

“XII Congreso Latinoamericano de Perforación”

**ANÁLISIS GEOMECÁNICO PARA LA PERFORACIÓN DE LOS
HOYOS INTERMEDIOS Y DE PRODUCCIÓN EN LOS CAMPOS
BARÚA Y MOTATÁN**

**María de Blundun
Leonardo F. Graterol**

**PETRÓLEOS DE VENEZUELA, S.A.
PDVSA
VENEZUELA**

RESUMEN

La producción de los campos Barúa y Motatán proviene de las arenas A-9/A-10 de la Fm. Paují y arenas B-Superior de la Fm. Misoa del Eoceno. Las reservas remanentes están calculadas en unas 636 MMBN de petróleo de gravedad 20-23° API.

Además de las bajas presiones en las arenas basales de Paují, la baja permeabilidad y alta producción de agua en Misoa y el colapso de revestidores, al nivel de la discordancia del Eoceno, otro de los principales problemas que afectan la explotación de los yacimientos ubicados en los campos Barúa y Motatán es la inestabilidad de los hoyos intermedio y de producción durante la perforación, lo cual se manifiesta con el colapso de las paredes del hoyo y el consiguiente incremento en los tiempos de perforación y mala cementación de los revestidores. Se desprende entonces, que una de las fases de planificación más importantes, para el éxito de la perforación en estas áreas, sea el de establecer una ventana operacional que indique los pesos de lodo mínimos (colapso inferior) y máximos (fractura) a ser utilizados para la construcción de las diferentes secciones de los pozos.

En este trabajo se presentan los resultados del estudio geomecánico realizado para la definición de la ventana operacional de densidades de lodo, para la perforación de los hoyos intermedio y de producción, realizado mediante la evaluación de las propiedades mecánicas de las rocas, la determinación de la magnitud y orientación del campo de esfuerzos en sitio y la cuantificación de las densidades de lodo críticas, mediante el uso de particulares criterios de resistencia.

Siguiendo las recomendaciones derivadas del estudio geomecánico, para el rediseño de los lodos de perforación, se han perforado dos pozos en el campo Barúa y un pozo en Motatán con ahorros en el orden de los 2,6 MM\$.

INTRODUCCIÓN

Los campos Barúa y Motatán están localizados al occidente de Venezuela, en el límite entre los estados Zulia y Trujillo. La producción de hidrocarburos proviene de la Formación Paují (Arenas A-9 y A-10) y de las arenas B Superior de la Formación Misoa de edad Eocena. La secuencia estratigráfica se muestra en la Figura 1.

EDAD MI O/ PLI OC EN O	FORMACIÓN		INTERVALOS	RANGO DE ESPESOR	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
	Fm. BETIJOQUE/ ISNOTÚ		SIN DIFERENCIAR		Intercalaciones de areniscas, lutitas grises y arcillas abigarradas
E O C E	M E D I -	Fm. PAUJÍ	LUTITAS PAUJÍ	±1600'	Lutitas fosilíferas grises a negrucas
			ARENA BASAL A-10	150'	Areniscas con intercala- ciones lutíticas
		Fm. MISOA	ARENAS B0 - B9 (SUPERIOR)	2000'	Areniscas cuarzosas de color gris claro a oscu- ras intercaladas con lutitas negras y limoli- tas grises
			ARENAS C1 - C7 (INFERIOR)	2000'	Areniscas intercaladas con lutitas
	I N F E R I O R	Fm. TRUJILLO		2400'	Areniscas con intercala- ciones de lutitas grises y calizas marrones
PALEOCENO	Fm. GUASARE		Fm. GUASARE		Calizas glauconíticas y areniscas calcáreas

Fig 1 Columna Estratigráfica

Entre los principales problemas que afectan ambos campos se encuentran:

- Severos problemas de estabilidad en el hoyo intermedio, por la existencia de extensas secciones de lutitas presurizadas en las formaciones Isnotú/Betijoque - Paují, que dan lugar a problemas de colapso de revestidores al nivel de la discordancia del Eoceno e inestabilidad de las paredes del hoyo durante la perforación, la cual se manifiesta con severos problemas de arrastres, apoyos, pegas de tuberías y hasta la pérdida de sartas de perforación y del hoyo mismo.
- La presencia de numerosas intercalaciones lutíticas en la sección productora que dan lugar a problemas de inestabilidad de hoyo, también asociados al colapso de

las paredes, que se traducen en problemas de cementación comprometiendo el aislamiento de zonas de agua

Todos estos eventos han contribuido a incrementar los tiempos, riesgos y costos de perforación ocasionando además, pérdidas por la producción no materializada debido a la mala cementación de los pozos.

Debido a que los problemas de estabilidad de hoyo tienen dos componentes principales, una química relacionada con la capacidad inhibitoria de los fluidos de perforación para controlar la actividad de las lutitas, y una componente mecánica relacionada con la densidad necesaria para mantener la estabilidad mecánica de las paredes, a finales de 1998 se decide iniciar un estudio geomecánico para determinar la ventana operacional de densidades de lodo a ser empleados durante la perforación de los pozos, con la cual se establecieron los pesos mínimos para evitar el colapso de las paredes, así como la densidad máxima permitida para evitar el fracturamiento hidráulico de la formación.

ANÁLISIS GEOMECÁNICO DE ESTABILIDAD DE HOYO

El análisis de estabilidad de hoyo contempló la caracterización mecánica de las formaciones para determinar los parámetros de deformabilidad y resistencia de las rocas, la determinación de las componentes del campo de esfuerzos en sitio y el cálculo de los pesos de lodo límite para evitar tanto el colapso como la fractura de las paredes del hoyo durante la fase de perforación.

Propiedades mecánicas de las rocas

La caracterización mecánica se realizó, tanto en la zona de la discordancia del Eoceno (hoyo intermedio), como en las arenas basales de la Formación Paují y las arenas del Eoceno B de la Formación Misoa (hoyo de producción). Esta caracterización consistió en la realización de ensayos triaxiales en núcleos cortados en diferentes pozos, a fin de evaluar características de resistencia, tales como resistencia a la compresión confinada (CS), resistencia a la compresión no confinada (UCS), resistencia a tensión (T_o) y resistencia al corte (o cizallamiento) definida por la cohesión (c) y ángulo de falla (ϕ).

Adicionalmente, se determinaron el módulo de Young (E), el coeficiente de Poisson (ν), así como la compresibilidad total y el coeficiente de poroelasticidad de Biot. Un resumen de las propiedades mecánicas se muestran en las tablas 1 y 2.

Tabla 1: Propiedades mecánicas en la zona de la discordancia

NÚCLEO	PROF. (pies)	UCS (lpc)	E ($\times 10^6$ lpc)	ν	OBSERVACIONES
V-1	6361	2548	0,39	0,25	Arena
V-1	6362	2141	0,32	0,20	Arena
V-1	6363	2162	0,39	0,29	Arena
V-1	6364	477	0,25	0,60	Arena
V-1	6364	391	0,49	0,81	Arena
DISCORDANCIA					
V-1	6365	478	0,52	0,89	Arena
V-1	6365	712	0,96	0,45	Arena
V-1	6368	597	0,10	0,13	Lutita
V-1	6454	2998	0,99	0,08	Lutita
V-1	6455	2332	0,52	0,15	Lutita
V-1	6456	1676	0,53	0,18	Lutita

Dado que la determinación de las propiedades mecánicas en el laboratorio representa sólo valores puntuales, la caracterización mecánica de toda la zona productora fue completada con la interpretación de registros sísmicos de onda completa, corridos a lo largo de las sub-unidades B-0 a B-3, de la Formación Misoa, mediante el uso de las correlaciones núcleo-perfil desarrolladas para las arenas consolidadas del Eoceno B y C del Área 2 Sur de Ceuta por Blundun y Muñoz [1].

El procesamiento de estos datos arrojó como resultado perfiles de resistencia a la compresión no confinada (UCS) y de constantes elásticas (módulo de Young, E y relación de Poisson (ν) como los mostrados en los Anexos 1 y 2.

Tabla 2: Propiedades mecánicas de las arenas basales de Paují y Eoceno B, en los campos Barúa-Motatán

NÚCLEO	PROF. (pies)	FORM.	UCS (lpc)	ϕ	E ($\times 10^6$ lpc)	ν	OBSERVACIONES
V-2	13450	A-10	5239	40	7,20	0,17	Arena fina
V-2	13534	A-10	3045	35	2,68	0,17	Arena gruesa
V-3	10571	B-1	6430	46	1,87	0,27	Arena gruesa
V-3	10576	B-1	7420	46	1,77	0,37	Arena gruesa
V-3	10593	B-1	12250	45	2,78	0,32	Arena fina
V-3	10597	B-1	22225	56	3,65	0,36	Arena fina
V-3	10714	B-2	2719	40	3,10	0,59	Arena gruesa
V-3	10715	B-2	3100	38	3,17	0,29	Arena gruesa
V-3	10787	B-2	21728	45	5,97	0,17	Arena fina
V-3	10841	B-2	11780	45	3,26	0,28	Arena gruesa
V-3	10844	B-2	8290	20	1,38	0,10	Arena gruesa
V-3	10854	B-2	7977	38	2,11	0,24	Arena gruesa
V-3	10856	B-2	6595	38	1,22	0,09	Arena gruesa
V-3	10878	B-2	26570	50	5,87	0,19	Lutita

Si bien los ensayos de laboratorio realizados en núcleos, de las arenas B, indican que estas rocas se comportan como un material elástico frágil, con elevados valores de resistencia a la compresión [2], las arenas basales A-9 y A-10 lucen mucho más débiles y con un comportamiento fundamentalmente elasto-plástico. Un comportamiento similar es de esperarse en las lutitas presentes en estos yacimientos, las cuales muestran valores de resistencia más bajos que los obtenidos en las arenas, como se desprende de los resultados de la interpretación de los registros sínicos (Anexo 1).

En la zona de la discordancia, por su parte, se observa la existencia de un material altamente meteorizado y poco resistente, con valores de resistencia a la compresión no confinada de apenas 500 lpc, mientras que los materiales por encima y por debajo de

esta zona muestran resistencias mayores, en el orden de las 2500 lpc. En ambos casos, el material luce mucho menos rígido que las arenas productoras de Paují y Misoa, con valores del módulo de Young que oscilan entre $0,12 \times 10^6$ lpc en la discordancia y $1,0 \times 10^6$ lpc para los materiales adyacentes.

Es importante señalar que las características mecánicas de las lutitas, estimadas con el registro sísmico, no han podido ser calibradas con ensayos de laboratorio, lo cual sugiere la necesidad de caracterizar estas formaciones en el laboratorio, a partir de la toma de núcleos preservados.

Determinación del campo de esfuerzos en sitio

Siendo un vector, el campo de esfuerzos está constituido por cinco parámetros fundamentales que son: esfuerzo de sobrecarga, σ_v , esfuerzo horizontal máximo, σ_H , esfuerzo horizontal mínimo, σ_h , dirección del esfuerzo mínimo (o el máximo) y presión de poro o de formación, P_0 .

1. Magnitud del esfuerzo de sobrecarga

La magnitud del esfuerzo de sobrecarga se evaluó a partir de la integración de registros de densidad, corridos desde la zapata del revestidor de superficie, obteniéndose un valor promedio para el área de 0,98 lpc/pie, el cual es consistente con lo observado en otras áreas de la Cuenca del Lago de Maracaibo, tales como Ceuta (1,1 lpc/pie) y Lagocinco (0,95 lpc/pie) [3,4].

2. Magnitud de los esfuerzos horizontales

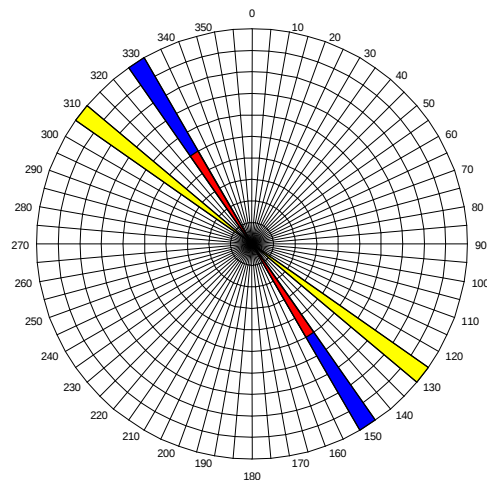
En cuanto a la magnitud de los esfuerzos horizontales (tanto máximo, σ_H , como mínimo, σ_h), ésta debe ser estimada a partir de datos de ensayos de integridad extendida (leak-off test) o de pruebas de microfracturamiento. Estas pruebas se realizan normalmente en formación fresca, una vez instalado el revestidor de superficie o el revestidor intermedio, fracturando la formación. Los datos de este ensayo (presión en superficie y tasa de bombeo) se registran en función del tiempo y se interpretan para obtener la presión de cierre de la formación, la cual corresponde al valor del esfuerzo mínimo, σ_h .

Aún cuando no se dispuso de toda la información de fracturamientos o leak-offs existente en el área, fue posible tener una aproximación razonable de la magnitud del esfuerzo principal mínimo, a partir de los resultados de trabajos de fracturamiento hidráulico realizados en algunos pozos, de los cuales se desprende un gradiente de esfuerzo mínimo de 0,87 lpc/pie.

Para analizar el efecto del esfuerzo horizontal máximo, sobre las condiciones de estabilidad de hoyo, se realizaron sensibilidades usando relaciones de anisotropía de esfuerzos horizontales, σ_H/σ_h , comprendidos entre 1 y 1,3.

3. Orientación de los esfuerzos horizontales

La orientación del campo de esfuerzos se realizó mediante el análisis de las rupturas de hoyo observadas en los registros de imágenes corridos en varios pozos, determinándose una orientación promedio del esfuerzo principal máximo, σ_H , en la dirección N 50° W – S 50° E, como se muestra en la Figura 2.



Dirección del esfuerzo horizontal σ_H

Es importante destacar que la dirección de esfuerzo máximo, observada en estos pozos, es consistente con los resultados obtenidos en estudios de campo de esfuerzos realizados en las áreas de Ceuta, Tía Juana, Mara Oeste, Lagocinco y Lagomar [3,4,5],

y que concuerda con el patrón de cuenca compresiva estructural con dirección NNE – SSW.

Adicionalmente, la existencia de numerosas rupturas de hoyo (breakouts), a lo largo de los diferentes pozos estudiados, confirman la existencia de un cierto grado de anisotropía de esfuerzos ($\sigma_H/\sigma_h > 1$).

4. Presiones de poro

Para los análisis de estabilidad se utilizaron los valores de presión obtenidos mediante registros RFT, en las arenas A-10, B-0 y B-1, en el campo Barúa (Figura 3), realizando sensibilidades para presiones de poro comprendidas entre 2000 y 4000 lpc, para el análisis en las arenas más agotadas del campo Motatán.

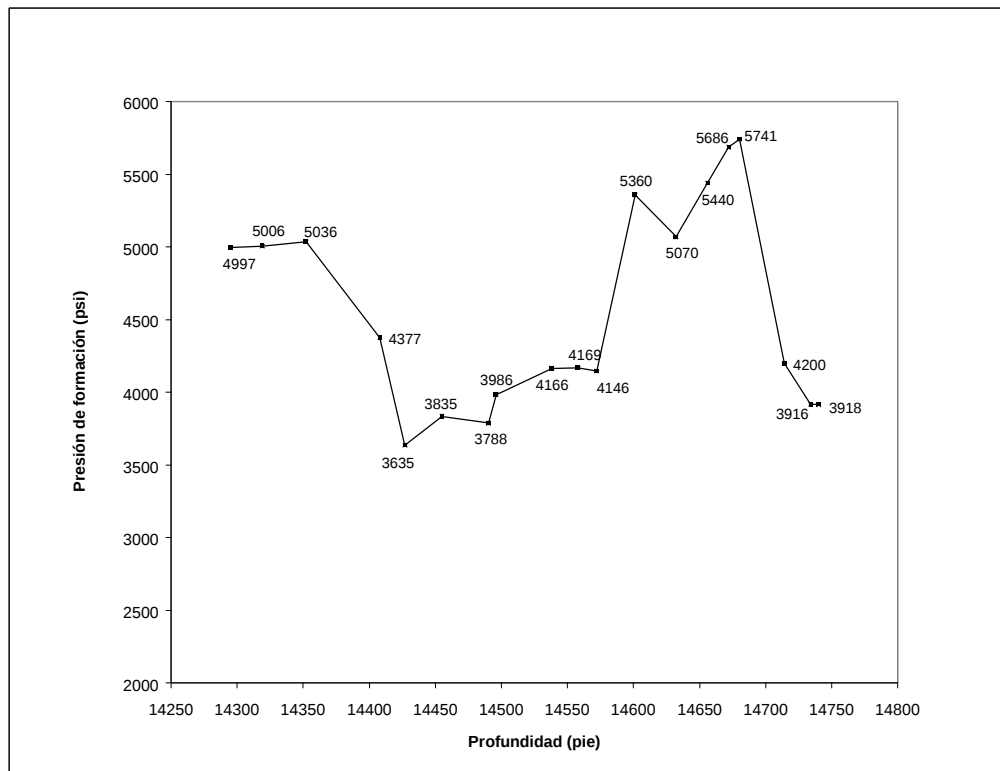


Figura 3 Presiones de poro – Formación Misoa

La determinación de la presión de poro, en las lutitas, se realizó a partir del análisis de los registros sísmicos corridos en diferentes pozos, usando la correlación de Eaton, con lo que se obtuvo un gradiente de 0,47 lpc/pie para las lutitas de Misoa, mientras que para las lutitas de Paují (hoyo intermedio) se estimó un valor de 0,69 lpc/pie.

CÁLCULO DE LA VENTANA OPERACIONAL DE PESOS DE LODO

El análisis de estabilidad de hoyo consiste básicamente en estudiar la respuesta de la formación ante diferentes estados mecánicos de carga, para lo cual se construyen las llamadas “ventanas operacionales de densidades de lodo de perforación”. Dichas ventanas presentan, de manera gráfica, las densidades de lodo por encima de los cuales se fractura la formación (presión de fractura) y por debajo de los cuales ocurre colapso de la misma (presión de colapso), siendo el área intermedia aquella que permite la perforación de un hoyo teóricamente estable.

Para los cálculos en las arenas se empleó un modelo poroelástico y el criterio de falla de Drucker-Prager [6]; mientras que en las lutitas, se utilizó un modelo elasto-plástico. Es importante destacar que para las arenas se utilizó el modelo impermeable, mientras que para las lutitas se asume que existen fenómenos de hinchamiento.

Ventana operacional para la zona de la discordancia y las lutitas de Paují

En la Tabla 3, se muestran las densidades de lodo límite, para efectos de estabilidad en el hoyo intermedio, correspondientes a los valores de resistencia y módulos elásticos mostrados en la Tabla 1.

Tabla 3: Valores críticos de la ventana operacional a nivel de la discordancia calculados con el criterio de falla de Drucker-Prager

PROF. (pies)	UCS (lpc)	s_v (lpc)	s_h (lpc)	COLAPSO (lb/gal)	FRACTURA (lb/gal)	TIPO DE ROCA
3000	2000	3000	2610	8,3	25,1	Arena
6400	500	6400	5568	12,6	21,5	Arena
10000	2400	10000	8700	12,7	20,6	Lutita

Para estos cálculos, se usó una relación de esfuerzos horizontales σ_H/σ_h igual a 1,1, obteniendo una densidad mínima de lodo, para evitar el colapso, de 12,6 lb/gal en la discordancia y 12,7 lb/gal en las lutitas de Paují.

Ventana operacional para las arenas del Eoceno B

En la Tabla 4 se muestran los valores de ventana operacional de lodo calculados para las arenas productoras del Eoceno B, con los valores de resistencia y módulos elásticos reportados en la Tabla 2. También, en este caso, se usó una relación σ_H/σ_h igual a 1,1. Los cálculos se realizaron con las presiones de poro indicadas en la Figura 3, para las arenas B-0 y B-1 y una presión de poro de 4000 lpc, para las arenas B-2 y B-3. El gradiente de presión de poro usado para las lutitas fue de 0,43 lpc/pie.

Tabla 4: Ventana operacional de pesos de lodo en el Eoceno B – Formación Misoa

PROF. (pies)	UCS (lpc)	s_v (lpc)	s_h (lpc)	COLAPSO (lb/gal)	FRACTURA (lb/gal)	ARENA	TIPO DE ROCA
10355	4890	10355	9008	7,1	25,7	B-1	Lutita
10470	19989	10470	9109	5,9	27,3	B-1	Arena
10594	5839	10594	9218	7,5	25,9	B-2	Lutita
10710	20684	10710	9318	5,8	27,7	B-2	Arena
10880	8654	10880	9466	7,1	26,3	B-2	Lutita
10995	5727	10995	9566	7,3	26,1	B-2	Lutita
11235	9276	11235	9774	6,9	26,5	B-3	Lutita

Los resultados mostrados en la tabla indican un valor crítico para colapso del hoyo de 7,5 lb/gal, mientras que la fractura de la formación se tiene para densidades de lodo superiores a 26 lb/gal. Como se observa, las densidades de lodo críticos para el colapso de las paredes del hoyo corresponden a las lutitas, las cuales muestran los menores valores de resistencia y presiones de poro más elevadas.

Sensibilidades realizadas variando la presión de poro en las arenas (Tabla 5) indican que en condiciones impermeables, la presión de colapso disminuye con la presión de poro, lo cual implica la necesidad de buenas estimaciones de este parámetro, en cada intervalo, para un cálculo realista de la ventana operacional.

Tabla 5: Efecto de la presión de poro en el peso de lodo crítico para las arenas B

Po = 4000 lpc			Po = 3000 lpc		Po = 2000 lpc	
Prof. (pies)	Colapso (lb/gal)	Fractura. (lb/gal)	Colapso (lb/gal)	Fractura. (lb/gal)	Colapso (lb/gal)	Fractura. (lb/gal)
10470	6,1	27,4	4,0	29,4	2,5	31,2
10710	5,7	27,7	4,0	29,5	2,3	31,3

Ventana operacional para las arenas basales de Paují

Debido a que no se dispone de un registro sísmico de onda completa en las arenas basales de la Fm. Paují (A-9, A-10), los análisis de estabilidad se realizaron con los datos del estudio de caracterización mecánica realizada en el laboratorio [3]. En la Tabla 6, se muestran las densidades de lodo críticas para el colapso y fractura, cuando la presión de yacimiento es de 3000 lpc, mientras que en la tabla 7 se reportan los resultados obtenidos cuando la presión en las arenas es igual a 2000 lpc.

Tabla 6: Ventana operacional de lodo cuando $P_o = 3000$ lpc – Arenas basales A-10

PROF. (pies)	UCS (lpc)	s_v (lpc)	s_h (lpc)	COLAPSO (lb/gal)	FRACTURA (lb/gal)	TIPO DE ROCA
13450	5239	13450	11702	7,4	29,5	Arena fina
13534	3045	13534	11775	7,9	29,5	Arena gruesa

De estos resultados se deduce que la condición más crítica se tiene para aquellas arenas de grano grueso con resistencias en el orden de las 3000 lpc

Tabla 7: Ventana operacional de lodo cuando $P_0 = 2000$ lpc – Arenas basales A-10

PROF. (pies)	UCS (lpc)	s_v (lpc)	s_h (lpc)	COLAPSO (lb/gal)	FRACTURA (lb/gal)	TIPO DE ROCA
13450	5239	13450	11702	6,5	30,9	Arena fina
13534	3045	13534	11775	7,0	30,9	Arena gruesa

CALIBRACIÓN DE LOS RESULTADOS TEÓRICOS

Con la finalidad de calibrar los resultados teóricos obtenidos con los análisis de estabilidad realizados, los mismos se compararon con la historia de perforación anterior al estudio, de la cual se muestran a continuación dos ejemplos.

En la Figura 4 se muestra esquemáticamente la historia de perforación del hoyo intermedio (profundidad vs. tiempo) de un pozo del campo Motatán, desde la zapata del revestidor de superficie a 2600 pies, hasta el tope de las arenas basales de Paují, a 7870 pies. Para facilitar la comprensión, los diferentes eventos que tuvieron lugar durante la perforación del hoyo se indican con números y se ubican a la profundidad a la cual tuvieron lugar.

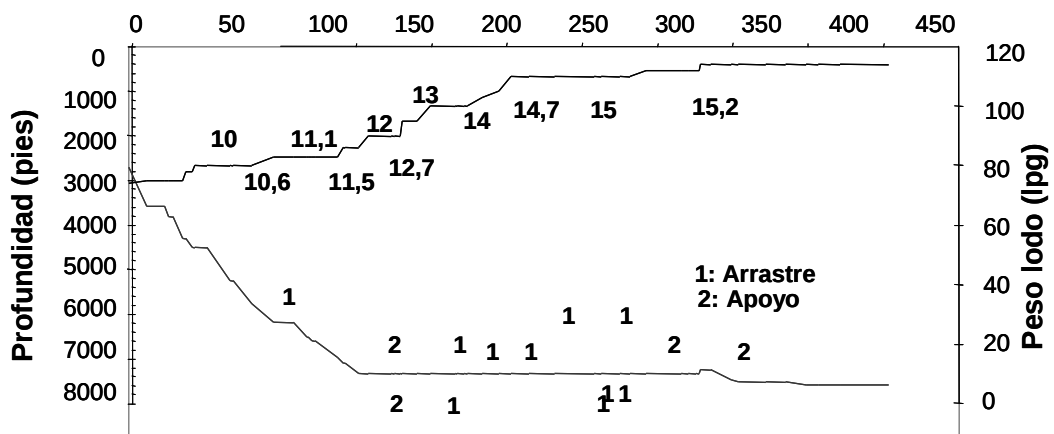


Figura 4 Historia de perforación del hoyo intermedio de un pozo del campo Motatán

El hoyo fue perforado con fluido de base aceite y como se observa en la figura, el intervalo 6100' – 7350', correspondiente a la zona de la discordancia y lutitas de Paují, fue perforado con densidades de lodo comprendidas entre 11,0 y 11,5 lb/gal, observándose posteriormente severos problemas de arrastre, torque y apoyos al tratar de sacar la sarta de perforación, claro indicio del colapso de las paredes del hoyo. Para reducir estos problemas, el peso de lodo se incrementó progresivamente desde 11,5 lb/gal hasta alcanzar las 15 lb/gal, a partir de lo cual se continuó perforando el hoyo intermedio, sin que se hayan reportado problemas adicionales. Los problemas de estabilidad en este pozo dieron lugar a un total de 138 horas de tiempo improductivo, lo cual representa el 33% del tiempo total de perforación.

En la Figura 5 se muestra la historia de perforación del hoyo de producción de un pozo en el área de Barúa, desde la zapata del revestidor intermedio, a 14200 pies, hasta la profundidad total de 14770 pies. El fluido utilizado fue de base aceite, con una densidad de 9,0 lb/gal. En este caso no se observaron problemas durante la perforación del pozo,

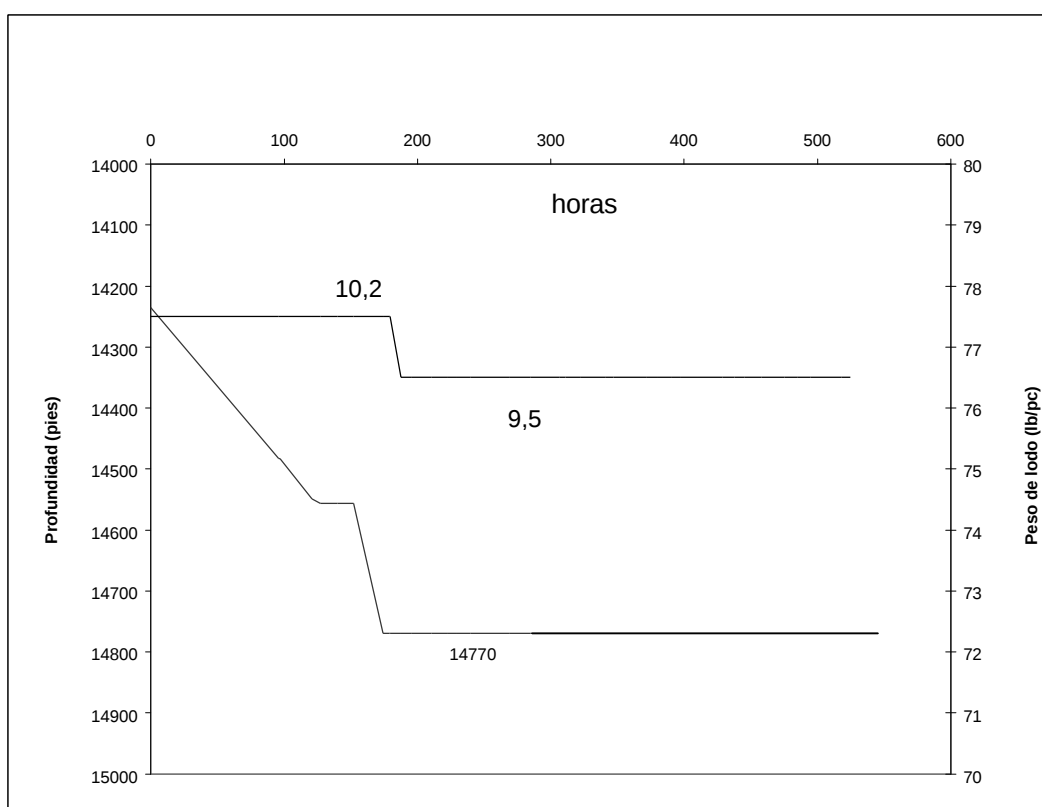


Figura 5 Historia de perforación del hoyo de producción de un pozo en el área Barúa

Los resultados obtenidos en ambos casos confirman la validez de las ventanas operacionales obtenidas con el estudio geomecánico de estabilidad de hoyo. En efecto, en el caso del hoyo intermedio, el haber perforado la zona correspondiente a la discordancia y las lutitas de Paují, con una densidad inferior a la densidad requerida, para evitar el colapso, dio lugar a los severos problemas de estabilidad mostrados en la Figura 4. Se deduce entonces que, para asegurar la estabilidad del hoyo intermedio en estos campos, es necesario atravesar la zona de la discordancia con densidades de lodo superiores a las 12,7 lb/gal , como indica la ventana teórica de densidades de lodo.

En cuanto al hoyo de producción, los resultados obtenidos durante la perforación indican que, efectivamente, el uso de densidades del fluido de perforación superiores a las 7,9 lb/gal asegura una mayor estabilidad del hoyo, como establecido quedó establecido en el estudio geomecánico.

RESULTADOS OPERACIONALES

Aplicando los resultados del estudio geomecánico, se perforaron dos pozos en el área de Barúa y uno en Motatán, obteniendo ahorros globales en el orden de 2,6 MM\$. En la Figura 6 se muestra la historia del pozo perforado en el área de Motatán.

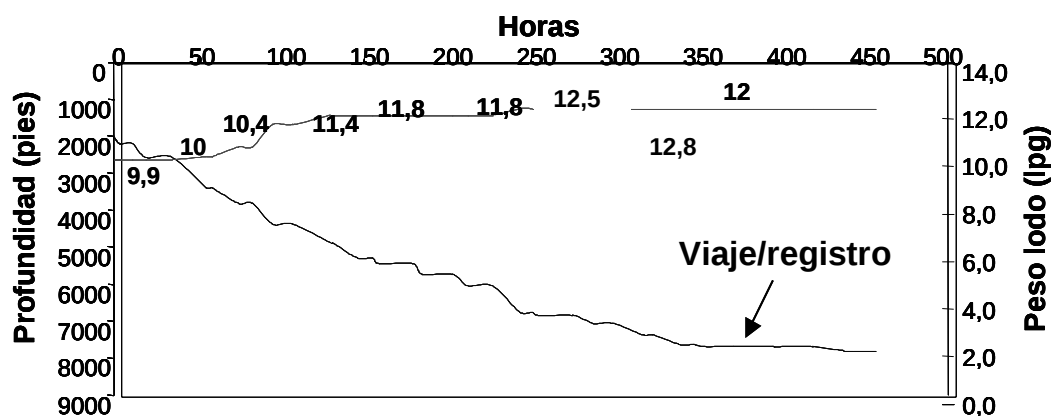


Figura 6. Historia del pozo perforado en el área Motatán

En la misma, se observa que la discordancia, a 6500 pies, fue atravesada con una densidad del lodo de perforación de 12,5 lb/gal, con lo cual se lograron eliminar los problemas de estabilidad de hoyo mostrados en la Figura 5.

Es importante destacar que en este caso fue posible culminar la perforación del hoyo intermedio, con una densidad de lodo de apenas 12,8 lb/gal, muy inferior al caso mostrado en la Figura 5, donde para efectos de restablecer la estabilidad de las paredes del hoyo, fue necesario incrementar los pesos de lodos a 15 lb/gal.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos con el estudio geomecánico de estabilidad de hoyo, en el área de Barúa-Motatán, permiten concluir lo siguiente:

1. Los cálculos de ventana operacional de densidades de lodo, en el hoyo intermedio, indican que la zona crítica, es al nivel de la discordancia.
2. En la discordancia, se determinó que la densidad mínima del lodo para evitar el colapso del hoyo es de 12,7 lb/gal, mientras que la presión de fractura se estimó en 21,5 lb/gal
3. La ventana operacional para las lutitas de Paují, con gradientes de presión de poro de 0,69 lpc/pie, se estimó en 12,9 lb/gal para el colapso y 20,6 lb/gal como presión de fractura, cuando el gradiente de presión de poro es igual a 0,69 lpc/pie
4. Los análisis de estabilidad del hoyo de producción (arenas basales de Paují y Eoceno B), indican que las zonas más propensas a colapso están representadas por las lutitas, para las cuales la ventana operacional sugiere densidades de lodo de 7,9 lb/gal, mientras que la densidad de fractura se ubica en 26,3 lb/gal.
5. Tanto las areniscas de las arenas basales de Paují, como las del Eoceno B lucen muy estables, con densidades críticas para colapso inferiores a las 7,0 lb/gal y presión de fractura superior a las 25 lb/gal
6. Tanto en las areniscas como en las lutitas, la ventana operacional de densidades de lodo se reduce notablemente al aumentar la presión de poro. Las sensibilidades realizadas con este parámetro sirven de orientación general para estimar las

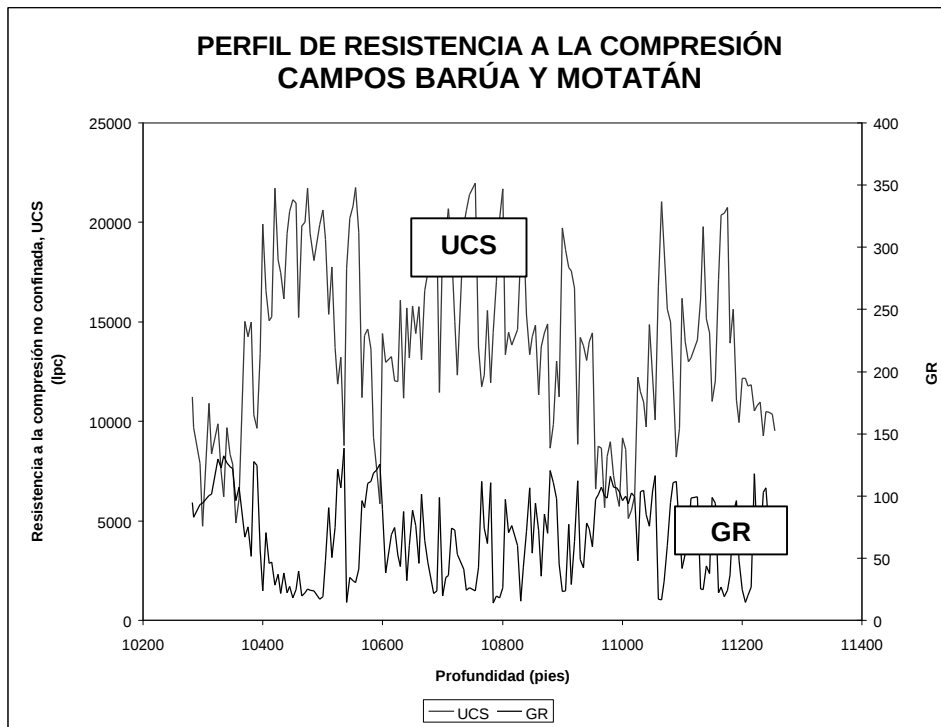
densidades del lodo para los diferentes yacimientos con diferentes grados de agotamiento

7. La historia de perforación en el área de Barúa-Motatán confirma los valores teóricos obtenidos con el estudio geomecánico

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. *Blundun, M., Muñoz, A.*: Correlaciones Núcleo-Perfil para la Elaboración de Perfiles de Resistencia. Área 2 Sur – Ceuta. Documento Técnico MAR-IPTR-0201,97, Junio 1997.
2. *Parra, E., Celis, E., Muñoz, A., Abass, H., Ford, M., Vieira, P.*: Evaluación Preliminar del Problema de Colapso de Revestidores Observado en los Campos Barúa y Motatán. Documento Técnico N° INT-STE-001396,97. Intevep, S.A. Los Teques, Julio 1997.
3. *Blundun, M., Muñoz, A.*: Estudio Preliminar de Estabilidad de Hoyo en los Campos Barúa y Motatán. Documento Técnico IT-OC-1998,043. Lagunillas, Diciembre 1998.
4. *Blundun, M., Graterol, L.*: Estabilidad de Hoyo en el LIC de Lagomar. Documento Técnico IT-OC-2000.232,LL. Lagunillas, Marzo 2000.
5. *Muñoz, A., Blundun, M., Abass, H.*: Determinación del Campo de Esfuerzos en Ceuta Área 2 – Lago de Maracaibo. Documento Técnico N° INT-4328, 1998. Intevep, S.A., Los Teques, Febrero 1998.
6. *Fjaer, E., Holt, R., Horsrud, P., Raaen, A.*: Petroleum Related Rock Mechanics. Edit. Selvier, Amsterdam, 1992.

Anexo 1



Anexo 2

MÓDULOS DE YOUNG ESTÁTICO Y DINÁMICO

