

**“REEMPLAZO DE SALMUERAS
EN OPERACIONES DE TERMINACIÓN
E INTERVENCIÓN”**

2005

Autores:

Enrique Javier Cuellar Loayza	-	MISwaco
Jorge Alberto Blanco	-	MISwaco
Juan Felipe Talavera Blacutt	-	RepsolYPF Bolivia

1. Abstracto

Repsol-YPF Bolivia, desarrolla operaciones de Terminación/Intervención en campos del centro y norte, en estos últimos la actividad más importante está concentrada en el bloque Mamore.

Los programas son implementados supliendo las necesidades de pozos horizontales/verticales con Terminaciones/reparaciones de alta complejidad, incluyendo empaques de gravas y arreglos con mallas especiales para instalaciones de producción simple y doble selectivas.

Aspectos ligados a los Fluidos de terminación/reparación en operaciones con alto grado de complejidad, a veces trascienden en la ecuación del costo-beneficio, ellos están programados, controlados y se rigen por:

- eficiencia de las operaciones medidas a través de parámetros asociados al control del daño a la formación.
- derivados del costo de tratamientos de los efluentes líquidos adecuados a exigencias medioambientales.

Elevados volúmenes de salmueras son empleados utilizando cloruros de potasio y sodio para controlar presiones de operación e inhibir la matriz arcillosa de los reservorios. Los efluentes generados obligan a realizar costosos tratamientos previos a la deposición final.

Fluidos de interfases residuales, control de corrosión, daños al reservorio por hidróxidos férricos, elevados costos de mantenimiento y filtración, fueron motivos para buscar alternativas en otros fluidos que, manteniendo la integridad del reservorio, mitiguen los problemas mencionados.

El presente trabajo resume la ejecución del plan integral con trabajos de laboratorio y simulaciones de costo-beneficio mostrando las ventajas del reemplazo de salmueras por sales de formiatos de potasio y/o estabilizador de arcillas sin cloruros.

Las mejoras introducidas están planificadas para ser llevadas a la práctica en futuras operaciones.

2. Introducción

Durante las operaciones de Terminación e Intervención que se llevan a cabo en los campos del centro y norte, se emplean formulaciones de salmueras compuestas por cloruros de potasio y sodio. Dichas sales, son añadidas para aumentar el peso de los fluidos y/o controlar las presiones de formación e inhibir la matriz arcillosa de los reservorios

Algunos pozos requieren el recurso de sales de haluros para obtener el control de presión; mientras que, en otros sólo se recurre a ella, como fuente de inhibición y control de la supresión de migración de fino. Esta situación está gobernada por la complejidad de las terminaciones (principalmente con empaque de grava), niveles productivos involucrados, gradiente de presión de formación, historial del pozo y tipo de operación concebida.

En tanto que, las tareas que se vienen realizando como rutina tanto para la intervención como para las terminaciones, implica que dos equipos operen en forma casi permanente, los volúmenes de fluidos utilizados son considerables.

No obstante, las prácticas implementadas para su recuperación y reciclado al finalizar los pozos, importantes volúmenes de efluentes son generados (no recuperables). Dichos volúmenes son tratados en forma previa a su disposición final con el propósito de cumplir con los requerimientos ambientales vigentes. A efectos de una clara tipificación del área en cuestión, la misma está definida como muy sensible a impactos ambientales. En tanto que, los campos integrantes, ya sea dictado por su edad, potencial productivo, estado de desarrollo e historial se clasifican como Maduros.

Los tratamientos a los efluentes para su adecuación, que se llevan a la práctica incluyen: diluciones para reducir el contenido salino, eliminación de interfaces, separación de sólidos y secuestro del hidróxido férrico, emulsiones y otros. Todos ellos, ocasionan un significativo impacto económico en los proyectos.

En términos de eficiencia de las operaciones, con la utilización de estos fluidos se vienen observando anomalías que redundan en incrementos de los gastos directos e indirectos. Tales erogaciones se hacen indispensables para mitigar el efecto del hierro y corrosión tanto fuese para atenuar y/o restaurar el daño a la formación como para la protección de los tubulares y sostener las propiedades del fluido dentro de los estándares aceptados.

El control de pérdidas de circulación es de un valor esencial y prioritario, por tratarse de pozos con completaciones asistidos mediante empaques con gravas, simples y múltiples, horizontales con mallas y reparaciones en pozos con sistemas de extracción dual selectiva y reducidos gradientes de presión de formación

El objetivo del proyecto procuró: Disminuir los costos resultantes de los tratamientos del efluente, del control de la corrosión, daños a la formación y adicionales. Para ello, se convino a introducir sistemas con supresores de hidratación y migración de finos que no provocasen incrementos de la densidad de los fluidos. Así de esa forma, coadyuvar al control de las pérdidas de circulación en pozos con bajas presión del reservorio.

Para alcanzar los propósitos antes enunciados, se ejecutó un plan consistente en el reemplazo de las salmueras en uso por alternativas más versátiles y compatibles con los requerimientos en general. Con tal fin se inició un programa de trabajo que incluyó exhaustivos estudios de laboratorio en muestras de testigos de los reservorios Petaca y Yantata que incluyen el análisis Petrográfico de Retorno de Permeabilidad, Tiempo de Succión Capilar (CST) y Compatibilidad de Fluidos.

Luego de una preselección de opciones, se optó por aquellos basados en las sales de formiatos de potasio y el desarrollado de un fluido con Estabilizador de arcilla y finos libre de cloruros. Finalmente, se midieron las performance de cada uno de ellos frente a sus patrones incorporados en la ecuación del costo-beneficio.

Este documento explica el proceso de la selección de fluidos alternativos y su aplicación con beneficios para la operación y el medio ambiente.

3. Desarrollo

El término “salmueras de Formiato” se refiere comúnmente a tres compuestos: formiato de sodio (NaCOOH), formiato de potasio (KCOOH), formiato de cesio (CsCOOH). Son químicamente clasificadas como sales álcali-metálica proveniente de ácido fórmico. Estas ofrecen propiedades que son en muchos aspectos superiores a sus predecesoras las salmueras de haluros tales como el cloruro de calcio, cloruro de sodio, cloruro de potasio, bromuro de zinc y bromuro de calcio, sin los efectos indeseables de los sistemas de salmueras de haluros.

En particular, las salmueras de formiatos tienen una gran solubilidad en el agua como se observa en la **Tabla 1**. Así mismo, las densidades que se obtienen con el uso de formiatos comprenden el rango de 1.34 – 1.596 g/cc (11.2 a 13.3 ppg) alcanzadas por soluciones saturadas de dichas sales tanto de sodio como de potasio respectivamente, y hasta 2.37 g/cc (19.8 ppg) alcanzada por salmueras saturadas de formiato de cesio. Los Formiatos, así como los sistemas convencionales no tienen materiales sólidos suspendidos a estas densidades; sin embargo, son candidatos ideales para aplicaciones en pozos de petróleo y gas.

Propiedades de salmueras de Formiato				
Descripción	Concentración de Formiato % p/p	Densidad a 20 ° C g/cc	Viscosidad a 20° C centistokes	PH
Formiato de Sodio	45	1.34	7.1	9.4
Formiato de Potasio	76	1.60	10.9	10.6
Formiato de Cesio	83	2.37	2.8	9.0

Tabla 1. Propiedades de salmueras de Formiato

A diferencia de otras sales los formiatos conservan viscosidades excepcionalmente bajas; aún el formiato de sodio líquido con una gravedad específica de 1.20 g/cc presenta una viscosidad ligeramente mayor a 3 centipoises. El formiato de potasio con una gravedad específica de 1.4 g/cc presenta viscosidad de 3 centipoises, y a 1.5 g/cc presenta viscosidad de tan sólo 10 centipoises. Estos son valores registrados en salmueras de formiato de Cesio que representan un desempeño excepcional y realmente bueno a bajas viscosidades. A una densidad de 2.3 g/cc (19.2 ppg) la viscosidad plástica es menor a 4 centipoises.

Debido al importante crecimiento de las operaciones de producción hoy en día, los formiatos son considerados ambientalmente aceptables y han demostrado ser no corrosivos. Siendo además altamente compatibles con los polímeros empleados hoy en día atenuando el riesgo de introducir daño a las formaciones. Además atenúa el riesgo de incurrir en fallas por “Chloride Stress cracking” en aceros de alta resistencia (Cr – 13), por lo que es habitual utilizarlo como “packer fluid”. En tubulares con aceros de bajo grado de aleación el riesgo de corrosión se ve disminuido por la menor solubilidad del oxígeno en los fluidos.

3.1. Estabilidad de las Arcillas con formiatos

Los formiatos muestran un gran potencial de estabilización. Se observan dos mecanismos.

1. Como todo sistema de salmuera en la medida que aumenta su concentración mostrará mayor actividad respecto de la formación con arcilla lo cual, inducirá a la deshidratación de los minerales arcillosos sensibles al agua. Este proceso se rige por el fenómeno de osmosis con el cual se estabilizan dichos minerales.

2. El formiato de potasio posee otras cualidades excepcionales para la inhibición y control de migración de finos. Estas son estimulados por la sinergia proporcionada por su alta solubilidad en el agua (competencia polar) como por el potasio liberado para el proceso de intercambio catiónico y/o fijación. La ausencia de cloruros que reduce efectos asociados a la micro dispersión.

Una síntesis de las ventajas del uso de formiato de potasio como fluido para reparación y terminación de pozos se resume en:

- Reduce el riesgo en el manipuleo y operación
- Ambientalmente segura permite reducir los costos de tratamientos para disposición de los residuos
- Reduce drásticamente los costos de tratamientos
- Reduce los costos de filtración.-
- Por tratarse de productos líquidos (K formiato) facilitan la preparación de salmueras en operaciones de terminación y reparación reduciendo costos en horas de equipos y auxiliares
- Reduce el coeficiente de fricción
- Minimiza el riesgo de formación de hidratos
- Baja nivel de corrosión
- Compatibilidad con elastómeros
- Compatibles con los productos para sistemas de terminación y reparación de pozos
- Reduce el riesgo de formación de incrustaciones
- Compatibles con los fluidos del reservorio
- Operaciones como estimulaciones pueden ser llevadas a cabo sin dificultad
- Inhibe contra el desarrollo de bacterias cuando sus concentraciones en agua dulce proporcionan densidades iguales o mayores a 1,04 g/cc
- En concentraciones moderadas actúa como un preventor y dispersor de incrustaciones de sulfatos de calcio y/o bario

3.2. Fluidos con Estabilizador de Arcillas libre de cloruros

Consiste en un fluido biodegradable con baja densidad exento de cloruro: Incorpora al agua dulce pequeños porcentajes del estabilizador de mineral arcilloso reactivo. Este producto es un polímero catiónico de muy bajo peso molecular y alta densidad de carga basado en la química de las poliaminas modificadas. Por sinergia actúa como supresor de hidratación y preventor de la migración de finos.

Por sus atributos están siendo incorporados a las formulaciones de fluidos de completación, reparación y/o estimulación para sustituir al cloruro de potasio cuando esta sal es usada al 2- 3% como agente inhibidor

Los beneficios obtenidos son:

- Eliminación del cloruro de potasio para formular salmueras de baja densidad donde esta sal es empleada solamente al 2-3% como inhibidor de arcilla reactiva, reduciendo el riesgo del impacto ambiental producido por las altas concentraciones de las salmueras.
- Control de pérdidas de circulación por efecto de un fluido con densidad próxima al agua dulce
- Fácil mezclado por tratarse de líquido apto tanto en su manipuleo como para el medio ambiente; su aplicación reduce el tiempo para la preparación, sólo bastará con agregar en forma líquida el producto en las concentraciones requeridas luego de filtrar el volumen de agua inicial si así fuere necesario.
- Reducción de costos y eliminación de riesgos producidos por el mezclado de sales (Nylon, Pallets, bolsas, etc.)
- Reducción de los costos en horas de equipo y personal que son necesarios para la preparación del fluido de completación.
- Reducción del costo de filtración por la eliminación del mezclado tradicional y agregado de sales que son fuente de aporte mayoritario de sólidos. Sólo se requiere filtrar el agua base, si fuere necesario y agregar el producto rápidamente que NO aporta sólidos.
- Reduce el costo y los riesgos del tratamiento de los efluentes producidos.
- Reduce los costos eliminando el almacenaje y uso de plantas de mezclado.
- Reduce el costo del área y riesgo de almacenaje de sustancias concentradas.
- Reduce drásticamente los costos de transporte pues sólo se requiere el empleo de un vehículo liviano. Un tambor de 208 litros que puede ser transportado en una camioneta para preparar 50 m³ de fluido de completación.
- Menor riesgo de daño en la corrosión de tubulares.
- Menor densidad del fluido (similar al fluido base).
- Compatible con agua dulce, salada y los fluidos para reservorio
- Estable hasta más de 200°C.
- Diseñado y usado en fluidos de perforación de reservorios (RDF) como agente supresor de hidratación de arcillas reactivas.
- Más efectivo que el cloruro de potasio para prevenir la hidratación y dispersión.

3.3 Trabajos de laboratorio

Las pruebas de laboratorio de recortes de las formaciones de interés efectuados en Houston confirmaron los resultados ya obtenidos en Santa Cruz.

Estas pruebas fueron:

- Análisis Petrográfico de Retorno de la Permeabilidad.
- Tiempo de Succión Capilar
- Pruebas de Compatibilidad de Fluidos
- Determinación Curva de Calibración de Ion potasio

El objetivo de estas pruebas fue la comparación de los resultados de compatibilidad para el cloruro de potasio, formiato de potasio y Estabilizador de arcilla libre de cloruros en muestras de formación

de los reservorios Petaca y Yantata. Los fluidos probados mostraron una inhibición significativa comparada con salmueras de baja salinidad, agua fresca y 1% de cloruro de sodio (NaCl).

Ninguno de los fluidos fue claramente superior a los otros basado en el tiempo de succión por capilaridad. (CST); sin embargo, los resultados de este análisis (CST) indican que el cloruro de potasio y el formiato de potasio son ligeramente mejores que el estabilizador catiónico de arcilla libre de cloruros a la concentración de prueba.

3.3.1. Prueba de Flujo en Testigos (Retorno de Permeabilidad) .

Pruebas de permeabilidad fueron realizadas en los testigos de las Formaciones Petaca (PLM- X1) y Yantata (PLM-A3). Los testigos de la formación Petaca del pozo PLM-X1 fueron probados. Se utilizó una salmuera con 1% NaCl para simular el agua de la formación. Todos los testigos probados presentaron una aparente sensibilidad a esta agua.

Los resultados de las pruebas se muestran en la **Tabla 2**:

Muestra #	Salmuera	K _{inicial}	K _{retornado}	Resultado del Test
PLM X1 3-24-4	None			El testigo fallo cuando se saturó con la salmuera.
PLM X1 2-36-6	3% KCl	0.19 md	0.05 md	
PLM X1 3-22-2	3% KCl	2.2 md	NA	El testigo fallo durante K _{return}
PLM X1 3-29-8	3% KHCO ₂	0.17 md	0.05 md	

Tabla 2. Resultados de la Pruebas de Permeabilidad

De la **Figura 1** hasta la **Figura 7** se ilustran el comportamiento del Retorno de Permeabilidad de los diferentes Testigos empleando los diferentes tipos de fluidos ya mencionados. En la **Tabla 3** se indica el Análisis Petrofísico correspondiente.

La salmuera de baja salinidad (1% NaCl) no es suficiente para estabilizar el contenido de arcilla en las muestras. Los testigos fueron recibidos en estado seco. La desecación de las muestras puede alterar su estado nativo, volviéndolas más sensibles a salmueras de baja salinidad.

ID Muestra	Tipo de Roca	Porosidad y tamaño de Poro	Otras
PLM-A31 1-4-2	Arenisca	Poros máximo 200 micrones. La mayoría tienen tamaño 50-100 micrones. Porosidad 35%. Los poros están bien conectados	Tamaño grano 100-250 micrones. Cuarzo (80%), feldespatos(10%), arcillas (~5%), y otros componentes menores.
PLM-A31 2-9-4	Arenisca	Poros máximo 200 micrones. La mayoría tienen tamaño 50-100 micrones. Porosidad 30%. Los poros están bien conectados	Tamaño grano 100-250 micrones. Cuarzo (80%), feldespatos (10-15 %), arcillas (~5%), y otros componentes menores.
PLM-X1 3- 21-7	Arenisca	Poros máximo 300 micrones. La mayoría de los poros son < a 150 micrones. Porosidad 5 – 10 %. Poros no están bien conectados. Muchos de los poros están totalmente bloqueados por arcillas o calcitas.	Tamaño grano 100-300 micrones. Cuarzo (65%), feldespatos (15 %), arcillas (10-15 %), y otros componentes menores.

Tabla 3. Análisis Petrofísico de los testigos

El análisis petrográfico indicó una pobre conexión en los poros de la formación Petaca, con un 5-10 % de porosidad. Tamaño promedio de poros de 150 micrones y cerca a estar completamente bloqueados con arcilla y calcita. La formación Petaca tiene un mayor contenido de arcilla (10-15%) que la formación Yantata (~5%).

3.3.2. Pruebas de Tiempo de Succión Capilar CST.

El objetivo de realizar esta prueba es comparar el CST de cloruro de potasio, formiato de potasio y Estabilizador de Arcilla Libre de Cloruros en los testigos de las formaciones reservorios Petaca y Yantata.

La prueba para determinar el Tiempo de Succión Capilar (CST) evalúa la calidad inhibitoria de la salmuera en la arcilla de formación. Mientras más reactivo sea la arcilla de formación a la salmuera, el CST será más prolongado. Esto se debe a la reacción entre la salmuera y las arcillas de la formación que reduce la habilidad de la salmuera a ser absorbida por el papel de la prueba (test paper). Estos resultados se muestran en las **Figuras 8 y 9**.

El procedimiento de la Prueba CST consiste en:

1. Moler una muestra de arcilla
2. Tamizar la muestra a través de mallas 100 – 200 mesh hasta que se obtenga suficiente cantidad de muestra para poder realizar las pruebas.
3. Armar el equipo para la prueba de Tiempo de Succión Capilar de acuerdo a las instrucciones del manual.
4. Mezclar 3 gramos de la muestra de arcilla con 36 mL de salmuera empleando un vaso de mezcla EBERBACH de 50 mL en un agitador individual durante 60 segundos.
5. Inmediatamente después de la agitación colectar 5 mL de la mezcla salmuera/arcilla con una pipeta o una jeringa y depositarla en el embudo del probador CST colocando la muestra en el lado que esta en contacto con el papel filtro. Realizar cada corrida dos veces.
6. Medir y registrar el Tiempo de Succión Capilar (CST) en segundos.

3.3.3. Pruebas de compatibilidad de fluidos

El trabajo de compatibilidad fue realizado con el fin de verificar las reacciones del formiato de potasio en agua de preparación común con el agua de las formaciones productoras: Petaca y Yantata.

Los ensayos demostraron que los parámetros principales de las soluciones no sufren cambios drásticos. Se realizaron mezclas de cloruro de potasio KCl incrementando la relación de volúmenes de agua – salmuera: 10 partes agua con 90 partes de salmuera hasta 90 partes de agua con 10 partes de salmuera. Iguales relaciones de mezclas sirvieron para comparar el comportamiento que tiene el formiato de Potasio como se ilustra en la **Tabla 4 y 5**.

Los resultados de estos ensayos comparativos, evidencian que los parámetros fisicoquímicos más importantes presentan comportamientos similares tanto en concentraciones bajas como en altas en el KCl ó en KCOOH. Ver **Tabla 4 y 5**.

De acuerdo a las **Figuras 10** hasta la **Figura 17** no se evidencian reacciones de incompatibilidad.

A continuación se describe el comportamiento de los principales parámetros de posible incompatibilidad:

- La Dureza es muy similar como se ilustran las **Figuras 10 y 11**.
- El comportamiento de los cloruros es completamente opuesto al comportamiento de los formiatos: los cloruros en el KCl incrementan a mayor relación; mientras que con formiatos tienden a desaparecer a medida que se incrementa la relación de mezcla. Ver **Figuras 12 y 13**
- El pH es muy similar de acuerdo a las **Figura 14 y 15**.
- La alcalinidad es más consistente cuando se trabaja con KCOOH. **Figuras 16 y 17**

3.3.4 Determinación de la curva de calibración del ión potasio.

Con la finalidad de establecer una curva de calibración para el formiato a utilizar se realizaron las pruebas de Laboratorio cuyos resultados se observan en la **Tabla 6 y Figura 18**

3.3.5. Observaciones

Tan pronto como la salmuera fue inyectada en los testigos, la presión de inyección se elevó inmediatamente y siguieron incrementándose con la inyección de fluido. Estos frágiles testigos presentaron la tendencia a liberar arcilla y partículas finas que bloquearon los poros con el transcurso de la prueba de permeabilidad.

Por esta razón se realizaron las pruebas de succión capilar. Las pruebas CST confirmaron el alto contenido de arcilla en la formación Petaca, como se evidencia en el valor mas alto de CST para el agua fresca (316 seg.) versus los resultados de la formación Yantata (54 Seg.). Ambos fluidos contenían 3% de Formiato de Potasio y el 2% de Estabilizador de Arcilla Libre de Cloruros se comportaron igual al fluido con el 3% KCl con los testigos de la formación Petaca; sin embargo, su comportamiento fue levemente diferente en la formación Yantata donde el 3 % de KCl y el 3 % Formiato de Potasio se comportaron igual y levemente mejor que el 2 % de Estabilizador de Arcilla Libre de Cloruros.

Los tres fluidos mostraron una inhibición significativa comparada con el agua de-ionizada. Ninguno de los fluidos fue claramente superior a los otros basado en el tiempo de succión capilar.(CST). Los resultados de este análisis CST indican que el cloruro de potasio y el formiato de potasio son ligeramente mejores que el estabilizador de arcilla libre de cloruros en la concentración de prueba.

Las pruebas de compatibilidad no evidencian ningún aspecto adverso entre los fluidos de la formación y las salmueras empleadas; por lo que la substitución de salmuera de KCL y NaCl por formiatos es viable técnicamente.

4. Conclusiones y recomendaciones

1. Las sales de formiatos de potasio son aptas para sustituir al cloruro de potasio y sodio, tanto se trate para incrementar la densidad del fluido como para proporcionar inhibición a las formaciones con arcillas reactivas.-

2. En bajas concentraciones, equivalentes, el formiato de potasio provee igual o mejor rendimiento como inhibidor de arcillas y preventor de migración de fino que el Cloruro de Potasio.-
3. Teniendo en cuenta sólo el ensayo de CST El estabilizador de arcillas libre de cloruro exhibe un comportamiento semejante al cloruro de potasio y formiato de potasio para formaciones ricas en arcillas como Petaca, en tanto que es levemente inferior para la formación Yantata. Sin embargo, ninguna de las formulaciones fue claramente superior.
4. Formulaciones con concentraciones variables de formiato de potasio y estabilizador de arcillas libres de cloruros exhiben plena compatibilidad con los fluidos del reservorio.-
5. Las alternativas evaluadas son compatibles y versátiles para satisfacer las demandas de las operaciones de terminación y reparación en el bloque Mamore.
6. Así se puede optar por formulaciones con formiato de potasio y/o estabilizador de arcillas libres de cloruros para lograr el objetivo y concordante con los requerimientos de densidad de los fluidos
7. El reemplazo de las sales de cloruros de potasio y sodio por las opciones evaluada proporciona ventajas económicas medibles de manera directas e indirectas, cómo así también ambientales y para la seguridad de las personas y operación .-

5. Bibliografía:

1. Jorge Blanco; Bethicia Prasek, Russell Leonard, Wenwu He; "Formation Compatibility with Chloride-free Brine", Houston Research & Engineering Center; Marzo 2005.
2. Enrique Cuellar; Fernando Claros; Julio C. Toro; "Pruebas de Compatibilidad de fluidos" ; Laboratorio Química de producción M-I-Swaco Santa Cruz-Bolivia; Enero 2005.
3. Juan Pérez; Fernando Claros; "Determinación de la Curva de Calibración del ión Potasio" ; Laboratorio de Fluidos M-I-Swaco Santa Cruz-Bolivia; Mayo 2005.
4. SPE 30 498 : Formiato brine for drilling and completion ;State of the art By S.K.Howard Shell B

6. Curriculum Vitae - Autores.

Enrique Javier Cuellar Loayza

Ingeniero Químico graduado de la Universidad Francisco Xavier en el año 1978, trabajo como Ingeniero de Producción en YPFB, Supervisor De CTS en Baroid Bolivia, Gerente de W.O.& C.en Intergas, Gerente de área división Petrolite Baker Hughes, Supervisor de W.O.& C en MI SWACO.

E-mail: jcuellar@miswaco.com , Teléfono: 591-3-3531580; Teléfono Móvil: 591-71644750.

Jorge Alberto Blanco:

Tecnico industrial superior graduado en la ENET UIA Gral Pico LP ,33 años en la industria del petroleo en distintas funciones en los rubros Produccion,workover, fluidos perforacion,terminacion.y control de arena. Empresas :Bridas SAPIC ,AGIP SAIPEM ,YPF;REPSA ;MAGCOBAR/BOLLAND Y CIA. Actualmente : M-I -Swaco como Gerente Técnico Regional para el área del Sur de Latinoamérica para la división RDF &CF.

Email jblanco@miswaco.com Tel 54(299) 50323000

Juan Felipe Talavera Blacutt

Ingeniero Petrolero graduado de la Universidad Autonoma Gabriel Rene Moreno en el año 1991. Trabajo como responsable de ingenieria de reservorio en YPFB hasta el año 1997.

Tambien se desempeño como ingeniero de reservorio en la empresa Andiana S.A.

Actualmente se desempeña como responsable de Operaciones de Intervencion Terminación de pozos en Repsol YPF Bolivia

Email jtalaverab@repsolypf.com Tel 591 338 4214 – Telefono Movil: 591 716 41410

7. Figuras:

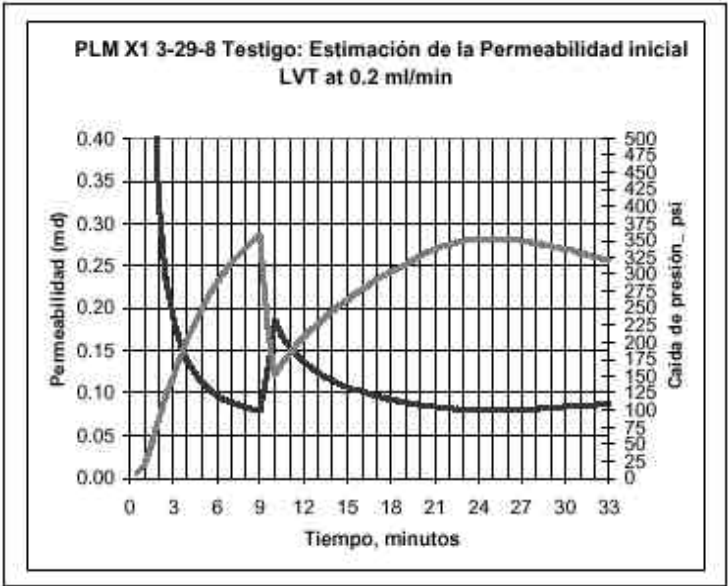


Figura 1 : Permeabilidad Inicial Agua Desionizada.

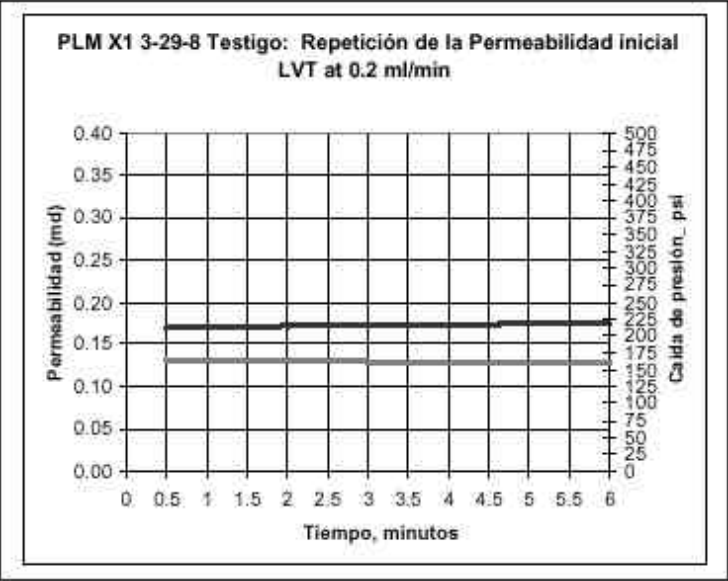


Figura 2 : Repetición de la Permeabilidad Inicial Agua Desionizada.

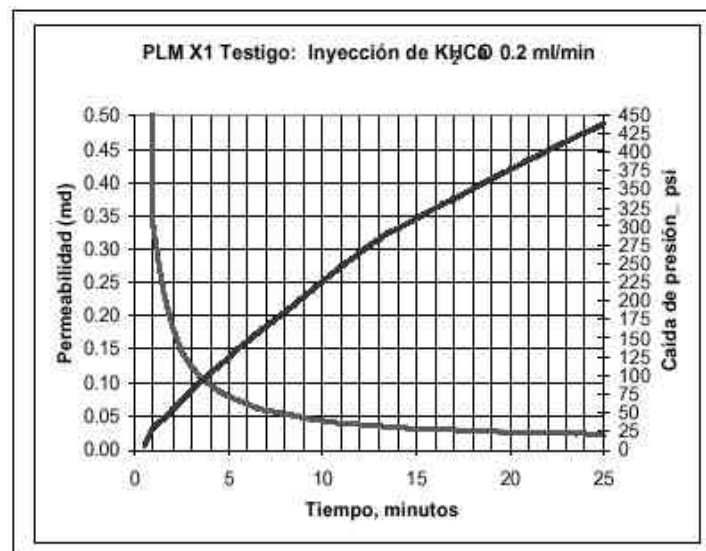


Figura 3 : Prueba de permeabilidad empleando KCOOH

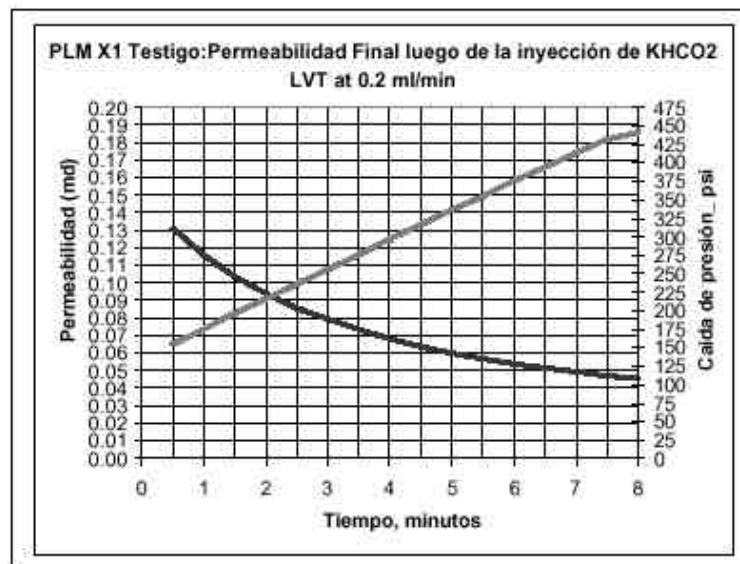


Figura 4: Permeabilidad Final empleando KCOOH

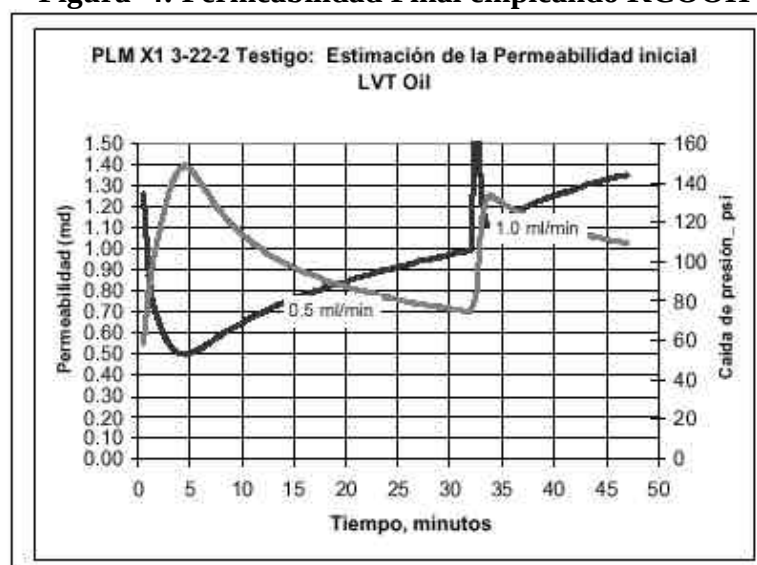


Figura 5: Estimación de la Permeabilidad Inicial empleando Aceite

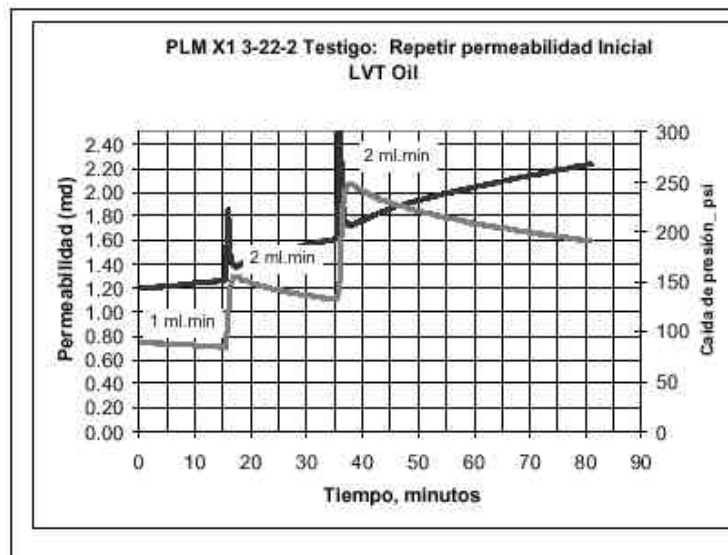


Figura 6: Repetición de Permeabilidad Inicial empleando KCOOH

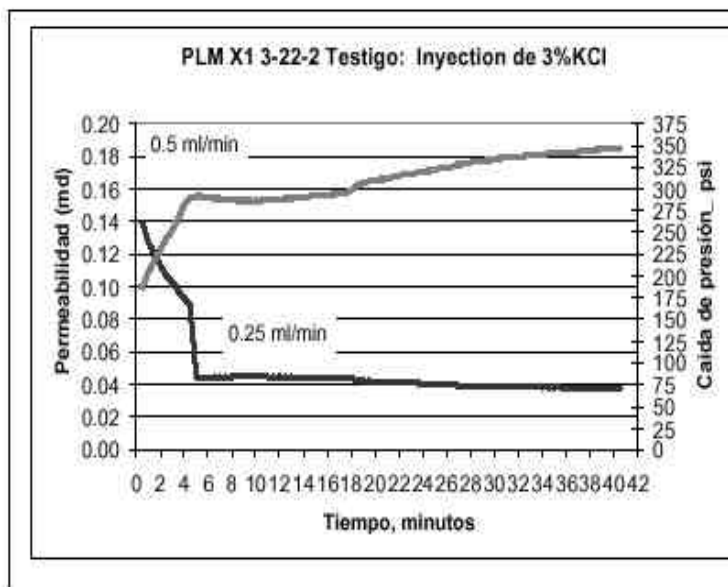


Figura 7: Permeabilidad empleando 3% KCl

Resultados de la prueba CST

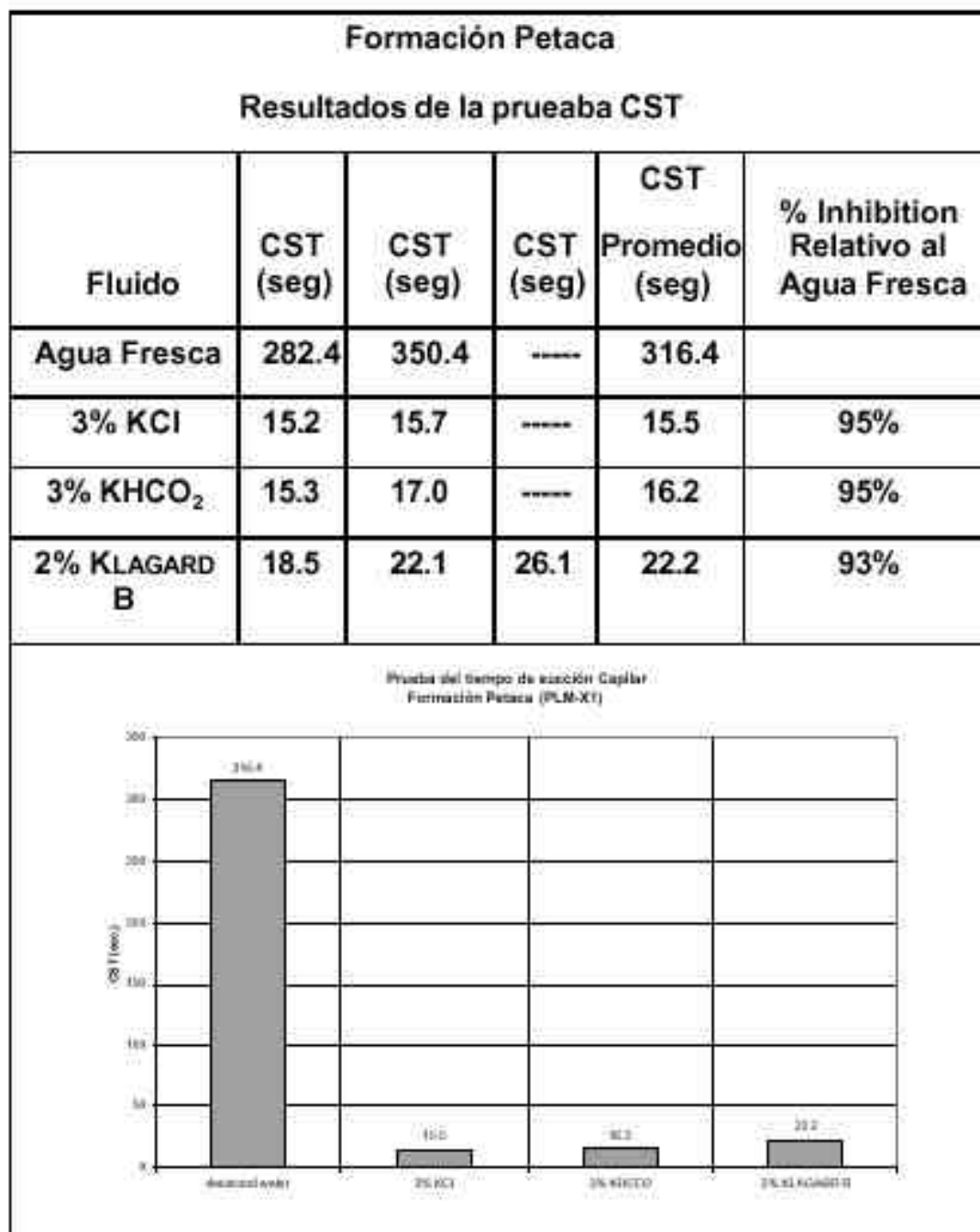


Figura 8: Resultados de las Pruebas CST para los Testigos de la Formación Petaca

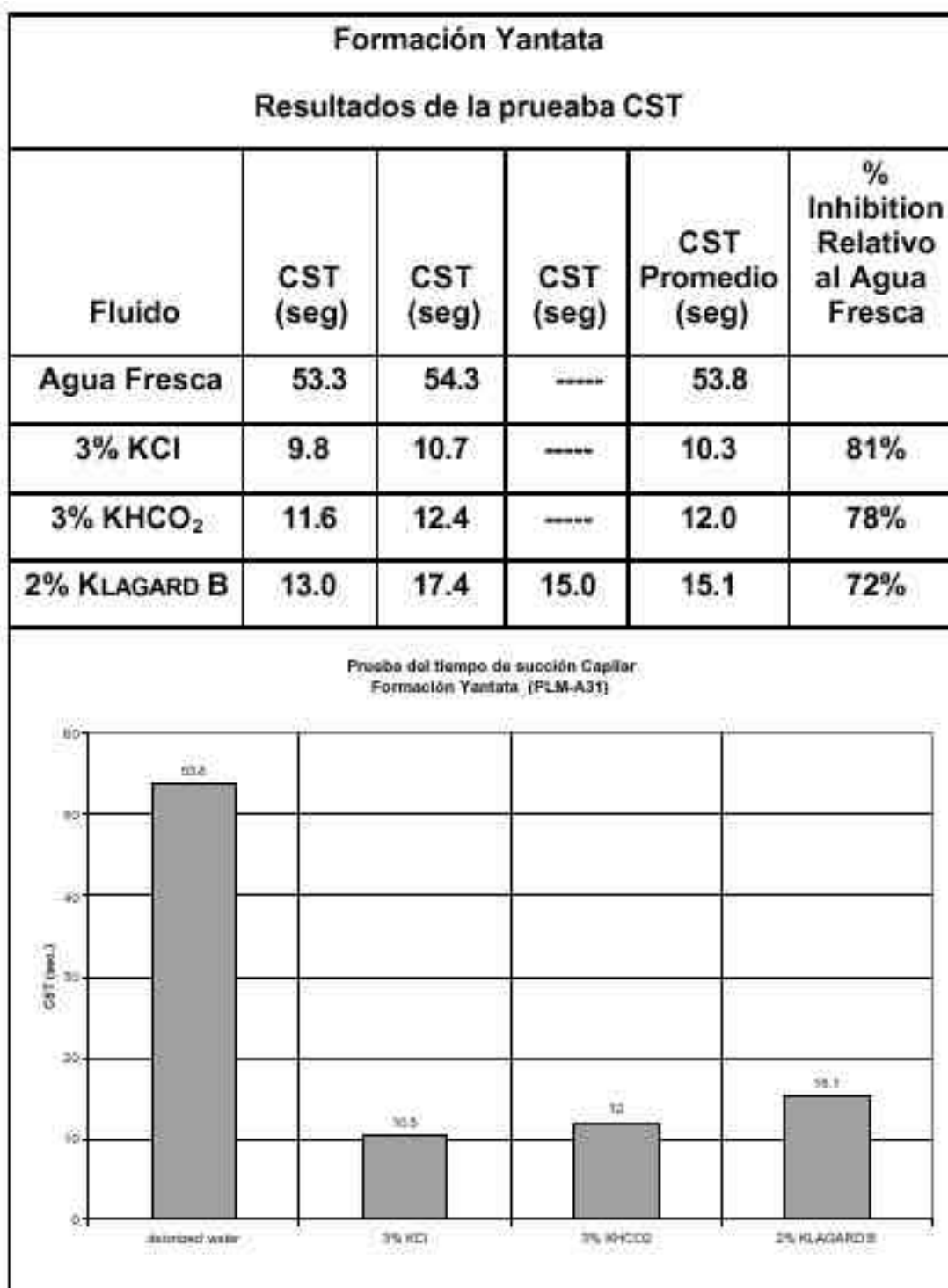


Figura 9: Resultados de las Pruebas CST para los Testigos de la Formación Yantata.

Agua del Pozo Surubí BB-104 con Salmuera de KCl
PARAMETROS FISICOS Y QUIMICOS

Punto	1	2	3	4	5	6
	Blanco	90-10	70-30	50-50	30-70	10-90
Parametros Quimicos						
Fe ⁺⁺⁺ (ppm)	0,92	0,66	0,53	0,33	0,25	0,12
OH ⁻ (ppm)	-	-	-	-	-	-
HCO ₃ ⁻ (ppm)	976	793	732	659	488	366
CO ₃ ⁼ (ppm)	0	0	0	0	0	0
Dza. Total (ppm)	64,00	68,00	72,00	92,00	124,00	160,00
Dza. Ca ⁺⁺ (ppm)	41,60	44,20	46,80	59,80	80,60	104,00
Dza. Mg ⁺⁺ (ppm)	9,60	10,20	10,80	13,80	18,60	24,00
Cl ⁻ (ppm)	4500	5500	7000	9000	10500	12000
SO ₄ ⁼ (ppm)	50	0	25	50	50	50
Na ⁺ (ppm)	3215,86	3148,70	3148,70	3157,12	2831,62	2714,33
K ⁺ (ppm)	0,00	643,04	1599,84	2851,22	4451,18	4953,10
PH	7,81	7,90	8,06	8,17	8,32	8,21
PHs	7,22	7,14	7,15	7,08	7,06	7,06
Indice de Estabilidad	0,59	0,76	0,91	1,09	1,26	1,15

Punto	1	2	3	4	5	6
	Blanco	90-10	70-30	50-50	30-70	10-90
Parámetros Físicos						
TSS (ppm)	238	192	180	119	84	30
Turbidez (FTU)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
TSD (ppm)	8484	10400	13008	16846	19857	23713
Conductividad (ms/cm)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Temperatura °C	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
Óil en Agua (ppm)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Densidad (gr/cc)	1	1,0003	1,0025	1,004	1,006	1,007

Composición mineral						
Ca (HCO ₃) ₂ (ppm)	166,94	179,10	189,63	242,31	330,64	421,41
Mg (HCO ₃) ₂ (ppm)	57,75	61,40	65,06	82,60	111,11	58,48
Na (HCO ₃) (ppm)	770,43	837,79	738,43	562,46	206,29	0,00
Na ₂ SO ₄ (ppm)	73,84	0,00	36,92	73,83	73,84	0,00
MgSO ₄ (ppm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	62,56
Na ₂ CO ₃ (ppm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaCO ₃ (ppm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MgCl ₂ (ppm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,19
KCl (ppm)	0,00	2085,54	3052,97	5440,59	8493,56	15752,66
FeCl ₂ (ppm)	2,54	1,91	1,27	0,64	0,64	0,00
Na Cl (ppm)	7412,54	7426,58	9140,63	10563,35	10641,15	7412,54

Tabla 4 : Parámetros Físicoquímicos a distintas Concentraciones empleando Salmuera con KCl

Agua del Pozo Surubí BB-104 con Salmuera de HCOOK
PARAMETROS FISICOS Y QUIMICOS

Punto	1	2	3	4	5	6
	Blanco	90-10	70-30	50-50	30-70	10-90
Parametros Quimicos						
Fe ⁺⁺⁺ (ppm)	0,92	0,90	0,76	0,51	0,36	0,17
HCOO ⁻ (ppm)	-	640	540	460	380	300
HCO ₃ ⁻ (ppm)	976	1830	3050	6100	9760	10980
CO ₃ ⁼ (ppm)	0	0	0	0	0	0
Dza. Total (ppm)	64,00	64,00	72,00	76,00	84,00	96,00
Dza. Ca ⁺⁺ (ppm)	41,60	41,60	46,80	49,40	54,60	62,40
Dza. Mg ⁺⁺ (ppm)	9,60	9,60	10,80	11,40	12,60	14,40
Cl (ppm)	4500	4000	3100	2000	1300	600
SO ₄ ⁼ (ppm)	50	0	25	25	25	50
Na ⁺ (ppm)	3215,86	2955,27	2187,76	1805,50	1422,21	1032,96
K ⁺ (ppm)	0,00	738,80	1793,84	3143,23	4708,48	4904,56
PH	7,81	7,60	7,78	7,89	7,98	8,03
PHs	7,22	7,08	7,03	6,99	6,93	6,85
Indice de Estabilidad	0,59	0,52	0,75	0,90	1,05	1,18
Parametros Fisicos						
TSS (ppm)	238	285	269	187	112	32
Turbidez (FTU)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
TSD (ppm)	8484	9639	10244	13165	17446	18557
Conductividad (ms/cm)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Temperatura °C	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
Óil en Agua (ppm)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Densidad (gr/cc)	1	1,001	1,002	1,004	1,006	1,008
Composición Mineral						
Ca (HCO ₃) ₂ (ppm)	166,94	168,56	189,63	200,17	221,24	252,84
Mg (HCO ₃) ₂ (ppm)	57,75	57,75	65,06	67,89	75,29	86,26
Na (HCO ₃) (ppm)	770,43	2284,35	3938,03	6609,70	8425,89	5802,22
K (HCO ₃) (ppm)	0,00	0,00	0,00	1829,91	5678,79	10796,47
Na ₂ SO ₄ (ppm)	73,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K ₂ SO ₄ (ppm)	0,00	0,00	45,24	45,24	45,24	90,48
MgSO ₄ (ppm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
HCOOK (ppm)	0,00	639,92	539,86	460,81	380,09	300,20
Na ₂ CO ₃ (ppm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaCO ₃ (ppm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MgCl ₂ (ppm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
KCl (ppm)	0,00	842,12	1904,53	2142,12	2729,99	3260,57
FeCl ₂ (ppm)	2,54	1,91	1,91	1,91	1,91	0,00
Na Cl (ppm)	7412,54	5929,56	2828,49	1293,14	0,00	0,00

Tabla 5 : Parámetros Fisicoquímicos a distintas Concentraciones empleando Salmuera con KCOOH.

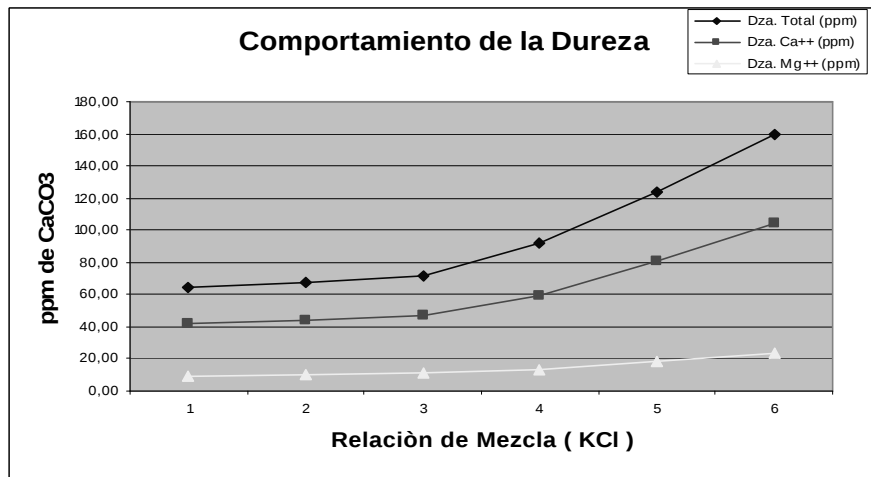


Figura 10. Comportamiento de la Dureza con Salmueras de KCl

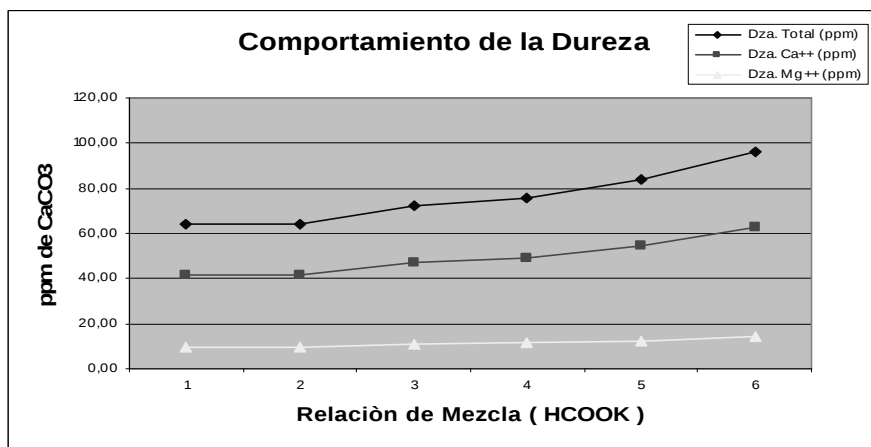


Figura 11. Comportamiento de la Dureza con Salmueras de KCOOH

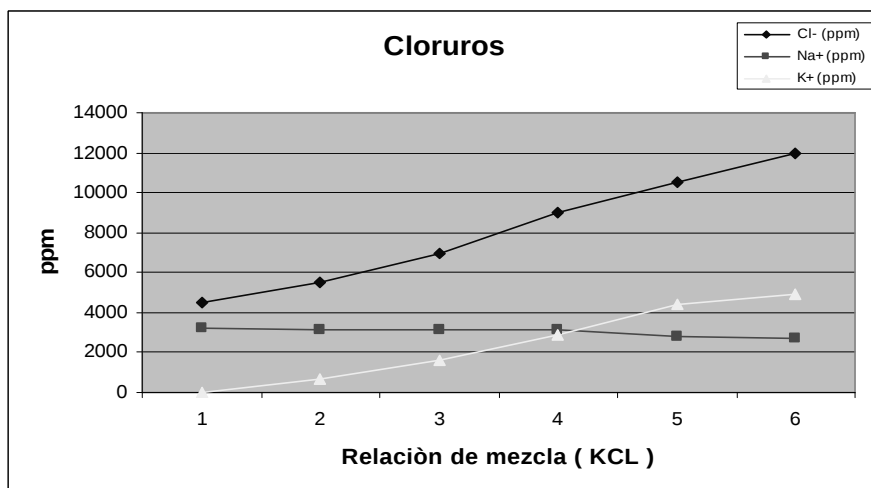


Figura 12. Comportamiento de los Cloruros con Salmueras de KCl

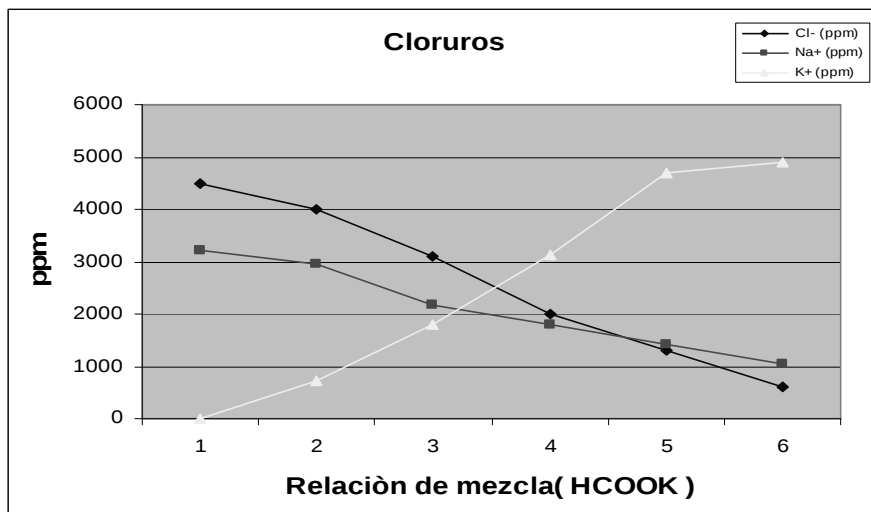


Figura 13. Comportamiento de los Cloruros con Salmueras de KCOOH

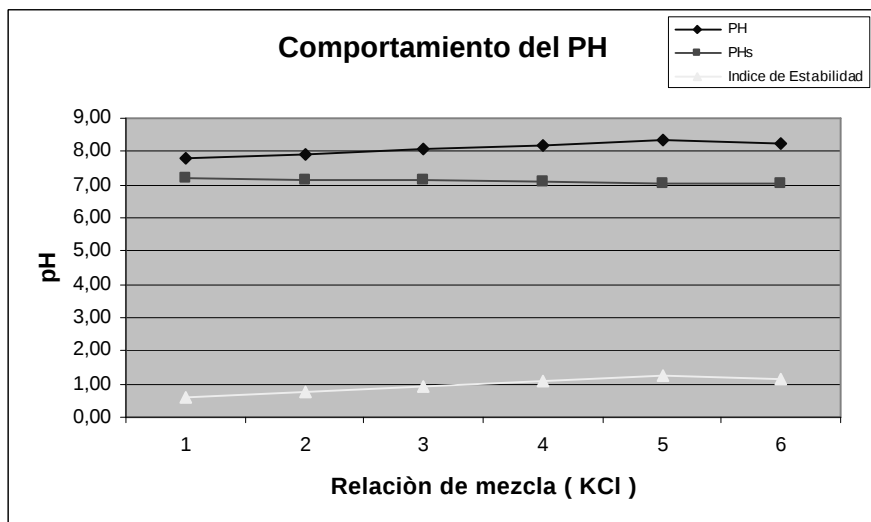


Figura 14. Comportamiento del pH con Salmueras de KCl

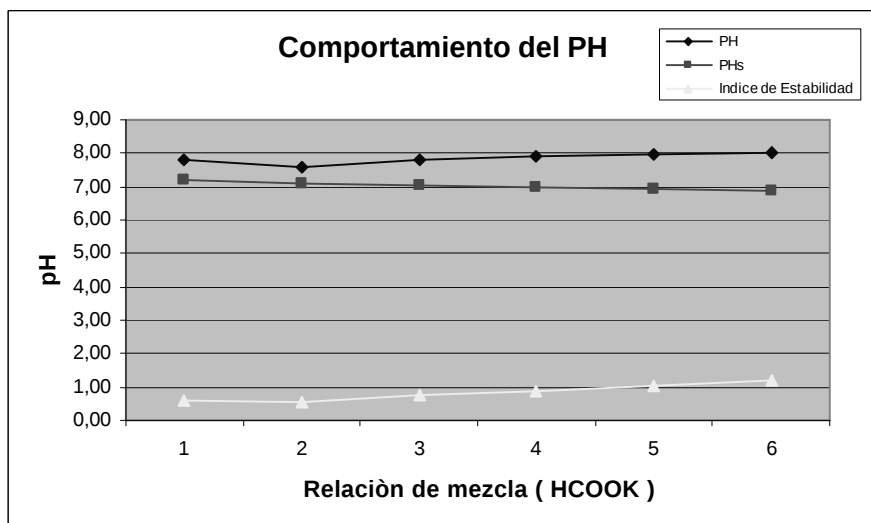


Figura 15. Comportamiento del pH con Salmueras de KCOOH

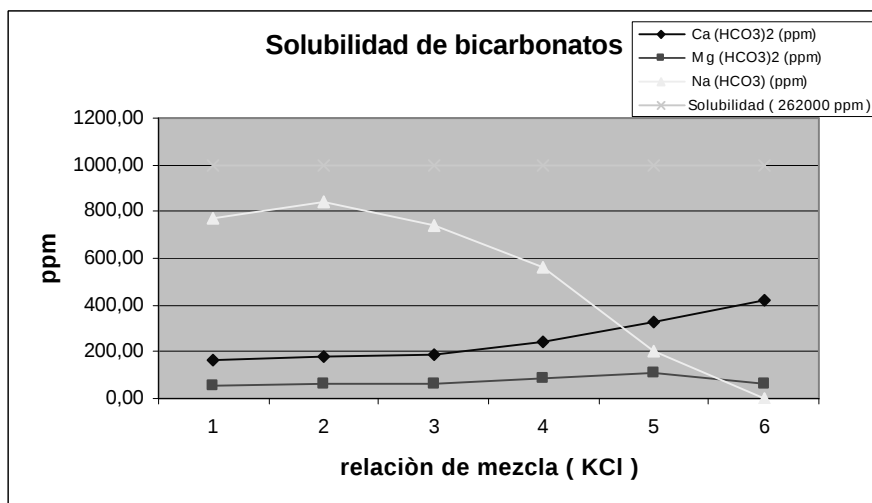


Figura 16.. Comportamiento de la alcalinidad con Salmueras de KCl

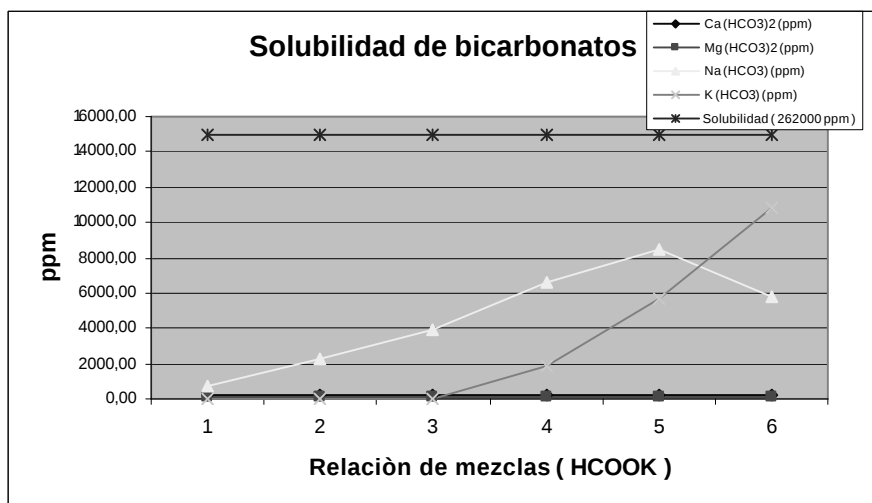


Figura 17.. Comportamiento de la alcalinidad con Salmueras de KCOOH

Verificación De Curva De Calibración Con Formiato Local

1.- FORMULACION EMPLEADA.

COMPONENTES	UNIDA	A	B	C	D	E	F
	D						
Agua de Pila	ml	347.5	345	342.5	340	335	330
Formiato de Potasio	ml	2.5	5	7.5	10	15	20

DATOS INICIALES.- Se realizo en centrifuga.

Propiedades		A	B	C	D	E	F
Densidad	SG	0.9912	0.9940	0.9960	0.9976	1.0038	1.0176
Temperatura	° C	24	24	24	24	24	24
Potasio	Mg/l	5.205.2	7.928.1	14.391.0	19.892.0	27.038.9	32.656.7

Tabla 6. Curva de Calibración.

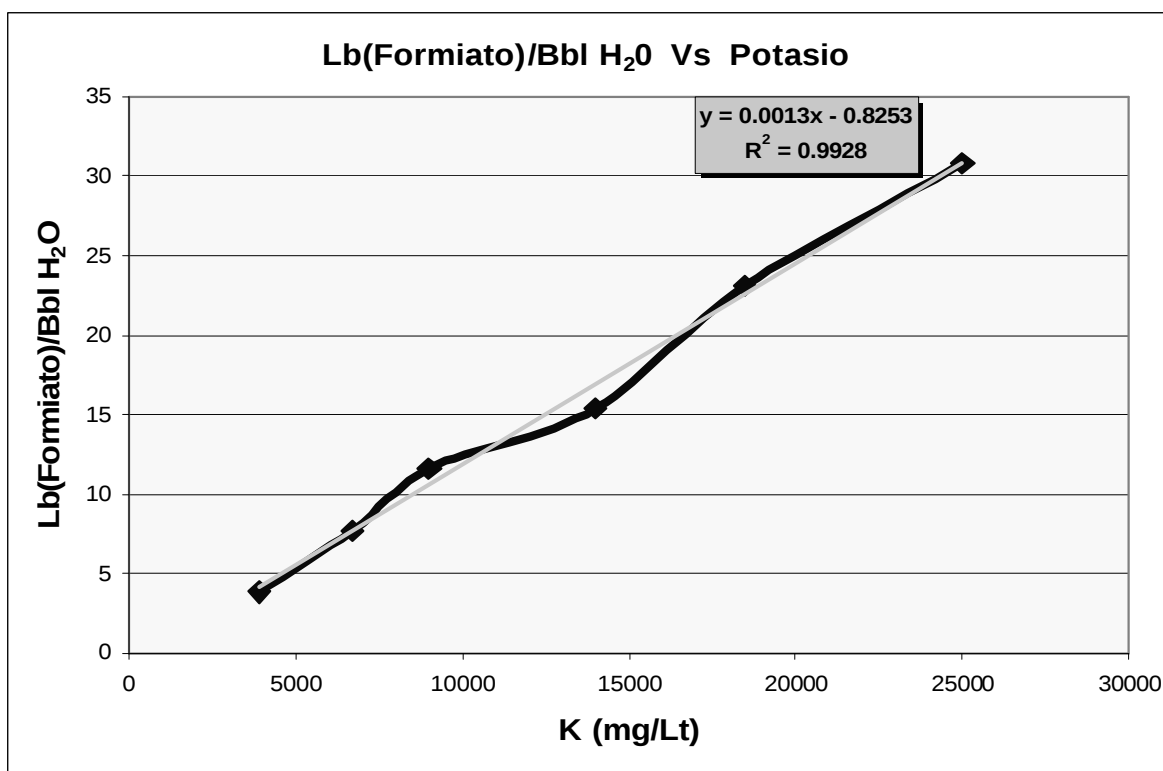


Figura 18. Curva de Calibración Elaborada en base a los datos de Laboratorio.

Costos Comparativos de KCl vs HCOOK					
Item	Descripción del Centro de Costo		KCl	HCOOK	K Gland
1	Volumen Anual Preparado	Bbls	64,834.00	64,834.00	64,834.00
2	Concentración Promedio	Lb / Bbl	10.00	7.00	6.00
3	Costo Total (Volumen preparado * costo unitario)	\$us	193,854.00	534,127.00	581,560.00
4	Costo Promedio por barril	\$us / Bbl	2.99	8.24	8.97
5	Costo Total de Filtración	\$us	75,370.00		
	Costo Filtración	\$us / Bbl	1.16	0.11	0.11
6	Costo Total Tratamiento Anticorrosivo	\$us	26,928.00		
		\$us / Bbl	0.42		
7	Costo Total de Tratamiento de Desechos Líquidos	\$us	168,568.00		
		\$us / Bbl	2.60		
8	Costo Total de Transporte (pozo a baterías producción)	\$us	32,417.00		
		\$us / Bbl	0.50		
9	Costo de Tratamiento para lixiviación (en facilidades de producción)	\$us	5,122.00		
		\$us / Bbl	0.08		
10	Costo Total Promedio por barril Tratado	\$us	7.75	8.35	9.08

Tabla 8. Comparación de Costos entre el Formiato de Potasio, el KCl y el Estabilizador de Arcillas libre de Cloruros.

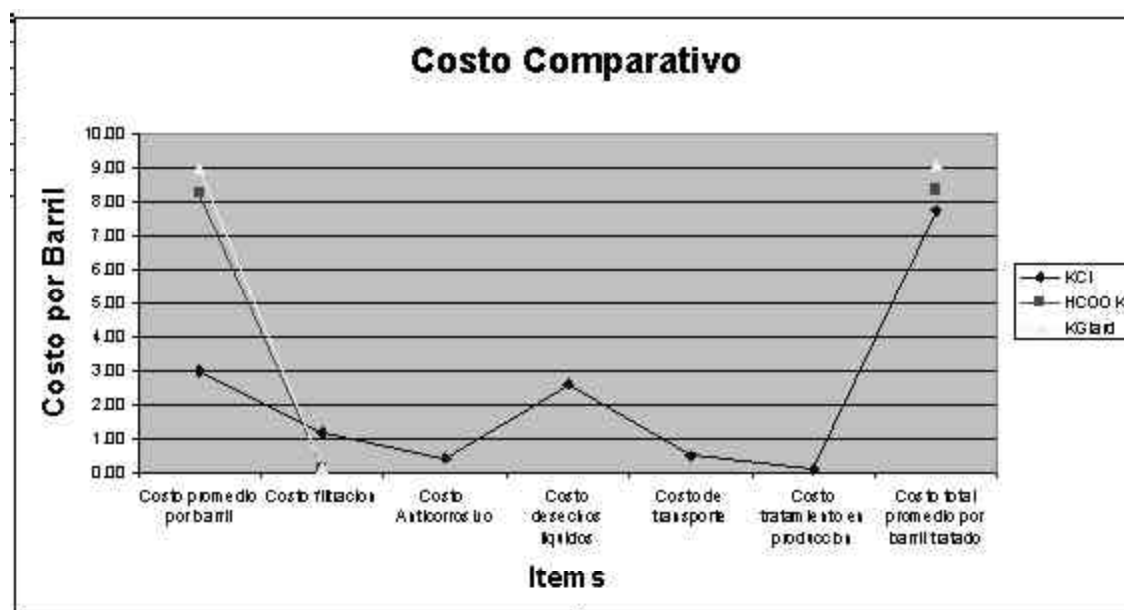


Figura 19. Gráfica comparativa de Costos.