

### MEDICIONES DURANTE LA PERFORACION

Autor: Ing. J.C. Raynaud

Anadrill

## MEDICIONES DURANTE LA PERFORACION

### SINOPSIS

El sistema de mediciones durante la perforacion ha estado disponible en el mercado a partir del año 1978, siendo sin embargo en una mas reciente fecha cuando se ha dispuesto de un sistema mas completo y sofisticado para la medicion de ciertos parametros geologicos y de perforacion, en tiempo real mientras se perfora. Estas medidas realizadas cerca del trepao son: radioactividad natural de la formacion, resistividad de la formacion, temperatura anular, peso sobre el trepao al fondo, torque sobre el trepao al fondo, desviacion y direccion del pozo, y la orientacion o posicion de la herramienta. Estas medidas son enviadas a la superficie para su procesamiento e interpretacion por medio de una onda continua de presion a travez del lodo dentro de la tuberia de perforacion. Las senales son detectadas en superficie donde son procesadas e interpretadas por medio de un sistema computarizado altamente flexible; la informacion puede ser graficada en tiempo real en un registro continuo multiescala, presentada digitalmente en monitores de video, impresa en papel y almacenada en cintas magneticas.

El presente trabajo analiza el sistema de MWD que suministra estas medidas en tiempo real mientras se perfora. Asi mismo se hace enfasis sobre ejemplos especificos acerca de la utilizacion de estas medidas en la evaluacion de formaciones y para mejorar la eficiencia y el control de la perforacion del pozo. Asi mismo se presentan someramente los nuevos adelantos en la tecnologia MWD los cuales estaran disponibles comercialmente hacia fines del corriente ano.

### 1- INTRODUCCION.-

A pesar de los problemas relacionados con la baja actividad de la industria petrolera en los anos recientes, el desarrollo y mejora de los sistemas de MWD existentes desde el ano 1978 continuo a un ritmo satisfactorio, pudiendose hoy contar con sistemas que permiten realizar mejores medidas en cantidad y calidad, mientras se perfora, asi como tambien transmision de datos a la superficie en mayor densidad y velocidad. A continuacion se describen las herramientas que comprenden la generacion en uso del sistema de MWD, de igual manera se discutira brevemente el desarrollo de la segunda generacion.

## CONFIGURACION DE LA HERRAMIENTA Y SISTEMA DE MEDICION Y TRANSMISION

La herramienta consiste de un cartucho electronico montado en el interior de un collar de perforacion no-magnetico, como se muestra en la figura 1. La energia necesaria para operar los sensores y el sistema de transmisiones es suministrada por una turbina - alternador activada por el lodo de perforacion, la cual se encuentra ubicada cerca del fondo de la herramienta. La informacion es transmitida a la superficie mediante un sistema de telemetria de presion de lodo de alta frecuencia y alta densidad de datos. Este sistema utiliza una onda portadora de presion a 12 Hertz, continua, sobre la cual las palabras de datos son codificadas usando modulacion de desplazamiento de fase. Las senales de presion son detectadas en superficie en el Stand Pipe y convertidas en senales electricas para su decodificacion y procesamiento.

Existen dos metodos diferentes de aplicacion del sistema, fig.2, dependiendo de las aplicaciones; en la perforacion rotaria convencional las medidas incluyen la resistividad de formacion, la radioactividad natural de la formacion, la direccion e inclinacion del pozo, la temperatura anular y peso y torque sobre el trepano al fondo. En la perforacion direccional con motor de fondo y bent subs, la herramienta se configura como una herramienta de navegacion (steering tool), en cuyo caso las medidas que se envian a la superficie son las mismas excluyendo la resistividad de formacion y la temperatura anular.

La frecuencia de las mediciones en el modo rotacional es de cada 27 segundos para la resistividad y los rayos gamma, y cada 54 segundos para la temperatura, el peso y torque sobre el trepano. Los datos de direccion e inclinacion son transmitidos cada vez que el flujo comienza, o cada vez que se conecta un tubo.

## VENTAJAS DE LAS MEDIDAS DE FONDO EN TIEMPO REAL

La ventaja mas significativa de la tecnologia MWD es que suministra las medidas de fondo de pozo y su interpretacion en tiempo real; aun mas, estas medidas son realizadas antes de que ocurran danos sustanciales al pozo asi como antes de que el proceso de invasion haya afectado significativamente a la formacion, consecuentemente las evaluaciones correspondientes pueden ser hechas con cierto grado de precision, lo cual no puede ser hecho durante el perfilaje convencional. Por otra parte las medidas de peso y torque sobre el trepano al fondo, de reciente incorporacion, permiten tomas de decisiones concernientes al proceso y mecanica de la perforacion en tiempo real.

El impacto del MWD en la seguridad de las operaciones de perforacion es significativamente importante. Al tiempo que suministra una medida de

alta confiabilidad para la detección de presiones y metodología para su predicción con las medidas de resistividad, las medidas de MWD son también usadas para detectar el inicio de problemas operacionales tales como las pegas diferenciales y el desgaste de los trepanos en formaciones blandas, así como también permiten la optimización de la utilización de trepanos PDC. Por otra parte, la toma de registros direccionales en forma continua y rápida significa evitar problemas de atascamiento al no tener la sarta de perforación estática y de igual manera permite perforar los pozos de acuerdo a la trayectoria deseada. Las medidas de rayos Gamma y resistividad de la formación son auxiliares notables en la selección de los puntos de asentamiento de canerías así como también para la evaluación primaria de las zonas con hidrocarburos, y correlación con pozos vecinos. En algunos casos de perforación de pozos direccionales de alto ángulo pueden resultar determinantes en la obtención de información perfectamente válida para decidir completaciones y/o abandono de los pozos, por ser los únicos registros que pudieran ser obtenidos.

## 2- APLICACIONES DEL MWD.-

### CORRELACIONES Y SELECCIÓN DE PUNTOS DE REVESTIMIENTOS.

En la figura No.3 se presenta un ejemplo de correlación entre un registro eléctrico de Inducción y Rayos Gamma y los registros realizados en el mismo pozo con la herramienta MWD. Como se evidencia, la concordancia entre los registros es altamente satisfactoria, notándose además que el registro de Rayos Gamma del MWD muestra una mayor resolución para la definición de los límites de capas. Estos es así, debido a que, en primer lugar, el MWD es corrido en el pozo durante la perforación, en momentos en que ningún o poco daño ha ocurrido en el mismo; esto es, el proceso de invasión es poco o nulo y por otra parte el pozo se encuentra en su mejor estado, sin derrumbes. Adicionalmente se tiene que, al ser la velocidad de registro del MWD la velocidad de perforación, mucho menor que la de los registros eléctricos convencionales, se reducen las variaciones estadísticas que afectan a los registros radioactivos en general, lo que permite tener una mejor definición de capas, en particular capas finas. En algunos casos los registros de MWD permiten realizar una evaluación de formación preliminar, confirmando en todo momento la información proveniente de los análisis de cortes o rípios.

Mediante el análisis de los registros tomados, Resistividad y Rayos Gamma, y su comparación con los pozos vecinos se puede seleccionar sin mayores dificultades los puntos adecuados de revestimiento sin necesidad de la espera de los registros convencionales. Esta característica cobra significativa importancia en el caso de pozos de alto ángulo o pozos profundos con dificultades de perforación, en los cuales la información tomada durante la perforación puede muy bien ser la única disponible.

## SEGURIDAD

Es ampliamente conocida la aplicacion del registro de Resistividad en la determinacion de los gradientes anormales de presion, siendo el metodo de mayor aplicacion mundialmente. Este consiste en graficar la resistividad de las arcillas vs. profundidad y comparar los datos con los gradientes de presion constante establecidos para el area o campo en particular.

De esta manera usando las presiones de poro determinadas en tiempo real con el MWD es posible mantener el control sobre el peso del lodo de perforacion y evitar asi reventones, y/o perdidas de circulacion lo que permite optimizar el avance de la perforacion de una manera por demas segura.

## CONTROL DIRECCIONAL

Las primeras aplicaciones de las herramientas de MWD fueron en el area de control de perforacion direccional. Los registros realizados de manera continua, cada 32 segundos, (comparados con una hora minimo, promedio, de los registros standard), permiten no solo un ahorro en tiempo sino tambien minimizan el riesgo al atascamiento o pega de la sarta de perforacion. Asi mismo, se logra mantener la direccion e inclinacion del pozo dentro de los margenes permitidos sin correcciones indeseadas. Con el advenimiento de los sistemas de navegacion acoplados al MWD y a los motores de fondo, y aun mas, con bent subs ajustables desde la superficie la automatizacion de la perforacion direccional y su control se hacen cada vez mas seguros.

## OPTIMIZACION DE LA PERFORACION

### DETECCION DE ENTRABAMIENTO DE CONOS Y DESGASTE DEL TREPANO

MEL: Registro de eficiencia mecanica (Mechanical Efficiency log). Permite observar el desgaste de los dientes y bearings de los trepanos triconicos en formaciones ductiles, mediante el analisis de la relacion entre el torque y el peso sobre el trepalo al fondo, y a su vez permite detectar problemas de entrabamiento de los conos de las mechas al estar estos asociados con los incrementos de torque por debajo de la herramienta de MWD.

El programa esta basado en la comparacion entre la eficiencia de un trepalo triconico nuevo en una formacion uniforme y homogenea y el desgaste del mismo trepalo al progresar la perforacion. Esto se hace graficando el torque adimensional (DTOR/DWOB) vs la raiz cuadrada de ROP/RPM, con el objeto de eliminar el efecto de variaciones en la dureza de la formacion.

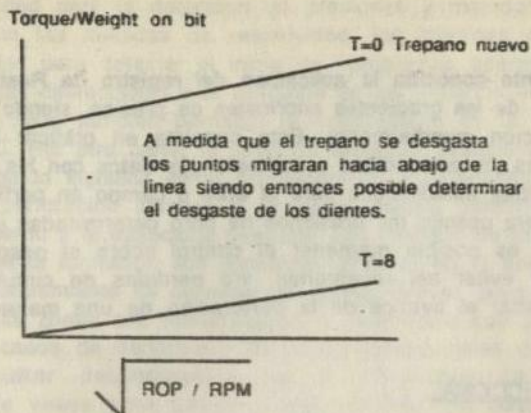


fig. 4.

En el ejemplo de la figura 5, se observa la deteccion del entramamiento de un cono del trepano. Al iniciarse la perforacion se nota una casi perfecta transmision de peso de la superficie al fondo, mediante el analisis de las curvas respectivas. De igual manera se puede observar el progresivo desgaste del trepano a medida que avanza la perforacion. La curva de Torque en exceso muestra el torque adicional en exceso por debajo de la herramienta de MWD no asociado con la sarta; de esta manera se nota que al inicio de la perforacion no existen problemas de ninguna clase hasta por debajo de los x500 metros, donde se nota la aparicion de algun tipo de problemas asociado con el trepano. Se observa la separacion entre las curvas de Peso sobre el trepano al fondo y en superficie y asi mismo se empieza a notar un incremento de torque; ambos fenomenos no parecen asociados con cambios de formacion. Al llegar a la profundidad de x700mts. se manifiesta un incremento sustancial de torque momento en el cual se aprecia un desgaste, calculado por el programa, de T7. Se recomendo al perforador la sacada de la sarta, habiendose evaluado el desgaste del trepano, en el piso de perforacion como T8/B7. Como se aprecia en la diapositiva los conos estaban a punto de salirse debido al desgaste excesivo, lograndose evitar un trabajo de pesca y posibles problemas mayores.

#### DETECCION DE ATASCAMIENTO Y EFICIENCIA DE LA MANIOBRA DE ACONDICIONAMIENTO

SPIN: Indicador de tuberia pegandose (Sticking pipe indicator). Permite observar el arrastre y la friccion de la sarta de perforacion en la

perforacion rotacional y deslizante, mediante el calculo del perfil de fuerzas laterales de la sarta de perforacion y los coeficientes de friccion, asi mismo permite identificar cualquier interaccion anomala con el pozo.

Este programa se basa en el calculo de las fuerzas tensionales y laterales en cada seccion de la sarta de perforacion en cada punto de contacto con la pared del pozo; los valores de tension de cada seccion son sumados y se determina la tension total en superficie; esta es el peso teorico total sobre el gancho. Por otra parte se suman los valores de torque de cada seccion para determinar la perdida total de torque entre el MWD y la superficie. Con ambos valores se calcula entonces la friccion,  $FRIC = \text{Perdidas de Torque medidas (STOR-DTOR)} / \text{Perdidas teoricas de torque}$ .

El arrastre DRAG, es computado de la diferencia entre el peso sobre el gancho teorico y el medido en la realidad. Este calculo se normaliza por cambios en el angulo del pozo, en el peso del lodo y peso sobre la trepano.

En el ejemplo 6 se muestra la validez del programa. La curva de DRAG muestra un valor menor del 5% el cual es bajo e indicativo de un pozo en buenas condiciones. A 9112 fts. la perforacion se detuvo para un chequeo de flujo. Cuando la perforacion se reanudo el DRAG aumento indicando problemas de atascamiento por encima de la herramienta de MWD. A 9175 el DRAG aumento hasta 14%, siendo informado el perforador. La sarta fue levantada y se trabajo, registrandose un sobretension de 110 klbs. Para perforar los siguientes pies fue necesario utilizar un tapon librador y tomo aproximadamente unas 2.5 horas. De esta manera se evito la pega de la sarta al detectar tempranamente el incremento del arrastre.

### OPTIMIZACION DE TREPANOS PDC

Al contar con la medida continua en tiempo real del peso sobre el trepano al fondo, es posible realizar un control permanente del mismo a objeto de lograr transmitir al trepano el peso recomendado por su fabricante para una correcta y eficiente utilizacion de los mismos.

### 3- NUEVOS DESARROLLOS

El desarrollo de la tecnologia y el avance de la electronica moderna aunado a las necesidades determinadas a partir de un estudio de mercado realizado en diversas partes del mundo, para aplicaciones de MWD, condujeron al desarrollo de nuevas y mejores herramientas las cuales se encuentran actualmente en la etapa de comercializacion. Asi mismo se han introducido cambios en el diseno de las herramientas que permiten una mayor maniobrabilidad en el sitio de trabajo, contribuyendo a mejorar la eficiencia y seguridad de las operaciones.

El nuevo diseno permitio aumentar la tolerancia al material de control de perdidas de circulacion; se disminuyo el diametro externo con el objeto de poder operar en pozos mas profundos y de menor diametro, y asi mismo se

incremento el rango operacional de la herramienta hasta 350 oF de temperatura de circulacion.

Estas nuevas herramientas son:

CDR: Doble resistividad compensada. (Dual compensated resistivity tool).

Herramienta de resistividad electromagnetica, que opera a una frecuencia de 2 MHz., lo que permite tener dos profundidades de investigacion; una equivalente al SFL y la otra a la Induccion Media de la herramienta de Doble Induccion. Se mejoro la resolucion vertical de la misma hasta 6", y su precision es de 5% a 20 ohm-mts.

Asi mismo se mejoro el detector de rayos gamma, el cual es ahora del tipo espectroscopico, el cual permite hacer analisis de arcillosidad iguales al de los registros electricos convencionales.

CDN: Densidad- Neutro compensados (Compensated Density- Neutro tool). En este caso se tiene una herramienta de porosidad y densidad equivalentes a las utilizadas en la toma de los registros electricos convencionales.

En la actualidad no se dispone de un registro continuo en la superficie, sino que se realiza la operacion mediante registro en fondo, siendo el sistema energizado con baterias. La seguridad en el manejo y control de las fuentes radioactivas se ha maximizado tambien. La recuperacion de las mismas es posible en todo momento debido a que la ubicacion de las mismas, en la parte superior de la herramienta, montadas sobre una barra en cuyo extremo se tiene una cabeza de pesca, lo cual permite bajar un pescador a travez de la tuberia y hacer la recuperacion en caso que sea necesario.

#### 4- CONCLUSIONES.

La tecnologia MWD actual esta ampliamente probada y reconocida en el mundo, siendo de gran aplicacion en diversas areas, no solamente en el desarrollo de campos en clusters direccionales, sino tambien en pozos dificiles. La relacion costo-beneficio ha probado en todas las areas de aplicacion su efectividad en la reduccion de los costos de perforacion. Mejoras en los tiempos de perforacion de hasta un 50% y ahorros de costos entre un 10-30% son actualmente normales.

Por otro lado las pruebas iniciales de los registros de la segunda generacion del MWD han mostrado una concordancia casi perfecta con los registros electricos, fig. 7, lo cual permite aseverar que las evaluaciones de formacion en tiempo real son un hecho, y que aunado a la evaluacion de la perforacion en tiempo real se cuenta con un auxiliar poderosissimo para la perforacion en areas dificiles o de alto riesgo, exploratorias, profundos o desarrollos direccionales de alto angulo.

## REFERENCIAS.-

- 1- Arps, J.L. Pet. Engineer International, 1979, 51 (10), 68-79
- 2- Measurement while drilling, Anon. The Petroleum Publishing Company, Tulsa, OK, 1979.
- 3- Tanguy, D.R. and Zoeller, W. A., SPE paper 10324, 1981.
- 4- Wallace, W.E. Log Analysts, 1965, 5 (4), 26-37.
- 5- Bates, T.R., Tanguy, D.R., 11th World Petroleum Congress, London 1983.
- 6- Martin, C.A., IADC/SPE paper 14721, 1986.
- 7- Burgess, T.M., Lesso, W.G., SPE/IADC paper 13475, 1985.
- 8- Falconer, I.G., Normore, D., Oil and Gas Journal, October 26 1987, reprint.
- 9- Falconer I.G., Burgess, T., Wolfenberger, Oil and Gas Journal, Feb. 10 1986, reprint.

# TRANSMISSION THROUGH MUD INSIDE DRILL PIPE

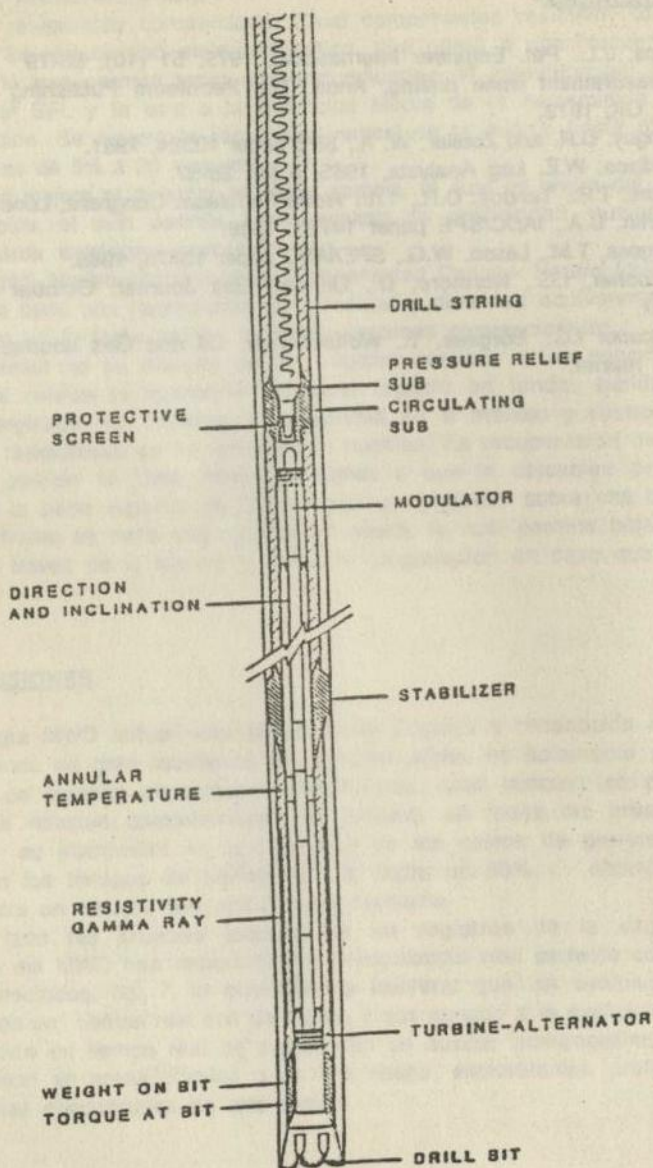


fig 1

## GENERAL VIEW OF MWD DRILL COLLARS

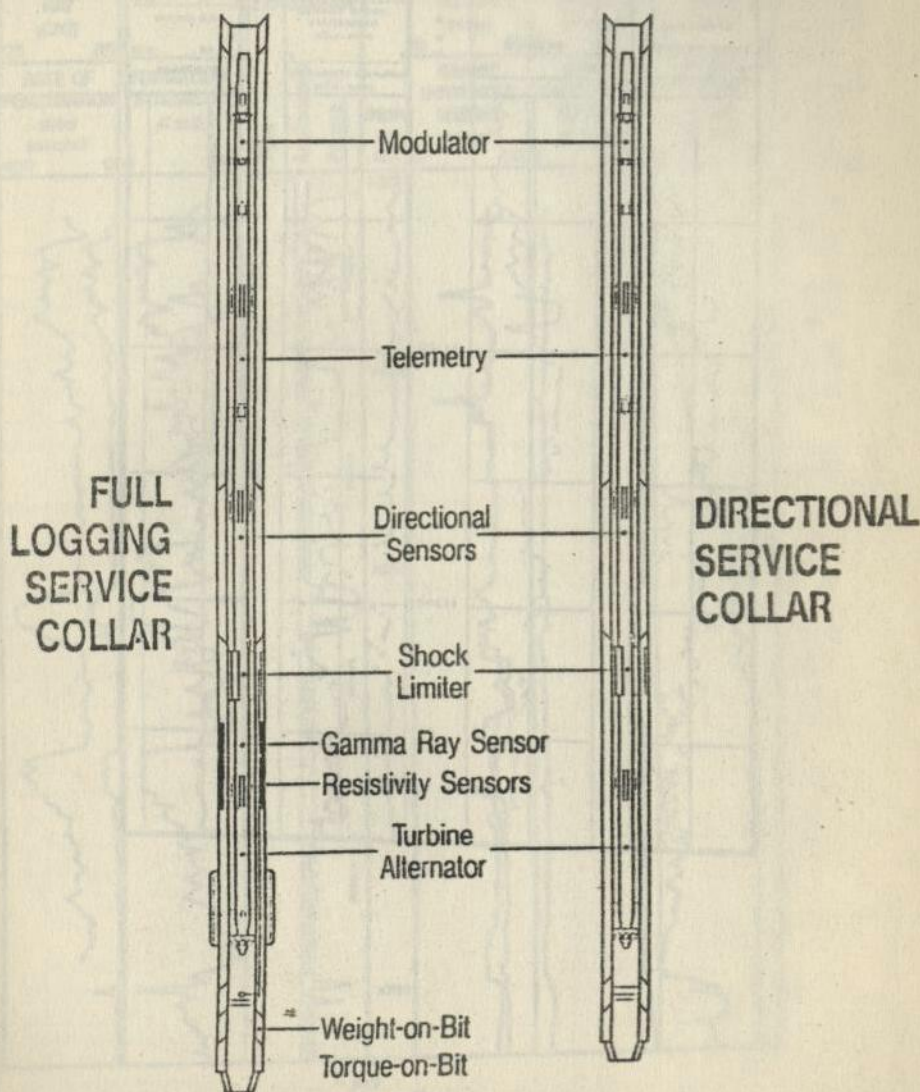


fig 2

RAYOS GAMMA

RESISTIVIDAD

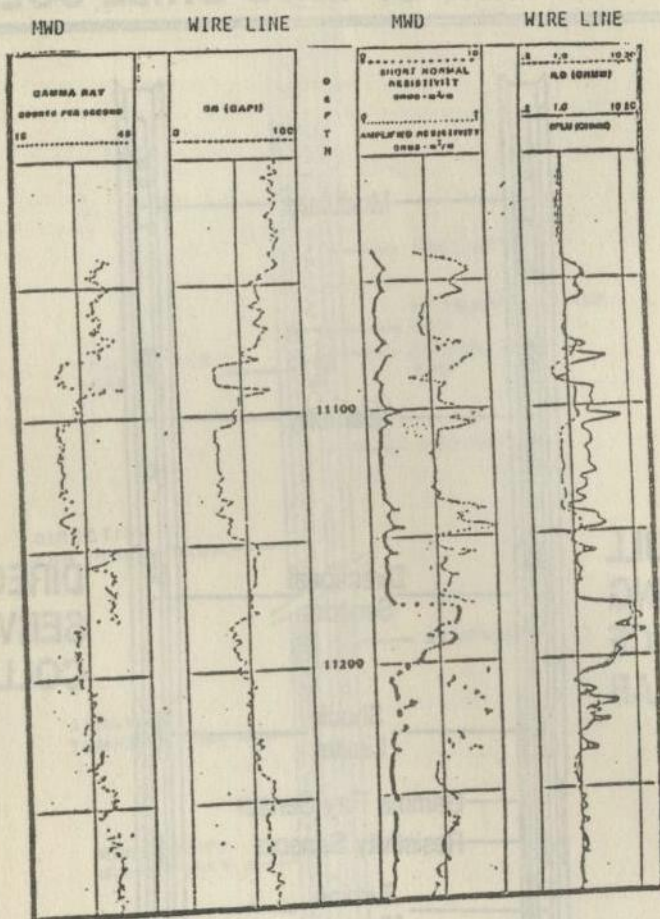


fig 3

# CONE LOCKING DIAGNOSED USING MEL<sup>SM</sup>

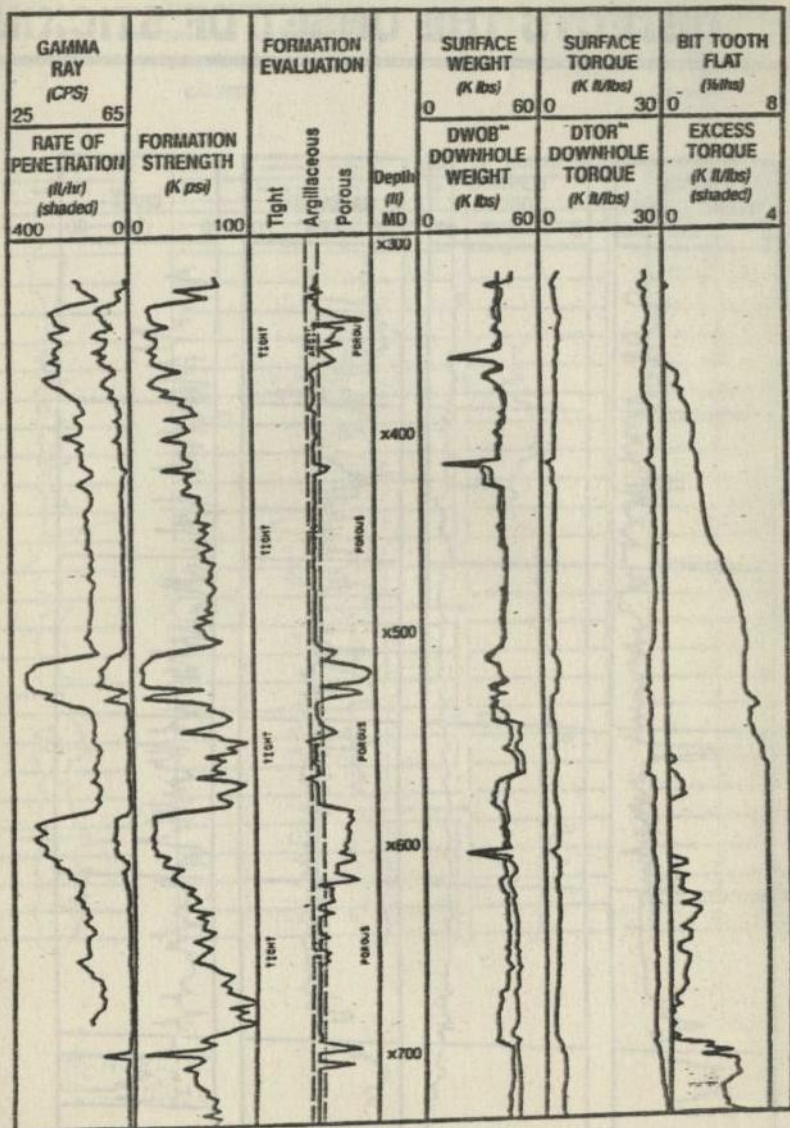


fig 5

# SPIN<sup>SM</sup> DETECTS THE ONSET OF STICKING

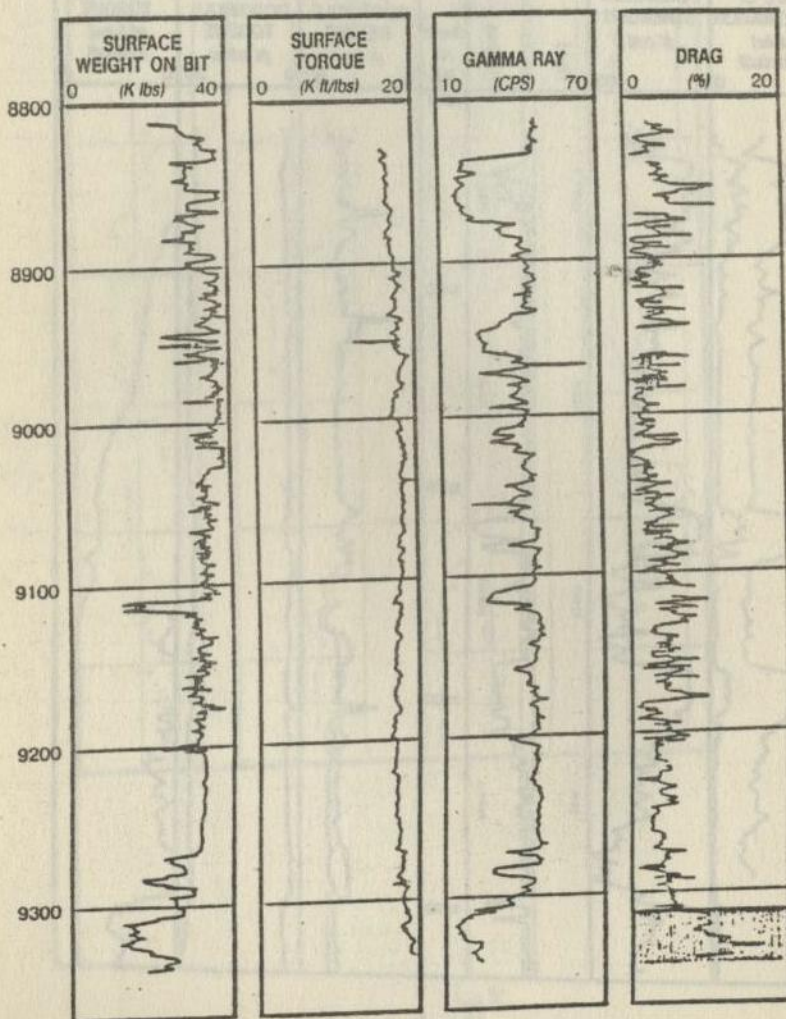


fig 6

WIRELINE LOGS  
LITHO-DENSITY  
COMPENSATED NEUTRON  
GAMMA RAY  
CALIFER

MEASUREMENT WHILE DRILLING  
FORMATION EVALUATION LOGS  
DENSITY POROSITY  
NEUTRON POROSITY  
GAMMA RAY

