

**ANALISIS DE COMPARACION DE UNA PILDORA A BASE DE FIBRA SOLUBLE,
UNA PILDORA DE SELLO POR ALTA FILTRACION Y UNA PILDORA LOSSEAL
PARA MINIMIZAR EL DAÑO DURANTE LA PERFORACION DE UNA FORMACION
NATURALMENTE FRACTURADA**

**JUAN ANDRES ROBAYO FERNANDEZ
OSCAR FABIAN YATE LOZANO**

**MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN
GERENCIA DE PROYECTOS**

**ORIENTADOR
JULIÁN ANDRÉS GÓMEZ VARGAS**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS Y ADMINISTRATIVAS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE PROYECTOS
BOGOTÁ D.C
2021**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del Director de la Especialización

Firma del calificador

Bogotá D.C., septiembre de 2021

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro.

Dr. Mario Posada García Peña.

Consejero Institucional.

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña.

Vicerrectora Académica y de Investigación.

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero.

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro.

Secretario General.

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decano Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas.

Dr. Marcel Hofstetter Gascon.

Director Especialización Gerencia de Proyectos

Dr. Julian Andrés Gómez Vargas

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

TABLA DE CONTENIDO

	pág
INTRODUCCIÓN	11
OBJETIVOS	12
1.MARCO TEORICO	13
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
2.1. Pregunta de investigación	15
3. ESTADO DEL ARTE – ANTECEDENTES	16
4. JUSTIFICACION	18
5. DELIMITACIÓN	20
6. METODOLOGIA	21
7. ESTUDIO TÉCNICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS PÍLDORAS A BASE DE FIBRA SOLUBLE, PÍLDORA DE SELLO POR ALTA FILTRACIÓN Y PÍLDORA LOSSEAL PARA LA PERFORACIÓN DE FORMACIONES NATURALMENTE FRACTURADAS	23
7.1Aplicación de las píldoras para controlar la pérdida de circulación en fracturas naturales	23
7.2 Píldora de sello por alta filtración para pérdida de circulación en formaciones naturalmente fracturada	24
7.3 Píldora a base fibra soluble para pérdida de circulación en formaciones naturalmente fracturada	25
7.4 Características	25
7.5 Propiedades de Fluidez y Taponamiento	26
7.6 Propiedades de Estabilidad del Tapón	27
7.7 Pruebas de campo	29
7.8 Píldora Losseal para pérdida de circulación en formaciones naturalmente fracturadas	30
7.9 Características	30
7.10Propiedades	31
7.11 Aplicación	32
8. ANÁLISIS DE LOS COSTOS Y TIEMPOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS PÍLDORAS A BASE DE FIBRA SOLUBLE, PÍLDORA DE SELLO POR ALTA FILTRACIÓN Y PÍLDORA LOSSEAL EN FORMACIONES NATURALMENTE FRACTURADAS	34
8.1Píldora a base fibra soluble	34
8.2Análisis de Tiempo de Degradación	36
8.3Prueba Tiempo de Solubilidad	37
8.4Píldora por alta filtración	38
8.5Prueba PPT	38

8.6Prueba de solubilidad	40
8.7PILDORA LOSSEAL	41
8.8Costo de producción Píldora Losseal	41
9.9Análisis de Tiempo de degradación	41
8.10Análisis de Tiempo solubilidad	43
9.COMPARACIONES	45
9.1Costos	45
9.2Tiempo de solubilidad	45
10. ESTUDIO DE RIESGOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE PÍLDORAS A BASE DE FIBRA SOLUBLE, PÍLDORA DE SELLO POR ALTA FILTRACIÓN Y PÍLDORA LOSSEAL PARA LA PERFORACIÓN DE LAS FORMACIONES NATURALMENTE FRACTURADAS	47
10.1Píldora de sello por alta filtración	47
10.2Píldora a base fibra soluble	47
10.2.1Aplicaciones	48
10.3Píldora Losseal	48
10.3.1Aplicaciones	49
11. CONCLUSIONES	50
BIBLIOGRAFÍA	52

LISTA DE FIGURAS

	pág
Figura 1. Registro Típico de Presión	27
Figura 2. Perfil de Permeabilidad En Funcion de Tiempo	28
Figura 3. Pildora de Tratamiento Losseal.	32
Figura 4. Tiempo Degradacion Pildora Losseal.	43
Figura 5. Prueba de Presion Vr Prueba Registrada Durante La Aplicación de la Píldora Losseal.	44
Figura 6. Rango Operativo de la Píldora Por Alta Filtración.	47

LISTA DE TABLAS

	pág
Tabla 1. Condiciones Iniciales de Campo	29
Tabla 2. Tipo de Perdida de Circulación.	31
Tabla 3. Aplicación de Píldora Losseal.	33
Tabla 4. Costo de Píldora A Base de Fibra Soluble	35
Tabla 5. Precio Píldora a Base de Fibra Soluble para 4mm.	36
Tabla 6. Detalle de Materiales Píldora a base de fibra Soluble.	37
Tabla 7. Tiempos Degradación a Diferentes Temperaturas.	37
Tabla 8. Prueba de Solubilidad Pildora a Base de Fibra.	38
Tabla 9. Costo de Pildora Alta Filtracion.	38
Tabla 10. Concentración de Píldora Por Alta Filtración.	39
Tabla 11. Resultados Prueba PPT Pildora Alta Filtracion.	39
Tabla 12. Resultado Prueba PPT Concentración 2 Píldora Alta Filtración.	40
Tabla 13. Resultado de Prueba de Solubilidad Píldora Sello Por Alta Filtración Con Distintas Concentraciones de HCL.	40
Tabla 14. Costo de Píldora Losseal.	41
Tabla 15. Comparación de Costo Por Píldora.	45
Tabla 16. Comparación Tiempo de Sellado Por Píldora.	46
Tabla 17. Distribución de Partícula Según el Tamaño de Píldora A Base de Fibra Soluble.	48

RESUMEN

En el presente documento se explican las diferentes características de las píldoras de fibra soluble, píldora sello por alta filtración y píldora Losseal con el fin de hacer un análisis comparativo para determinar cuál de estas 3 es más apta para usar como aditivo del lodo de perforación para el sellamiento en formaciones naturalmente fracturadas. Se hará la evaluación de las variables de costos, tiempo y riesgos.

Palabras claves: Píldoras a base de fibra soluble, píldora sello por alta filtración, píldora Losseal, formaciones naturalmente fracturadas, minimizar daño durante la perforación, implementación de las píldoras.

INTRODUCCIÓN

La etapa de perforación evidencia que es de las operaciones más rigurosas e importantes de la industria petrolera, en ésta se puede confirmar la profundidad en la que se encuentran los hidrocarburos y su existencia. Para lograr una excelente perforación y no provocar accidentes que pongan en riesgo las formaciones, es necesaria el área de fluidos de perforación, para cada tipo de formación es necesario hacer un estudio y determinar los componentes del fluido para no dañar la formación.

En este caso se quiere evaluar tres tipos de aditivos que se incluyen en los fluidos de perforación y determinar cuál es el que ofrece mejores beneficios y menores riesgos para la etapa de perforación y las actividades que le siguen. En cuanto a beneficios se refiere a disminución de tiempos, y costos. Los tres aditivos que se evaluarán serán píldora a base de fibra soluble, píldora de sello por alta filtración y una píldora losseal, se hará comparaciones en cuanto a un estudio de riesgos, estudio técnico y un estudio para optimizar los tiempos y costos que se darán si se decida utilizar uno de estos 3 aditivos.

Al final de este documento se dará el resultado de cuál es el mejor aditivo entre los tres comparado únicamente con el contenido del documento.

OBJETIVOS

Objetivo general

Realizar un análisis de comparación de una píldora a base de fibra soluble, una píldora de sello por alta filtración y una píldora Losseal para minimizar el daño durante la perforación de una formación naturalmente fracturada.

Objetivos específicos

- Elaborar un estudio técnico de la implementación de las píldoras a base de fibra soluble, píldora de sello por alta filtración y píldora Losseal para la perforación de formaciones naturalmente fracturadas.
- Realizar un análisis para la optimización de los costos y tiempos en la implementación de las píldoras a base de fibra soluble, píldora de sello por alta filtración y píldora Losseal en formaciones naturalmente fracturadas.
- Realizar un estudio de riesgos de la implementación de píldoras a base de fibra soluble, píldora de sello por alta filtración y píldora Losseal para la perforación de las formaciones naturalmente fracturadas.

1.MARCO TEORICO

Ingeniería del proyecto: su objetivo es resolver todo lo concerniente a la instalación y el funcionamiento de la planta, desde la descripción del proceso, adquisición del equipo y la maquinaria, se determina la distribución óptima de la planta, hasta definir la estructura jurídica y de organización que habrá de tener la planta productiva. En síntesis, resuelve todo lo concerniente a la instalación y el funcionamiento de la planta. (Baca Urbina, 2010)

El establecimiento de un modelo de Gestión del Riesgo, puede aumentar significativamente el éxito en el desarrollo de los proyectos de una organización a través de la identificación, evaluación, respuesta y control de los efectos que puedan impactar el cumplimiento de los objetivos del proyecto en tiempo, costo y calidad. (Rudas Tayo, 2017)

Para elaborar los cuadros analíticos que evalúan la parte monetaria es necesario un Estudio económico, Comienza con la determinación de los costos totales y de la inversión inicial a partir de los estudios de ingeniería, ya que estos costos dependen de la tecnología seleccionada (Baca Urbina, 2010).

En todos los proyectos existen riesgos, y es importante identificarlos para evitar en lo posible que se presenten y los que no se tienen en cuenta serán incertidumbre, así mismo la diferencia de estos dos conceptos es que El riesgo predice las pérdidas que puede tener una empresa, mientras que la incertidumbre desconoce las probabilidades que pueden generar pérdidas. (Conexiónsan, 2019)

Lodos de Perforación: En términos generales, un lodo o fluido de perforación es una mezcla heterogénea de una fase continua (agua o aceite) con la fase una fase dispersa constituida por diversos aditivos que se agregan con la finalidad de darle al lodo propiedades adecuadas para que pueda cumplir funciones específicas en la perforación de pozos petroleros; Algunas de estas funciones son: (Instituto Americano del Petróleo, 2001)
Soportar las presiones del subsuelo: Las presiones del subsuelo se soportan a través de la presión hidrostática. En la práctica, cada una de las formaciones por las cuales se está perforando, tiene una presión de poro o presión de formación la cual tiene que ser

controlada con el lodo de perforación, para así evitar problemas posteriores como lo puede ser un influjo de algún fluido (petróleo, gas) al pozo y así generar un reventón, o también generar una pérdida de circulación. (Instituto Americano del Petróleo, 2001).

- Remover los cortes o ripios a superficie: Esta función va ligada directamente a la capacidad que tiene el lodo para limpiar el pozo. (Instituto Americano del Petróleo, 2001)
- Soportar y mantener las paredes del hueco: El fluido de perforación tiene la capacidad de formar una película en la cara de las formaciones porosas. (Instituto Americano del Petróleo, 2001)
- Suspender los cortes de perforación: Cuando el fluido de perforación se encuentra en condiciones estáticas, es decir, cuando no está circulando, este tiende a gelificarse ayudando a que los ripios o los cortes de perforación no caigan al fondo del pozo y genere un posible problema de pega de tubería. (Instituto Americano del Petróleo, 2001)
- Control de filtrado- filtrado del lodo: El filtrado del lodo, es la cantidad de fluido de perforación, en especial la fase continúa de ese fluido, que invade la formación antes de que el cake o torta se forme en la cara de la formación. (Instituto Americano del Petróleo, 2001)
Los Materiales De Pérdida De Circulación (LCM'S): Se han utilizado ampliamente para evitar o detener pérdidas. Debido a una gran cantidad de los materiales, tratamientos y sus diferentes aplicaciones actualmente disponibles, la clasificación de los mismo es muy importante (Alkinani, y otros, 2018)
- Tratamiento de pérdida de circulación: Es correctivo frente a preventivo la forma en que se aplican los tratamientos para la pérdida de circulación, podría clasificarse en función del momento en que estos se implementaron como tratamientos. Puede ser antes (preventivo) o después (correctivo) de la ocurrencia del evento de pérdida de circulación: (Alkinani, y otros, 2018)

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante los procesos de perforación se atraviesan distintas formaciones geológicas, entre las cuales se encuentran formaciones naturalmente fracturadas, las cuales han sido un problema por sus características, donde el principal problema es el daño que se ocasiona al yacimiento por los fluidos de perforación (Baggini, Frates, Garand, & Meyer, 2014). Una de las causas principales que se dan en el daño de formación de un yacimiento fracturado, es la pérdida de circulación durante la perforación, debido a la afluencia de grandes cantidades de fluido, hacia la formación, realizando una invasión profunda de sólidos y reduciendo la garganta de poro, esto se da por una selección incorrecta del material que se usa como puenteante; realizando un ineficiente empaquetamiento de las fracturas. Otra causa que se da al realizar una incorrecta selección del material puenteante es el taponamiento definitivo de las fracturas (vías de producción del pozo). (Last, y otros, 1995)

Durante la Perforación de Yacimiento naturalmente fracturado, el cual ha sido causado gran parte por el fluido de perforación, donde los materiales de puenteo seleccionados, no han sido los más eficientes en el empaquetamiento de las fracturas, ocasionando reducción física de los espacios porosos, disminución de la permeabilidad, y otros factores que afectan negativamente al yacimiento, incrementando los costos en la perforación e influenciando el índice de productividad y posteriormente en trabajos de reacondicionamiento, para remediar el daño presentando problemas en el cronograma, y así retrasando otras actividades del proyecto. Las diferentes compañías prestadoras de servicios han buscado soluciones, realizando distintas Píldoras de material para adicionar al fluido de perforación, buscando esta solución podemos preguntar ¿Cómo podemos mejorar la perforación de pozos en una formación naturalmente fracturada en términos técnicos, costos y tiempo entre una píldora a base de fibra soluble, una píldora de sello por alta filtración y una píldora Losseal?

2.1. Pregunta de investigación

¿Cómo podemos mejorar la perforación de los pozos en una formación naturalmente fracturada en términos técnicos, de costos y de tiempo entre una píldora a base de fibra soluble, una píldora de sello por alta filtración y una píldora Losseal ?

3. ESTADO DEL ARTE – ANTECEDENTES

Incluso después de más de 60 años de perforación, la pérdida de circulación del fluido de perforación, todavía se caracteriza como uno de los principales problemas que conducen a tiempo no productivo en las operaciones de perforación. La pérdida de circulación (LC) se define como la pérdida parcial o total de fluidos de perforación en la formación; puede tener lugar durante la perforación, (Nayberg & Petty, 1986) En Colombia tenemos el área de los llanos orientales, la cual es una de las regiones que se caracteriza por ser complejas durante la perforación de pozos, que a menudo presentan problemas inesperados. De acuerdo con (Franco, y otros, 2015) La planificación y la anticipación de tales actividades pueden ayudar a los operadores a lograr un rendimiento operativo óptimo, basado en las lecciones aprendidas, para ayudar a minimizar el riesgo de repetir eventos pasados con formaciones similares en Colombia.

En los inicios de la perforación se hizo indispensable la utilización de algún tipo de fluido que facilitara el avance de esta y que contribuyera a muchos factores que se necesitan para el éxito de la operación. En un principio estos fluidos estaban limitados a la adición de agua y alguna arcilla natural, pero en la actualidad se diseñan cuidadosamente fluidos con compuestos y se le adicionan diferentes aditivos para satisfacer las necesidades específicas que requieran según las distintas condiciones de perforación, o también llamadas píldoras para fluidos de perforación según requerimiento como los son en Yacimientos naturalmente fracturados. Las pérdidas de lodo muy altas reducen la tasa de penetración, aumentan el costo de materiales e induce a otros eventos de perforación no deseados. Muchas veces los operadores y las empresas de servicios se ven obligados a aplicar un tratamiento para la pérdida de circulación. (V, y otros, 2012)

Las soluciones existentes de fluidos preparados para perforar pozos en formaciones naturalmente fracturadas están basadas principalmente en partículas, las cuales con frecuencia son adicionadas a fluidos de perforación al empaquetamiento de las fracturas, o la construcción de la torta del filtrado, para minimizar las pérdidas del fluido y posteriormente al daño de formación. (Baggini, Frates, Garand, & Meyer, 2014)

Los sistemas de lodos que se han utilizado con partículas soluble o degradables, los cuales sellan y mantienen la estabilidad por tiempo deseable, permitiendo una buena terminación y eventualmente puedan removerse por su grado de solubilidad, dejando en buen estado y sin restricciones del flujo de fluidos desde la formación para futuras producciones. (Last, y otros, 1995) nos dice que la consecuencia litológica se ha encontrado problema en la mayoría de formaciones durante la perforación por la alternancia areniscas y lutitas. Durante la perforación de formaciones naturalmente fraccionadas, se observa un bajo tiempo de circulación cuando se estaba perforando, bajos galonajes y teniendo un nivel bajo en los tanques de superficie, observando en el fluido retornado que el material utilizado de puenteo en las fracturas no estaba funcionando eficientemente, el cual era conectar las fracturas ocasionando una torta para minimizar este problema. Posteriormente se observó el daño que se le hizo a la formación por la afluencia de grandes cantidades de fluidos de perforación. (Cazier, 1995)

Se debe controlar la pérdida de circulación en las formaciones naturalmente fracturadas con un buen material de puenteo y a baja circulación manteniendo la perforación bajo balance para mejorar el empaquetamiento de las fracturas. Los materiales para el empaquetamiento y pérdida de circulación empleados no fueron los más adecuados para mantener el retorno del fluido.

Las preocupaciones sobre los costos de perforación son cada vez más altos y la falta de progreso hacia la mejora de las condiciones del pozo, llevaron a las múltiples empresas a tener la responsabilidad de reducir los costos asociados a la pérdida de circulación de circulación. (Alkinani, y otros, 2018)

4. JUSTIFICACION

Dentro de los parámetros fundamentales de una perforación adecuada, se encuentra la utilización necesaria de fluidos de perforación, que pueden ser base agua, base aceite o emulsiones y se diferencian entre sí, por sus condiciones físicas, el costo, y por el impacto que generan dentro del yacimiento donde se van a implementar, sobre todo cuando se trabaja en yacimientos naturalmente fracturado.

Las pérdidas de los fluidos en formaciones fracturadas naturalmente son de una gran pérdida económicamente, ecológicamente y pérdida de producción del petróleo. Esto ha sido un problema para la industria petrolera, por lo que se está generando nuevos fluidos con materiales fibrosos y degradables o solubles, para la perforación de estos yacimientos, a los cuales se les debe disminuir la pérdida del fluido y por consiguiente disminuir el daño a la formación, para no tener un índice de productividad bajo y así tener una rentabilidad mayor del proyecto. (Last, y otros, 1995)

La propuesta de implementar alguna de las píldoras A BASE DE FIBRA SOLUBLE, PILDORA DE SELLO POR ALTA FILTRACION Y PILDORA LOSSEAL para la perforación de pozos en yacimientos naturalmente fracturado, consiste en un objetivo principal; Elaborar un análisis de comparación de la implementación ésta para escoger l mejor píldora para minimizar el Daño de Formación, generado por la pérdida del fluido de perforación en las fracturas de la sección de interés del yacimiento, mediante el puenteo de la fracturas o grietas con la fibra lo cual no dejaría que se invade la formación del fluido, generando aumento de costos por pérdida de producción y revertir daños, retrasando los cronogramas del proyecto. Como objetivo secundario; realizar un análisis de los costos y tiempos en la implementación de las píldoras A BASE DE FIBRA SOLUBLE, PILDORA DE SELLO POR ALTA FILTRACION Y PILDORA LOSsEAL.

Teniendo encueta estos objetivos podremos lograr una disminución importante en el daño de formación y tener un mayor recobro de petróleo, obteniendo un gran beneficio económico para la compañía comprometida en el proyecto, por otro lado, cumpliendo con este objetivo se llegará al exitoso cumplimiento del trabajo de grado.

Es fundamental que el proyecto sea desarrollado por estudiantes de ingeniería de petróleos que tengan amplio conocimiento en los procesos de la industria y tengan habilidades en gerencia de

proyectos para desarrollar una formulación correcta del proyecto con el fin de evaluar las propiedades del fluido y corroborar que son las apropiadas para que el lodo cumpla sus funciones correctamente durante la perforación.

5. DELIMITACIÓN

El desarrollo de este proyecto involucra el análisis de comparabilidad de la implementación de unas píldoras A BASE DE FIBRA SOLUBLE, PILDORA DE SELLO POR ALTA FILTRACION Y PILDORA DE LOSSEAL. que tiene como objetivo minimizar el daño, los costos y tiempos en la etapa de perforación de pozos petroleros de las formaciones naturalmente fracturadas, y se evaluará tanto técnicamente como con indicadores de diagnóstico y se determinará el más eficiente para ser utilizado en la formación. Para las 3 píldoras se hará la identificación de los riesgos económicos. Se realizará un análisis técnico que tiene como objetivo “asegurar la identificación de procesos, de los insumos materiales.” (Miranda, 2005). El área de estudio que tendrá dicho proyecto es la Perforación. La responsabilidad de los encargados en realizar este análisis se limitará desde el estudio técnico hasta el análisis de prefactibilidad. La aceptación dependerá de la Universidad De América, los cuales se les hará la presentación de resultados del análisis.

6. METODOLOGIA

El objetivo de esta metodología es para determinar la mejor opción de implementación entre las píldoras A BASE DE FIBRA SOLUBLE, PILDORA DE SELLO POR ALTA FILTRACION Y PILDORA DE LOSSEAL de los proyectos mediante la utilización y aplicación de los estudios previos necesarios para tomar la decisión de implementación de los proyectos.

Las metodologías que se pueden implementar para el desarrollo de las fases, de los proyectos las cuales se fundamentan en la realización del estudio de mercado, técnico, administrativo, económico, financiero y en la evaluación financiera que se debe hacer para determinar la factibilidad y viabilidad de los proyectos de acuerdo. (Baca Urbina, 2010)

El estudio de comparabilidad se realizará mediante una metodología de interpretación, estudio y análisis de la información, técnica y económico-financiero de investigaciones similares.

Mediante un estudio detallado de la determinación de los recursos, , con la descripción de los procesos técnicos, la determinación de precios de los productos, estimados de costos de operación y evaluación económica de su operación. (Sapag. C & Sapag. C, 1989)

Estudio Técnico: Deben Incluir en la medida de lo posible los recursos que sean necesarios para implementar el proyecto: flujo del proceso, entre otros. Los proyectos de investigación se encuentran expuestos a diversos tipos de riesgo: financiero, político, de mercado, técnicos entre otros. Aunque se pueden mencionar varios tipos de metodologías de medición que intentan incluir el riesgo en la valoración de proyectos, la mayoría de ellas tiene falencias, que en todo caso pueden ser abordadas para dar lugar a mejores indicadores de bondad económica y financiera. (Sapag. C & Sapag. C, 1989).

Estudio Económico: Este tema incluye abordar la descripción de las Características Generales de un Estudio de Prefactibilidad Técnica /Económica. El método de Resolución de Problemas en dependencia del tipo de camino de la investigación, para definir los beneficios del proyecto. (Sapag. C & Sapag. C, 1989).

Estudio de riesgos: Es el análisis de las causas de las posibles amenazas y probables eventos no deseados, así como los daños y consecuencias que éstas puedan producir. Se trata de un proceso sistemático que planifica, identifica, analiza, responde y controla los riesgos de un proyecto. Nos centraremos así, en las amenazas con mayor probabilidad de que ocurran y que puedan suponer un mayor impacto a la ruta crítica del proyecto (Sapag. C & Sapag. C, 1989).

7. ESTUDIO TÉCNICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS PÍLDORAS A BASE DE FIBRA SOLUBLE, PÍLDORA DE SELLO POR ALTA FILTRACIÓN Y PÍLDORA LOSSEAL PARA LA PERFORACIÓN DE FORMACIONES NATURALMENTE FRACTURADAS

En este capítulo, se realiza el estudio técnico de las 3 píldoras con el fin de dar respuesta al primer objetivo específico.

7.1 Aplicación de las píldoras para controlar la pérdida de circulación en fracturas naturales

La pérdida de circulación en formaciones con fracturas naturales o cavidades da como resultado una pérdida de fluido acompañada de un aumento del tiempo no productivo de perforación por sus siglas en inglés (NPT) y el costo. Los vacíos dentro de estos sistemas pueden ser grandes o pequeños y pueden formar una red extensa o permanecer confinados a un área localizada y estas fracturas de flujo para los fluidos de perforación siempre están abiertas. Con un gran tamaño de fractura y una enorme interconectividad entre ella, las píldoras convencionales basadas en material particulado rara vez ayudan a controlar las pérdidas de circulación. (Alkinani, y otros, 2018)

Los problemas de pérdidas de circulación se producen principalmente como resultado de perforar a través de formaciones fracturadas, sobre presionadas, cavernosas o altamente permeables. Estas zonas de fracturas, o de pérdidas de circulación, pueden hacer que los equipos de perforación pierdan el control de un pozo, porque las zonas fracturadas admiten fluido de perforación e impiden su retorno a la superficie. (De Andrade et al. 2012)

Las consecuencias económicas de los problemas de pérdidas de circulación (LC) pueden ser significativas y los operadores a menudo agregan entre un 10% y 20% a sus presupuestos de perforación como previsión ante el tiempo no productivo (NPT) atribuible a tales pérdidas.

7.2 Píldora de sello por alta filtración para pérdida de circulación en formaciones naturalmente fracturada

El objetivo de la píldora de sello por alta filtración, es el de formar una capa sintética o tapón sintético de alta resistencia, que se asemeja bastante a varias capas de tela, sobre la formación donde se encuentra la pérdida de circulación. Este material no es soluble 100% en ácido clorhídrico (HCl), ya que la fibra celulosa no es soluble en ácido y no es posible su remoción. Sus principales propiedades físicas son Apariencia física: polvo de color gris Olor: sin olor característico Gravedad específica: 1,98. (Garcia Tovar & Jimenez Agudelo, 2016).

La píldora de sello por alta filtración es una mezcla suministrada como producto de un solo saco para aplicaciones de fortalecimiento del pozo y una amplia gama de escenarios de pérdida de circulación, incluyendo, pero sin limitarse a fracturas y permeabilidad de la zona productora. Este producto se aplica en forma de píldora que se deshidrata rápidamente y forma un tapón de forma preventiva o curativa para la pérdida de circulación. (Garcia Tovar & Jimenez Agudelo, 2016) se compone por tres componentes principales:

- Fibra sintética
- Fibra celulosa
- Minerales en partículas

Las principales ventajas, que presenta la píldora de sello por alta filtración son: puede ser fácilmente mezclado en fluidos base agua, aceite o en salmueras de completamiento, inclusive es posible que sea mezclado directamente con agua. Puede ser densificado con barita y/o salmuera, sin afectar sus propiedades de sellado de fractura. Una vez la píldora se estabiliza en la fractura y se desfluidiza, forma un entramado fibroso. Térmicamente estable hasta los 350 °F. No requiere un retardador o un activador. Su desempeño es independiente de la temperatura y el tiempo de operación (Garcia Tovar & Jimenez Agudelo, 2016).

7.3 Píldora a base fibra soluble para pérdida de circulación en formaciones naturalmente fracturada

La pérdida de circulación es una de las principales causas del tiempo improductivo durante la perforación e impacta el éxito de las operaciones de cementación. Las soluciones existentes se basan principalmente en crear píldoras con partículas de fibras solubles, que a menudo se agregan a los fluidos de perforación para taponar fracturas o para formar revoques de filtración para remediarlas pérdidas de fluidos. (Nayberg & Petty, 1986)

Las píldoras con fibras han mostrado un buen comportamiento de taponamiento de las fracturas. Los parámetros que afectan el rendimiento de la fibra incluyen, entre otros; la viscosidad del fluido, la concentración de la fibra, la geometría de la fibra, el caudal, el efecto de la pared y el ancho de la fractura.

Para aplicar fibras de manera efectiva para la pérdida de circulación, se tienen fluidos novedosos cargados de fibras para una fácil preparación en la superficie, lo que permite la compatibilidad con los ensamblajes de fondo de pozo (BHA). La baja velocidad dentro de la formación permite que las fibras se unan dentro de la fractura realizando un puenteo y posteriormente un taponamiento de la fractura, recuperando así la circulación. (Lost Circulation Guide, apéndice XI, página 58)

Las fibras están especialmente diseñadas para degradarse en un período de tiempo ajustable suficiente para garantizar la estabilidad del tapón hasta que se complete el pozo. Con el tiempo, el taponamiento sufre una degradación mayor, lo que lleva a no dañar la formación fracturada para la posterior producción.

7.4 Características

La nueva solución de píldoras con fibra soluble se desarrolló con el objetivo de detener las pérdidas durante la perforación de formaciones naturalmente fracturadas. El principal desafío es crear un tapón que sea estable durante la fase de perforación, permanezca estable hasta que se

realice el completamiento del pozo y luego se degrade para permitir que comience la producción (Suyan et al. 2009). La creación del tapón en la entrada de las fracturas sería sensible a la abrasión del conjunto de perforación que está en movimiento dentro del pozo, lo que puede causar la eliminación parcial de los materiales de taponamiento de las fracturas. (Arunesh, y otros, 2011)

La alta velocidad experimentada por el fluido mientras se bombea por la línea y a través del conjunto de fondo de pozo asegura que no haya puentes ni tapones. La subsiguiente caída de velocidad dentro de las fracturas permite que las fibras y los sólidos se unan y se taponen, creando una caída de presión suficiente para detener o reducir significativamente el flujo de fluido hacia las fracturas, lo que permite restaurar la circulación. Las fibras están diseñadas específicamente para degradarse en un período de tiempo suficiente para garantizar la estabilidad del tapón hasta que se termine la terminación del pozo. Luego, el tapón se degrada para restaurar la alta permeabilidad y permitir una producción efectiva.

7.5 Propiedades de Fluidéz y Taponamiento

Se tiene una configuración a pequeña escala y fácil de operar y se usó para pruebas de rutina para determinar la eficiencia de taponamiento de fluidos cargados con la píldora a base de fibra. Consiste en un tubo de metal, lleno con la suspensión formulada de fluido, fibras y partículas, empujado a través de una ranura de 5 mm simulando una fractura. La formulación preparada para probar se vierte en el tubo. Se inserta un pistón para separar el fluido de prueba del agua utilizada para aplicar presión.. (LP, 2014)

De acuerdo con pruebas realizadas, se pueden observar tres comportamientos diferentes, con perfiles de presión característicos (Fig.1):

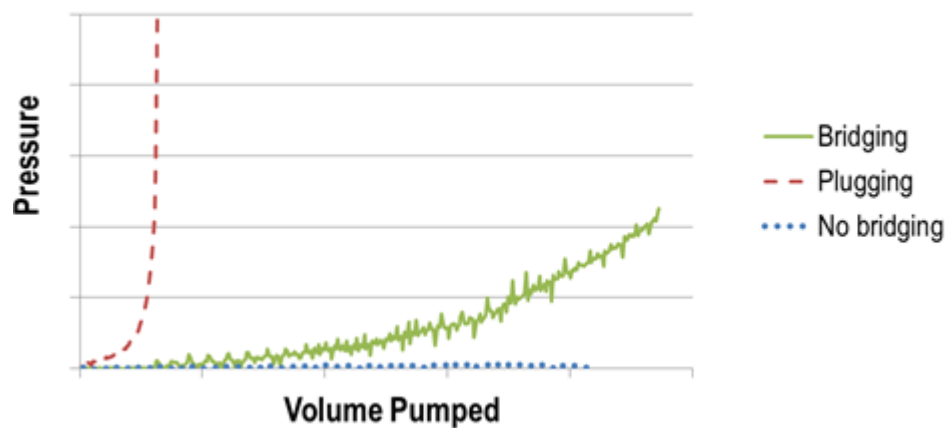
- Sin puenteo: Todo el líquido y los sólidos se expulsan a través de la ranura. No se registra ningún aumento de presión, o se registra muy poco hasta que se expulsan los tapones parciales.
- Puenteo, pero sin taponamiento: No salen sólidos de la ranura, pero el líquido aún puede fluir a través de las fibras. La estructura formada en la ranura todavía tiene permeabilidad y se

reduce lentamente. La presión aumenta lentamente a medida que se acumulan más y más fibras.

- Taponamiento: Rápida reducción del caudal que sale de la ranura, rápida acumulación de presión en el sistema, la configuración alcanza la limitación de presión muy rápidamente, sin sólidos ni fluidos saliendo de la ranura. (LP, 2014)

Figura 1.

Registro Típico de Presión



Nota. La Figura Representa el Registro típico de la presión en función del volumen bombeado durante un experimento de puenteo, taponamiento y no puenteo. Tomado de: (LP, 2014)

7.6 Propiedades de Estabilidad del Tapón

Otra característica clave de esta nueva solución es la degradabilidad o solubilidad que genera el tapón. Primero, se forma un tapón para reducir la pérdida de circulación, como se detalla en la sección anterior. El tapón debe permanecer impermeable durante un tiempo suficiente para terminar la perforación durante la formación facturada. Esto puede incluir la perforación hasta la profundidad final, registros, extracción de corazones, casing, cementación, perforación e instalación de hardware de producción. Cuando la sección está terminada y lista para entrar en producción, el tapón debe perder su integridad y permitir que los hidrocarburos fluyan a través de las fracturas como canal de producción. (LP, 2014)

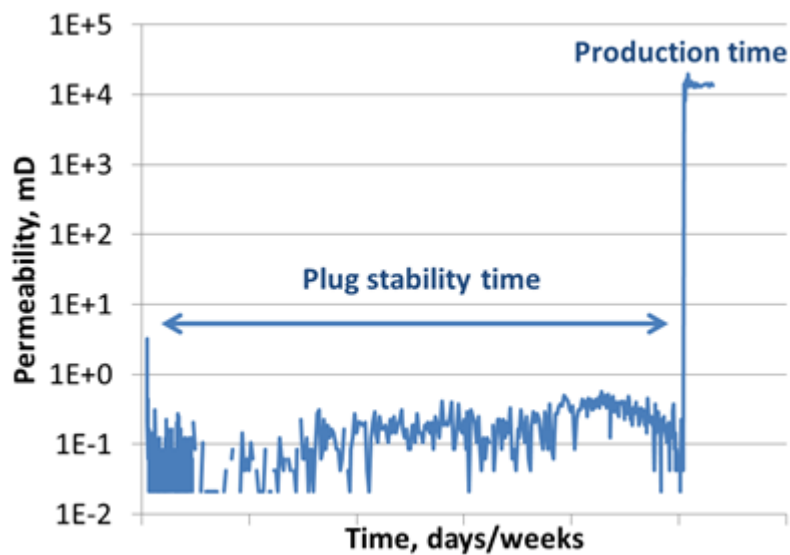
La tasa de degradación de las fibras se estudió en pruebas de cribado utilizando botellas en un horno para comprobar la pérdida de peso de las fibras en función del tiempo. Para lograr un amplio rango de tiempos de estabilidad (desde unos pocos días hasta unas pocas semanas) en un amplio rango de temperaturas (de 40 ° C a 85 ° C [104 ° F a 185 ° F]), se agregaron aditivos que regulan el pH. para controlar el tiempo de degradación. Aún se está trabajando para extender las temperaturas de aplicación por encima de 85 ° C [185 ° F].

Luego, para establecer la correlación entre la degradación de la fibra y la estabilidad del tapón, se diseñó un experimento en el que primero se forma un tapón en un tubo de metal. El tubo, conectado a una bomba, se coloca en un horno.

Utilizando los resultados de esos experimentos, se establecieron pautas de formulación. Dependiendo de la temperatura y el tiempo de estabilidad requerido, se ajusta la cantidad de aditivo regulador del pH.

Figura 2.

Perfil de Permeabilidad En Función de Tiempo



Nota: Ejemplo de estabilidad del empaquetamiento. Permeabilidad en función del tiempo.

Tomado de: (Arshad, Jain, Pardawalla, & Gupta, 2014). <https://doi.org/10.2118/169343-MS>

7.7 Pruebas de campo

Los ensayos de campo proporcionaron la validación final de la LCS formulada. Se seleccionaron ubicaciones de campo para probar una variedad de parámetros relacionados con eventos de pérdida de circulación en casos reales. Por lo tanto, se consideraron los siguientes criterios al seleccionar ubicaciones para las pruebas: (Cook, Growcock, Guo, Hodder, & van Oort, 2011)

- Temperatura del yacimiento (temperatura estática de fondo de pozo, BHST) y tiempo de estabilidad del tapón deseado para probar la degradación de la fibra
- Tasa de pérdida para probar la eficacia del curado
- Configuración de BHA y presencia de herramientas de fondo de pozo para probar la compatibilidad.
- Tasa de colocación para probar variaciones operativas.

La solución degradable se probó con éxito para curar pérdidas en diferentes partes del mundo. Además, se evaluaron el procedimiento de mezcla, la secuencia de bombeo y la técnica de colocación.

Tabla 1.

Condiciones Iniciales de Campo

Condition	Field Case 1	Field Case 2
Formation type	Reservoir section, non-producing zone	Reservoir section, producing zone
Deviation	Vertical	Vertical
BHA configuration	Directional with mud motor and Bit	Open-ended drill pipe
Drill-bit nozzles	3 × 12/32 in. + 3 × 14/32 in.	N/A
Depth (MD)	8,190 ft [2496 m]	1,550 ft [472 m]
Temperature (BHST)	237°F [113°C]	100°F [38°C]
Initial losses	Total dynamic (> 360 bbl/h [> 60 m ³ /h])	160 bbl/hr [25 m ³ /h] static
Mud density	10.7 lbm/gal [1140 kg/m ³]	Water = 8.35 lbm/gal [1000 kg/m ³]

Nota: Las condiciones se detallan en la Tabla 1 . Los pozos de prueba se perforaron a través de secciones donde se esperaban pérdidas. Tomado de: (Solutions, 2019)

7.8 Píldora Losseal para pérdida de circulación en formaciones naturalmente fracturadas

La historia de la primera aplicación de las soluciones para problemas de pérdidas de circulación es tan poco clara como la historia de los primeros fluidos de perforación. Casi todos los sólidos pueden ser utilizados para taponar una formación fracturada, aplicando suficiente presión e inyectando partículas de propiedades y tamaños adecuados. Si el tapón se mantendrá en su lugar cuando se retomen los procesos de rotación y circulación, y si tolerará las vibraciones y los cambios de presión, es un tema aparte. (Almagro, Frates, Garand, & Meyer, 2014)

Ejemplos de materiales para pérdidas de circulación son las cáscaras de semillas de algodón, el cuero triturado, el aserrín, la paja y las cáscaras de nuez molidas. Con frecuencia, los materiales LCM se fabricaban con materiales residuales o de desecho de los procesos de manufactura. Las operaciones de perforación más complejas de nuestros días generaron la necesidad de contar con materiales LCM especialmente diseñados para la pérdida de circulación como son las píldoras Losseal.

7.9 Características

Para operar de manera segura en intervalos naturalmente fracturados, inestables o de baja presión —zonas de riesgo— los ingenieros necesitan identificarlos, si es posible, antes de perforar. En algunos tipos de formaciones, las zonas de riesgo son más difíciles de mapear que en otros. Por ejemplo, la alta heterogeneidad de las formaciones carbonatadas vuelve problemática la caracterización de los yacimientos. Las formaciones carbonatadas son altamente susceptibles a la disolución. (Almagro, Frates, Garand, & Meyer, 2014). Esta situación puede conducir a la formación de nuevos espacios porosos y la disolución a través de las fracturas y los planos de estratificación, puede producir desmoronamientos significativos.

Las pérdidas de circulación pueden dividirse en cuatro clases de pérdidas volumétricas Tabla 2.: filtración, pérdida parcial, pérdida severa y pérdida total. A medida que se incrementa la severidad de la pérdida de lodo, crecen las pérdidas financieras para cubrir los costos de los fluidos de

perforación adicionales, los tratamientos de pérdidas de circulación, el tiempo y demoras del equipo de perforación.

Tabla 2.

Tipo de Perdida de Circulación.

Tipo de pérdida	Severidad de la pérdida
Filtración	Menos de 1,6 m ³ /h [10 bbl/h]
Parcial	Entre 1,6 y 16 m ³ /h [10 y 100 bbl/h]
Severa	Más de 16 m ³ /h
Total	No retorna fluido alguno a la superficie

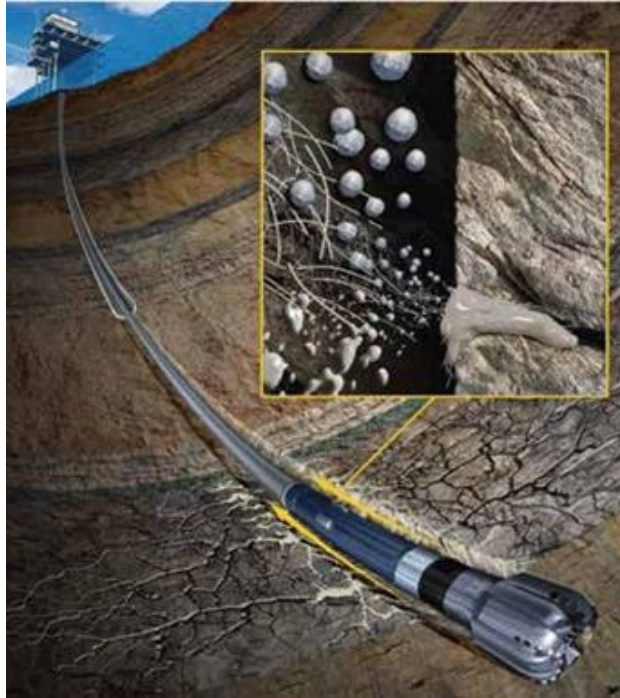
Nota: Clasificación de las pérdidas de circulación. Las pérdidas se clasifican en base a la tasa de volumen de fluido perdido en la formación. Tomado de: (Arshad, Jain, Pardawalla, & Gupta, 2014)

7.10 Propiedades

La familia de píldoras reforzadas con malla compuesta Losseal, consiste en una combinación de fibras y sólidos que obturan y taponan las formaciones fracturadas durante las operaciones de perforación y cementación (Figura 3). (Almagro, Frates, Garand, & Meyer, 2014) La familia Losseal comprende tres soluciones optimizadas para microfracturas y fisuras, fracturas naturales y yacimientos fracturados (figura 3). El taponamiento de fracturas con píldora Losseal para las primeras dos aplicaciones microfracturas y fracturas naturales, sigue un enfoque de cuatro pasos: dispersión, puenteo, taponamiento y sostenibilidad; cada paso es igualmente importante para lograr el rendimiento óptimo del tratamiento.

Figura 3.

Píldora de Tratamiento Losseal.



Nota: La Píldora de tratamiento Losseal. La píldora Losseal combina fibras, tanto rígidas como flexibles— y sólidos que se bombean a través de un BHA para puentear las fracturas. Al cabo de un tiempo de remojo de tan sólo 60 minutos, la píldora resultante puede taponar la formación fracturada. Las flechas amarillas muestran la píldora fluyendo en sentido ascendente por el espacio anular y hacia las fracturas de la formación. Los sólidos y las fibras (*inserto*) de la píldora forman un puenteo que rellena y sella las fracturas de la formación. Tomado de: (LP, 2014)

7.11 Aplicación

Dependiendo de la aplicación, uno de los cuatro pasos puede constituir el foco principal. Por ejemplo, cuando se bombea una píldora durante la perforación, es importante mantener las propiedades mecánicas de la píldora recién formada en la fractura mientras continúan las operaciones de perforación.

El tapón debe tolerar las fuerzas de erosión (resultantes de los cambios producidos en las velocidades de bombeo y las velocidades de los fluidos), las fuerzas mecánicas (provenientes de la operación y la rotación de las tuberías) y las fuerzas hidrodinámicas (resultantes de los

fenómenos de oleada inicial y suaveo). La píldora puede sellar las microfracturas y las en la perforación de los estratos de sobrecarga como del yacimiento. Dentro de los límites, el tapón puede tolerar una presión adicional resultante de los incrementos de la densidad del lodo y de las operaciones de perforación o cementación futuras. (LP, 2014)

La píldora Losseal es relativamente insensible al ancho de las fracturas y puede ser utilizada sin un conocimiento detallado de las fracturas naturales más grandes tantas características de la formación, en tanto que el rendimiento de muchos tratamientos de pérdidas de circulación depende de un ancho de fractura fijo conocido.

Las píldoras Losseal son utilizadas habitualmente para formaciones naturalmente fracturadas y formaciones con fracturas cuyo ancho varía entre 1 y 5 mm [0,04 y 0,2 pulgadas]. Los ingenieros pueden efectuar una prueba de eficiencia de taponamiento local cada vez que utilizan el sistema Losseal por primera vez. (Baggini, Frates, Garand, & Meyer, 2014)

Tabla 3.

Aplicación de Píldora Losseal.

Etapa	Desafío	Tratamiento	Ancho de la fractura, mm	Tasa de pérdida, bbl/h
Durante la perforación	Microfracturas, fisuras	Control de pérdidas de circulación en microfracturas Losseal, como píldora	Menos de 1	Menos de 40
	Fracturas naturales	Control de pérdidas de circulación en fracturas naturales Losseal, como píldora	1 a 5	Más de 40
	Fracturas del yacimiento	Control de pérdidas de circulación en fracturas de yacimientos Losseal, como píldora	1 a 5	Más de 40
Durante la cementación	Todas	Control de pérdidas de circulación en microfracturas Losseal, como fluido espaciador	Menos de 1	Menos de 40
Durante la cementación	Todas	Control de pérdidas de circulación en fracturas naturales Losseal, como fluido espaciador	1 a 5	Más de 40

Nota: Soluciones y aplicaciones de la píldora Losseal. La familia Losseal incluye tres soluciones de tratamiento, algunas de las cuales pueden ser aplicadas como píldora o bien como fluido espaciador. El tipo de aplicación determina la solución a utilizar. (Cook, Growcock, Guo, Hodder, & van Oort, 2011)

8. ANÁLISIS DE LOS COSTOS Y TIEMPOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS PÍLDORAS A BASE DE FIBRA SOLUBLE, PÍLDORA DE SELLO POR ALTA FILTRACIÓN Y PÍLDORA LOSSEAL EN FORMACIONES NATURALMENTE FRACTURADAS

De acuerdo con la información recolectada se realiza el análisis de costos de cada una de las píldoras del proyecto, la cual tiene como objetivo analizar financieramente los costos generados por el control de las pérdidas de circulación de los materiales usados actualmente en formaciones naturalmente fracturadas,

El proyecto de análisis consiste en estudiar de qué forma se pueden controlar efectivamente las pérdidas de circulación en las formaciones naturalmente fracturadas en los diferentes campos de Colombia; este objetivo se desarrolla de acuerdo a información de pruebas realizadas, que busca formar un procedimiento que permita medir el rendimiento de una serie de píldoras la cual sirve para operaciones puenteo en fracturas para las pérdidas de circulación o pegas de tubería. (Almagro, Frates, Garand, & Meyer, 2014)

Una vez se realizan las diferentes pruebas de laboratorio, se procede a analizar los resultados de las mismas, a partir de allí se plantea un análisis, que permitirá comprender el comportamiento de las diferentes píldoras y con ello, plantear un análisis que ayuden a identificar los rendimientos a distintas condiciones de operación. Todos los materiales que se utilizan y costos de referencia se debe tener en cuenta que los precios y valores están determinados en dólares americanos.

8.1 Píldora a base fibra soluble

Uno de los problemas más graves, costosos y que requieren más tiempo en la operación de perforación es la pérdida de circulación. El fluido de perforación representa del 25 al 40% del costo total de la operación de perforación. La pérdida del fluido de perforación aumentará el costo total de la operación de perforación. La pérdida de circulación incontrolada del fluido de perforación puede resultar en un problema peligroso de control del pozo y, en algunos casos, la

pérdida del pozo. El objetivo es comprender e ilustrar en profundidad los diferentes tipos de pérdida de circulación. La revisión profunda de la literatura ilustró que la pérdida de circulación cuesta entre el 10 y el 20% del costo de perforación de pozos de alta presión y temperatura y el 90% de estas pérdidas ocurren en formaciones fracturadas. La tasa de pérdida depende de los tipos de fluido de perforación, y generalmente es más alta en el caso del fluido de perforación a base de agua que en el caso del fluido de perforación a base de petróleo. (Arshad, Jain, Pardawalla, & Gupta, 2014). El abordaje preventivo es el más eficiente para mitigar la pérdida de circulación ya que el uso de LCM convencional no tiene éxito en la mayoría de los casos debido a sus limitaciones. Es vital considerar el tamaño de las diferentes fracturas encontradas durante la perforación y así realizar su revisión de costo, como se muestra en la siguiente tabla 4.

Tabla 4.

Costo de Píldora A Base de Fibra Soluble

Producto	Cantidad (lb)	Costo (US\$)
Material de fibra soluble en ácido	22	118.26
Bentonita no tratada	10	2.65
Controlador de filtrado	3	9.81
Carbonato 1200	3	0.35
Carbonato 600	3	0.42
Carbonato 325	3	0.29
Total (US\$)		131.79

Nota: los precios de cada producto, se determina el precio para preparar un barril de cada píldora (Tabla 4) con base en la concentración recomendada. Un aumento en los costos de preparación, reduciendo en una pequeña proporción las pérdidas de circulación, sin embargo, a pesar de que la píldora de material de control de perdida. Es por eso que analizamos una segunda concentración (Tabla 5), en la que es consultado de material de biblioteca.

Tabla 5.

Precio Píldora a Base de Fibra Soluble para 4mm.

Producto	Cantidad (lb)	Costo (US\$)
Material de fibra soluble en ácido	48	258.03
Bentonita no tratada	10	2.65
Controlador de filtrado	3	9.81
Carbonato 1200	3	0.35
Carbonato 600	3	0.42
Carbonato 325	3	0.29
Total (US\$)		271.56

Nota: Esta tabla muestra los costos de la píldora con un tamaño de fibra de 4mm, consultado de material de biblioteca.

8.2 Análisis de Tiempo de Degradación

El tiempo de empaquetamiento del LCM se determinó con un consistómetro presurizado y Los resultados se muestran para una densidad de fluido de 12,5 ppg en la Tabla 2. Las mediciones se realizaron para rango de temperatura de 125 °F a 225 °F. Además, el aditivo de control de pérdida como lo es la píldora. Esta propiedad se puede optimizar de acuerdo con el tiempo de bombeo requerido para aplicaciones de campo, de acuerdo a las concentraciones dada (Tabla 4) (Almagro, Frates, Garand, & Meyer, 2014).

Los resultados mostraron que a 125 °F, el tiempo de empaquetado fue de 2 h y 40 min. Para temperaturas más altas de 225 °F, el tiempo de fraguado disminuyó a 1 h y 16 min, que se considera un tiempo aceptable para LCM durante las operaciones de bombeo. Como lo representamos en la (Tabla 2)

Tabla 6.

Detalle de Materiales Píldora a base de fibra Soluble.

LCM	SG	Concentration in Test Fluid
Ground Marble, GM	2.7	30 - 60 ppb
Resilient Graphitic Carbon, RGC	1.75	8.2 ppb
Viscose Cellulosic Fiber	1.51	1.7 - 3.5 ppb
Oil coated Cellulosic Fibers	1.1	3 – 4 ppb
Carbon Fiber	2.12	0.5 ppb

Nota: En la tabla anterior nos muestra el tipo de concetracion de la píldora de acuerdo al material. Tomado de : (Almagro, Frates, Garand, & Meyer, 2014)

Tabla 7.

Tiempos Degradación a Diferentes Temperaturas.

Temperature (°F)	Thickening Time (h:min)
125	2:40
150	1:40
175	1:50
200	1:40
225	1:16

Nota: La tabla representa la degradación y espesamiento del fluido a una densidad de 12.5 ppg a 175°F. tomado de : (Almagro, Frates, Garand, & Meyer, 2014)

8.3Prueba Tiempo de Solubilidad

Los resultados de la prueba de solubilidad mostraron que la solubilidad del LCM es superior al 90%. cuando se usa una solución de HCl al 15% en peso. La Tabla 8 representa los resultados de la prueba de solubilidad para la lechada con una densidad de 12,5 ppg y donde la relación de solubilidad era 96,6%; esta alta solubilidad es importante para asegurar, La limpieza efectiva se lleva a cabo después del tratamiento de pérdida de circulación. (Almagro, Frates, Garand, & Meyer, 2014)

Tabla 8.

Prueba de Solubilidad Píldora a Base de Fibra.

Acid Solubility	Initial Weight of the Cube (g)	Acid Used (15 wt.% HCl) (g)	Time to Dissolve (h)	Residue Left (g)	Solubility (%)
2-inch Cube 12.5 ppg	144.58	800.46	4	4.93	96.6

Nota: la figura anterior encontramos una prueba de solubilidad a densidad de 12,5 ppg con un tiempo de 4 horas presentando una solubilidad de 96.6%. tomado de: (Almagro, Frates, Garand, & Meyer, 2014)

8.4Píldora por alta filtración

A continuación, observaremos el costo del uso de la píldora por alta filtración en cada diámetro de apertura de una formación.

Tabla 9.

Costo de Píldora Alta Filtración.

Diámetro de apertura (mm)	Cantidad (lb)	costo (US\$)
2	55	353
4	90	578
6	98	630

Nota: Al tener unos costos tan elevados se espera tener resultados de las pruebas aceptables y superiores al de las otras píldoras. Tomado de material de biblioteca.

8.5Prueba PPT

Para simular una fractura natural, los ingenieros García y Jiménez realizaron la Prueba PPT, la cual consiste en utilizar discos de aloxita de 20 micras a diferentes milímetros de diámetro de apertura de fractura a lo largo de 3 centímetros y a su vez realizar la prueba con distintas concentraciones, estos fueron algunos de los resultados tabla 10.: (Instituto Americano del Petróleo, 2001), (Almagro, Frates, Garand, & Meyer, 2014)

Tabla 10.

Concentración de Píldora Por Alta Filtración.

Píldora	Concentración 1	Concentración 2
Sello por alta filtración	50 lb/bbl	80 lb/bbl

Tabla 11.

Resultados Prueba PPT Píldora Alta Filtración.

Propiedad	Concentración n 1	Concentración n 1	Concentración n 1	Concentración 1
Díámetro de fractura	2	4	6	8
Filtrado a 1 min (ml)	3,0	18,0	26,0	Se cancela la prueba por alto filtrado a 1 min = 184 ml
Filtrado a 5 min (ml)	4,0	25,0	35,0	
Filtrado a 7,5 min (ml)	6,0	33,0	44,0	
Filtrado a 15 min (ml)	7,0	42,0	57,0	
Filtrado a 25 min (ml)	9,0	48,0	63,0	
Filtrado a 30 min (ml)	12,0	54,0	75,0	
Spurt Loss	0,5	8,5	14,1	
Total Filtrado (ml)	24,0	108,0	150,0	

Tabla 12.

Resultado Prueba PPT Concentración 2 Píldora Alta Filtración.

Propiedad	Concentración 2	Concentración 2	Concentración 2	Concentración 2
Diámetro de fractura	4	6	8	10
Filtrado a 1 min (ml)	3,0	8,0	25,0	Se cancela la prueba por alto filtrado a 1 min = 150 ml
Filtrado a 5 min (ml)	5,0	12,0	34,0	
Filtrado a 7,5 min (ml)	8,0	16,0	41,0	
Filtrado a 15 min (ml)	11,0	19,0	53,0	
Filtrado a 25 min (ml)	13,0	23,0	63,0	
Filtrado a 30 min (ml)	14,0	26,0	67,0	
Spurt Loss	0,3	4,0	14,3	
Total Filtrado (ml)	28,0	52,0	134,0	

Nota: Con base a estos datos se realiza el estimado de rango operativo para la píldora de sello por alta filtración que se mostrará en el análisis de riesgos. Consultado de material de biblioteca.

Adicional a la prueba PPT, se realiza **Prueba de solubilidad** a la píldora de sello por alta filtración, se usan 2 discos de diámetros distintos a una concentración de 50 lb/bbl, para poder evaluar la aptitud de remoción de la píldora por medio de la disolución en ácido clorhídrico (HCL), algunos resultados son los siguientes:

8.6 Prueba de solubilidad

Tabla 13.

Resultado de Prueba de Solubilidad Píldora Sello Por Alta Filtración Con Distintas Concentraciones de HCL.

Diámetro de apertura (mm)	Concentración HCL (%)	Peso del disco (g)	Peso disco con revoque (g)	Peso disco después del HCL (g)	% remoción
4	10	28,654	31,67	29,44	73,85
6	15	28,105	31,09	28,66	81,16

Nota: Observando los resultados de ambas pruebas se muestra que en una concentración de 50lb/bbl y 15% de HCL hay una remoción del 81%. Consultado de material de biblioteca, tomado de: (LP, 2014)

8.7PILDORA LOSSEAL

Las consecuencias económicas de los problemas de pérdidas de circulación (LC) pueden ser significativas y los operadores a menudo agregan entre un 10% y 20% a sus presupuestos de perforación como previsión ante el tiempo no productivo (NPT) atribuible a tales pérdidas.

8.8Costo de producción Píldora Losseal

Tabla 14.

Costo de Píldora Losseal.

Producto	Cantidad (lb)	Costo (US\$)
Material de Fibra Losseal	90	483.80
Bentonita no tratada	10	16.35
Controlador de filtrado	3	0.64
Carbonato 600	19	2.24
Carbonato 10 – 40	15	1.46
	TOTAL (US\$)	504.50

Nota: Como resultado, que entre las píldoras seleccionada, la píldora de mezcla de material Losseal y fibroso sigue siendo una opción más costosa a la hora de sellar fracturas, en este caso de 4 mm de diámetro de apertura, con un precio de 504.50 US\$/bbl, siendo cerca de 200 US\$/bbl más costosos que las demás píldoras, esto puede ser explicado por la baja concentración de material base usado en comparación con las demás píldoras. Tomado de: (Almagro, Frates, Garand, & Meyer, 2014)

9.9Análisis de Tiempo de degradación

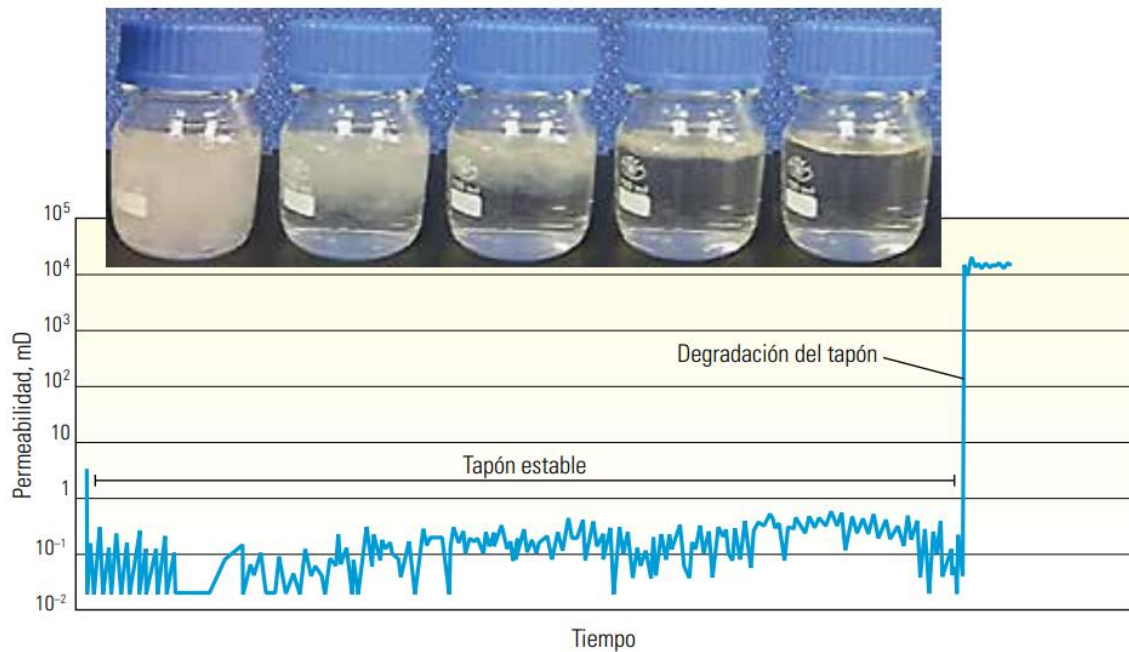
En los análisis se desarrollaron una familia de píldoras compuesta y reforzada, fabricadas con una mezcla de fibras disolubles para mitigar las pérdidas de circulación en yacimientos naturalmente fracturados, formaciones carbonatadas y yacimientos; las píldoras están diseñadas para taponar

fracturas con anchos oscilantes entre 1 y 5 mm. Las píldoras poseen tres componentes: viscosificadores, fibras y sólidos. La combinación se mantiene estable suficiente tiempo, y a lo largo de un amplio rango de temperaturas de fondo de pozo, para permitir las terminaciones de los pozos, pero luego se degrada con el tiempo, sin producir daños en la formación. El tratamiento de pérdidas de circulación en el yacimiento Losseal, que puede pasar a través de boquillas de barrenas de tan sólo 6,35 mm [0,250 pulgadas]. (Alkinani, y otros, 2018)

La relación entre la degradación de las fibras y la estabilidad del tapón ha sido establecida a través de experimentos de laboratorio. En estos experimentos, los desarrolladores crean un tapón dentro de un tubo de metal conectado a una bomba. Luego, el tubo se coloca en un horno y se aplica un flujo continuo de fluido, análogo al fluido de perforación a alta presión. La respuesta de presión resultante es monitoreada en función del tiempo. Una caída de presión súbita indica que el material del tapón está comenzando a degradarse y a limpiarse y que se está restaurando la permeabilidad. se utilizaron los resultados de estos experimentos para establecer directrices para la formulación de las píldoras. Los factores que afectan el rendimiento de la solución de píldoras fibrosas son la viscosidad del fluido, la concentración de fibras, la geometría de las fibras, la tasa de flujo y el ancho de la fractura. Las investigaciones están trabajando actualmente para extender la estabilidad térmica de las fibras Losseal más allá de su temperatura de diseño de 85°C [185°F], y se están probando fibras para temperaturas medias y altas en el campo a fin de confirmar el rendimiento tanto del taponamiento como de la estabilidad térmica hasta 150°C [300°F]. A diferencia de los otros productos Losseal, la píldora Losseal para perforar la sección yacimiento está diseñada para degradarse con el tiempo (figura 4) (V, y otros, 2012)

Figura 4.

Tiempo Degradación Píldora Losseal.



Nota: podemos ver una muestra del tratamiento Losseal para perforar la sección yacimiento. Las fibras Losseal se degradan con el tiempo (extremo superior, el tiempo se incrementa hacia la derecha). Los técnicos regulan los niveles de pH de la píldora para controlar el tiempo de degradación y lograr un amplio rango de duraciones de la estabilidad de las fibras, que oscilan entre un día y ocho semanas. (Almagro, Frates, Garand, & Meyer, 2014)

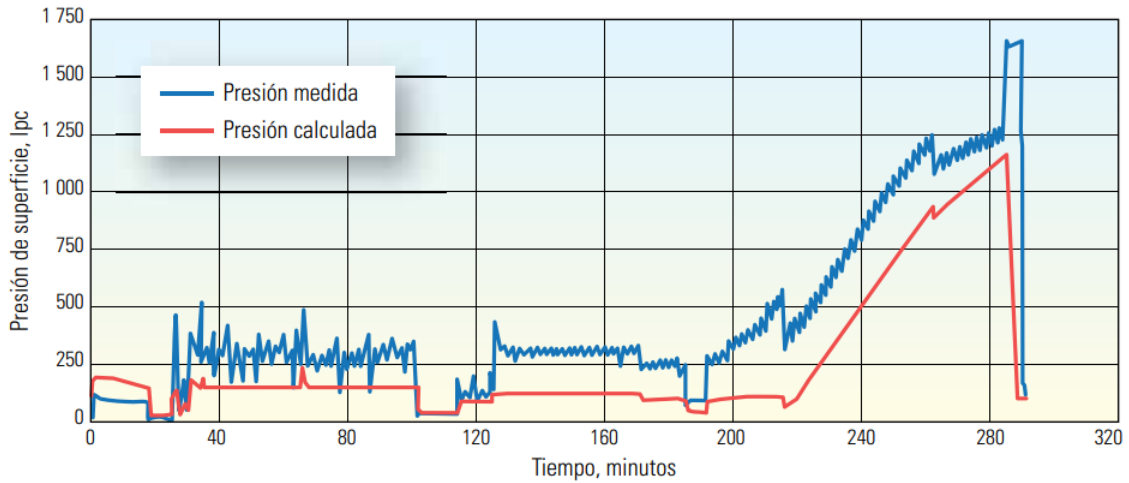
8.10 Análisis de Tiempo solubilidad

La píldora Losseal fue preparada en la localización del pozo y se colocó a través de toda la supuesta zona de pérdidas de circulación, desde 2 100 hasta 3 000 m [6 800 hasta 9 800 pies]. Para evitar la posible contaminación y desestabilización de la píldora, incidentes que podían ocurrir si la misma entraba en contacto con el fluido de perforación, se bombeó un fluido espaciador espesado, tanto por delante como por detrás de la píldora. Luego se llevó a cabo un proceso de inyección forzada suave, con la aplicación de baja presión, para ayudar a activar el mecanismo de obturación y taponamiento de las partículas LCM, (Solutions, 2019). Después de aplicar una presión total de inyección forzada de 250 lpc [1,7 MPa], no se observó reducción alguna de la presión, lo que indicó que la píldora para fracturas naturales Losseal había sellado la zona de pérdida, es decir un

sellamiento del 99% (figura 5) . El restablecimiento de la circulación total inmediatamente después del tratamiento fue otra prueba del éxito.

Figura 5.

Prueba de Presion Vr Prueba Registrada Durante La Aplicación de la Píldora Losseal.



Nota: la figura hace referencia a prueba de presión. La evaluación posterior a la operación compara la presión calculada con la presión real registrada durante una aplicación del tratamiento Losseal en un pozo del sur de Texas. Un modelo de simulación hidráulica utiliza los datos de la geometría del pozo, tales como el tamaño del pozo y su desviación, y los tamaños de la tubería de revestimiento y de la columna de perforación, teniendo en cuenta la densidad y la viscosidad del fluido, para calcular las presiones estimadas durante el bombeo. Tomado de: (Arunesh, y otros, 2011)

9.COMPARACIONES

9.1Costos

Se realizó el análisis de el costo de cada píldora para el punteo de una fractura de 4mm y estos fueron los resultados.

Tabla 15.

Comparación de Costo Por Píldora.

Píldora	Concentración del material (lb/bbl)	Precio por barril (US\$)
Base de fibra soluble	48	271
De sello por alta filtración	90	578
Losseal	90	504

Nota: En cuanto a evaluación de costos la píldora que requiere menos concentración para puentear una fractura de 4 mm es la de **base de fibra soluble**, así mismo como requiere casi la mitad de concentración que las otras dos píldoras su costo de producción se ve menor (271 dólares mientras que Losseal y de sello por alta filtración 504 y 578 dólares respectivamente).

9.2Tiempo de solubilidad

Podemos ver que la identificación de las fibras en base a su solubilidad si es factible ya que cada fibra por su composición química y su clasificación según su origen, es distinta para cada una de las fibras, por lo tanto, es una buena manera para el control de calidad. Podemos decir que también es un buen método de cuantificación de mezcla de fibras ya que cada fibra tiene su solvente específico, como podemos observar en el siguiente cuadro comparativo:

Tabla 16.

Comparación Tiempo de Sellado Por Píldora.

Píldora	Tiempo (minutos)	sellamiento (%)
Alta filtración	30	81,16
Base de fibra soluble	30	96,00
Píldora Losseal	280	99

Nota: En base a esto se puede observar como la píldora Losseal logra un sellamiento casi perfecto, sin embargo, es necesario tener un tiempo de espera más prolongado que las otras dos, al tener un sellamiento casi igualmente perfecto y a un tiempo más corto, **la píldora a base de fibra soluble** será la mejor en cuanto a tiempo y eficiencia.

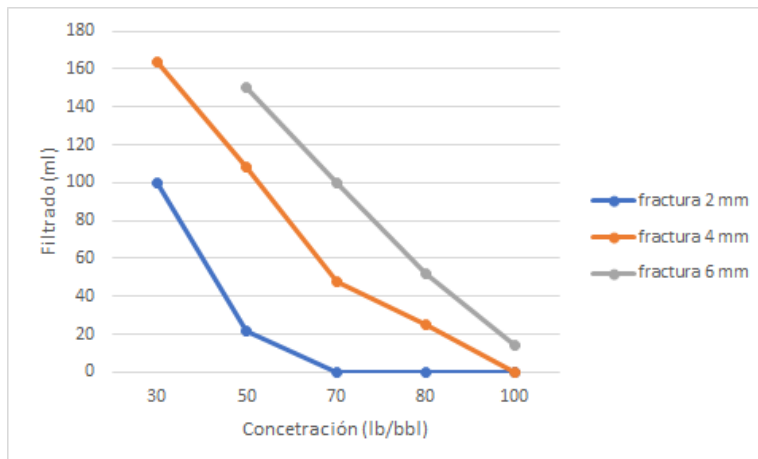
10. ESTUDIO DE RIESGOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE PÍLDORAS A BASE DE FIBRA SOLUBLE, PÍLDORA DE SELLO POR ALTA FILTRACIÓN Y PÍLDORA LOSSEAL PARA LA PERFORACIÓN DE LAS FORMACIONES NATURALMENTE FRACTURADAS

10.1 Píldora de sello por alta filtración

El principal riesgo encontrado es que solamente soporta esfuerzos de compresión de hasta 1700 lb/plg², relativamente bajo en relación a los demás materiales. (Garcia Tovar & Jimenez Agudelo, 2016).

Figura 6.

Rango Operativo de la Píldora Por Alta Filtración.



Nota: Como se puede observar en la Figura 6. Entre mayor sea el tamaño de la fractura se va a necesitar una mayor concentración de la píldora para que se logre el sello. Para una fractura de 2 mm de diámetro se necesitan 55 lb/bbl para que se haga el sello, para una fractura de 4 mm de diámetro se necesita 90 lb/bbl de píldora de sello y para una fractura de 6 mm de diámetro va a requerirse una concentración igual o mayor de 98 lb/bbl. (Garcia Tovar & Jimenez Agudelo, 2016)

10.2 Píldora a base fibra soluble

La fibra Fina Durante la perforación, la aplicación recomendada es de 4-8 lb / bbl. En barridos, use 15-30 lb / bbl en 25-50 bbl de volumen. Fiber Coarse Se usa con mayor eficacia como píldora;

20-40 lb / bbl, junto con una concentración igual de Fiber de grado fino. Los materiales Fiber deben mezclarse completamente con el fluido de perforación o con agua, luego manchados o barridos a través de la zona de pérdida. (Arunesh, y otros, 2011)

NOTA: El aspecto más importante para combatir la pérdida de circulación es la distribución del tamaño de las partículas. En consecuencia, se recomienda agregar una combinación de materiales para asegurar una buena distribución del tamaño de partícula (PSD)

Tabla 17.

Distribución de Partícula Según el Tamaño de Píldora A Base de Fibra Soluble.

	Fine	Medium	Coarse
Retained on 10 Mesh	0%	1%	46%
Retained on 20 Mesh	1%	46%	6%
Retained on 40 Mesh	58%	29%	13%
Retained on 80 Mesh	35%	18%	26%
Passing 80 Mesh	6%	6%	9%

Nota: en la tabla nos muestra la distribución de partícula según el tamaño del grano de la fibra de acuerdo a la malla y medida en Mesh. Tomado de: (Arshad, Jain, Pardawalla, & Gupta, 2014)

10.2.1Aplicaciones

Operaciones de perforación, revestimiento y cementación con pérdidas inferiores a 40 bbl / h
Formaciones micro fracturadas con anchos de fractura de menos de 1 mm Zonas débiles y formaciones agotadas

10.3Píldora Losseal

Se mezcla con cemento, fluidos espaciadores y lodos a base de agua, aceite y sintéticos. Combina una red entrelazada de fibras con material de sellado de varios tamaños, varía de 5 a 15 lbm / bbl

concentración de fibra dependiendo de SVF. Se dispersa fácilmente en fluidos, elimina equipos especiales y pruebas de laboratorio. (Almagro, Frates, Garand, & Meyer, 2014)

- Evita la invasión del fluido de perforación al yacimiento.
- Ofrece un tiempo de respuesta rápido para la preparación y mezcla.
- Reduce el tiempo improductivo durante la perforación.
- Acelera el tiempo para TD
- Mitiga el daño de la formación
- Elimina la necesidad de tratamientos correctivos.

10.3.1Aplicaciones

- Mitigar el riesgo de pérdidas de cemento y fluidos
- Curado de pérdidas sin colocar tapones de cemento
- Eliminando la necesidad de POOH bombeando a través de boquillas de brocas tan pequeñas como 1/16 pulg.
- Ayudando a recuperar la circulación rápidamente
- Lograr el TOC requerido Elimina las costosas y laboriosas operaciones de reparación

11. CONCLUSIONES

La píldora a base de fibra soluble demostró ser la mejor opción en cuanto a tiempo, y costos de producción evidenciando una ventaja frente a la píldora Losseal y de sello por alta filtración, sin embargo, para casos en que la fractura sobrepasa los 8 mm es mejor optar por el uso de la píldora de sello por alta filtración.

En este documento se presenta un nuevo tipo de material de pérdida de circulación expandible inteligente para reducir y prevenir la pérdida de fluidos y fortalecer el pozo. El LCM expandible inteligente se probó experimentalmente mediante un aparato de pérdida de fluido estático y dinámico para evaluar la eficiencia de sellado del LCM. Algunas de las conclusiones específicas pueden ser:

Las propiedades expansivas del LCM propuesto lo convierten en una solución eficaz para puentear y sellar fracturas, en yacimientos naturalmente fracturados.

De acuerdo con las pruebas de pérdida de fluido estático, el sello del LCM inteligente puede soportar una presión diferencial de hasta 5000 psi sin romperse.

El LCM inteligente depende en gran medida de la temperatura y, si no se activa, no evitará la pérdida de fluido.

Las píldoras a base de fibra soluble para los tratamientos de pérdida de circulación se han utilizado en numerosas operaciones en yacimientos con formaciones naturalmente fracturadas. Las ventajas más importantes de estas soluciones que encontramos de acuerdo con su información técnica, financiera y de riesgos, es su facilidad de uso. El tiempo que permite ahorrar al no tener que efectuarse una corrida de salida del pozo y el tiempo limitado necesario para que el tratamiento tenga el efecto pretendido.

Debido a la diversidad de fibras solubles los tratamientos de pérdida de circulación y la variedad de situaciones de pérdida siempre se debe trabajar caso por caso de acuerdo con las situaciones de formaciones y fracturas. Esta píldora ha demostrado mitigar eficientemente el daño de formación y pérdida de circulación.

Los desarrollos introducidos en las soluciones a problemas de pérdida de circulación tal como la tecnología a base de fibras solubles ofrecen tratamientos eficientes y resilientes y a la vez permiten ahorrar tiempo del equipo de perforación. Estos materiales pueden ser comparativamente rentables para los operadores si se usan como medida preventiva para reducir el tiempo no productivo total asociado con las medidas correctivas.

El control o tratamiento exitoso de la pérdida de circulación depende de varios factores, como como temperatura del pozo, presión, profundidad, litología y tamaño de la fractura.

Proporcionar los éxitos y los fracasos de los métodos en aplicaciones de las diferentes píldoras para perforar formaciones naturalmente fracturadas mediante la realización de un análisis comparativo y desarrollar pautas de prácticas que servirá como material de referencia para el control de pérdidas de circulación en el sitio del pozo para la perforación.

Se debe utilizar la mayor probabilidad de éxito del tratamiento para tratar las pérdidas de lodo. Incluso si no es el más económico para evitar la repetición de tratamientos lo que reduce el tiempo no productivo (NPT). El uso de un tratamiento de baja probabilidad de éxito puede no ser efectivo. Es posible que se requiera el uso de múltiples tratamientos, incluso si es más barato que otro tratamiento, pero el NPT será más alto lo que aumenta el costo.

La píldora a base de fibra soluble demostró ser la mejor opción en cuanto a tiempo, y costos de producción. Seguir en la búsqueda de soluciones de tratamientos mejorados y más confiables no ha terminado, las nuevas tecnologías prometen nuevos avances en las píldoras a base de fibra soluble.

BIBLIOGRAFÍA

- Alkinani, H. H., Al-Hameedi, A. T., Flori, R. E., Dunn-Norman, S., Hilgedick, S. A., & Alsaba, M. T. (22 de April de 2018). Updated Classification of Lost Circulation Treatments and Materials with an Integrated Analysis and their Applications. *SPE Western Regional Meeting, Garden Grove*(SPE-190118-MS), 1-10.
- Almagro, S. P., Frates, C., Garand, J., & Meyer, A. (Sep de 2014). Sealing Fractures: Advances in lost circulation control treatment. *Oilfield Review Autumn, no, 3*, 13.
- Arshad, U., Jain, B., Pardawalla, H., & Gupta, N. (May de 2014). Engineered Fiber-Based Loss Circulation Control Pills To Successfully Combat Severe Loss Circulation Challenges During Drilling and Casing Cementing. *SPE Latin America and Caribbean Petroleum Engineering Conference*. Obtenido de <https://doi.org/10.2118/169343-MS>
- Arunesh, K., Sharath, S., Dale, E., Jamison, L., Donald , L., & Whitfill, H. (Abril de 2011). Application of Fiber Laden Pill for Controlling Lost Circulation in Natural. *American Association of Drilling Engineers*(AADE-11-NTCE-19), 8.
- Baca Urbina, G. (2010). *evaluacion de proyectos 6ta edicion*. México DF: Mc Graw Hill Educación.
- Baggini, S., Frates, C., Garand, J., & Meyer, A. (2014). Sellado de fracturas: Avances en el control de las pérdidas de circulación. *Oilfieldn Review Otoño*, 4-13.
- Cazier, E. H. (10 de October de 1995). Petroleum Geology of the Cusiana Field, Llanos Basin Foothills, Colombia. *AAPG Bulletin*, 79, 1444-1463., 79, 1444-1462.
- Conexiónesan. (13 de noviembre de 2019). *Esan*. Obtenido de <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2019/11/riesgo-e-incertidumbre-financiera-como-realizar-una-medicion/>
- Cook, J., Growcock, F., Guo, Q., Hodder, M., & van Oort, E. (11 de 2011). Stabilizing the wellbore to prevent lost circulation. *Oilfield Review Winter, no. 4* , 35.
- Franco, R. S., Herrera, O., Pombo, R., Ruiz, C., Osorio, H., Gomez, J., . . . & Erthard, L. (07 de July de 2015). Integral Strategy for Drilling without Returns at Piedemonte Fields in Colombia. *SPE Latin American and Caribbean Health, Safety, Environment and Sustainability Conference*(SPE-174103-MS), 01-12.
- Garcia Tovar, D. H., & Jimenez Agudelo, C. M. (2016). Evaluación a nivel laboratorio del comportamiento de. Bogota: Fundación Universidad De América.

- Instituto Americano del Petróleo. (2001). *Manual de fluidos de perforación* (Vols. Rev.A-1). Dallas, Texas: Energy API.
- Last, N., Plumb, R., Harkness, R., Charlez, P., Alsen, J., & McLean, M. (22 de October de 1995). An Integrated Approach to Evaluating and Managing Wellbore Instability in the Cusiana Field, Colombia, South America. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*(SPE-30464-MS), 147-160.
- LP, C. P. (2014). Lost Circulation Guide. *Drilling Specialties Company*, 82.
- Miranda, J. J. (2005). *Gestión de proyectos, identificación, formulación y evaluación. Quinta edición*. Bogotá: MM editores.
- Nayberg, T. M., & Petty, B. R. (06 de April de 1986). Laboratory Study of Lost Circulation Materials for Use in Oil-Base Drilling Muds. *SPE Deep Drilling and Production Symposium*(SPE-14995-MS), 1-11.
- Rudas Tayo, L. (2017). *Modelo de gestion de riesgos para proyectos de desarrollo tecnologico*. Santiago de Queretaro.
- Salehi, S., & Nygaard, R. (08 de October de 2012). Numerical Modeling of Induced Fracture Propagation: A Novel Approach for Lost Circulation Materials (LCM) Design in Borehole Strengthening Applications of Deep Offshore Drilling. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*(SPE-135155-MS), 1-12.
- Sapag, C. N., & Sapag, C. R. (1989). *Preparación y Evaluación de Proyectos* (Segunda Edición ed.). (S. d. Interamericana de México, Ed.) México, D.F: McGRAW-HILL.
- Solutions, I. F. (2019). Reduced Losses Over 95% Compared to Conventional Lost Circulation Materials in Fractured Zones. *CASE HISTORY*.
- V, A. A., Diaz, L. O., Bermudez, R., Bedino, H. D., Carrillo, N. N., Vargas, C. D., . . . Martinez, I. R. (16 de april de 2012). Fiber Technology Simply and Effectively Cures Total Losses in Southern Mexico Without Knowing Size of Fractures. *SPE Latin America and Caribbean Petroleum Engineering Conference*(SPE-150844-MS), 1-9.