

COMPATIBILIDADES E INTERACCIONES

Sección B12**Solubilidad de minerales
y sales en salmueras de
formiato**

B12.1	Introducción.....	2
B12.2	Solubilidad de sulfatos de metales alcalinotérreos en salmueras de formiato....	2
B12.2.1	Efecto del tipo de salmuera.....	2
B12.2.2	Efecto de la temperatura.....	3
B12.2.3	Efecto de la concentración del formiato.....	3
B12.2.4	Efecto del tiempo de exposición.....	3
B12.2.5	Efecto del pH.....	3
B12.2.6	Efecto de las reacciones de precipitación.....	3
B12.2.7	Significación práctica del incremento de solubilidad del sulfato de metales alcalinotérreos en salmueras de formiato.....	3
B12.3	Solubilidad de sales en salmueras de formiato.....	8
B12.3.1	Solubilidad del sulfato de potasio en salmuera de formiato de potasio.....	8
B12.3.2	Solubilidad del cloruro de sodio (<i>NaCl</i>) en salmuera de formiato de potasio..	8
B12.3.3	Solubilidad del cloruro de magnesio (<i>MgCl₂</i>) en salmueras de formiato.....	8
B12.4	Solubilidad de arcillas en salmueras de formiato.....	12
B12.5	Solubilidad de silicatos en salmueras de formiato.....	12
B12.6	Solubilidad de galena, hematita e ilmenita en salmueras de formiato.....	12
B12.7	Solubilidad del carbonato de calcio en salmueras de formiato.....	12
	Referencias.....	13

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



Specialty Fluids

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 y no garantiza 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.

© 2011 Cabot Corporation, M.A. EE. UU. Todos los derechos reservados. CABOT es una marca comercial registrada de Cabot Corporation.

B12.1 Introducción

Los pozos de petróleo y gas se perforan miles de metros de diferentes minerales para tener acceso a los depósitos que contienen hidrocarburos. Mientras se perforan y terminan, los fluidos de construcción del pozo que circulan en el hoyo de perforación están en contacto con estos minerales, en condiciones de temperatura y presión elevadas. Por lo tanto, es importante tener un conocimiento detallado de cómo los fluidos de perforación y terminación de pozos interactúan con minerales en condiciones subterráneas. En pozos donde es necesario perforar extensas secciones a través de capas gruesas de sales y anhídros, es particularmente importante saber si los fluidos solubilizan estos minerales.

Las salmueras de los yacimientos (fluidos de terminación y filtrados de fluidos de perforación de los depósitos) también están en contacto con los fluidos del depósito. Las aguas de formación contienen muchos iones diferentes, que son frecuentemente divalentes y pueden fácilmente formar incrustaciones insolubles cuando entran en contacto con otros iones divalentes. Por eso, es importante conocer cómo reaccionan diferentes aguas de formación cuando entran en contacto con salmueras del yacimiento.

Se conoce que las salmueras de terminación de pozos con elevado contenido de electrolitos incrementan la solubilidad de los minerales de sulfatos de metales alcalinotérreos (yeso y anhídros), así como del sulfato de bario, los cuales tienen baja solubilidad en agua.

Por ejemplo, Templeton demuestra que las soluciones acuosas de salmueras de cloruro pueden disolver el bario procedente de la barita [1]. Esto es apoyado por Monnin [2], quien demuestra que la salmuera de cloruro de sodio saturada a presión atmosférica solubiliza de 50 a 100 mg/L de bario a partir de la barita a una temperatura de 50 a 100°C (122 a 212°F). A presiones y temperaturas mayores, los niveles de solubilidad del bario pueden aumentar hasta un valor de 200 a 400 mg/L. El mismo autor demuestra que la barita es aún más soluble en salmuera de cloruro de calcio, otro fluido común en la terminación de pozos.

Esta sección del Manual técnico de formiatos echa un vistazo a lo que se sabe acerca de la solubilidad de minerales y sales en las salmueras de formiato. Los datos se han recopilado a partir de varias fuentes conocidas y desconocidas y no siempre están disponibles descripciones completas de los métodos de medición. Teniendo en cuenta las dificultades asociadas con la ejecución de buenas

mediciones de solubilidad en las salmueras, los datos informados aquí deben utilizarse solamente como una guía aproximada.

B12.2 Solubilidad de sulfatos de metales alcalinotérreos en salmueras de formiato

Shell Research ha medido la solubilidad de algunos sulfatos de metales alcalinotérreos en una variedad de salmueras concentradas [3]. Las mediciones de solubilidad se realizaron después de la exposición de muestras sólidas de sulfatos de metales alcalinotérreos a las salmueras. Se variaron los factores siguientes para estudiar sus efectos: tipo de salmuera, concentración de la salmuera, temperatura, tiempo de exposición y pH.

El procedimiento de Shell fue mezclar las salmueras con muestras sólidas de sulfatos de metales alcalinotérreos, calentarlas a la temperatura dada durante el tiempo deseado en un horno giratorio y filtrar rápidamente el fluido caliente. La concentración de los cationes disueltos en el filtrado limpio se determinó mediante espectroscopia de absorción atómica (AAS).

Desde que Shell efectuó estas pruebas, se ha demostrado que cuando los sulfatos de metales alcalinotérreos se disuelven en salmueras de formiato concentradas, se produce alguna precipitación de sulfatos de metales alcalinos. Por lo tanto, en la salmuera de formiato de potasio, ocurre la precipitación de sulfato de potasio y en la salmuera de formiato de cesio ocurre alguna precipitación de sulfato de cesio. Esta precipitación no se tiene en cuenta en los datos de solubilidad de Shell, ya que sólo se midieron los niveles de iones alcalinotérreos solubles (Ba^{2+} , Sr^{2+} , Ca^{2+}).

B12.2.1 Efecto del tipo de salmuera

En la Tabla 1 se enumeran las solubilidades de minerales de sulfato en las diferentes salmueras, y en la Figura 1 se muestran gráficamente. Estas pruebas se realizaron después de 16 h de exposición a 85°C (185°F). Todos los fluidos se probaron a un pH igual a 9.5 (medidos en salmueras no diluidas).

Las salmueras concentradas de formiato de potasio y cesio disuelven niveles significativamente más elevados de sulfatos de metales alcalinotérreos que otras salmueras probadas. La salmuera de formiato de potasio disuelve más sulfato de bario que la salmuera de formiato de cesio, mientras que la salmuera de formiato de cesio disuelve más sulfato de estroncio. La salmuera de formiato de sodio concentrada disuelve generalmente más sulfatos de metales alcalinotérreos que las

salmueras de haluros concentradas, pero significativamente menos que las salmueras de formiato de potasio y cesio.

B12.2.2 Efecto de la temperatura

La dependencia de la temperatura de la solubilidad de los sulfatos de bario y estroncio en salmueras de formiato de potasio concentrada ha sido medida e informada por Shell [3]. Consulte la Figura 2. La solubilidad se incrementa significativamente con el aumento de la temperatura.

B12.2.3 Efecto de la concentración del formiato

Shell también midió la influencia de la concentración del formiato sobre la solubilidad de los sulfatos de bario y estroncio en las salmueras de formiato de potasio concentradas [3]. Consulte la Figura 3. La solubilidad se incrementa al aumentar la concentración del formiato.

B12.2.4 Efecto del tiempo de exposición

Shell midió la influencia del tiempo de contacto sobre la solubilidad de los sulfatos de bario y estroncio en salmueras de formiato de potasio concentradas. Consulte la Figura 4. Los resultados muestran que el sulfato de estroncio se disuelve significativamente más rápido que el sulfato de bario. A 85°C (185°F), el 90% del sulfato de estroncio se disolvió después de alrededor de 3 h y el 100%, después de aproximadamente 12 h. El 90% del sulfato de bario se disolvió después de alrededor de 13 h y el 100%, después de alrededor de 19 h.

B12.2.5 Efecto del pH

Shell midió la influencia del pH sobre la solubilidad de los sulfatos de bario y estroncio en salmueras de formiato de potasio concentradas. Consulte la Figura 5. En el intervalo de pH probado (pH = 7 a 13, medidos en salmueras no diluidas), no se observó ningún efecto significativo del pH.

B12.2.6 Efecto de las reacciones de precipitación

Se han efectuado pruebas para evaluar el alcance de otros mecanismos de precipitación que tienen lugar cuando los sulfatos de metales alcalinotérreos se disuelven en salmueras de formiato. Las pruebas se realizaron midiendo tanto las concentraciones de cationes (Ca^{2+}) como de aniones (SO_4^{2-}) en la salmuera.

Para el anhídrido ($CaSO_4$), se encontró que este mineral se disolvió muy rápidamente en salmueras de formiato de potasio de alta concentración (71% en peso = 1.53 g/cm³ / 12.8 lb/gal). No obstante, algún sulfato disuelto se precipitó como K_2SO_4 , dando como resultado una concentración correspondientemente baja de azufre en la fase líquida.

En formiato de potasio en menor concentración (30% en peso = 1.19 g/cm³ / 9.9 lb/gal), se observó la formación de singenita, $K_2Ca(SO_4)_2 \cdot H_2O$ además de K_2SO_4 . Las concentraciones de azufre en la solución fueron similares a las medidas, al disolver K_2SO_4 en la salmuera (consulte B12.3).

Para el sulfato de bario ($BaSO_4$) con concentraciones más bajas de formiato de potasio, es decir, 10% en peso = 1.06 g/cm³ / 8.8 lb/gal y 30% en peso = 1.19 g/cm³ / 9.9 lb/gal, la concentración del sulfato en la solución coincidió con la solubilidad de K_2SO_4 (consulte B12.3), indicando que la precipitación no había tenido lugar. Para una concentración mayor de formiato (71% en peso = 1.53 g/cm³ / 12.8 lb/gal), la solubilidad (calculada sobre la determinación de azufre) fue significativamente menor que las solubilidades de $BaSO_4$ correspondientes medidas por Shell y determinadas mediante análisis del contenido de bario en la fase líquida, lo cual indica que se produce alguna precipitación de K_2SO_4 .

B12.2.7 Significación práctica del incremento de solubilidad del sulfato de metales alcalinotérreos en salmueras de formiato

El incremento de solubilidad de los minerales de sulfatos alcalinotérreos (“incrustaciones”) en salmueras de formiato concentradas tiene ciertas implicaciones y consecuencias en las operaciones de construcción de pozos. Las salmueras de formiato concentradas disuelven algún bario y estroncio procedente de las incrustaciones y la barita comunes en los yacimientos a temperaturas y presiones elevadas. Esto puede causar alguna precipitación simultánea de sulfatos de metales alcalinos en salmueras de formiato concentradas después de entrar en contacto con las incrustaciones de sulfato o barita. Estos productos precipitados, como el sulfato de potasio, no son incrustaciones. Estos se disuelven fácilmente tan pronto como disminuye la concentración del formiato o aumenta la temperatura y, por lo tanto, no representan una amenaza significativa para la productividad del pozo.

Cuando el filtrado de la salmuera de formiato entra en el depósito, la elevada solubilidad de los sulfatos de metales alcalinotérreos afecta la capacidad de las incrustaciones de sulfato de formarse a partir del contacto entre el agua de formación y los contaminantes de la salmuera. Esta elevada solubilidad de las incrustaciones de sulfatos en las salmueras de formiato no se tiene en cuenta en la mayoría de los paquetes de software de predicción utilizados ampliamente en la industria para predecir incompatibilidades entre las salmueras y las aguas de formación de los yacimientos.

La baja solubilidad del sulfato de potasio en formiatos de potasio concentrados puede causar también alguna precipitación de sulfato de potasio si el fluido de formiato está en contacto con agua de mar, por ejemplo. Es probable que esta precipitación se produzca en la superficie, sobre las zarandas, donde la temperatura del fluido desciende. Estos cristales se vuelven a disolver a temperaturas más elevadas y se disuelven completamente si la concentración de formiato se disminuye por el contacto con el agua del depósito, por ejemplo.

Un segundo mecanismo de precipitación se produce en salmueras de formiato con tampón cuando se disuelven sulfatos de metales alcalinotérreos. Esta es la precipitación de carbonatos metálicos alcalinotérreos. El carbonato

de bario ($BaCO_3$) es insoluble en formiato (bajo condiciones de pH alcalino) y también consume tampón de carbonato añadido a la salmuera de formiato. Por esta razón, es importante evitar que las salmueras de formiato se contaminen con barita.

La ocurrencia de la precipitación también complica enormemente las pruebas de solubilidad en el laboratorio. Para comprender totalmente los procesos de disolución / precipitación, preferiblemente se deben determinar los niveles en el líquido tanto de los cationes como los aniones, analizar la fase sólida y efectuar un balance de masa. Las cifras de solubilidad también lucen diferentes para salmueras tamponadas y no tamponadas.

Tabla 1 Solubilidad de sulfatos alcalinotérreos e incrustaciones después de 16 h de exposición a varias salmueras saturadas a 85°C (185°F). Se ha producido alguna precipitación de sulfatos de sodio, potasio y cesio en todas estas salmueras, de manera que los niveles de sulfato en las salmueras no se corresponden con los niveles de sulfatos de metales alcalinotérreos disueltos.

Minerales/ incrustaciones disueltas [mg/L]	Agua	Sales de sodio			Sales de potasio			Sales de cesio	
		NaFo (40% en peso)	NaCl (26% en peso)	NaBr (46% en peso)	KFo (75% en peso)	KCl (24% en peso)	KBr (34% en peso)	CsFo (82% en peso)	Cs ₂ SO ₄
BaSO ₄	2	80	8	3	5,800	16	14	600	2
Barita	1	160	50	20	2,600	80	50	700	8
SrSO ₄	26	2,700	300	250	110,000	700	500	180,000	350
CaSO ₄ ·2H ₂ O	1,200	2,800	9,000	9,000	90,000	15,000	10,000	80,000	600
Incrustaciones (BaSO ₄)	nd	80	50	14	7,000	50	30	800	1
Incrustaciones (SrSO ₄)	nd	nd	nd	nd	600	nd	nd	nd	nd

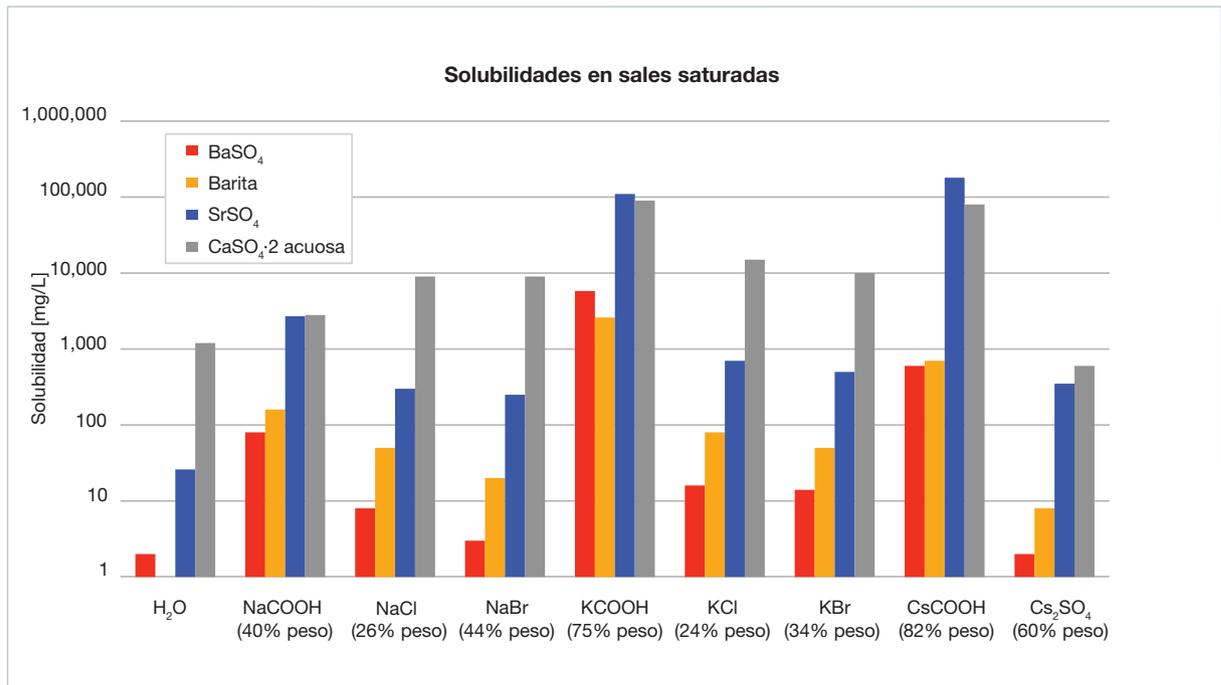


Figura 1 Solubilidad de sulfatos alcalinotérreos después de 16 h a 85°C (185°F) en varios sistemas de salmuera saturada con pH igual a 9.5 (medida en salmueras no diluidas). El gráfico de barras muestra la cantidad de sal de sulfato disuelta calculada a partir de las concentraciones de bario / estroncio medidas en la salmuera después de la exposición. Se ha producido alguna precipitación de sulfatos de sodio, potasio y cesio en todas estas salmueras, de manera que los niveles de sulfato en las salmueras no se corresponden con los niveles de sulfatos de metales alcalinotérreos disueltos.

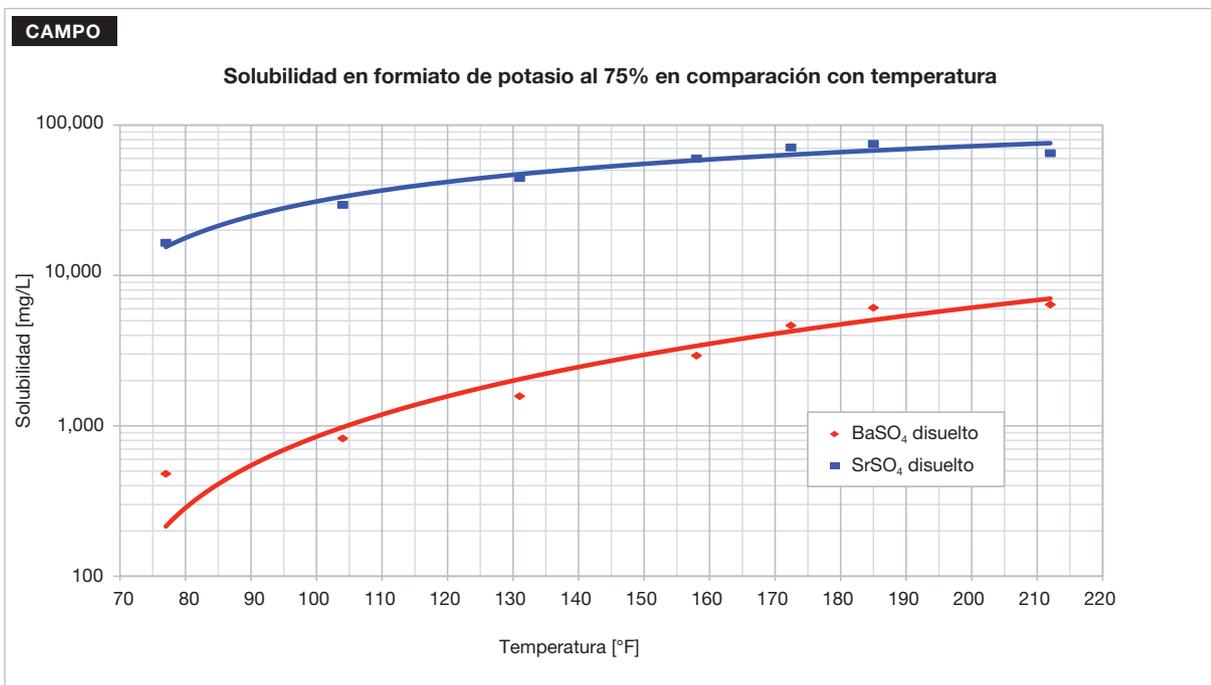
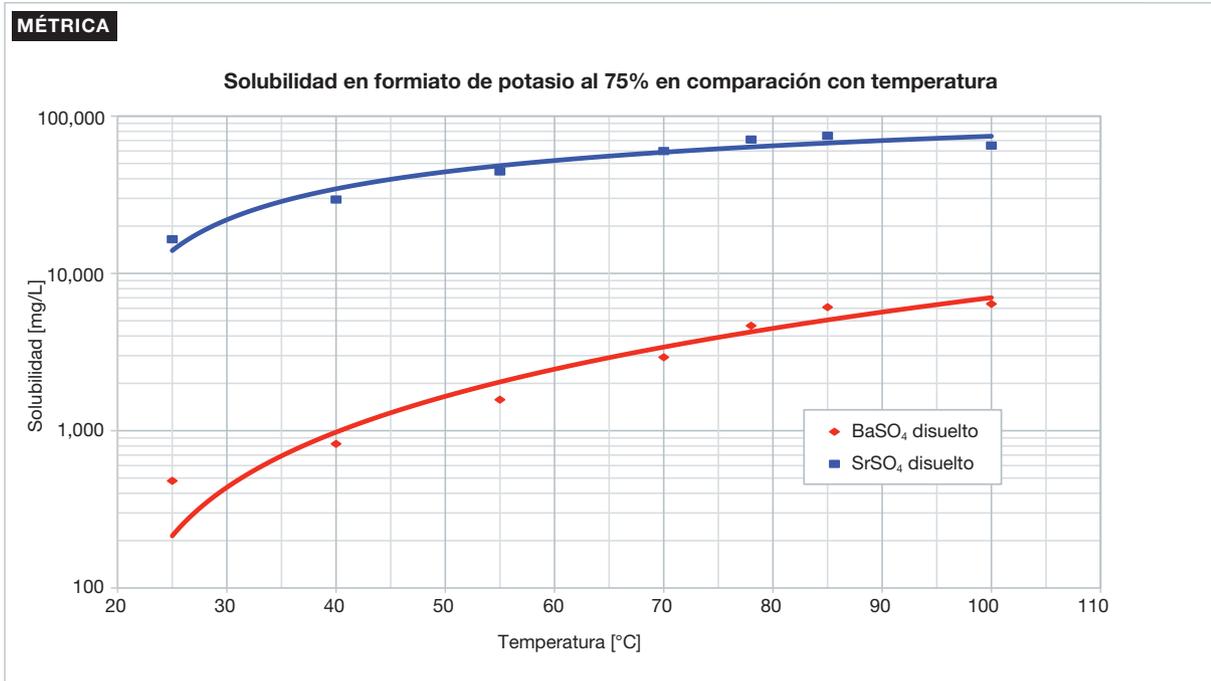


Figura 2 Influencia de la temperatura en la disolución de sales de sulfatos de metales alcalinotérreos en salmuera de formiato de potasio concentrada (75% = 1.57 g/cm³ / 13.1 lb/gal). Tiempo de contacto = 16 h. pH = 9.5 (medida en salmuera diluida). Los gráficos muestran la cantidad de sal de sulfato disuelta calculada a partir de las concentraciones de bario / estroncio medidas en la salmuera después de la exposición. Se ha producido alguna precipitación de sulfato de potasio, de manera que los niveles de sulfato de la salmuera no corresponden con los niveles sulfatos de estroncio y bario disueltos.

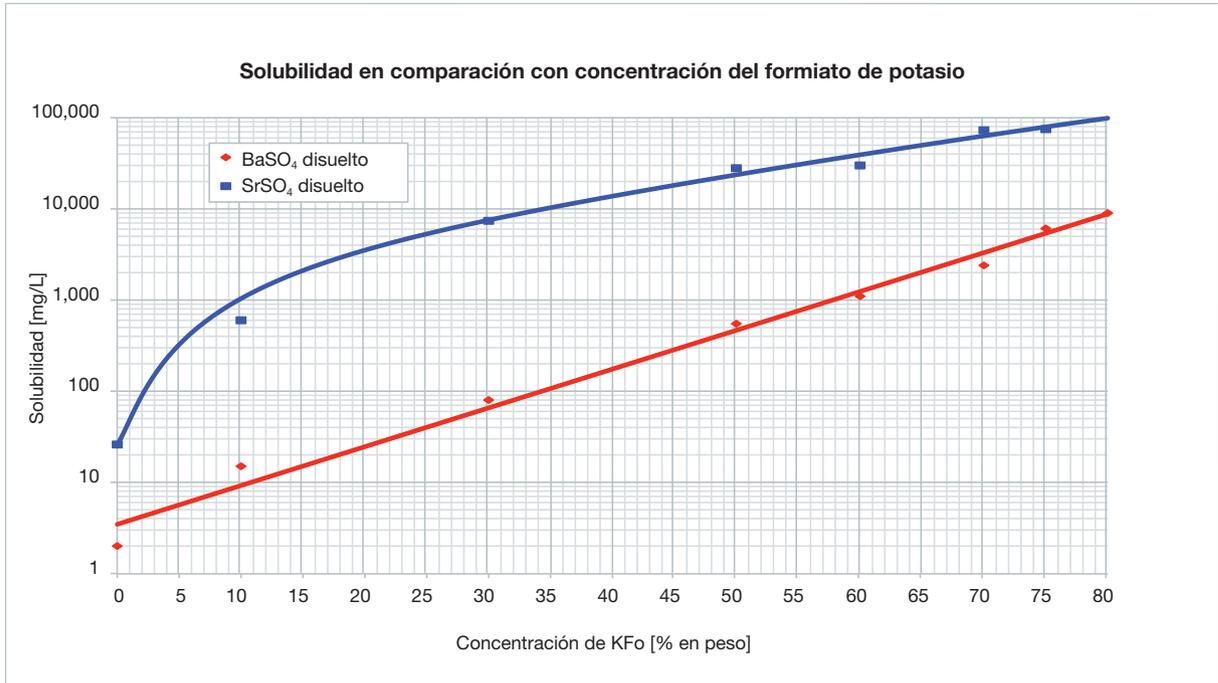


Figura 3 Influencia de la concentración de formiato en la disolución de sulfatos de metales alcalinotérreos en salmuera de formiato de potasio. Temperatura = 85°C (185°F). pH = 9.5 (medida en salmuera no diluida). Tiempo de contacto = 16 h. El gráfico muestra la cantidad de sal de sulfato disuelta calculada a partir de las concentraciones de bario / estroncio medidas en la salmuera después de la exposición. Se ha producido alguna precipitación de sulfato de potasio, de manera que los niveles de sulfato de la salmuera no corresponden con los niveles sulfatos de estroncio y bario disueltos.

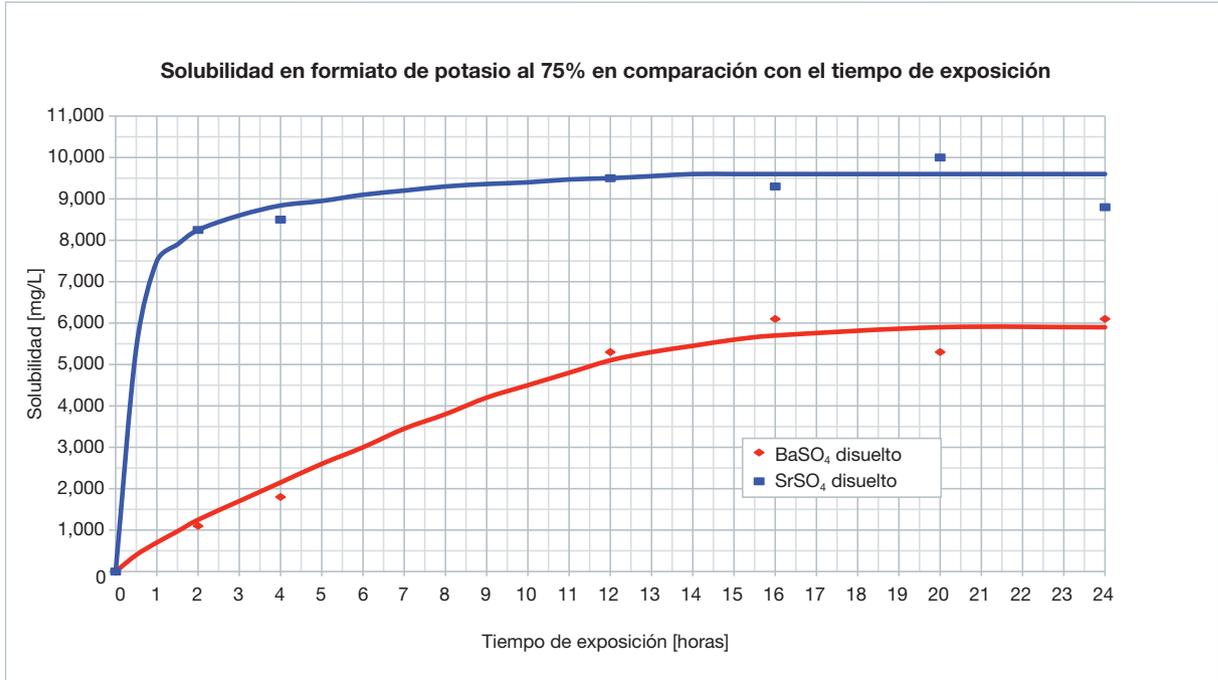


Figura 4 Influencia del tiempo de contacto en la disolución de sales de sulfatos de metales alcalinotérreos en salmuera de formiato de potasio concentrada (75% = 1.57 g/cm³ / 13.1 lb/gal). pH = 9.5 (medida en la salmuera diluida). Temperatura = 85°C (185°F). El gráfico muestra la cantidad de sal de sulfato disuelta calculada a partir de las concentraciones de bario / estroncio medidas en la salmuera, después de la exposición. Se ha producido alguna precipitación de sulfato de potasio, de manera que los niveles de sulfato de la salmuera no corresponden con los niveles sulfatos de estroncio y bario disueltos.

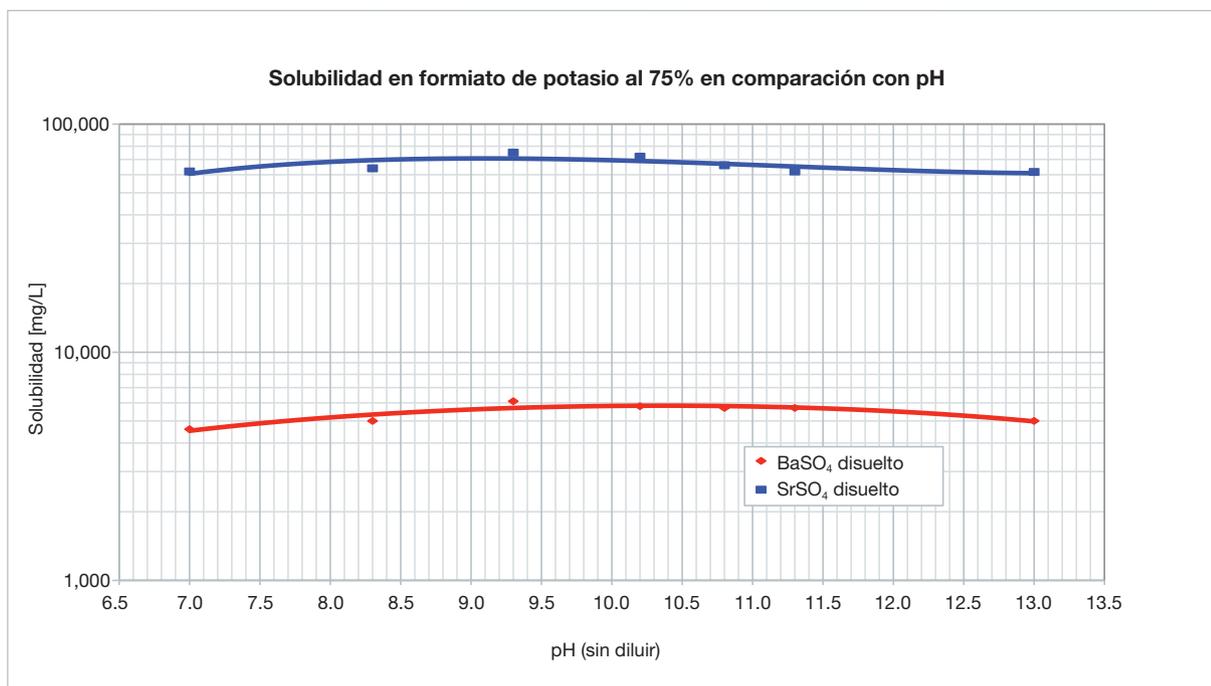


Figura 5 Influencia del pH en la disolución de sales de sulfatos de metales alcalinotérreos en salmuera de formiato de potasio concentrada (75% = 1.57 g/cm³ / 13.1 lb/gal), Tiempo de contacto = 16 h. Temperatura = 85°C (185°F). El gráfico muestra la cantidad de sal de sulfato disuelta calculada a partir de las concentraciones medidas de bario/estroncio en la salmuera, después de la exposición. Se ha producido alguna precipitación de sulfato de potasio, de manera que los niveles de sulfato de la salmuera no corresponden con los niveles sulfatos de estroncio y bario disueltos.

B12.3 Solubilidad de sales en salmueras de formiato

B12.3.1 Solubilidad del sulfato de potasio en salmuera de formiato de potasio

Hay algunos datos disponibles respecto de la solubilidad del sulfato de potasio (K_2SO_4) en salmueras de formiato de potasio [4]. La solubilidad es igual a 176 mg/L aproximadamente en 71% en peso de potasio salmuera de formiato (1.53 g/cm³ / 12.8 lb/gal) a 25°C (77°F), pero aumenta con la disminución de la concentración de del formiato. A modo de comparación, la solubilidad del sulfato de potasio en agua dulce es de 120,000 mg/L a 25°C (77°F). No se observó ninguna precipitación en la salmuera de formiato. La Figura 6 muestra la concentración de sulfato soluble medida en las tres salmueras de formiato de potasio como una función de la temperatura.

B12.3.2 Solubilidad del cloruro de sodio (NaCl) en salmuera de formiato de potasio

Algunos resultados de pruebas de solubilidad están disponibles para la solubilidad del cloruro de sodio en salmuera de formiato de potasio [4]. La solubilidad del cloruro de sodio en 71% en peso en

salmuera de formiato de potasio es igual a aproximadamente 14,000 mg/L, a 25°C (77°F), en comparación con aproximadamente 218,000 mg/L en agua fresca. La solubilidad del $NaCl$ aumenta en las salmueras con contenidos más bajos de formiato de potasio. Las adiciones de excesos de $NaCl$ llevan a la precipitación de cloruro de potasio sólido. También se precipitaron algunas trazas de formiato de sodio a la temperatura más baja en la salmuera de formiato de potasio al 71% en peso. La Figura 7 muestra la concentración del cloruro soluble en la fase líquida como una función de la temperatura y de la concentración de formiato. El aumento de temperatura no tuvo un efecto significativo sobre la solubilidad del $NaCl$.

B12.3.3 Solubilidad del cloruro de magnesio ($MgCl_2$) en salmueras de formiato

El cloruro de magnesio tiene una solubilidad muy baja en salmuera de formiato de potasio de alta densidad y en la salmuera de cloruro de sodio saturada. Una baja solubilidad de $MgCl_2$ es importante al realizar perforaciones en formaciones de sal que contienen cloruro de magnesio, como la bischofita Zechstein.

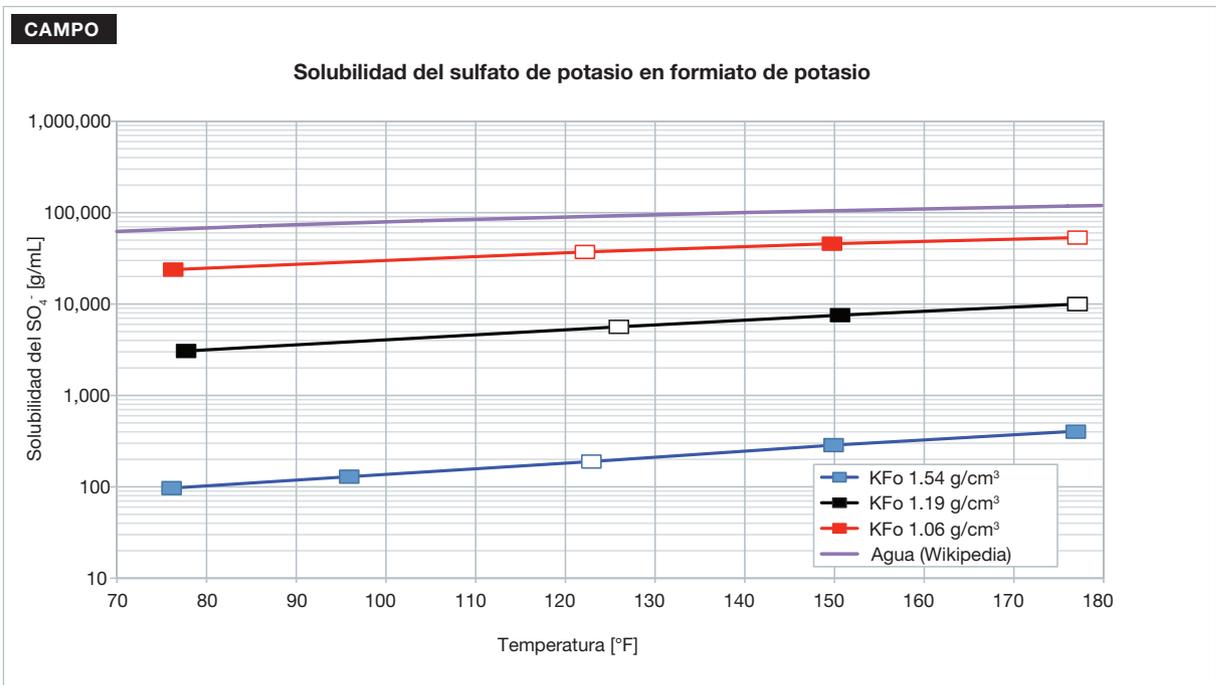
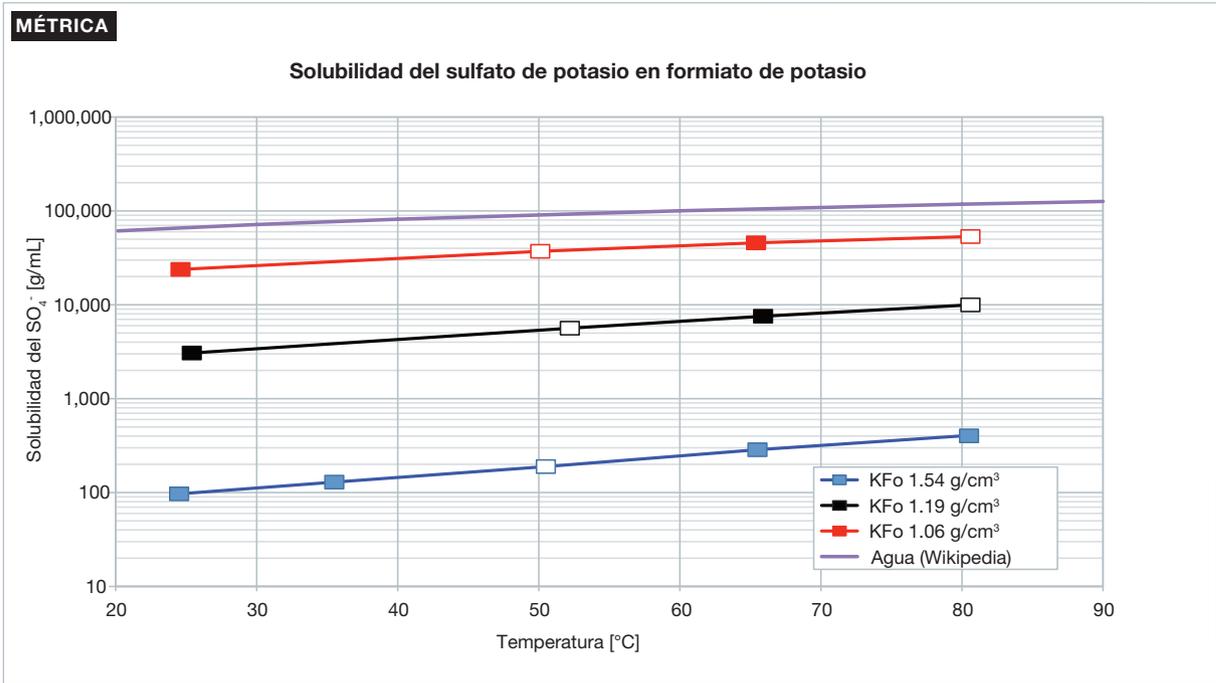


Figura 6 Disolución del sulfato de potasio en tres concentraciones de salmueras de formiato de potasio. Las figuras muestran la concentración medida del sulfato en líquido. Los símbolos abiertos representan experimentos del tipo de disolución; los símbolos cerrados representan los experimentos del tipo de precipitación.

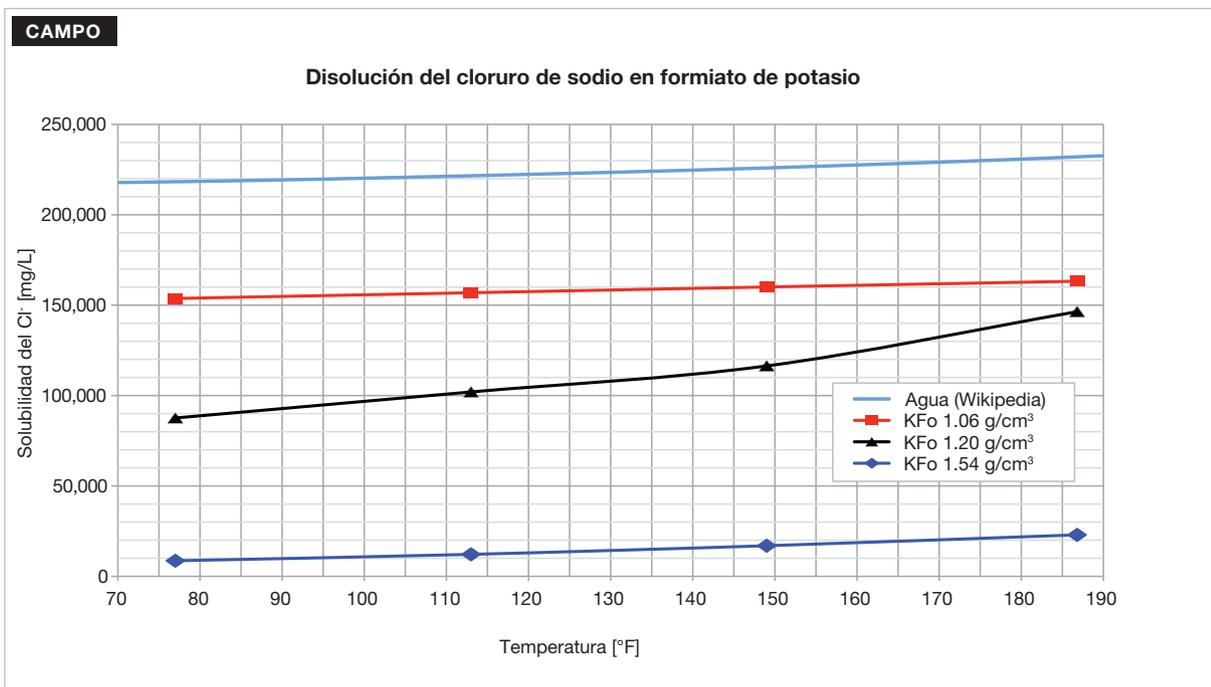
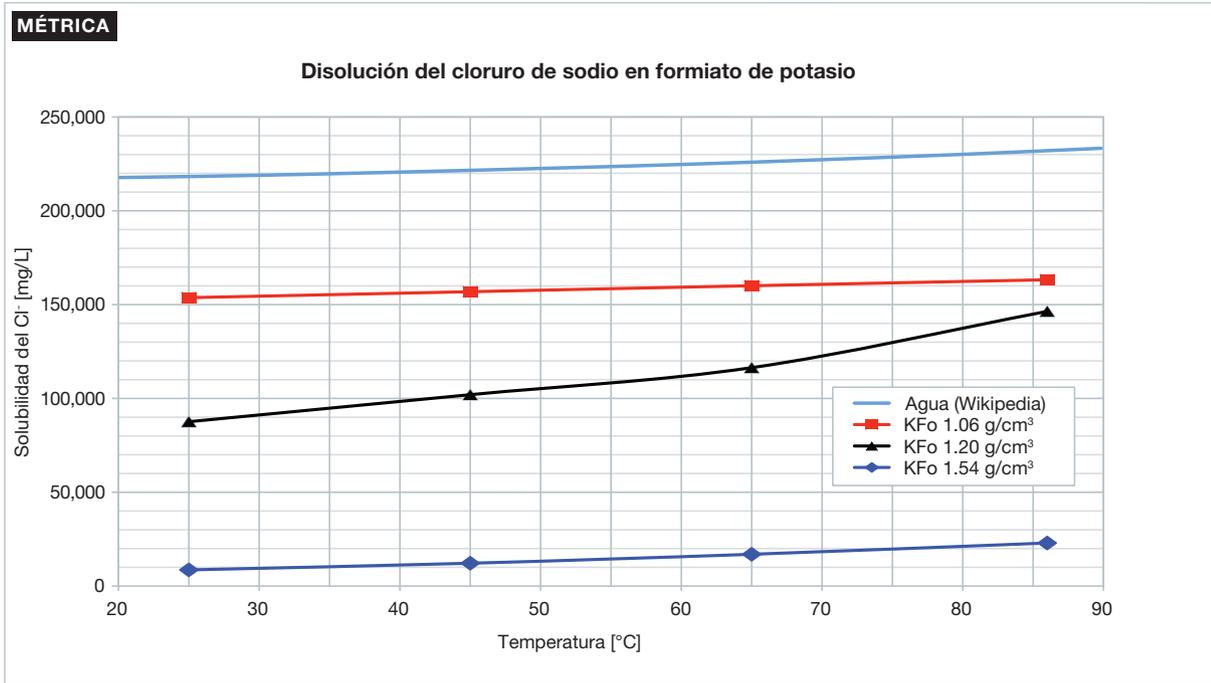


Figura 7 Disolución de *NaCl* en tres salmueras de formiato de potasio. Las figuras muestran la cantidad de *Cl⁻* en fase líquida, como una función de la temperatura y la concentración de formiato.

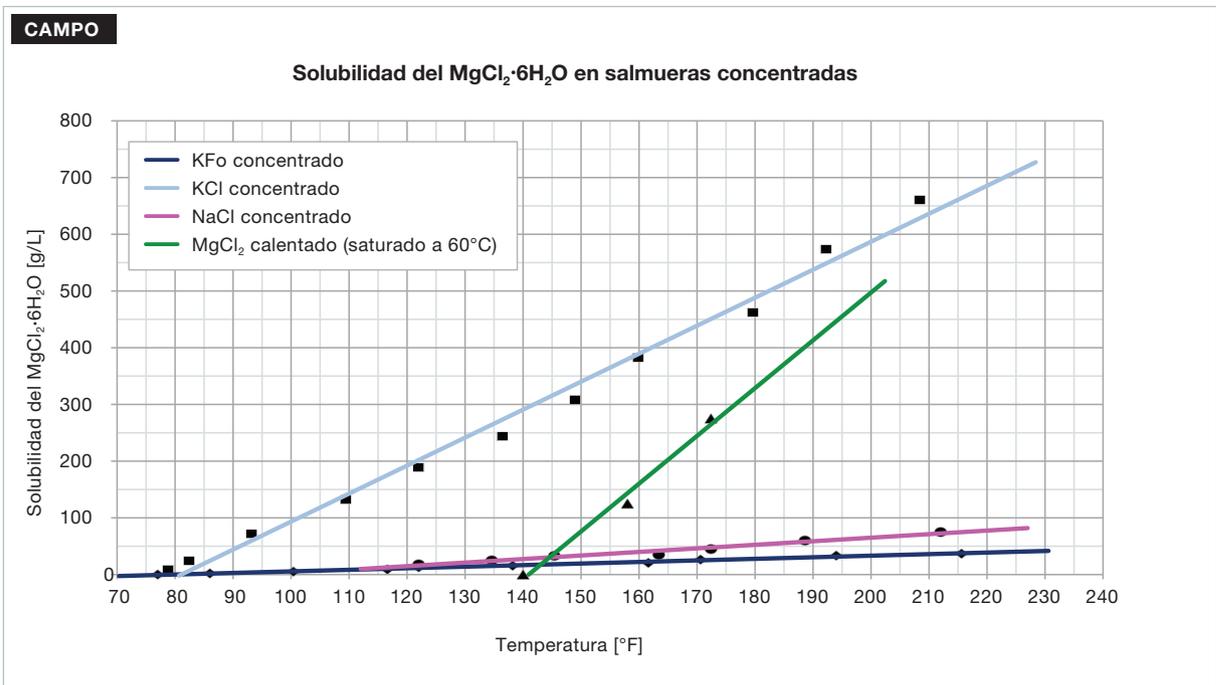
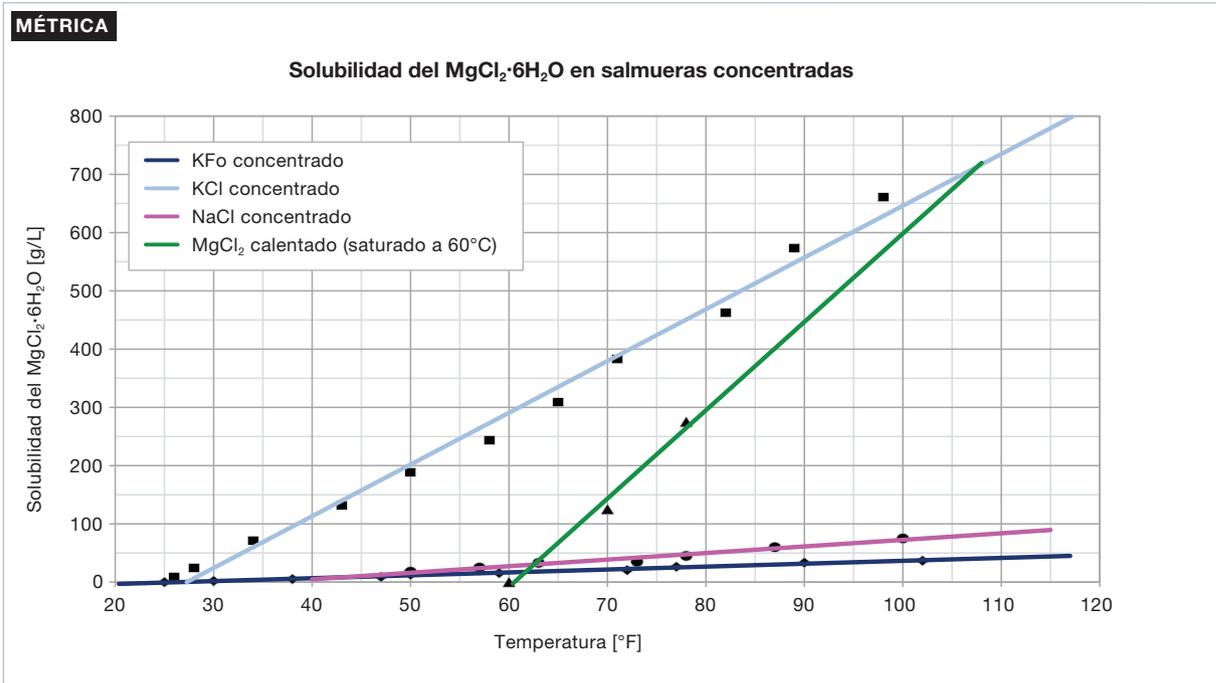


Figura 8 La solubilidad de $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ en varios sistemas de salmuera saturada.

Shell [1] midió la solubilidad del cloruro de magnesio ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) en salmueras saturadas de formiato de potasio, formiato de sodio, cloruro de potasio y cloruro de sodio como una función de la temperatura. Las pruebas también incluyeron una salmuera de cloruro de magnesio sobresaturada, la cual se utilizó previamente como un fluido de perforación al perforar secciones de bischofita Zechstein. Los resultados, que se muestran en la Figura 8, indican una solubilidad muy baja del cloruro de magnesio en el formiato de potasio y cloruro de sodio en comparación con las demás salmueras.

La salmuera de formiato de sodio saturada también redujo significativamente la solubilidad del cloruro de magnesio, pero los problemas de precipitación dificultaron las mediciones. No hay información disponible acerca de cómo se realizaron estas mediciones y de la posibilidad de que se haya producido alguna precipitación en los otros sistemas de salmueras.

Investigaciones adicionales sobre la solubilidad del cloruro de magnesio en formiato de potasio han llevado a la conclusión de que se produce alguna precipitación. $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ se añadió en exceso a las tres concentraciones de formiato de potasio (70%, 31.6%, y 10.7%). En la salmuera de formiato de potasio de mayor concentración (70%), se precipitó principalmente cloruro de potasio. También se identificó algún formiato de magnesio $Mg(COOH)_2 \cdot 2H_2O$ en los precipitados, aumentando la concentración en las salmueras con más bajo contenido de formiato.

B12.4 Solubilidad de arcillas en salmueras de formiato

Algunos datos de solubilidad están disponibles para ciertos esquistos comunes en salmueras de formiato concentradas de sodio, potasio y cesio [3]. Los esquistos probados fueron la montmorillonita de sodio $[(Na,Ca)_{0.33}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot n(H_2O)]$, Caolinita $[Al_2Si_2O_5(OH)_4]$, y esquisto de Manco.

La magnitud de la solubilización se estimó midiendo los niveles del Al y Si solubles en la fase de salmuera después de 16 h de contacto de la salmuera con el esquisto a 85°C (185°F). Los resultados de Al y Si solubles mostrados en la Tabla 5 indican que pocos esquistos se disuelven o percolan por las salmueras de formiato.

B12.5 Solubilidad de silicatos en salmueras de formiato

En la Tabla 3, se muestran los datos de solubilidad para el cuarzo y el silicato amorfo (vidrio) en salmueras de formiato concentradas y en el agua. Aparte de los niveles ligeramente elevados de silicatos disueltos desde el silicio amorfo por el formiato de cesio, hay poca diferencia práctica entre el agua y las salmueras de formiato.

B12.6 Solubilidad de galena, hematita e ilmenita en salmueras de formiato

Galena (PbS), ilmenita (TiO_2 , FeO) y hematita (Fe_2O_3) son todas insolubles en salmueras de formiato. Las mediciones muestran solubilidades menores que 10 ppm, el cual representa el límite de detección del instrumento (ICP).

B12.7 Solubilidad del carbonato de calcio en salmueras de formiato

El carbonato de calcio es el material obturante más comúnmente utilizado en los fluidos de formiato. Su solubilidad en las salmueras de formiato depende del pH. Con el pH alcalino de las salmueras de formiato comerciales utilizadas en el campo, la solubilidad del carbonato de calcio es insignificante. Esto es particularmente verdadero en las salmueras de formiato tamponado con carbonato / bicarbonato.

Tabla 2 Solubilidad de arcillas en salmueras de formiato concentradas. *NaFo* (46% en peso = 1.33 g/cm³ / 11.1 lb/gal), *KFo* (75% en peso = 1.57 g/cm³ / 13.1 lb/gal), *CsFo* (82% en peso = 2.26 g/cm³ / 18.9 lb/gal). T = 85°C (185°F). Tiempo de exposición = 16 h.

Solubilidad [mg/L]	NaFo (45% en peso)		KFo (75% en peso)		CsFo (82% en peso)	
	Al ³⁺	Si ⁴⁺	Al ³⁺	Si ⁴⁺	Al ³⁺	Si ⁴⁺
Montmorillonita	45.0	45.0	4.0	77.0	4.0	8.5
Caolinita	7.5	8.0	1.0	7.0	8.5	8.5
Esquisto de Manco	4.0	7.0	4.0	5.0	--	4.0

Tabla 3 Solubilidad de silicatos en salmueras de formiato concentradas. *NaFo* (46% en peso = 1.33 g/cm³ / 11.1 lb/gal), *KFo* (75% en peso = 1.57 g/cm³ / 13.1 lb/gal), *CsFo* (82% en peso = 2.26 g/cm³ / 18.9 lb/gal). Temperatura = 85°C (185°F). Tiempo de exposición = 16 h.

	Solubilidad del SiO ₂ [mg/L]					
	pH	Agua	NaFo	KFo	CsFo	
Cuarzo	8	45	20	30	40	
	10	55	60	55	35	
	12	175	360	125	35	
Silicato amorfo (vidrio)	8	350	255	940	1,600	
	10	430	255	940	1,600	
	12	500	245	930	1,650	

Referencias

[1] Templeton, C.C.: "Solubility of barium sulphate in sodium chloride solutions from 25°C to 95°C", *Journal of Chemical and Engineering Data*, 5 (octubre de 1960), 514–516.

[2] Monnin, C.: "A thermodynamic model for the solubility of barite and celestite in electrolyte solutions and seawater to 200°C and to 1 kbar", *Chemical Geology*, 155 (1999), 187–209.

[3] Howard, S.K., Houben, R.J.H., Oort, E. van, Francis, P.A.: "Report # SIEP 96–5091 Formate drilling and completion fluids – technical manual", Shell International Exploration and Production, agosto de 1996.

[4] Fuente desconocida.