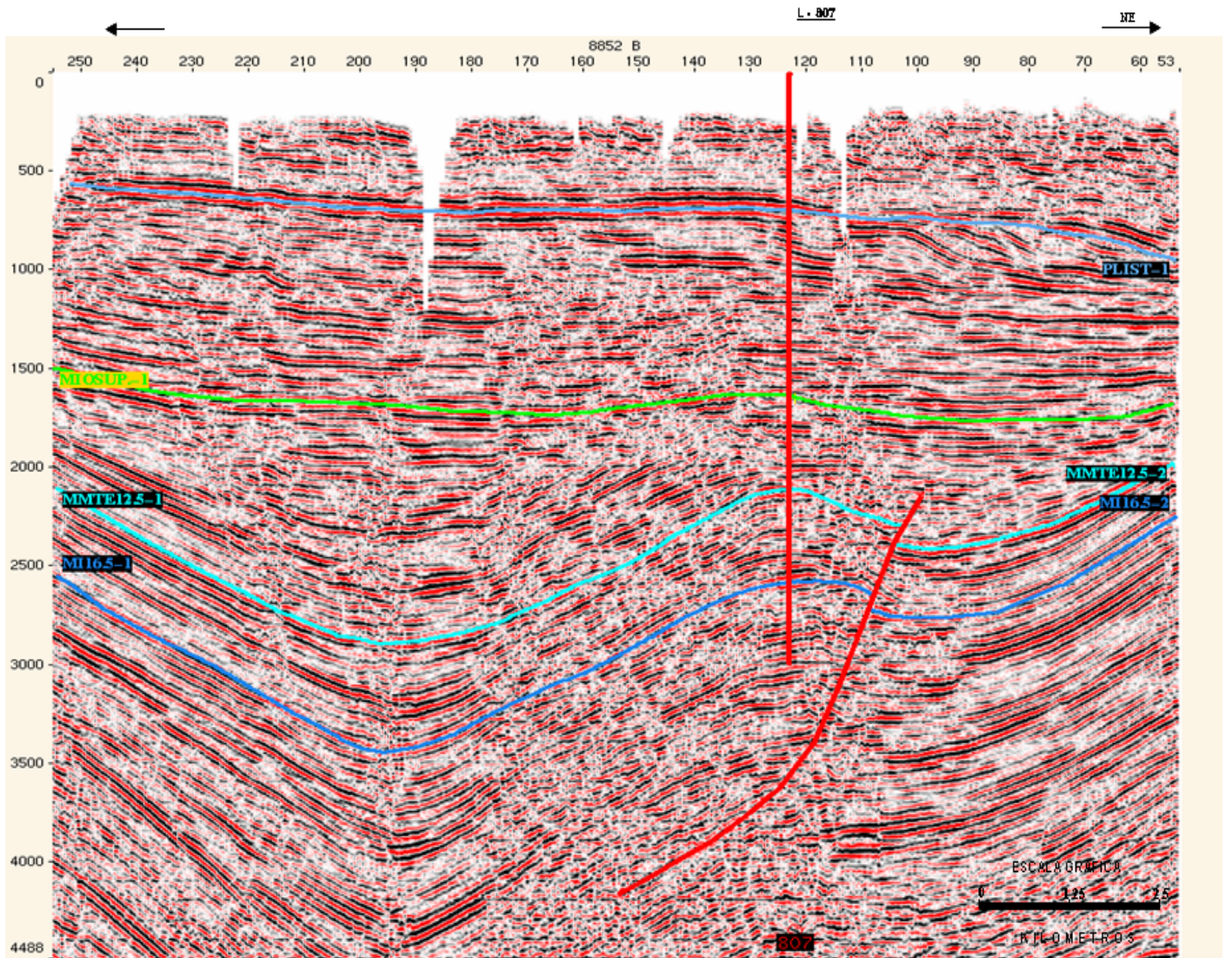
Loc. Camaronero - 1

(L - 807)

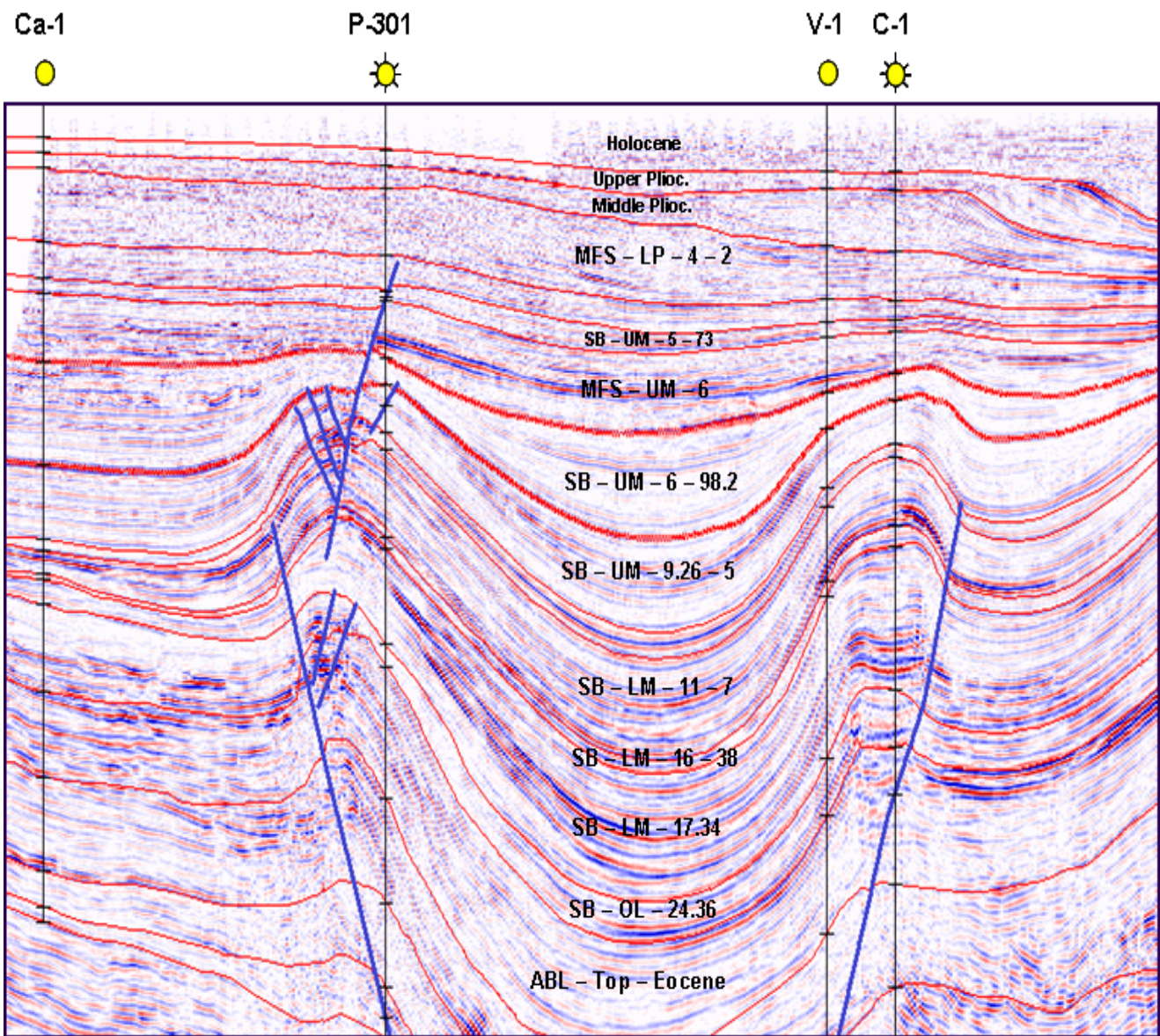


LINEA 8852 B

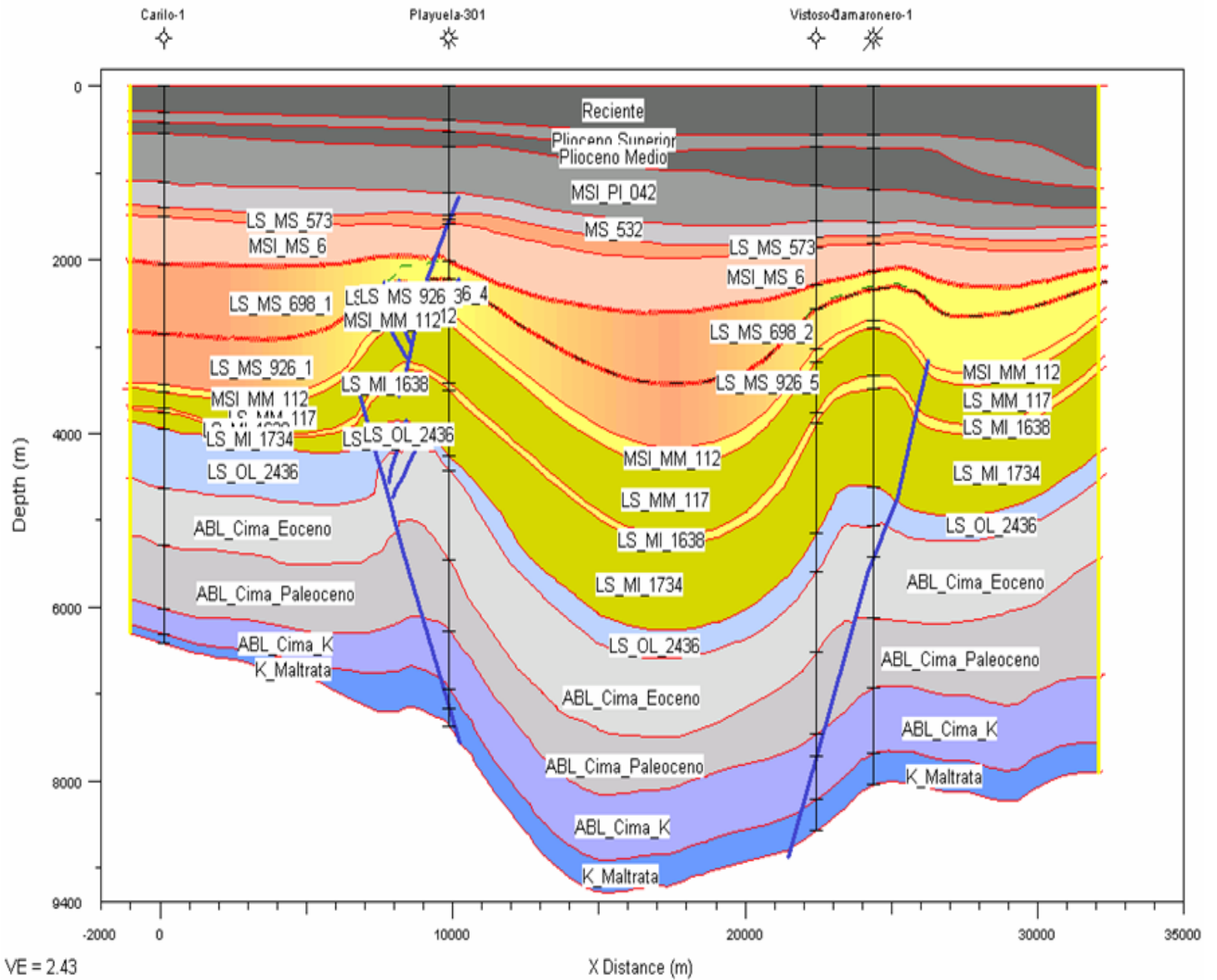
LOC. CAMARONERO - 1



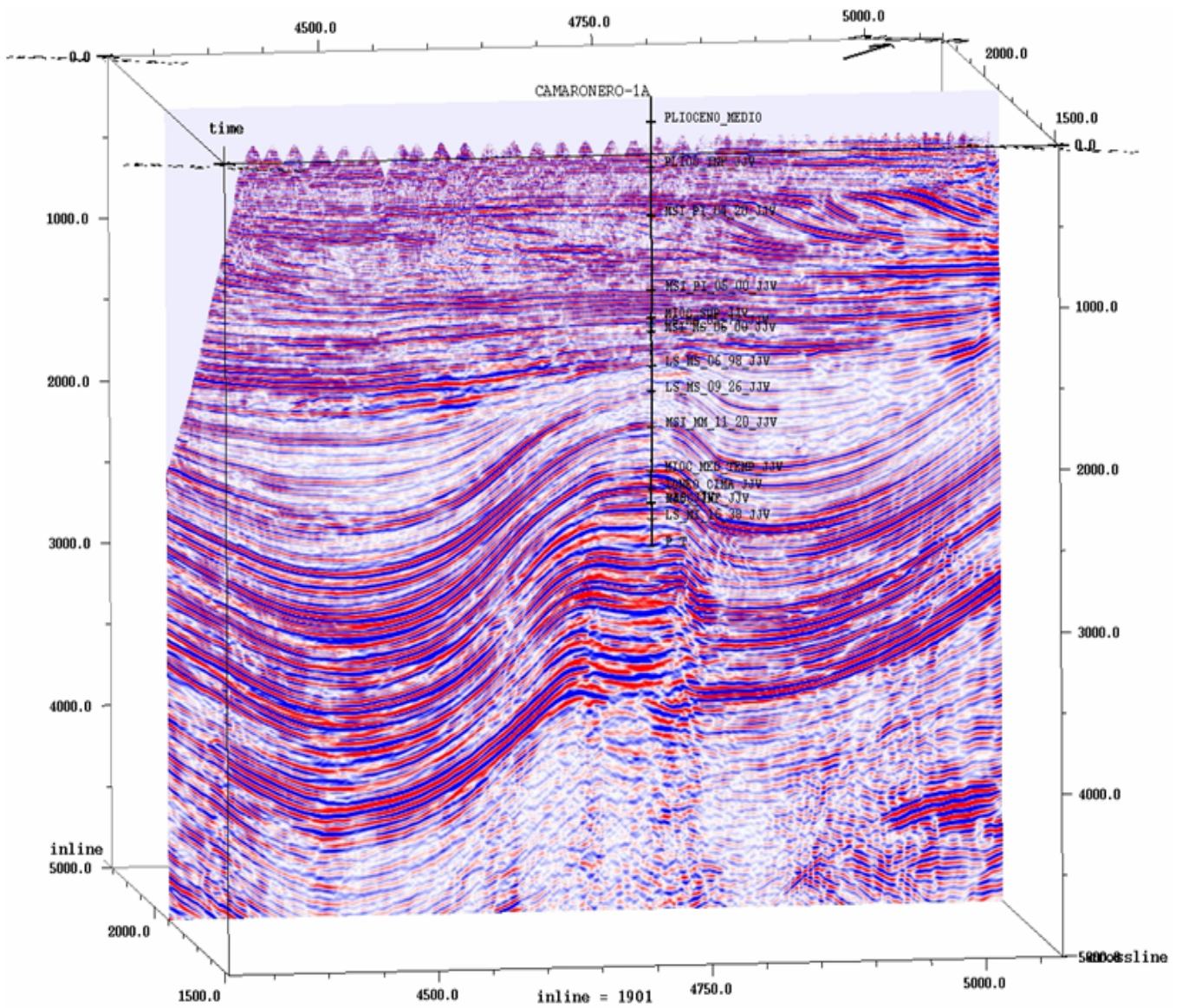
CORRELACION SISMICA-ESTRATIGRAFICA



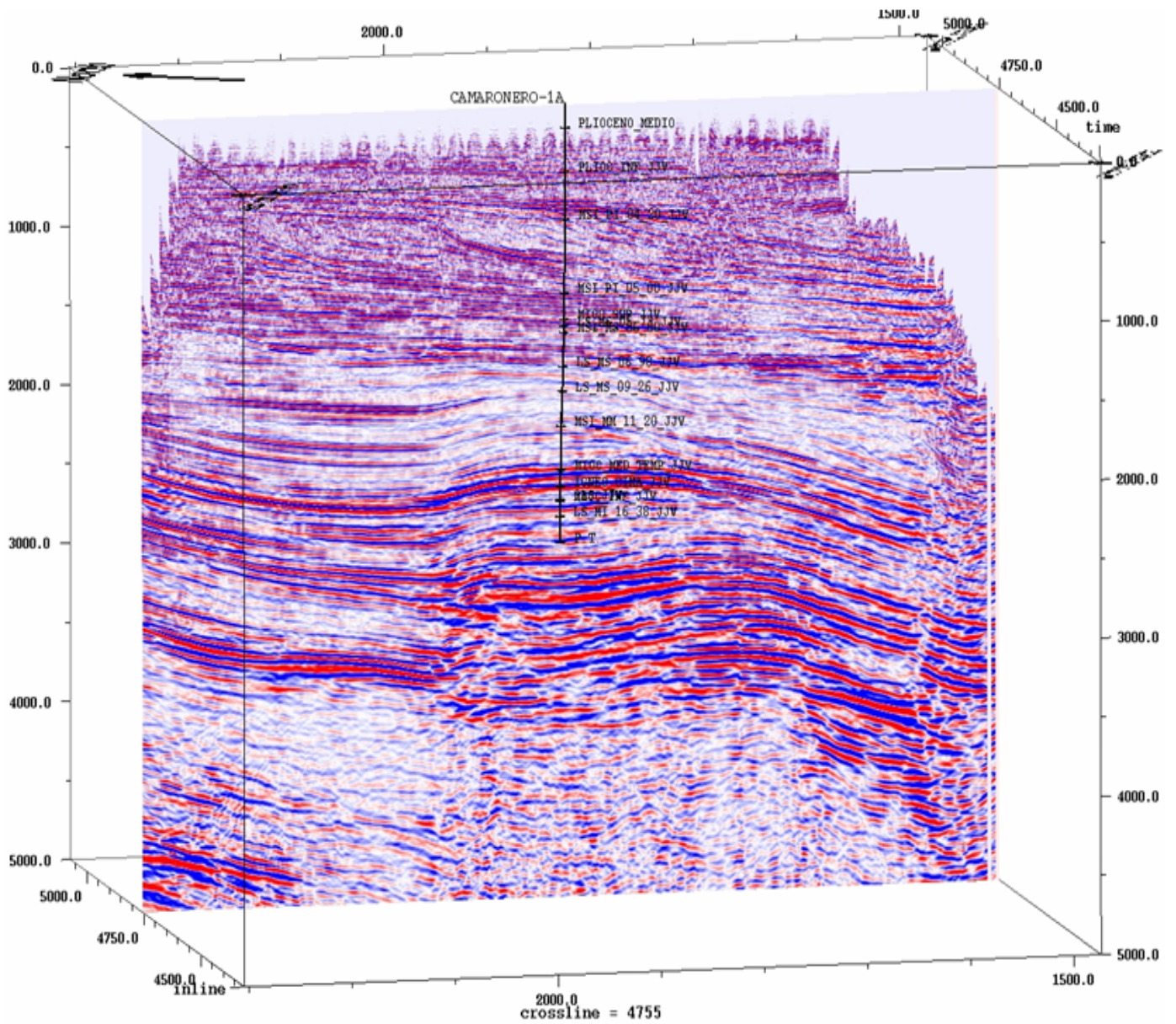
HISTORIA DE SEDIMENTACION Y EVOLUCION ESTRUCTURAL



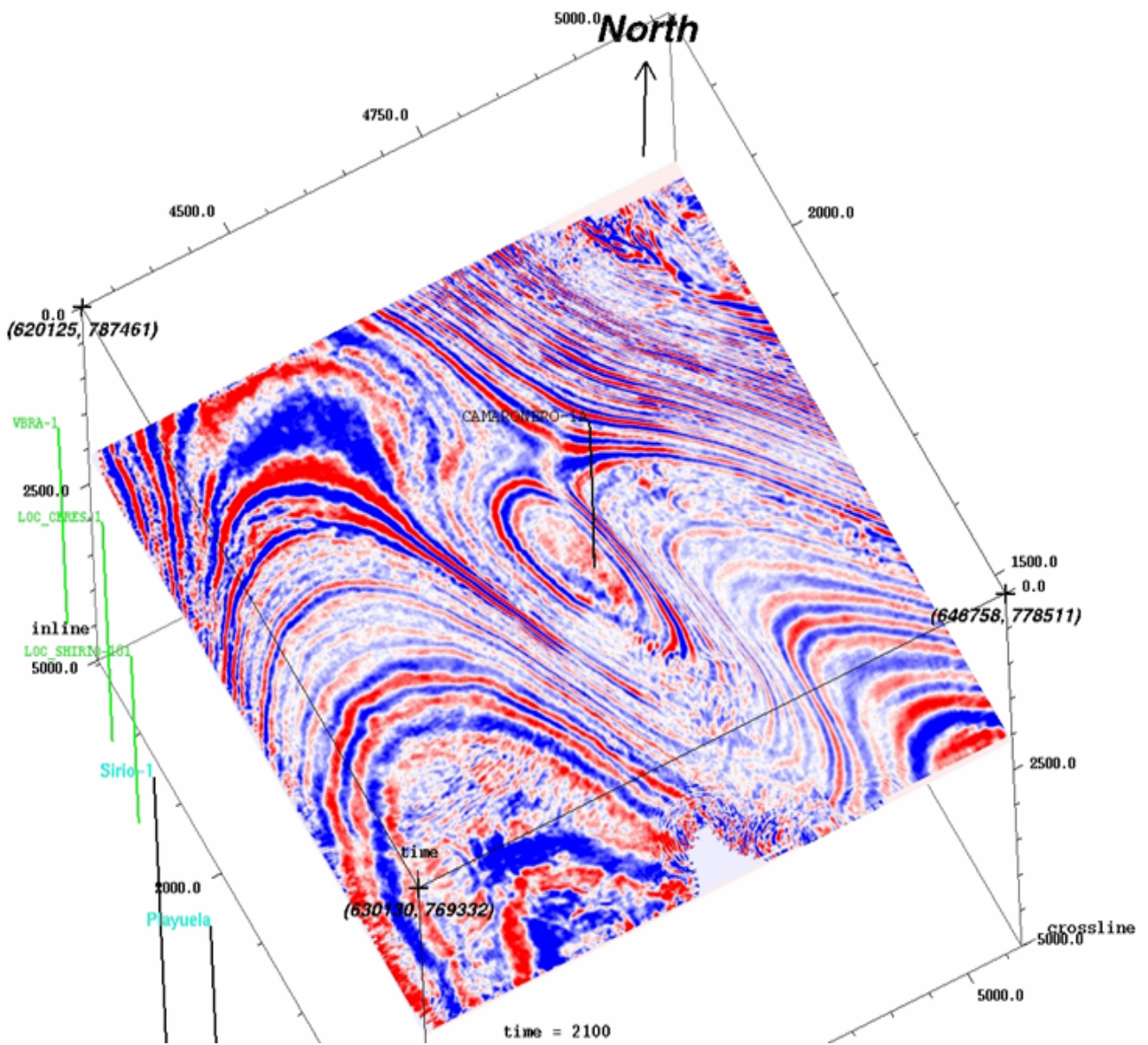
LINEA SISMICA ESTRUCTURA CAMARONERO



LINEA SISMICA ESTRUCTURA CAMARONERO



PLANTA DE LA ESTRUCTURA CAMARONERO



Camaronero No.1

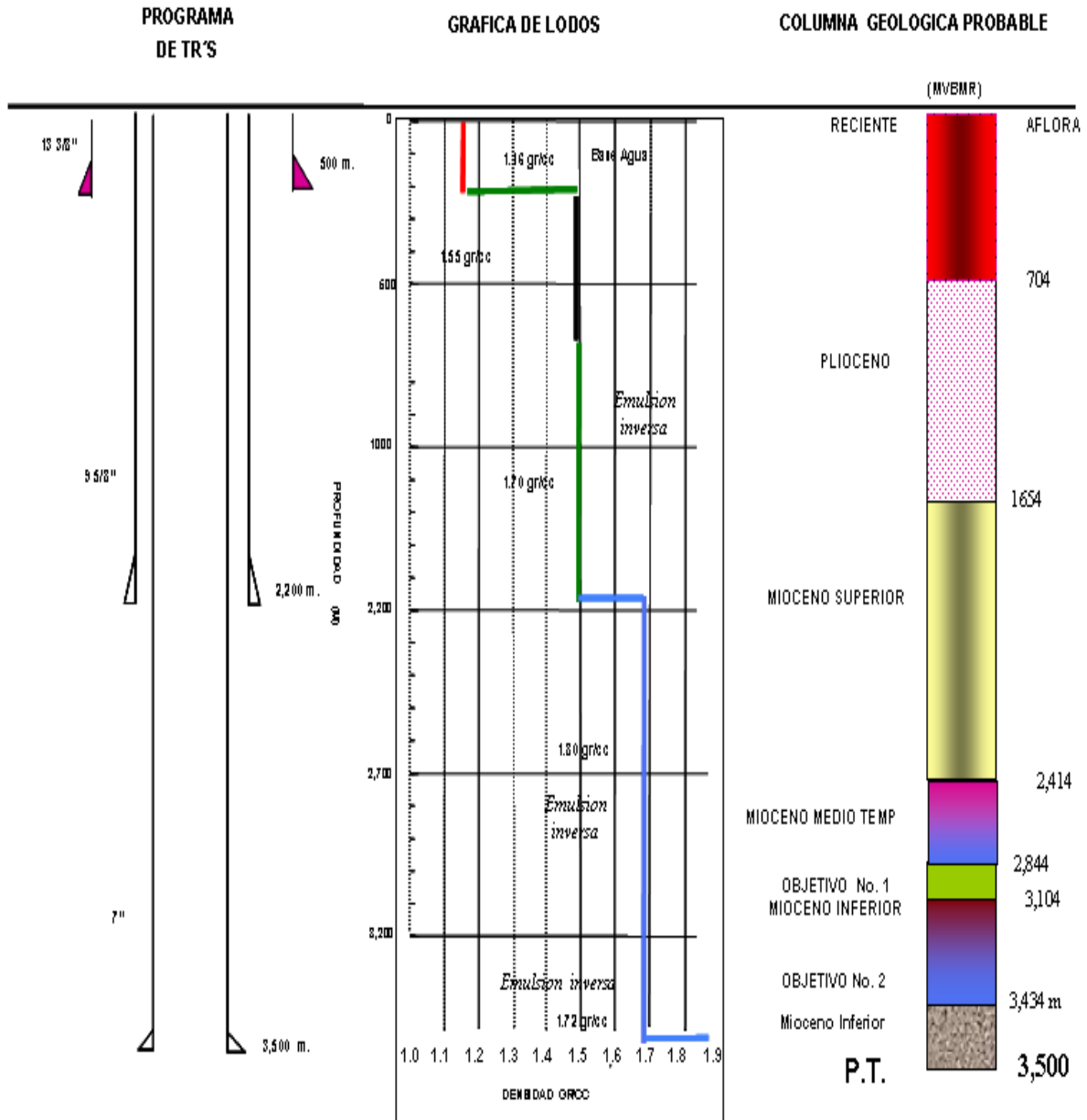
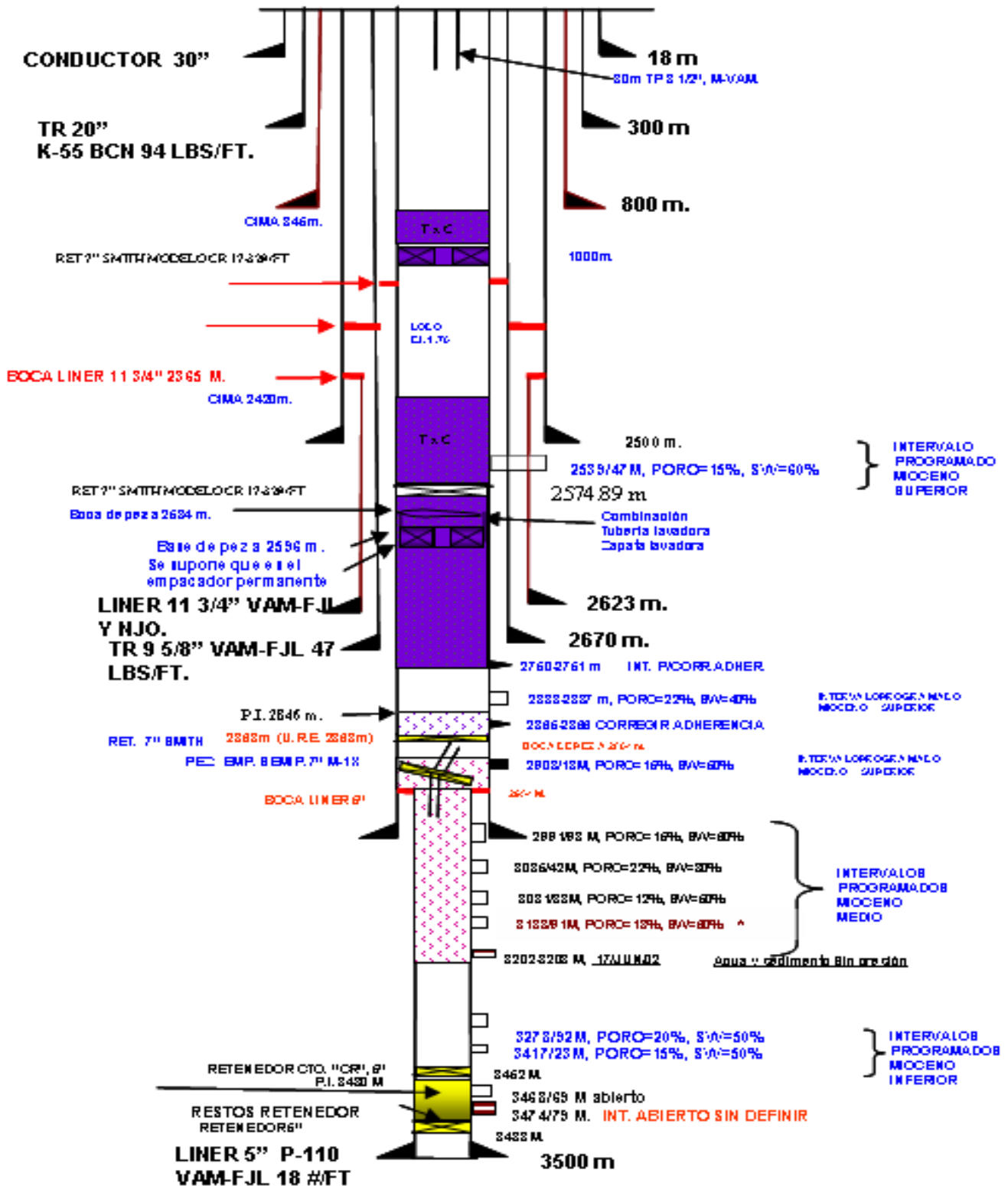
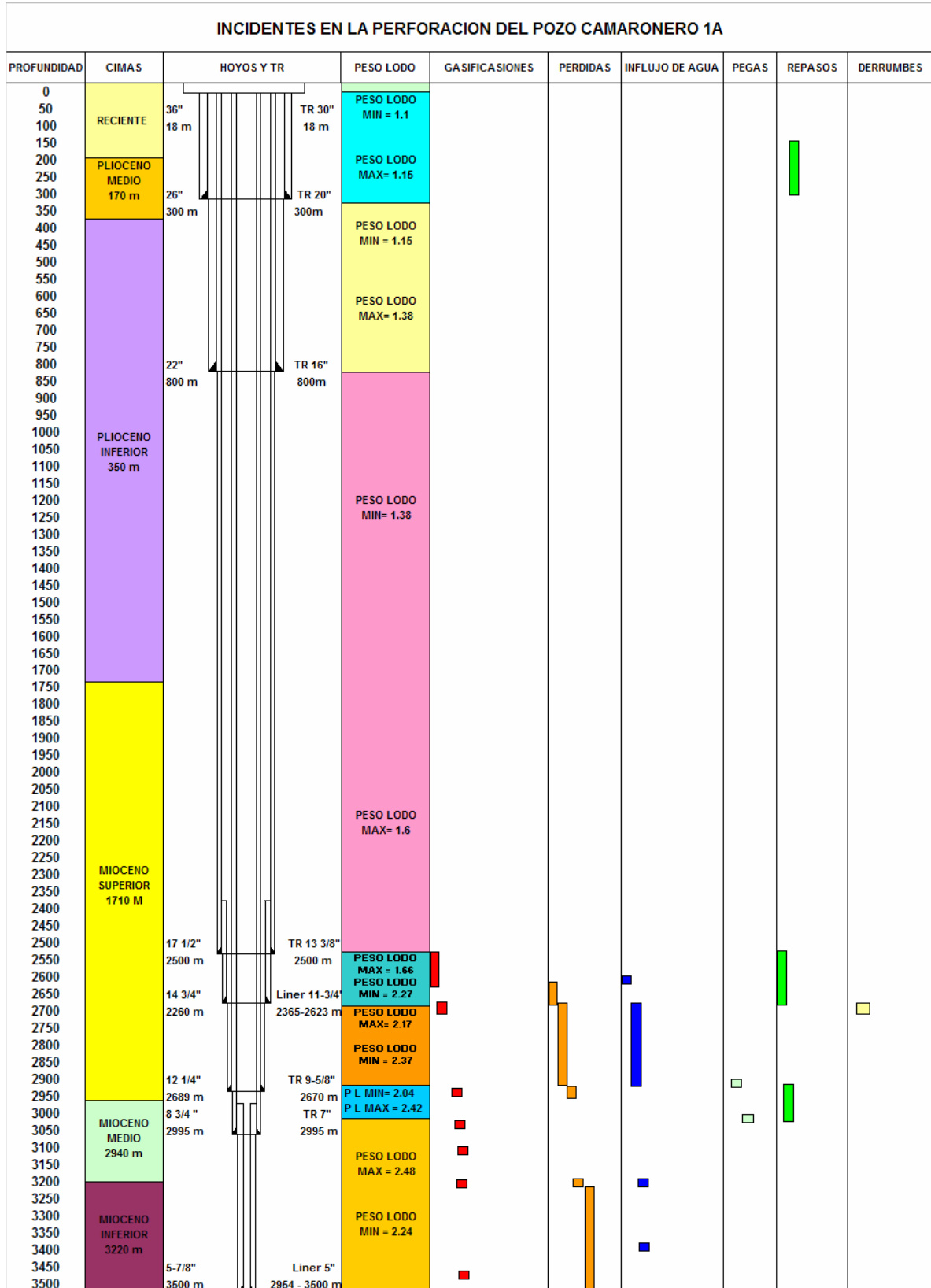


DIAGRAMA ESTADO MECANICO CAMARONERO-1A

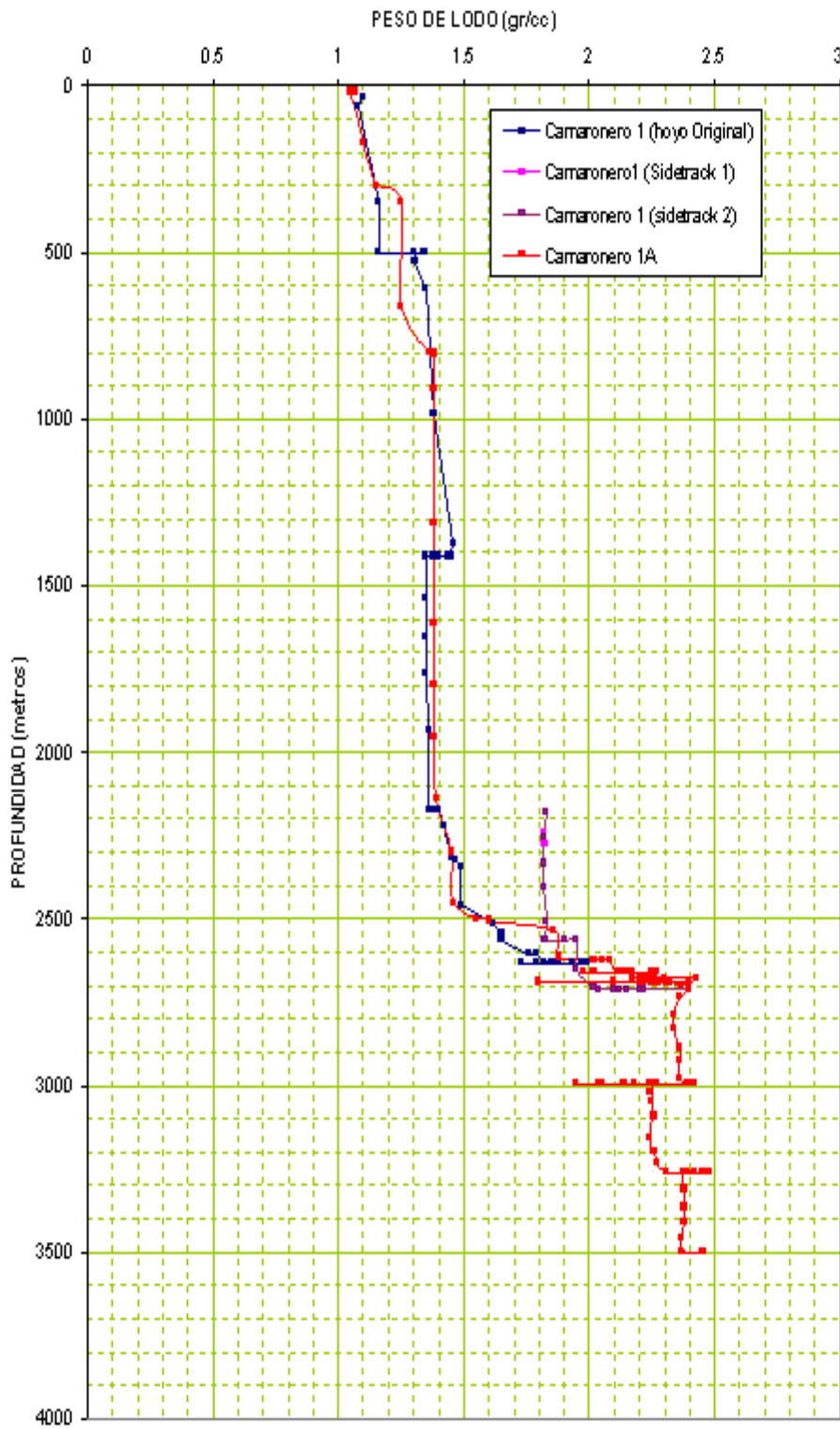


INCIDENTES DE ESTABILIDAD EN EL POZO CAMARONERO-1A

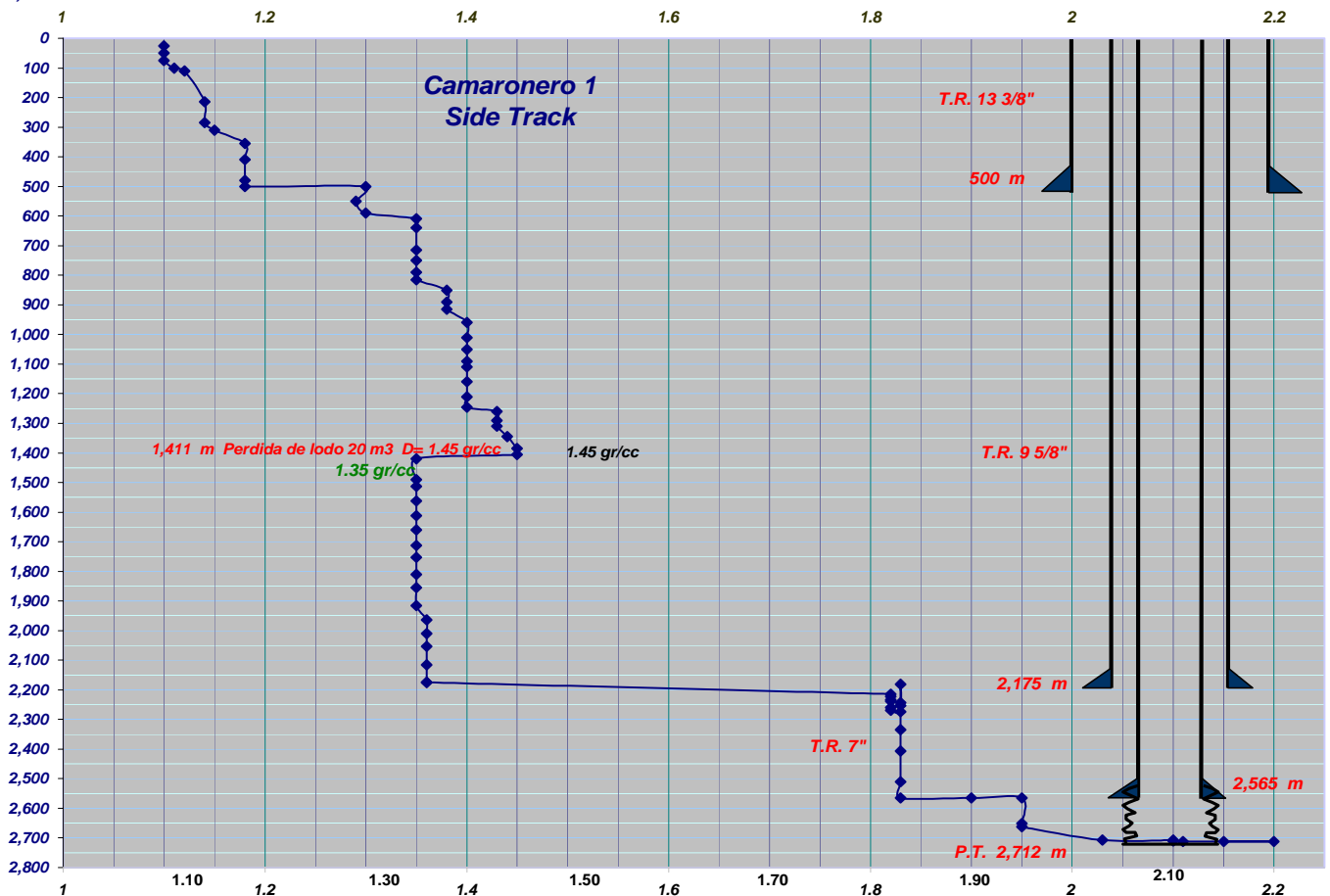
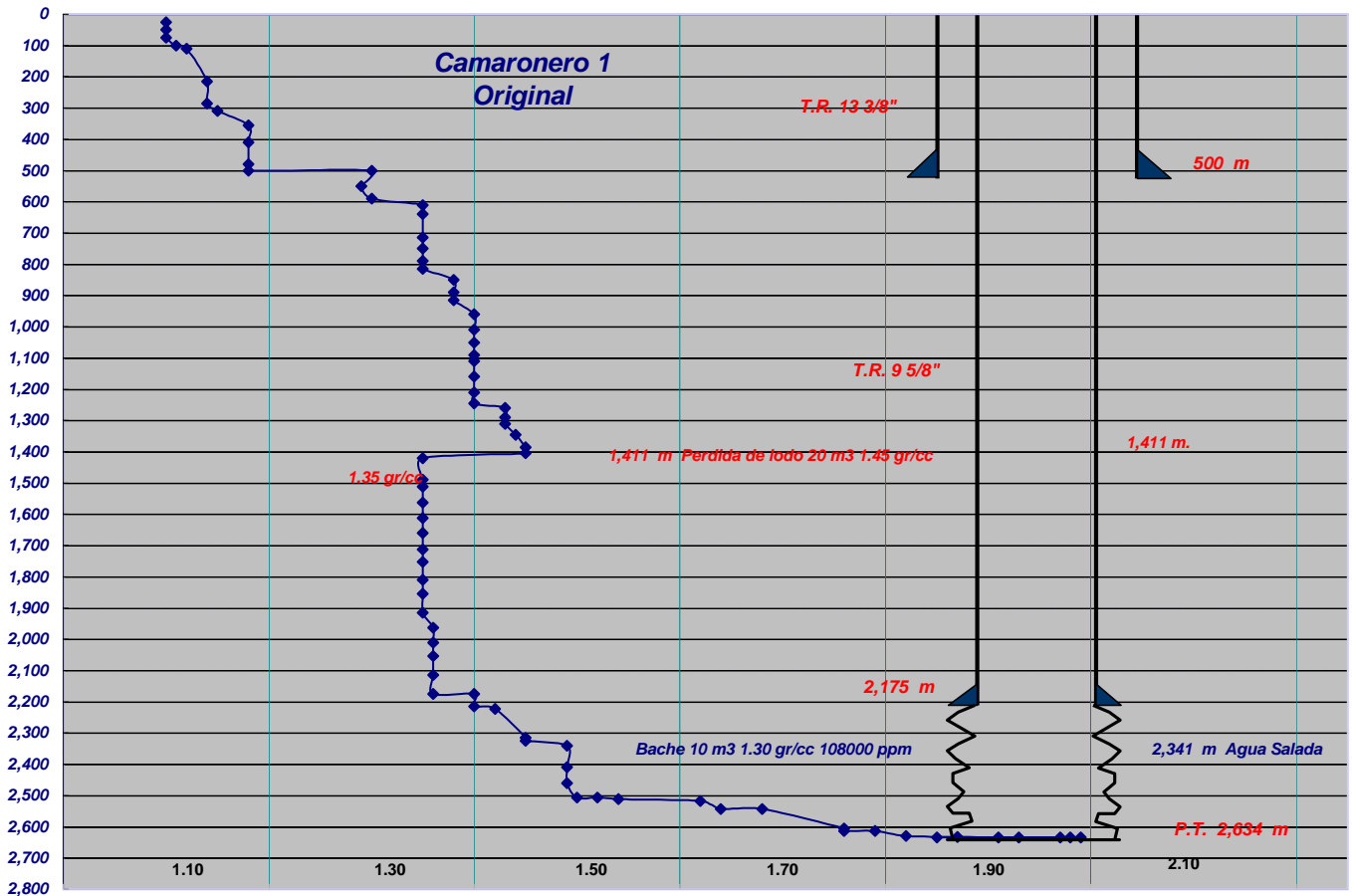


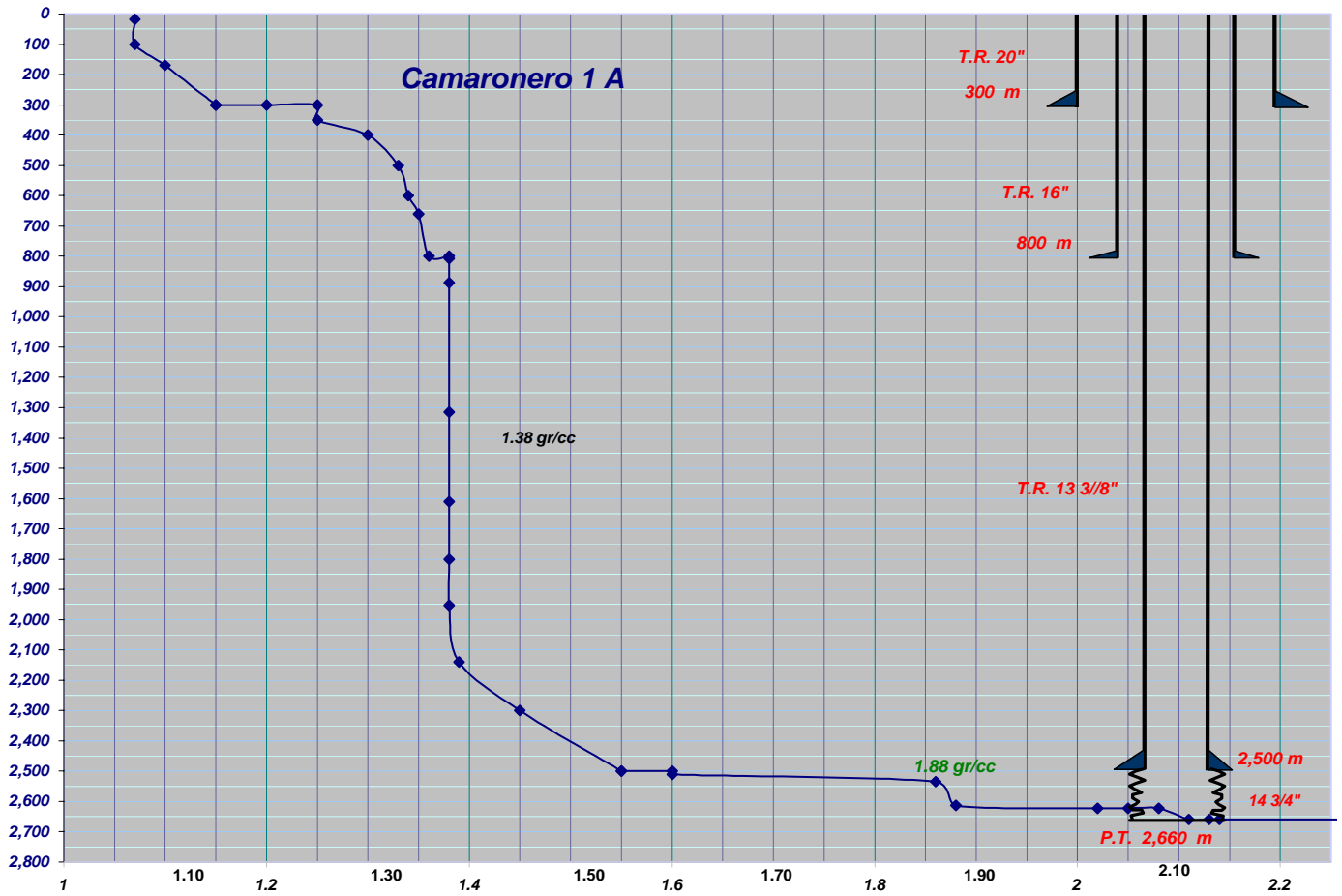
PESOS DE LODO ÁREA CAMARONERO

COMPARACION POZOS CAMARONERO 1 Y CAMARONERO 1A

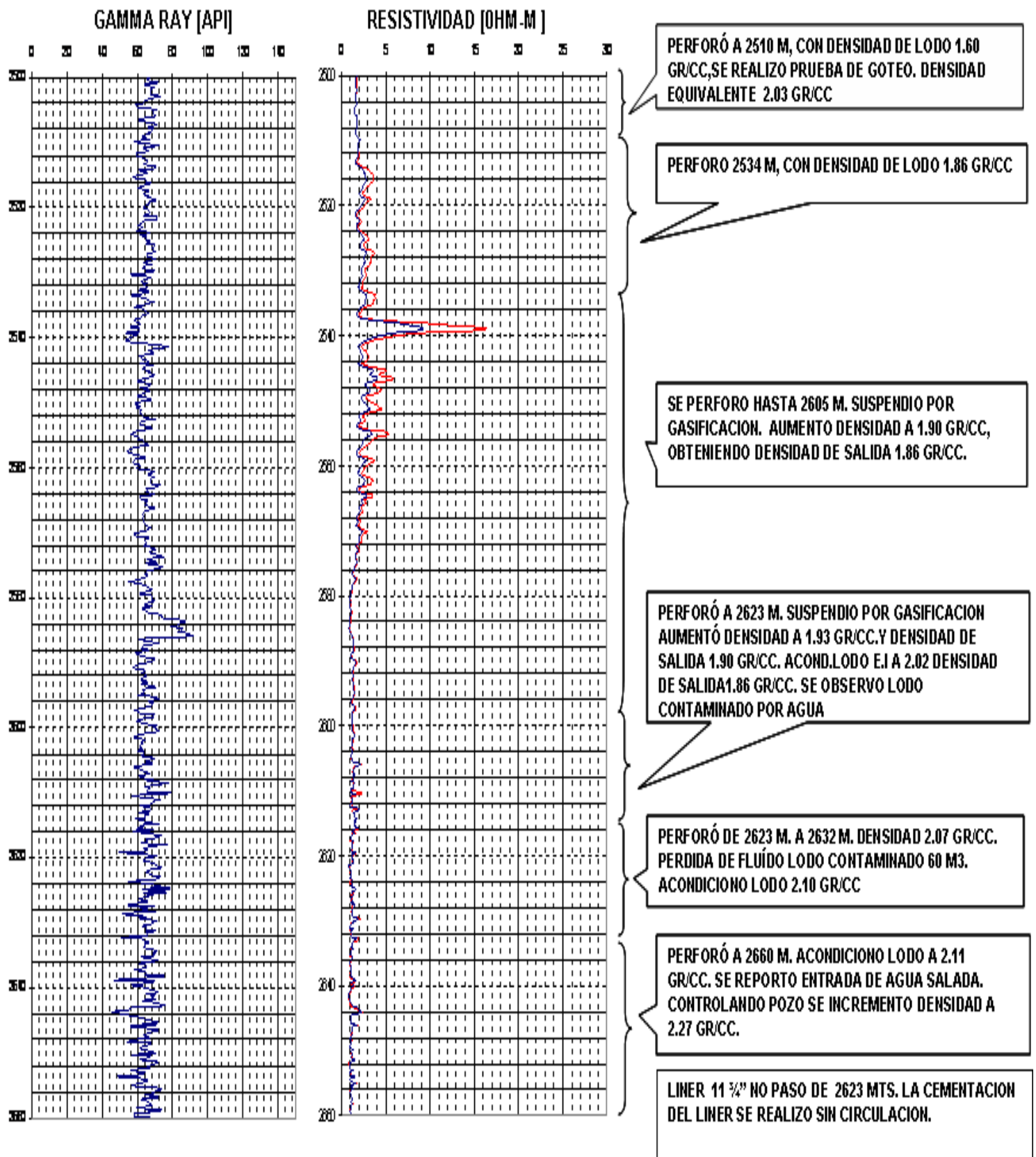


ESTADOS MECANICOS POZOS CAMARONEROS



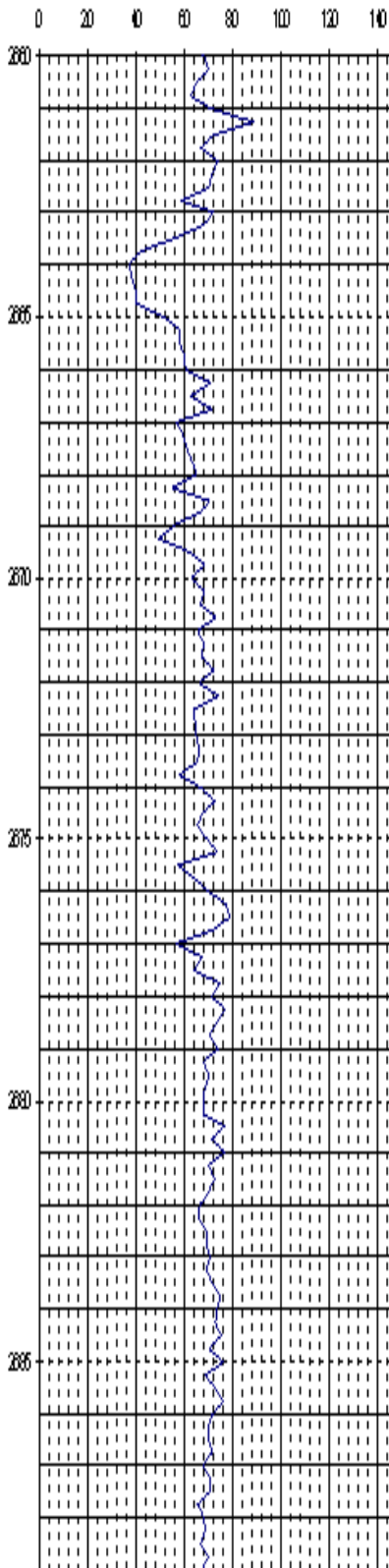


ANALISIS DE PERFORACION ZONA PROBLEMÁTICA EN EL POZO CAMARONERO 1A
HOYO DE 14-3/4" (2500- 2660) m REVESTIDOR 11-3/4"(2365-2623) m

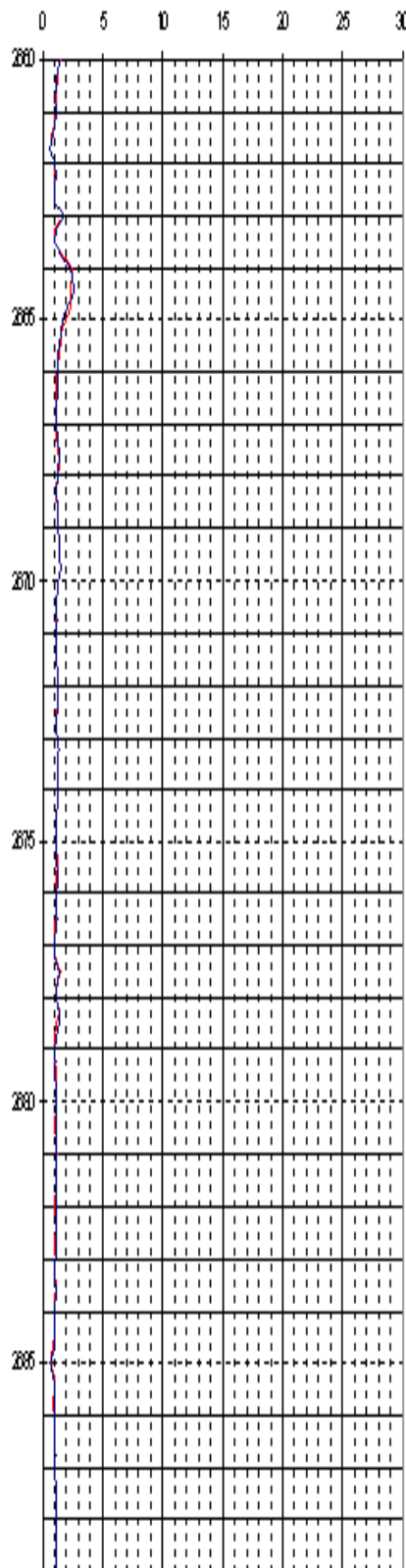


**ANALISIS DE PERFORACION ZONA PROBLEMÁTICA EN EL POZO CAMARONERO 1A
HOYO DE 12-1/4" (2660- 2689) m REVESTIDOR 9-5/8"(2212- 2670) m**

GAMMA RAY [API]



RESISTIVIDAD [OHM-M]



PERFORÓ CON PERDIDA PARCIAL DE CIRCULACIÓN 1.6 M3 POR HORA DE 2660 M HASTA 2670 M OBSERVANDO GASIFICACIÓN DE FONDO, DENSIDAD DE LODO 2.17 GR/CC CON DENSIDAD MÍNIMA DE SALIDA 1.93. CIRCULÓ AUMENTANDO DENSIDAD A 2.26 GR/CC. POR OBSERVAR FUERTE GASIFICACIÓN, DENS SALIDA MIN. 1.93. AUMENTO R.A.A. Y SALINIDAD POR OBSERVAR, DERRUMBE Y POR CERRARSE AGUJERO

PERFORO 2674 M. CON PERDIDA TOTAL DE CIRCULACION, PERFORO 2675 M CON PERDIDA TOTAL DE CIRCULACION. PERFORÓ A 2678 M, DENSIDAD 2.20 GR/CC. ACONDICIONO LODO 2.30 GR/CC PARA CONTROLAR POZO. LUEGO SE REALIZO CEMENTACION FORZADA

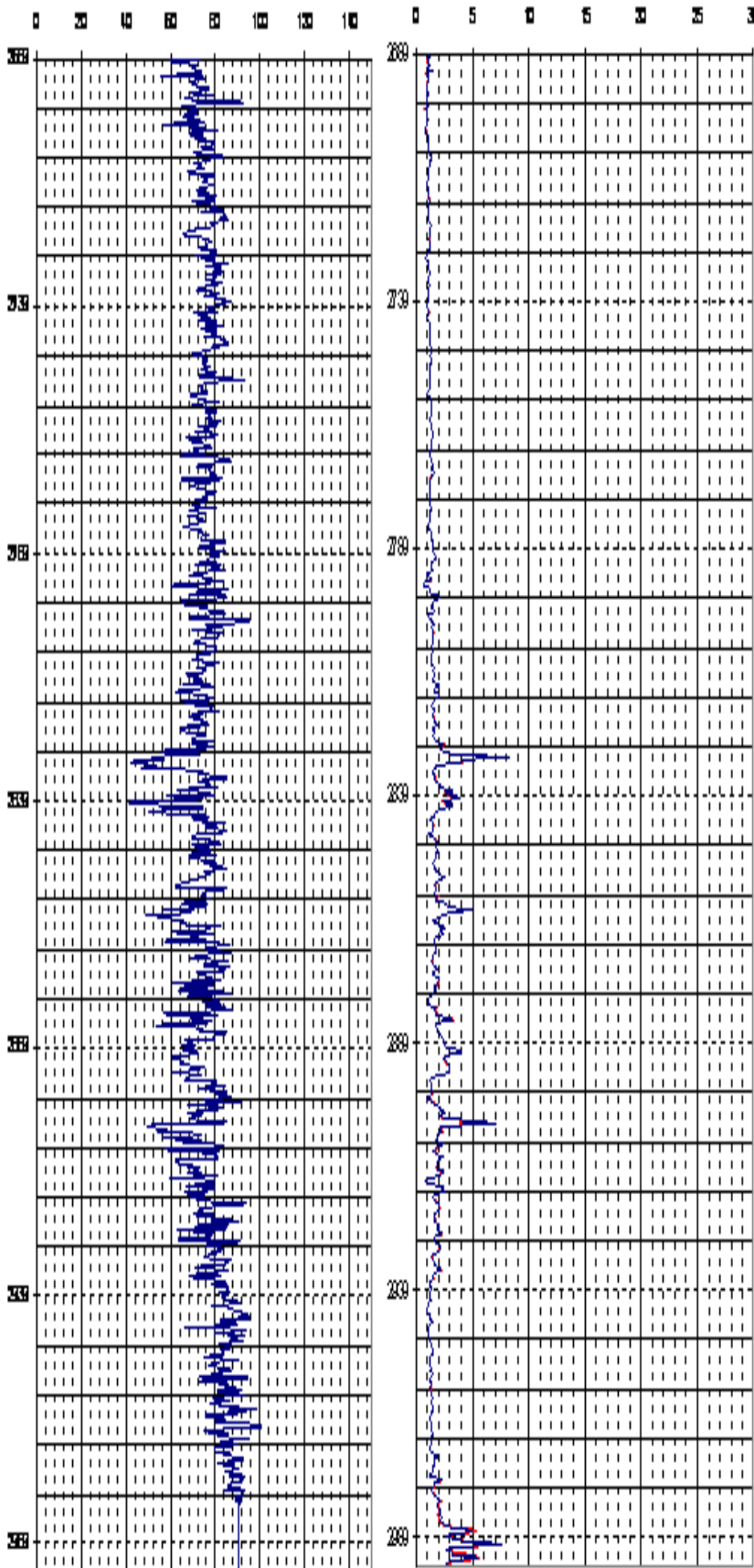
PERFORA CON EQUIPO BAJO BALANCE INSTALADO DE 2678-2689 M CON DENSIDA DE 2.20 GR/CC, AL PERFORAR EL METRO 2689, OBSERVÓ EMPACAMIENTO DE SARTA Y PERDIDA TOTAL DE CIRCULACIÓN.

ATRAPAMIENTO DEL LINER 9 5/8" a 2670 M CEMENTO LINER DE 9 5/8" CON PERDIDA PARCIAL DE CIRCULACION

ANALISIS DE PERFORACION ZONA PROBLEMÁTICA EN EL POZO CAMARONERO 1A
HOYO DE 8-3/8" (2689 – 2995) m REVESTIDOR 9-5/8" (2104- 2995) m

GAMMA RAY [API]

RESISTIVIDAD [OHM.M]



PERFORO DE 2689 -2700 M. OBSERVANDOSE GASIFICACION CON DENSIDAD 2.32 Y DENSIDAD MINIMA DE SALIDA 2.26.

PERFORO DE 2700 A 2713 M, DONDE SUSPENDIO POR INCREMENTO DE PRESION MANOMETRICA, OBSERVÓ PERDIDA DURANTE LA PERFORACION.

SE PERFORÓ DE 2713 A 2735, DENSIDAD DE LODO 2,40 GR/CC, BAJO DENSIDAD. AUMENTO GASTO MANTENIENDO PRESION EQUIVALENTE EN FONDO 2,5 GR/CC.

PERFORÓ 2786. BAJÓ DENSIDAD A 2.37 MANTENIENDO DENSIDA EQUIVALENTE DE 2.5 GR/CC

PERFORÓ REGISTRANDO CON MWD,PWD Y LWD, A 2826.5 M OBSERVA GAS DE CONEXIÓN, BAJANDO DENSIDAD DE 2.34 A 2.22 GR/CC. PERFORÓ A 2828 M, PERFORÓ 2831 M, OBSERVANDO GASIFICACION CON DENSIDAD DE E=2.34, S=2.21,

PERFORÓ 2887 M, CON 2.36 GR/CC, APOYADO C/CABEZA ROTATORIA Y C.P.E.=2.49. SE PERFORO A 2895 CON DENSIDAD 2.36 GR/CC.

PERFORÓ 2927 M, DENSIDAD PROMEDIO DE 2.36 GR/CC PERFORÓ 2933 M, DONDE SUSPENDIO X OBSERVAR GASIFICACION. OBSERVÓ 10 MIN. DE GASIFICACION C/DENSIDAD MINIMA DE 2.27,

PERFORÓ 2995 M, SUSPENDIÓ POR INCREMENTO DE TORSIÓN, FRICCIÓN Y EMPACAMIENTO DE SARTA. CIRCULÓ DENSIFICANDO FLUIDO A 2.40 GR/CC, Y OBSERVÓ POZO.

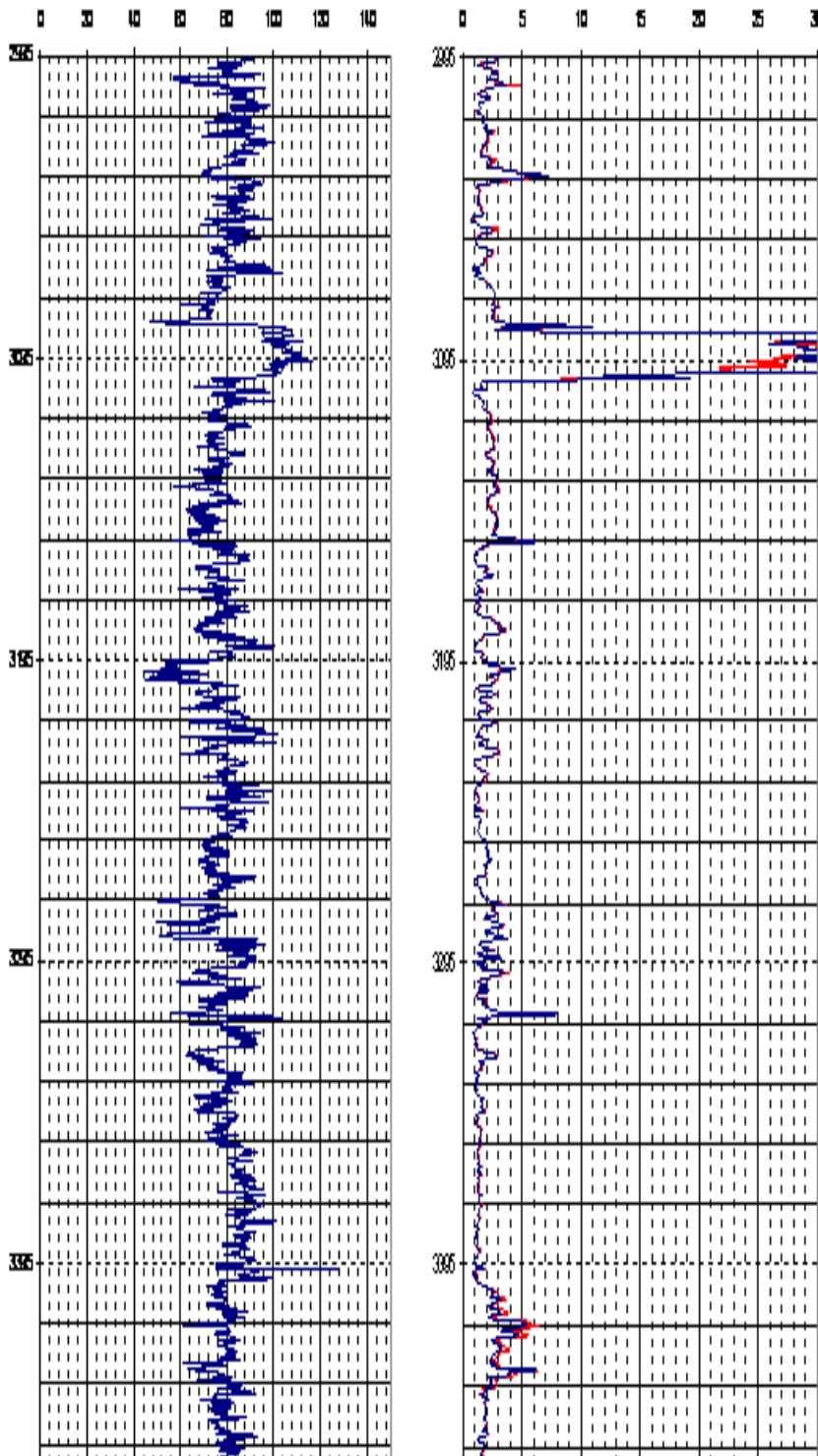
CEMENTO LINER 7" CON PERDIDA DE CIRCULACION A 2995 MTS

ANÁLISIS DE PERFORACIÓN ZONA PROBLEMÁTICA EN EL POZO CAMARONERO 1A

HOYO DE 5-7/8" (2995-3500) m REVESTIDOR 5" (2954-3500) m

GAMMA RAY [API]

RESISTIVIDAD [OHM-M]



PERFORA DE 2995 A 3021M. PERFORO INICIO AL CON LODO DE ENTRADA 2.26 GR/CC. BAJANDO PAULATINAMENTE A 2.24 GR/CC. CIRCULÓ POR OBSERVAR GASIFICACIÓN, DENSIDAD DE ENTRADA 2.24 GR/CC. Y SALIDA 2.17 CORTÓ NUCLEO #1 DE 3021 A 3030 M, DENSIDAD E.2.25 GR/CC. PERFORÓ NORMAL A 3047 M, PERFORÓ DE 3047 A 3086 M. CON LODO E=2.24 S=2.20 SIN LOGRAR EMPAREJAR COLUMNAS

AL INICIAR A PERFORAR METRO 3085 OBSERVÓ AUMENTO DE GASIFICACIÓN. EN LA SALIDA, DENS. MIN. 2.13, Y ENTRADA DE 2.24. CORTÓ NUCLEO #2 DE 3086 A 3095 M. SE BOMBEO BACHE 2.45 GR/CC, GENERAR DENSIDAD EQUIVALENTE DE CIRCULACION DE 2.33

PERFORÓ A 3154 M, DENSIDAD DE LODO DE 2.24 GR/CC

PERFORÓ A 3199 M., DENSIDAD DE LODO 2.26 GR/CC

PERFORÓ A 3225M., DENSIDAD DE LODO 2.27 GR/CC. CIRCULÓ CONTROLANDO POZO POR INCREMENTO DE PRESIÓN

REANUDÓ PERFORANDO DE 3225 M. A 3229 M. CIRCULÓ CON LODO 2.26 GR/CC., EMPAREJANDO COLUMNAS, LODO CONTAMINADO. PERFORÓ A 3262 M, CIRCULÓ POR OBSERVAR GASIFICACIÓN DENSIDAD E=2.31GR/CC, S=2.14 GR/CC., CIRCULÓ A GASTO REDUCIDO, OBSERVÓ PERDIDA PARCIAL

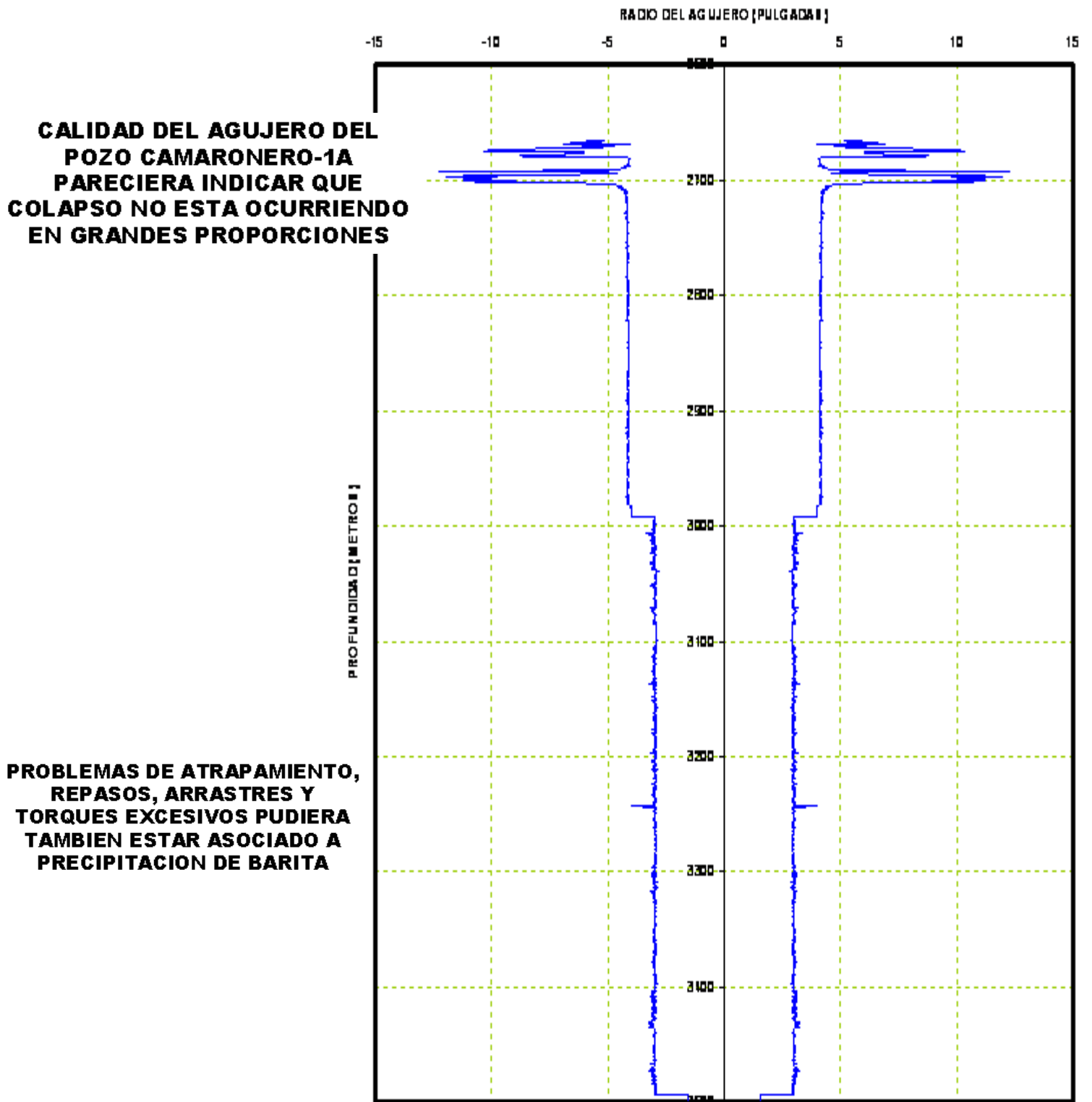
PERFORÓ CON BNA. A 3311 M. CON PÉRDIDA PARCIAL DE LODO SE ADICIONANDO CON OBTURANTE. DENSIDAD DE LODO 2.38 GR/CC

PERFORÓ A 3365 M, CON PERDIDA PARCIAL DE LODO. DENSIDAD 2.38 GR/CC. LODO CONTAMINADO CON AGUA

PERFORÓ 3412 M. CON PERDIDA PARCIAL DE LODO DENSIDAD DE LODO 2.38 GR/CC

PERFORÓ 3500 M. CON PERDIDA PARCIAL DE LODO DENSIDAD DE LODO 2.38 GR/CC

POZO CAMARONERO-1A: CALIDAD DE AGUJERO



b) Planteamiento del Problema.- en este inciso desarrollare todos los cálculos que intervendrán en nuestro estudio para el Diseño de Pozos, donde determinare:

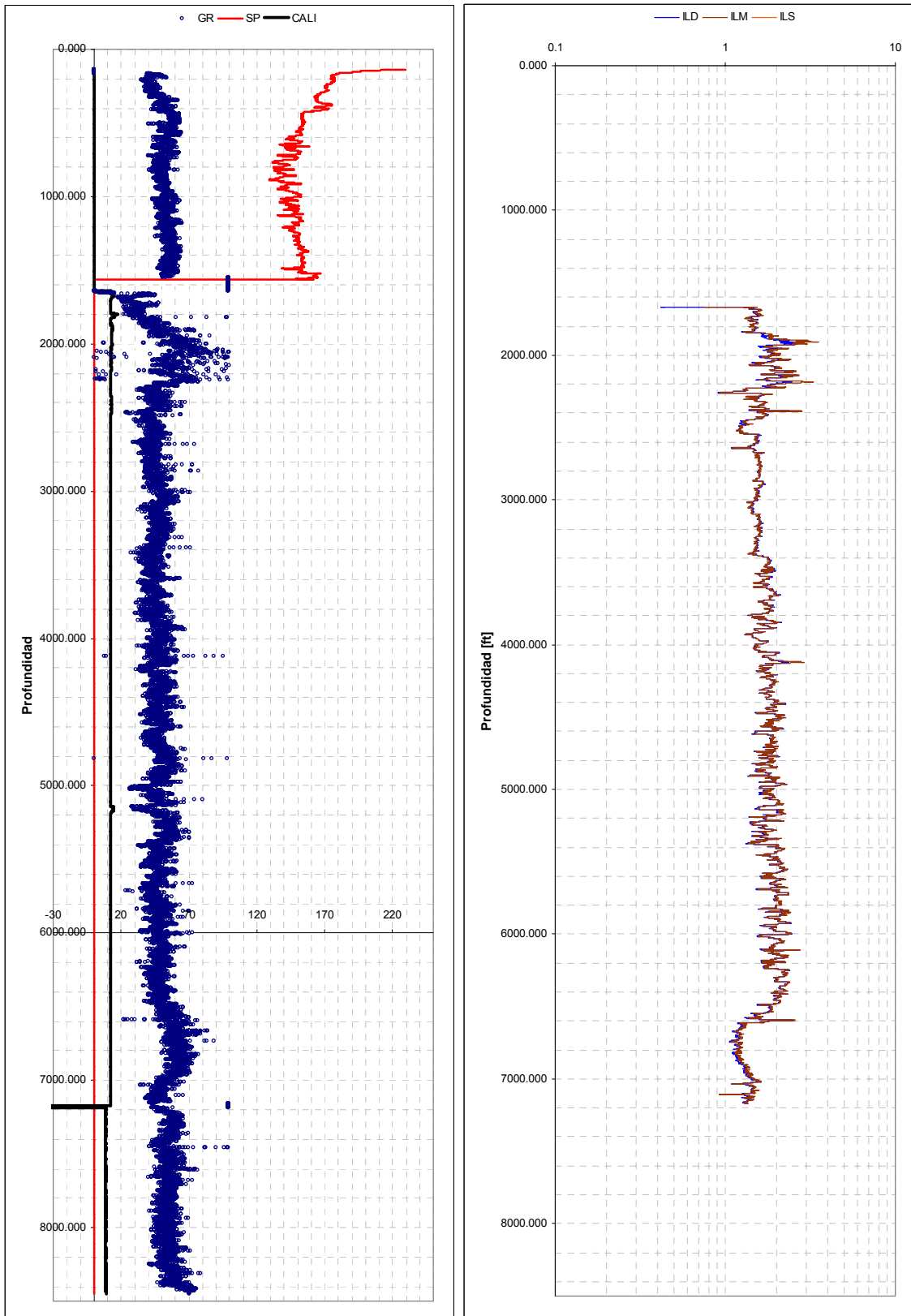
- GRAFICA DE PROCESAMIENTO DE REGISTROS CON HOJA DE CALCULO
- PRESION DE SOBRECARGA (BOURGOYNE)
- PRESION DE PORO (EATON Y BOURGOYNE)
- PRESION DE PORO CON EL METODO DEL ESFUERZO MATRICIAL EQUIVALENTE
- GRADIENTE DE FRACTURA (EATON)
- DENSIDAD EQUIVALENTE
- ESFUERZO VERTICAL
- ESFUERZO PRINCIPAL MAYOR (TOTAL Y EFECTIVO)
- LEY DE HOOKE Y VAN EeKELEN ($\sigma_h = s_3$)
- COLAPSO SUPERIOR E INFERIOR (MAGNALLY, WADE-HORTON, J.P. SARDA-KEESLER)
- DETERMINACION DE LA MAGNITUD DEL ESFUERZO HORIZONTAL MENOR
- DETERMINACION DE LA MAGNITUD DEL ESFUERZO HORIZONTAL MAYOR
- DETERMINACION DE LA DIRECCION DEL ESFUERZO HORIZONTAL MAYOR
- PROPIEDADES MECANICAS DINAMICAS Y CONTINUAS (RELACION DE POISSON, MODULO DE YOUNG, MODULO DE CORTE)
- COHESION DE LA ROCA
- RESISTENCIA MECANICA (MODULO DE MOHR-COULOMB)
- GRAFICAS ADICIONALES

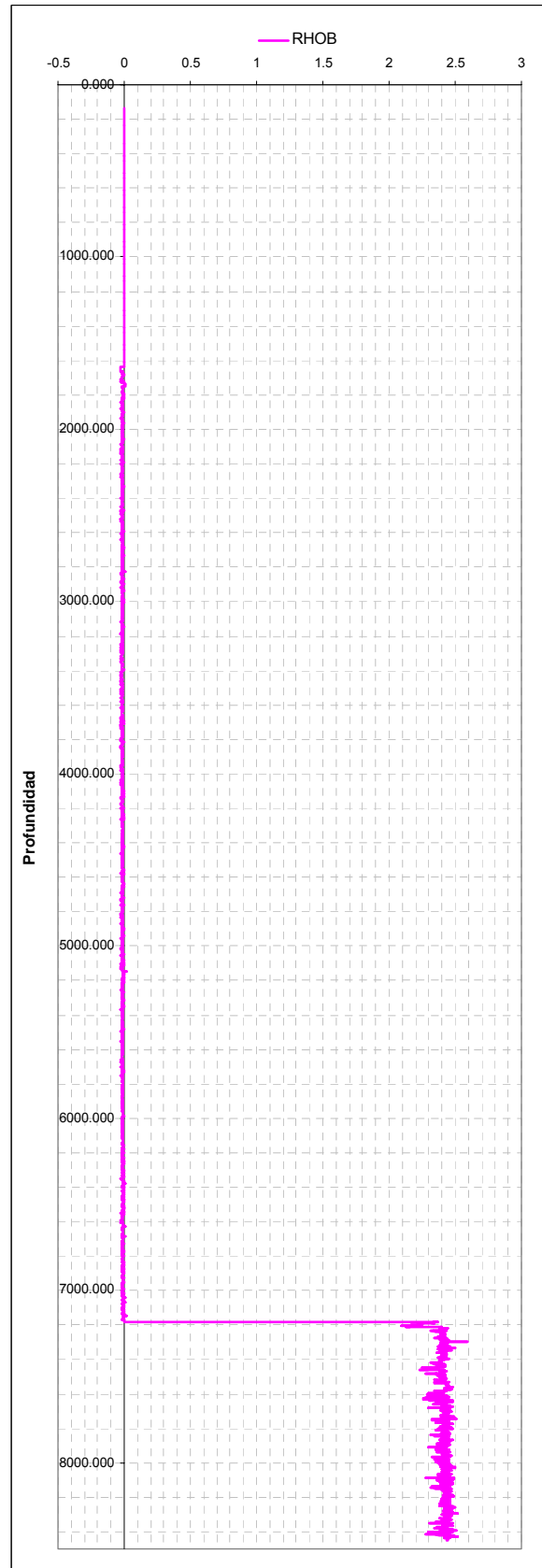
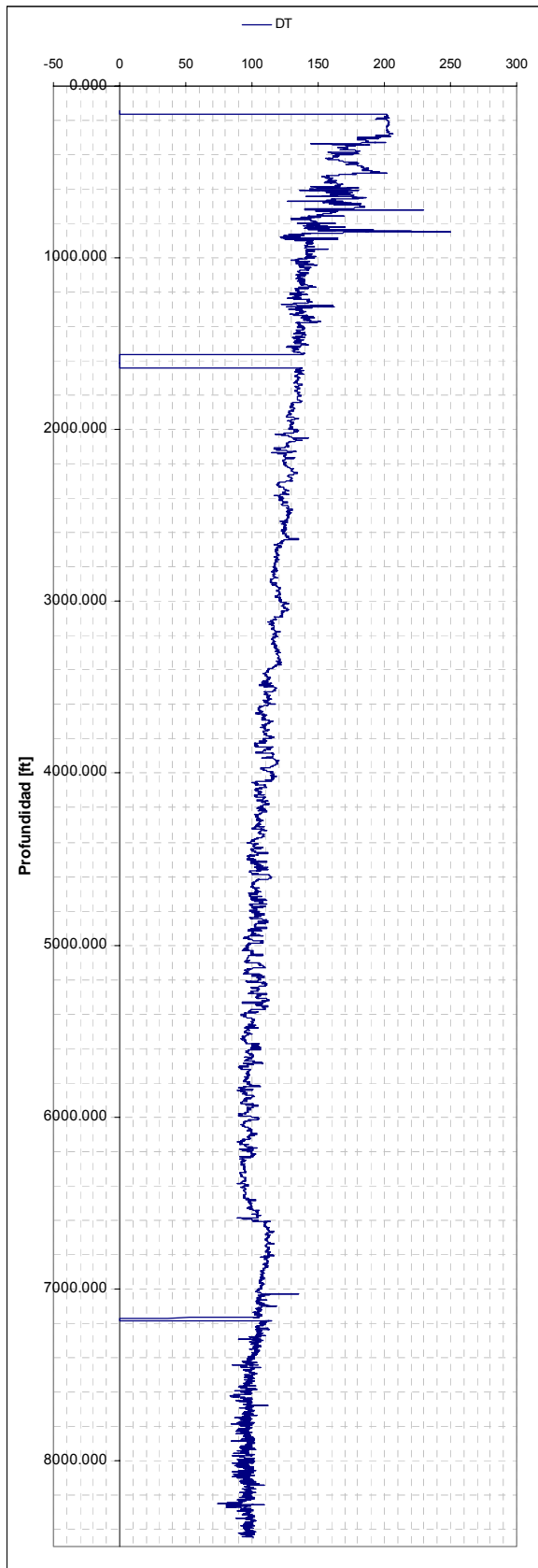
c) Desarrollo del Problema.-

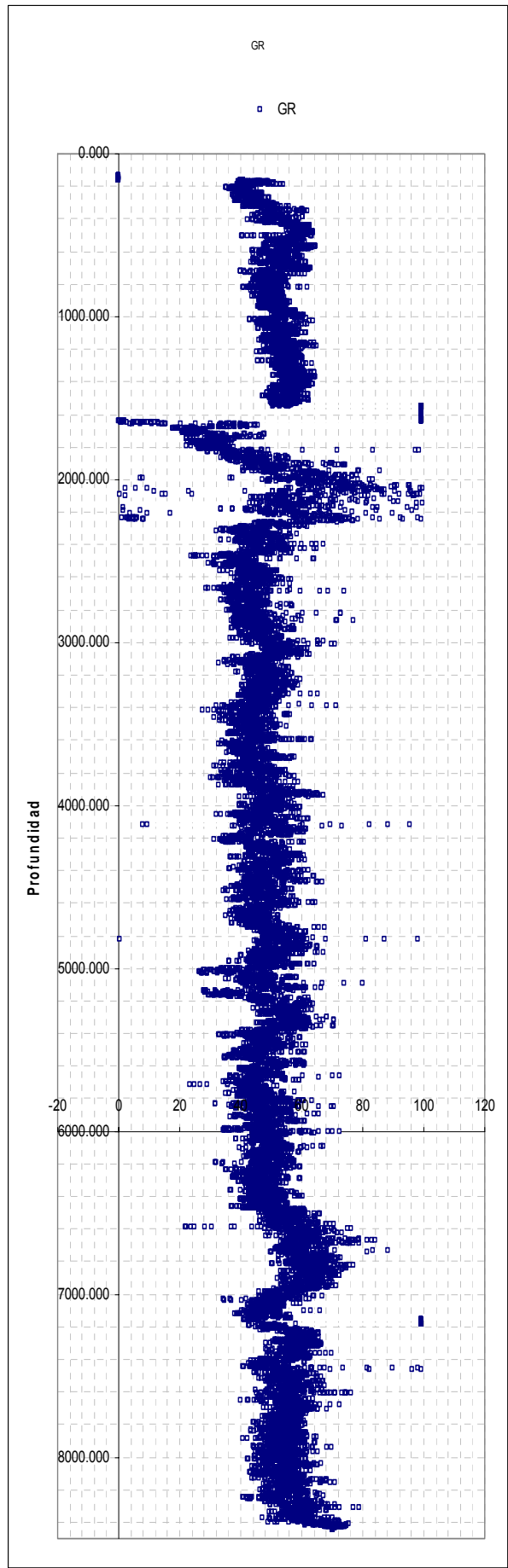
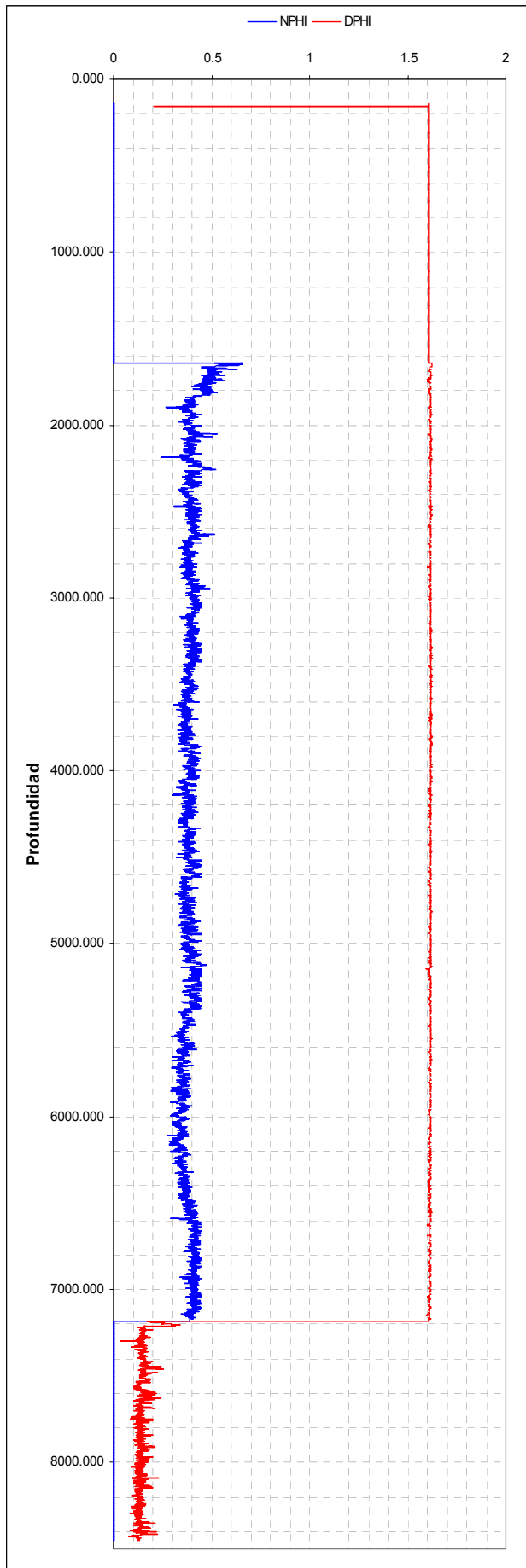
- Grafica de Procesamiento de Registro
- Presión de Sobrecarga (Bourgoyne)
- Presión de Poro (Eaton y Bourgoyne)
- Presión de Poro con el Esfuerzo Matricial Equivalente (Sarda)
- Presión de Poro con el Esfuerzo Matricial Equivalente (Wade)
- Presión de Poro con el Esfuerzo Matricial Equivalente (Magnalli)
- Gradiente de Fractura (Eaton)
- Densidad Equivalente
- Análisis de Estabilidad de Agujero
- Gradiente de Esfuerzos Verticales
- Esfuerzo Principal Mayor (total y efectivo)
- Esfuerzo Matricial Equivalente
- Ley de Hooke y Van Eekelen
- Colapso Superior e Inferior (Magnally, Wade-Horton, J.P.Sarda-Keerler)
- Determinación de la Magnitud del Esfuerzo Horizontal Menor
- Determinación de la Magnitud del Esfuerzo Horizontal Mayor
- Determinación de la Dirección del Esfuerzo Horizontal Mayor
- Propiedades Mecánicas, Dinámicas y Continuas
- Cohesión de la Roca
- Resistencia Mecánica

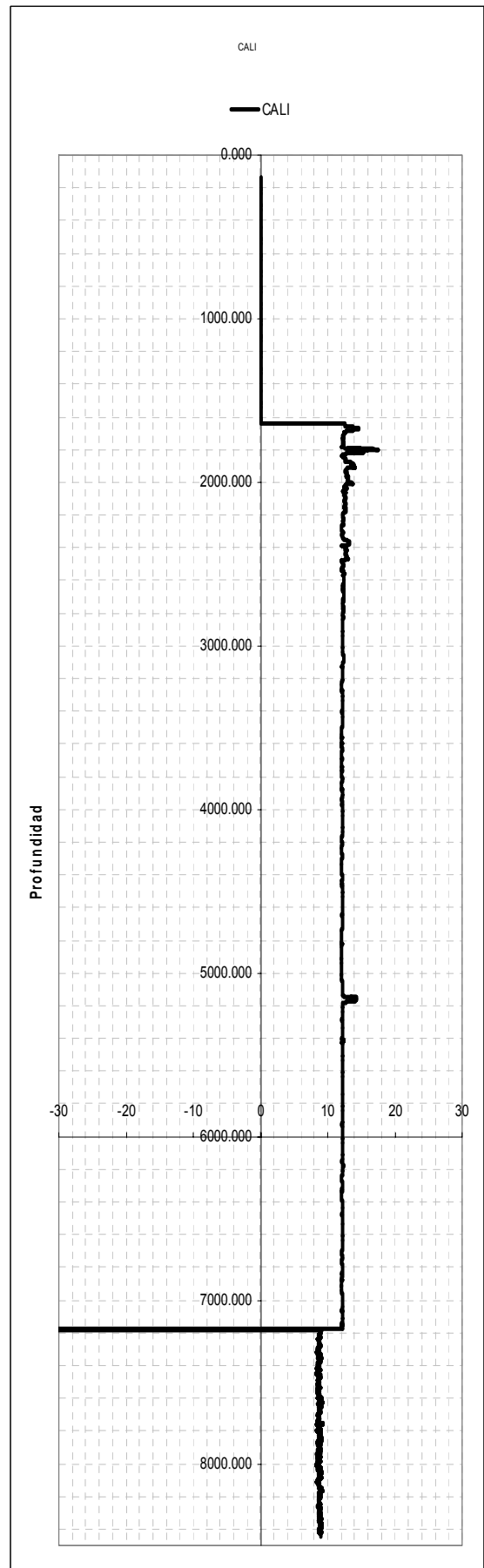
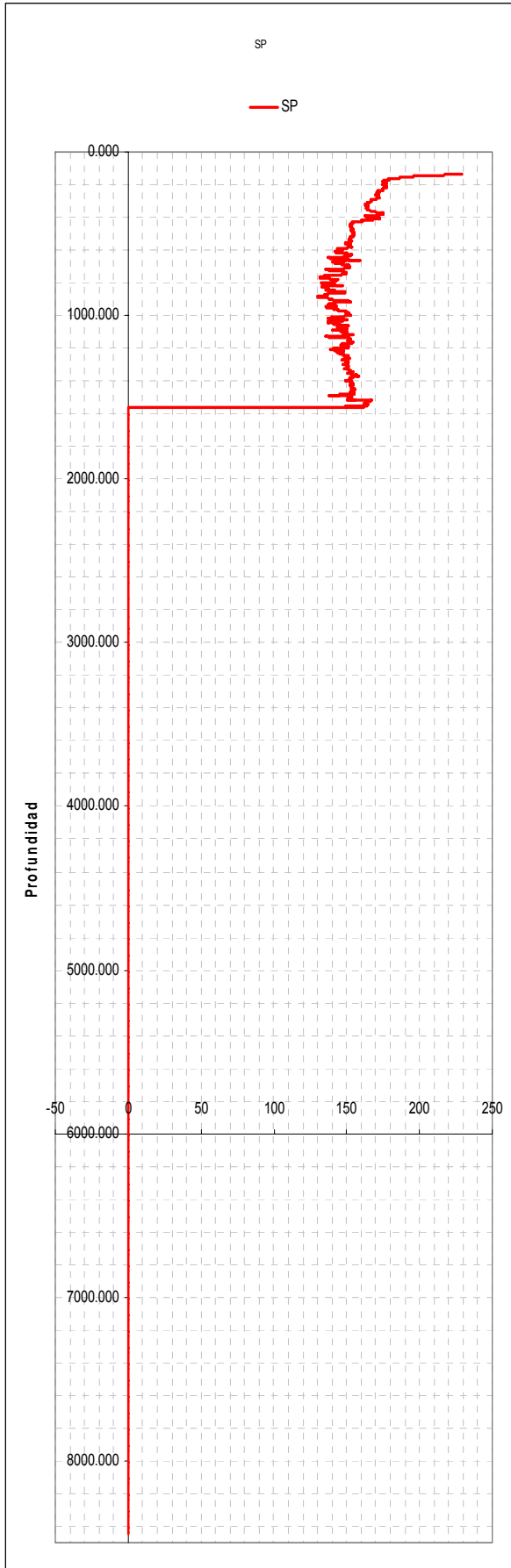
Capitolo III

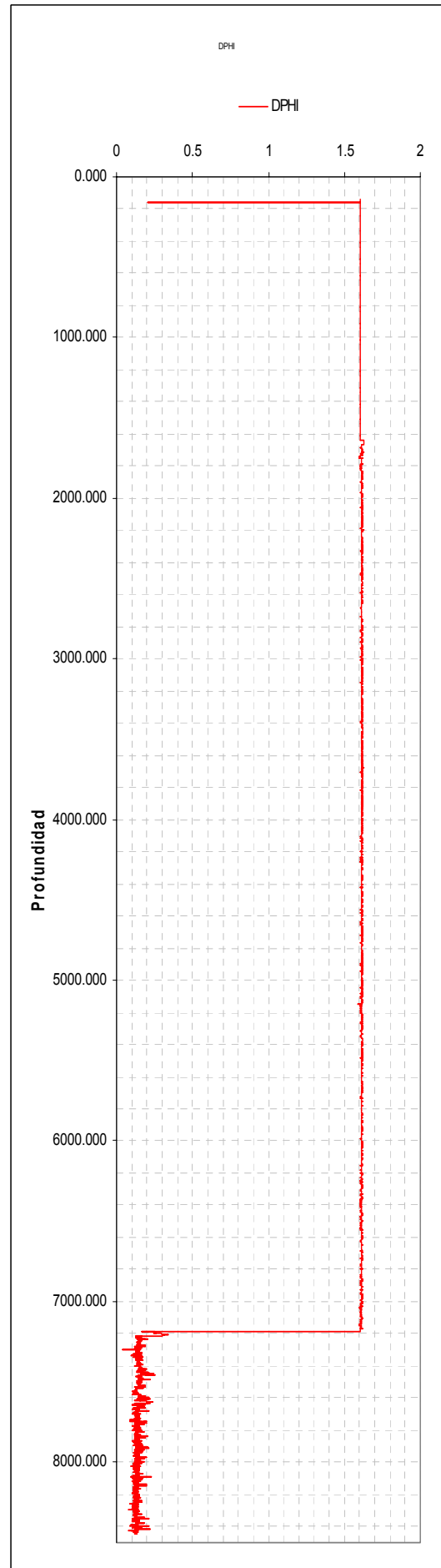
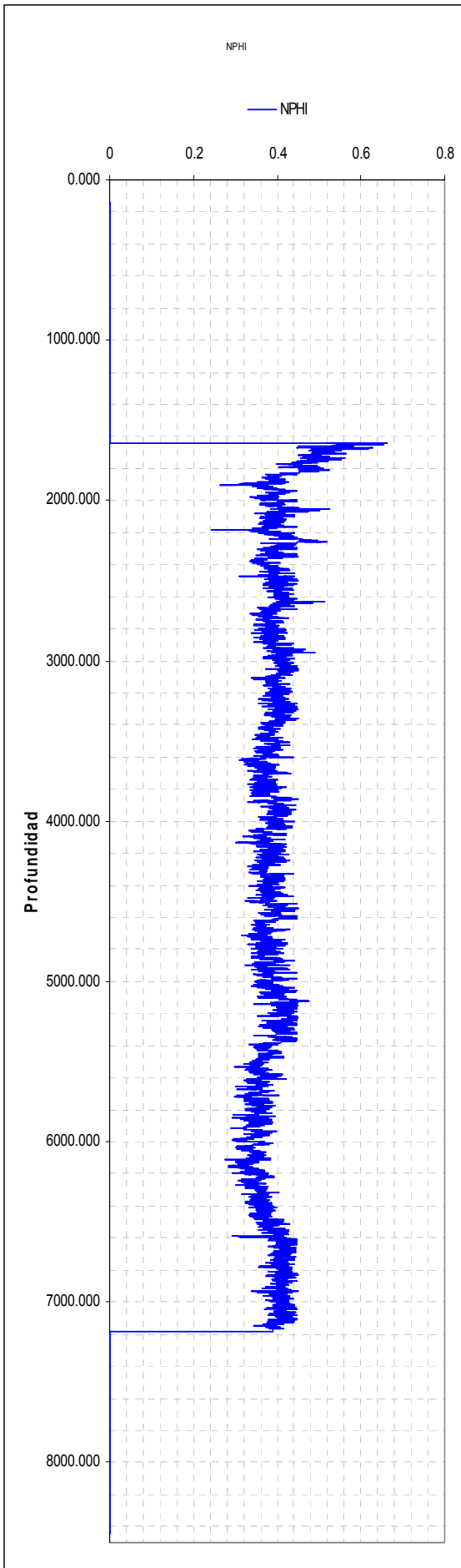
Table with 16 columns: PROF [m], Prof [pie], CALIPER, DRHO, DT, GR, GREC, SP, PARTIR 508 M, PARTIR 508 M, PARTIR 508 M, SIN R.E., PARTIR 500 M, PARTIR 500 M, PARTIR 500 M, SIN R.E., TEMP. The table contains a dense grid of numerical data points for various parameters across different measurement points.





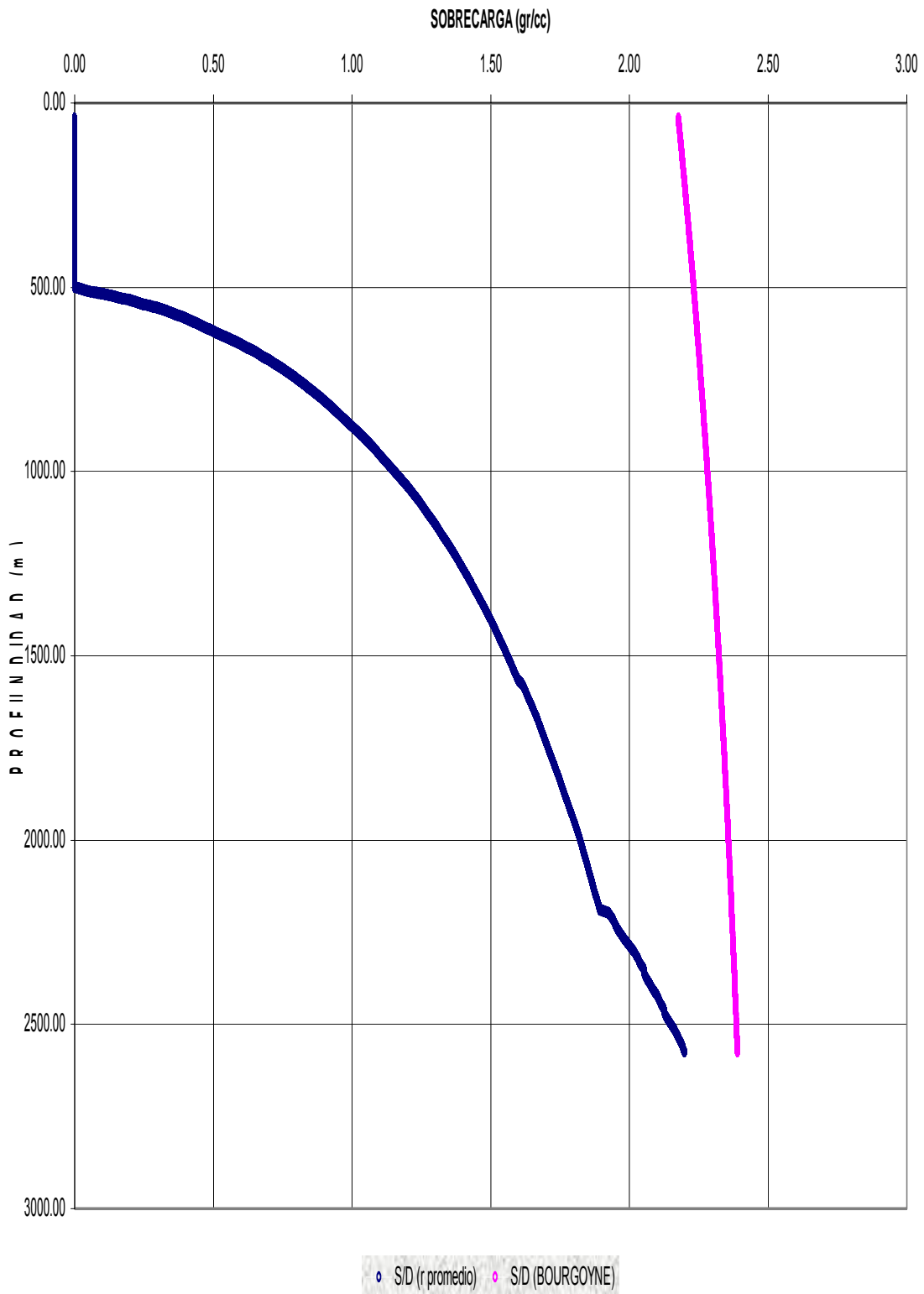




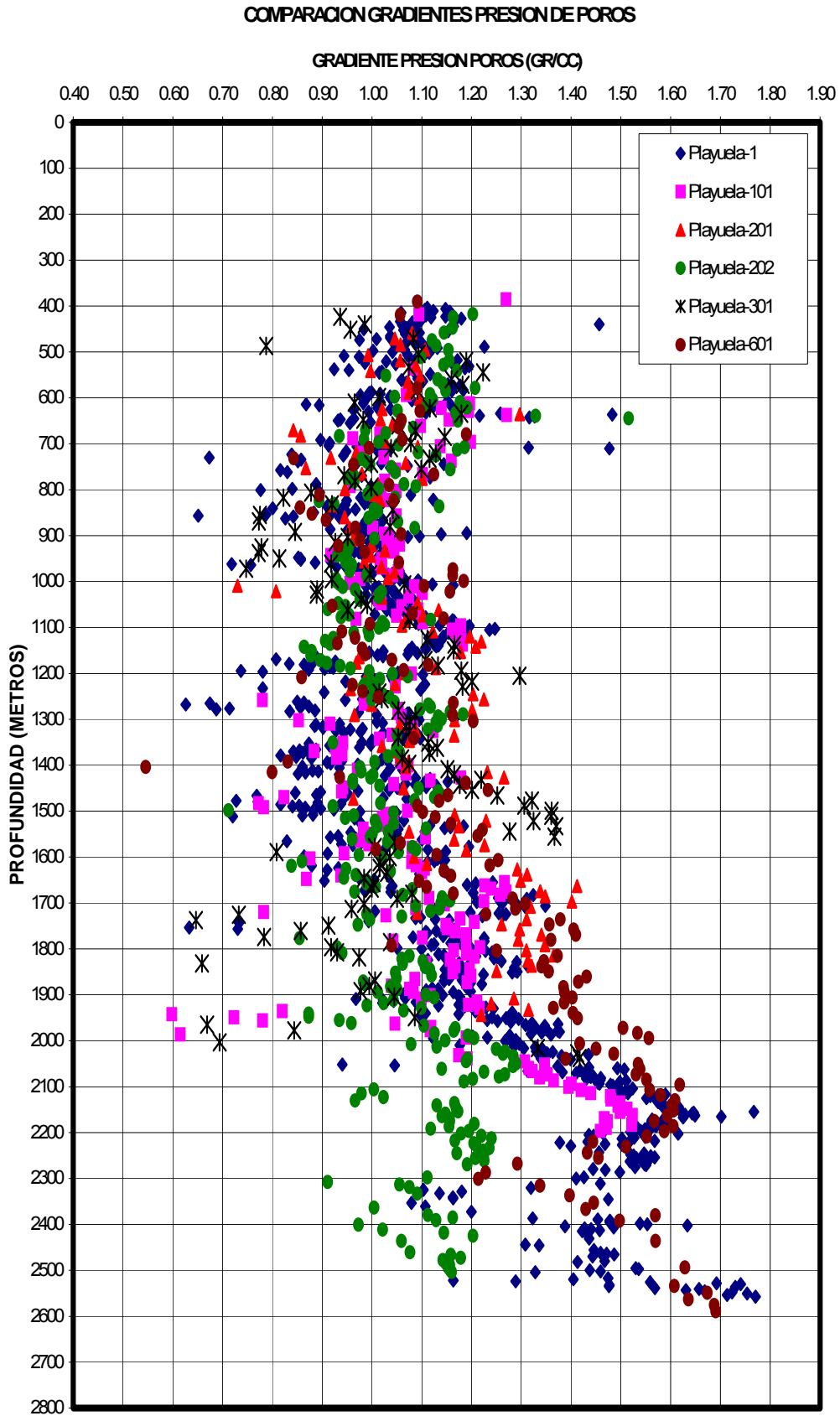


➡ PRESION DE SOBRECARGA (BOURGOYNE)

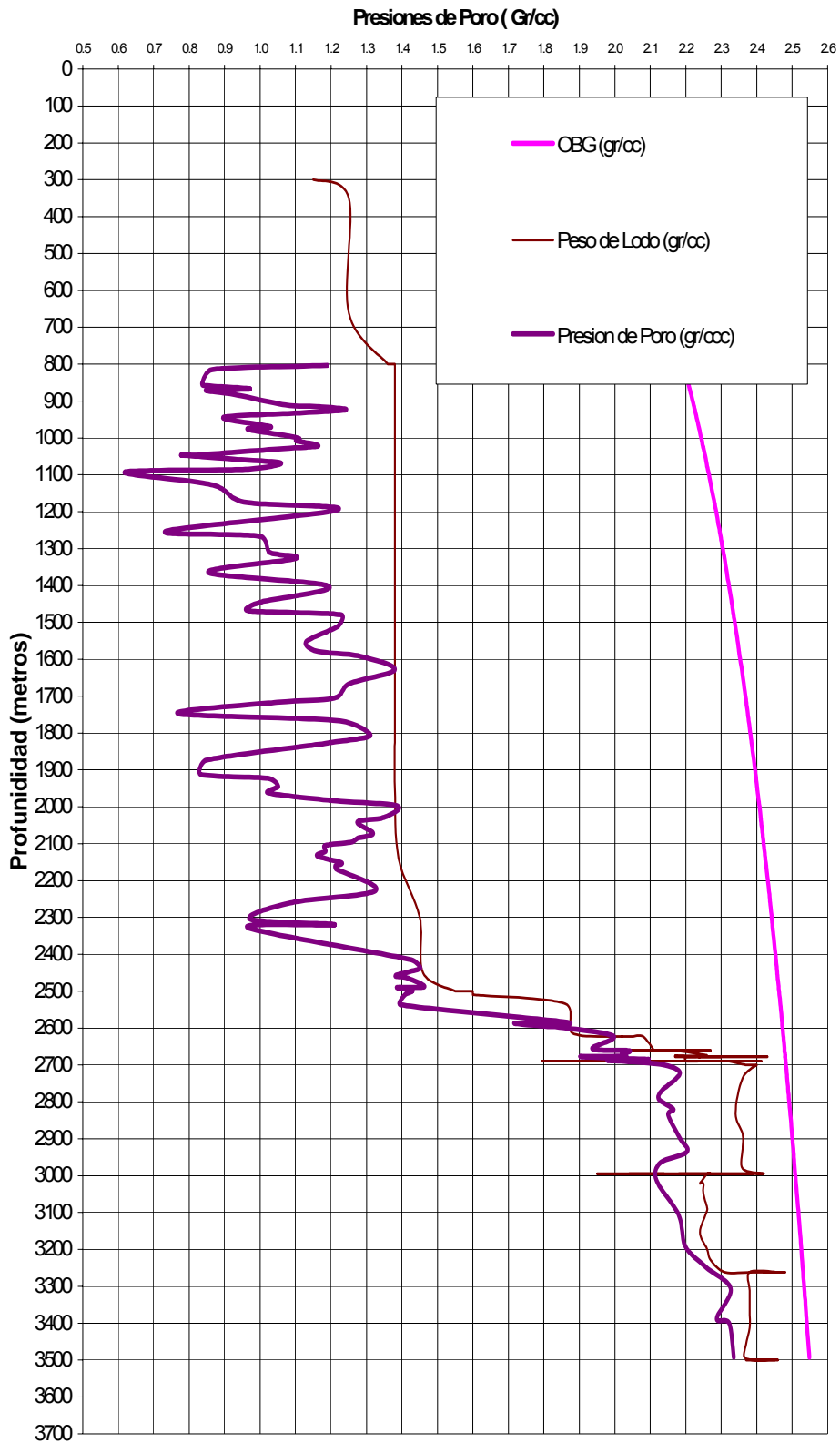
Representación Gráfica SOBRECARGA



➡ PRESION DE PORO (EATON Y BOURGOYNE)

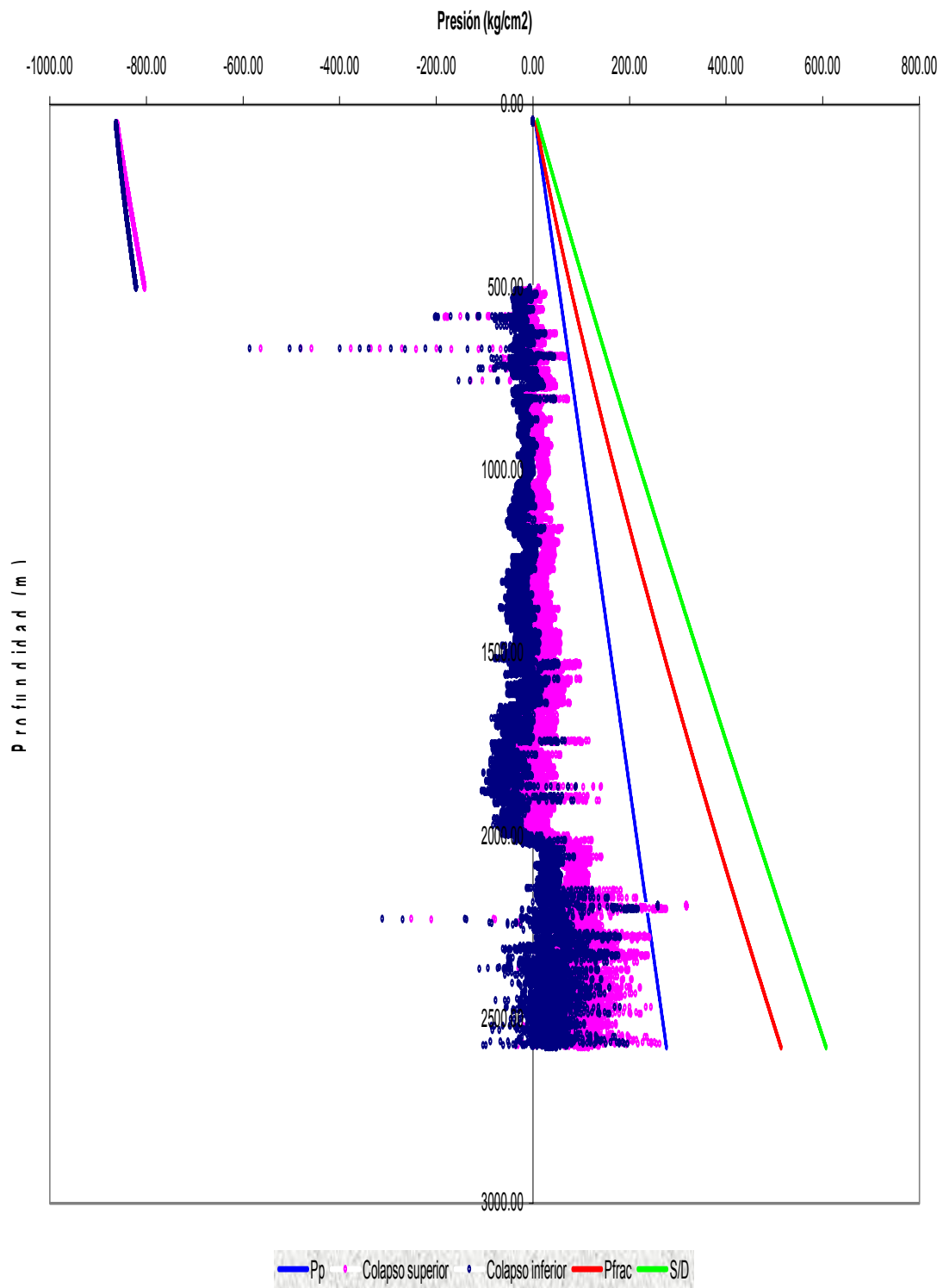


GEOPRESIONES CAMARONERO 1A (Modelo de Eaton)



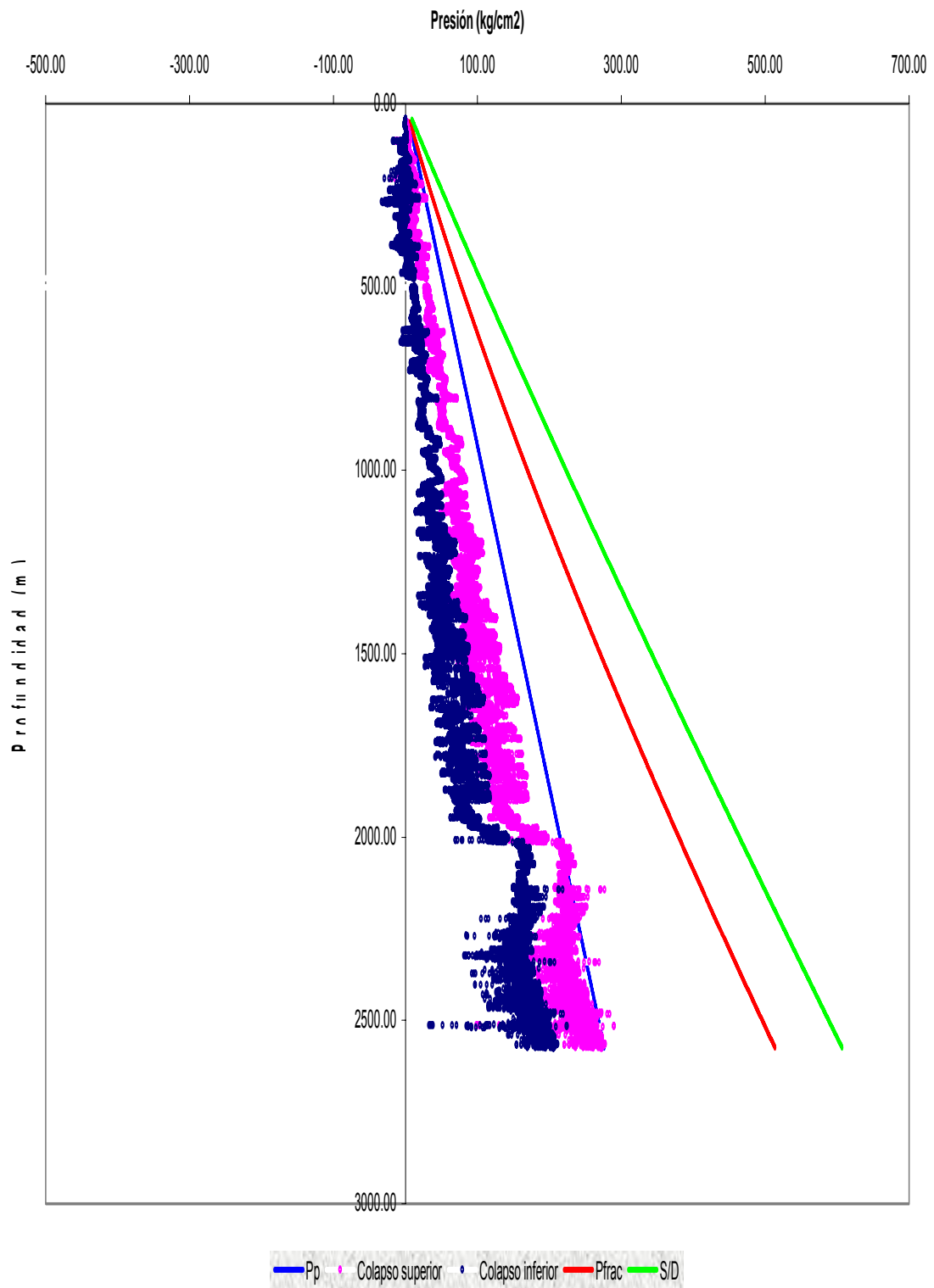
➔ PRESION DE PORO CON EL METODO DEL ESFUERZO MATRICIAL EQUIVALENTE (SARDA)

Colapso superior e inferior



➡ PRESION DE PORO CON EL METODO DEL ESFUERZO MATRICIAL EQUIVALENTE (WADE)

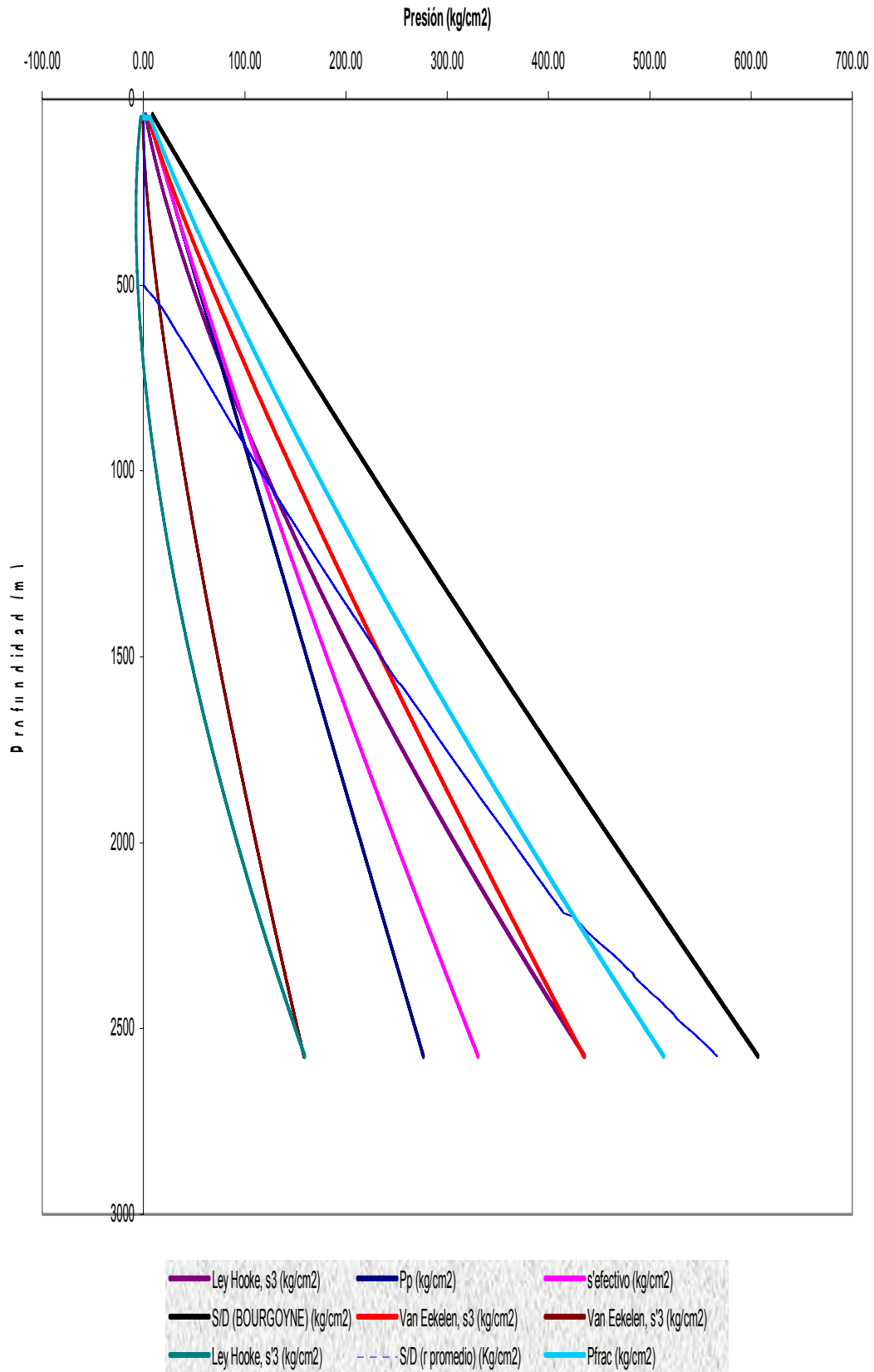
Colapso superior e inferior



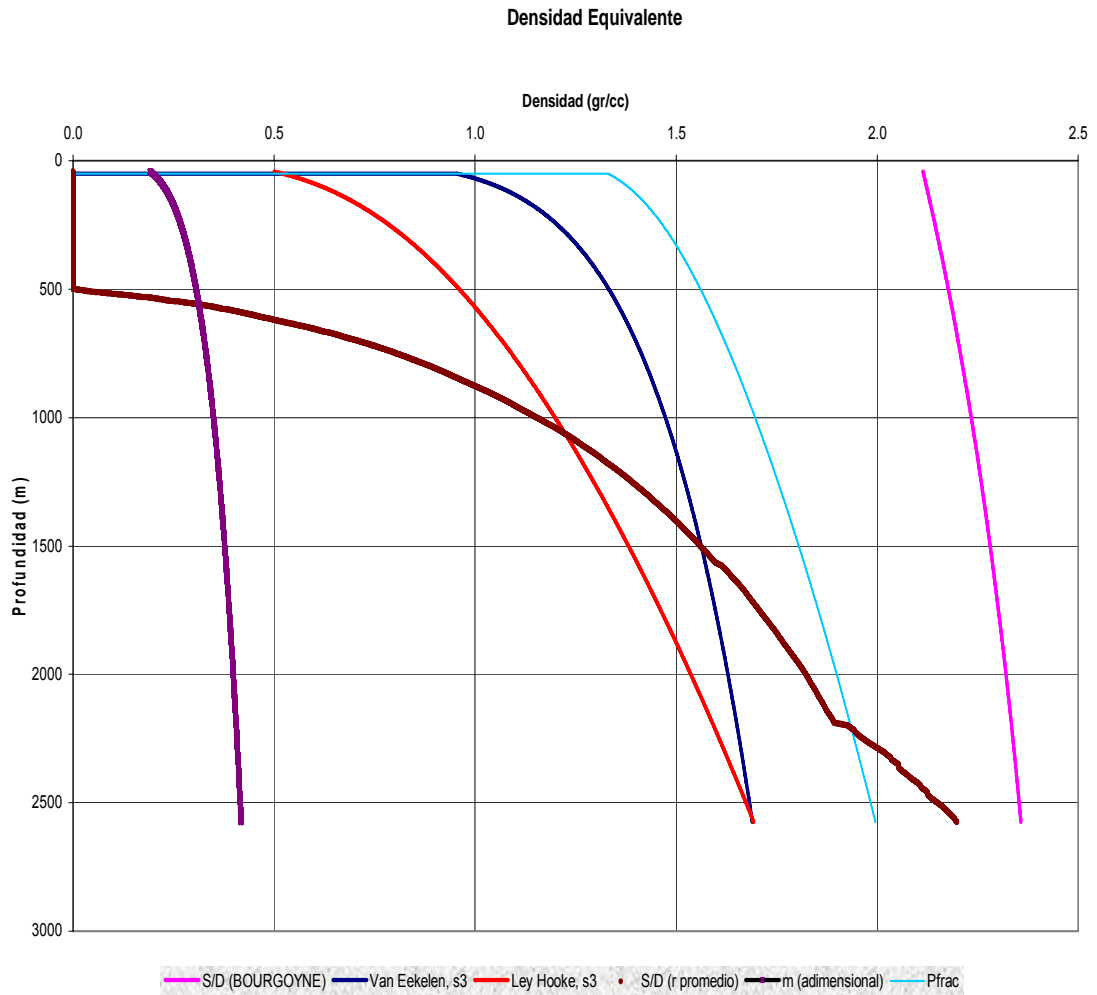
➡ PRESION DE PORO CON EL METODO DEL ESFUERZO
MATRICIAL EQUIVALENTE (MAGNALLI)



➡ GRADIENTE DE FRACTURA (EATON)



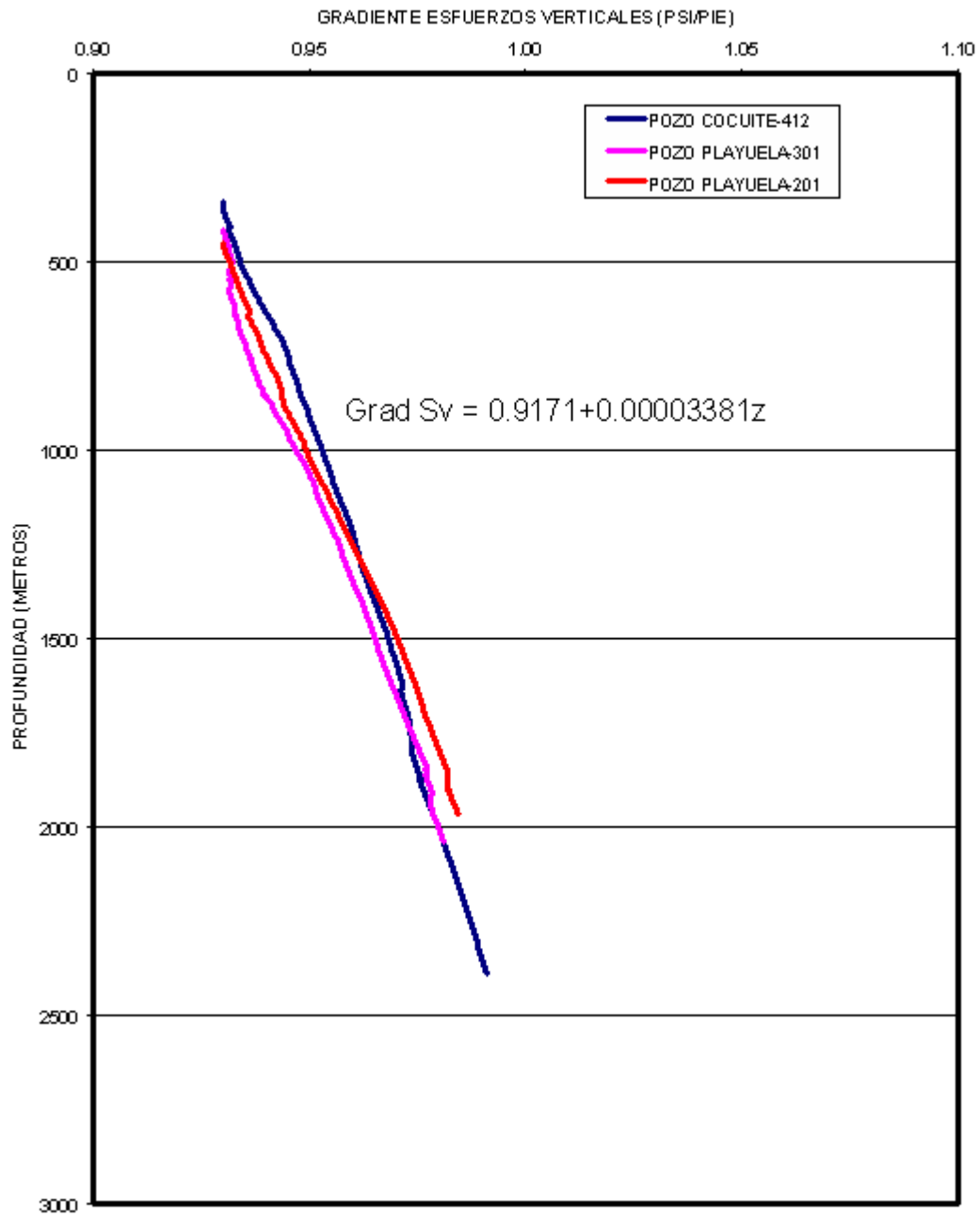
➡ DENSIDAD EQUIVALENTE



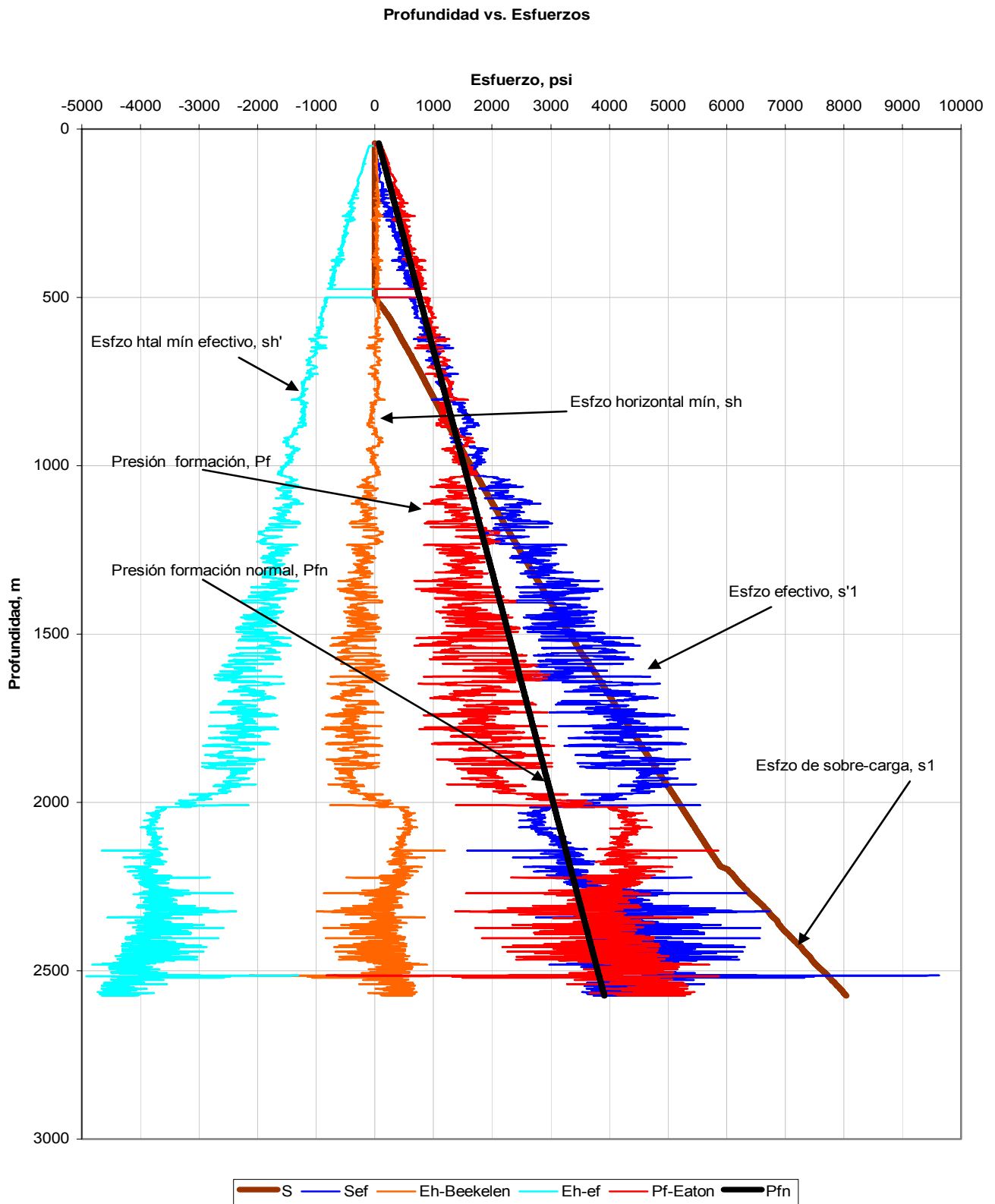
Análisis de Estabilidad de Agujero para el Pozo Camaronero-1A, mostrando ventana operacional de pesos del lodo y puntos de asentamiento de TR's.



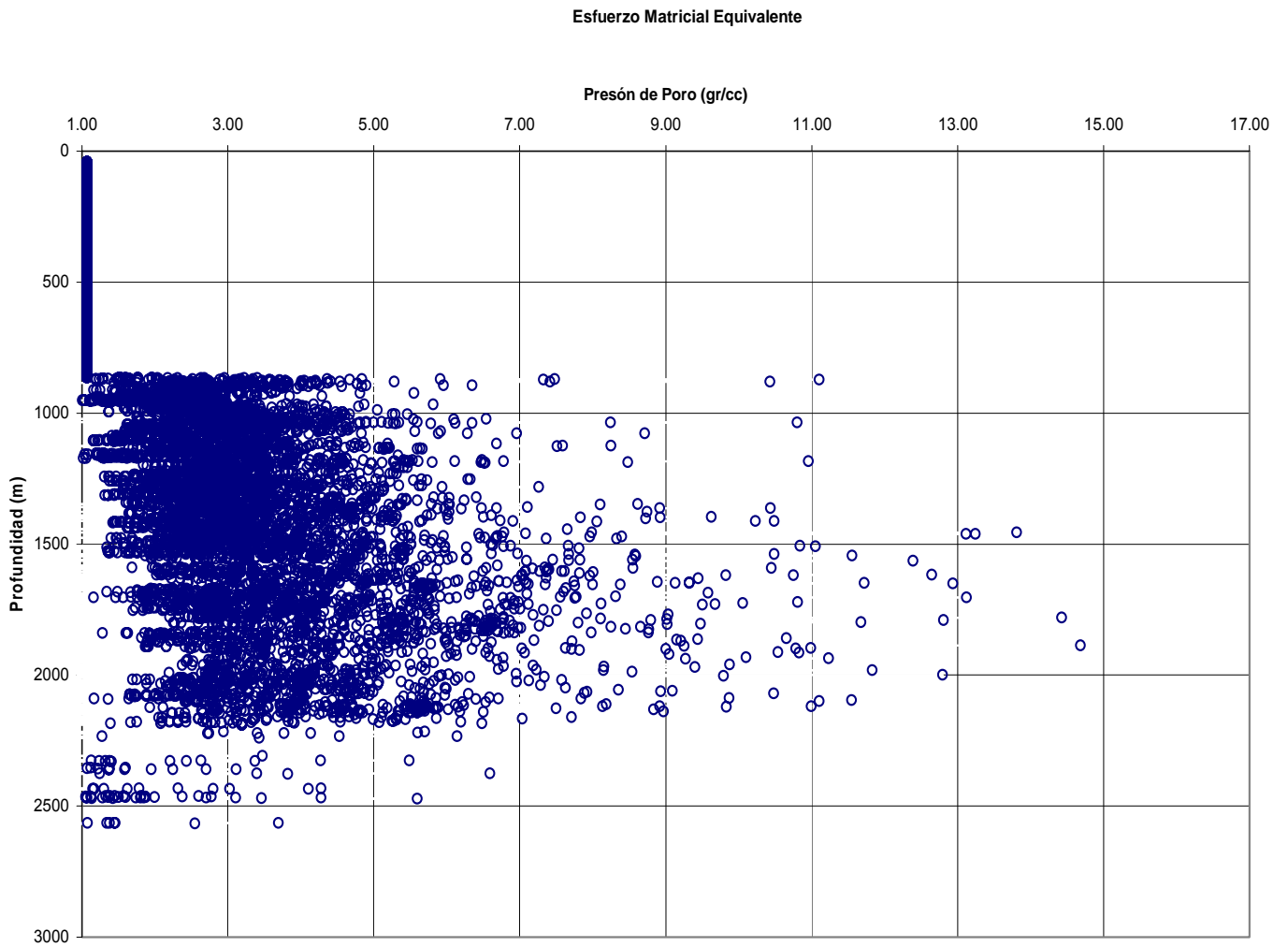
L



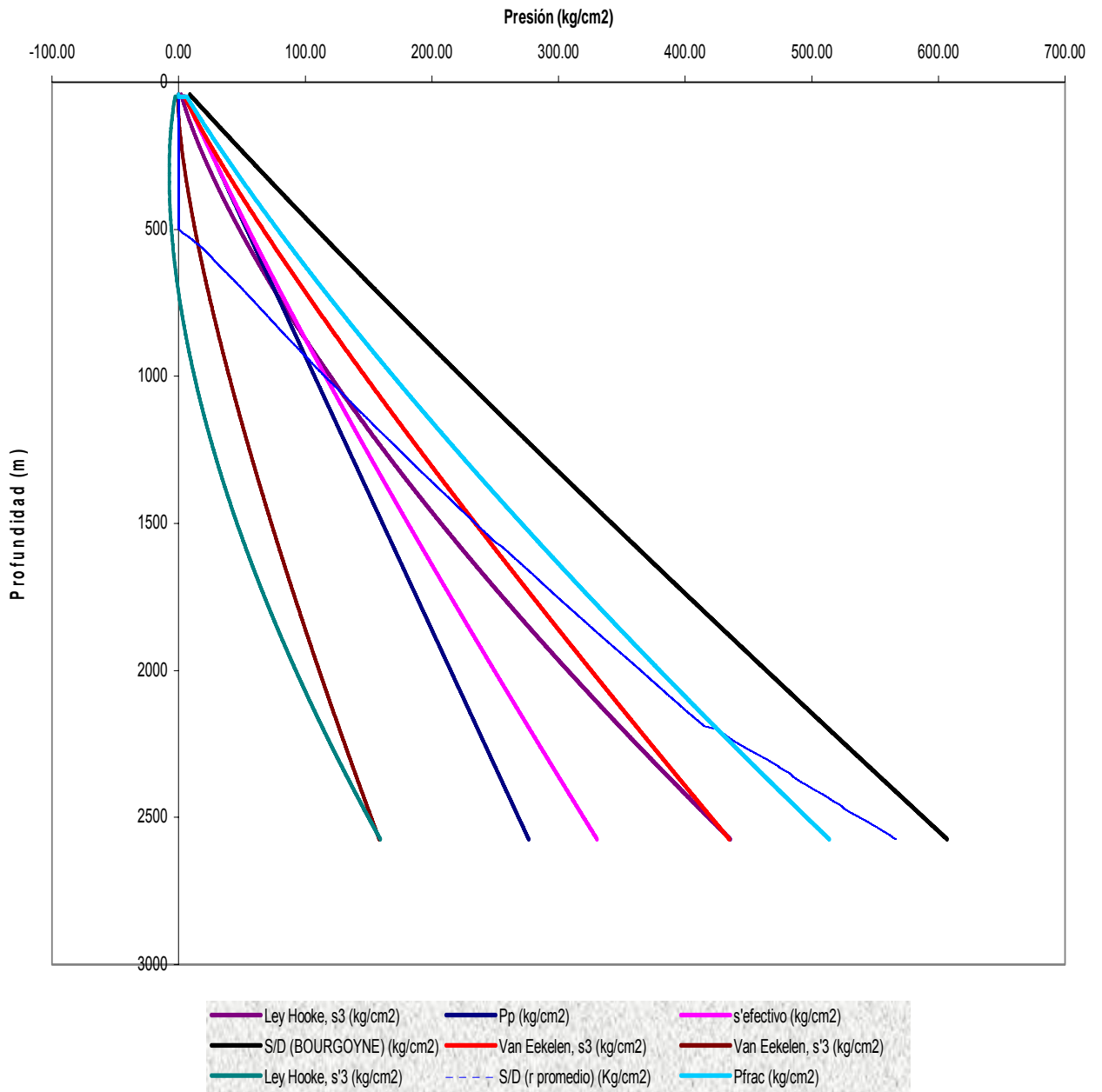
➡ ESFUERZO PRINCIPAL MAYOR (TOTAL Y EFECTIVO)



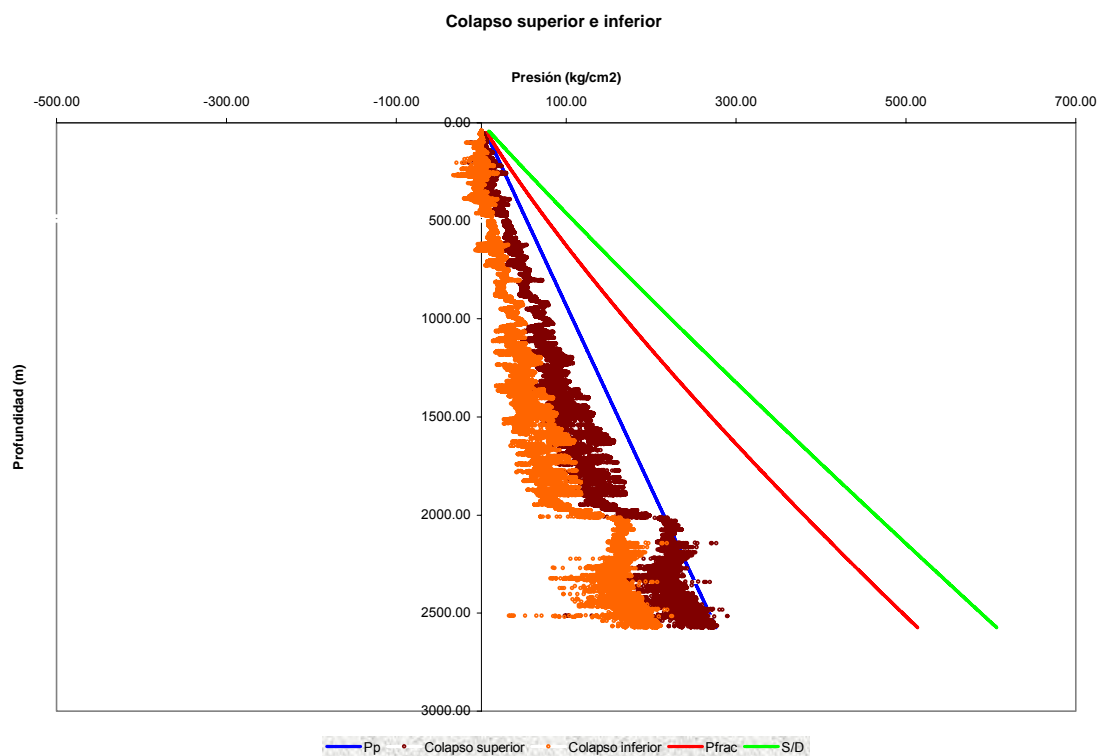
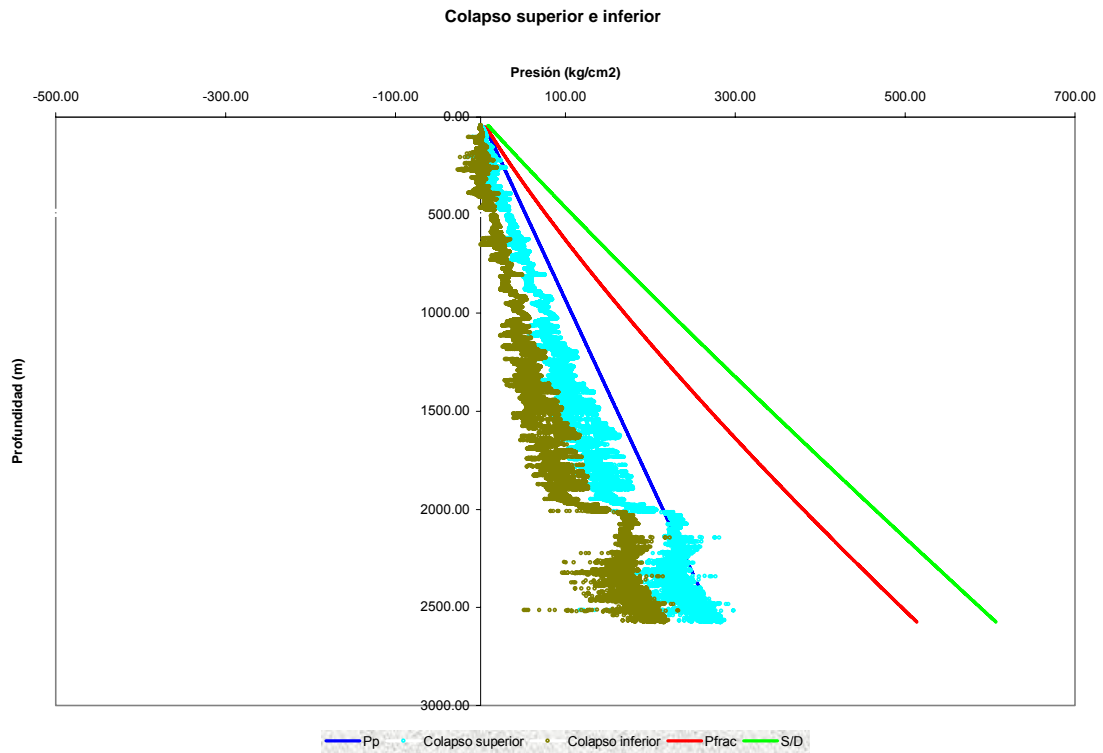
➡ ESFUERZO MATRICIAL EQUIVALENTE

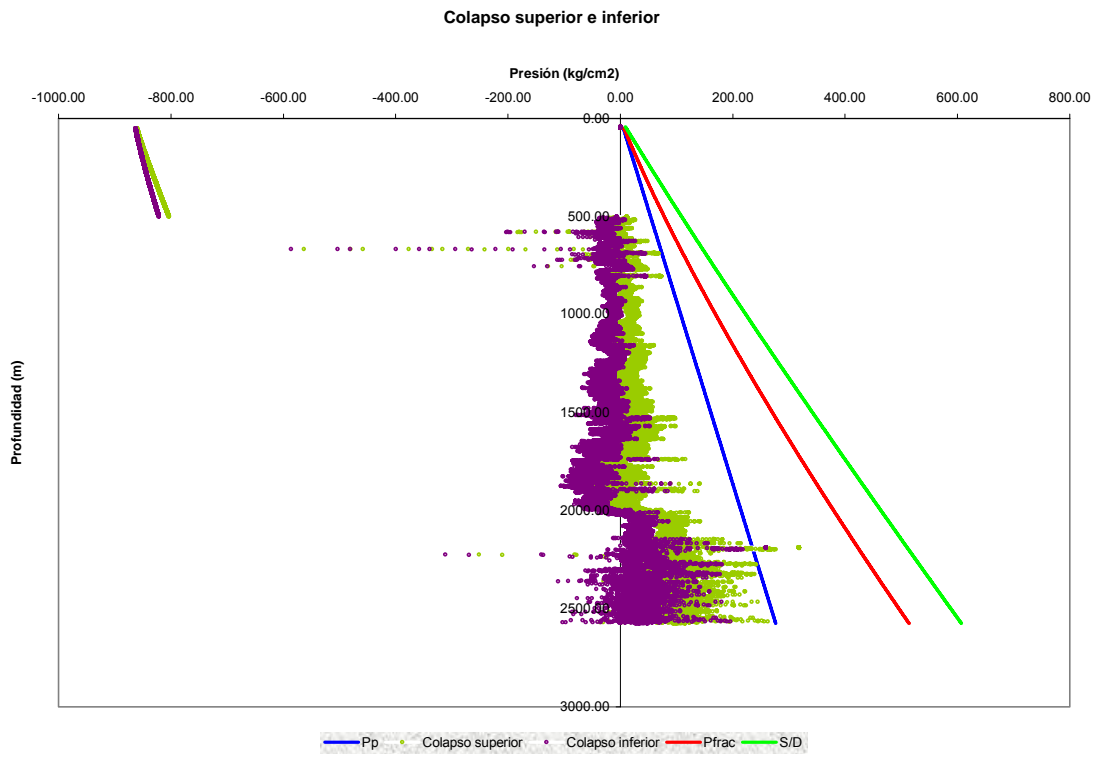


➡ LEY DE HOOKE Y VAN ECKELEN ($\sigma_h = s_3$)



➡ COLAPSO SUPERIOR E INFERIOR (MAGNALLY, WADE-HORTON, J.P. SARDA-KEESLER)





► DETERMINACION DE LA MAGNITUD DEL ESFUERZO HORIZONTAL MENOR

Las pruebas de microfracturamiento, son el método probablemente el más confiable para determinar los esfuerzos in situ. Consiste en crear microfracturas en las zonas de interés introduciendo un empacador y bombeando un volumen de 1 a 2 bls de fluido de perforación, monitoreando y registrando las presiones en la TP y espacio anular, gasto, volumen bombeado en cada etapa y volumen acumulado. Una vez creada la microfractura se corta un núcleo orientado del fondo del pozo para medir las propiedades físicas y mecánicas de la roca. Uno de los propósitos de estas pruebas es el determinar la magnitud y dirección del esfuerzo principal de la formación. Las pruebas son desarrolladas comúnmente mediante inyección en una pequeña zona aislada (de 4 a 15 ft) a bajos gastos (1 a 0.25 gal/min). El esfuerzo in situ mínimo es determinado normalmente del análisis de la declinación de la presión después del cierre, pero algunas veces se determina del análisis del incremento de presión al principio del ciclo de inyección. Como la presión de cierre de la fractura o la presión para reabrir la fractura es igual a un esfuerzo aplicado que normalmente podría abrir una fractura existente y de esta forma superar el esfuerzo principal mínimo, estas dos presiones son definidas generalmente iguales a el esfuerzo mínimo horizontal.

Las pruebas de microfractura son comúnmente desarrolladas con tres o cuatro ciclos de inyección usando volúmenes de fluido del rango de 30 a 200 gal/min. El azimut de la fractura (dirección del esfuerzo horizontal mínimo) puede ser determinado de una prueba de microfractura en agujero descubierto. Cuando la prueba de microfractura se esta efectuando en una zona aislada en el fondo del pozo, una porción de esta fractura inducida puede ser recuperada mediante un núcleo orientado. La dirección de la fractura creada puede ser correlacionada con las orientaciones del núcleo, proporcionando azimut de la fractura.

En casos donde la permeabilidad de la formación es muy baja, la fractura no cierra instantáneamente y la PCI es mayor que σ_h se debe observar la gráfica de presión contra tiempo para analizar la declinación de la presión y obtener la presión de cierre o magnitud del esfuerzo principal mínimo.

En los análisis de clasificación de las ovalidades convencionales se utilizan los criterios de la calidad del Mapa Mundial de Esfuerzos, conforme a Zoback (1992), donde los resultados se categorizar según las calidades A, B, C, D, E en función del estándar de desviación, del azimut y de la profundidad acumulada de ovalidades, conforme se especifica a continuación:

Calidad A.- Pozos con más de 300 m de ovalidades, con valores de desviación $<12^\circ$

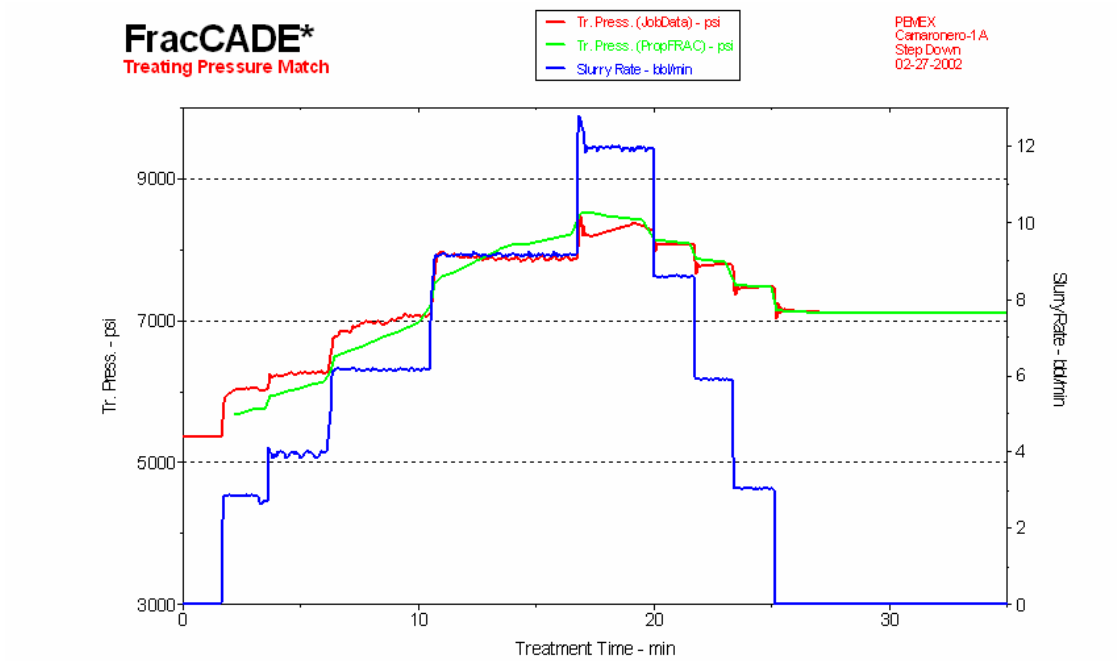
Calidad B.- Pozos con más de 100 m de ovalidades, con valores de desviación $\leq 20^\circ$

Calidad C.- Pozos con más de 30 m de ovalidades, con valores de desviación $<25^\circ$

Calidad D.- Pozos con más de 30 m de ovalidades, con valores de desviación $>25^\circ$

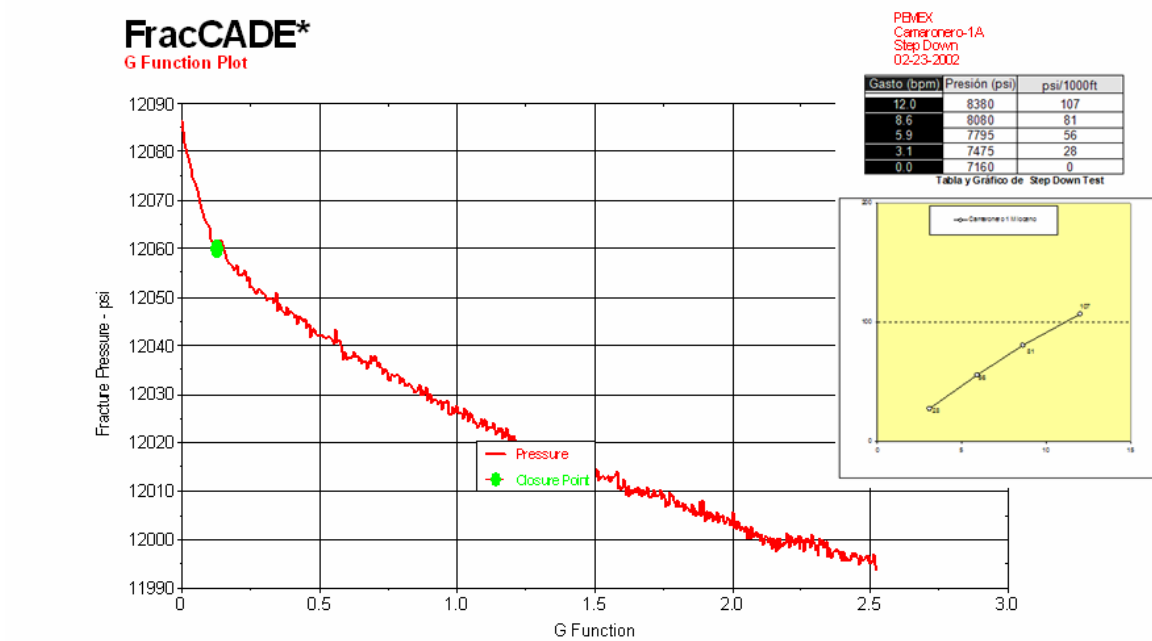
Calidad E.- Pozos con extrema dispersión de orientaciones de ovalidades.

MINIFRAC @ (3474-3479) GASTO ESCALONADO (SRTUP-SRTDOWN)



Schlumberger

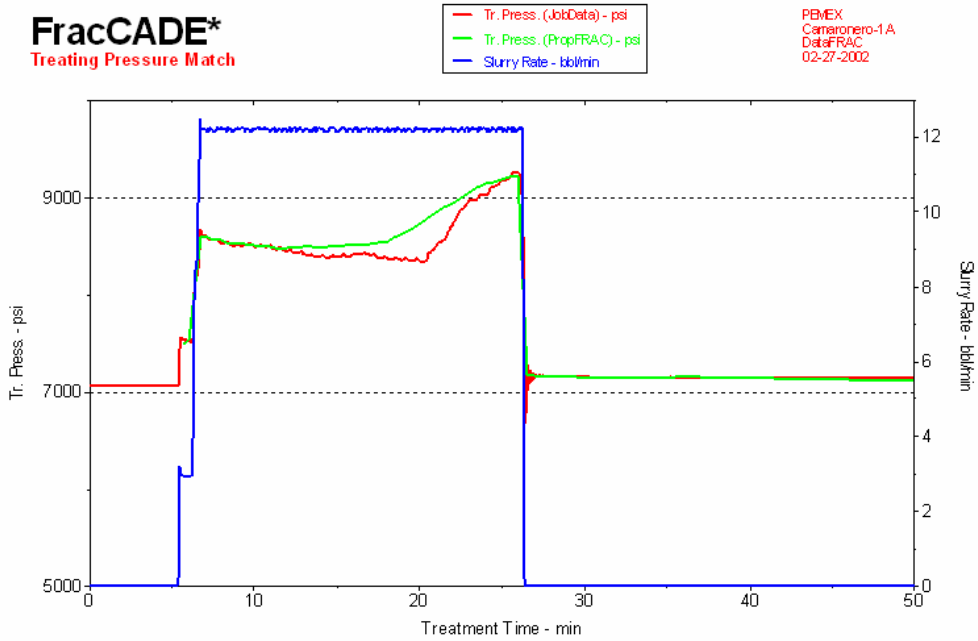
*Mark of Schlumberger



Schlumberger

*Mark of Schlumberger

MINIFRAC @ (3474-3479) GASTO CONSTANTE Y CIERRE

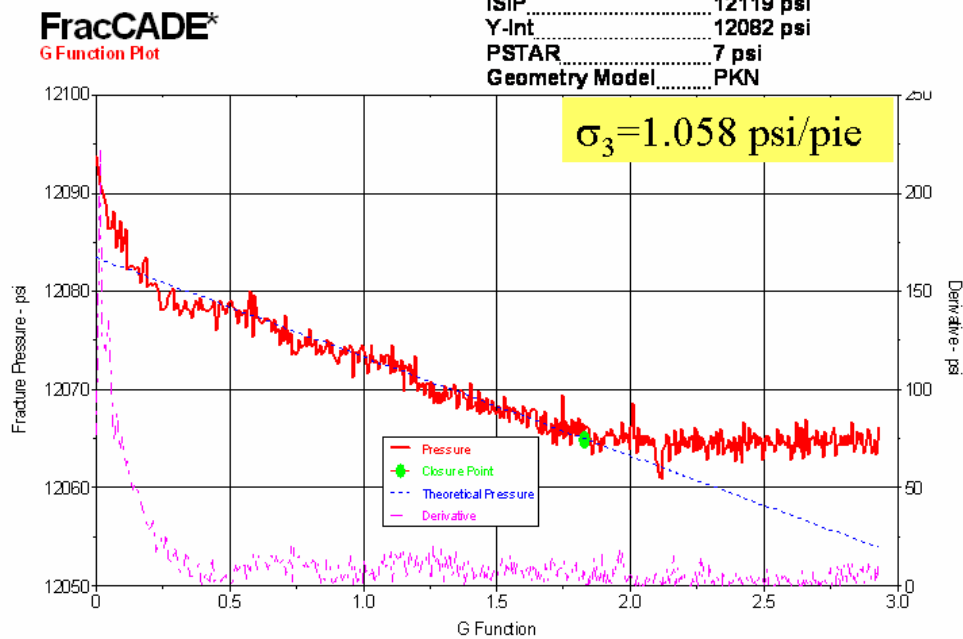


*Mark of Schlumberger

Schlumberger

Section 1: DataFRAC Analysis

Closure Pressure 12064 psi
 Closure Time 48.6 min
 ISIP 12119 psi
 Y-Int 12082 psi
 PSTAR 7 psi
 Geometry Model PKN



*Mark of Schlumberger

Schlumberger

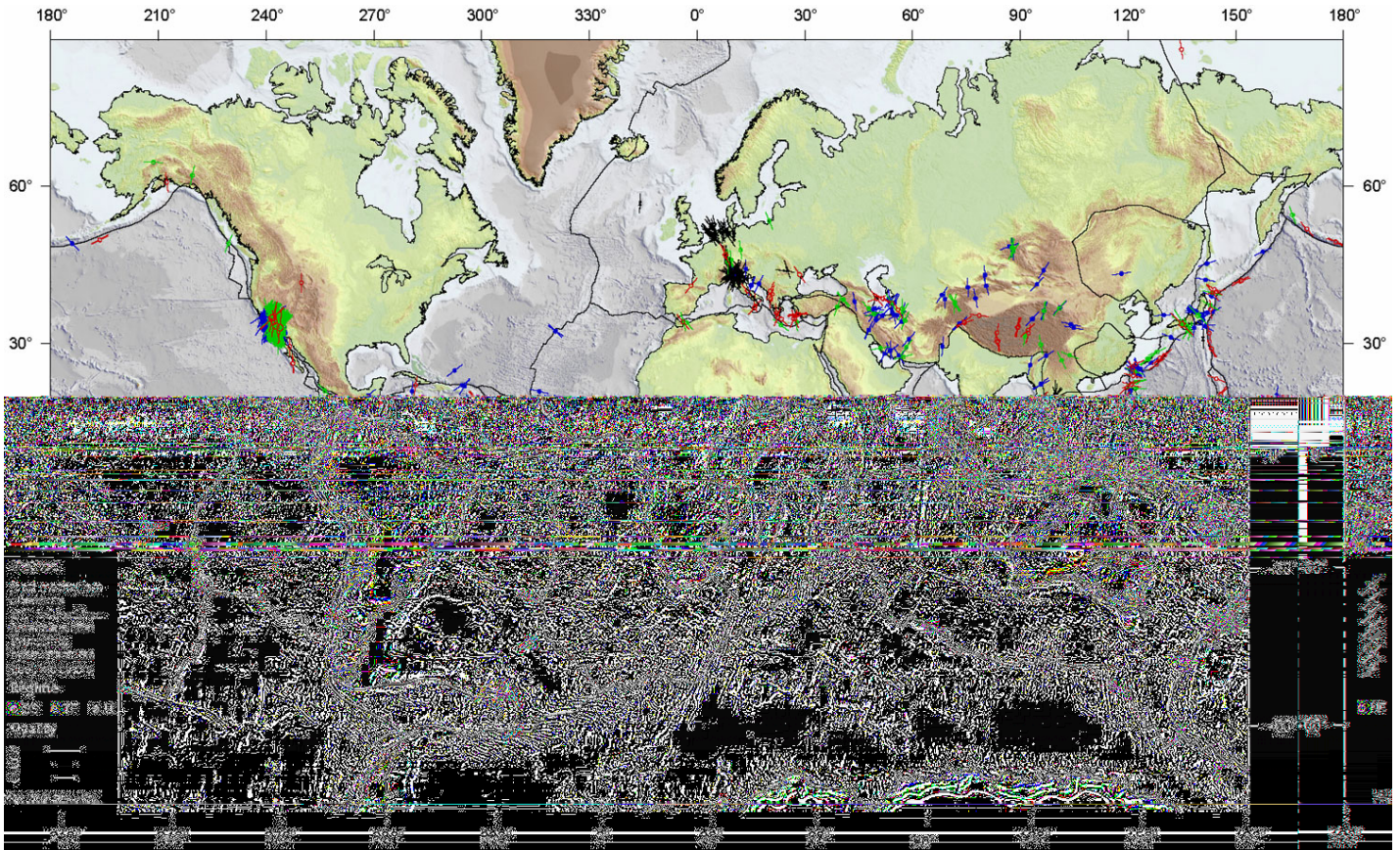
➤ DETERMINACION DE LA MAGNITUD DEL ESFUERZO HORIZONTAL MAYOR

- EN CUENCAS PASIVAS (SIN TECTONISMO) LOS DOS ESFUERZOS HORIZONTALES SON IGUALES Y SIEMPRE MENORES QUE EL ESFUERZO VERTICAL.

$$\sigma_H = \sigma_h = \left(\frac{\nu}{1-\nu} \right) \sigma_v + u \left(\frac{1-2\nu}{1-\nu} \right)$$

- LOS ESFUERZOS HORIZONTALES EN CUENCAS ACTIVAS PUEDEN SER DIFERENTES Y POR ENCIMA DEL ESFUERZO VERTICAL.
- ZONA GEOLOGICA COMPLEJA DEBIDO A VARIAS INVERSIONES TECTONICAS (FALLAMIENTO NORMAL → FALLAMIENTO INVERSO → FALLAMIENTO TRANSCURRENTE).
- PRESENCIA DE SOBREPRESIONES MODIFICA LA RELACION DE ESFUERZOS HORIZONTALES Y VERTICALES.
- NO EXISTEN MEDICIONES DEL ESFUERZO HORIZONTAL MAYOR.
- NO HAY REGISTROS DE IMAGENES EN POZOS DEL TERCARIO QUE PERMITA HACER RETROANALISIS DE FRACTURAS INDUCIDAS Y BREAKOUTS.

➤ DETERMINACION DE LA DIRECCION DEL ESFUERZO
HORIZONTAL MAYOR

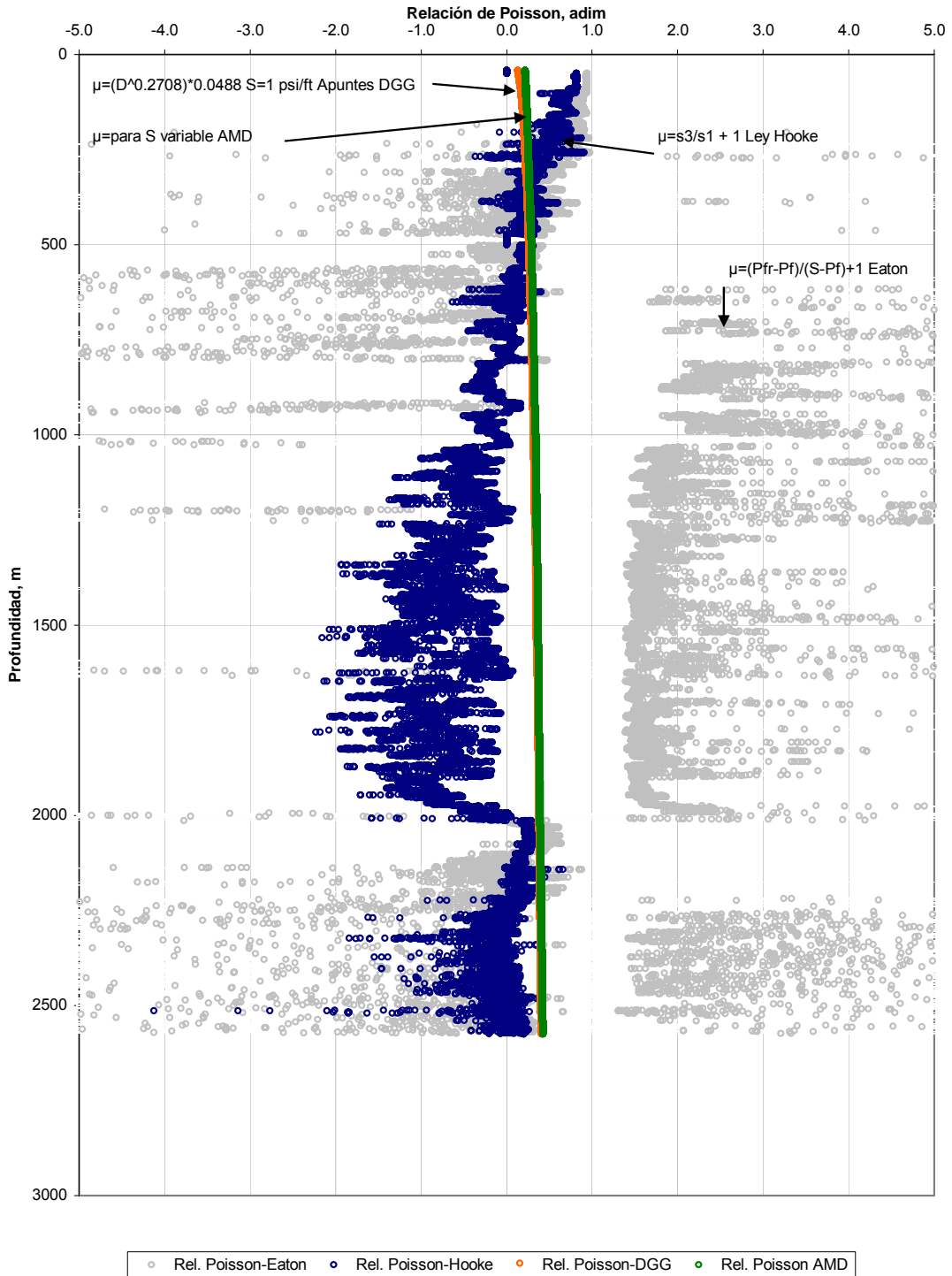


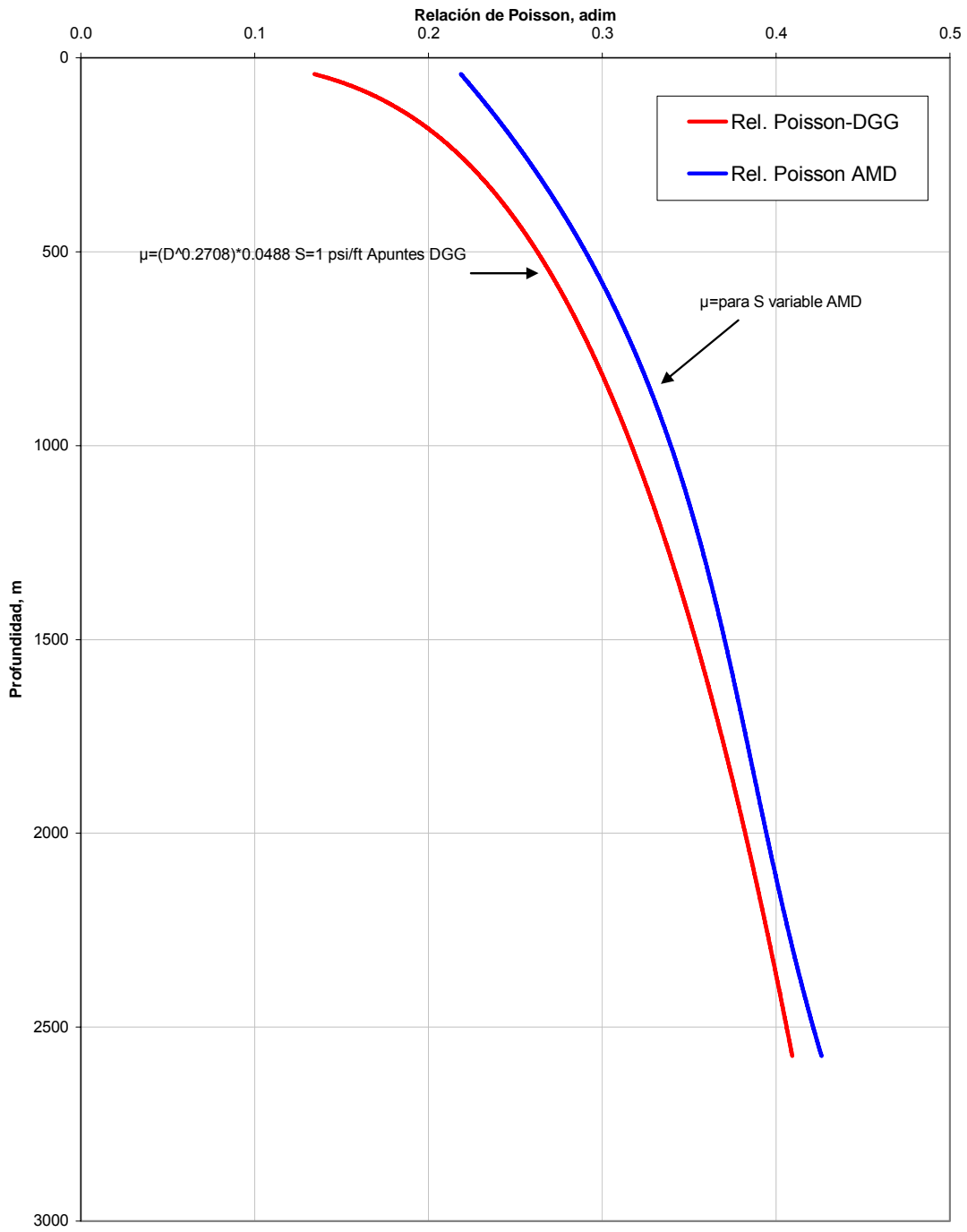
Para determinar las direcciones principales del campo de esfuerzos que actúa en la vecindad de un pozo vertical, por medio del análisis de variación con el azimut de la velocidad de propagación de ondas P y S (compresión y cizallamiento) en un núcleo orientado.

Existen tres métodos para la determinación del análisis de la dirección del esfuerzo:

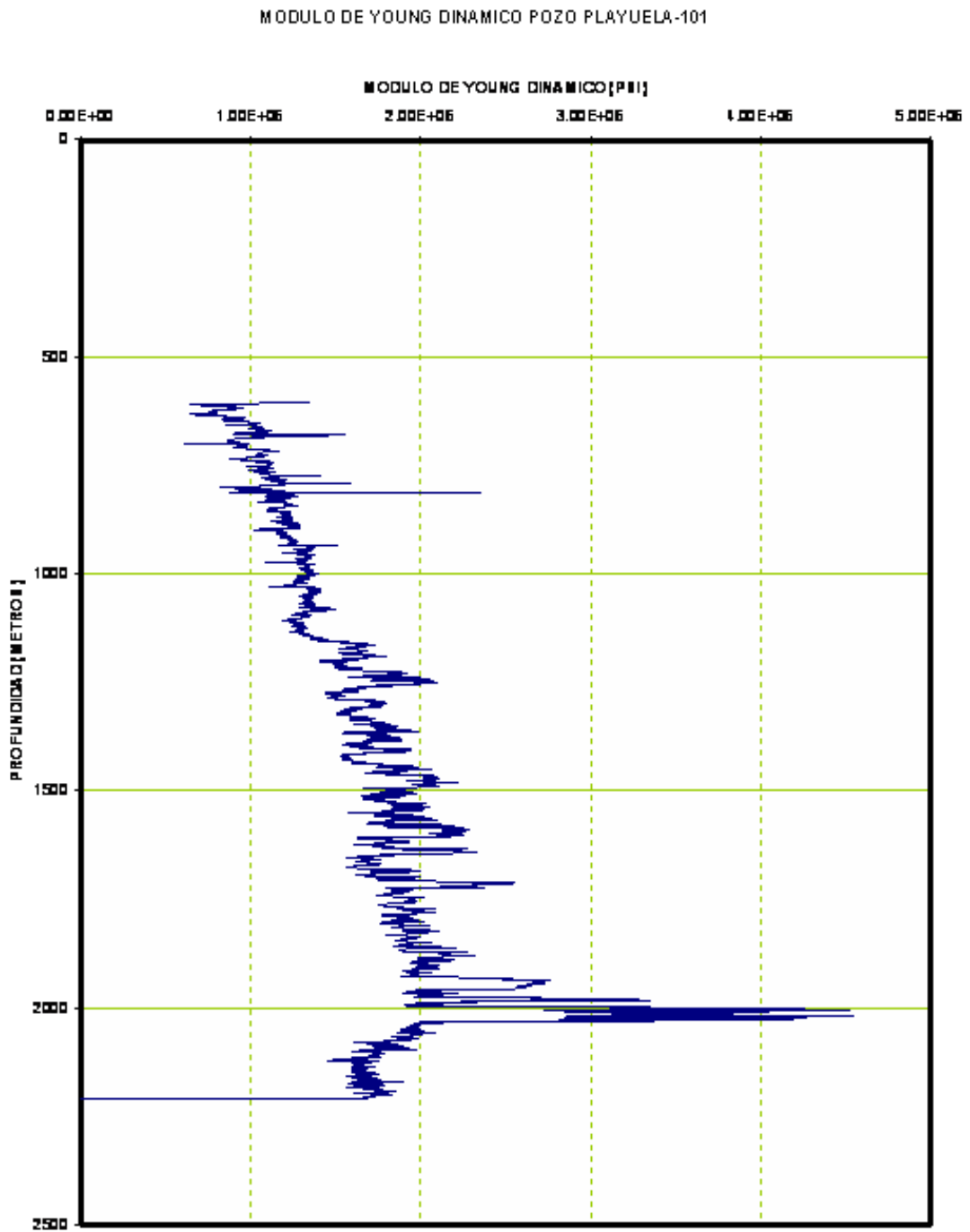
- VELAN
- THOMSEN
- RELAJACION DE ESFUERZOS

➡ PROPIEDADES MECANICAS DINAMICAS Y CONTINUAS
(RELACION DE POISSON, MODULO DE YOUNG, MODULO DE CORTE)



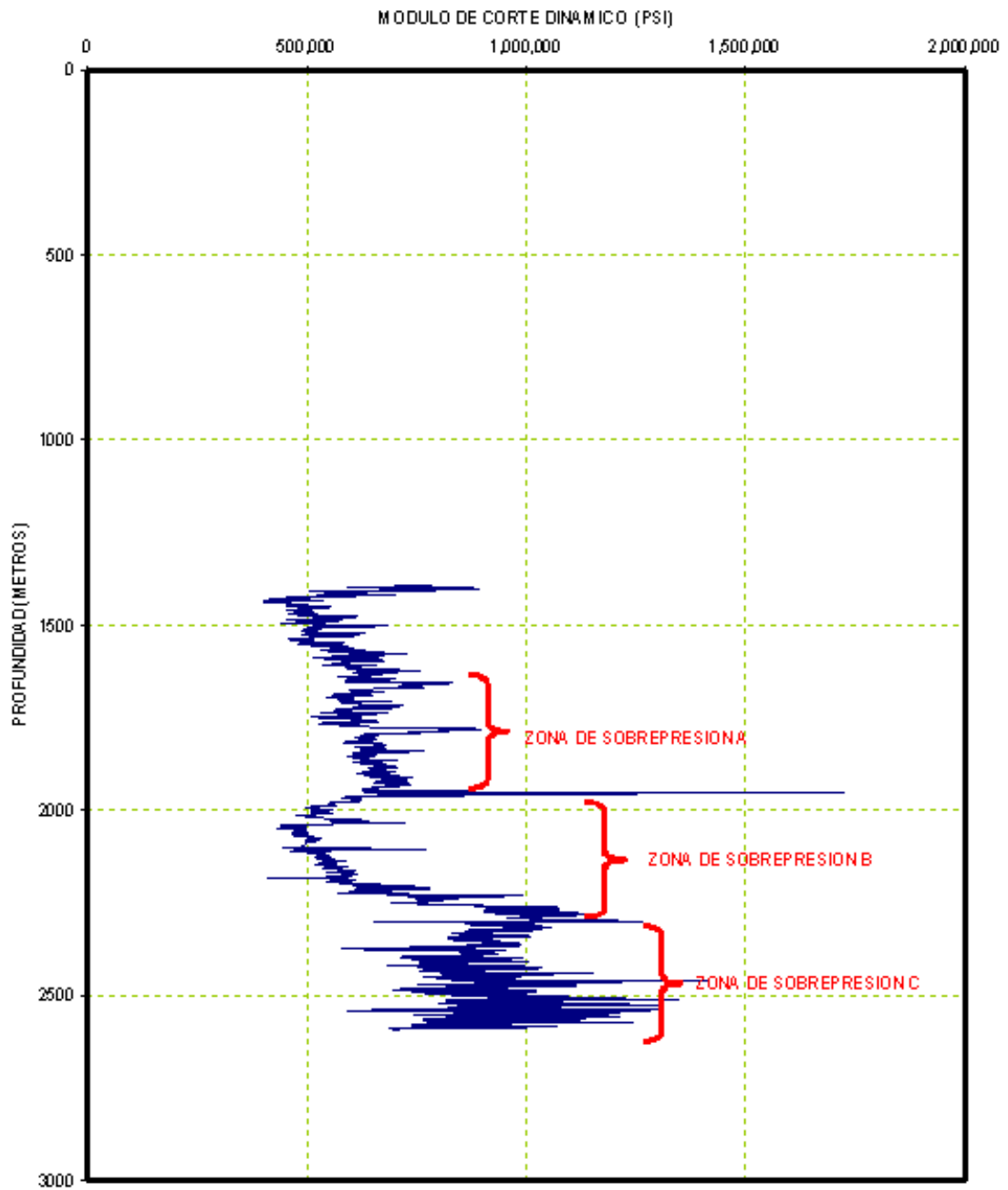


➤ MODULO DE YOUNG (ejemplo)



➤ MODULO DE CORTE (ejemplo)

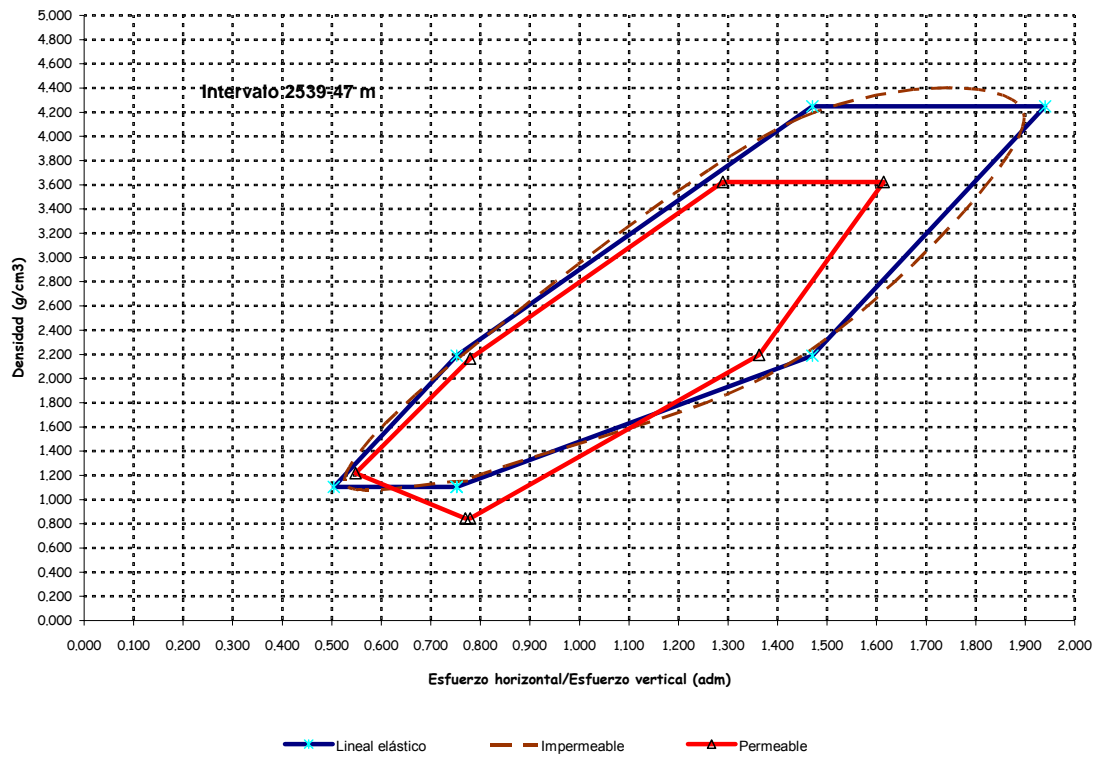
MODULO DE CORTE DINAMICO: POZO PLAYUELA-601



➡ COHESION DE LA ROCA

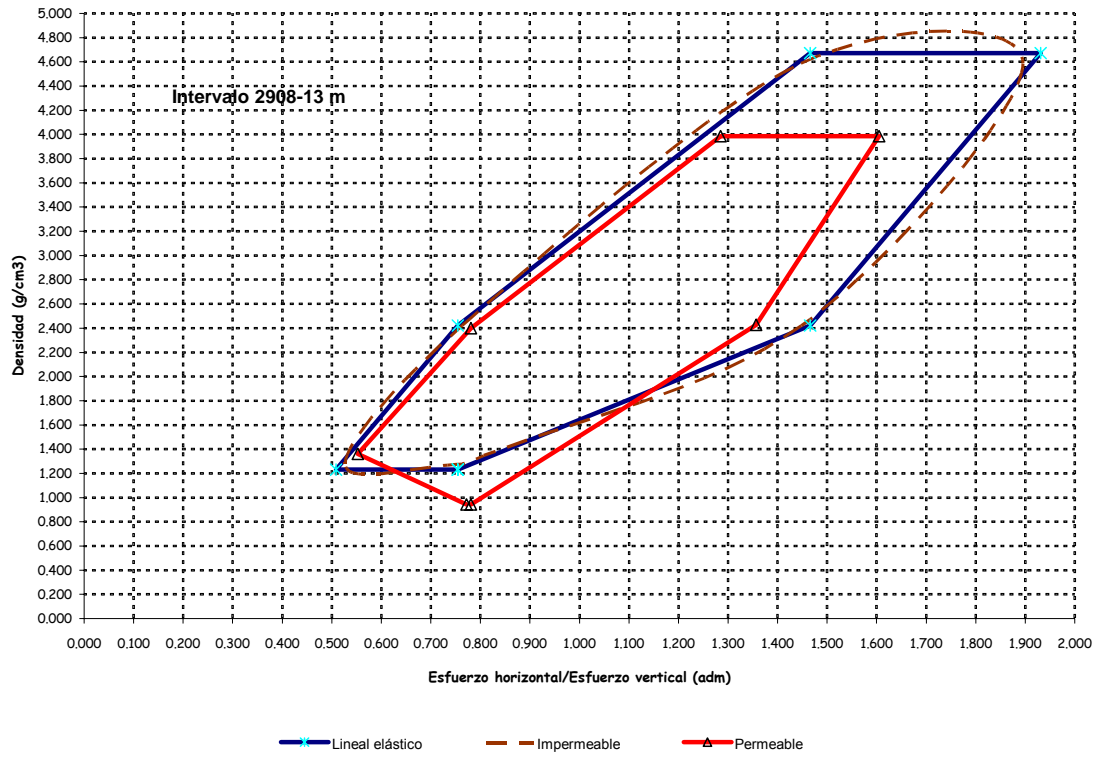
CÁLCULO DEL RANGO DE ESTABILIDAD Y GRÁFICAS DE VENTANAS OPERACIONALES						
DATOS DE ENTRADA						CAMARONERO
	Profundidad	2543	m	INTERVALO 2539-2547 m		
	Diámetro de TR	11.75	pulg.			
	Diámetro de TP	3.5	pulg.			
	Densidad del fluido	1.83	g/cm ³			
	Gradiente de sobrecarga	0.219	kg/m ² /m			
	Presión de poro	133.48	kg/cm ²			
	Lectura sonica compresional dtc	91.48	mmseg/pie			
	*Lectura sonica de corte dts	242	mmseg/pie			
	Ángulo de fricción interna	18	°			
	* Cohesión	9.3	kg/cm ²			
	Constante de Biot	0.2	adim			
	Radio del pozo	0.489	pies			
	Radio sin influencia (de invasión)	1	pies			
NOTA: Datos de color rojo se pueden cambiar.						
* Se manejaron datos estimados						

Ventanas de Estabilidad en función de la Profundidad



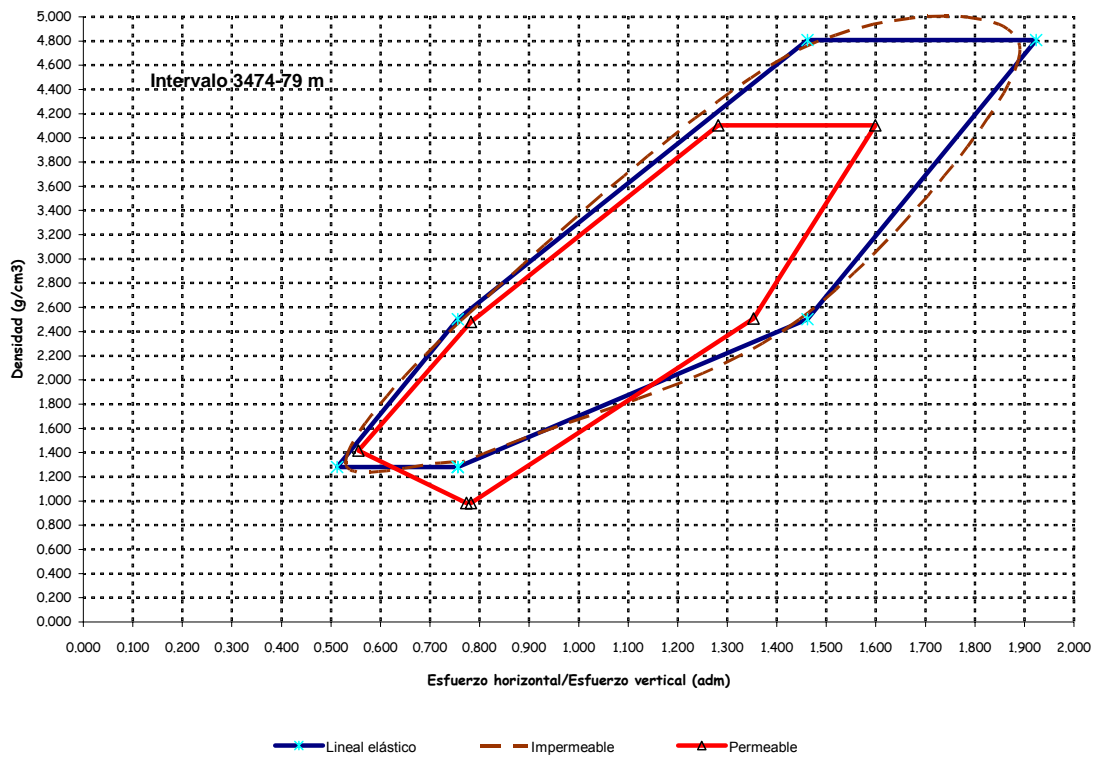
CÁLCULO DEL RANGO DE ESTABILIDAD Y GRÁFICAS DE VENTANAS OPERACIONALES					
	DATOS DE ENTRADA				CAMARONERO
		Profundidad	2911	m	INTERVALO 2908-2913 m
		Diámetro de TR	7	pulg.	
		Diámetro de TP	3.5	pulg.	
		Densidad del fluido	2.36	g/cm ³	
		Gradiente de sobrecarga	0.242	kg/m ² /m	
		Presión de poro	140	kg/cm ²	
		Lectura sonica compresional dtc	137	mmseg/pie	
		* Lectura sonica de corte dts	363	mmseg/pie	
		Ángulo de fricción interna	18	°	
		* Cohesión	9.3	kg/cm ²	
		Constante de Biot	0.2	adim	
		Radio del pozo	0.291	pies	
		Radio sin influencia (de invasión)	1	pies	
NOTA: Datos de color rojo se pueden cambiar.					
* Se manejaron datos estimados					

Ventanas de Estabilidad en función de la Profundidad



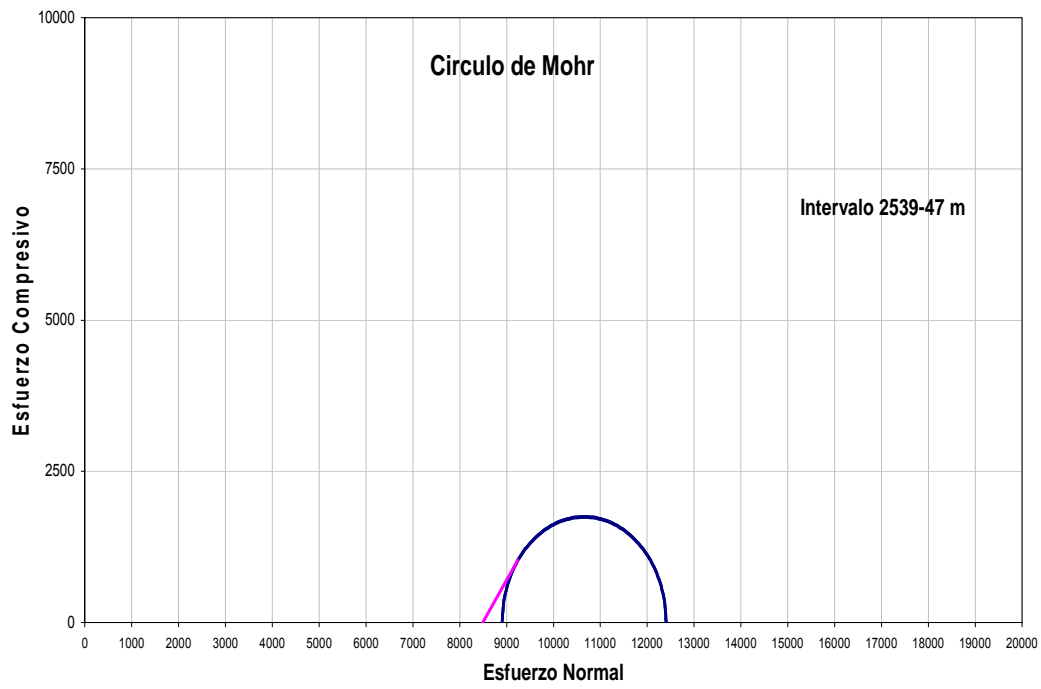
CÁLCULO DEL RANGO DE ESTABILIDAD Y GRÁFICAS DE VENTANAS OPERACIONALES					
DATOS DE ENTRADA					CAMARONERO
	Profundidad	3477	m	INTERVALO 3474-3479 m	
	Diámetro de TR	5	pulg.		
	Diámetro de TP	2.875	pulg.		
	Densidad del fluido	2.38	g/cm ³		
	Gradiente de sobrecarga	0.25	kg/m ² /m		
	Presión de poro	160	kg/cm ²		
	Lectura sonica compresional dtc	142	mmseg/pie		
	* Lectura sonica de corte dts	376	mmseg/pie		
	Ángulo de fricción interna	18	°		
	* Cohesión	9.3	kg/cm ²		
	Constante de Biot	0.2	adim		
	Radio del pozo	0.208	pies		
	Radio sin influencia (de invasión)	1	pies		
NOTA: Datos de color rojo se pueden cambiar.					
* Se manejaron datos estimados					

Ventanas de Estabilidad en función de la Profundidad

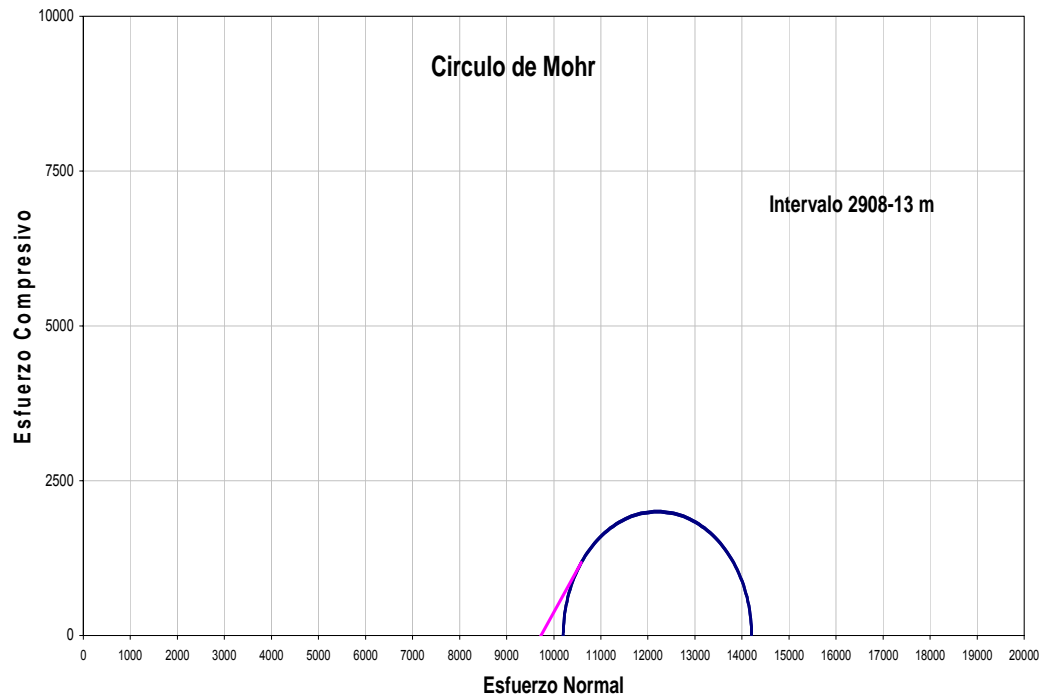


➡ RESISTENCIA MECANICA (MODULO DE MOHR-COULOMB)

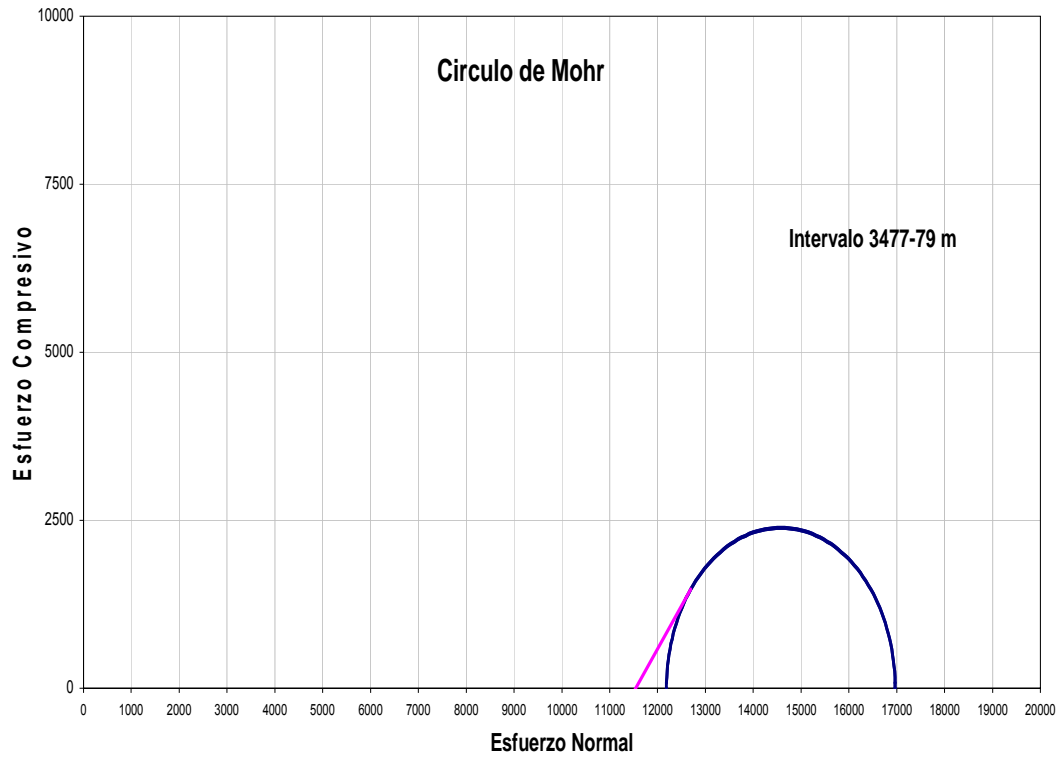
Datos	
$\phi=$	18
Pconfinamiento=	8907.68
Esfuerzo Compresivo	12402.82



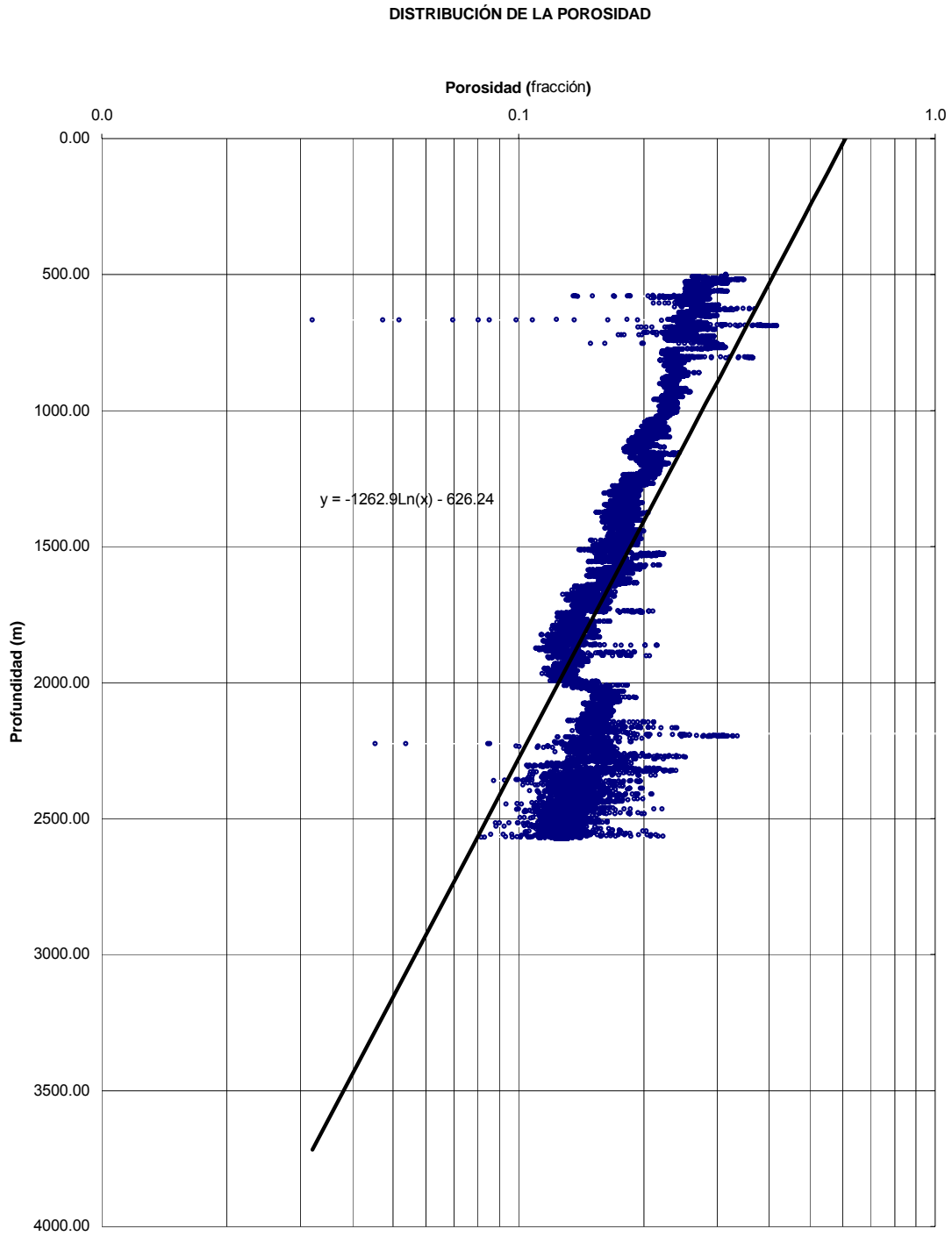
Datos	
$\varphi=$	18
Pconfinamiento=	10203.29
Esfuerzo Compresivo	14205.18



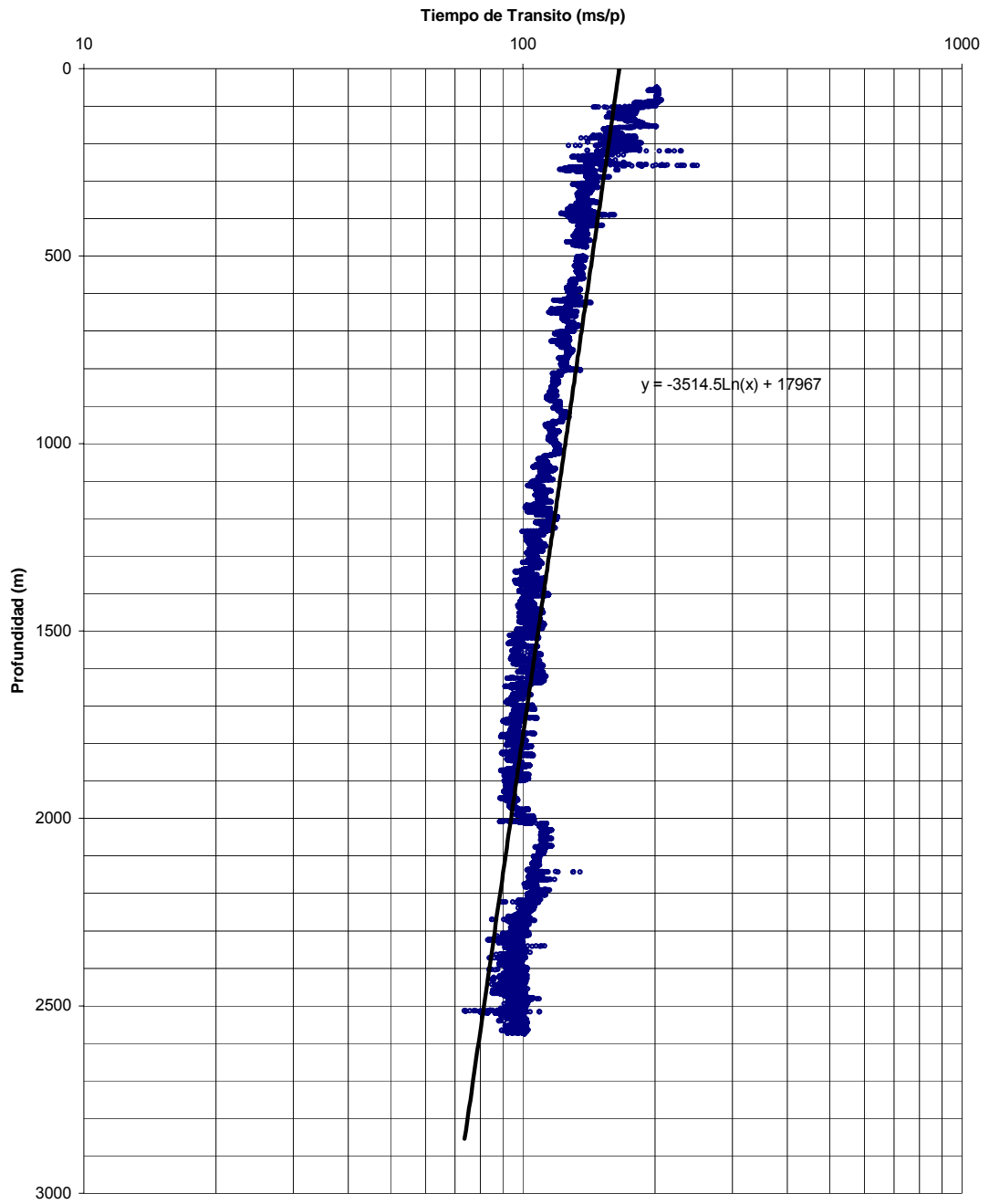
Datos	
$\varphi=$	19
Pconfinamiento=	12187.16
Esfuerzo Compresivo	16967.03



▀ GRAFICAS ADICIONALES



Distribución del tiempo de tránsito



IV.- Conclusiones

- Conclusión

IV.- Conclusiones

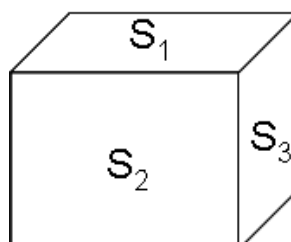
a) Conclusión:

Por los análisis de las operaciones realizadas obtenemos algunas conclusiones:

- ▶ Presencia de Zonas de gas con alta sobrepresión en zonas más o menos a partir de 2200 m, donde la gráfica de presión de poro vs. sobrecarga se empieza a ser mas estrecha, reduciendo la posibilidad del incremento de densidad. La presión de sobrecarga es fundamental tanto para la estimación de la presión de poro como para la estimación del gradiente de fractura. Que es crítica para el diseño de pozos; S/D es función de la densidad de los sedimentos superiores. Para el cálculo de la Presión de Poro se realizaron con los métodos de Sarda, Wade y Magnally, el primero en función de la porosidad y los dos siguientes en función del tiempo de tránsito, donde varían el exponente contra el esfuerzo matricial, y solo es considerado el esfuerzo vertical; donde los autores suponen que las formaciones son normalmente presionadas y sobrepresionadas y que siguen la misma relación de compactación o sea que tienen velocidades idénticas.

La presión de poro esta influenciada por propiedades que dependen de la compactación de la lutita, tales como porosidad, densidad, velocidad sísmica y resistividad; respecto al calculo de la presión de poro con el esfuerzo efectivo, establece que la compactación del material geológico es gobernada por la diferencia entre la presión total de confinamiento y la presión del fluido en los poros.

- ▶ Perdidas de circulación por peso excesivo de lodo que fractura hidráulicamente la formación. Debemos de tomar en cuenta la DEC que es la presión en el fondo circulando.
- ▶ Problemas de gasificación y fracturamiento, estan ocurriendo en el mismo agujero indicando ventana operacional estrecha.
- ▶ Presencia de invasión de agua salada en zonas de sobrepresión, que causa degradación del lodo y por lo tanto aligeramiento de la columna de lodo, generando así gasificaciones constantes.
- ▶ El problema de atrapamiento de sartas no se debe al colapso de las paredes del agujero. El grafico de esfuerzo vertical representa el peso de la columna de rocas vs. la profundidad.



- ➡ Pérdidas de cemento por fracturamiento hidráulico de la formación.
- ➡ Mal manejo de las gasificaciones, sin aplicación de un método definido.
- ➡ No considerar la toma de registros parciales, para ir realizando ajustes de los gradientes; si no se cuenta con el uso del equipo de PWD, para ajustes de las ventanas operacionales de los pesos de lodo.
- ➡ Malas operaciones durante la cementación de las TR's, y aun malas recementaciones.
- ➡ Mal manejo de la entrada de agua por parte de la Compañía de Fluidos.
- ➡ Para estos pozos aun en la etapa de Exploratorios, no se recomienda perforar pozos desviados, debido a la falta de información de geomecánica para poder navegar, **es más fácil un pozo vertical.**
- ➡ Planear oportunamente el uso de Equipo Bajo Balance.
- ➡ Seguir procedimiento para liberación de sartas detectando puntos libres y posibles string shot.
- ➡ Se recomienda realizar pruebas de Goteo, o Pruebas de Integridad de Formación, en la primera arena saliendo de la zapata, si no se cuenta con el equipo de PWD.
- ➡ Se recomienda hacer un estudio detallado para la elaboración de modelos de esfuerzos y geomecánica del campo.
- ➡ Seguimiento estricto de la Densidad Equivalente de Circulación por la estrecha ventana de pesos de lodo entre la presión de poro y el gradiente de fractura.
- ➡ En zonas con altas entradas de agua se desconoce el verdadero peso del lodo debido a una densidad variable con el tiempo.
- ➡ Estricto seguimiento de las propiedades reológicas del fluido.
- ➡ En un pozo vertical los Breakouts se forman en la dirección del esfuerzo horizontal menor, en el grafico se ven los esfuerzos mínimos a partir de 2000 m donde la presión de formación también se ve incrementada.
- ➡ El Esfuerzo Matricial Equivalente que es la Presión de Poro en la pared del agujero es igual a la Presión del Pozo $P_f = P_w$ (formación permeable).

- Interpretando la Gráfica de la Ley de Hooke y Van Eekelen ($\sigma_h=S_3$) esfuerzo horizontal mínimo, obtenemos la carga litostática por los diferentes métodos Sobrecarga con Bourgoine y Sobrecarga Promedio.
- Del gráfico de Colapso Superior e Inferior calculado con los 3 métodos de Magnally, Sarda y Wade nos indica que el riesgo de colapso mayor es la zona a partir de 2200.
- La gráfica del Módulo de Young hallamos un valor promedio de 0.25-0.35 dentro del límite normal (0.5)
- Para el cálculo del Coeficiente de Biot que es función de la velocidad para parámetros elásticos de la roca se pueden calcular con los métodos de: Ecuación Gassman-Biot-Geertsma, Gregory-Pickett.
- La Relación de Poisson para estos análisis se halla crítica en los intervalos que van desde los 2000m, 2200m y 2600m.
- Observando las gráficas y las Tablas de Ventanas de Estabilidad de los 3 intervalos analizados se encuentran dentro de la ventana operacional aceptable, entre la relación de esfuerzo horizontal/esfuerzo vertical, para el rango de densidades con las que se trabajo, por lo que se descarta el problema de deformación del agujero por esfuerzos.
- Por ultimo analizando los gráficos de resistencia Mecánica (Modulo de Mohr), de los 3 intervalos en estudio tenemos que, ocurrirá una fractura hidráulica si la envolvente se localiza al lado izquierdo del eje y esto fuese generado por un incremento excesivo del peso del lodo (esfuerzo normal vs. esfuerzo compresivo) pero nuestro caso se halla dentro de la zona estable.

V.- Observaciones

a) Recomendaciones

- Cambiar la prueba de Goteo por pruebas de Goteo Extendida para poder tener mediciones de Esfuerzos Horizontales y mejorar los cálculos de Gradiente de Fractura.
- No utilizar el registro CBL en pozos con fuertes acuíferos cerca de intervalos productores de gas, utilizar registros de calidad de cemento tales como el registro USIT, SBT, CASTV, que evalúan la presencia del mismo por sectores radiales lo que permite detectar canales pequeños que pueden transportar agua desde otros intervalos.
- Tomar mediciones de esfuerzo mínimo con herramienta MDT modificada para pruebas de Microfrac.
- Realizar ensayos Geomecánicos de laboratorio para definir la Resistencia Mecánica.
- Calibrar correlaciones de DrawDown (que es la diferencia entre la presión estática y la presión de fondo fluyendo), crítico en arenas productoras con la resistencia mecánica de ensayos de laboratorio.
- Calibrar modelo de esfuerzos totales con mediciones por pruebas de inyectividad para determinar gradiente de fractura.
- Metodología y Capacitación al personal de Diseño y Técnico sobre la Geomecánica en Pozos.
- Los lodos a base de agua tienen una presión de propagación de fracturamiento más alta que uno de base aceite y por eso crean menos problemas de pérdida de circulación.

- ▶ Optimizar los puntos de asentamiento de TR's y pesos de lodos utilizando Geomecánica para definir los gradientes de Fractura, Colapso y Presión de Poro.
- ▶ Tomar núcleo geológico para caracterizar las rocas y poder realizar ensayos geomecánicos de laboratorio.
- ▶ Los modelos de sobrepresiones dependen de una comprensión completa del ambiente geológico de la cuenca, y del mecanismo de la sobrepresión, más la permeabilidad de las rocas de grano fino en las cuales es creada y retenida (por sellos).
- ▶ El Modulo de Young (Y) es la relación de esfuerzos aplicada entre la deformación longitudinal ó la resistencia de la roca a ser deformada bajo una condición de carga (para prevenir las fracturas durante la perforación) y si se incrementan los valores se generaran las fracturas.
- ▶ **Por falta de imágenes la orientación de los esfuerzos horizontales no se determinó con 100% de certidumbre. Teniendo apenas información de la tectónica regional que indica una orientación N-S para SHmax.**
- ▶ **Núcleos no pudieron ser tomados y por esta razón las propiedades de resistencia de las arenas no pudieran ser calculadas más precisamente. Quedándose apenas las estimadas con datos de sísmico, que para estudios de estabilidad de pozo (con modelos elásticos y analíticos) se puede usar sin grandes implicaciones, pero estudios de arenamiento con elementos finitos requieren más precisión en la descripción de los parámetros de resistencia de la roca.**

VI.- Apéndice

- Fórmulas
- Ilustraciones
- Software
- Glosario

VI.- Apéndice

a) Fórmulas

Ecuación # 1.- Presión

$$P = F/A$$

Ecuación # 2.- Esfuerzo

$$\sigma = F/A; (F/A) \propto (L/\Delta L) \therefore (F/A) = E(\Delta L/L) \text{ Ley de Hooke}$$

Ecuación # 3.- Esfuerzo total

$$\text{Esfuerzo Total} = \text{Presión de Poro} + \text{Esfuerzo Efectivo}$$

Ecuación # 4.- Deformación

$$\epsilon = \text{Cambio de Longitud/Longitud Original} = \lim_{\Delta L \rightarrow 0} \delta L/\Delta L$$

Ecuación # 5.- Permeabilidad

$$k = q/A \mu L/\Delta P$$

Ecuación # 6.- Permeabilidad Relativa

$$k_{rw} = k_w/k$$

$$k_{ro} = k_o/k$$

Ecuación # 7.- Presión de Poro

$$dp/dz_{TVD} = \rho_f g$$

VI.- Apéndice

b) Ilustraciones

Fig. # 1.- Efecto de la Presión.

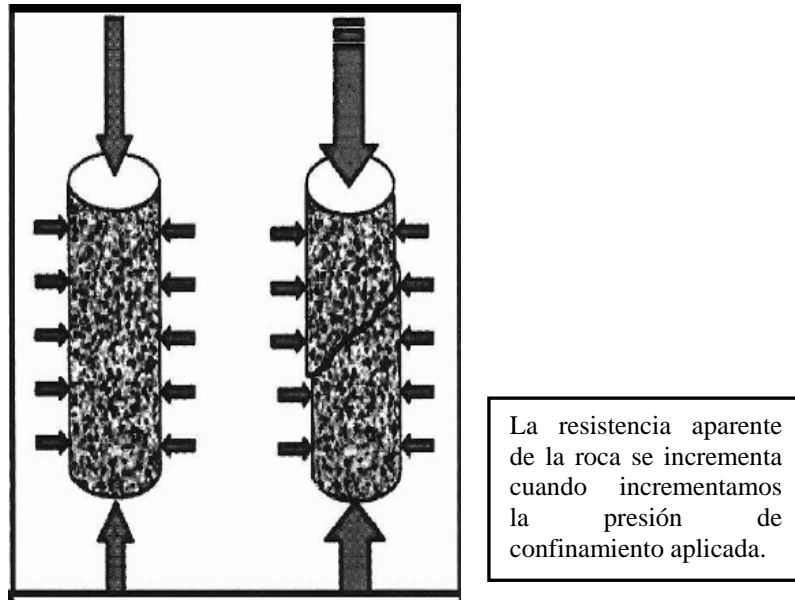


Fig. # 2.- Estado de Esfuerzos.

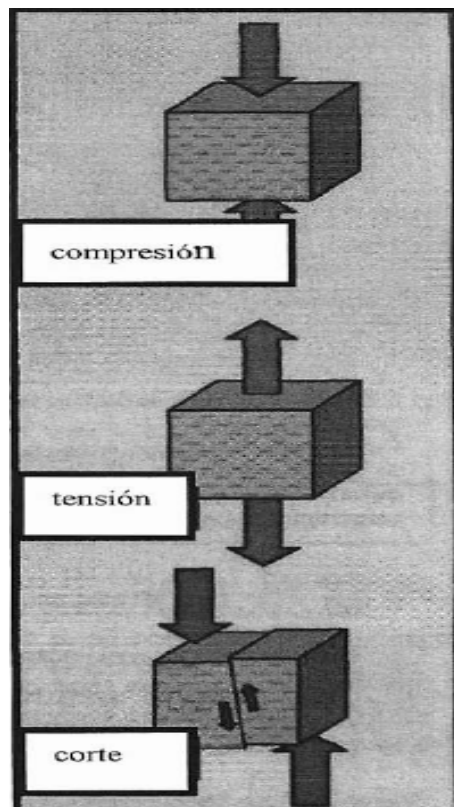


Fig. # 2-A.- Estado de Esfuerzos en Sitio.

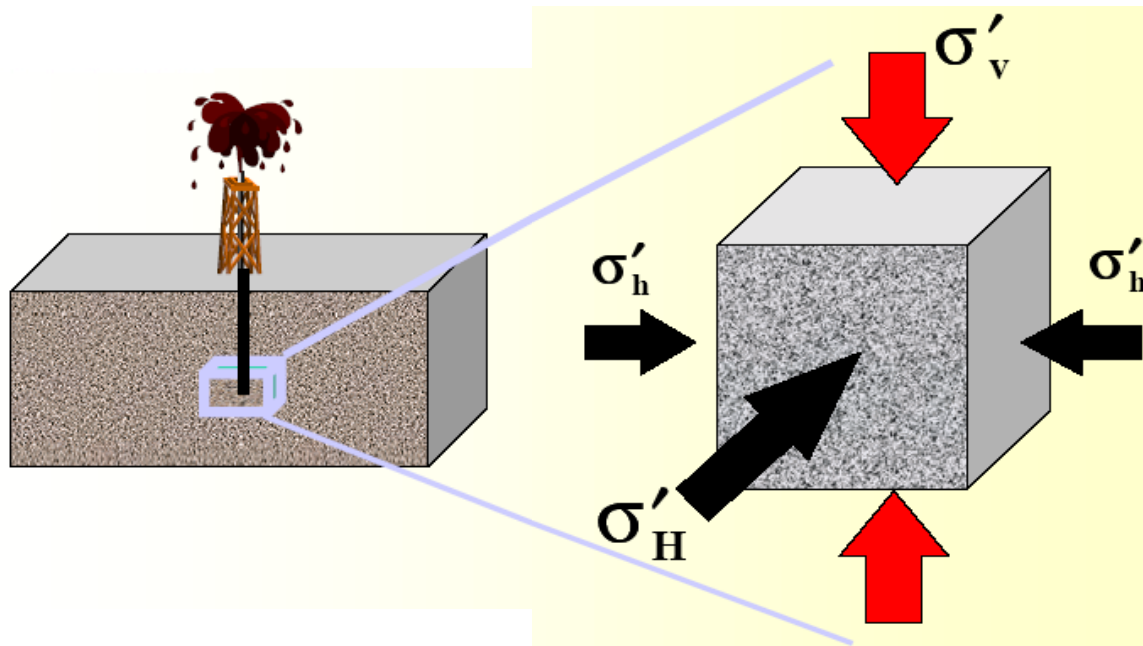
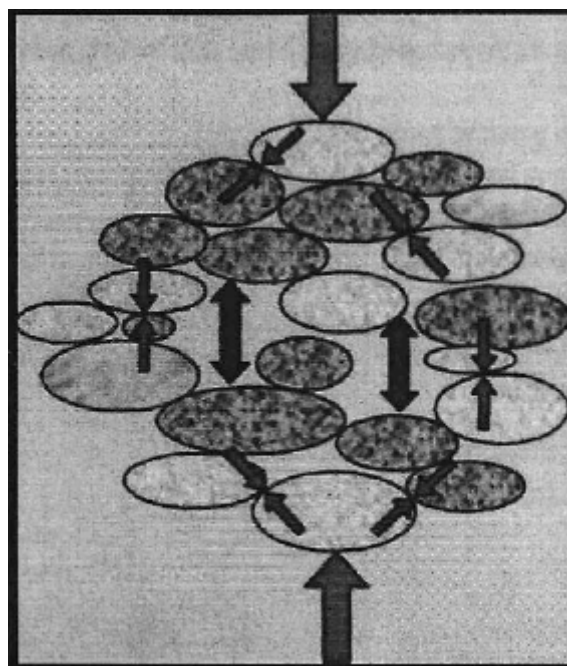


Fig. # 3.- Esfuerzo Efectivo y Presión de Poro.



El Esfuerzo Efectivo se siente en el contacto grano a grano. La Presión de Poro es el esfuerzo que siente el líquido en contacto con el grano. Ayuda a soportar la sobrecarga como la presión del aire en un neumático que apoya la carga de un coche.

Fig. # 4.- Relación Esfuerzo-Deformación.

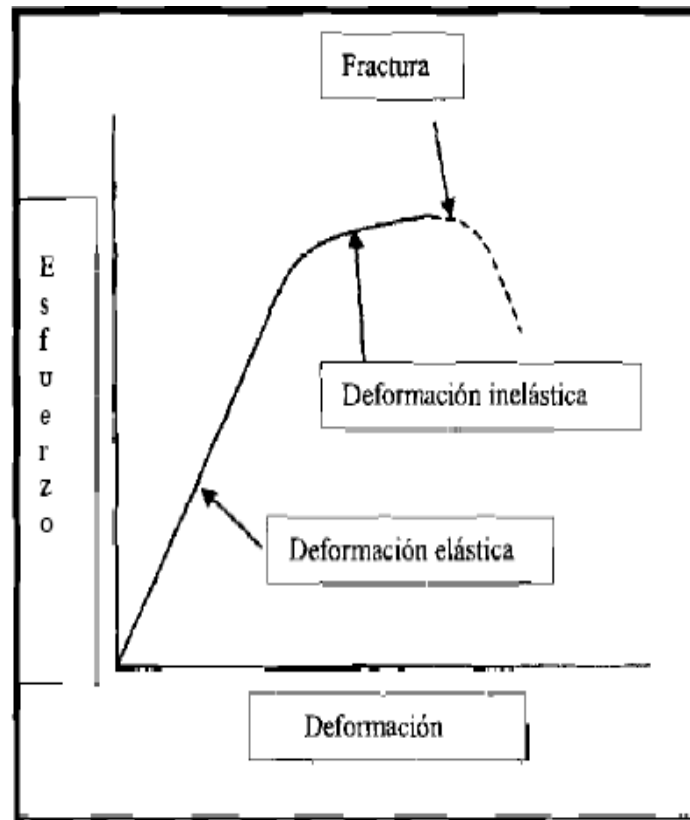


Fig. # 5.- Permeabilidad.

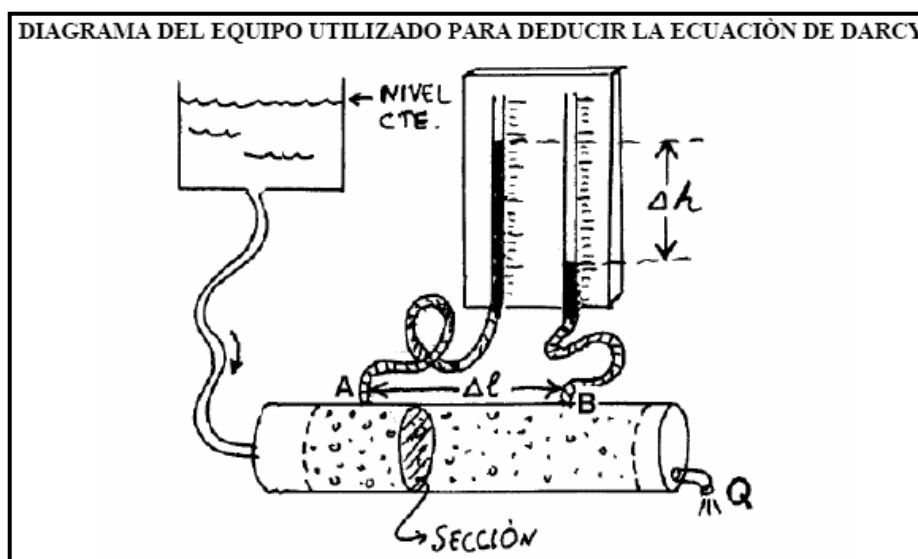


Fig. # 6.- Variación típica de la permeabilidad relativa, en función de la saturación de agua.

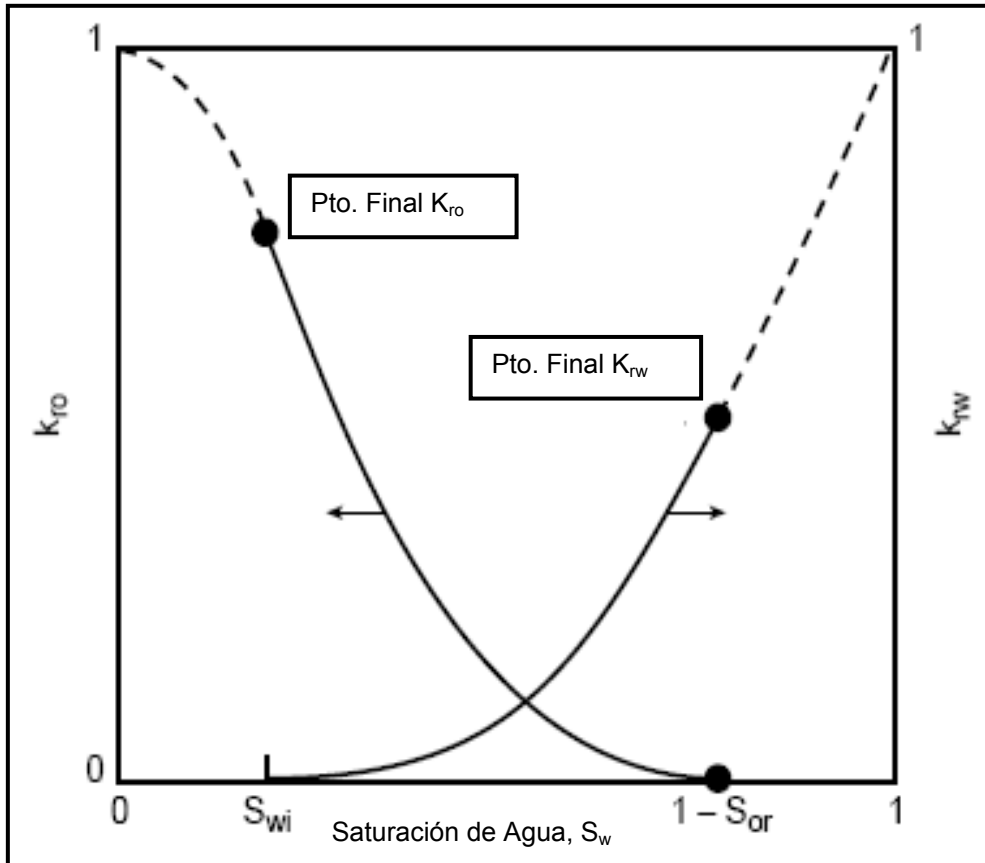


Fig. # 7.- Esfuerzos residuales debido a levantamiento y erosión.

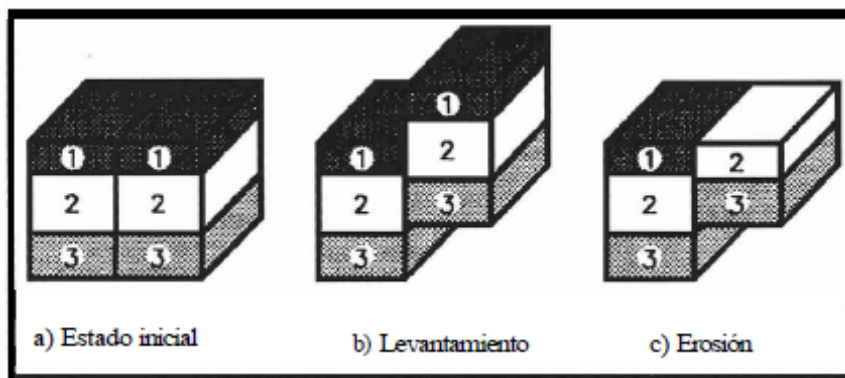


Fig. # 8.- Gráfica de Presión de Poro.

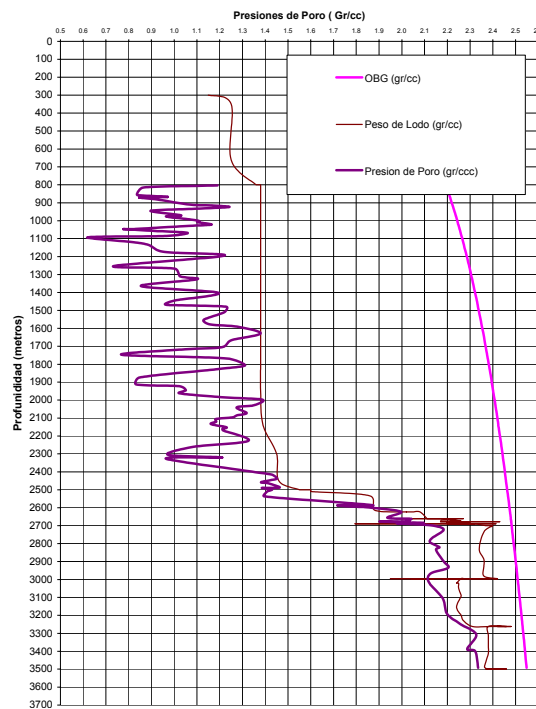


Fig. # 9.- Tipos de Fallas según Anderson.

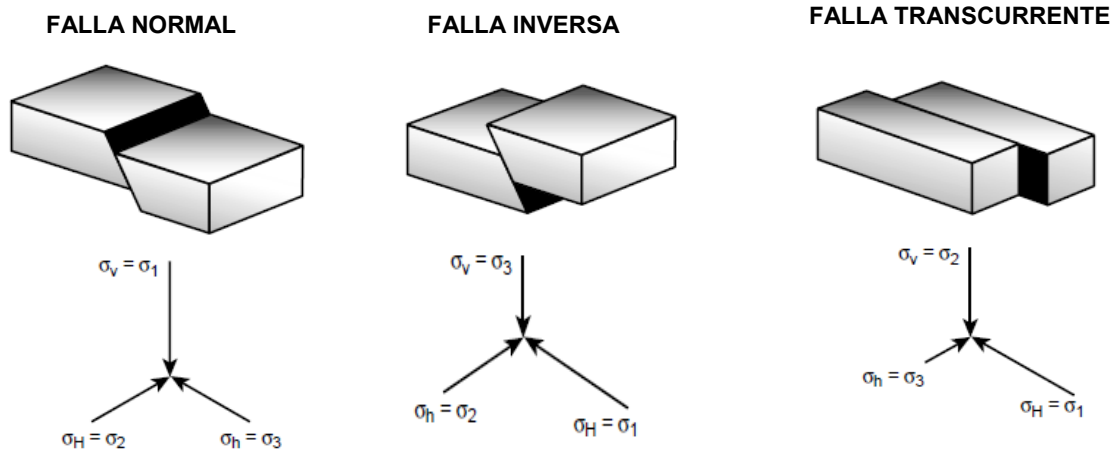


Fig. # 10.- Relación entre la deformación transversal y deformación axial.

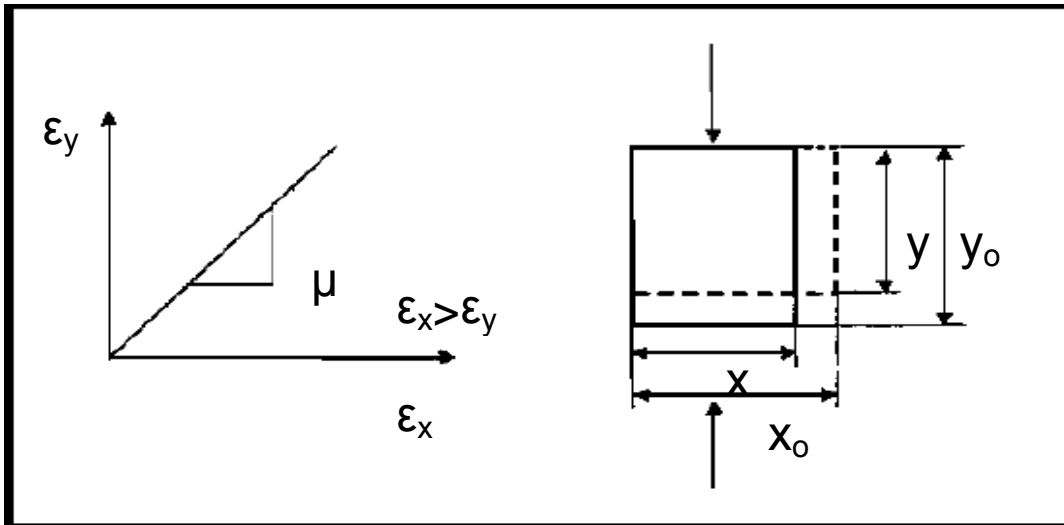


Fig. # 11.- Relación entre el esfuerzo de corte y la deformación de corte.

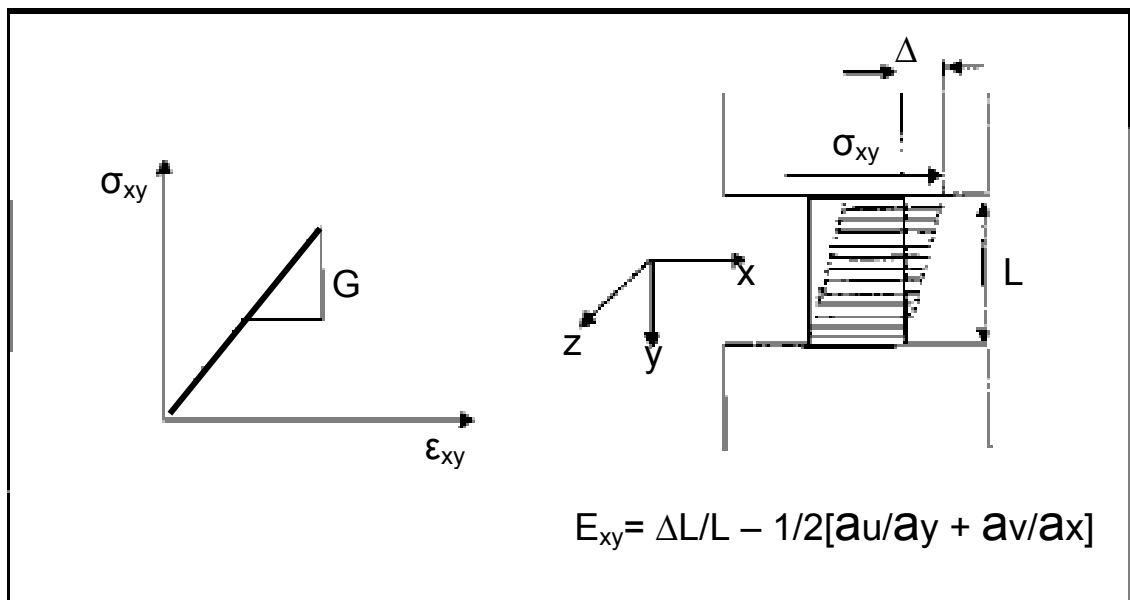


Fig. # 12.- Relación entre el esfuerzo medio y la deformación volumétrica bajo condiciones de carga triaxial.

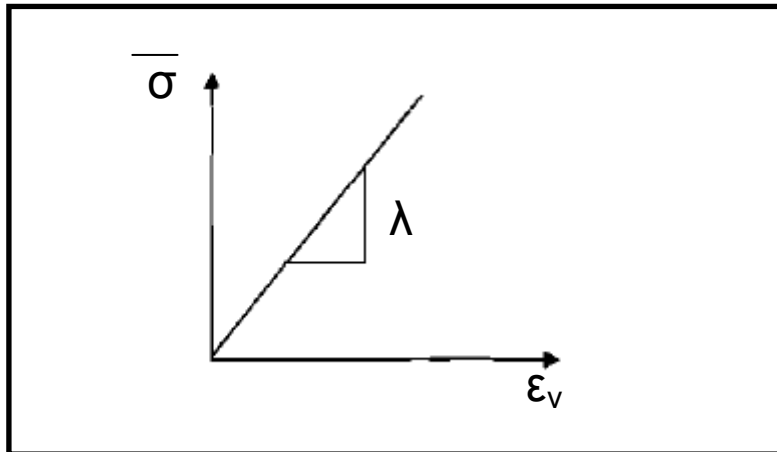


Fig. # 13.- Cuerpo sujeto bajo una condición de carga hidrostática.

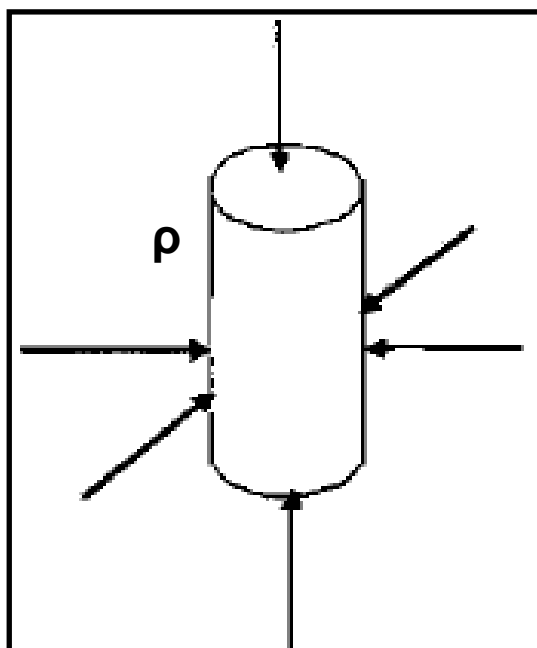


Fig. # 14.- Circulo de Esfuerzos de Mohr.

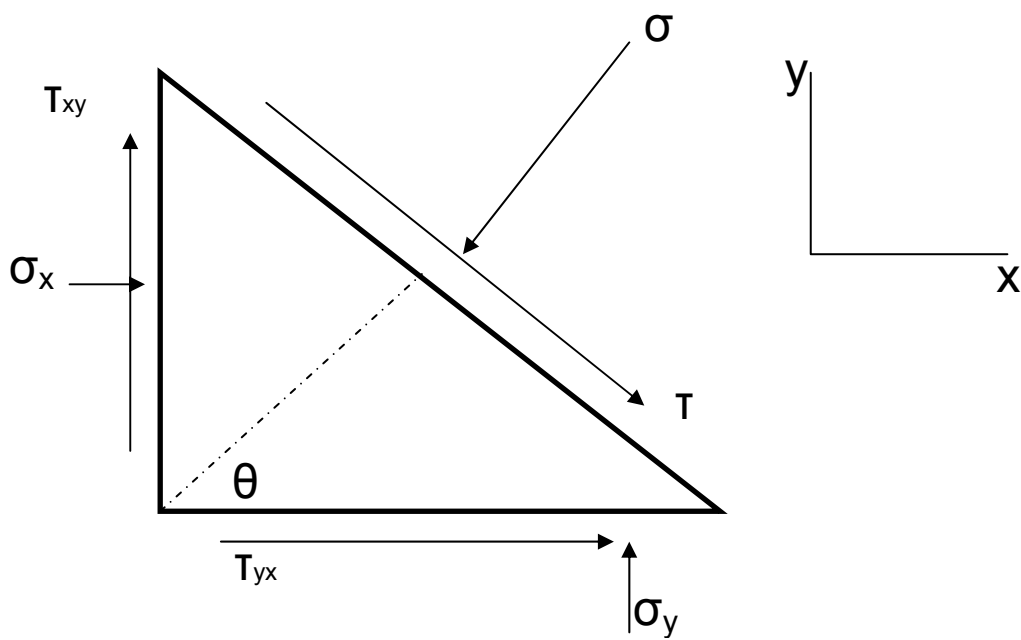
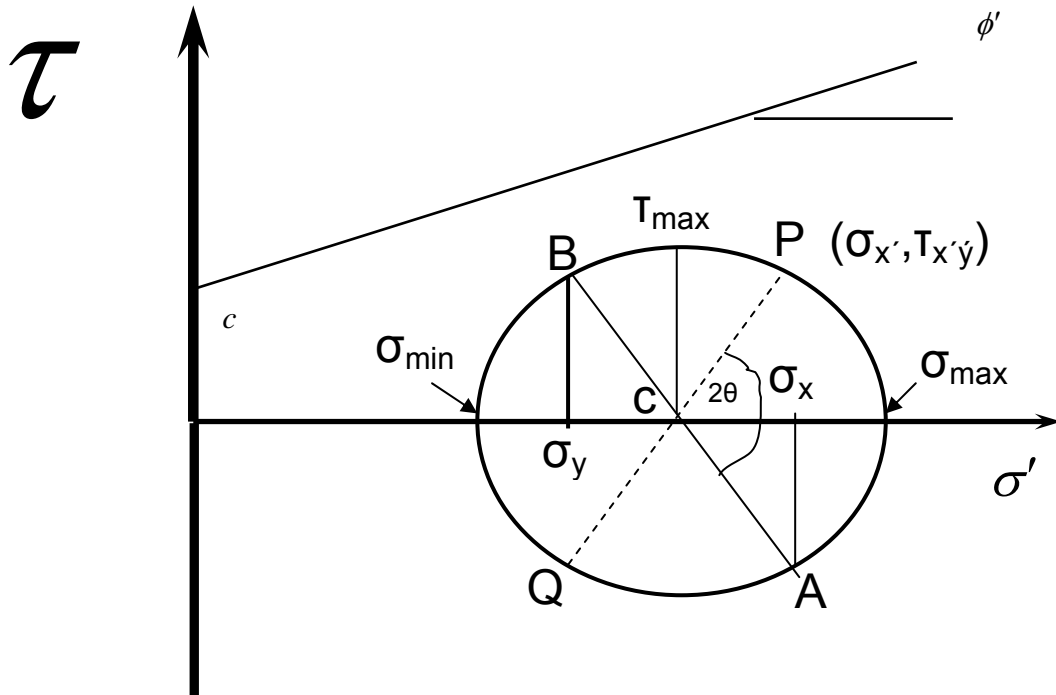
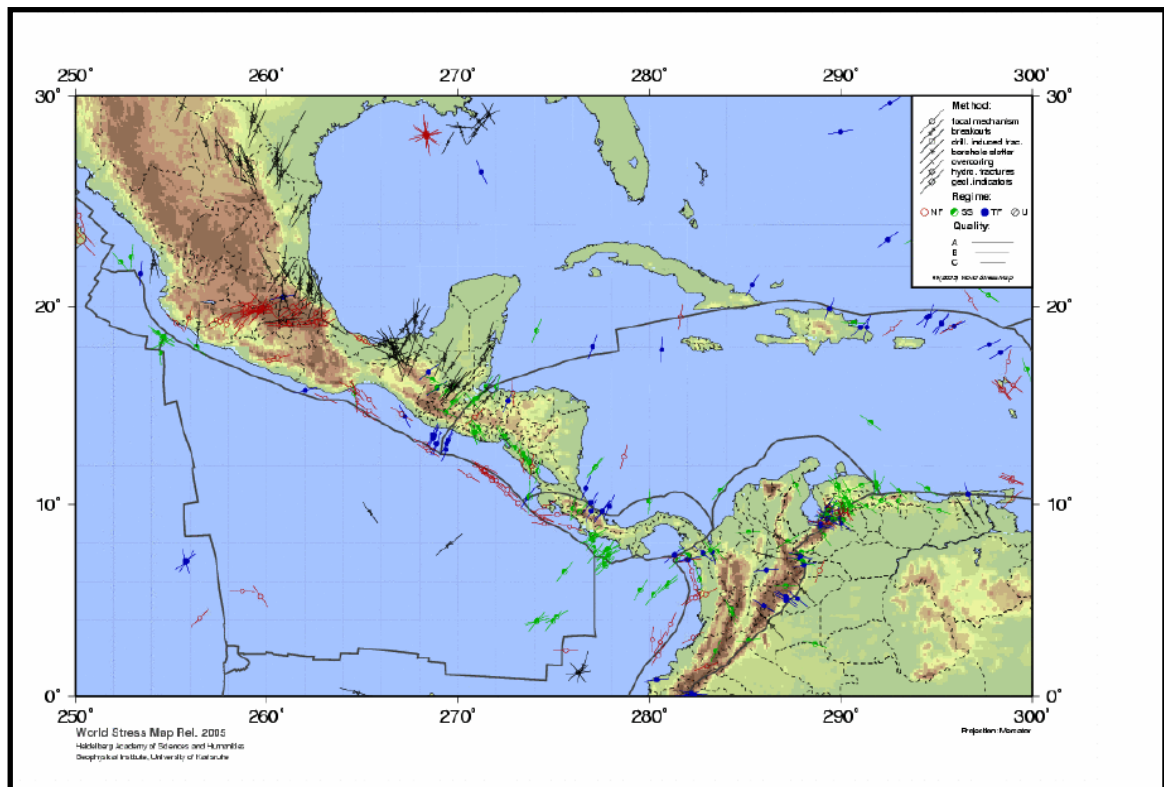
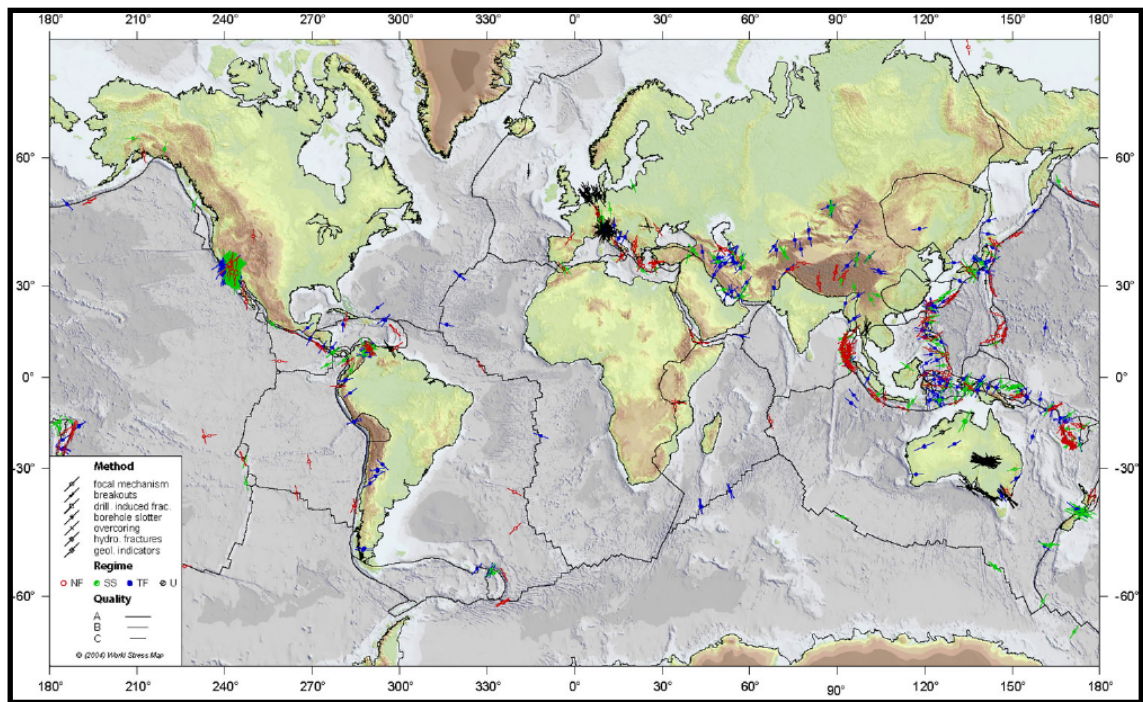
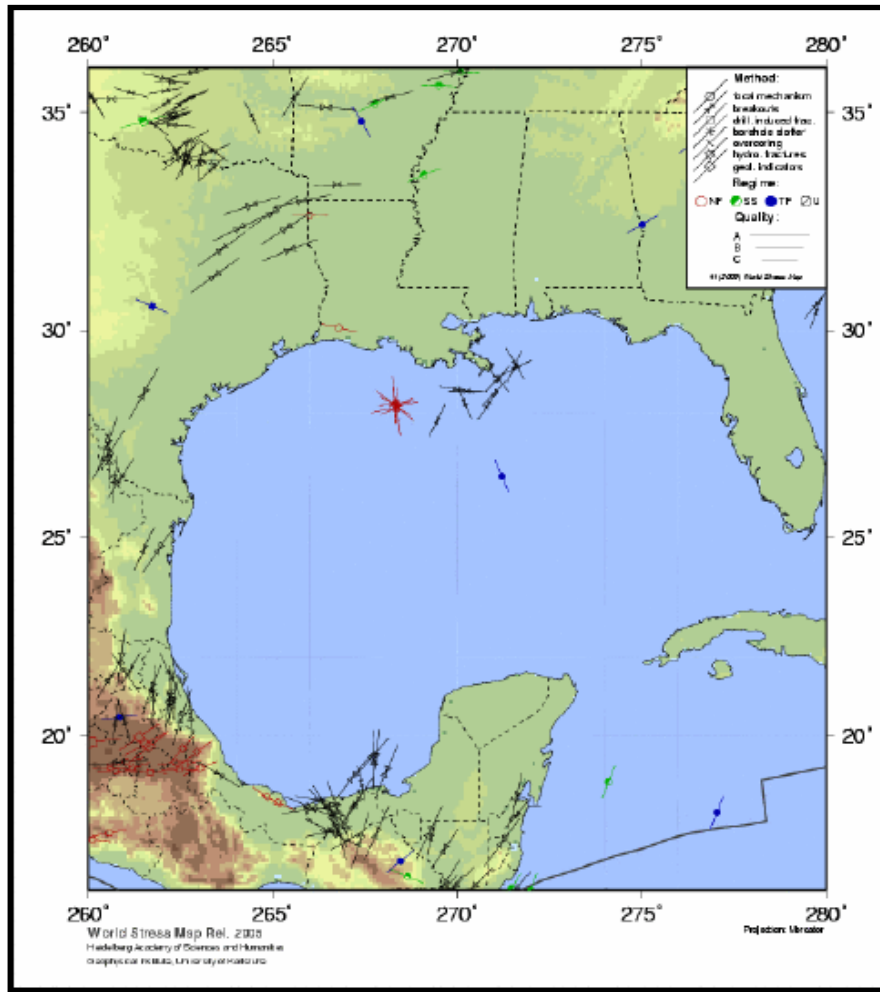


Fig. # 15.- Mapa de Dirección de Esfuerzos.





VI.- Apéndice

c) Software:

- ➡ Interpretación de Registros (Excel)
Autor: Dan Krigowski / 2003

- ➡ Cálculo de Esfuerzos Camaronero (Excel)

- ➡ Análisis de Sobrecarga Camaronero (Excel)

- ➡ Circulo de Mohr Camaronero (Excel)

- ➡ Ventanas de Estabilidad Camaronero (Excel)

VI.- Apéndice

d) Glosario

- **ACROSS.**- por, a través de , sobre.
- **ATTEMPTING.**- intentan.
- **BECAME.**- volverse, llegar a ser, hacerse.
- **BEHAVIOR.**- comportamiento.
- **BELIEVED.**- pensar, creer.
- **BENT.**- inclinación, tendencia.
- **BREAKOUTS.**- zona de menor esfuerzo, existe derrumbes, romper.
- **BRIEF.**- informe.
- **BROADLY.**- ampliamente.
- **CASED.**- revestido (TR)
- **CROOKEDNESS.**- desviación.
- **DRAWDOWN.**- Abatimiento, es la diferencia entre la presión estática y la presión de fondo fluyendo.
- **ENCOMPASSED.**- comprendiendo.
- **GAUGE.**- calibre.
- **HELD.**- sostener, tener, poseer.
- **INHIBITOR.**- Aditivo empleado para retardar una indeseable acción química de un producto.
- **IMPROVEMENTS.**- mejoras, progreso, mejoramiento.
- **ISIP.**- Presión al momento del paro en superficie (minifrac)+Ph= P cierre en el fondo de la fractura. (pero reflejada en la superficie).
- **KNOWN.**- saber, conocer.
- **LAST.**- ultimo, durar, por fin.
- **LED.**- llevar, conducir, guiar.
- **LITTLE.**- pequeño, poco.
- **MOL.**- La unidad fundamental de masa de una sustancia. Una mole de cualquier sustancia es el número de gramos o libras indicado por su peso molecular.
- **OFTEN.**- a menudo, frecuentemente, muchas veces.
- **OVERWHELMED.**- agobiar, colmar, inundar.
- **PATH.**- trayectoria.
- **PURSUIT.**- seguimiento, ocupación, empleo, búsqueda.
- **REGARD.**- contemplar, tomar en cuenta.
- **SCREENOUTS.**- taponamiento con sustentante.
- **SLEEVE.**- casquillo.
- **SLIDING.**- deslizar.
- **SMOOTH.**- suavidad.
- **STATED.**- declaro.
- **STILL.**- aún, todavía.
- **SUGGESTED.**- sugerido.
- **THUS.**- así, de esta manera, tan, tanto, de este modo.
- **TRULY.**- en verdad, realmente, sinceramente.
- **WISDOM.**- sabiduría, juicio, prudencia.
- **WHILE.**- mientras, aún.
- **WOULD.**- haría, podría.

VII.- Bibliografía

a) Artículos:

- Well Bore Breakouts and in Situ Stress
Mark D. Zoback, Daniel Moos, and Larry Mastin
Journal of Geophysical Research, Vol. 90, No. B7 pag 5523-5530, June 10,1985.
- Development of in-situ Stress Measurement Techniques for Deep Drill Holes
By Colleen Barton, August,1998.
- Log Calculation Spreadsheet (Simple Well Log Analisis Algorithms)
Dan Krygowski
- Formation Characterization: Rock Mechanics
M.C.Thiercelin, J.C.Roegiers
- Formation Characterization: Well Logs
Jean Desroches, Ton Bratton

b) Talleres:

- Taller de Geomecánica
Dr. Andres R. Vazquez †
Reynosa, Tamaulipas.
- Seminario de Geomecánica
Halliburton Energy Services
Región Norte

c) Materias de Apoyo de la Maestría de Ingeniería Petrolera y G.N.:

- Seminario de Investigación
M.I. José Manuel Reyes Aguirre
- Geomecánica
M.I. Joaquín Mendiola Sánchez
- Fluidos de Control
M.C. Jaime Ortiz Ramírez
- Perforación Avanzada I y II
Dr. Rubén Nicolás López
- Registros Geofísicos Avanzados
M.I. Héctor Ricardo Castrejon Pineda
- Trabajos de Investigación I, II y III
M.C. Jaime Ortiz Ramírez

d) Unidades de Apoyo para Información:

- Subgerencia de Ingeniería, R.N.
Nicolás Rodríguez Saucedo
Salvador Becerra Rosillo
Roberto Ariel Guzmán Guzmán
Agustín Jardinez Tena

➡ Subgerencia de Control y Soporte Operativo, R.N.

Moisés Esteban Cuellar Vázquez

Gabriel Armando Sosa Alva

➡ Subgerencia de Servicio a Pozos, R.N.

Luís Fernando Aguilera Naveja