

TECNICAS EN LA PREDICCION Y MONITOREO DE GEOPRESIONES DURANTE LA PERFORACION

Daniel M. Muñoz - *Knowledge Systems Inc. Stafford, Texas.*

INTRODUCCIÓN

Problemas durante la perforación son encontrados con frecuencia en zonas de presiones anormales.

Los problemas asociados a presiones anormales generan gastos mayores a 2 billones de dólares al año, a las principales Compañías de Petróleo alrededor del mundo. (Pozos Abandonados, Arremetidas, Problemas de estabilidad, pegas de tubería, daño de formación, corridas innecesarias de revestidores y altos costos del lodo).

El presente artículo provee una breve descripción de las últimas técnicas de Predicción de Geopresiones (Presión de Poro, Gradiente de Fractura y Gradiente de Sobrecarga), además una breve descripción del monitoreo en tiempo real.

PREDICCION DE LAS GEOPRESIONES

Las presiones anormales pueden ser creadas por diferentes mecanismos. El entendimiento de estos mecanismos es importante para identificar donde pueden ocurrir.

El 99% de las formaciones que presentan comportamientos de presiones anormales, son causados por las características de compactación de los sedimentos. Por lo tanto la gran mayoría de los métodos de predicción están basados en el concepto de sobre-compactación (Presión Anormal) o sub.-compactación. (Presión Sub. Anormal).

La metodología de predicción difiere de acuerdo a la información disponible del área en estudio.

GEOLOGIA REGIONAL

Para una apreciación total de los problemas de presiones anormales, se requiere un conocimiento profundo de la lito estratigrafía de la zona en estudio. También es necesario conocer la hidrodinámica, características de la estructura, mineralogía, y gradiente geotermal. Si una gran cantidad de data esta disponible, análisis estadísticos pueden llevarse a cabo con la ayuda de mapas, con propósitos de predicción, mostrando aspectos como litología, presión y compactación.

ADQUISICION DE DATA

Usualmente una de las etapas que mas tiempo lleva en un análisis de predicción de geopresiones es la recopilación de los datos. Una buena predicción requiere una combinación de datos geofísicos, geológicos y de perforación.

Los datos cuantitativos son aquellos que nos van a ayudar al calculo de la presión de poro, gradiente de fractura y gradiente de sobrecarga.

Por ejemplo el registro de densidad nos ayuda al calculo de la gradiente de sobrecarga, el registro sonico o la velocidad de intervalo puede ser usada para calcula el esfuerzo efectivo y la presión de poro.

Los datos cualitativos nos ayudan a predecir donde pueden estar localizadas las zonas de presión anormal.

Por ejemplo los reportes diarios de perforación o los registros de lodo (Mud Logging) que nos indican donde y cuando ocurrieron eventos que nos pueden indicar presiones anormales.

PREDICCION DE DATOS SISMICOS

En zonas de exploración donde no existen pozos de correlación o estos datos no son confiables debido a la complejidad geológica del área, se utilizan a los datos sísmicos como fuente de predicción de geopresiones.

Actualmente la data sísmica nos puede proveer numerosas pistas para la detección de presiones anormales

La velocidad de intervalo es el parámetro más usado para el análisis de predicción de geopresiones

Donde las estructuras no son complejas y la sección es lo suficientemente grande, es posible evaluar los tiempos de transito y calcular la velocidad de propagación para cada intervalo en la formación. (Pseudo-sonico)

Esta velocidad no solo esta en función de la densidad, porosidad y del fluido en la roca, también lo es de las propiedades elásticas y de las condiciones de los esfuerzos.

El primer paso para el análisis es Establecer las curvas del Profundidad / Velocidad trasladadas en tiempos de transito (Pseudo sonico)

La velocidad de intervalo es dependiente de la litología, y para cierta litología de su estado de compactación, para condiciones normales, la velocidad deberá aumentar con la profundidad.

En conclusión la velocidad para un intervalo dependerá de su máximo espesor, para una cuenca tectónicamente inactiva.

La curva de compactación normal cuando la velocidad esta expresada en escala logarítmica, es una línea recta y es conocida como tren de compactación.

Hay muchas leyes que ligan estos parámetros en una ecuación.

La ley de Chiarelli – Serra

$$V = Ae^{BZ}$$

$\log V = A + BZ$ En escala - logarítmica

Donde: V=Velocidad de intervalo

A= constante

B = constante

Z = Profundidad

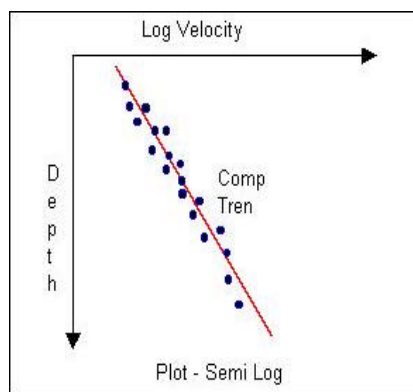


Fig 1.0

DETECCION DE PRESIONES ANORMALES DURANTE LA PERFORACION

Una detección temprana de una zona de alta presión es clave para un buen control del pozo.

Originalmente los métodos de detección de presiones anormales están basados en el comportamiento de los parámetros de perforación y su relación con las variaciones de compactación. Ya sea rata de penetración, presión diferencial, peso sobre la broca, velocidad rotación, exponente “d”, etc.

Desde hace 20 años, el exponente “d” es usado como indicador de perforabilidad. La perforabilidad es dependiente de la

compactación, es por eso que este fue uno de los métodos mas usados para la detección de presiones anormales.

La incertidumbre en los valores de los parámetros de perforación y la poca aplicabilidad de la formula del exponente “d” en ciertas áreas, hace que sea una herramienta poco confiable.

Otros métodos durante la perforación es monitoreo del corte da gas, gas asociado y gas de conexión.

METODOS DESPUES DE LA PERFORACION

Principalmente los métodos post perforación están basados en el análisis de los registros eléctricos.

La interpretación de los registros básicamente es el comportamiento de las curvas con el parámetro de porosidad de las lutitas o arcillas.

Cambios en la porosidad de la lutitas pueden confirmar o definir una zona de presión anormal.

Resistividad / Conductividad

La resistividad de las arcillas es uno de los métodos mas antiguos para la detección de presiones anormales.

Como las matrices de las arcillas tienen muy baja conductividad, entonces la resistividad medida depende de su porosidad, la naturaleza del fluido entre sus poros y la sal disuelta en esta.

Bajo condiciones normales de compactación, la resistividad de las arcillas incrementan con la profundidad, debido a la disminución de la porosidad por efecto del peso de los sedimentos.

Sonico

Una herramienta sonico mide el tiempo de transito de la onda, por pie, en una dirección vertical, en los alrededores del hoyo.

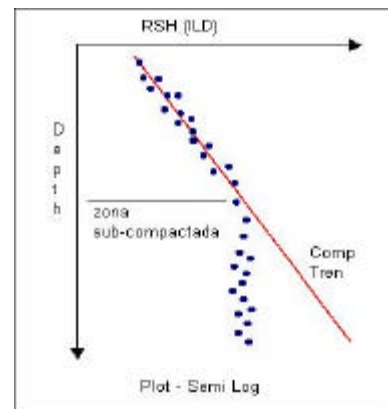


Fig 2.0

Los resultados son expresados en tiempos de transito para un intervalo dado en microsegundos por pie.

En un medio arcilloso, el tiempo de transito sonico puede ser derivado usando la siguiente formula

$$Dt = f Dt_f + (1-f) Dt_m$$

Donde : Δt =Tiempo de transito medido ($\mu\text{sec}/\text{ft}$).

Δt_f = Tiempo de transito en el fluido. ($\mu\text{sec}/\text{ft}$).

Δt_m = Tiempo de transito en la matrix ($\mu\text{sec}/\text{ft}$).

ϕ = porosidad

Los tiempos de transito son mas rápidos en la matriz que en los fluidos.

Por lo tanto para una litología dada el tiempo de transito depende de la porosidad.

Al trazar la curva TT (Tiempo de transito) / Profundidad. Para una litología constante, la curva de compactación normal puede ser tomada como una línea recta.(Figura 3.0)

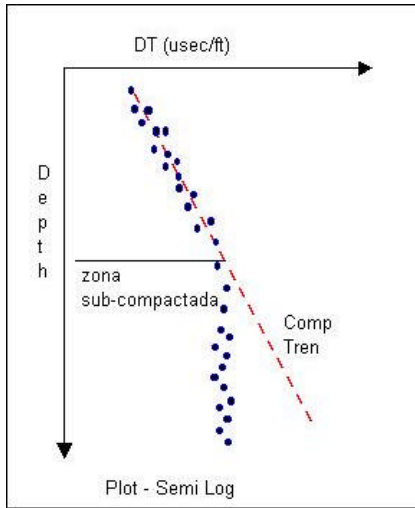


Fig 3.0

ESTIMACION DE LA PRESION DE PORO

Todos los métodos de estimación de la presión de poro están basados en la premisa que la presión de poro esta directamente ligada a las propiedades de las lutitas asociadas a la compactación, como porosidad, densidad, velocidad sonica y resistividad.

Los métodos Horizontales son los mas utilizados para la estimación de la presión de poro.

Estos métodos se basan en la ecuación de Terzaghis (1943) que define a la presión de poro como la diferencia entre el esfuerzo vertical o de sobrecarga menos el esfuerzo efectivo.

$$S = s + P$$

Donde:

S = Esfuerzo de Sobrecarga.
 σ = Esfuerzo de Matrix Efectiva
P = Presión de Poro

El esfuerzo efectivo se define como la reacción vertical de la matriz al peso de los sedimentos. (Figura 4.0)

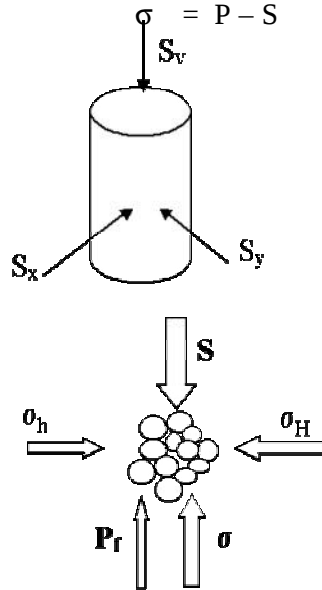


Fig 4.0

El método de Eaton(1975) consiste en las siguientes ecuaciones:

Velocidad de Sonico V:

$$\sigma = \sigma_N (V / V_N)^3$$

Velocidad de intervalo Dt :

$$\sigma = \sigma_N (\Delta t_N / \Delta t)^3$$

Resistividad R:

$$\sigma = \sigma_N (R / R_N)^3$$

Conductividad C :

$$\sigma = \sigma_N (C_N / C)^3$$

El subíndice N denota el valor en la línea de compactación normal a la profundidad de interés.

Se aplica para velocidades de intervalo, resistividad / conductividad y sonico. También puede ser extendido a registros de densidad.

La figura 5.0 ilustra método de Eaton.

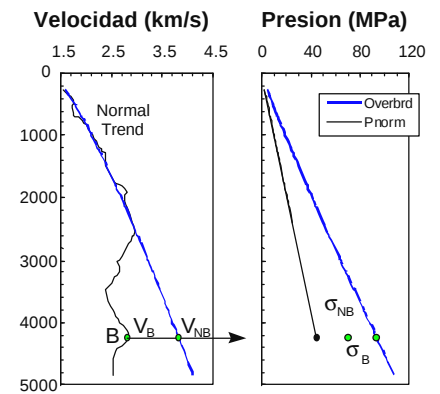


Figura 5.0

GRADIENTE DE FRACTURA

Los metodos mas usados en el calculo de la gradiente de fractura, son los metodos del Mínimo Esfuerzo.

Estos se basan en la ecuacion de Hubbert & Willis (1957)

$$FG = K (OBG-PPG) + PPG$$

Donde:

FG = Gradiente de Fractura
OBG = Gradiente de Sobrecarga
PPG = Gradiente de Presion de Poro
K = Relacion de Esfuerzo Efectivo, tambien llamado coeficiente del esfuerzo de la matriz.

La diferencia en los metodos es como se ha determinado la relacion de esfuerzo efectivo (K). K puede ser determinado localmente com mediciones de gradiente de fractura medidas en las pruebas de integridad usando la siguiente relacion:

$$K = (FG-PP) / (OBG-PPG)$$

Eaton (1969) definio a K como:

$$K = n / (1 - n)$$

Donde :

v = Coeficiente de Poisson.

El coeficiente de Poisson es un parametro directamente relacionado con las propiedades elasticas de las rocas.

Coefficiente de Poisson, pueden ser calculados de la data de los registros sonicos.

Drillworks/ PREDICT

Desde hace 15 años Knowledge Systems viene desarrollando el PREDICT. El PREDICT es un software para la detección de la presión de poro, gradiente de fractura y gradiente de sobrecarga antes, durante (Tiempo Real) y después de la perforación.

Un verdadero conocimiento de la presiones de poro, es fundamental para un buen diseño de revestidores y un peso de lodo ideal que nos va a permitir aumentar la seguridad y la eficiencia de perforación.

El análisis en Predict se basa en los métodos antes descritos y en la cuantificación de estos. Es muy flexible en la metodología del calculo, ya que el usuario puede agregar o variar las correlaciones y modelos matemáticos.

Los gráficos 6,7 y 8 son ejemplos de análisis hechos en pozos reales usando el Predict.

MONITOREO DE LAS GEO-PRESIONES EN TIEMPO REAL

El monitoreo de las presiones en tiempo real es un servicio de Knowledge Systems basado en la transferencia de datos de las herramientas LWD y su procesamiento instantáneo en el Predict. Por lo tanto podemos manejar un dato real de presión de poro y gradiente de fractura en tiempo real.

El Predict se comunica con las herramientas por medio del protocolo WITS de transferencia de datos, standard en la industria.

Los resultados pueden ser enviados via satélite o por Internet, al operador.

Son muchas las experiencias exitosas de este servicio.

El monitoreo en tiempo real permitió un ahorro de 1.8 MM de dólares a Santa Fe Energy Resources, reduciendo el tiempo de perforación al eliminarse in liner intermedio.

Con la reducción de un revestidor y tiempo de perforación, el monitoreo en tiempo real les produjo en ahorro de 7MM de dólares a Shell Norske, Mar del Norte.

ANALISIS DE GEOPRESIONES DRILLWORKS/PREDICT

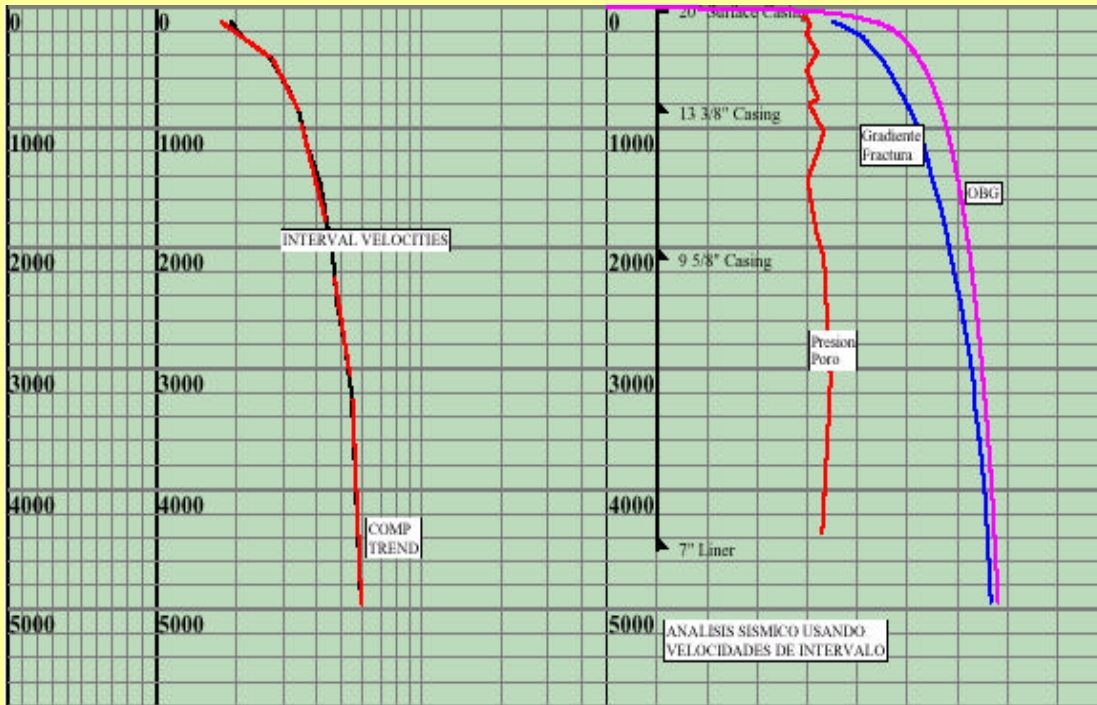


Figura 06 :análisis Sísmico

Figura 06: análisis Sísmico de la Cuenca Lancones, Norte del Perú.

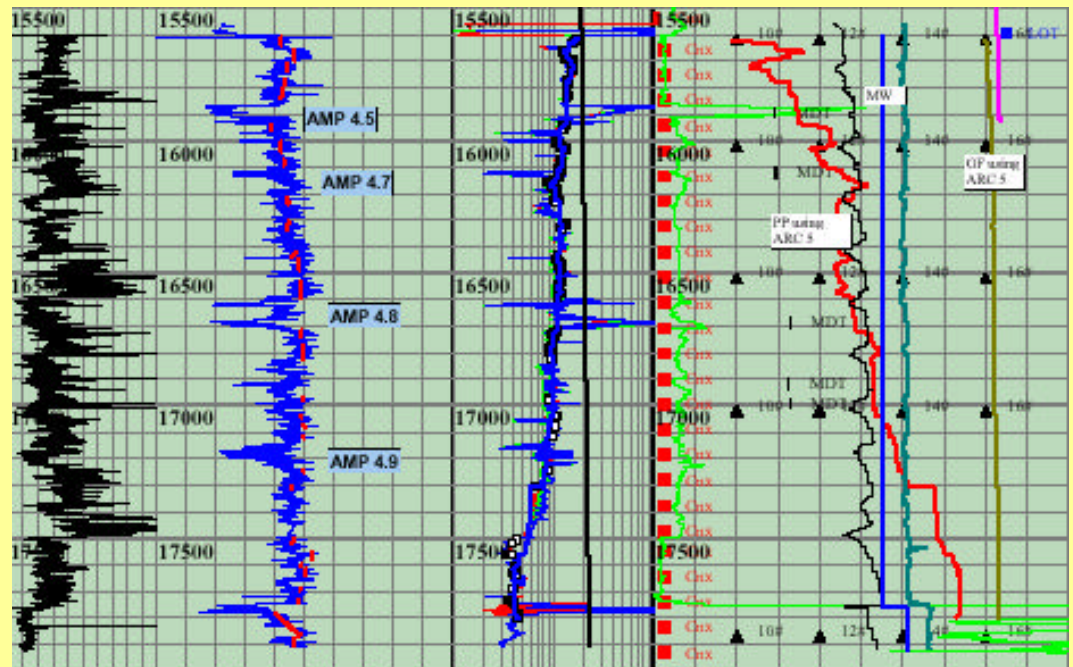


Figura 07: análisis en Tiempo Real

Figura 07: análisis En tiempo real usando Predict recibiendo datos De una herramienta Arc5. Golfo de México

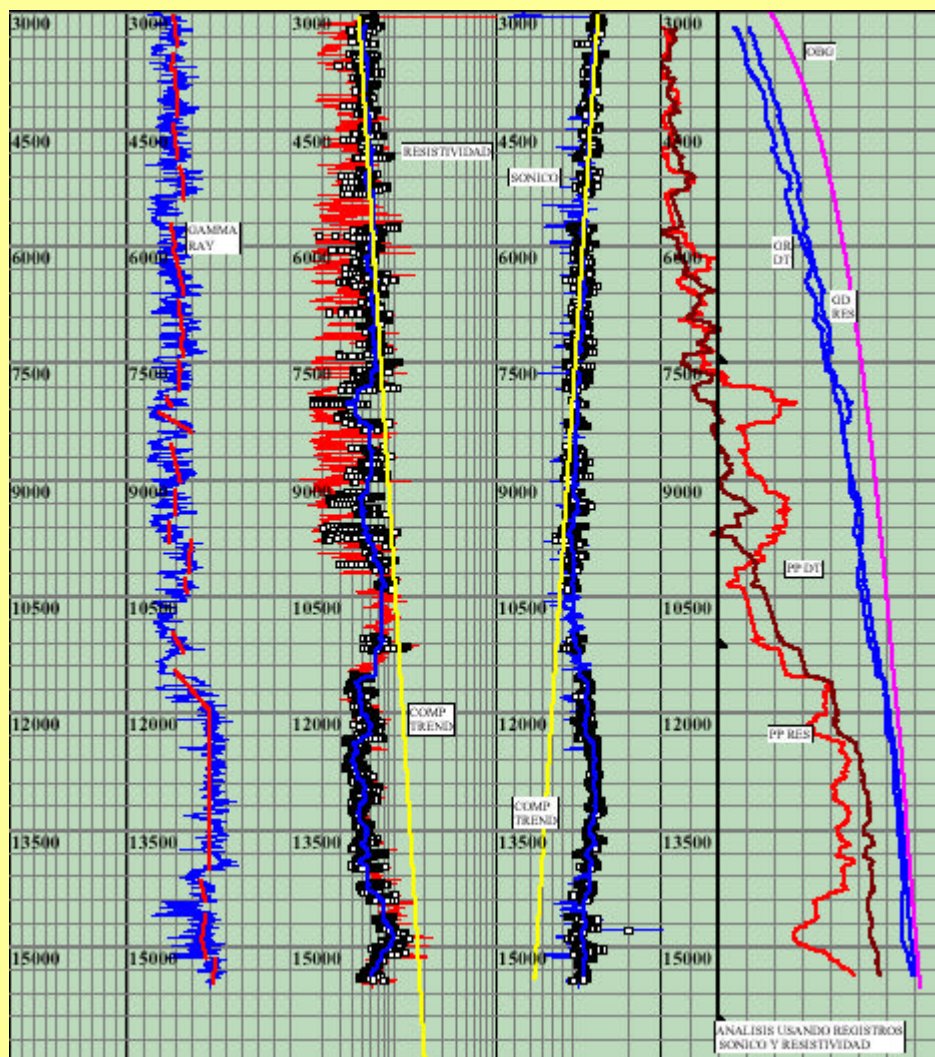


Figura 07 : análisis usando Resistividad v Sonico

Figura 08: análisis Usando Registros Sonico y Resistividad. Campo Borboruta. Venezuela