

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Sección A8

Lubricidad

A8.1	Introducción	2
A8.2	Pruebas de lubricidad del probador de lubricidad de alta presión (HLT)	2
A8.2.1	Descripción del instrumento	2
A8.2.2	Fluidos y condiciones de prueba	2
A8.2.3	Procedimiento de prueba	2
A8.2.4	Resultados	2
A8.3	Pruebas de lubricidad del probador de lubricidad de Baroid	4
A8.4	Pruebas de lubricidad del probador de lubricidad de carga lateral de BP	4
A8.4.1	Descripción del instrumento	4
A8.4.2	Fluidos y condiciones de prueba	4
A8.4.3	Procedimiento de prueba	4
A8.4.4	Resultados de la prueba	4
	Referencias	4

El Manual técnico de formiatos se actualiza de manera continua.
Para verificar si existe una versión más reciente de esta sección, visite el sitio
www.salmuerasdeformiato.com/manual



AVISO Y DESCARGO DE RESPONSABILIDAD. Los datos y las conclusiones que figuran en este documento se basan en trabajos que se consideran confiables; sin embargo, CABOT no puede garantizar ni garantizar que otros obtengan resultados y/o conclusiones similares. Esta información se proporciona para su conveniencia y a fines meramente informativos. No se otorga garantía alguna, ya sea expresa o tácita, en lo relativo a esta información, o cualquier producto al que se refiera. CABOT NO SE HACE RESPONSABLE DE GARANTÍA ALGUNA, EXPRESA O TÁCITA, YA SEA DE COMERCIALIZACIÓN O IDONEIDAD PARA UN PROPÓSITO PARTICULAR EN CUANTO A (i) LA INFORMACIÓN, (ii) CUALQUIER PRODUCTO O (iii) VIOLACIÓN DE PROPIEDAD INTELECTUAL. Por el presente documento, CABOT no se hace responsable ni acepta responsabilidad alguna, en ningún caso, en caso de daños de cualquier tipo en relación con el uso o la fiabilidad de esta información o de cualquier producto con el que se encuentre relacionada.

© 2007 Cabot Corporation, MA, EE. UU. Todos los derechos reservados. CABOT es una marca comercial registrada de Cabot Corporation.

A8.1 Introducción

Con el aumento en el alcance extendido y la perforación horizontal, la necesidad de factores de par y arrastre bajos se está volviendo más imperativa. A su vez, la lubricidad de los fluidos es un factor cada vez más importante en la elección del fluido óptimo para la operación.

Existen varias herramientas distintas para medir la fricción en el laboratorio. La calidad de los resultados varía mucho. Se ha demostrado que el equipo de laboratorio grande o a escala normal proporciona los resultados más precisos.

El coeficiente de fricción (COF) se define como la razón de la fuerza de fricción estática o cinética sobre la fuerza normal. Se han medido los coeficientes de fricción de metal con metal y de metal con arenisca de los fluidos basados en formiato con el probador de lubricidad de alta presión (HLT) en el Westport Technology Center, en Houston, y en la plataforma de pruebas de lubricidad de BP, en Sunbury. Además de estas pruebas a gran escala, también se han realizado otras con el probador de lubricidad de Baroid, que se aplica típicamente en la industria como medición de primera pasada.

Sólo la lubricidad de las salmueras de formiato se analiza en este capítulo. El efecto de añadir lubricantes a fluidos de perforación basados en formiatos se comenta en la sección B5, Compatibilidad con aditivos.

A8.2 Pruebas de lubricidad de probador de lubricidad HLT

A8.2.1 Descripción del instrumento

El probador de lubricidad de HLT del Westport Technology Center, en Houston, es el resultado de un proyecto industrial conjunto de MI Drilling Fluids y BP Exploration para desarrollar un instrumento que mida el coeficiente de fricción de los fluidos de exploración bajo condiciones de campo simuladas. El instrumento, desarrollado hacia fines de la década de 1980 (figura 1) es ahora de propiedad y operación conjuntas de MI Swaco y Westport Technology Center International. Los resultados obtenidos con este instrumento se han verificado con datos de campo y hoy se lo considera como norma de la industria.

El probador de lubricidad está apoyado sobre una base de torno y se diseñó para medir el coeficiente de fricción de metal con metal, metal con arenisca y metal con lutita a temperaturas hasta de 121°C (250°F) con presión y par variable bajo control automatizado.



Figura 1 Probador de lubricidad de HLT de Westport/MI Drilling Fluids

A8.2.2 Fluidos y condiciones de prueba

Se realizaron pruebas de lubricidad de HLT en una serie de mezclas de salmueras de formiatos de cesio y potasio, con densidad que varió de 1.60 a 2.28 g.e./13.34 a 19.0 ppg [1]. Se hicieron pruebas al agua y esta se usó como medición de referencia.

Las pruebas consistieron en:

- **Metal con metal:** El cilindro de prueba metálico se compone de acero al carbono (dureza de Rockwell C 37) y tiene 7.6 cm (3 pulg) de longitud por 6.4 cm (2.5 pulg) de diámetro. La inserción metálica se compone de una sección cortada de tubería N-80 de 11.4 cm (4.5 pulg).
- **Metal con arenisca:** Contacto de metal con arenisca Berea (200 mD)
- **Metal con lutita:** Contacto de metal con lutita Pierre II
- Las pruebas se realizaron a temperaturas de 24, 66, 93 y 124°C (75, 150, 200 y 225°F). La presión de celda fue de 1.72 MPa (250 psi).

A8.2.3 Procedimiento de prueba

Se calibró el probador de lubricidad de HLT con agua. En todas las mediciones, se usó un contacto de 150 rpm y 75 lbf. Se hizo circular cada muestra con velocidad de flujo constante de 2 gpm durante cada prueba. Cada prueba de COF se realizó con el protocolo de prueba del aparato HLT. Cada prueba se efectuó en una serie de nueve repeticiones, con 50 puntos de datos por serie y, en promedio, 25 lecturas por punto de datos. Se determinó el COF como el promedio de cada prueba.

A8.2.4 Resultados

Los resultados de la prueba (tabla 1) indican que las salmueras de formiatos de potasio y cesio, así como sus mezclas, tienen lubricidad muy alta, lo que reduce significativamente los valores del coeficiente de fricción (COF) en comparación con los del agua (tabla 2). También se compararon los valores promedio del coeficiente de fricción contra los del agua, con la reducción porcentual mostrada.

Tabla 1 COF de mezclas de fluidos de formiatos de potasio y cesio, medido con el probador de lubricidad HLT y el probador de lubricidad de Baroid.

Salmuera		Agua	KCsFo 1.60 g.e. / 13.3 ppg	KCsFo 1.77 g.e. / 14.8 ppg	KCsFo 1.94 g.e. / 16.2 ppg	KCsFo 2.11 g.e. / 17.6 ppg	CsFo 2.28 g.e. / 19.0 ppg
Metal con metal							
24°C	75°F	0.3640	0.1391	0.1437	0.1446	0.1561	0.1227
66°C	150°F	0.3595	0.1745	--	0.1496	--	0.1526
93°C	200°F	0.3647	0.1963	--	0.1705	--	0.1661
107°C	225°F	0.3399	0.1802	--	0.1856	--	0.1857
Baroid L. M.		0.355	0.075	0.100	0.105	0.110	0.103
Metal con arenisca							
24°C	75°F	0.5209	0.1281	--	0.0944	--	0.1267
66°C	150°F	0.5299	0.1589	--	0.1303	--	0.1557
93°C	200°F	0.5267	0.1723	--	0.1313	--	0.1513
107°C	225°F	0.4970	0.1695	--	0.1318	--	0.1813
Metal con lutita							
24°C	75°F	0.4524	0.1574	0.1442	0.1358	0.1588	0.1590
66°C	150°F	0.6276	0.2107	--	0.1854	--	0.2066
93°C	200°F	0.5859	0.2190	--	0.2459	--	0.2395
107°C	225°F	0.5750	0.2177	--	0.2587	--	0.2506

Tabla 2 Reducción porcentual del COF respecto al del agua para mezclas de formiatos de potasio y cesio, medida con el probador de lubricidad HLT.

Salmuera		KCsFo 1.60 g.e. / 13.3 ppg [%]	KCsFo 1.77 g.e. / 14.8 ppg [%]	KCsFo 1.94 g.e. / 16.2 ppg [%]	KCsFo 2.11 g.e. / 17.6 ppg [%]	CsFo 2.28 g.e. / 19.0 ppg [%]
Metal con metal						
24°C	75°F	61.79	60.52	69.98	57.12	66.29
66°C	150°F	51.46	--	58.39	--	57.55
93°C	200°F	46.17	--	53.25	--	54.46
107°C	225°F	46.98	--	45.40	--	45.37
Metal con arenisca						
24°C	75°F	75.41	--	81.88	--	75.68
66°C	150°F	70.01	--	75.41	--	70.62
93°C	200°F	67.29	--	75.07	--	71.27
107°C	225°F	65.90	--	73.48	--	63.46
Metal con lutita						
24°C	75°F	65.21	68.13	66.00	64.90	64.85
66°C	150°F	66.43	--	70.46	--	67.08
93°C	200°F	62.62	--	58.37	--	59.12
107°C	225°F	62.14	--	55.01	--	56.42

Las reducciones ocurren en los intervalos de 46% a 66% (metal con metal), de 63% a 82% (metal con arenisca) y de 55% a 70% (metal con lutita). Estas tendencias a COF bajos se observaron con todas las temperaturas de prueba.

La comparación contra fluidos de perforación basados en agua, aceite y compuestos sintéticos, todos ellos formulados con lubricantes, también confirman el coeficiente de fricción muy bajo de las salmueras de formiatos (tabla 3):

Tabla 3 Lubricidad de varios tipos de fluidos determinada mediante el uso del probador de lubricidad HLT.

Fluido	Metal con metal	Metal con arenisca
Base de agua, 15.0 lpg*	0.264	0.338
Base diésel, varios pesos*	0.180	0.223
Base mineral, varios pesos*	0.223	0.231
Base sintética, varios pesos*	0.181	0.253
Formiatos de cesio y potasio**	0.162	0.144

* COF promedio a lo largo de varios años medidos con el mismo instrumento

** COF promedio en todas las temperaturas

A8.3 Pruebas de lubricidad del probador de lubricidad de Baroid

También se evaluaron las mezclas de formiatos de potasio y cesio mencionadas arriba con el probador de lubricidad de Baroid, de conformidad con los procedimientos de API. Los parámetros de prueba fueron 60 rpm, contacto metal con metal y 150 pulgadas-libra de par. La corrida de cada prueba duró 5 minutos. Los resultados de estas pruebas se presentan en la tabla 1.

A8.4 Pruebas de lubricidad del probador de lubricidad de carga lateral de BP

A8.4.1 Descripción del instrumento

El dispositivo de prueba de lubricantes Sunbury es un modelo a escala pequeña de una plataforma de perforación. La tubería de perforación se reemplaza con un vástago de acero de 1" de diámetro externo que gira dentro de un tubo de acero de 1½" de diámetro interno. El tubo está apoyado sobre cojinetes lineales y se puede mover de un lado a otro. La longitud de contacto del tubo y el vástago es de 74.1 cm (2.43 pies).

Se aplican cargas laterales con un sistema de poleas al tubo, de modo que el interior de éste ejerza presión contra el vástago de acero. Un motor neumático en el extremo superior alimenta al vástago. Un transductor de fuerza de rotación, que se monta entre el motor neumático y el vástago, registra el par. Se vigila la velocidad de rotación con un tacómetro.

El sistema de circulación de lodos consiste en un vaso con volumen de casi 6 litros (1.32 gal), que se puede calentar a 65°C (149°F). El lodo circula a través del anillo de abajo hacia arriba.

Una unidad de registro captura datos de la plataforma (par, temperatura y velocidad de rotación).

A8.4.2 Fluidos y condiciones de prueba

Se han realizado pruebas con diversas concentraciones de las tres salmueras de formiatos [2], así como con otras salmueras. Se diluyeron las salmueras con agua desionizada.

A8.4.3 Procedimiento de prueba

- Velocidad de rotación de 120 rpm (condición de campo)
- Tasa de bombeo: 7.12 lpm (1.89 gpm). Equivalentes a 1,892.70 lpm (500 gpm) en el campo. Se demostró que las variaciones tienen impacto mínimo
- Cargas laterales: 31, 21 y 11 kg. Representativo de condiciones de campo verdaderas. Se usó un vástago recto (se demostró que las variaciones tienen impacto mínimo)
- Temperatura: Todas las pruebas se realizaron a la temperatura estándar de 25°C (77°F). El calentamiento por fricción hizo que la temperatura real aumentara a 30°C (86°F)
- Duración: Cada prueba se realizó durante 15 minutos. Se observó que esta duración producía resultados estables.

El procedimiento general se inició con una corrida de 2 minutos sin peso, para encontrar el 'par de tara'. Luego, se aplicó una carga lateral de 31 kg (68.3 lb) durante 15 minutos, seguida de un descanso de dos minutos para restablecer el par de tara. Después, se continuó la corrida con una carga lateral de 21 kg por 15 min, seguida de descanso de dos minutos y, finalmente, de una carga lateral de 11 kg por 15 minutos. Se calculó el COF promedio con base en el promedio de los últimos tres minutos de cada carga.

A8.4.4 Resultados de la prueba

Los resultados para las salmueras de formiatos se muestran en las figuras 2 y 3. Como se esperaba, el coeficiente de fricción de salmueras de formiatos específicas depende de la concentración. A concentraciones altas, los formiatos de potasio y de cesio tienen tanta lubricidad como los lodos a base de petróleo. A concentraciones más bajas, típicamente del formiato de sodio y el intervalo de densidad bajo de los formiatos de sodio y potasio, las salmueras de formiatos se benefician con la adición de un lubricante (consulte la parte B de este manual).

En el caso de todos los sistemas de salmueras evaluados en este estudio, se llegó a la conclusión de que la lubricidad de la salmuera se podía correlacionar óptimamente con su viscosidad. La lubricidad fue más alta al incrementar la viscosidad de la salmuera. Es importante señalar que esta relación se aplica a la viscosidad de la salmuera de formiato en sí, no a la viscosidad aparente del fluido. Por lo tanto, el simple hecho de hacer más viscosa una salmuera de formiatos no mejora necesariamente su lubricidad.

En el caso particular del formiato de cesio, dada una densidad, la lubricidad de la mezcla de formiatos de potasio y cesio es mejor que la del fluido de formiato de cesio diluido.

Referencias

[1] Hoja de cálculo "Friction Coefficient.xls", Westport Technology Center International.

[2] Pingitzer, G.: "Lubricity of Drilling and Completion Fluids – The Influence of metal type on friction". Tesis de maestría, Universidad de Leoben, Austria.

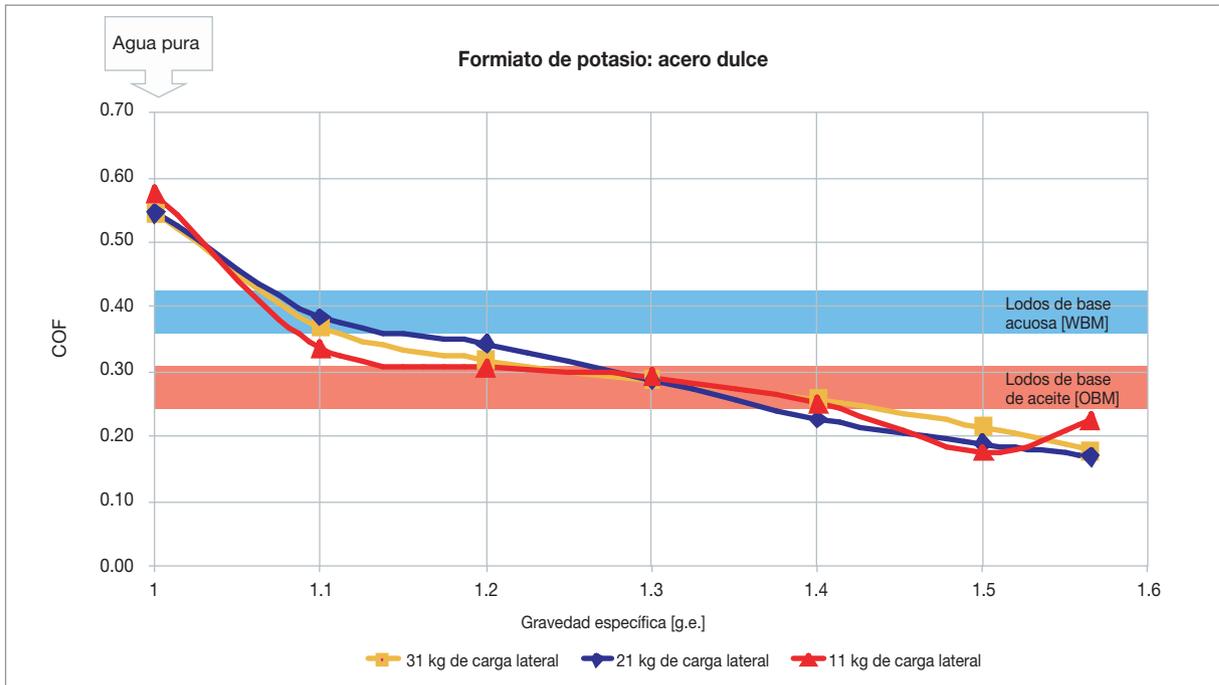


Figura 2 COF de metal con metal para el formiato de potasio como función de la concentración de la salmuera para acero dulce. Las mediciones se realizaron con el probador de lubricidad de Sunbury.

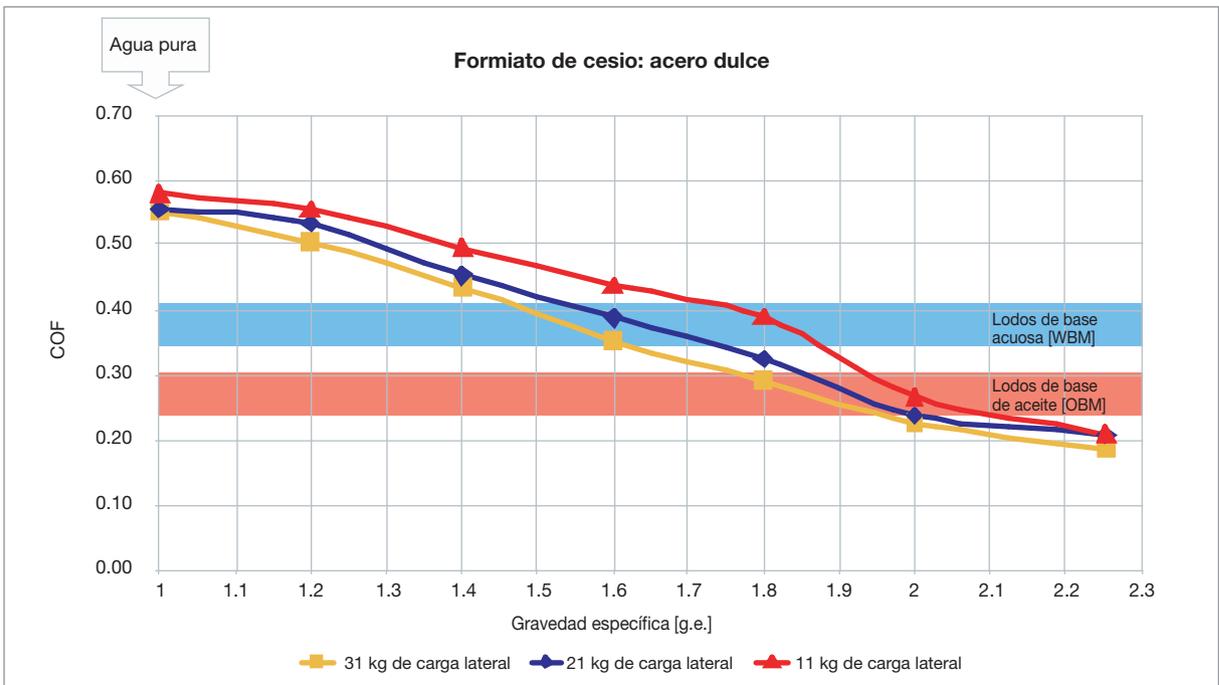


Figura 3 COF de metal con metal para el formiato de cesio como función de la concentración de la salmuera para acero dulce. Las mediciones se realizaron con el probador de lubricidad de Sunbury.