

GEOMECANICA APLICADA A PERFORACIÓN DE POZOS

Preparado por: Ing. Luis Enrique
Morán Herrera



Society of Petroleum Engineers
Lima Section

GEOMECANICA

La Geomecánica es una disciplina técnica que se ocupa del diagnóstico, modelado y control de la deformación de la roca, contribuyen a mitigar factores de riesgo operativo, tales como inestabilidad del pozo, producción de arena, fracturamiento hidráulico, etc.

GEOMECANICA

Al iniciar la perforación, los esfuerzos están equilibrados.

Al perforar, estos esfuerzos y tensiones son distorsionados, manifestándose con diferente tipo de fallas de tensión, compresión, colapso, cizallamiento, etc.

¿POR QUÉ LA GEOMECÁNICA?

Factores asociados a la estabilidad de hoyo

1. Factores económicos

- Pérdida de tiempo
- Re-perforación de hoyos, pérdida de equipos ...
- Diferimiento de la producción
- **Desvalorización del activo.**

¿POR QUÉ LA GEOMECÁNICA?

Factores asociados a la estabilidad de hoyo

2. Factores de seguridad

- La probabilidad de reventones (Blowout) aumenta cuando hay problemas de inestabilidad.
- La frecuencia de accidentes aumenta cuando hay problemas

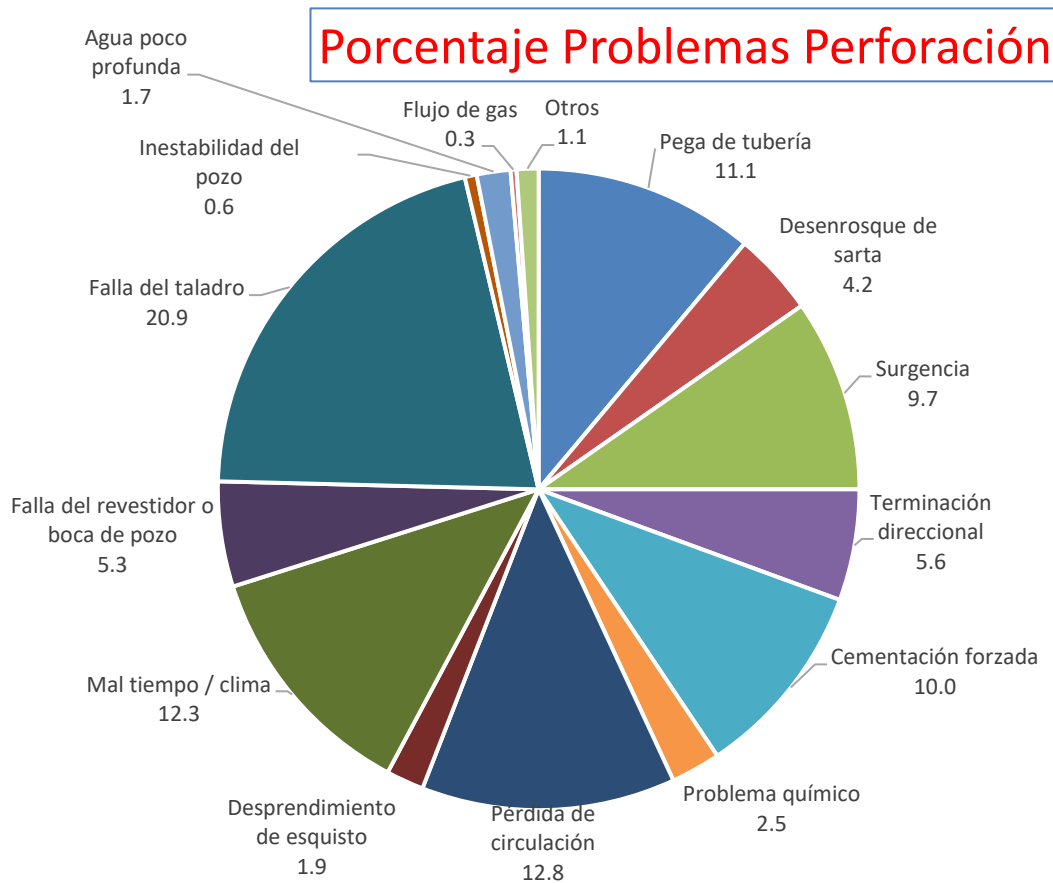
¿POR QUÉ LA GEOMECÁNICA?

Factores asociados a la estabilidad de hoyo

3. Factores ambientales

- Contaminación por crudo → Lodos invertidos-OBM
- Inyección de ripios
- Pérdidas materiales
- Hundimientos en superficie

COSTO DE PROBLEMAS EN PERFORACIÓN



Costo de Problemas = 24-27% del Costo Total de Perforación*

40% de los problemas están relacionados con la geomecánica

Costo para la Industria : \$0.6 a \$1.0 Billones en 2002

¿POR QUÉ LA GEOMECÁNICA?

- En 1997



Total E&P Costos
= \$82 billones
Costos de Perforación
= \$32 billones



Costos de Perforación
Relacionados a
problemas de estabilidad
\$3.2 billones

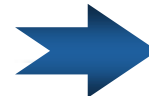
- En 2002



Where knowledge powers the E&P industry

Society of Petroleum Engineers

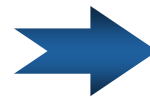
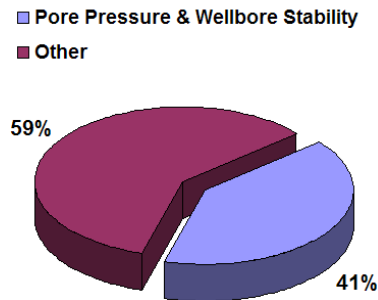
2002 SPE-ATW on Real-time Wellbore Stability



Todas las Mayores Compañías Operadoras
Estan de acuerdo que dentro de un
10 to 15 % de los presupuestos de perforación
Esta relacionado a problemas de Estabilidad !!

¿POR QUÉ LA GEOMECÁNICA?

- En 2004



Geopresiones y problemas de estabilidad
Generan unos costos anuales de aprox.
\$8 billones !!!

Offshore Magazine - Dodson Jan.2004

.....Igualmente retraso y pérdida producción tienen el costo!!

LAS ROCAS IMPORTAN: Realidades de la geomecánica

Debido a los avances en las técnicas de mediciones, modelado y monitoreo geomecánicos, las compañías de E&P pueden anticipar y mitigar los efectos de los esfuerzos y presión a lo largo de toda la vida productiva de sus campos petroleros.

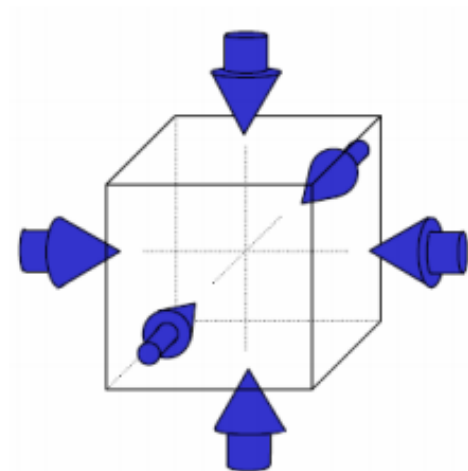
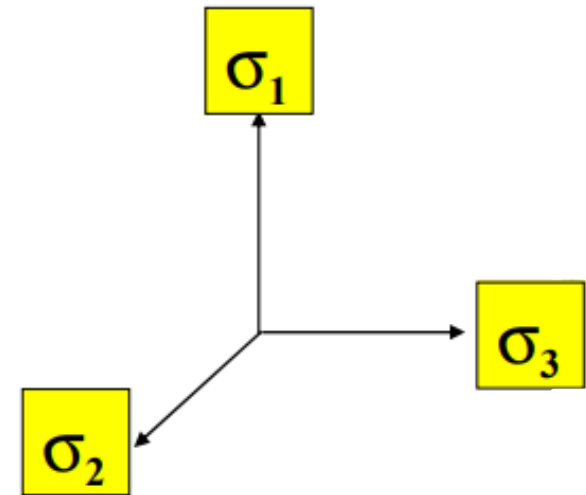
QUE NOS DICEN LAS ROCAS: Realidades de la geomecánica

Si los esfuerzos inducidos por las operaciones de perforación y producción no se toman en cuenta; los problemas y costos que implica, pueden exceder de manera significativa las expectativas iniciales de un operador.

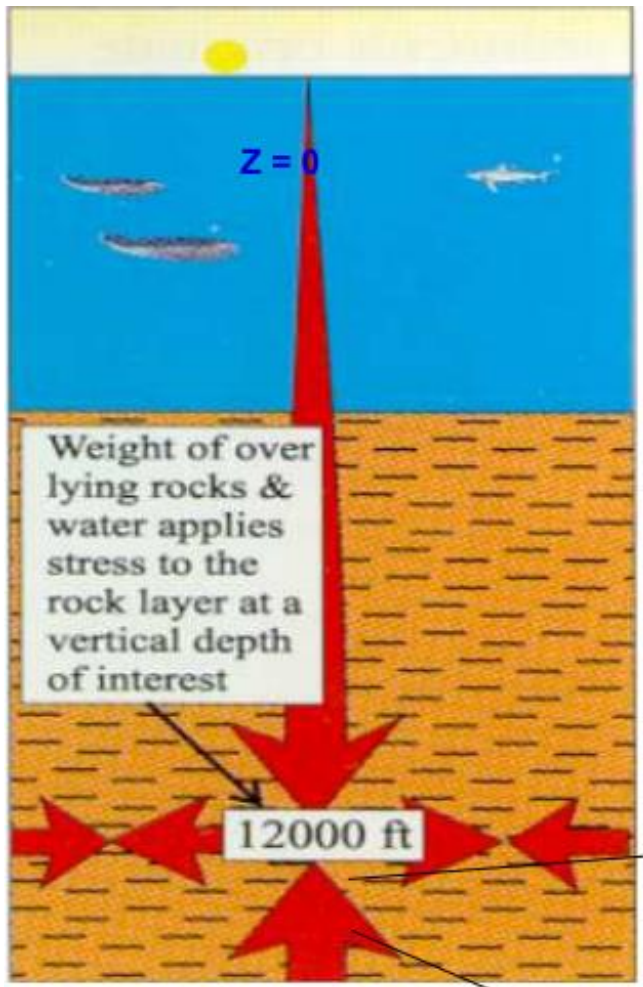
Por eso, las Cía. E&P tienen un interés creciente en el estudio de la Geomecánica.

ESTADO DE ESFUERZOS EN EL SUBSUELO

- Esfuerzos en la Formación
 - Esfuerzo de Sobre-Carga (“overburden”)
 - Esfuerzo Tectónico
 - Presión del fluido de la Formación
- Definiciones:
 - σ_1 = Max. esfuerzo compresivo (“overburden”)
 - σ_2 = Esfuerzo Compresivo Intermedio
 - σ_3 = Esfuerzo Compresivo Mínimo



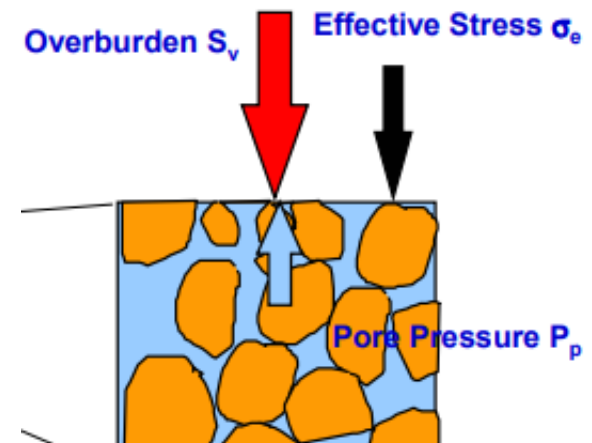
ESFUERZO DE SOBRECARGA: Overburden – σ_v



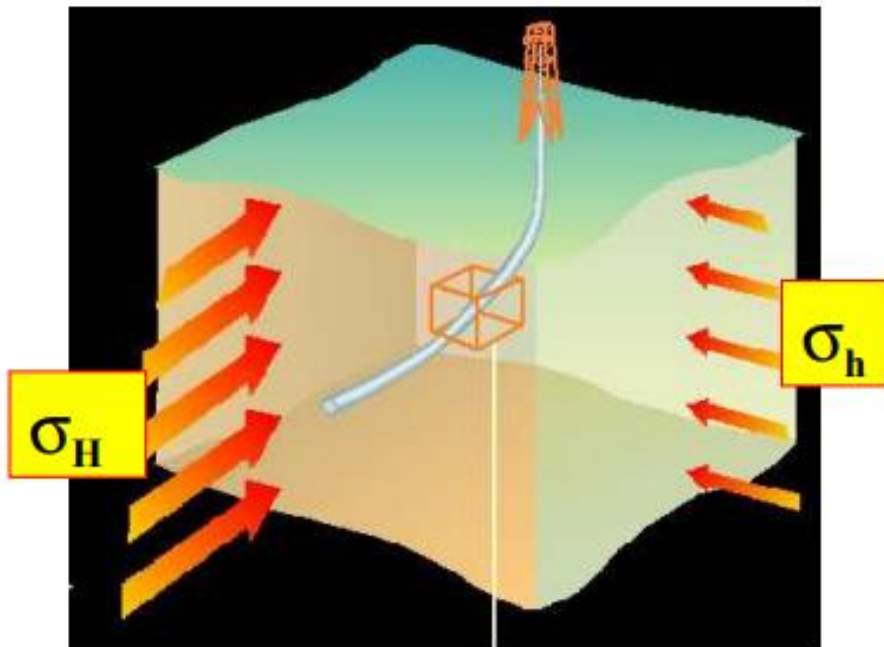
La presión ejercida sobre la formación debido al peso total de la roca y el fluido encima de la profundidad de interés.

Ley Terzaghi's:

$$\sigma_v = \sigma_e + P_p$$



ESFUERZO HORIZONTAL – σ_H y σ_h



En muchos ambientes de perforación a nivel mundial, los Esfuerzos Horizontales son iguales.

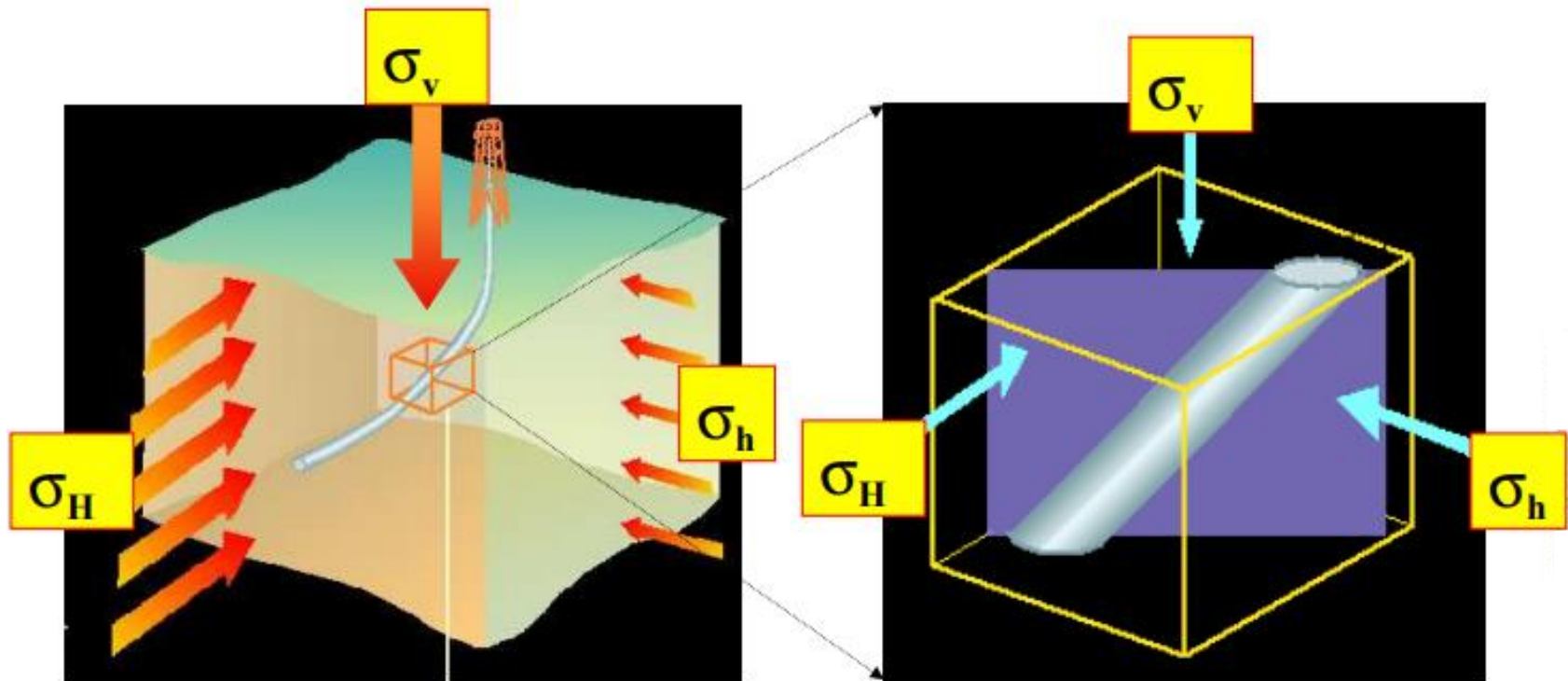
**Esfuerzo Horizontal
Máximo (σ_H)**

Estimado a partir de estudios de “Mecánica de Rocas”

**Esfuerzo Horizontal
Mínimo (σ_h)**

Determinado de XLOT = Presión Instantánea de Cierre de la fractura (P_{ci}) \approx Presión de Cierre de la Fractura (P_c)

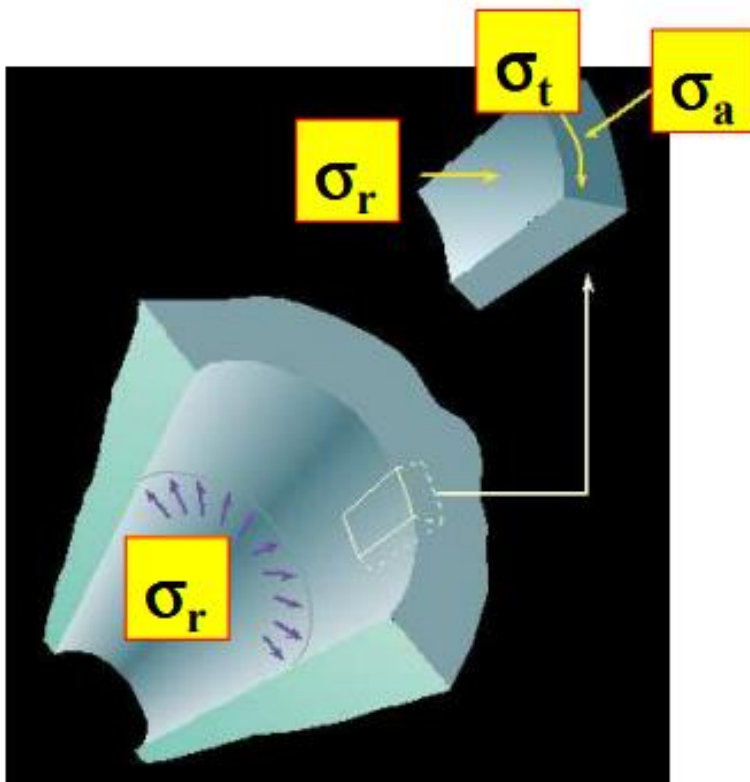
ESFUERZO DE CAMPO LEJANO – σ_v , σ_H y σ_h



Cuando un pozo es perforado, aparece un nuevo set de Esfuerzos conocidos como Esfuerzos del Pozo (influenciados por Esfuerzos de Campo Lejano y Densidad de Lodo)

ESFUERZOS DENTRO DEL AGUJERO

Esfuerzo Radial ($\sigma_r = MW - PP$) La presión ejercida por sobrebalance o por estar por debajo de la presión de equilibrio.



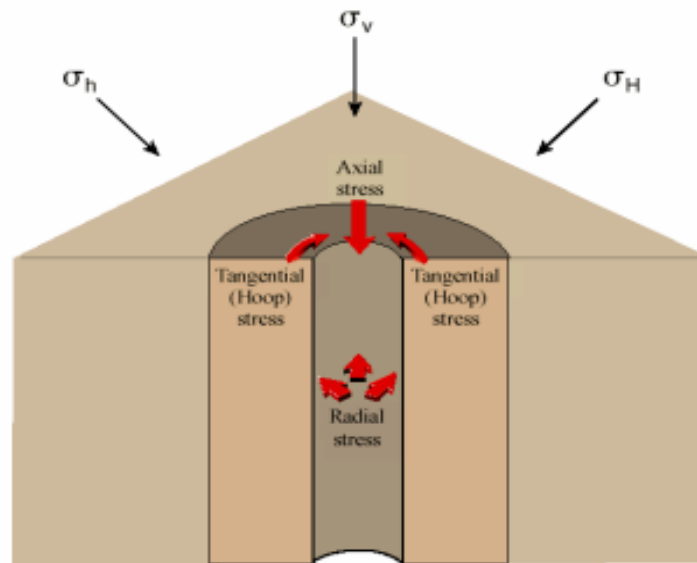
Esfuerzo Axial ($\sigma_a = \sigma_v - PP$) La presión efectiva ejercida por **overburden** (Terzhagi), a través de la roca.

Esfuerzo Tangencial ($\sigma_t = \text{Esfuerzo Diferencial} - \sigma_r$) El esfuerzo que actúa alrededor de la circunferencia del pozo, a través de la roca

$$\sigma_t \text{ min} = 3 \sigma_h - \sigma_H - MW - PP$$

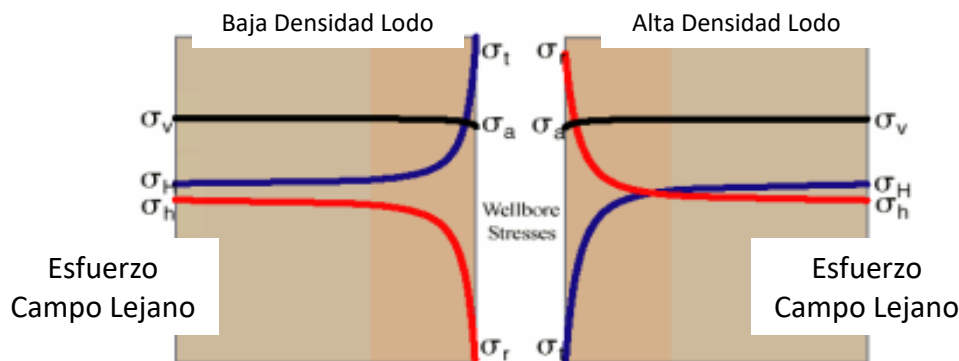
$$\sigma_t \text{ max} = 3 \sigma_H - \sigma_h - MW - PP$$

CAMPO LEJANO SOBRE ESFUERZOS DE POZO

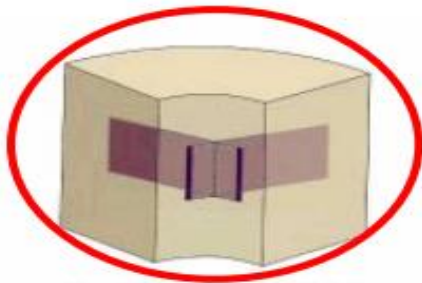


Si el Peso de Lodo es muy **BAJO** el Esfuerzo Tangencial se hace muy alto y el Esfuerzo Radial se hace muy bajo.

Si el Peso de Lodo es muy **ALTO** el esfuerzo tangencial se hace muy bajo y el Esfuerzo Radial se hace muy alto.



MODELOS DE FALLA DE CORTE (SHEAR) (6) Y DE TENSIÓN (TENSILE) (3)



Shear Failure Wide Breakout (Swbo)

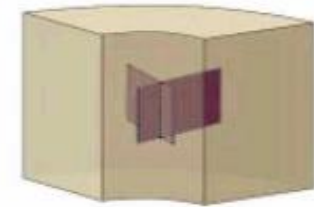
Más Común



Shear Failure Shallow Knockout (Ssko)



Shear Failure High Angle Echelon (Shae)



Shear Failure Narrow Breakout (Snbo)



Shear Failure Low Angle Echelon (Slae)



Shear Failure Deep Knockout (Sdko)

Más Común



Tensile Failure Cylindrical (Teyl)



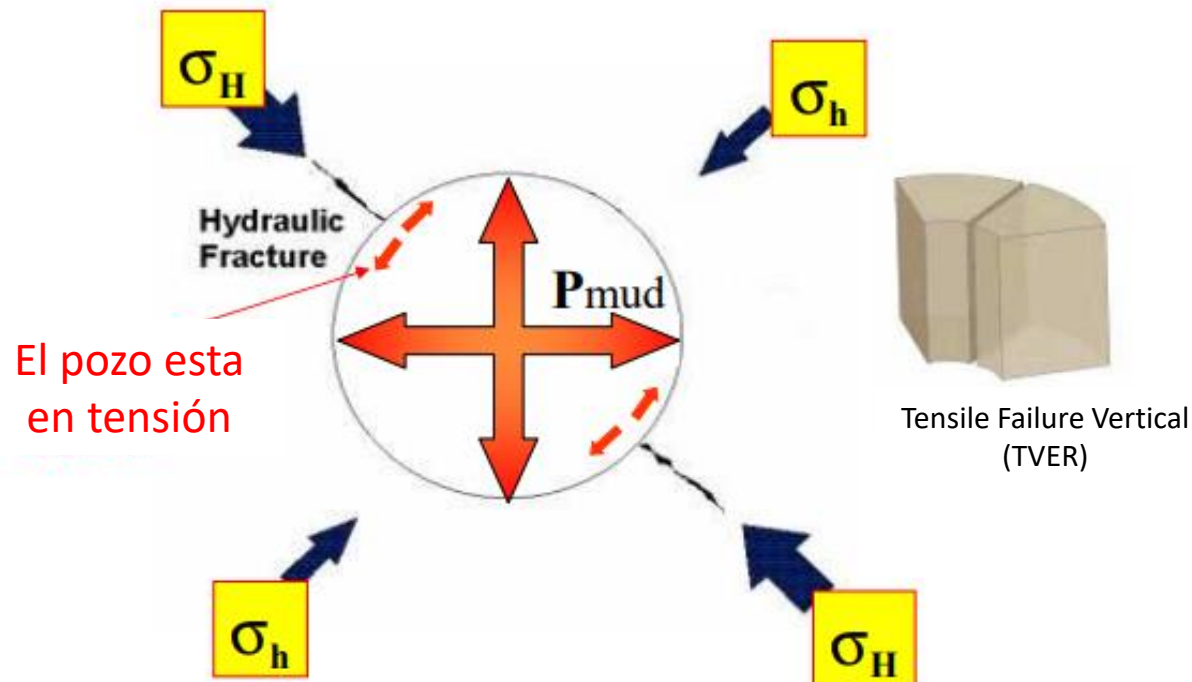
Tensile Failure Horizontal (Thor)



Tensile Failure Vertical (Tver)

EJEMPLO DE POZO VERTICAL

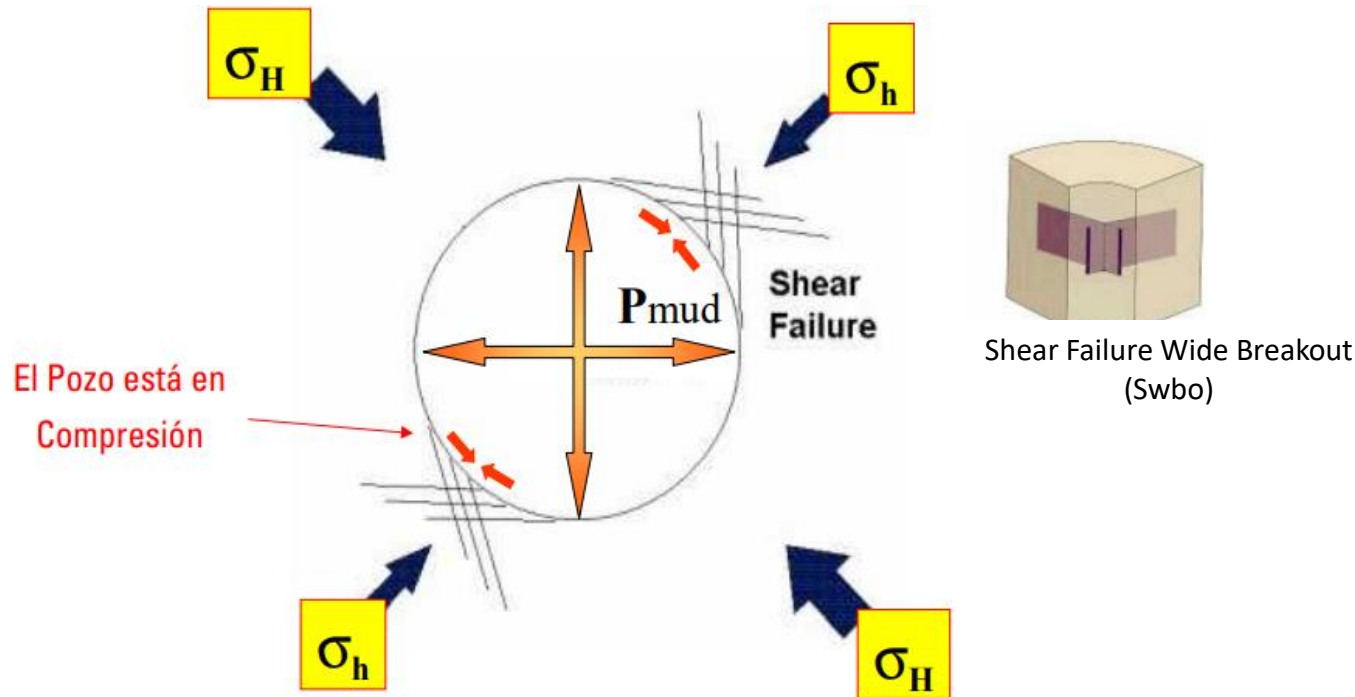
Fractura Hidráulica por Falla Tensil más común



Ocurre cuando cualquiera de los Esfuerzos tiene más tensión que la resistencia de tensión de la formación. Aquí, el *Esfuerzo Tangencial se pueden observar en tensión* y esto es lo que produce la Fractura.

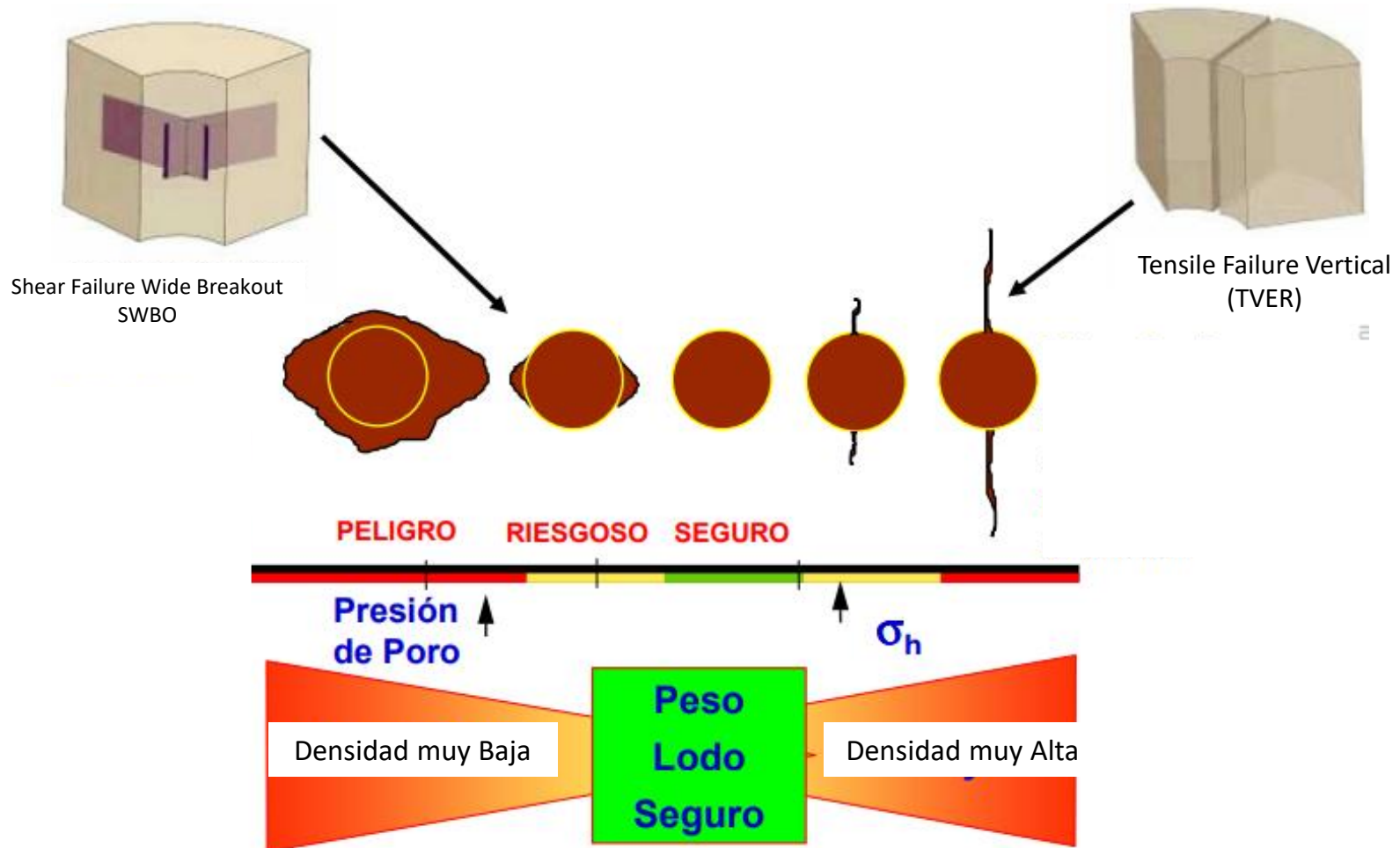
EJEMPLO DE POZO VERTICAL

Falla de Corte más común – Wide Breakout

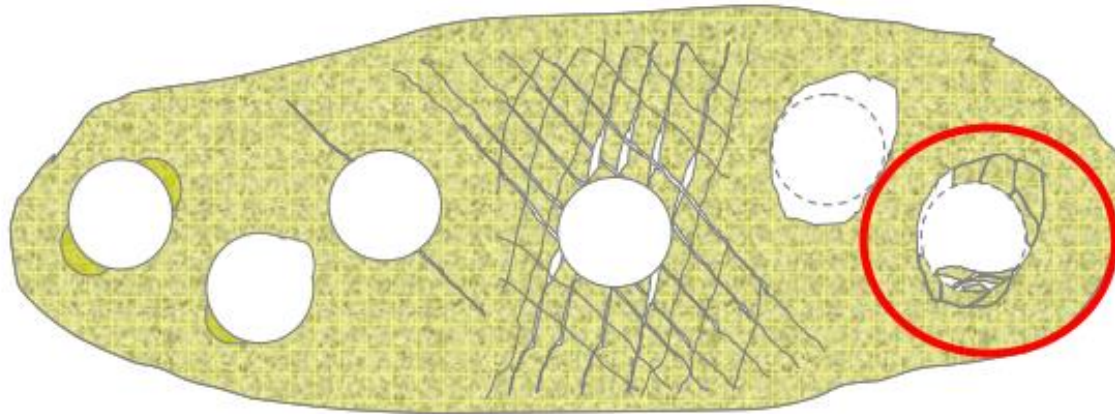


La falla ocurre cuando el Esfuerzo de Corte supera la Resistencia de Corte.
El Esfuerzo de Corte, equivalente a la diferencia entre el esfuerzo máximo y mínimo del pozo, ocurre debido a una falta de equilibrio entre los esfuerzos.

DENSIDAD DE LODO VS FALLA DEL POZO



FALLA DE LA FORMACIÓN Vs. FALLA DEL POZO



Los mecanismos en los últimos dos casos son exactamente los mismos, solamente las prácticas de perforación son diferentes: Fallas de Pozo pueden ser causadas por prácticas de perforación tanto como por inestabilidad.

TIPOS DE SÓLIDOS EN EL AGUJERO

Recortes de Broca



PDC



Tricónica



Derrumbes del Pozo



Astillado



Angular

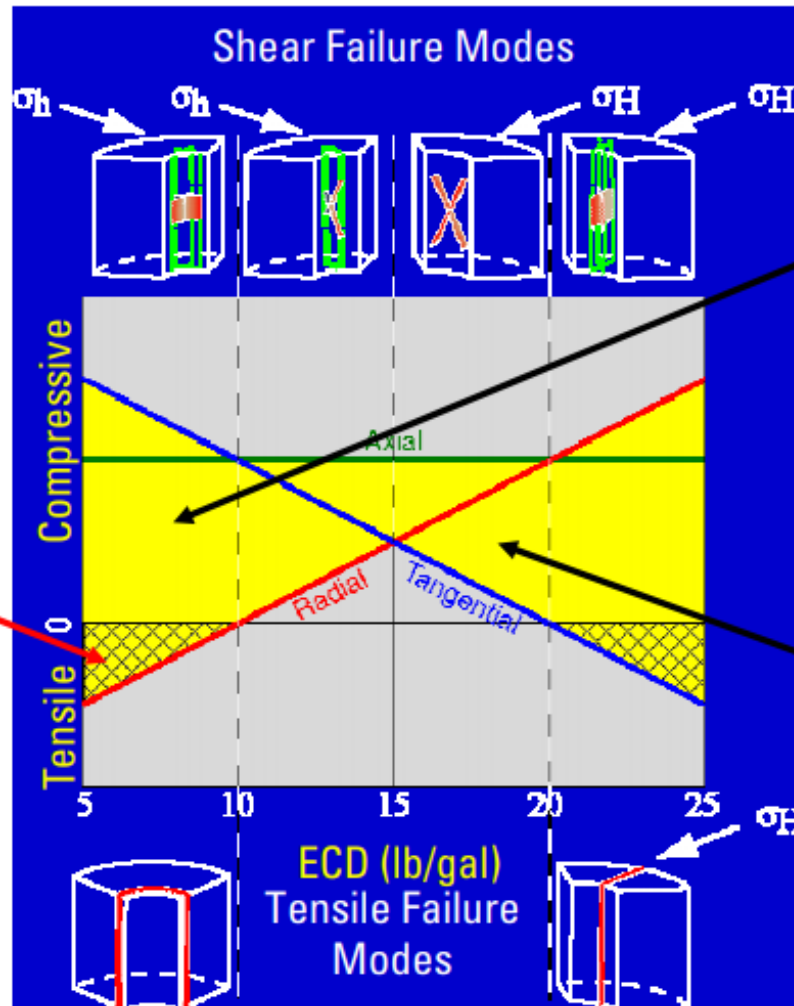


Bloque / caras planas

MORFOLOGIA DE DERRUMBE



Astillada

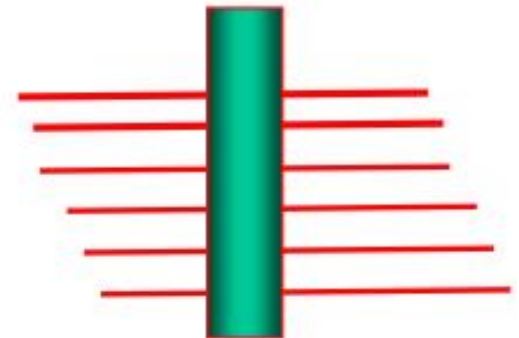
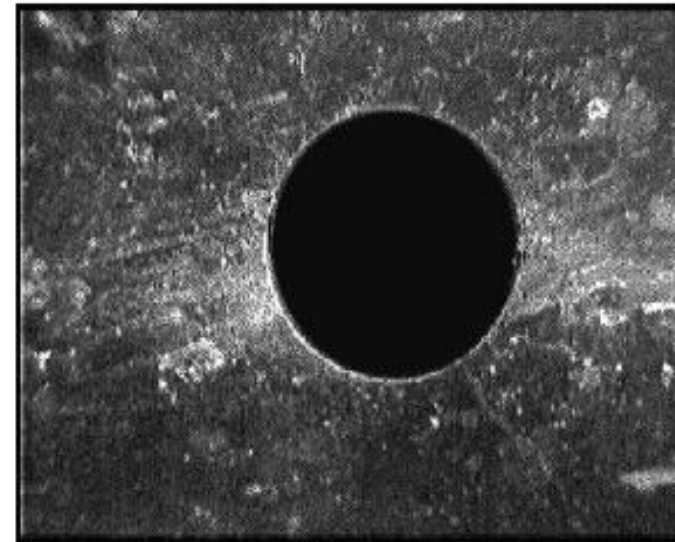
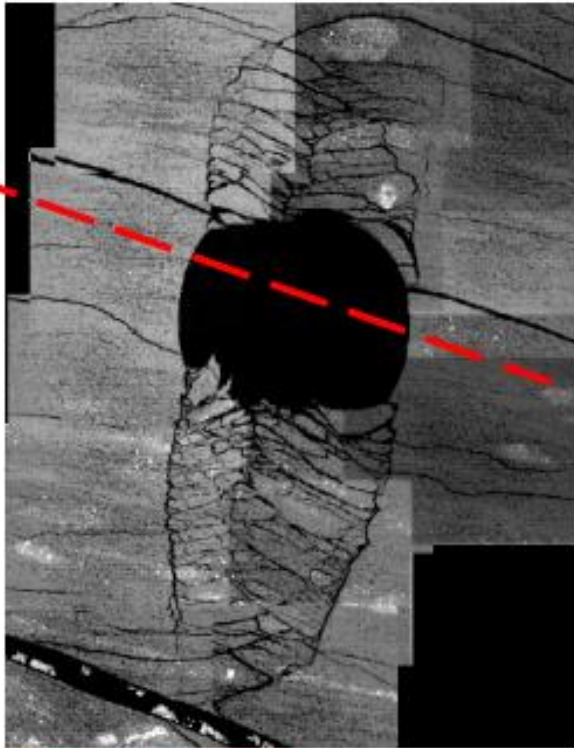


Angular



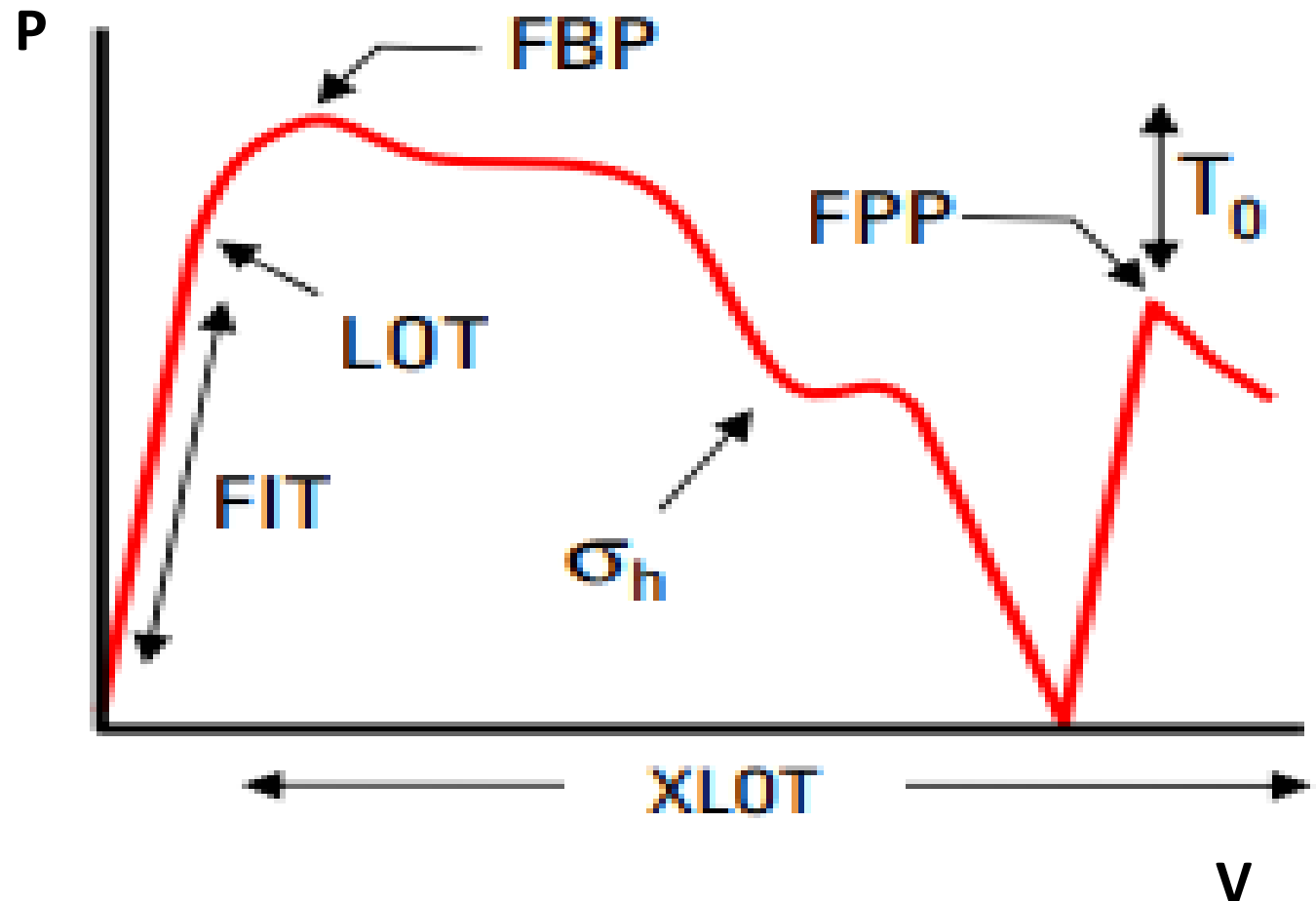
Bloque

DIRECCIÓN DE LA CAMA VERSUS DIRECCIÓN DEL POZO

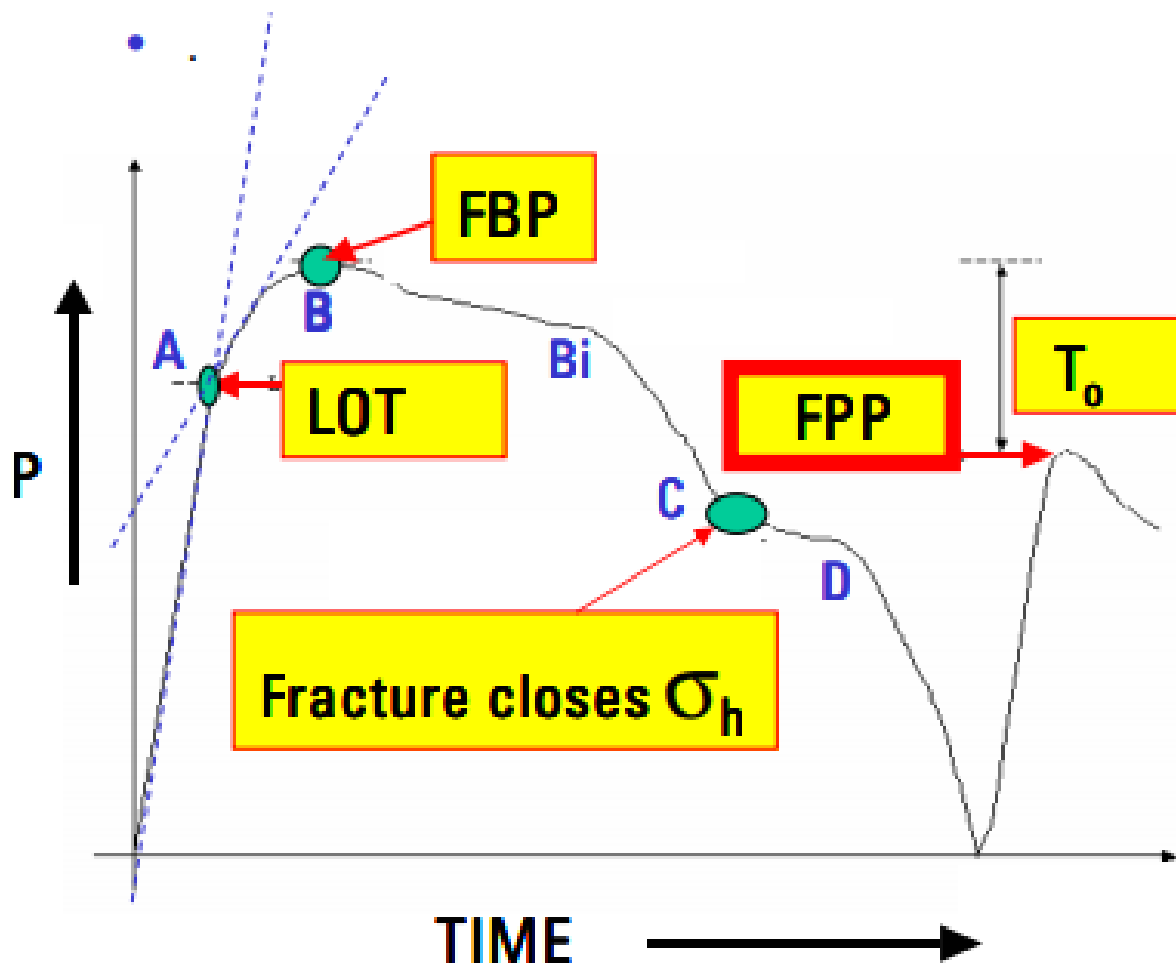


PRUEBAS DE PRESIÓN A LA FORMACIÓN

1. Formation Integrity Test (FIT)
2. Leak Off Test (LOT)
3. Extended Leak Off Test (XLOT)



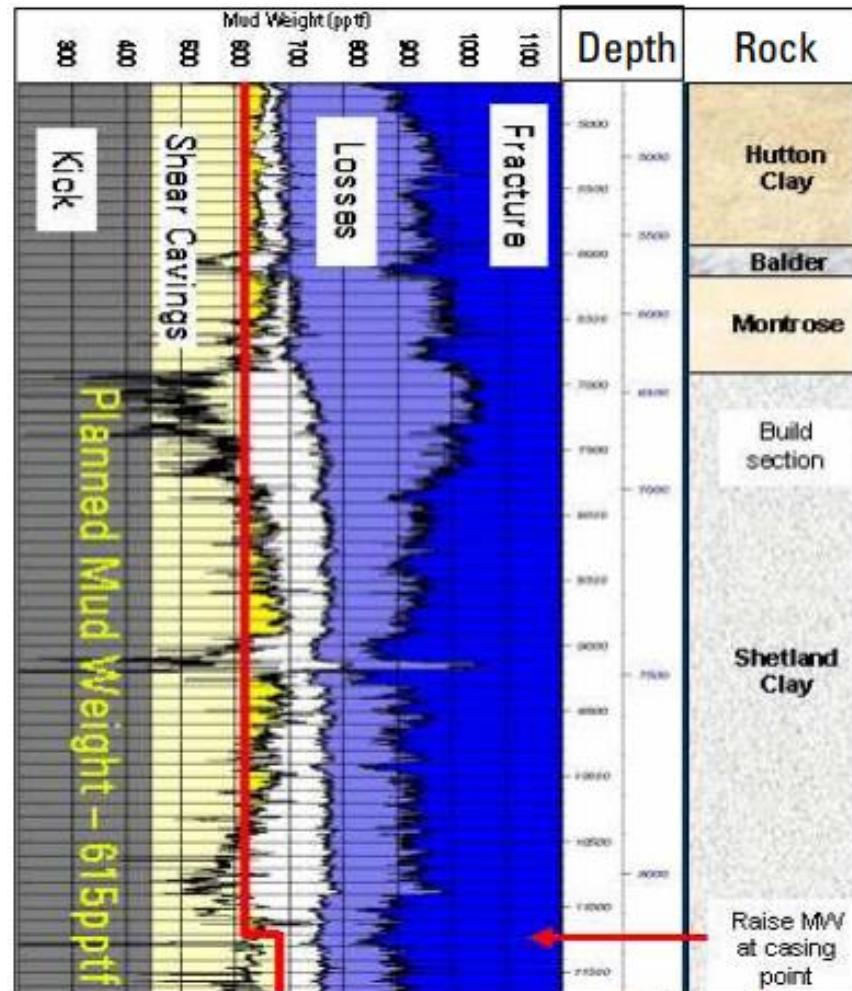
PRUEBA DE GOTEO EXTENDIDA (XLOT)



- FPP = Presión de Propagación de la Fractura (Fractura se Abre).
- FBP = Presión de Falla de la Formación.
- T_o = Resistencia de Tensión de la formación.

VENTANA DE DENSIDAD DE LODO

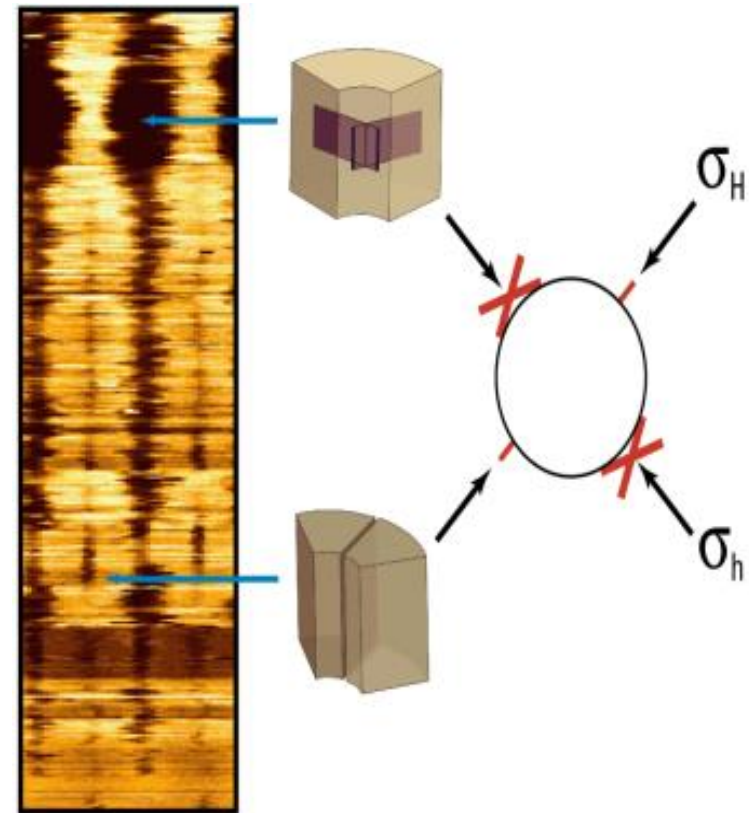
1. Gradiente de Fractura
2. Esfuerzo Mínimo Horizontal
3. Gradiente por Falla de Corte
4. Presión de Poro
5. Peso de Lodo Planeado



DIRECCIÓN DEL ESFUERZO

- Caliper.
- Herramientas de Imagen - WL o LWD.
 1. UBI, Forma del agujero/breakout perfil.
 2. FMI, Identificación características o eventos inducidos por la perforación.
 3. RAB, Orientación breakout /Eventos y/o Características inducidos por la perforación.
 4. ADN, Imágenes por cuadrantes del agujero.

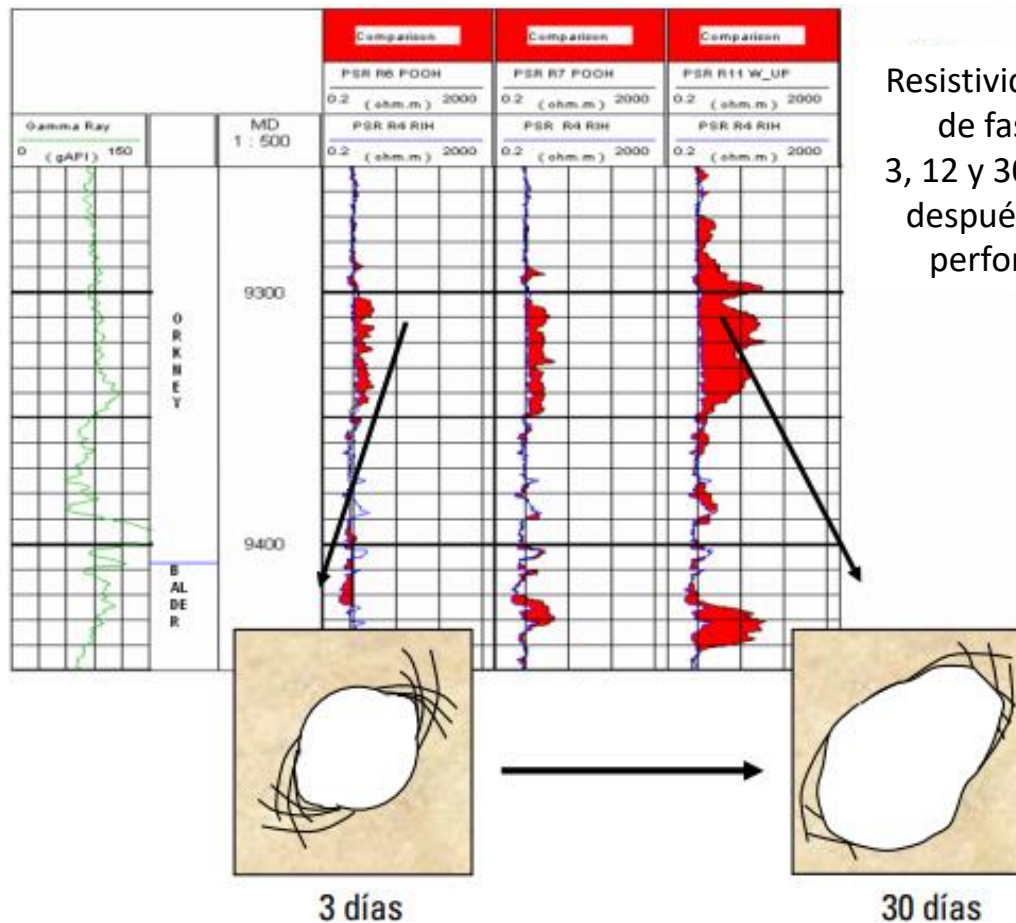
Nota: Esto puede identificar la dirección de los Esfuerzos Horizontales



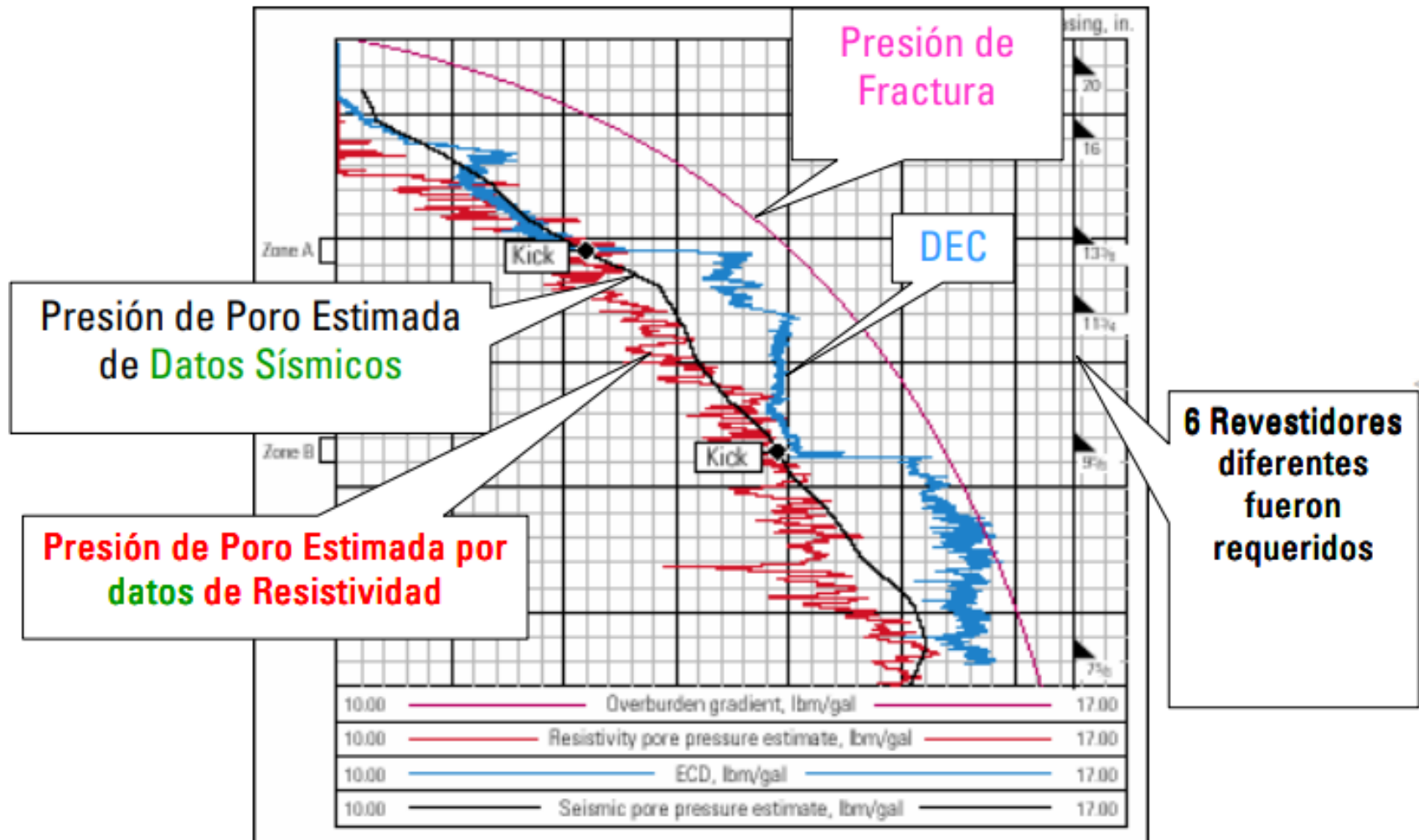
DIRECCIÓN DEL ESFUERZO

1. Cuando $\sigma_v > \sigma_H > \sigma_h$ (el caso usual) la condición más estable es perforar paralelamente al Esfuerzo Horizontal Mínimo.
2. Cuando $\sigma_H > \sigma_v > \sigma_h$ debes saber las magnitudes de los Esfuerzos y de esta forma predecir la dirección de perforación más estable.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FALLA: Tiempo



EL MODELO GEOMECANICO - CONCLUSION



APLICACIONES DE LA GEOMECÁNICA

Diseño Pozo y Formaciones Superficiales

Antes de llegar a los reservorios, la Geomecánica se aplica para:

1. La localización de pozo y plataforma
2. Planeación de la trayectoria del pozo
3. Determinación de los riesgos superficiales
4. Determinación de la densidad de lodo óptima.
5. Diseño del revestimiento.
6. Velocidad de penetración y optimización de perforación.
7. Diseño de brocas
8. Predicción de presión de poros.
9. Predicción y control de la estabilidad de las paredes del hoyo.

APLICACIONES DE LA GEOMECÁNICA

Zona de los Reservorios

En la zona de los reservorios se aplica para:

1. Determinar el estado de esfuerzos y caracterización.
2. Diseño de cañoneo.
3. Control de sólidos y diseño de completamiento.
4. Estabilidad del pozo.
5. Determinación de compactación y subsidencia
6. Simulación: fracturamiento e inyección y reactivación de fallas.

MODELACIÓN GEOMECÁNICA 1D

Pasos de la metodología aplicada:

1. Auditoría de información.
2. Análisis del Modelo estructural y de los eventos de perforación.
3. Análisis de la Estratigrafía mecánica y el comportamiento de la secuencia de rocas, de acuerdo a la profundidad del pozo.

MODELACIÓN GEOMECÁNICA 1D

4. Esfuerzo de sobrecarga por integración de la densidad de roca.
5. Perfil de presión de poros.
6. Propiedades mecánicas de la roca (elásticas y de resistencia).
7. Dirección de esfuerzos horizontales.
8. Magnitud de los esfuerzos horizontales mínimo y máximo.
9. Criterio de falla para determinar la estabilidad alcanzada por el pozo durante su perforación.

MODELOS GEOMECÁNICOS 3D

Es ampliamente utilizado para evaluar los problemas de estabilidad de pozo y optimización de la perforación en campos petroleros.

Consiste en generar una serie de modelos geomecánicos basados en registros de pozo y utilizar la información de geología estructural disponible para generar un modelo tridimensional que sea utilizado para analizar la estabilidad de cualquier trayectoria futura de pozos.

Los resultados pueden ser utilizados para llevar a cabo un estudio de fallas y calcular la presión de inicio de fractura.

MODELOS GEOMECÁNICOS 3D

Un modelo geomecánico 3D consta de tres etapas:

1. Recolección de información de los pozos en estudio, modelos geológicos estructurales, levantamientos geofísicos, modelos de velocidades, pruebas de campo y pruebas de laboratorio.
2. Elaboración del modelo geomecánico 1D, con los datos recolectados. Construcción de correlaciones entre registros de densidad y esfuerzos efectivos con velocidad.
3. Construcción del modelo geomecánico 3D: Estudio de estabilidad para nuevos pozos; análisis de estabilidad de fallas y presión de fractura en las formaciones que conforman el yacimiento.

EXPERIENCIA DE GEOMECANICA EN PERÚ

Operadora	Cía. Servicio	Lote	Campos
Pluspetrol	Schlumberger	Lote 192	Carmen, Huayuri, Camisea
Repsol	Halliburton	Lote 57	Kinteroni
Petrobras / CNPC	Schlumberger	Lote 58	Urubamba, Picha, Taini y Paratori
Cepsa	Schlumberger	Lote 131	Los Ángeles
Petrotal	Schlumberger	Lote 95	Bretaña Norte, Bretaña Sur
BPZ	Schlumberger	Lote Z 1	Corvina, Albacora

En América los países que mas estudios tienen de Geomecánica:
Colombia, Argentina, Brasil, México y EEUU.

**GRACIAS A TODOS LOS
PARTICIPANTES**

**Charla: Geomecánica Aplicada a
Perforación de Pozos**

Preparado por: Ing. Luis Enrique Morán Herrera



**Society of Petroleum Engineers
Lima Section**