

XII Congreso Latinoamericano de Perforación.

Estudios de Interacción Roca Fluido en la División Sur de la Unidad de Perforación y Mantenimiento de Pozos

Roberto Castillo Durán.
Jesús Martín Valenzuela Cazares.
Ricardo Ramírez Lara.
Epitacio Solís Fuentes.

INTRODUCCIÓN.

En la última década, los esfuerzos por conocer la influencia de la roca y sus fluidos en el proceso de perforación ha sido parte de la tarea de los centros de investigación de la Industrias petroleras en el ámbito mundial. En el caso de la Unidad de perforación y Mantenimiento de Pozos (UPMP), en la División Sur (Fig.1), esta problemática representa un incremento en tiempo y costo del 20 y 50% respectivamente. En 1992 se iniciaron los trabajos para conocer el impacto de los fluidos de perforación en los tiempos de perforación.

El paso inicial fue conocer la causa de los tiempos de repaso en las secuencias areno-arcillosas de las etapas superficiales de los pozos perforados. Más adelante y con objeto de conocer la causa de la inestabilidad de los pozos, se inició la tarea de recopilar y evaluar la información conocida y disponible con relación a la problemática; como resultado de esto, se creó primeramente la necesidad de contar con información que permitiera conocer a profundidad la roca y sus fluidos. En segundo lugar se creó un

grupo interdisciplinario cuyo objetivo fue aterrizar la información generada y crear un simulador propio para determinar con cierto grado de exactitud la salinidad adecuada de los fluidos de perforación.

Como resultado de los trabajos realizados se ha mejorado en un 60% la problemática del tiempo perdido por repaso, se ha mejorado la selección de los fluidos y se han programado sus propiedades con base en el conocimiento de los fluidos de la formación, haciéndolos más compatibles y con una proporción adecuada.

PROBLEMÁTICA.

Analizando el comportamiento de la curva de avance de perforación (fig.2), se observa una desviación de 38 días en las etapas superficiales por problemas de repaso debidos a la inestabilidad de las paredes generados en la interacción fisicoquímica de la roca y el fluido. Por otra parte, al discretizar por tipo de fluido utilizado, en 1992 con el uso de los fluidos CLSE los tiempos de repaso alcanzaban valores de mas de 160 horas/etapa; en los años posteriores y con el uso de distintos

fluidos poliméricos los tiempos de repaso oscilaron en 51 días/etapa. En los últimos 2 años, el problema se ha minimizado a un grado de 15 hrs/etapa promedio. (fig. 3)

En términos de operaciones fallidas, la Fig.4 muestra el impacto económico derivado de la gran variedad de problemas asociados y que van desde descalibraciones de agujero al abandono de secciones de pozo.

ACCIONES.

Los trabajos iniciales se direccionaron hacia pruebas de laboratorio tratando únicamente el problema desde el punto de vista químico. Se realizaron pruebas de rolado a diferentes sistemas utilizando muestras de recorte de los pozos perforados. Otra de las pruebas realizadas se orientaron hacia el intercambio catiónico analizando el fenómeno de inhibición osmótica y superficial. Se analizó de igual manera el contenido de arcilla en el fluido de perforación mediante la prueba de azul de metileno.

Además de las pruebas realizadas, se analizó el % de dispersión de la muestra bajo condiciones de alta presión y alta temperatura, la actividad del agua de

formación, la lubricidad y las propiedades reológicas.

Los resultados dieron como pauta la profundización en el conocimiento del fenómeno y en 1995 se dio a la tarea de adquirir, comparar y validar información mediante la toma de registros, corte de núcleos y pruebas puntuales con objeto de conocer la composición de los fluidos, las propiedades de la roca y la magnitud de los esfuerzos regionales todo ello con la finalidad de entender los fenómenos que ocurren en la vecindad de las paredes del pozo al momento de entrar en contacto la roca con los fluidos de perforación.

La información tomada consistió en registros y sus correspondientes procesados en 11 pozos, el corte de 8 núcleos en 6 pozos y una prueba de minifrac en un pozo. Con los núcleos cortados se efectuaron pruebas de hinchamiento lineal con diferentes fluidos base agua y emulsiones inversas y se tomaron fotografías en microscopio electrónico de barrido (fig.5 a 8)

Para 1996, se dio la creación de un grupo multidisciplinario que tenía la tarea de desarrollar un modelo matemático de estabilidad mecánica y

fiscoquímica, caracterizar la composición de la roca y proponer alternativas a corto plazo para la caracterización de fluidos y hacerlos compatibles. Bajo este esquema se realizaron pruebas de hinchamiento lineal, fotografías con microscopio electrónico de barrido y pruebas mecánicas en una celda triaxial. (fig.9 a 11)

Adsorción y desorción de arcillas y lutitas.¹

Las diferentes formas de inestabilidad de pozos como resultado de la interacción entre el fluido de perforación y las formaciones arcillosas, están todas relacionadas con el fenómeno de la hidratación. El agua es adsorbida sobre las arcillas por medio de dos mecanismos: adsorción de capas monomoleculares sobre las superficies planas de los retículos cristalinos de la arcilla-conocida comúnmente como hinchamiento cristalino o hidratación superficial.- y el hinchamiento osmótico resultado de las altas concentraciones de iones atrapados por fuerzas electrostáticas en la vecindad de la superficie de la arcilla. El hinchamiento cristalino es experimentado por todas

las arcillas. Las presiones de hinchamiento son altas, pero el incremento en el volumen es comparativamente pequeño. El hinchamiento osmótico interlaminar ocurre solamente cuando con ciertas arcillas del grupo de las esmectitas-notablemente en motmorillonitas sódicas- y causa grandes incrementos en el volumen pero las presiones son bajas.

Como resultado del simulador, se definió el término de presión de repulsión que viene a ser el resultado del efecto del hinchamiento generado por la invasión de los fluidos entre las capas de arcilla y que modifica los esfuerzos en la vecindad del pozo fig.12. Además, se contempló el efecto de la temperatura en la vecindad del pozo. Esto es, si se confina una arcilla seca y tiene contacto libre con agua, se desarrolla una presión de hinchamiento, similarmente, si a una arcilla que se le ha permitido llegar al equilibrio en presencia de agua y se compacta para extraerle el agua, se desarrolla una presión de hinchamiento. La presión de hinchamiento a cualquier contenido de agua es relativa a la presión de vapor de la arcilla con el mismo contenido de agua y está dado por la siguiente ecuación.

$$P_s = -\frac{RT}{V} \ln \frac{p}{p_o}$$

Donde P_s es la presión de hinchamiento en atmósferas; T es la temperatura absoluta ($^{\circ}\text{K}$); V es el volumen parcial molar del agua, litros/mol; R es la constante de los gases ideales, (litros atm /mol $^{\circ}\text{K}$); y p/p_o es la presión de vapor relativa en equilibrio con la lutita y es aproximadamente igual a la actividad del agua en la lutita. Así que el potencial de presión de hinchamiento de una lutita compactada cuyo contenido de agua se conoce y puede predecirse a partir de las isothermas de adsorción o desorción de la lutita.

Caracterización mineralógica

De las muestras recuperadas de los pozos perforados y de los núcleos cortados se efectuó la caracterización mineralógica y geoquímica de diez muestras obteniéndose la siguiente composición promedio:

Albita: 6.3%

Calcita 17.6%

Cuarzo 20.4%

Dolomita 0.6%

Esmectita 50.8%

Halita: 1.0%

Ortoclasa: 3.4 %

Los minerales arcillosos se reportan en orden decreciente de abundancia relativa: Clorita, Esmectita, Illita, Caolinita, Cuarzo, Halita, Calcita, Plagioclasa. De los resultados petrográficos se presentan alternancia de capas de lutita calcárea y calcilutita fosilífera. La textura original de la roca es detrítica de grano muy fino, se observan microlentes de calcilutita fosilífera más arcillosa.

Pruebas de dispersión y expansión.

Se efectuaron pruebas de dispersión y de expansión en volumen empleando diferentes fluidos de prueba, así mismo, se formuló un fluido base en el cual se probaron diversos inhibidores de hidratación y en algunos casos se incluyeron sales, como elemento de prueba en el caso de dispersión se empleó especímenes de núcleo y en el de expansión pastillas reconstituidas de

núcleo malla 200. Todo esto dio por resultado que los aditivos que contienen alcoholes secundarios y/o aldehidos resultan en una mejor calidad de inhibición, además de probar diversas sales se obtuvieron los mejores rendimientos con sales de calcio y magnesio.

Simulador de estabilidad fisicoquímica.

Se efectuó un estudio experimental para caracterizar el fluido de poro de la formación y la interacción de la lutita con los fluidos: interlamelar, de poro y de formación. Así mismo, se empleó información de registros para determinar los parámetros que rigen la interacción roca fluido y desarrollar un modelo de estabilidad fisicoquímica. El modelo experimental inicialmente se considera que la estabilidad del pozo está asociada a:

1. - Gradiente entre la presión hidrostática en el pozo y la presión del fluido de poro de la lutita.
2. - Gradientes de composición y potencial químico entre el fluido de perforación y el fluido de poro de la lutita.

3. - Composición del fluido de poro de la lutita.
4. - Diferencias de composición y potencial químico entre el fluido de poro y los minerales de la lutita.
5. - Mineralogía de la lutita.
6. - Diagénesis y transformación de los minerales de la lutita.
7. - Evolución del fluido de poro vertical y lateralmente
8. - Evolución del fluido de poro por diagénesis.
9. - Variación de la presión osmótica con la evolución del fluido de poro, los minerales autigenos y la adsorción e intercambio de iones entre el fluido de poro y minerales.
10. - Profundidad del pozo
11. - Flujo de agua o filtrado hacia la lutita
12. - Textura, tamaño y distribución de poro de la lutita.
13. - Compactación de la lutita por adsorción e intercambio del fluido de poro.
14. -Peptización de la lutita por adsorción e hidratación.
15. - Modificación de la reología de la lutita.

Ensayos de comportamiento mecánico

Los trabajos realizados a los núcleos consistieron en:

- 1.-Ensayos de compresión hidrostática.
- 2.-Ensayos de compresión triaxial.
- 3.-Medición de las velocidades de ondas acústicas compresionales y transversales.
- 4.-Medición de velocidades de onda acústica compresional y transversal.

Los ensayos de compresión hidrostática triaxial parcial fueron pruebas no destructivas, observándose recuperación elástica de ambas deformaciones bajo condiciones de esfuerzo triaxial.

Los resultados más significativos de los ensayos de compresión uniaxial y triaxial son:

Modulo de Young(kg/cm²)= 188000-321000

Relación de Poisson =0.11-0.256

Esfuerzo desviador en el punto de falla (kg/cm²) = 439-1489

Esfuerzo principal máximo en el punto de falla (kg/cm²) = 439-2300

Presión de confinamiento (kg/cm²) = 0.0-500.0

La figura 13 muestra el gráfico de las pruebas mecánicas realizadas.

Simulador de estabilidad mecánica

Se realizó la integración de la teoría y modelos de elasticidad y poroelasticidad así como de las principales variables que afectan la estabilidad mecánica de las formaciones como temperatura, efecto osmótico, densidad del lodo en el programa de computo de estabilidad. La figura 13 es un ejemplo del resultado de aplicar el simulador para obtener la variación de los esfuerzos limite y real con el criterio de Mohr Coulomb para una salmuera sódica.

APLICACIONES

El conocimiento adquirido durante el tiempo de recopilación de la información, el análisis de la misma, las pruebas realizadas y el desarrollo del simulador se llevó a efecto en la formulación de un fluido base agua que permitiera disminuir el efecto osmótico en la zona arcillosa a perforar con barrena de 17 ½”.

La figura 14 muestra la gráfica de hinchamiento lineal para la formulación original propuesta y la selección con base en el conocimiento adquirido. La diferencia de un 15% permitió un mejor control de los fluidos en el pozo y los tiempos de repaso se vieron minimizados en un 40 %. La aplicación subsecuente en las características básicas de las formulaciones se muestra en los gráficos (15 a 17) donde se ejemplifica el avance sostenido en el ahorro en el manejo de volúmenes de dilución, el avance en la velocidad de penetración, la minimización de problemas de agujero y el ahorro sustancial en el consumo de materiales empleados para el mantenimiento de los fluidos,

Conclusiones.

1.- Con el conocimiento del impacto del fluido de perforación sobre la roca y sus fluidos, se ha logrado identificar y caracterizar un problema significativo. Esto ha permitido reducir sustancialmente los tiempos de operación y de repaso en zonas problemáticas.

2.- Se ha logrado caracterizar y diferenciar entre lo que comúnmente se llama una arena, una lutita y una arenisca, gracias a la información tomada.

3.- El conocimiento generado permite establecer una metodología de diseño de fluidos de perforación para cada pozo.

4.- El entendimiento de los problemas del pozo ha permitido identificar nuevas áreas de oportunidad y por consecuencia reducir las erogaciones y fomentar la adecuada planeación de los pozos.

5.- Se recomienda la toma de información para conocer completamente la roca, sus propiedades y sus fluidos a lo largo del pozo con objeto de mejorar sustancialmente el rendimiento de la perforación.

1.- Informe final del proyecto de interacción roca-fluido.

2.- Expedientes de operación.

Figuras

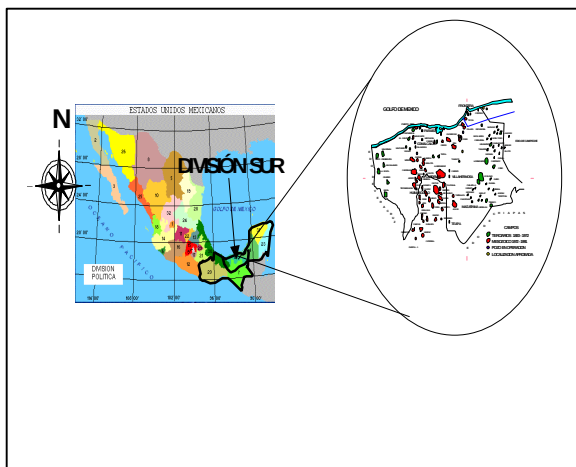


Fig.1 Ubicación División Sur UPMP

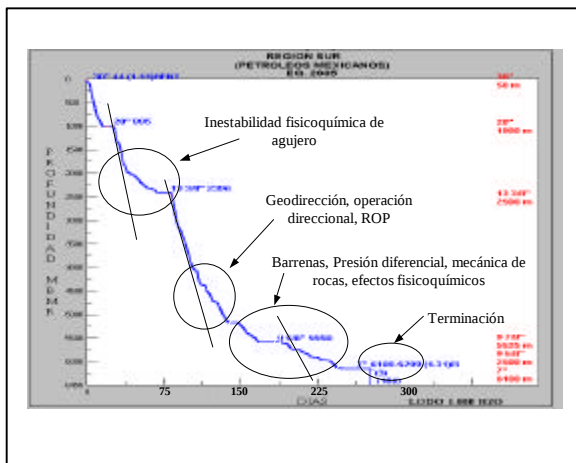


Fig.2 Identificación de Problemática

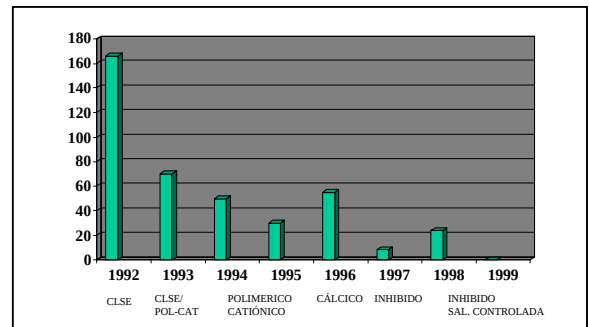
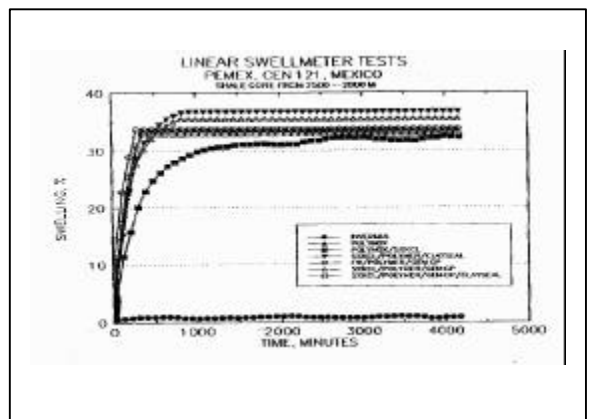
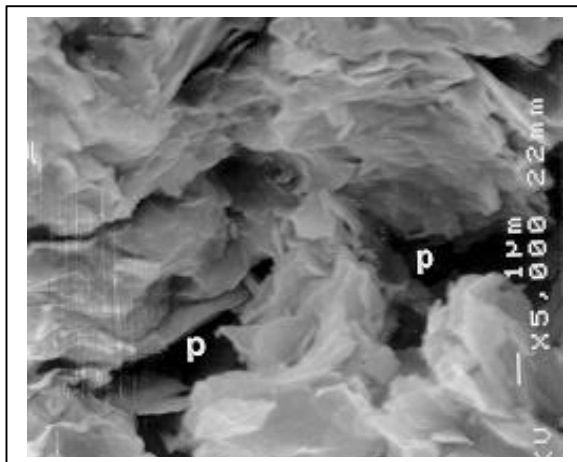
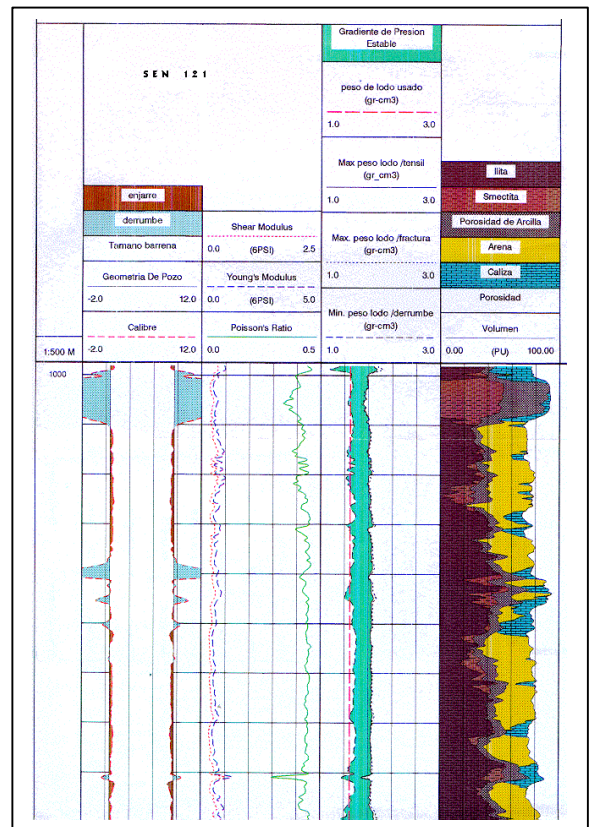
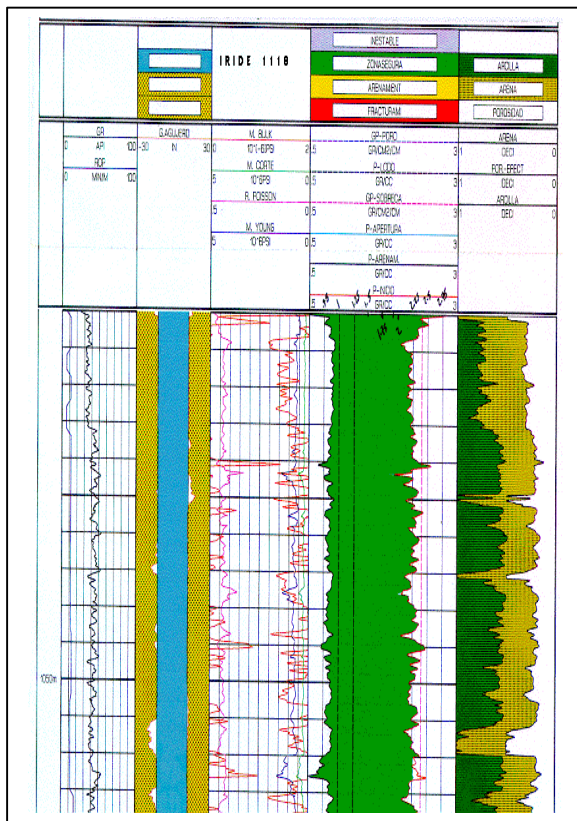


Fig.3 Reducción en tiempos de repaso

CONCEPTO	MONTO (M\$USD)
PROBLEMAS	2080
DILUCIÓN	1200

Fig.4 Impacto económico de la problemática



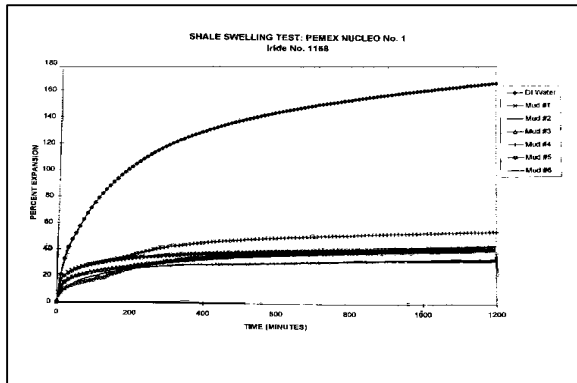


Fig.8 Gráfico de hinchamiento lineal

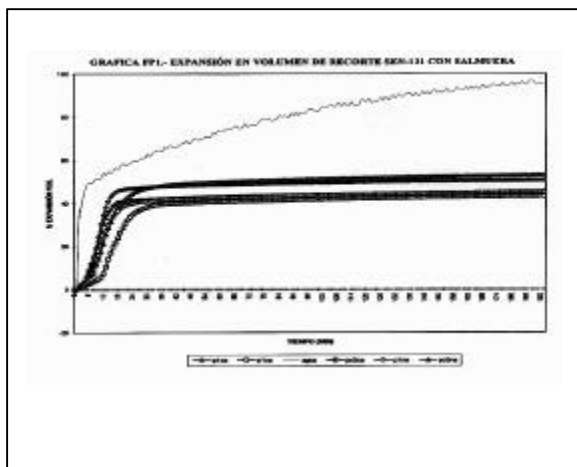


Fig.9 Hinchamiento lineal proyecto fidepemex

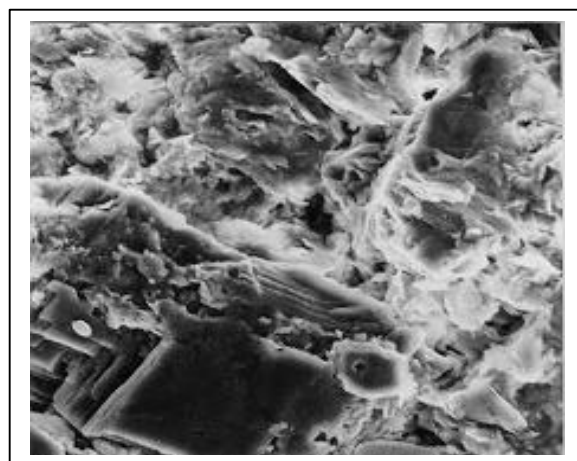


Fig.10 Fotografía de microscopio electrónico de barrido

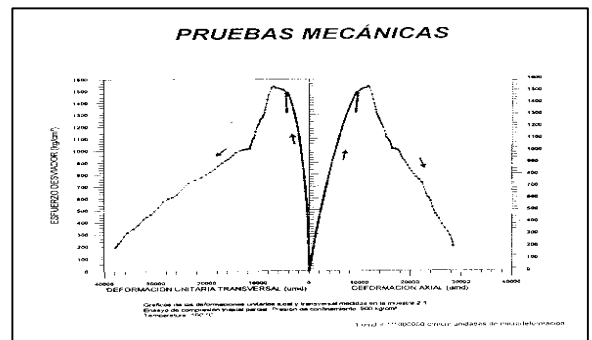


Fig.11 Pruebas en celda triaxial

$$s_H = \frac{n}{1-n} (s_z + P_p) + P_p$$

$$P_p = P_{po} + \Delta P_{osm} + \Delta P_{temp} + \Delta P_{rep}$$

Fig.12 Ecuación de estabilidad

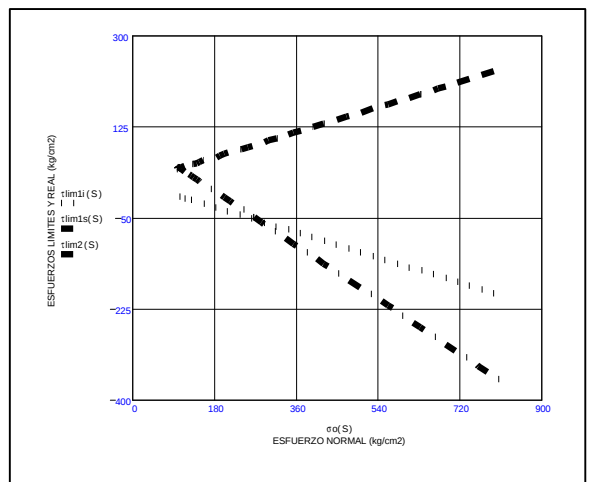


Fig.13 Resultados del simulador.

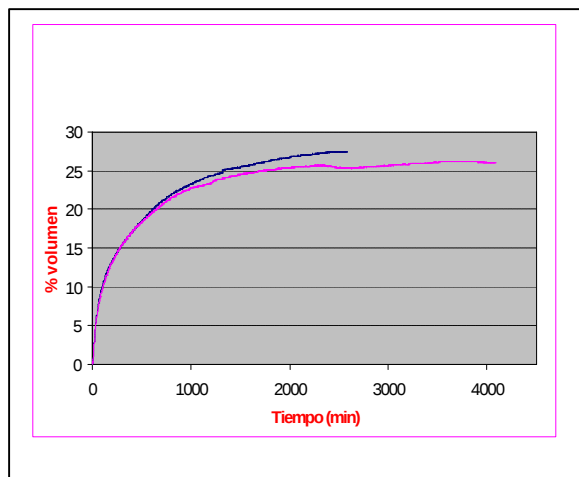


Fig.14 Resultados de la aplicación del proyecto en la formulación

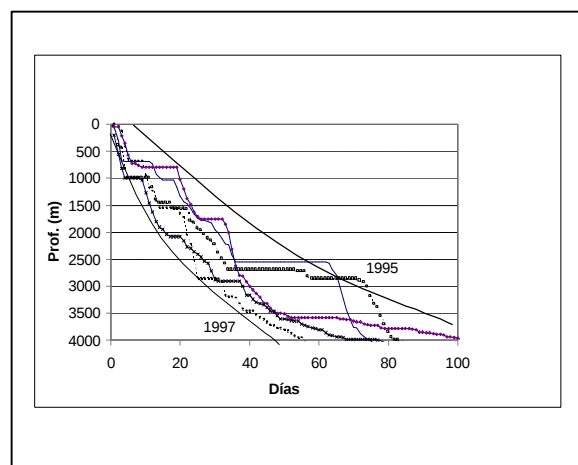


Fig.17 Reducción de tiempos de operación

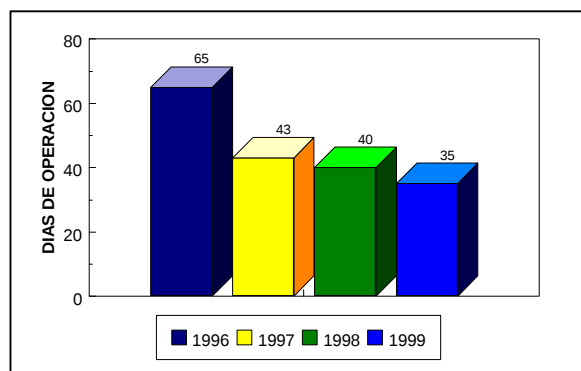


Fig.15 Reducción de tiempos de operación

BENEFICIOS OBTENIDOS CON LA APLICACIÓN DEL ESTUDIO DE INTERACCIÓN ROCA FLUIDO				
ETAPA DE 17 1/2" CON FLUIDOS BASE AGUA TEMPERATURA ME				
AÑO	DÍAS DE OPERACIÓN	VOLUMEN MANEJADO	VOLUMEN DE DILUCIÓN	COSTO ETAPA (MILES USD)
1995	55	1200	600	350
1996	45	800	350	250
1997	20	600	150	350
Beneficio	35	600	450	532

Fig.16 Reducción en volúmenes de dilución
