

ESTUDIO DE DAÑO DE FORMACIÓN POR PIPE DOPE

Alejandro Funes	alejandro.funes@tecpetrol.com /	Tecpetrol,
Fernando Figini	fernando.figini@tecpetrol.com /	Tecpetrol,
Tomás Castiñeiras	tcastineiras@tenaris.com /	Tenaris,
Fabían Benedetto	fbenedetto@tenaris.com /	Tenaris,
Esteban De Franceschi	edefranceschi@tenaris.com /	Tenaris

INTRODUCCIÓN

El Pipe Dope o grasa para roscas es aplicada en las uniones roscadas de tubing (tubería de producción), de casing (tubería de revestimiento) o en el drill pipe (barras de sondeo) para proveer lubricación y contribuir al sello de las uniones. Esta grasa puede contener una proporción elevada de sólidos orgánicos e inorgánicos.

Frecuentemente se ha mencionado que el exceso de Pipe Dope aplicado en las uniones puede ser exudado, acumulándose en las paredes del tubing, casing y eventualmente desplazarse y llegar al fondo del pozo; si el Pipe Dope entrara en contacto con los punzados, podría taponarlos y, en caso de ingresar a la formación productiva, ocasionar una reducción severa de la Porosidad y Permeabilidad de la roca reservorio con una correspondiente reducción de la productividad.

La finalidad del presente trabajo es verificar la posibilidad de que ocurran los fenómenos dañinos antes mencionados, teniendo como referencia las operaciones comunes que se desarrollan el campo, durante las Completaciones y Workovers, tomando como objeto de análisis un pozo característico con diámetros de casing de producción y tubing usuales. Asimismo, en caso de verificarse la ocurrencia de tales fenómenos, intentar la determinación de la magnitud del daño que pudiera ocasionar el ingreso de Pipe Dope en el reservorio.

OBJETIVOS

El presente trabajo tiene los siguientes objetivos:

1. Determinar si la grasa (Pipe Dope) utilizada para conexión de tuberías de producción puede ingresar en la formación productiva a través de los punzados durante las diferentes operaciones que se realizan en las Completaciones y Workovers o durante la inyección de agua en la Recuperación Secundaria.
2. De ser posible lo anterior, determinar la magnitud del daño que pudiera provocar el ingreso de Pipe Dope en el medio poroso.

PLANIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El estudio se planificó en dos Etapas, en la primera de ellas se formularon las hipótesis de trabajo y se procuró verificarlas en laboratorio; en la segunda etapa se realizaron experiencias de campo con el objetivo de validar los resultados obtenidos en la primera Etapa.

ETAPA I

FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

1. El Pipe Dope, que se coloca en las uniones de las roscas API EUE durante la maniobra del enrosque de las mismas, es exudado hacia el interior y exterior de las uniones.
2. El Pipe Dope exudado, forma suspensiones por agitación, con las salmueras usadas como fluidos de control de pozo o con el agua de inyección en la Recuperación Secundaria.
3. Las suspensiones de Pipe Dope pueden ingresar a la formación productiva ocasionando un daño.

Para probar las hipótesis antes enunciadas se planificaron los siguientes trabajos:

- A. Determinación y cuantificación en campo, del exudado que se pudiera producir en la operación de torqueado de la tubería de producción durante un Workover o una Completación.

- B. Análisis teórico práctico de Operaciones Típicas que se realizan en un Workover o en una Completación para determinar:
- B1. Concentración de Pipe Dope en las suspensiones que se pudieran formar con el agua del fluido de control o el agua de inyección.
 - B2. Determinación de las velocidades de circulación de los fluidos en las operaciones estudiadas, que pudieran favorecer la formación de suspensiones de Pipe Dope.
 - B3. Determinación de los volúmenes de fluido con Pipe Dope en suspensión, a inyectar en el laboratorio para medir el daño.
- C. Trabajos de Laboratorio

Estos trabajos se dividieron en tres etapas:

- C1. Factibilidad de generar suspensiones de Pipe Dope con tamaño de gota lo suficientemente pequeños para ingresar en el medio poroso y provocar un daño profundo.
- C2. Comparación de los datos obtenidos en la etapa anterior (generación de suspensiones, obtención de tamaños de gota determinados) con las distribuciones de tamaño de gargantas porales correspondientes a un reservorio en estudio (formación Comodoro Rivadavia, provincia del Chubut).
- C3. En caso de generar una suspensión adecuada, realizar ensayos de flujo sobre “plugs” (de diferentes Permeabilidades) con diferentes concentraciones de Pipe Dope en agua de inyección de Recuperación Secundaria, la que es usada frecuentemente como fluido de control de pozos en operaciones de Workover y Completaciones.

DESARROLLO

A. Determinación en campo del exudado de Pipe Dope

Se ha seleccionado para esta determinación un tubing (tubería de producción) 2 7/8” 6,5# EUE, la cual es de uso frecuente en las instalaciones de los pozos en la cuenca del Golfo San Jorge.

El principal resultado obtenido fue el siguiente:

En una operación de Workover o Completación, donde la tubería de producción usada es 2 7/8” 6.5# EUE, las roscas se engrasan no sólo para lubricarlas sino también por la función que cumple el Pipe Dope como sellante, en otras palabras sin Pipe Dope no hay sello en este tipo de rosca. Si bien los fabricantes de la tubería de producción aconsejan el engrasado con las cantidades mínimas compatibles con esta función, es inevitable que en una operación en campo se coloque un excedente de Pipe Dope, ya que sería muy difícil cuantificar y aplicar una cantidad teórica de grasa en cada pin de la tubería. Entonces la determinación tuvo como objetivo cuantificar el excedente de grasa en una operación standard de armado de una sarta de tubería de producción.



Foto 1. Pipe Dope exudada luego del enrosque de las uniones.

El excedente de Pipe Dope, en promedio para una tubería de 2 7/8" 6.5# EUE fue de 6,75 gramos / unión (expresado en volumen 6,21 cm³/unión).

B. Análisis teórico práctico de las Operaciones Típicas

B1. Concentraciones de Pipe Dope:

Se analizaron las diferentes operaciones que usualmente se realizan durante el desarrollo de un workover o una completación, tanto en un pozo inyector de Recuperación Secundaria como en un pozo Productor. El objetivo de este análisis fue determinar:

- ✓ Las maniobras que podrían provocar el exudado y desplazamiento de Pipe Dope hacia los reservorios productivos.
- ✓ Considerando que la única forma en que el Pipe Dope podría ingresar en una formación sería como una suspensión en un fluido, se calculó en forma teórica cuales podrían ser las máximas concentraciones de Pipe Dope en las suspensiones que se pudieran producir en cada uno de las maniobras mencionadas.

Los principales resultados obtenidos fueron:

1. En pozos inyectores de Recuperación Secundaria se identificó que, en una operación de acidificación, la concentración de Pipe Dope en las suspensiones que tendrían la posibilidad de ingresar en la formación durante la realización del primer tratamiento sería de **138 ppm**. Para determinar esta concentración se consideró:
 - a. Que el tratamiento tendría un volumen de 5.000 litros,
 - b. Que solamente un tercio de la grasa exudada hacia el exterior del tubing más la grasa exudada hacia el interior del tubing (10% del total del exudado), pasaría a la suspensión,
 - c. Y que el tratamiento (ácido Clorhídrico 7,5% y aditivos) inyectado tendría una densidad: 1,035 g/cm³.
2. En pozos productores se identificó la acidificación como una operación con posibilidad de generar suspensiones de Pipe Dope que pueden ingresar en la formación. La máxima concentración de Pipe Dope en las suspensiones generadas sería: **69 ppm**. (es la mitad de la concentración anterior ya que la tubería se baja en tiros dobles).

B2. Velocidad de circulación de los fluidos:

Se calcularon las velocidades de circulación de los fluidos en cada una de las operaciones tomadas como referencia (donde se pudieran generar suspensiones), con el objeto de verificar en el laboratorio: a) si estas suspensiones pudieran ser generadas y b) cual es la distribución estadística del tamaño de gota de Pipe Dope en suspensión.

Las velocidades de flujo calculadas fueron:

1. En el flujo por el anular casing – tubing durante la circulación del pozo: **1,534 m/seg.**
2. Flujo por tubing durante una estimulación ácida: **0,878 m/seg.**

B3. Cálculo del Volumen de Suspensión a inyectar en cada Ensayo:

Para este cálculo se consideraron los siguientes parámetros de referencia:

- 1.- Volumen de tratamiento (en la acidificación de una capa): 5.000 litros
- 2.- Sección punzada de una capa: 4 metros
- 3.- Densidad de disparos (6 spf): 20 tiros por metro
- 4.- Casing: 5,5" 17 Libras/pie (drift: 4,767")
- 5.- Características del orificio del punzado:
Diámetro: 0,50"

Penetración: 30”

6.- Porosidad de la roca: 20%

7.- Dimensiones del Testigo:

Diámetro: 1,5”

Largo: 3,4”

El Volumen de la Suspensión a inyectar en cada ensayo es aproximadamente: 4 dm^3 .

C. Trabajos de Laboratorio

C1. Factibilidad de generar suspensiones de Pipe Dope:

Se generaron suspensiones de Pipe Dope en agua de producción tratada, la que una vez obtenidas se filtraron a través de una malla metálica de 25 micrones (para evitar las partículas mayores a dicho tamaño de filtro que podrían generar tan solo un daño superficial en la formación), obteniéndose un “filtrado” turbio.

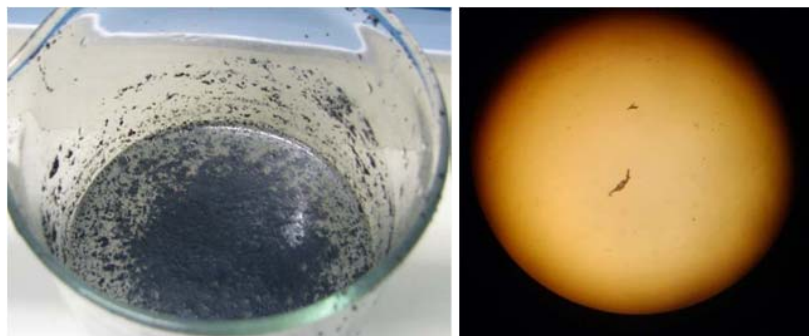


Foto 2. Izquierda: imagen de las partículas de Pipe Dope en suspensión en el agua de inyección. Derecha: Partícula de pipe dope vista con microscopio.

Los “filtrados” obtenidos se caracterizaron mediante el método “Coulter Counter” obteniéndose las siguientes distribuciones de tamaños de partículas:

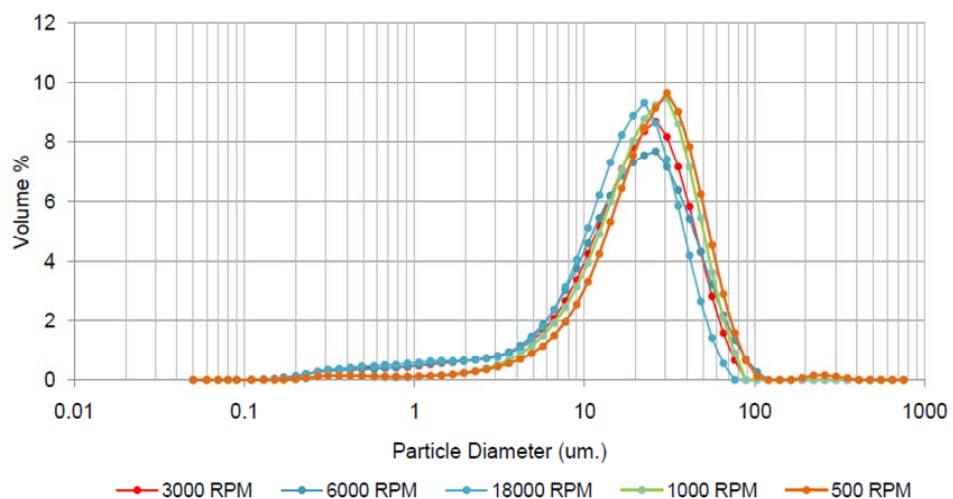


Gráfico 1. Comparación de las distribuciones de tamaño de partículas de los filtrados obtenidos de las cinco suspensiones generadas a distintas velocidades.

Como se puede observar, las distribuciones de tamaño de partículas de los filtrados son similares entre sí, lo que en principio indica que dicha distribución de partículas es independiente de la velocidad de generación de las suspensiones. Las velocidades (tangenciales) utilizadas en la

generación de las suspensiones, son del orden de las correspondientes a los caudales utilizados en el pozo.

- C2. Comparación de los datos obtenidos en la generación de suspensiones, con las distribuciones de tamaño de gargantas porales de testigos correspondientes al reservorio en estudio (formación Comodoro Rivadavia, provincia del Chubut):

Las distribuciones de tamaño de partículas, por el método de “Coulter Counter” se superpusieron a tres distribuciones de tamaño de gargantas porales de testigos de la formación Comodoro Rivadavia.

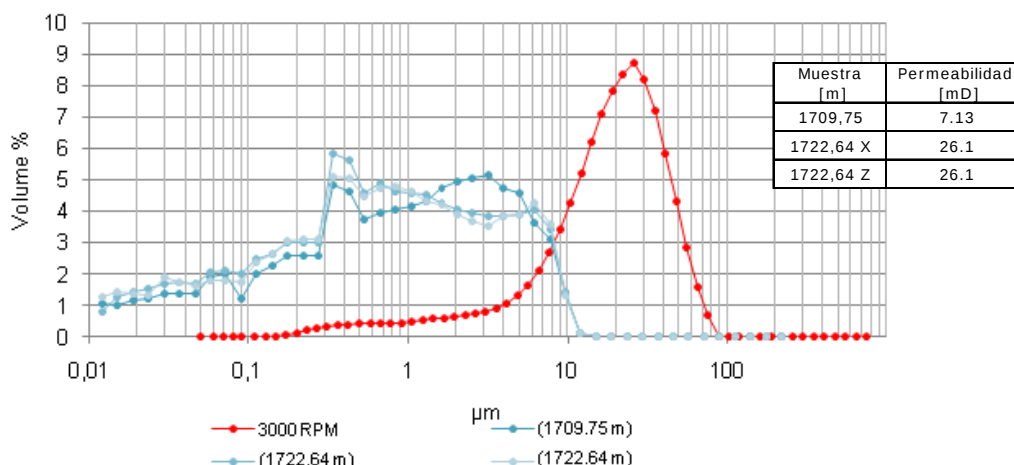


Gráfico 2. Distribuciones de tamaño de partículas del “filtrado” y de garganta poral.

En las distribuciones de la figura anterior, existe una superposición entre las distribuciones de tamaño de garganta poral y de distribución de partículas de las suspensiones generadas por agitación. Teniendo en cuenta la superposición de las distribuciones, existe la posibilidad que partículas menores a 10 micrones ingresen al medio poroso y provoquen daño dentro del mismo. Por otro lado, para rocas de mayor permeabilidad la zona de superposición, será mayor y por tanto la posibilidad de daño profundo también.

- C3. Ensayos de flujo sobre “plugs” con diferentes concentraciones de Pipe Dope en agua de producción tratada:

Los testigos “plugs” usados tuvieron las siguientes permeabilidades: 40 mD, 80 mD y 200 mD.

Los ensayos se realizaron en celda triaxial a presión de confinamiento (Net Over-burden Pressure) y temperatura de reservorio (100°C), a un caudal constante de 10 ml/min.

Se midió la presión de entrada y la presión en la mitad de la longitud del testigo (a 25 mm de la cara de entrada), registrándose los valores en forma automática.

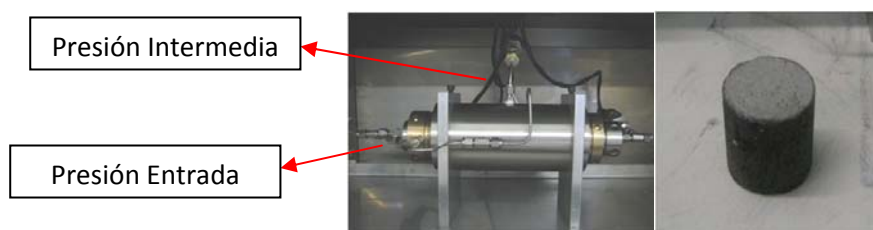


Foto 3. Celda triaxial donde se realizaron los barridos y foto del testigo.

Se establecieron dos condiciones para finalizar el ensayo, cualquiera de las dos que se alcanzara primero se daría por finalizado el ensayo:

1. Alcanzar una presión de entrada de 2500 psi: se estimó que esta sería la máxima presión que podría alcanzarse enfrente de los punzados, en una operación estándar de estimulación.
2. Fluir un máximo de 4 litros de agua con grasa en suspensión.

Resultados:

En la siguiente figura (ensayos para dos concentraciones de pipe dope y tres “plugs” de permeabilidades diferentes), donde se han graficado las Presiones de Entrada en función de la raíz cuadrada del Tiempo, puede observarse que:

- Las presiones crecen en forma casi exponencial con el incremento del volumen inyectado de agua con pipe dope en suspensión;
- A igual permeabilidad, el tiempo de “taponamiento” disminuye cuanto mayor es la concentración de pipe dope,
- A igual concentración de pipe dope, el tiempo de “taponamiento” aumenta cuanto mayor es la permeabilidad.

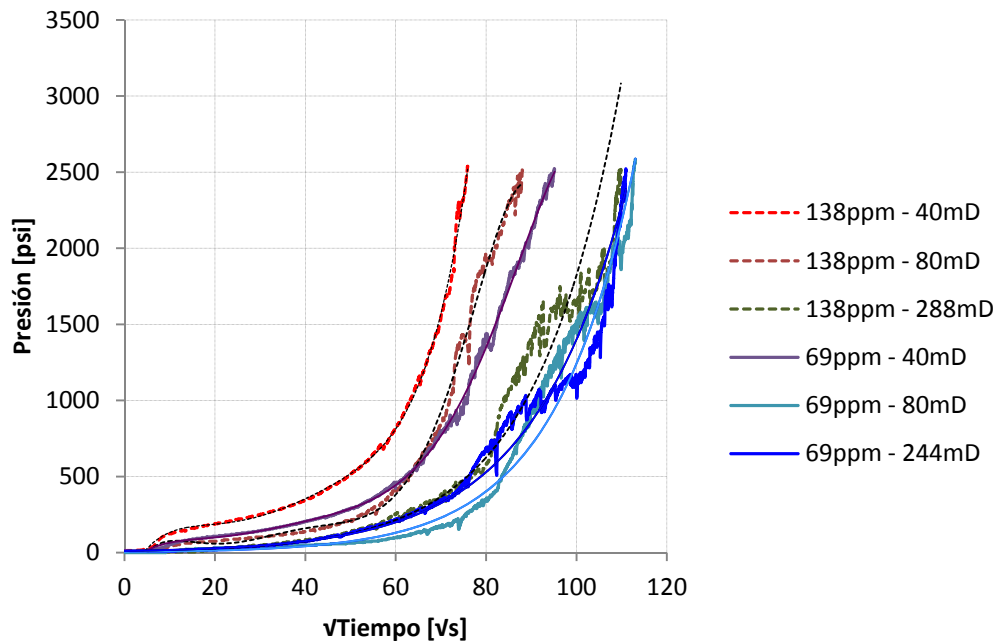


Gráfico 3. Presiones de Entrada en función de la raíz cuadrada del Tiempo.

Además de medirse las Presiones a la Entrada del plug, se midieron las Presiones Intermedias (a 25 mm de la Entrada).

A continuación se ven los gráficos de ambas presiones, la Presión de Entrada y la Presión Intermedia, con líneas de tendencia, en función de las Concentraciones de Pipe Dope y Permeabilidades:

1.- Concentración **138 ppm**

1.1.- Baja Permeabilidad: **40 mD**

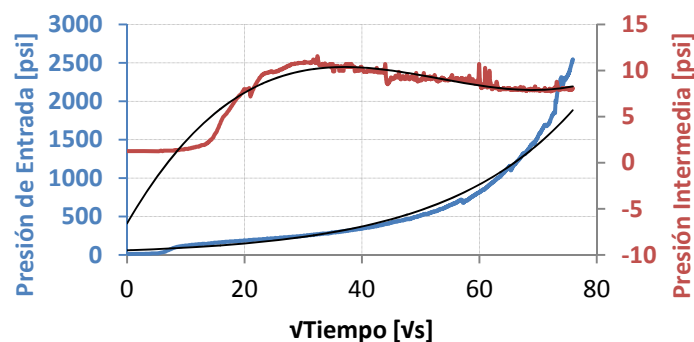


Gráfico 4. Presión de entrada e intermedia medida sobre plug de 40 mD y concentración de Pipe Dope de 138 ppm.

1.2.- Permeabilidad Media: 80 mD

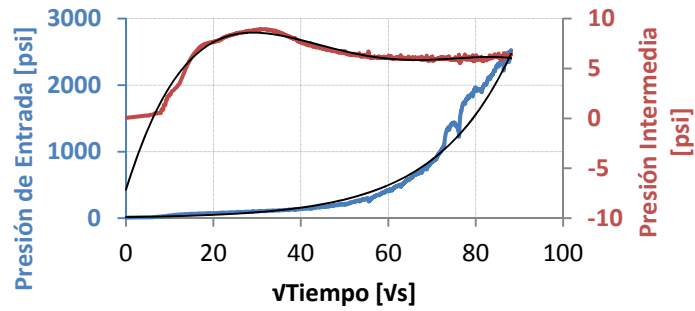


Gráfico 5. Presión de entrada e intermedia medida sobre plug de 80 mD y concentración de Pipe Dope de 138 ppm.

1.3.- Permeabilidad Alta: 288 mD

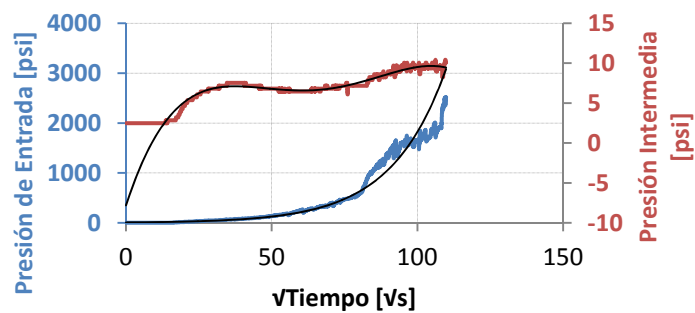


Gráfico 6. Presión de entrada e intermedia medida sobre plug de 288 mD y concentración de Pipe Dope de 138 ppm.

Puede observarse que para esta concentración de Pipe Dope en testigos de Permeabilidades Baja y Media, las Presiones Intermedias tienen una tendencia a la estabilización, cuando la Permeabilidad del testigo (plug) es Alta, la tendencia a la estabilización no es clara.

2.- Concentración 69 ppm

2.1.- Baja Permeabilidad: 40 mD

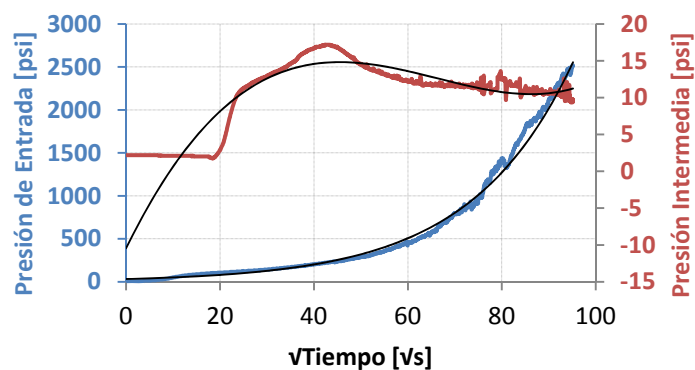


Gráfico 7. Presión de entrada e intermedia medida sobre plug de 40 mD y concentración de Pipe Dope de 69 ppm.

2.2.- Permeabilidad Media: 80 mD

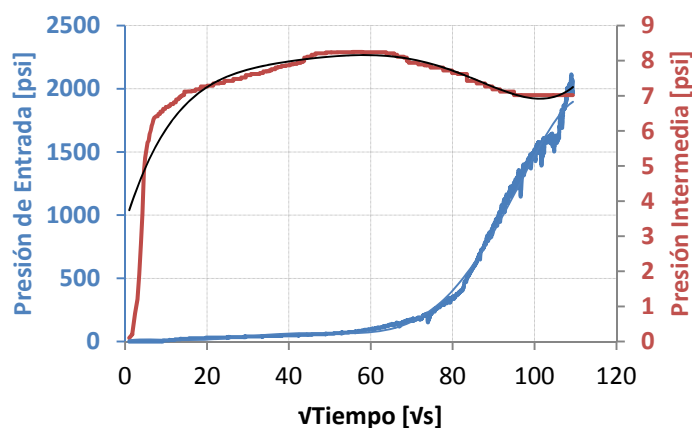


Gráfico 8. Presión de entrada e intermedia medida sobre plug de 80 mD y concentración de Pipe Dope de 69 ppm.

2.3.- Permeabilidad Alta: 244 mD

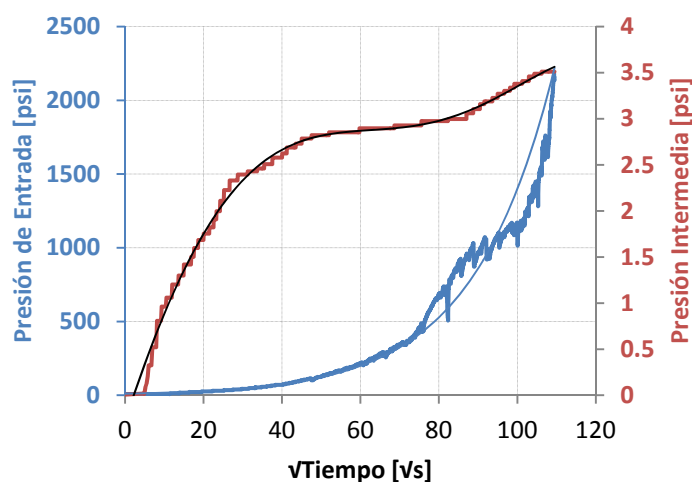


Gráfico 9. Presión de entrada e intermedia medida sobre plug de 244 mD y concentración de Pipe Dope de 69 ppm.

Al igual que en los ensayos realizados anteriormente con concentración de 138 ppm, las Presiones Intermedias muestran una tendencia a estabilizarse en plugs de Baja y Media Permeabilidad y en el plug de Alta Permeabilidad la tendencia es creciente.

CONCLUSIONES DE LA ETAPA I

En relación con las hipótesis usadas para la Planificación inicial podemos ver que cada una de ellas fue verificada.

- 1.- Durante el torqueado de una tubería de producción (tubing) se produce un exudado de Pipe Dope hacia el exterior e interior de la tubería, el que en determinadas condiciones tiene una posibilidad de caer al fondo del pozo.

El exudado de Pipe Dope colectado en sucesivas maniobras de una operación de Workover estándar en el campo, fue medido estableciéndose una proporción aproximada entre el residuo de grasa externo e interno.

Del análisis de las diferentes maniobras y operaciones usuales, se pudieron establecer en forma teórica las concentraciones de Pipe Dope en agua de inyección que pueden tener las suspensiones que potencialmente se formarían en las mencionadas maniobras.

- 2.- Con las muestras del Pipe Dope y del fluido de intervención (agua de producción tratada) usados en campo, en el laboratorio se obtuvieron suspensiones de Pipe Dope con tamaños de partícula compatibles con los tamaños de garganta poral media de la formación Comodoro Rivadavia, es decir que en las diferentes maniobras realizadas en un Workover o una Completación es posible la formación de suspensiones de Pipe Dope en agua.
- 3.- Puesto que fuera probado que usualmente se produce un exudado de Pipe Dope durante el torqueado de las uniones de una sarta de tubing y que este exudado puede llegar hasta los punzados en forma de una suspensión con una concentración variable de Pipe Dope; en ensayos de fluencia de estas suspensiones a través de testigos (plugs) de diferente Permeabilidad se probó que:
 - 3.1.- En todos los casos, en la cara de ingreso de la roca testigo, se forma un revoque que obtura el ingreso a la roca, ocasionando un daño superficial. **La reducción de la Permeabilidad en casi todos los ensayos fue superior al 99%.**
 - 3.2.- El daño producido en el interior del testigo (indicador: Presión Intermedia) es menor que en la cara de ingreso al testigo, aun así este daño se produce, siendo creciente la magnitud del mismo cuando las formaciones tienen una alta Permeabilidad.

Este daño “profundo” si llegara a producirse, sería de muy difícil remoción, teniendo en cuenta las características del Pipe Dope.

ETAPA II

En esta Etapa se procuró, por medio de experiencias en el Campo, verificar las Hipótesis de trabajo anteriormente formuladas y probadas en Laboratorio.

1. Posibilidad de formación de suspensiones en un pozo por circulación de los fluidos de Terminación o Workover al caudal usualmente alcanzado en la circulación de un pozo.

En la etapa inicial de la Terminación de un pozo se realizó un ensayo, circulando el pozo con una sarta de tubing 2 7/8” 6.5# N-80 EUE (3057 m) armada para efectuar la operación de limpieza.

Se circuló 1,69 veces la capacidad del pozo (tubing + anular) con un caudal constante de 200 gal/min.

Se recuperaron 13 muestras en forma continua del Fluido de Terminación (agua de producción tratada) a la salida del anular.

Se determinaron:

- a. La presencia de suspensiones de Pipe Dope en las muestras.



Foto 4. Muestras de agua de inyección con pipe dope.

- b. Las concentraciones de Pipe Dope en cada una de las muestras recuperadas: para esto se aplicó un procedimiento en el laboratorio para eliminar la presencia de sólidos inorgánicos presentes en el pozo (arena, restos de cemento, arcillas, etc.).

Se obtuvieron los siguientes resultados:

DATOS:

- 1.- Total Bombeado: 363 bbl (57717 litros)
- 2.- Toma de muestras: se realizó en los últimos 343 bbls bombeados
- 3.- N° de circuitos (csg-tbg) bombeados: 1,69
- 4.- Volumen del Circuito: tbg + anular tbg-csg: 34063 litros

N° Muestra	Tiempo [minutos]		Volumen [barriles]		Volumen [litros]		Tramo muestreado [metros]		Tramo muestreado [metros]		%	PPM
	Parcial	Acum.	Parcial	Acum.	Parcial	Acum.	desde	hasta	desde	hasta		
0	3	3	20,0	20,0	3180,0	3180,0	0,0	396,0	Casing		9,3	0
1	6	9	26,0	46,0	4134,0	7314,0	396,0	898,0			21,5	77,5
2	8	17	31,8	77,8	5056,2	12370,2	898,0	1513,0			36,3	112
3	5	22	21,1	98,9	3354,9	15725,1	1513,0	1920,0			46,2	122
4	6	28	29,2	128,1	4642,8	20367,9	1920,0	2495,0			59,8	179
5	4	32	19,7	147,8	3132,3	23500,2	2495,0	2889,0			69,0	157
6	7	39	28,6	176,4	4547,4	28047,6	2889,0	3057,0	3057,0	1991,0	82,3	50,4
7	5	44	27,6	204,0	4388,4	32436,0			1991,0	539,0	95,2	44,8
8	5	49	22,8	226,8	3625,2	36061,2	0,0	251,0	539,0	0,0	105,9	42
9	6	55	28,2	255,0	4483,8	40545,0	252,0	797,0	Casing		119,0	26,2
10	7	62	29,5	284,5	4690,5	45235,5	798,0	1367,0			132,8	29
11	3	65	18,3	302,8	2909,7	48145,2	1368,0	1721,0			141,3	13,1
12	6	71	27,9	330,7	4436,1	52581,3	1722,0	2262,0			154,4	19,6
13	8	79	32,3	363,0	5135,7	57717,0	2263,0	2909,0			169,4	22,4

Tabla 1. Muestras de agua de inyección con Pipe Dope. Concentraciones.

En la columna de la derecha puede observarse la concentración (en ppm) de Pipe Dope en el Fluido de Terminación circulado.

La relación entre las muestras obtenidas y el tramo barrido del pozo puede verse en el siguiente gráfico:

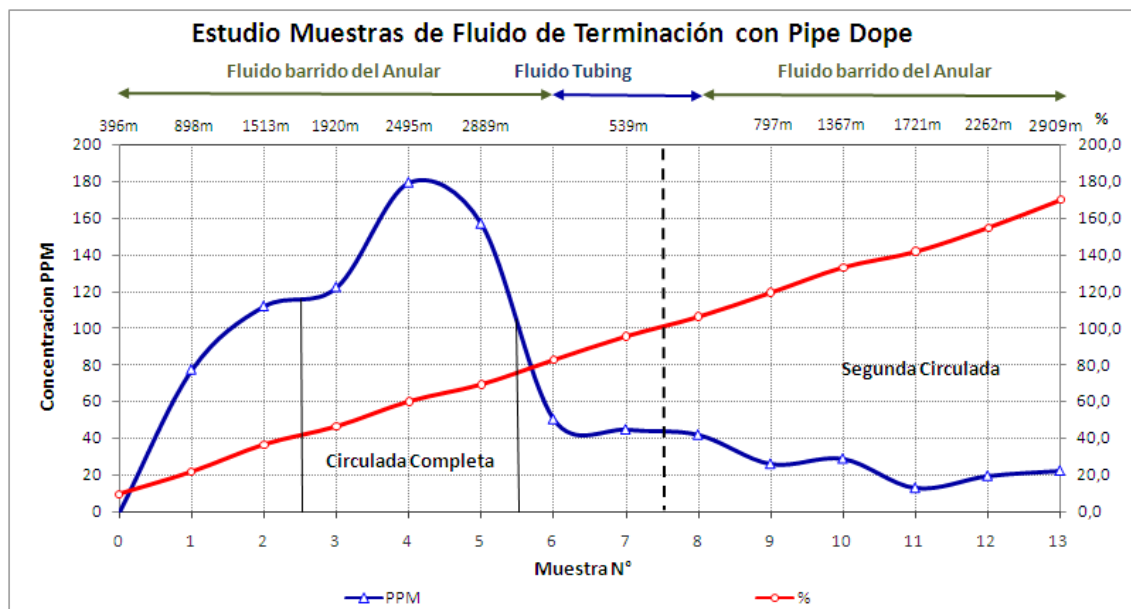


Gráfico 10. Distribución de las concentraciones de Pipe Dope de las distintas muestras.

Se puede observar que:

- a) Las concentraciones más altas de Pipe Dope en suspensión se encuentran en las muestras de campo 3, 4 y 5.

- b) Estas concentraciones son del mismo orden que las halladas teóricamente y que fueran utilizadas para la realización de los ensayos de flujo en la Etapa I.
2. A partir de las muestras extraídas en el ensayo de campo, se determinó la distribución estadística de los tamaños de partículas de Dope en las suspensiones formadas.

Para realizar esta determinación, se mezclaron alícuotas de las muestras determinándose una concentración promedio ponderado para cada una de las tres Mezclas obtenidas:

- Mezcla I (de alícuotas de los bidones de muestra 1 y 2).

Concentración Promedio Ponderado: **96 ppm**

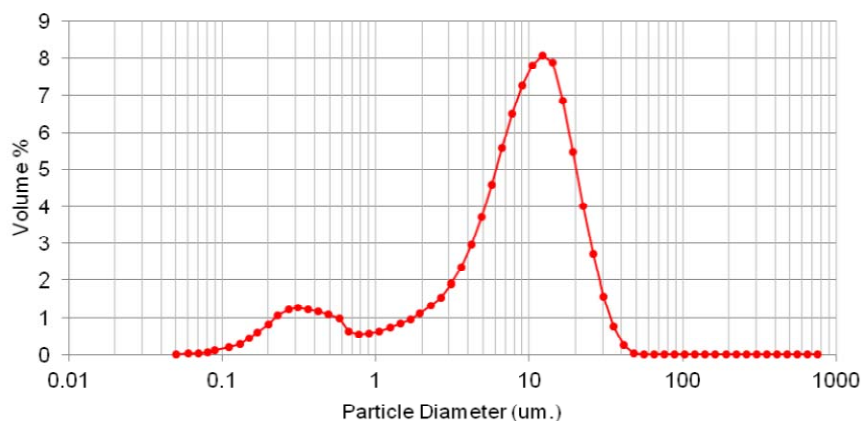


Gráfico 11. Distribución del tamaño de las partículas de pipe dope para una concentración de 96ppm.

- Mezcla II (de las alícuotas de los bidones de muestra 3, 4 y 5).

Concentración Promedio Ponderado: **156 ppm**

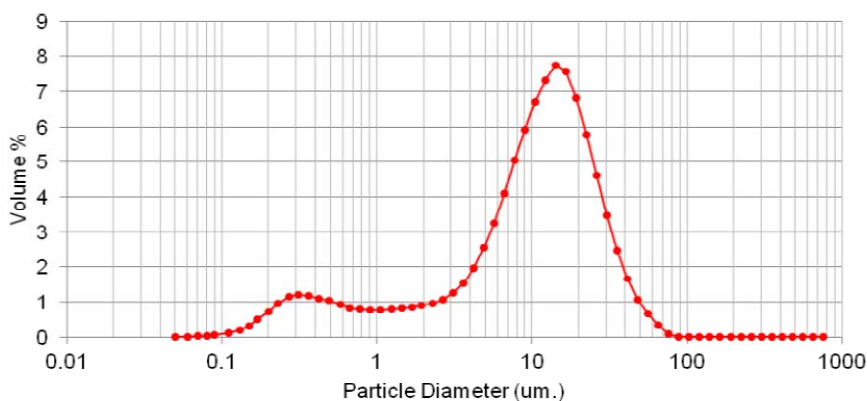


Gráfico 12. Distribución del tamaño de las partículas de pipe dope para una concentración de 156ppm.

- Mezcla III (de las alícuotas de los bidones de muestra 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13).

Concentración Promedio Ponderado: **31 ppm**

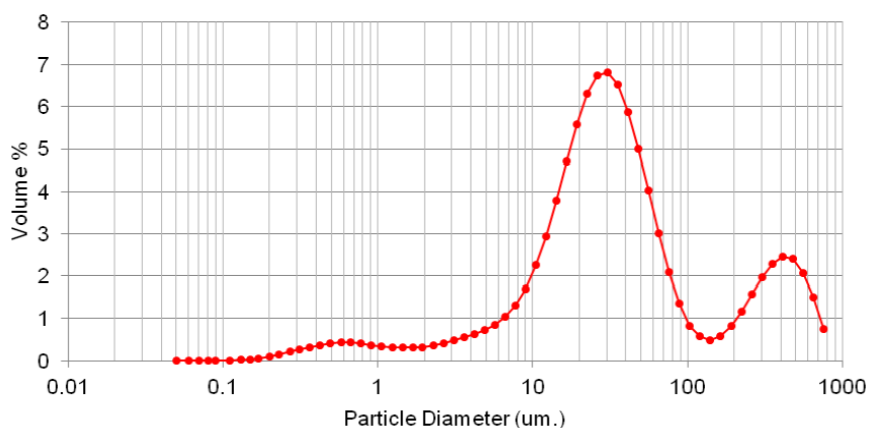


Gráfico 13. Distribución del tamaño de las partículas de pipe dope para una concentración de 31ppm.

El estudio del tamaño de partículas de Dope realizado sobre cada uno de los grupos en que se combinaron las muestras, presentan una distribución similar a las dispersiones que se generaran en laboratorio (Etapa I).

Mientras que las Mezclas I y II presentaron una moda de 12/13 µm, la Mezcla III presentó tamaños de partícula mayores, con una moda de 30 µm y 400 µm.

3. Comparación de los tamaños de partículas Dope con las gargantas porales de la roca reservorio Comodoro Rivadavia.

Tal como se hiciera en la Etapa I, se compararon las distribuciones de tamaños de partícula Dope (en este caso en suspensiones generadas por circulación en un pozo), con la distribución de tamaños de gargantas porales de testigos obtenidos de la formación Comodoro Rivadavia, esta comparación dio los siguientes resultados:

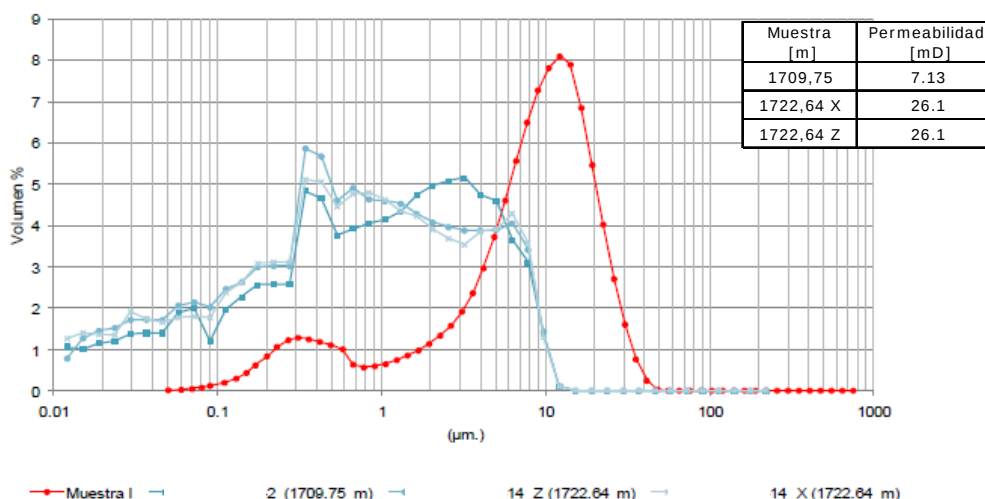


Gráfico 14. Comparación de las distribuciones del tamaño de las gargantas porales contra el tamaño de las partículas de pipe dope para una concentración de 96ppm (Mezcla I).

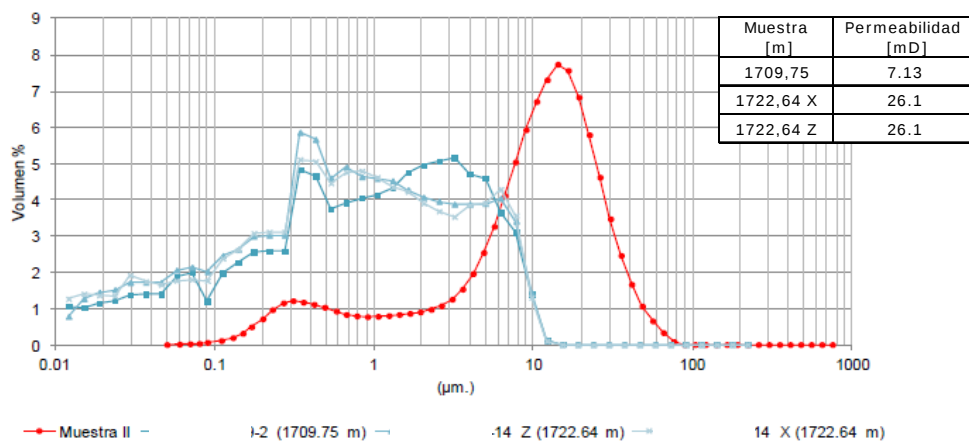


Gráfico 15. Comparación de las distribuciones del tamaño de las gargantas porales contra el tamaño de las partículas de pipe dope para una concentración de 156ppm (Mezcla II).

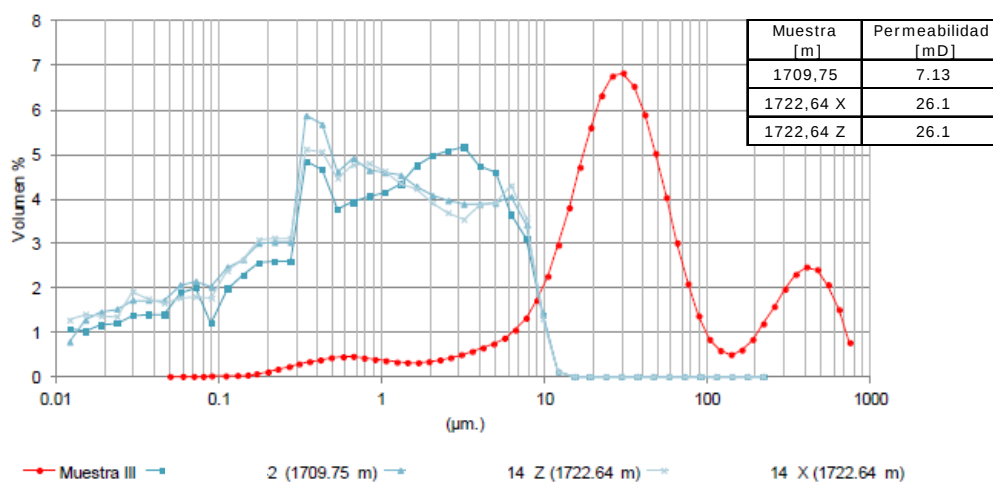


Gráfico 16. Comparación de las distribuciones del tamaño de las gargantas porales contra el tamaño de las partículas de pipe dope para una concentración de 31ppm (Mezcla III).

Se observa la superposición parcial entre las distribuciones de tamaño de garganta poral de la roca reservorio y la correspondiente a los tamaños de partículas de las muestras tomadas durante el ensayo de pozo. Puesto que existe tal superposición, es posible que partículas menores a $10 \mu\text{m}$ ingresen en el medio poroso y provoquen un daño profundo. Por otra parte en rocas de mayor Permeabilidad la zona de superposición será mayor, incrementándose la posibilidad de daño profundo; además debemos tener en cuenta que en el presente estudio, el tratamiento que se da a las partículas de Dope es semejante al de partículas sólidas, cuando en realidad son partículas líquidas de elevada viscosidad y con la posibilidad de pasar (deformándose) a través de orificios más pequeños que el tamaño medio de partícula.

4. Ensayos de flujo.

Los ensayos se realizaron en celda triaxial @ NOBP (presión neta de confinamiento) y temperatura de reservorio (100°C). Estos se realizaron con una presión de inyección constante de 1.500 psi.

En cada caso se utilizó para efectuar el barrido del testigo la Mezcla II, cuya concentración promedio de Pipe Dope es **156 ppm**. Además se efectuó una comparación entre los resultados obtenidos por el barrido a presión constante (1.500 psi) con las curvas obtenidas en la Etapa I, cuando el barrido de cada uno de los testigos se efectuó a caudal constante utilizando una suspensión de **138 ppm** generada artificialmente en laboratorio.

A continuación se presentan los resultados de los ensayos de barrido. El caudal inicial corresponde en cada ensayo al caudal producido por inyección del agua de 10.000 ppm de NaCl (filtrada por 0,22 micrones).

1. Ensayos realizados en Testigos de Permeabilidad: 40 mD

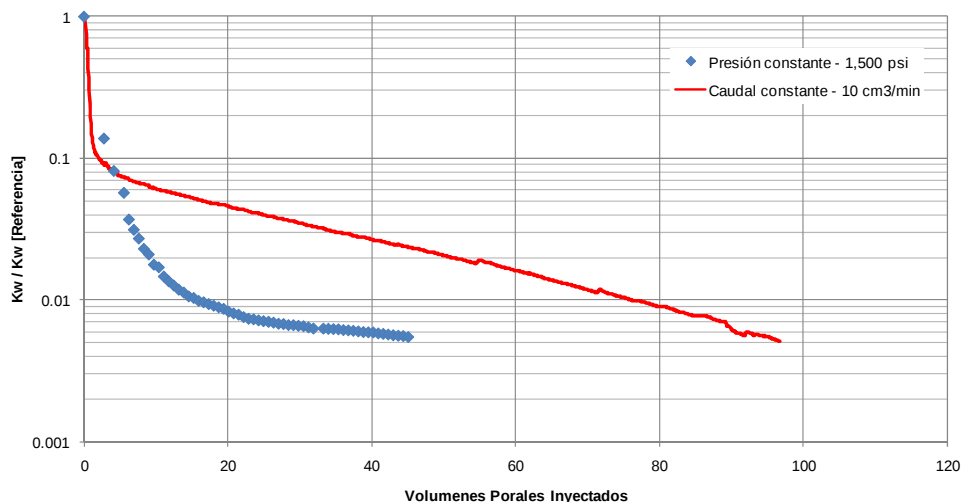


Gráfico 17. Comparación de la disminución de la permeabilidad en función de los volúmenes porales inyectados para un testigo de 40 mD en distintas condiciones de ensayo (Azul: Presión constante y Rojo: Caudal constante).

2. Ensayos realizados en Testigos de Permeabilidad: 80 mD

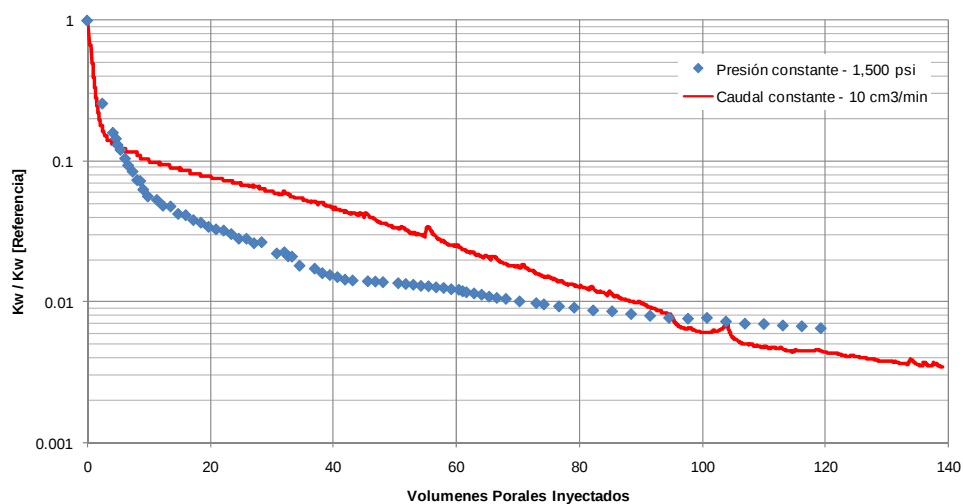


Gráfico 18. Comparación de la disminución de la permeabilidad en función de los volúmenes porales inyectados para un testigo de 80 mD en distintas condiciones de ensayo (Azul: Presión constante y Rojo: Caudal constante).

3. Ensayos realizados en Testigos de Permeabilidad: 240 mD

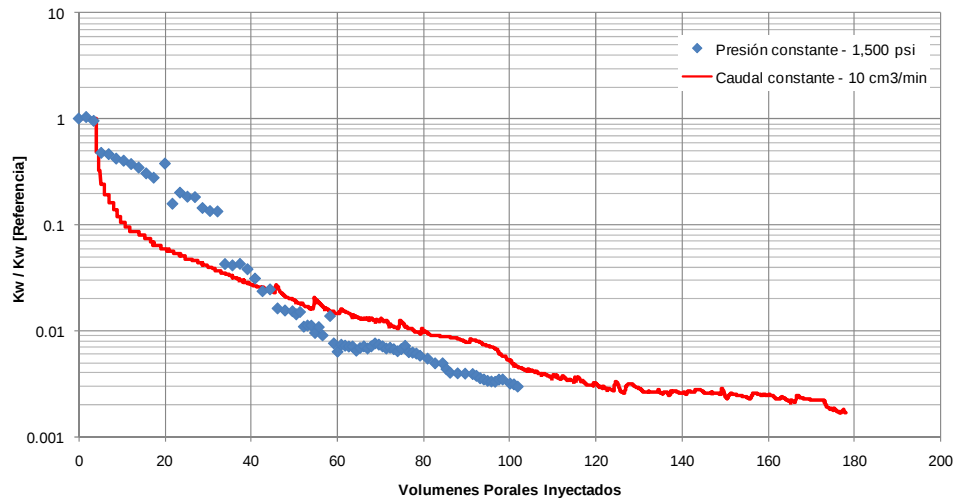


Gráfico 19. Comparación de la disminución de la permeabilidad en función de los volúmenes porales inyectados para un testigo de 240 mD en distintas condiciones de ensayo (Azul: Presión constante y Rojo: Caudal constante).

CONCLUSIONES DE LA ETAPA II

En esta Etapa se procuró validar, las experiencias de laboratorio (Etapa I) mediante ensayos en campo.

1. Cuando se circula un pozo con un Fluido de Terminación, sea este una salmuera preparada para este fin o un agua de producción tratada, se forman suspensiones con el Pipe Dope (grasa de roscas) usada en el tubing API EUE para proveer lubricación y estanqueidad a la rosca.
2. Estas suspensiones de Pipe Dope en Fluido de Terminación son estables y no se rompen con facilidad.
3. El Pipe Dope adherido a las paredes de casing y tubing, no se remueve fácilmente por circulación. Luego de circular un pozo 1,69 veces el volumen total (casing + tubing) a un caudal constante de 200 gal/min, aun se incorporaba Pipe Dope al Fluido de Terminación formando suspensiones con una concentración aproximada a las 20ppm.

El Fluido de Terminación contaminado con las suspensiones luego de circular el pozo debería ser filtrado o desechado para evitar que dañe las formaciones productivas en operaciones posteriores.

4. El tamaño de partícula de Pipe Dope en suspensión es compatible con los tamaños de las gargantas porales de la formación Comodoro Rivadavia. Esta Compatibilidad es mayor cuando se trata de las partículas generadas en la primera parte de la circulación (muestras de campo 1 a 5), entonces estas suspensiones tendrán mayor posibilidad de ingresar al medio poroso y en consecuencia provocar un daño profundo; aunque no se debe descartar la posibilidad de que las partículas mayores observadas en las restantes muestras también puedan dañar ya que, siendo partículas líquidas de elevada viscosidad, tienen la capacidad de deformarse e ingresar al medio poroso. Esta puede ser la explicación, en los ensayos llevados a cabo en el Etapa I (caudal constante, presión de ingreso creciente) de las irregularidades observadas en el incremento de la presión de ingreso al medio poroso.

5. Los ensayos de barrido realizados a presión constante indican una caída importante de caudal al inicio de la circulación, con lo cual se redujo la permeabilidad de las muestras ensayadas, como se muestra en la siguiente tabla.

Muestra	Caudal Inicial (cm ³ /s)	Reducción de permeabilidad		
		1 min	5 min	10 min
240 mD	17.0	-81.8%	-97.6%	-98.6%
80 mD	5.0	-56.9%	-94.4%	-95.9%
40 mD	4.0	-86.2%	-96.3%	-97.7%

Tabla 2. Reducción de permeabilidad en ensayos de barrido a presión constante (1.500 psi)

6. En cuanto a la analogía realizada entre los resultados de barridos a presión constante con respecto a los barridos realizados a caudal constante, se pudo observar la misma tendencia en cuanto a la disminución de permeabilidad en función de los volúmenes porales inyectados.
7. En el caso de las inyecciones efectuadas a presión constante se pudo llegar a valores de caudal en una de las muestras ($q = 17 \text{ cm}^3/\text{seg}$), mucho mayores a los empleados en los barridos a caudal constante ($q = 0.17 \text{ cm}^3/\text{seg} = 10 \text{ ml/min}$).

En resumen, el Pipe Dope puede formar suspensiones con el Fluido de terminación, estas son estables y no se eliminarían con facilidad del sistema. Las suspensiones así formadas ocasionarán en determinadas condiciones un daño superficial en las formaciones estudiadas, además tienen la posibilidad de ingresar a las mismas provocando un daño profundo y de difícil remoción.