

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO DE LOS EFECTOS DEL REVOQUE EN LA TRANSMISIÓN DE FLUIDOS A TRAVÉS DE EMPAQUES DE GRAVA

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de
Venezuela para optar al Título
de Ingeniero de Petróleo
Por los Brs: Carvajal Meneses, Arturo
Rossetti Ruiz, Claudio Enrique

Caracas, octubre de 2002

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO DE LOS EFECTOS DEL REVOQUE EN LA TRANSMISIÓN DE FLUIDOS A TRAVÉS DE EMPAQUES DE GRAVA

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Griselda Zorrilla de Mora.

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. José Gregorio Tovar.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de
Venezuela para optar al Título
de Ingeniero de Petróleo
Por los Brs: Carvajal Meneses, Arturo
Rossetti Ruiz, Claudio Enrique

Caracas, octubre de 2002

- ✓ A Dios por brindarnos salud y fuerza todos los días.
- ✓ A nuestras familias por darnos todo el apoyo que necesitamos.
- ✓ A nuestros amigos por estar siempre presentes.

Las siguientes personas nombradas representan mas que simples ayudas en nuestro trabajo, por tanto, les hacemos llegar nuestro mas profundo agradecimiento.

Profesora Griselda, Al jihaaa (Jorge), Perro malo, Niño, Topo, Loro, Goldo, Ramón, Mala vida, Q-lon, Cotorro, José Gregorio, Work Shop, Francisco Ramírez, Sandra, Cestari, Patricia, Omar, Cansing, Shevchenko, Ondina, Cachorro, Maritza, Suguey, Doctor, Rigo, Bolirrata, Cabeza, Reo, Cuqui, Revete, **Delirio**, Chango, Massimo Chivo, Pahdre... y todos los demás que no nombramos por que ya no podemos mas.

Como dice el mono:

Gracias muchachos...

Carvajal M, Arturo.
Rossetti R. Claudio E.

ESTUDIO DE LOS EFECTOS DEL REVOQUE EN LA TRANSMISIÓN DE FLUIDOS A TRAVÉS DE EMPAQUES CON GRAVA.

**Tutor Académico: Prof. Griselda Zorrilla de Mora. Tutor Industrial: Ing.
José Gregorio Tovar. Tesis. Caracas, UCV. Facultad de Ingeniería.
Escuela de Ingeniería de Petróleo. Año 2002. 173 páginas**

Palabras Claves: Revoque, Empaques con Grava, Permeabilidad

Resumen. En este Trabajo Especial de Grado se efectuó un estudio exhaustivo de los efectos del revoque como agente reductor de la permeabilidad al momento de producir un pozo altamente inclinado completado a hoyo desnudo y con empaque de grava. El sistema de lodo piloto empleado fue el FLO-PRO, el cual es un lodo polimérico base agua. Posteriormente se determinó la eficiencia del hipoclorito, ácido clorhídrico, ultra cake breaker y el terpeno como agentes limpiadores del revoque.

Las pruebas efectuadas se repitieron para otros sistemas comerciales.

De igual forma se determinó un rango de presiones de desprendimiento del revoque en el sistema piloto.

Mediante las pruebas realizadas se determinó que el rango de presiones de desprendimiento del revoque para ese tipo de hoyos se alcanza cuando se aplica un diferencial de presión comprendido de 60 a 70 lpc en el sistema piloto. La caída de permeabilidad que produce el revoque en el sistema base es de 28% y limpiador óptimo es el hipoclorito el cual redujo la caída de permeabilidad a sólo un 5%.

El fluido más apropiado para perforar este tipo de hoyos es el lodo salino proporcionado por la compañía Samán en el cual el revoque fue de 21% y al aplicar hipoclorito se reduce a un 2%

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS	II
RESUMEN	III
INDICE GENERAL	IV
LISTA DE FIGURAS	XIII
LISTA DE TABLAS	XVIII
INTRODUCCIÓN	1
MARCO TEÓRICO	
1.1 Fluidos de Perforación	9
1.1.1 Fluidos Viscoelásticos	10
1.1.2 Polímeros	11
1.2 Empaque con Grava	13
1.2.1 Procedimiento para realizar un Empaque de Grava	14
1.2.2 Empaques de Grava en Pozos Altamente Inclinados	15
1.2.3 Selección del Tamaño de la Grava	22
1.2.3.1 Método de Saucier	22
1.2.4 Tipos de empaques con grava	24
1.2.5 Productividad de los Empaques de Grava	25
1.3 Pozos Verticales, Horizontales y Desviados	25
1.3.1 Radio-largo	26
1.3.2 Radio-medio	27
1.3.3 Radio-corto	27
1.4 Permeabilidad – ecuación de Darcy	28
1.4.1 Flujo Incompresible en un Sistema Lineal	30

Horizontal	
1.4.2 Flujo compresible en un Sistema Lineal Horizontal:	30
1.4.3 Flujo Incompresible en un sistema Radial Horizontal	30
1.4.4 Flujo Compresible en un Sistema Radial Horizontal	32
1.4.5 Tipos de permeabilidad	33
1.4.5.1 Permeabilidad Absoluta (k)	33
1.4.5.2 Permeabilidad Efectiva (ke)	33
1.4.5.3 Permeabilidad relativa (kr)	33
1.4.6 Factores que afectan la Permeabilidad	34
1.4.7 Valores Promedios de Permeabilidad	34
1.4.7.1 Capas en Paralelo	34
1.4.7.1.1 Flujo Lineal	34
1.4.7.1.2 Flujo Radial	36
1.4.7.2 Capas en Serie	38
1.4.7.2.1 Flujo Lineal	38
1.4.7.2.2 Flujo Radial	40
1.4.8 Procedimiento práctico de determinación de permeabilidades	42
1.5 Nuevo Criterio de Selección de Pantallas o Liners	43
2 ANÁLISIS DEL PROBLEMA	52
3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	
3.1 Fase 1: Determinación de caudal en la bomba manual y presión de desprendimiento de revoque en el RDF	56
3.1.1 Determinación del caudal de la bomba manual	56
3.1.2 Pasos seguidos para la medición de presiones de desprendimiento de revoque con el sistema de bombeo manual.	57

3.1.3 Determinación de presiones de desprendimiento de revoque (sistema hidráulico)	58
3.2 Fase 2: Determinación de la caída de permeabilidad producida por el revoque de RDF	59
3.2.1 Determinación de la viscosidad del fluido hidráulico a 150° F	59
3.2.2 Procedimiento de determinación de permeabilidad al aceite de la grava 20/40 mesh.	60
3.2.3 Procedimiento de determinación de permeabilidad al aceite del núcleo de cerámica	61
3.2.4 Procedimiento para medir la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ grava.	62
3.2.5 Procedimiento para medir la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ grava saturada con GPCF (salmuera).	63
3.2.6 Procedimiento para medir la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de RDF/ grava.	64
3.3 Fase 3: Determinación de la eficiencia de algunos limpiadores para la remoción del revoque en el RDF.	65
3.3.1 Procedimiento para determinar la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de RDF/ grava saturada con GPCF + hipoclorito al 10%.	65
3.3.2 Procedimiento para medir la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de RDF/ grava saturada con GPCF + HCl al 10%.	66
3.3.3 Procedimiento para medir la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de RDF/ grava saturada con GPCF + Ultra Break	67
3.3.4 Procedimiento para medir la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de RDF/ grava saturada con + GPCF con Terpeno	67

3.4 Fase 4: Determinación de la caída de permeabilidad ocasionada por el revoque en algunos lodos utilizados en campo	67
3.4.1 Determinación de la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo A/ grava saturada con salmuera	67
3.4.2 Medición de la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo B/ grava saturada con salmuera.	68
3.4.3 Determinación de la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo C / grava saturada con salmuera.	68
3.5 Fase 5: Determinación de la eficiencia de limpiadores de revoque en algunos lodos utilizados en campo.	68
3.5.1 Lodo A.	69
3.5.1.1 Procedimiento para la medición de la permeabilidad al aceite del sistema núcleo/ revoque de lodo A/ grava saturada con GPCF + hipoclorito al 10%	69
3.5.1.2 Procedimiento para determinar la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo A/ grava saturada con GPCF + HCl al 10%.	69
3.5.1.3 Procedimiento para determinar la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo A/ grava saturada con GPCF + Ultra Break.	69
3.5.1.4 Procedimiento para determinar la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo A/ grava saturada con GPCF + Terpeno	69
3.5.2 Lodo B.	70
3.5.2.1 Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo B/ grava saturada con GPCF + hipoclorito al 10%	70
3.5.2.2 Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo B/ grava saturada con GPCF + HCl al 10%.	70

3.5.2.3	Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo B / grava saturada con GPCF + Ultra Break	70
3.5.2.4	Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica / revoque de lodo B / grava saturada con GPCF + Terpeno	70
3.5.3	Lodo C	70
3.5.3.1	Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo C / grava saturada con GPCF + hipoclorito al 10%	70
3.5.3.2	Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo C / grava saturada con GPCF + HCl al 10%	70
3.5.3.3	Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo C / grava saturada con GPCF + Ultra Break	70
3.5.3.4	Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo C / grava saturada con GPCF + Terpeno	70
4	PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS	
4.1	Fase 1: Determinación de caudal en la bomba manual y presión de desprendimiento de revoque en el RDF	71
4.1.1	Determinación del caudal de bombeo de la bomba manual	71
4.1.2	Determinación de presiones de desprendimiento de revoque con el sistema de bombeo manual.	72
4.1.2.1	Prueba 1: Determinación de la presión mínima del desprendimiento del revoque formado con el RDF	72
4.1.2.2	Prueba 2: Determinación de la presión mínima de desprendimiento de revoque con tiempo controlado.	73
4.1.2.3	Prueba 3: Procedimiento alternativo para la determinación de desprendimiento del	74

revoque mediante el sistema manual de bombeo.	
4.1.2.3.1 Prueba 3.1: Desprendimiento del revoque a elevadas presiones	75
4.1.3 Determinación de presiones de desprendimiento de revoque (Sistema Hidráulico)	77
4.2 Fase 2: Determinación de la caída de permeabilidad producida por el revoque de RDF	79
4.2.1 Determinación de la viscosidad del fluido hidráulico a 150° F	79
4.2.2 Resultados de la determinación de permeabilidad del empaque de grava al aceite.	80
4.2.3 Resultados de la determinación de permeabilidad del núcleo de cerámica al aceite	82
4.2.4 Resultados de la permeabilidad al aceite del núcleo de cerámica / grava al aceite.	84
4.2.5 Resultados de la medición de la permeabilidad relativa del sistema núcleo de cerámica / grava saturada con fluido transportador (salmuera) al aceite.	85
4.2.6 Resultados de la medición de la permeabilidad del sistema núcleo de cerámica / revoque de RDF / grava saturada con fluido transportador (salmuera) al aceite.	87
4.3 Fase 3: Determinación de la eficiencia de algunos limpiadores para la remoción del revoque en el RDF	89
4.3.1 Resultados de la medición de la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica / revoque / grava saturada con fluido transportador (salmuera) modificada con 10% de Hipoclorito.	89
4.3.2 Resultados de la medición de la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica / revoque / grava saturada con fluido transportador (salmuera) modificada con HCl al 10%	91
4.3.3 Resultados de la medición de la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica / revoque /	93

grava saturada con fluido transportador (salmuera) modificada con Ultra Breake Cake remover.	
4.3.4 Resultados de la medición de la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica / revoque / grava saturada con fluido transportador (salmuera) modificada con Terpeno.	94
4.4 Fase 4: Determinación de la caída de permeabilidad ocasionada por el revoque en algunos lodos utilizados en campo.	97
4.4.1 Lodo A.	97
4.4.1.1 Resultados de la medición de la permeabilidad del sistema núcleo de cerámica / revoque de lodo A/ grava saturada con fluido transportador (salmuera) al aceite.	97
4.4.2 Lodo B.	99
4.4.2.1 Resultados de la medición de la permeabilidad del sistema núcleo de cerámica / revoque de lodo B / grava saturada con fluido transportador (salmuera) al aceite.	99
4.4.3 Lodo C	100
4.4.3.1 Resultados de la medición de la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo C / grava saturada con salmuera.	100
4.5 Fase 5: Eficiencia de limpiadores de revoque en algunos lodos utilizados en campo.	103
4.5.1.1 Resultados de la medición de permeabilidad al aceite del sistema núcleo/ revoque de lodo A / grava saturada con GPCF + hipoclorito al 10%	103
4.5.1.2 Resultados de la medición de permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo A/ grava saturada con GPCF + HCl al 10%	104
4.5.1.3 Resultados de la determinación de	106

permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo A/ grava saturada con GPCF + Ultra Break.	
4.5.1.4 Resultados de la medición de la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo A/ grava saturada con GPCF + Terpeno.	108
4.5.2 Lodo B	110
4.5.2.1 Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo B/ grava saturada con GPCF + hipoclorito al 10%.	110
4.5.2.2 Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo B/ grava saturada con GPCF + HCl al 10%	112
4.5.2.3 Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo B/ grava saturada con GPCF + Ultra Break.	114
4.5.2.4 Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica / revoque de lodo B/ grava saturada con GPCF + Terpeno.	116
4.5.3 Lodo C	117
4.5.3.1 Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo base agua C / grava saturada con GPCF + hipoclorito al 10%	117
4.5.3.2 Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo C / grava satura con GPCF + HCl al 10%.	119
4.5.3.3 Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo C/ grava saturada con GPCF + Ultra Break.	121
4.5.3.4 Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo C / grava saturada con GPCF + Terpeno.	123
4.6 Comparación de los diferentes sistemas	125
5 CONCLUSIONES	128

6 RECOMENDACIONES	130
7 REFERENCIAS	132
8 NOMENCLATURA / ABREVIATURAS	134
9 GLOSARIO DE TÉRMINOS	135
APÉNDICES	
APÉNDICE A: Resultados Gráficos	138
APÉNDICE B: Equipos	142
APÉNDICE C: Cálculos tipo	145
ANEXOS	
Anexo 1 Equipos empleados	149
Anexo 2 Reciclaje de los discos filtro de cerámica	154
Anexo 3 Formulaciones de los fluidos empleados	155
Anexo 4 Normas de seguridad de los materiales empleados	162
Anexo 5 Comentarios y opiniones de la Gerencia de PDVSA EPM	172

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1 Resultados obtenidos según el sistema RDF empleado	7
Fig. 2 Efectos del GPCF en la limpieza del revoque de RDF	8
Fig 1.2.1.1 Procedimiento para realizar empaques con grava	15
Fig 1.2.2.1 Relación del índice de productividad entre un pozo horizontal y uno vertical	20
Fig 1.2.3.1.1 Selección de empaques de grava por el Método de Saucier	24
Fig 1.3.1 Pozos inclinados según su radio	29
Fig 1.4.1 Representación típica de un sistema de flujo lineal	30
Fig. 1.4.3.1 Flujo Incompresible en un sistema radial horizontal	33
Fig. 1.4.7.1.1.1 Flujo lineal a través de capas en paralelo	37
Fig 1.4.7.1.1.2 Flujo lineal a través de capas en paralelo con permeabilidad promedio	37
Fig. 1.4.7.1.2.1 Flujo Radial a través de capas en paralelo	39
Fig. 1.4.7.1.2.2 Flujo radial a través de capas en paralelo con permeabilidad promedia	39
Fig. 1.4.7.2.1.1 Flujo lineal a través de capas en serie	40
Fig. 1.4.7.2.1.2 Flujo lineal a través de capas en serie con permeabilidad promedia	41
Fig. 1.4.7.2.2.1 Flujo radial a través de capas en serie con permeabilidad promedio	43
Figura 1.4.8 La pendiente de la parte recta de la gráfica representa la permeabilidad del sistema	45
Fig. 1.6.1 Equipo empleado en este trabajo para la simulación del pozo	47
Figura 4.2.1 Caso 1 de la tabla 4.2.1	77

Figura 4.1.2 Caso 2 y 4 de la tabla 4.1.2	79
Gráfica 4.2.2 Permeabilidad del empaque de grava	81
Fig. 4.2.3 Permeabilidad del disco al aceite	82
Gráfica 4.2.4 Determinación de permeabilidad núcleo / grava	84
Gráfica 4.2.5 Determinación de permeabilidad grava con GPCF	85
Gráfica 4.2.6 Permeabilidad del núcleo / revoque de RDF / grava con GPCF	87
Gráfica 4.3.1 Determinación de permeabilidad del núcleo/ revoque/ grava saturada con GPCF y 10% de Hipoclorito.	89
Gráfica 4.3.2 Determinación de permeabilidad al aceite del sistema núcleo/ revoque / grava con GPCF y HCl al 10%	91
Gráfica 4.3.3 Determinación de permeabilidad del núcleo/ revoque/ grava con GPCF y Ultra Breake	93
Gráfica 4.3.4 Determinación de permeabilidad del núcleo/ revoque/ grava con GPCF y Ultra Breake	95
Gráfica 4.4.1 Permeabilidad del núcleo/ revoque de lodo A / grava con GPCF	97
Gráfica 4.4.2 Permeabilidad del núcleo/ revoque de lodo B / grava con GPCF	99
Gráfica 4.4.3 Permeabilidad del núcleo/ revoque del lodo C / grava con GPCF.	100
Gráfica 4.5.1.1 Permeabilidad del núcleo/ revoque de lodo A / grava saturada con GPCF + hipoclorito al 10%	103
Gráfica 4.5.1.2 Permeabilidad del núcleo/ revoque de lodo A/ grava con GPCF + HCl al 10%..	105
Gráfica 4.5.1.3 Permeabilidad del núcleo/ revoque de lodo A/ grava con GPCF + Uktra Breake	106

Gráfica 4.5.1.4 Permeabilidad del núcleo/ revoque de lodo A / grava con GPCF + Terpeno	108
Gráfica 4.5.2.1 Permeabilidad del sistema núcleo / revoque de lodo B / grava con GPCF e hipoclorito al 10%.	110
Gráfica 4.5.2.2 Permeabilidad del sistema núcleo / revoque de lodo B/ grava con GPCF y HCL al 10%.	112
Gráfica 4.5.2.3 Permeabilidad del sistema núcleo / revoque de lodo B / grava con GPCF y Uktra Breake	115
Gráfica 4.5.2.4 Permeabilidad del sistema núcleo / revoque de Lodo B / grava con GPCF y Terpeno	116
Gráfica 4.5.3.1 Permeabilidad del sistema núcleo / revoque del lodo C/ grava con GPCF e hipoclorito	117
Gráfica 4.5.3.2 Permeabilidad del sistema núcleo / revoque del lodo C/ grava con GPCF y HCl al 10%	119
Gráfica 4.5.3.3 Permeabilidad del sistema núcleo / revoque del lodo C/ grava con GPCF y Ultra Breake	120
Gráfica 4.5.3.4 Permeabilidad del sistema núcleo / revoque del lodo C/ grava con GPCF y Terpeno	123
Figura 4.6.1 Comparación de pérdidas en permeabilidades con respecto al pozo ideal de los diferentes sistemas probados, representadas en porcentajes.	124
Figura 4.6.2 Aquí se representa la pérdida en permeabilidad en porcentaje con respecto al pozo ideal resultante al final del proceso de ataque con Hipoclorito.	125
Figura 4.6.3 Aparecen representadas en porcentaje las pérdidas en permeabilidades con respecto al pozo ideal después del proceso de ataque a los diferentes revoques con HCl.	126
Figura 4.6.4 Aparecen representadas en porcentaje las pérdidas en permeabilidades con respecto al pozo ideal después del proceso de ataque a los diferentes revoques con Ultra Breake.	127

Figura A1 Caso 3 de la tabla 4.2.1 se observan canales preferenciales de flujo y desprendimiento parcial del revoque.	138
Figura A2 Caso 3 de la tabla 4.2.1 se observa desprendimiento parcial del revoque sobre todo en los bordes.	138
Figura A3 revoque afectado por contraflujo del sistema hidráulico a una presión de 60 lpc.	139
Figura A4 apariencia del revoque atacado con Ultra Breake	139
Figura A5 Vista superior de un revoque de RDF al cual se le colocó grava por su parte superior	140
Figura A6 Vista inferior del mismo revoque de la Figura A5.	140
Figura A7 Aspecto del revoque atacado con Hipoclorito. Resultó una capa rojiza de 1/32 de pulgada.	141
Figura B1 Celda ATAP para cementación modificada. Se puede observar a la derecha del cuerpo de la celda la presencia de la malla de 60 mesh.	142
Figura B2 Celda ATAP para filtrado dinámico y retorno de permeabilidad. Nótese que se encuentra en configuración receptora dada la presencia del disco poroso. La tapa superior del equipo posee una maya de 60 mesh que hace las veces de liner ranurado.	142
Figura B3 Celda ATAP para filtrado dinámico y retorno de permeabilidad. En la gráfica se muestra en su configuración inyectora dada la ausencia del disco de cerámica.	142
Figura B4 Ensamblaje conector de la celda inyectora a la receptora.	143
Figura B5 Sistema de bombeo manual.	143
Figura B6 Sistema de bombeo hidráulico (sistema que se adoptó como definitivo para el resto de las pruebas)	144

Figura B7 Formulaciones de los diferentes GPCF que utilizan el Ultra Breake. En nuestro caso se utilizó el segundo de izquierda a derecha.	144
Figura 11.1 Detalle del ensamblaje final. La válvula original permaneció siempre completamente abierta, para así no incurrir nunca en errores de medición.	149
Figura 11.2 Equipo para pruebas de filtrado dinámico, que en nuestro caso sirvió como camisa térmica para la celda ATAP	150
Figura 11.3 Equipo PPA utilizado como camisa para la celda inyectora.	151
Figura 11.4 Camisa para calentar la celda de cementación modificada.	152
Figura 11.5 Viscosímetro Brookfield.	153

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.2.3.1.1 Características de los empaques de grava mas comunes	25
Tabla 1.2.3.1.2 Tamaños de grava para realizar los empaques	25
Tabla 1.3.1 Pozos inclinados según su radio	29
Tabla 1.6.1 Viscosidad del RDF	47
Tabla 4.1 Volumen de las carreras del émbolo	71
Tabla 4.2.1 Desprendimiento de revoques usando el sistema manual de bombeo y el método de la prueba 3	76
Tabla 4.1.2 Desprendimiento de revoques usando el sistema hidráulico y el método de la Prueba 3.	78
Tabla 4.2.2 Permeabilidad del empaque de grava	80
Tabla 4.2.3 Permeabilidad del disco	82
Tabla 4.2.4 Permeabilidad del disco y empaque	83
Tabla 4.2.5 Determinación de permeabilidad grava con GPCF	85
Tabla 4.2.6 Permeabilidad del núcleo / revoque de RDF / grava con GPCF	87
Tabla 4.3.1 Permeabilidad del núcleo/ revoque/ grava saturada con GPCF y 10% de Hipoclorito.	88
Tabla 4.3.2 Permeabilidad al aceite del sistema núcleo/ revoque / grava con GPCF y HCl al 10%	90
Tabla 4.3.3 Permeabilidad del núcleo/ revoque/ grava con GPCF y Ultra Breake	92
Tabla 4.3.4 Permeabilidad del núcleo/ revoque/ grava con GPCF Terpeno	94
Tabla 4.4.1 Permeabilidad del núcleo/ revoque de lodo A / grava con GPCF (salmuera)	97

Tabla 4.4.2 Permeabilidad del núcleo/ revoque de Lodo B / grava con GPCF	98
Tabla 4.4.3 Permeabilidad del núcleo/ revoque del lodo C/ grava con GPCF.	100
Tabla 4.5.1.1 Permeabilidad del núcleo/ revoque de lodo A/ grava saturada con GPCF + hipoclorito al 10%	102
Tabla 4.5.1.2 Permeabilidad del núcleo/ revoque de lodo A/ grava con GPCF + HCl al 10%.	104
Tabla 4.5.1.3 Permeabilidad del núcleo/ revoque de lodo A / grava con GPCF + Uktra Breake	106
Tabla 4.5.1.4 Permeabilidad del núcleo/ revoque de lodo A/ grava con GPCF + Terpeno	108
Tabla 4.5.2.1 Permeabilidad del sistema núcleo / revoque de lodo B/ grava con GPCF e hipoclorito al 10%.	110
Tabla 4.5.2.2 Permeabilidad del sistema núcleo / revoque de Lodo B/ grava con GPCF y Uktra Breake	112
Tabla 4.5.2.3 Permeabilidad del sistema núcleo / revoque de lodo B/ grava con GPCF y Terpeno	114
Tabla 4.5.2.4 Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica / revoque de lodo B/ grava saturada con GPCF + Terpeno.	115
Tabla 4.5.3.1 Permeabilidad del sistema núcleo / revoque del lodo C/ grava con GPCF e hipoclorito	117
Tabla 4.5.3.2 Permeabilidad del sistema núcleo / revoque del lodo C/ grava con GPCF y HCl al 10%	119
Tabla 4.5.3.3 Permeabilidad del sistema núcleo / revoque del lodo C/ grava con GPCF y Ultra Breake	121
Tabla 4.5.3.4 Permeabilidad del sistema núcleo / revoque del lodo C/ grava con GPCF y Terpeno	122
Tabla 4.5.3.4 Determinación de permeabilidades	123
Tabla 11.7.2 Características del sistema A	155

Tabla 11.7.2 Características del sistema B	157
Tabla 11.7.3 Características del sistema base agua dde la compañía el lodo C	158
Tabla 5.7.4.1 Formulación del RDF	158
Tabla 5.7.4.2 Propiedades del RDF	159

Un problema que se ha presentado frecuentemente en la perforación de pozos altamente inclinados que atraviesan formaciones poco consolidadas es el del derrumbe de los mismos cuando se efectúa la operación de remoción de revoques, para luego proceder a la colocación del liner ranurado y el empaque con grava. Las consecuencias de este problema pueden variar desde la reducción de la productividad del pozo hasta la pérdida del hoyo.

En Venezuela se ha presentado este problema de diferentes formas en las distintas áreas operacionales.

En Oriente se procede a la remoción del revoque mediante el uso de ácido clorhídrico HCl, lo cual ocasiona una reducción en el peso de la columna hidrostática causando un diferencial de presión favorable a la formación, lo que genera el derrumbe del pozo.

A continuación, se muestra el procedimiento aplicado por Álvarez, J. 19/06/2002 para la remoción del revoque: “El método de remoción más efectivo depende del tipo de lodo que estés utilizando en el pozo, y realizarlo antes de colocar la grava para evitar que este revoque (ya disuelto) pueda taponar las rejillas o incluso el empaque, en nuestro caso, nosotros no realizamos el empaque con grava, es decir, no colocamos grava entre la rejilla y la formación.

El tren utilizado para la remoción es como se indica a continuación:

Antes de realizar el asentamiento de la empacadura se circulo el pozo por el anular con 50 bls de KCL al 5% + 60 bls de HCL al 5% + 40 bls de Inteflow + 80 bls de agua con 2% de KCL”.

En Occidente, se presenta el mismo problema pero, la diferencia es que en que en dicha zona operacional, antes de circular el HCl, se asienta el liner, para así evitar

la pérdida del pozo en su totalidad y por lo menos tener una producción marginal de hidrocarburos.

En el resto del mundo, este problema también ocurre de forma similar. Brady, M. 2000 ⁽³⁾ hace referencia al caso de la isla Thevenard ubicada a 900 millas al norte de Perth y 15 millas alejada de la costa Australiana. Allí se presentan producciones bajo lo esperado y adicionalmente existen problemas de arenamiento. En este caso, los ingenieros optaron por crear un sistema de bomba activada por un coil tubing concéntrico, la cual funciona como el efecto de una aspiradora, removiendo el revoque que pueda estar alojado en las paredes del hoyo. Por supuesto que en el trabajo donde se habla de este caso, no se comenta el derrumbe del hoyo.

Brady, M. 2000 ⁽³⁾, afirma que en diferentes casos se han completado pozos horizontales a hoyo abierto sin remover el revoque y se ha obtenido el rendimiento económico esperado. Pero los reportes no contienen información acerca del daño a la formación el cual se puede obtener mediante pruebas de presión en los pozos ni por caídas en el índice de productividad, determinables con el uso de registros de producción.

Pruebas en el laboratorio realizadas por Hodge, B.G y Jonson, J.P. 1992 demostraron que un desgaste del revoque reduce los requerimientos de la caída de presión para el flujo inicial en el yacimiento y aumenta a su vez significativamente la permeabilidad del mismo.

En una gran cantidad de pozos altamente inclinados completados a hoyo abierto y empacados con grava se han utilizado fluidos de perforación base agua cuando se ha perforado la zona productora, dicho fluido es conocido como RDF. Algunas de las ventajas del empleo del RDF son las siguientes:

- ✓ Gran nivel de experiencia y confianza obtenida en pozos empacados con grava.
- ✓ La afinidad existente entre el fluido transportador de la grava y los RDF base agua, la cual es superior a la mostrada por los RDF base aceite.

Godwin, K. 2001 ⁽⁴⁾, propone que la limpieza del revoque representa un reto significativo en hoyos desnudos completados con empaque de grava. En un esfuerzo para prevenir el derrumbe de la formación en algunos casos es mas ventajoso dejar el revoque en las completaciones con empaque de grava. Después de colocar el empaque entonces se procede a remover el revoque mediante la aplicación de un limpiador químico usando Coil Tubing compuesto básicamente de enzimas oxidantes o bien por sistemas ácidos que ataquen al revoque y actúen sobre el CaCO_3 el cual es el componente principal del filtrado. El tratamiento con ácido presenta dos etapas:

- ✓ Colocación de la grava.
- ✓ Adición de ácidos, para la remoción del revoque.

En algunos casos dicho procedimiento puede ser inefectivo en la remoción uniforme del revoque lo que puede generar costos de limpieza superiores a lo previsto.

La limpieza del revoque mientras se coloca el empaque, recientemente se ha propuesto para pasar de dos etapas a una sola : el tratamiento consiste en aplicar

un fluido capaz de suspender la grava mientras que simultáneamente actúan los químicos disolviendo el revoque, eliminando así la necesidad de emplear el Coil Tubbing. Adicionalmente se garantiza remover el revoque a lo largo del intervalo de interés.

En el trabajo de Godwin, K. 2001 ⁽⁴⁾, se presenta la historia de una perforación en el Golfo de México, completado a hoyo abierto y con empaque de grava en el cuál se aplica la técnica de colocar el empaque mientras simultáneamente se remueve el revoque. La sección de hoyo desnudo fue de 277 pies, desviado con un ángulo de 85 a 90 grados, la temperatura promedio de fondo de hoyo fue de 128° F. El yacimiento presentó una presión normal. Adicionalmente en este trabajo se propuso utilizar un fluido transportador de grava que a su vez sea limpiador el cual se denominó GPCF. El RDF y el GPCF se seleccionaron mediante la elaboración de pruebas de laboratorio basadas en capacidad de limpieza, afinidad y capacidad de suspensión.

El RDF empleado por Godwin, estuvo compuesto por salmuera, almidón, biopolímeros y carbonato de calcio. Un fluido viscoelástico surfactante contiene una enzima rompedora que en conjunto con el almidón atacan el CaCO_3 se utilizará como fluido transportador de la grava.

Los procedimientos de dos etapas traen las siguientes desventajas:

- ✓ Los ácidos y los rompedores reaccionan de una manera muy rápida con el revoque, por lo que su remoción no es uniforme.
- ✓ Como se emplean dos etapas se traducen en mas tiempo, lo que implica costos mas elevados.
- ✓ Largas exposiciones del ácido con las herramientas de completación pueden ocasionar corrosión.

RDF

Según Godwin, el RDF debe cumplir los siguientes requisitos:

- ✓ Bajo potencial para causar atascamiento.
- ✓ No causar daño a la formación.
- ✓ Reducir el tiempo de contacto con la formación productora para evitar posibles daños ocasionados por el filtrado a la misma.
- ✓ Bajo punto cedente.
- ✓ Mínimo contenido de sólidos.

Formulación del RDF:

- ✓ 0,75 lb/bbl de biopolímero para generar viscosidad
- ✓ 7 lb/bbl de almidón modificado para controlar la pérdida de filtrado.
- ✓ 35 lb/bbl de CaCO_3 que actúa como agente puenteante.
- ✓ KCl, NaCl o NaBr como salmuera.

GPCF

Según Godwin, este fluido debe ser capaz de:

- ✓ Suspender la grava
- ✓ Disolver lenta pero efectivamente el almidón y el CaCO_3
- ✓ Tener afinidad con el RDF
- ✓ Baja tasa de corrosión
- ✓ Bajas pérdidas de presión debidas a la fricción
- ✓ Causar el mínimo daño posible a la formación.

Formulación del GPCF:

- ✓ Surfactante viscoelástico (VES) que controla la reología para proveer de un medio de transporte de la grava.
- ✓ Agente gelatinizante (CAS).
- ✓ Enzima alfa amilasa.
- ✓ KCl para activar el sistema y un inhibidor a la corrosión.

De los experimentos de laboratorio realizados por Godwin se determinó que la composición óptima del GPFC es:

- ✓ 50% CAS
- ✓ 2% Alfa amilasa (enzima)
- ✓ 3% VES
- ✓ 4% KCl
- ✓ 0,1% Inhibidor de corrosión.

Procedimiento para las pruebas:

Se utilizó la celda de ATAP.

Se empleó un núcleo de cerámica de 2" de diámetro por 1/4" de espesor y de un diámetro de poro de 20 micrones. El núcleo fue saturado al vacío con una solución de NH_4Cl al 3%.

Se procedió a la formación del revoque del RDF. Dejándolo a una temperatura de 128° F por 24 horas aplicándole una temperatura de 128° F. Se ejerció un diferencial de presión en contraflujo de 50 lpc a. Se midió la presión de desprendimiento del revoque y se realizaron las observaciones visuales y medidas procedentes.

Se logró determinar que de todos los RDF, el que mejores propiedades mostró fue el formulado con KCl.

De las conclusiones de este trabajo se resalta que los pozos horizontales pueden ser eficientemente completados usando este método simultáneo.

Para el caso del pozo donde se llevaron a cabo estos trabajos, no fue necesario el empleo del Coil Tubing.

En la figura 1, se pueden apreciar tres núcleos de cerámica, el lodo 1 corresponde al formulado con KCl (véase la eficiente limpieza). El lodo 2 es el formulado con NaCl (este fue el de peores características de limpieza). El lodo 3 es el formulado con NaBr el cual resultó un tanto mejor que el lodo 2, pero nunca igual al lodo 1.

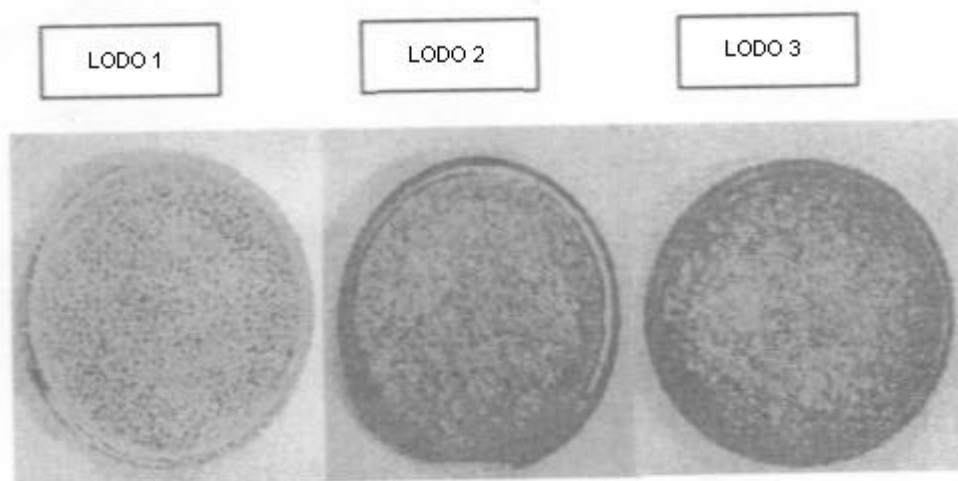


Fig. 1 Resultados obtenidos según el sistema RDF empleado

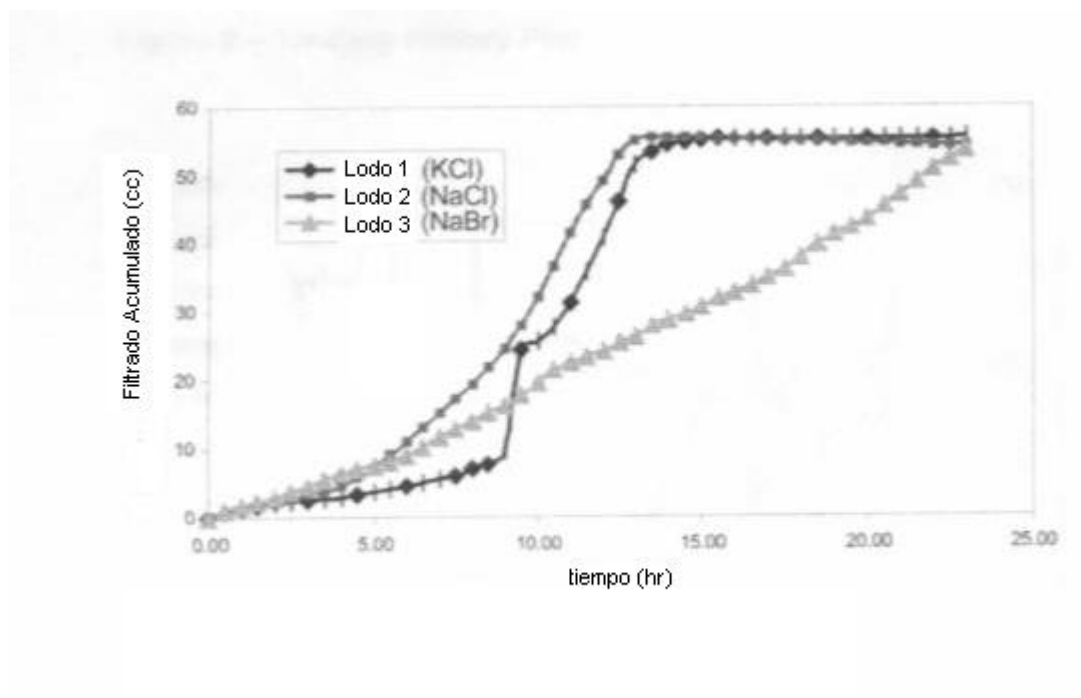


Fig. 2 Efectos del GPCF en la limpieza del revoque de RDF

1 MARCO TEÓRICO

1.1 Fluidos de Perforación

Un componente crítico en la perforación es la selección del fluido de perforación, el cual es conocido en la industria petrolera como lodo de perforación. Este puede ser tanto líquido como gaseoso o inclusive una mezcla de las dos fases a los que se denominan sistemas neumáticos. Una de las reglas principales para la selección de los fluidos de perforación es que debe ser capaz de levantar los sólidos de perforación (ripios) del hoyo a la superficie y lubricar la mecha del taladro mejorando así la acción rotatoria de la misma en contra de la roca entre otras cosas ⁽⁵⁾.

El fluido de perforación tiene otras funciones importantes. La densidad del lodo y la presión hidrostática resultante del peso de la columna formada es usada para suministrar a la formación una presión de respaldo o presión positiva, evitando así los posibles derrumbes. Por otro lado formaciones perforadas bajo balance pueden sufrir arremetidas, las cuales son influjos involuntarios de fluidos dentro del pozo. En situaciones extremas, una arremetida puede causar en el peor de los casos un reventón en el pozo.

Para mantener los rangos de presión deseada se debe proveer al fluido de perforación una densidad óptima, por lo cual se debe elegir el agente densificante correcto.

Los pesos de los lodos de perforación están en un rango que va desde 8.5 lb/gal (incluyendo los base agua) hasta como mucho 23 lb/gal para yacimientos profundos altamente presurizados. Aunque la bentonita es el componente más usado en los sistemas base agua, diferentes componentes pueden ser

usados en otras formulaciones. Otros tipos de fluidos de perforación incluyen sistemas base aceite y fluidos neumáticos, estos fluidos se usan en lugar de los sistemas base agua para reducir el daño a la formación causado por los sólidos contenidos en dichos sistemas los cuales por lo general penetran al medio poroso.⁽⁵⁾

Un mecanismo para controlar el daño a la formación es la creación de un revoque, el cual provee un soporte para las paredes del hoyo, reduciendo así la pérdida de filtrado.

El revoque es una capa lisa, delgada flexible e impermeable que se crea en las paredes del hoyo debido a las altas presiones que ejerce la columna hidrostática formada por el lodo. También se puede definir como los sólidos suspendidos que se depositan sobre un medio poroso durante el pase de la parte fluida del lodo hacia la formación.⁽⁶⁾

1.1.1 Fluidos Viscoelásticos

Se definen como aquel fluido el cuál posee reología inversa, lo que quiere decir que su viscosidad plástica es menor que su punto cedente, esto implica una alta limpieza del hoyo, los fluidos viscoelásticos se utilizan para perforar pozos horizontales y/o direccionales por su gran capacidad de limpieza y suspensión. Su capacidad de suspensión es tal que aún en condiciones estáticas, minimizan la formación de lechos de ripios que usualmente se forman en el punto de máxima desviación del pozo.⁽⁶⁾

Para la cuantificación de sus propiedades reológicas, se utiliza un viscosímetro Brookfield. Pero en campo se utiliza el Fann 35 acompañado de Reogramas.

Comercialmente, uno de los fluidos viscoelásticos más utilizados es el Flo-Pro. Estos fluidos por lo general trabajan con un rango de pH que varía de 8,5 a 9,5. Se puede alcanzar un peso de hasta 11,5 lb/gal y para controlar la pérdida del filtrado se utilizan almidones.

1.1.2 Polímeros

Un polímero es cualquier tipo o clase de sustancia originada de unidades estructurales que se repiten en cadena mediante un proceso de polimerización. Son coloides orgánicos de cadena larga que se utilizan hoy día como viscosificantes, agentes de control de filtrado, adelgazantes o como encapsulantes de los sólidos perforados. Son sustancias compuestas por grandes moléculas que a su vez, están formadas por la unión de varias moléculas simples.

Los polímeros según su origen se clasifican en: naturales, modificados y sintéticos.

- ✓ Los polímeros naturales son los que se generan en la naturaleza y son los mas ampliamente usados debido a su bajo costo. Un ejemplo de polímero natural lo representa el almidón.
- ✓ Los polímeros modificados son polímeros que en un principio fueron naturales, pero son modificados química ó físicamente con el fin de mejorar su tolerancia a la sal, su solubilidad y su estabilidad térmica. Ej.: HEC. ⁽⁶⁾ (viscosificante de salmueras).
- ✓ Los polímeros sintéticos, son uniones de monómeros, bien sean estos iguales o diferentes, para formar homopolímeros o copolímeros respectivamente. Sus costos son limitantes.

Los polímeros químicamente se clasifican en los que derivan de la celulosa y los que derivan de los alcoholes.

Físicamente pueden ser iónicos o no iónicos. A su vez, los iónicos se clasifican en simple aniónico, simple catiónico y complejo aniónico, complejo catiónico o complejo anfotérico.

Los Polímeros catiónicos tienen cargas positivas, por lo cual tienden a flocular las arcillas al adherirse a sus superficies o caras. Precipitan instantáneamente cuando se mezclan con polímeros aniónicos. Su principal limitación es la degradación térmica, costo y control reológico.

Los polímeros aniónicos son los mas utilizados en la industria. Ej.: CMC (compuestos básicamente celulosa).

Los anfotéricos funcionan dependiendo el pH del medio en el que se encuentren. Si el pH es alto, funcionan como aniónicos y viceversa.

De acuerdo con su utilidad, los polímeros se clasifican en:

- ✓ Viscosificantes: básicamente aportan viscosidad al medio en el que se encuentran, debido al tamaño y la forma de sus partículas. Mientras mas grande y ramificada sea su cadena principal, mayor viscosidad generará.
- ✓ Floculantes: son emulsiones de polímeros, agua y aceite mineral. En la floculación ocurre adsorción y/o reemplazo de cargas causadas por polímeros, mientras que en el proceso de coagulación hay modificación de cargas de las partículas originada por sales minerales. En ambos procesos hay formación y precipitación de flóculos, pero en la floculación se acelera tanto la formación del flóculo como la precipitación del mismo.

- ✓ Reductores de filtrado: Reducen el filtrado de forma mecánica, y ocurre mediante el envolvimiento y la adhesión del polímero alrededor de las partículas de arcilla.
- ✓ Estabilizantes: Cuando las partículas de arcilla se parten, el polímero se adhiere a los cationes de los bordes expuestos. De esta manera, los polímeros mantienen la viscosidad de la fase acuosa, reduciendo en forma efectiva la invasión del fluido, lo que ayuda a controlar el hinchamiento y dispersión de la lutita.
- ✓ Defloculantes o adelgazantes: La acción defloculante de los polímeros aniónicos se puede explicar con base en dos mecanismos:
 - ✓ Por adsorción del polímero sobre los bordes de la partícula de arcilla y consecuentemente la neutralización de las cargas positivas.
 - ✓ Por la repulsión de las partículas, debido a su polarización negativa.

1.2 Empaque con Grava

Es un procedimiento de uso frecuente en la industria Petrolera, mediante el cual se busca reducir la producción de finos (arena) provenientes de la formación. El procedimiento convencional consta en asentar un liner ranurado frente a la zona problemática, para luego llenar con grava el espacio anular existente entre la pared del hoyo y el liner, haciendo circular inversamente un fluido transportador de la grava el cual debe ser afín con los fluidos de la formación para no ocasionarle daños como se muestra detalladamente en la figura 1.2.1.1.

El empaque con grava actúa bajo dos mecanismos bloqueadores: el puenteo, el cual se basa en la habilidad de los granos de arena para acumularse frente a

materiales porosos permitiendo el paso de fluidos exclusivamente. Y el filtrado donde la grava impide que cualquier grano de arena tamaño pequeño y homogéneo pueda atravesar los poros entre la grava, requiriendo siempre que el tamaño de los poros entre la grava sea menor al tamaño de los granos de arena.

1.2.1 Procedimiento para realizar un Empaque de Grava

Desde que fue concebido el procedimiento de empaque de grava en la industria petrolera el procedimiento seguido para realizarle ha consistido básicamente en:

- ✓ Los tubos ranurados deben ser inspeccionados para asegurar que no han sufrido daño alguno durante su transporte, manejo o fabricación.
- ✓ Verificar que las ranuras sean del tamaño requerido y que estén libres de cualquier obstrucción.
- ✓ Verificar que no haya ninguna obstrucción interna en los tubos ranurados.
- ✓ La herramienta de empaque debe ser inspeccionada cuando se reciba, para asegurarse que no esta dañada.
- ✓ Durante la realización del empaque debe verificarse el retorno de fluido limpio en la superficie, y medir tanto el fluido que se ha bombeado como el que ha retornado, para así determinar el volumen que se ha perdido en la formación.
- ✓ Una vez obtenida la presión máxima, circular inversamente hasta que se obtenga fluido limpio de grava en la superficie.
- ✓ Probar nuevamente el empaque con la presión máxima para asegurar que la arena esta bien compactada.
- ✓ Después de cerrar el cross-over, probar el mismo (1000 psi) para asegurar que ha quedado cerrado.
- ✓ Asegurar que el revestidor ranurado esté completamente limpio.

- ✓ Reportar todas las cantidades de material usado en la realización del empaque.

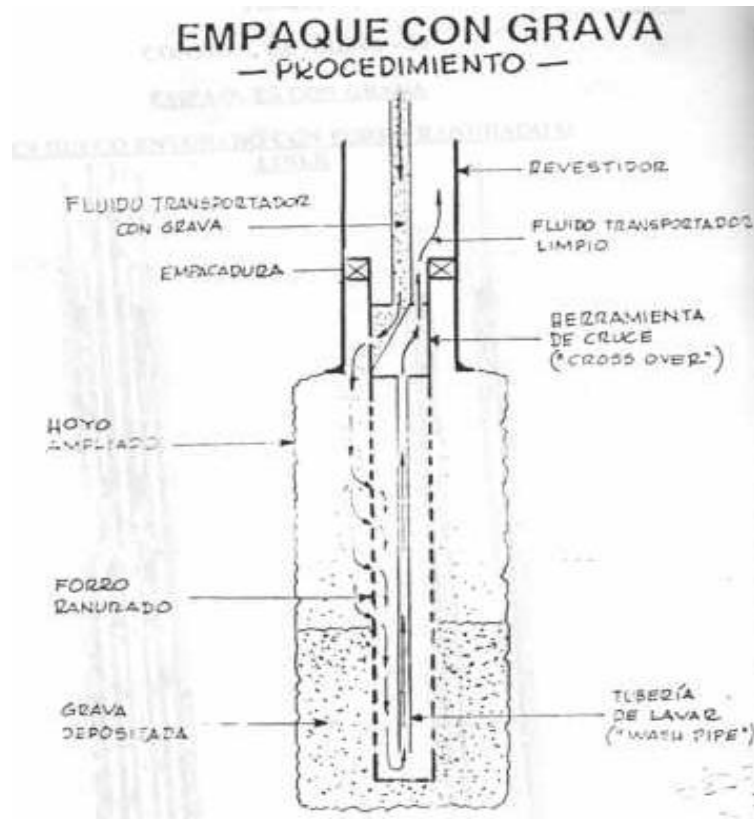
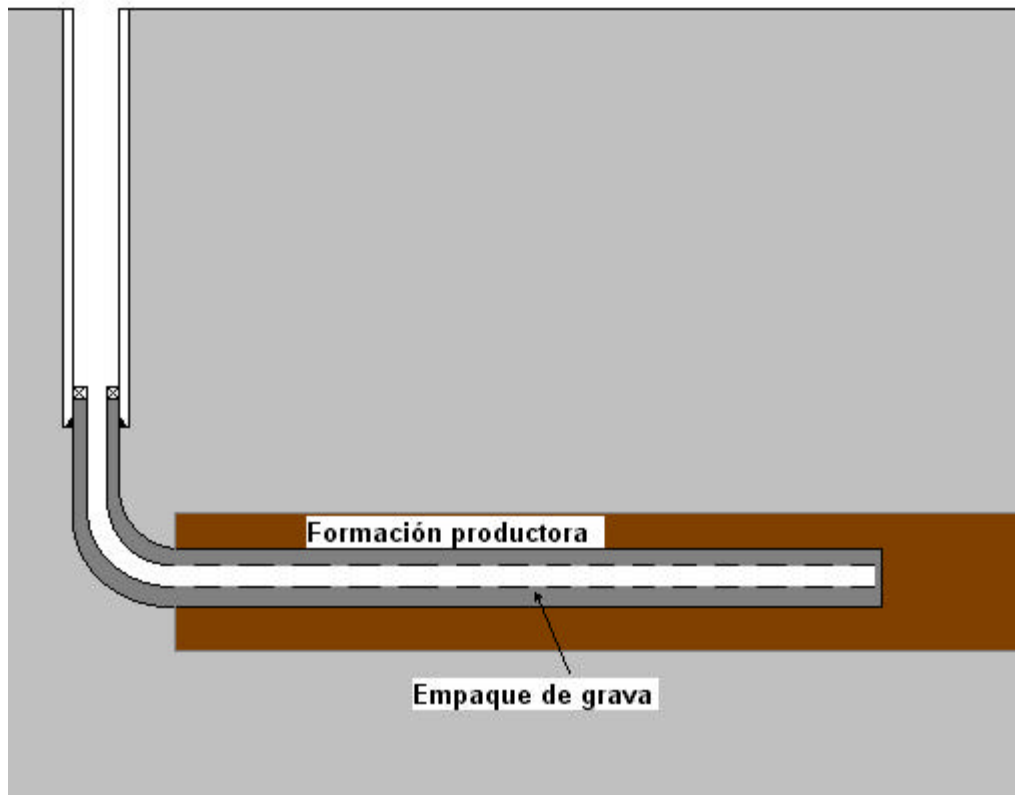


Fig 1.2.1.1 Procedimiento para realizar empaques con grava

1.2.2 Empaques de Grava en Pozos Altamente Inclinados

Después de terminada la operación de perforación, se deja el hoyo sin revestidor en su sección altamente inclinada para luego proceder a colocar el liner en el hoyo desnudo y ubicar el empaque de grava alrededor del mismo. (considerando como pozo altamente inclinado aquel que sobrepasa 45° con respecto a la vertical debido a la forma de la deposición de la grava⁽⁵⁾)



En la figura previa, se muestra la completación típica para un pozo altamente inclinado y muy en particular para el caso de 90° (pozo horizontal)

Tanto el fluido de perforación como el fluido transportador de grava deben ser probados para asegurar su compatibilidad con la formación y su afinidad con la salmuera de completación usada antes o después de las operaciones de empaques con grava en hoyos desnudos.

Cuando se presenta el caso de que el empaque se realizará en pozos altamente inclinados, la metodología cambia sensiblemente, ya que como veremos la dinámica del proceso es considerablemente diferente.

En primer lugar, cuando se habla de pozos altamente inclinados se tiene que estar conciente que estos tienen mucha mayor tendencia a derrumbarse por colapso

que los pozos verticales. Esta tendencia aumenta considerablemente cuando se procede a realizar el empaque de grava.

Otro aspecto a tener en cuenta es el fluido transportador que se utilice para realizar la operación. Algunos fluidos transportadores usados para pozos verticales no funcionan en pozos altamente inclinados.

La dinámica en sí de la deposición de la grava dentro del hoyo es totalmente diferente cuando se trata de pozos altamente inclinados. En estos casos se habla de ondas Alfa y Beta, en las que se desplaza la grava con el fluido transportador formando pequeñas dunas por la parte inferior del anular desde el punto de mayor inflexión hasta el final del hoyo. Este sería el caso de las ondas Alfa. El comportamiento de las ondas Beta sería el mismo, pero la deposición de la grava se da en dirección opuesta y por la parte superior del espacio anular.

Para obtener un empaque que se considere eficiente y capaz de filtrar los finos de la formación se deben satisfacer tres variables:

- 1) Contar con un fluido transportador con una densidad adecuada Capaz de mantener un ligero sobrebalance hacia la formación, y a su vez una viscosidad adecuada de acuerdo con la formación a perforar.
- 2) El fluido de transporte debe contar con una concentración de grava adecuada. Dicha concentración va a variar dependiendo de la tasa de bombeo que se elija para realizar la operación.
- 3) La velocidad del fluido, la cual va a determinar la deposición o no de la grava. Esta varía dependiendo la geometría del hoyo y la tasa de bombeo seleccionada.

Entre los problemas que se pueden dar a la hora de seleccionar un fluido de transporte adecuado, tenemos el caso de los fluidos gelatinizantes con capacidad de suspensión de sólidos del 100% como es el caso de la goma Xantano. Estos fluidos generalmente no son buenos empacantes debido a que presentan baja pérdida de filtrado. Para poder formar un empaque grueso, el fluido transportador debe contar con una alta pérdida de filtrado.⁽⁷⁾

Fluidos como el hidroximetilcelulosa (HEC) poseen una buena suspensión de sólidos (fuerzas de gel) y mejor pérdida de filtrado comparado con el caso de la goma Xantano, pero tienden a dejar espacios vacíos en donde debería haber empaque.

Esto se debe al bajo esfuerzo que hay que aplicar para romper los geles formados y por tanto la retardada formación de un empaque grueso.

La tasa de bombeo es un punto crítico cuando se va a hacer un empaque de grava, ya que esta afecta directamente la posterior eficiencia del empaque. Se han realizado pruebas en pozos altamente inclinados donde se ha demostrado que para un incremento de la tasa de bombeo de 0.6 a 1.0 bbl/min, se incrementó el porcentaje de volumen empacado de 60% a 93% aproximadamente. Cuando la tasa de bombeo aumentó hasta 1.4 bbl/min, dicho porcentaje aumentó hasta aproximadamente 96%.

Una solución para los problemas que se pueden dar en fluidos transportadores es el control de la tasa de bombeo. Para ilustrar esto de una mejor forma se da el siguiente ejemplo:

Supóngase que el fluido no tiene capacidad de suspensión de gravas de un 100% (esto para mejorar su filtrado). Se debe determinar una tasa de bombeo compensada, la cuál es limitada por dos variables:

- 1) La velocidad máxima no debe exceder la velocidad donde se desarrolla flujo turbulento donde se erosiona a la formación y los ripios se mezclan con la grava.
- 2) La velocidad mínima debe ser suficiente como para asegurar que la grava fluya al pozo.

Como una recomendación muy particular en este tópico se tiene que es beneficioso mantener las más altas velocidades de flujo posibles (sin causar daños a la formación son de alrededor de 7 pies/seg), ya que así es posible obtener un empaque uniforme y grueso.

Actualmente resulta difícil lograr perforar un pozo aplicando balance o sobrebalance sin causar daño a las formaciones productoras. Ya que esto es inevitable, con el desarrollo de la perforación de pozos altamente inclinados, se logra reducir el efecto perjudicial que origina el daño.

El reducir el efecto perjudicial no se logra reduciendo el daño, sino que debido a la mayor zona de contacto entre el pozo y el yacimiento, se logra incrementar el índice de productividad.

Si se divide el índice de productividad (J) de un pozo horizontal entre el índice de productividad de un pozo vertical no dañado, se obtiene la relación de productividad.

$$J_H / J_V = R^{(5)} \quad (\text{Ec. 1.1})$$

En la figura 1.2.2.1 se denota que el índice de productividad que siempre será mayor en pozos altamente inclinados (bien sea por incremento de la producción o

por reducción de la caída de presión), puede ser afectado de gran forma por el daño no removido del pozo horizontal.

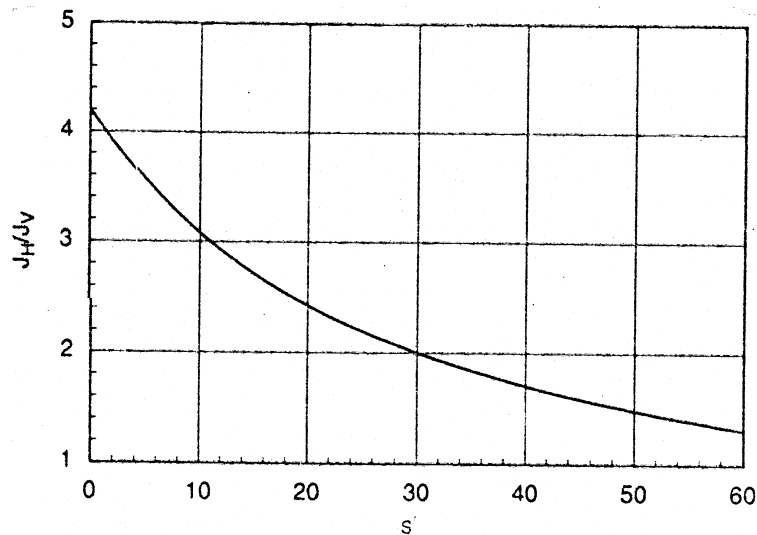


Fig 1.2.2.1 Relación del índice de productividad entre un pozo horizontal y uno vertical versus el posible daño del pozo horizontal.

Donde:

$S \Rightarrow$ Daño a la formación del pozo horizontal

$J_H/J_V \Rightarrow$ Relación de índices de productividad.

Adicionalmente, la relación J_H/J_V puede ser empleada en el desarrollo de una evaluación económica que considere los beneficios versus el costo del tratamiento.

Al llevarse a cabo la operación de perforación, se puede reducir severamente la permeabilidad del hoyo, debido a la deposición de partículas de lodo hacia la formación. No obstante, la profundidad de invasión de estas partículas es pequeña, quedando alrededor de menos de una pulgada hasta máximo un pie. Para minimizar este daño, las partículas de lodo deben ser mas grandes que los

poros. Se ha llegado a sugerir que teniendo 5% en volumen de las partículas de lodo con un diámetro mayor en 1/3 que el diámetro promedio de poro de la formación se podrá prevenir significativamente la invasión y el daño.

Ya que se esta tratando entre tanto los efectos de daño al pozo, no se debe descuidar tampoco el posible futuro efecto de arenamiento que se puede dar en el pozo debido a una mala selección de fluidos tanto de perforación como de completación del pozo.

Los daños a la formación son frecuentemente causados por la dispersión de partículas finas de arcilla cuando la salinidad del agua intersticial es reducida o su composición iónica es alterada. Entonces, cualquier fluido que entre en contacto con la formación productora (filtrado de fluido de perforación, fluido de completación, fluidos de estimulación, etc.) deben de tener una composición iónica afín. Este fenómeno se conoce como sensibilidad del agua y depende de los cationes presentes en las salmueras usadas, el pH y la rata de cambio de salinidad. Por lo general, cationes monovalentes son mucho mas dañinos que los divalentes o trivalentes.

Es conveniente destacar que existen medios para calcular la invasión de filtrado hacia la formación. Se ha logrado determinar mediante la igualdad:

$$q_f = (2\pi * r_w)^* u_f^{(5)} \quad (Ec 1.2)$$

Donde:

$q_f \Rightarrow$ Invasión del filtrado hacia la formación [pies]

$r_w \Rightarrow$ Radio del pozo [pies]

$u_f \Rightarrow$ Tasa de filtración [ml / s]

El primer término representa al área del pozo y el segundo la tasa de filtración.

Pero se sabe que la tasa de filtración viene dada por:

$$uf = 2 * p * rw * \left(\frac{C}{\sqrt{t}} + 3600 * b * \dot{g} \right) \quad (Ec. 1.3)$$

Donde:

C => Coeficiente de pérdida dinámica de filtrado del revoque.

t => Tiempo de exposición [horas]

b => Constante de estabilidad del revoque.

γ : => Tasa de desgaste del revoque en una prueba dinámica. [1/32 pulgada /segundo]

3600 => Coeficiente de pérdida que puede ser obtenido de pruebas de filtrado dinámico realizadas en el laboratorio.

Sabiendo que la integral del caudal en función del tiempo es el volumen

$$v = \int_0^t qf dt \quad (Ec. 1.4)$$

Para este caso se tendrá:

$$V = \int_0^t 2 * p * rw * \left(\frac{C}{\sqrt{t}} + 3600 * b * \dot{g} \right) dt \quad (Ec. 1.5)$$

Integrando resulta:

$$V = 2\pi * rw * (2 * C * \sqrt{t} + 3600 * b * \dot{g} * t) \quad (Ec. 1.6)$$

Si se sabe que el volumen de filtrado inyectado por unidad de espesor viene dado por:

$$V = \pi \phi (r_p^2 - r_w^2) \quad (\text{Ec. 1.7})$$

Donde:

$r_p \Rightarrow$ Radio de la invasión [pies]

Sustituyendo en la Ec. 1.6

$$r_p = \sqrt{r_w^2 + \frac{2 * r_w * (2 * C * \sqrt{t} + 3600 * b * \dot{g} * t)}{f}} \quad (\text{Ec. 1.8})$$

De donde es importante resaltar que son necesarias dos mediciones de tiempo para poder por diferencia determinar la longitud que ha alcanzado el filtrado.

Ya todos los demás valores de la Ec. 1.8 se tienen en el laboratorio, por tanto, se puede determinar adicionalmente el valor de r_p con los datos procesados en este trabajo de tesis.

1.2.3 Selección del Tamaño de la Grava

1.2.3.1 Método de Saucier

Este método se basa únicamente que el tamaño promedio de la grava debe ser 4 a 6 veces mayor que el tamaño promedio de la arena de la formación. Partiendo de esto, se procede a seleccionar el tamaño de las ranuras del liner.

Para el cálculo del número de ranuras que debe tener el liner para no causar caídas de producción debidas a restricciones del mismo, se utiliza la siguiente gráfica:

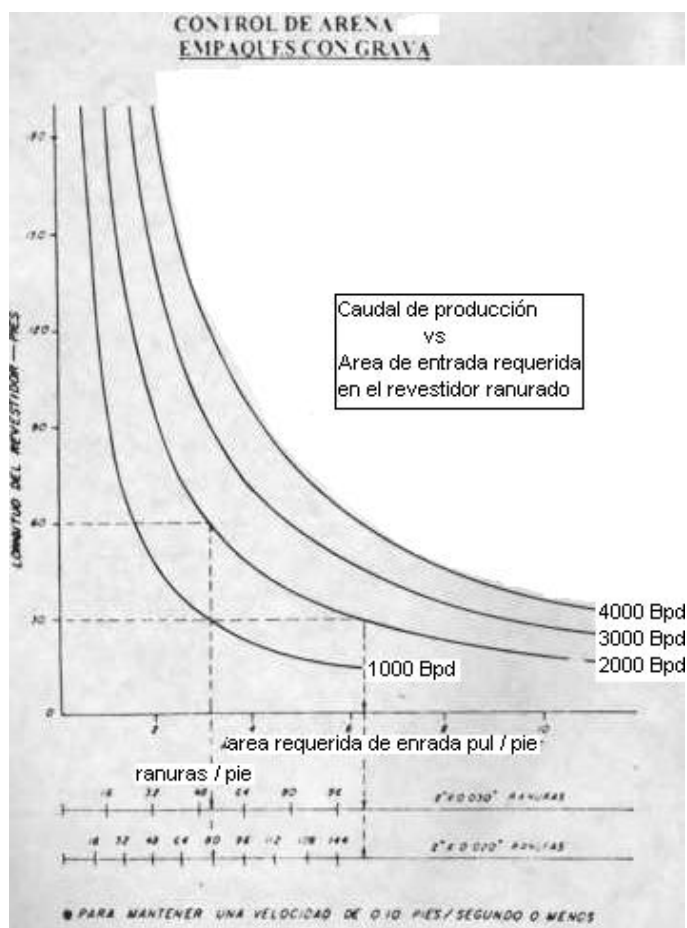


Fig 1.2.3.1.1 Selección de empaques de grava por el Método de Saucier ⁽⁵⁾

La gráfica se corta con el valor de la longitud de la sección a completar con liner, se va hasta las curvas de producción esperada y de allí se baja hasta los resultados de área requerida y ranuras por pie.

U.S. Mesh	Diam. Aprox. (in.)	Permeability (md)
40/60	0.014	$1.2 \times 10^5 - 1.7 \times 10^5$
20/40	0.025	1.2×10^5
10/20	0.056	$5 \times 10^5 - 6.5 \times 10^5$
8/12	0.080	1.7×10^6

Tabla 1.2.3.1.1 Características de los empaques de grava mas comunes

La siguiente tabla muestra los diferentes tamaños de grava que se utilizan para realizar empaques. Los cuales son necesarios tomar en cuenta para realizar cualquier tipo de prueba.

Mesh	(in.)	(mm)
2 1/2	0.315	8.00
3	0.265	6.73
3 1/2	0.223	6.68
4	0.187	4.76
5	0.157	4.00
6	0.132	3.36
7	0.111	2.83
8	0.0937	2.38
10	0.0787	2.00
12	0.0661	1.68
14	0.0555	1.41
16	0.0469	1.19
18	0.0394	1.00
20	0.0331	0.840
25	0.0280	0.710
30	0.0232	0.589
35	0.0197	0.500
40	0.0165	0.420
45	0.0138	0.351
50	0.0117	0.297
60	0.0098	0.250
70	0.0083	0.210
80	0.0070	0.177

Tabla 1.2.3.1.2 Tamaños de Grava para realizar los Empaques

1.2.4 Tipos de empaque con grava

Los empaques se pueden clasificar de varias formas, por la capacidad de recuperarles, mecanismos de colocación o según su aplicación. La manera más común de clasificarlos es según su capacidad para recuperarles:

- ✓ **Empaques permanentes:** Son aquellos que una vez colocados no pueden ser extraídos del pozo. La tubería de producción es también aceptada dentro o sobre el empaque. Los empaques permanentes pueden también correrse integralmente con la sarta de tuberías.

- ✓ **Empaques recuperables:** Son aquellos diseñados para ser recuperados y reinstalados en el pozo. Son colocados integralmente con la sarta de tuberías y requieren de la manipulación mecánica o de presión hidráulica para su asentamiento.

1.2.5 Productividad de los Empaques de Grava

La productividad de un pozo empacado con grava se ve afectada por la caída de presión a través del empaque de grava, si la caída de presión es significativa comparada con la caída de presión en la formación. En un empaque a hoyo abierto, la caída de presión a través de la grava debe ser muy pequeña comparada con la formación, sin embargo, la permeabilidad de la grava se ve severamente reducida por partículas de la formación. Si la productividad es expresada en base al radio del liner, el empaque de grava debe contribuir creando un efecto de daño pequeño pero negativo, así para los efectos prácticos, el pozo se comportará como un pozo de mayor diámetro.

En cuanto a taponeamiento de la grava creado por el revoque, se evidencia que causa un problema en las operaciones de empaque con grava. El revoque taponará la grava cuando el pozo produzca, a menos que sea dispersable en los fluidos producidos y el tamaño máximo de partículas de estos sólidos sea menor que un tercio del tamaño de las aberturas entre la grava.

Actualmente, se comienza a utilizar una nueva tecnología la cual usa lodos degradables con los fluidos de la formación en un período de tiempo de aproximadamente dos días.

1.3 Pozos Verticales, Horizontales y Desviados

A mediados de la década de los 80, se perforaban casi exclusivamente pozos verticales. Posteriormente, se fueron introduciendo progresivamente pozos

desviados los cuales permitieron perforar a una distancia considerable de la formación objetivo. Este tipo de pozo es empleado particularmente costa afuera, donde las perforaciones desde plataformas son necesarias, además que construir plataformas individuales resulta antieconómico para drenar el yacimiento.

Aunque el método fue desarrollado inicialmente por los ingenieros soviéticos en el año 1950, su empleo fue muy limitado hasta la década de los 80 cuando dos compañías del oeste, Agip y Elf, reportaron resultados positivos en pozos costa afuera en el Mar Adriático. En dichas perforaciones no solamente se mejoró la producción de petróleo, sino también se disminuyó la relación agua-petróleo, un problema considerable en los pozos verticales.

Este suceso literalmente significó una nueva era en la industria petrolera. Para 1998 los pozos horizontales representaron alrededor del 10% de los pozos

perforados y esta cifra progresivamente ha ido incrementando. En este sentido se estimó que para el año 2000 un 50% de la producción de hidrocarburos a nivel mundial provino de pozos horizontales y multilaterales.

Las siguientes tres categorías de pozo horizontales están basadas en el ángulo donde la trayectoria de los pozos cambia de vertical a horizontal:

1.3.1 Radio-largo⁽⁵⁾:

Dichos pozos cambian el ángulo de 2° a 8° por cada 100 pies, entonces, ellos requieren un punto de entrada vertical alrededor de 1500 pies alejado de la formación u arena objetivo. Para estos pozos, pueden ser empleados los ensamblajes de perforación convencionales. La distancia horizontal puede ser considerable, algunos de ellos han registrado 10.000 pies, pero el rango común está comprendido entre 3.000 y 4.000 pies, como se ve en la fig. 1.3.1

1.3.2 Radio-medio⁽⁵⁾:

Estos pozos requieren aproximadamente 300 ft para convertirlos de vertical a horizontal. Este tipo de pozos requieren de equipos de control direccional semejantes a los de radio largo, pero las prácticas de perforación poseen algunas variantes

1.3.3 Radio-corto⁽⁵⁾:

Pueden cambiar de vertical a horizontal en 50 ft o menos. Se hacen con ensamblajes especialmente articulados, y los diámetros típicos son generalmente más pequeños que los pozos convencionales. Estos pozos suelen perforarse frecuentemente con coil tubing.

Un buen perforador debe siempre ayudarse con equipos como el MWD, sin descuidar una apropiada información geológica del yacimiento a explotar. Dicho equipo puede mantener una precisión ± 2 ft alrededor del objetivo.

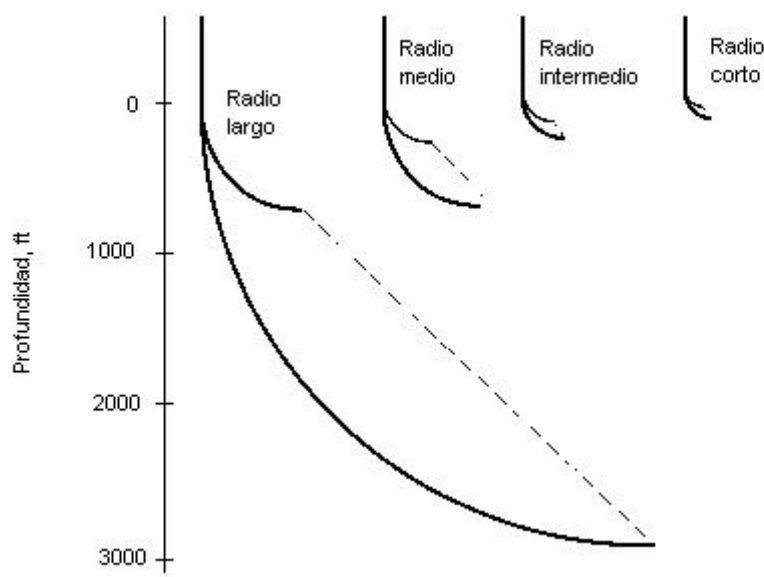


Fig 1.3.1 Pozos altamente inclinados según su radio.

Clasificación	Tasa de inclinación (°/100 ft)	Radio (ft)
Largo	2 a 8	2865 a 716
Medio	8 a 30	716 a 191
Intermedio	30 a 60	191 a 95
Corto	60 a 200	95 a 28

Tabla 1.3.1 Pozos altamente inclinados según su radio.

1.4 PERMEABILIDAD – ECUACIÓN DE DARCY ⁽¹⁰⁾

A continuación se presenta un tema vital para el desarrollo de este trabajo, como lo es la permeabilidad, concepto que se utilizará para medir los efectos del revoque sobre el sistema grava / liner.

La permeabilidad es una característica inherente a la roca, la cual da una idea de la habilidad de la roca para dejar fluir un fluido a través de los canales que constituyen el volumen poroso interconectado. Se expresa mediante una unidad denominada Darcy, debida al francés Henry Darcy, 1856. Quien fue el primero en estudiar el paso de fluido (agua) a través de un medio poroso (filtros de arena).

Consideremos un medio poroso tal como lo muestra la figura:

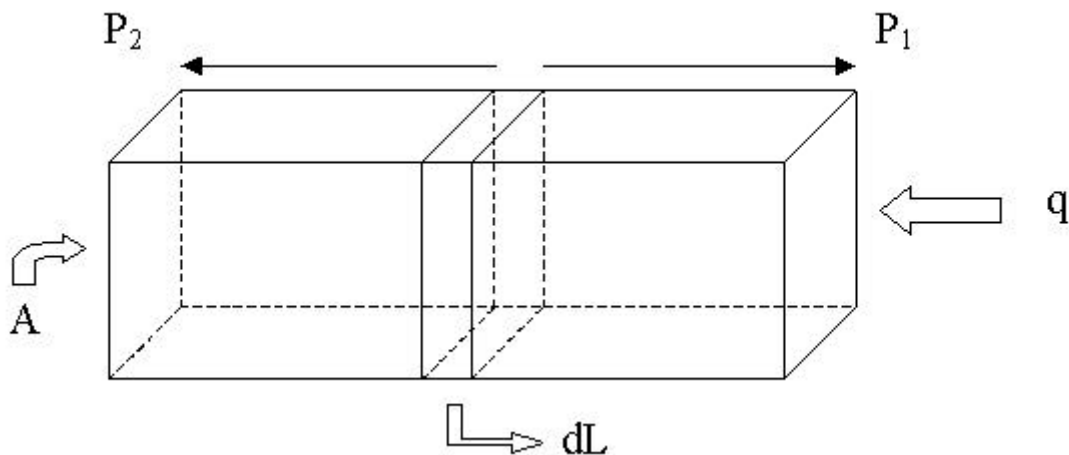


Fig 1.4.1 Representación típica de un sistema de flujo lineal atravesado por un fluido de viscosidad μ .

Se dice que dicho medio tiene la permeabilidad de un Darcy, cuando un fluido de una sola fase con una viscosidad de un centipoise, y que llena completamente el espacio intergranular, fluye a través de él bajo condiciones de flujo viscoso a una tasa de un centímetro cúbico por segundo, por una área transversal de un centímetro cuadrado, por centímetro de longitud y bajo una diferencial de presión de una atmósfera.

La expresión matemática de la Ley de Darcy es la siguiente:

$$v = \frac{q}{A} = - \frac{k}{\mu} \frac{dp}{dl}$$

(Ec. 1.9)

Donde:

v => Velocidad aparente de flujo, cm/s

q => Tasa de flujo, ml/s

A => Área efectiva perpendicular al flujo, cm²

μ => Viscosidad del fluido, cp

$\frac{dp}{dl}$ => Gradiente de presión en la dirección del flujo, atm/s

En la gráfica 1.4.1 el gradiente $\frac{dp}{dl}$ pasando a flujo lineal se expresará como::

$$\frac{\Delta p}{L}, \text{ con } \Delta p = p_1 - p_2, \text{ siendo } p_1 > p_2 \text{ y la dirección del flujo va de } p_1 \text{ a } p_2 .$$

Donde L es la longitud del medio poroso.

La ecuación 1.9 puede ser integrada para diferentes condiciones de flujo las cuales se discuten a continuación:

1.4.1 Flujo Incompresible en un Sistema Lineal Horizontal:

Arreglando la ecuación de Darcy, se tiene que:

$$\frac{q}{A} dl \Rightarrow -\frac{k}{m} dp \quad (\text{Ec. 1.10})$$

$$\frac{q}{A} \int_0^L dl = -\frac{k}{m} \int_{p_1}^{p_2} dp \quad (\text{Ec. 1.11})$$

integrando:

$$\frac{q}{A} L = -\frac{k}{m} (p_2 - p_1) = \frac{k}{m} (p_1 - p_2) \quad (\text{Ec. 1.12})$$

despejando q se tiene que:

$$q = \frac{k * A * (p_1 - p_2)}{m * L} \quad (\text{Ec1.13})$$

1.4.2 Flujo compresible en un Sistema Lineal Horizontal:

El flujo de un fluido, tal como un gas, en el cual la densidad cambia con la presión, puede ser medido utilizando la misma ecuación anterior, pero la tasa de flujo resultante estará medida a una presión promedio.

1.4.3 Flujo Incompresible en un sistema Radial Horizontal:

Este tipo de modelo supone la consideración de elementos cilíndricos a través de los cuales fluye fluido incompresible hacia el pozo, tal como se muestra en la siguiente figura:

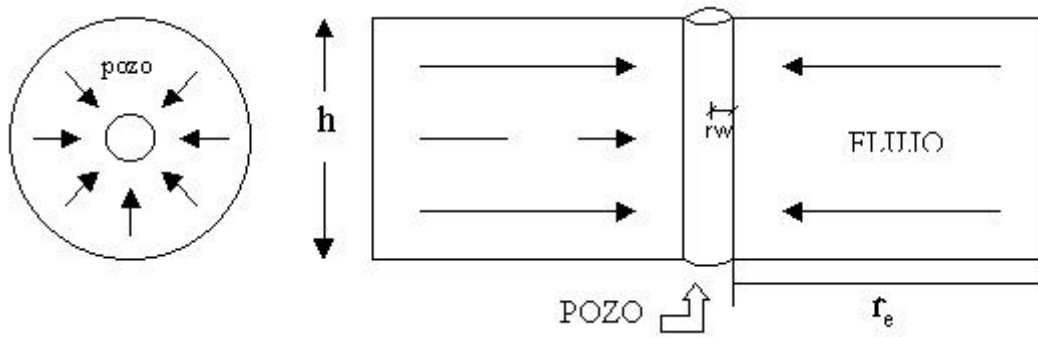


Fig. 1.4.3.1 Flujo Incompresible en un sistema Radial Horizontal

En este caso, la longitud del medio poroso (L) se toma como radio de cilindro (r), así la ecuación de Darcy se puede expresar de la siguiente manera:

$$\frac{q}{A} = - \frac{k}{m} \frac{dp}{dr} \quad (\text{Ec. 1.14})$$

Donde

r_e => radio exterior, donde actúa p_e .

r_w => radio interior (pozo), donde actúa p_w .

Si el yacimiento tiene espesor de arena (h), la superficie normal al flujo será $2\pi rh$ término que representa la superficie lateral del cilindro. Denominando r_e el radio de drenaje del yacimiento y r_w al radio del pozo, y considerando positivo al flujo proveniente del yacimiento hacia el pozo se tiene e integrando entre los límites r_e y r_w , tenemos:

$$q \int_{r_w}^{r_e} \frac{dr}{2\pi rh} = \frac{k}{m} \int_{p_w}^{p_e} dp \Rightarrow \frac{q}{2\pi h} \int_{r_w}^{r_e} \frac{dr}{r} = \frac{k}{m} \int_{p_w}^{p_e} dp \Rightarrow (\text{Ec. 1.15})$$

integrando y despejando q resulta:

$$\left. \frac{q}{2\pi h} \ln r \right|_{r_w}^{r_e} = \left. \frac{k}{\mu} \right|_{p_w}^{p_e} \quad \left. \vphantom{\frac{q}{2\pi h} \ln r} \right\} \quad (\text{Ec. 1.16})$$

$$q = \frac{2pkh(pe - pw)}{m \ln \frac{re}{rw}}$$

1.4.4 Flujo Compresible en un Sistema Radial Horizontal:

Se utiliza la misma ecuación, pero la tasa de flujo es medida a una presión promedio $(pe-pw)/2$.

Todas las ecuaciones descritas anteriormente están expresadas en unidades de laboratorio. Para transformarlas en unidades de campo es necesario considerar las siguientes equivalencias:

Área: de centímetros cuadrados a pies cuadrados.

Presión: de atmósferas a Lpca.

Espesor: de centímetros a pies.

Tasa de Flujo: de centímetros cúbicos por segundo a barriles por día.

Permeabilidad: darcys.

Viscosidad: centipoises.

Bajo estas consideraciones, las ecuaciones anteriores quedan expresadas así:

$$q = 1.127 \frac{kA(p_1 - p_2)}{mL} \quad (\text{Ec. 1.17})$$

$$q = 3.07 \frac{(p_e - p_w)}{\mu \ln \frac{r_e}{r_w}} k A$$

(Ec. 1.18)

Es conveniente recordar siempre las condiciones bajo las cuales se considera válida la Ecuación de Darcy en su forma elemental:

- ✓ Fluido incompresible.
- ✓ Fluido homogéneo.
- ✓ Fluido no reacciona con el medio poroso.
- ✓ El flujo está en equilibrio dinámico.
- ✓ El flujo es isotérmico.
- ✓ Flujo horizontal.
- ✓ La viscosidad es independiente de la presión.
- ✓ Fluido saturando 100% al medio poroso.

1.4.5 Tipos de permeabilidad

De acuerdo a las fases almacenadas en el medio poroso, la permeabilidad se puede clasificar en tres tipos:

1.4.5.1 Permeabilidad Absoluta (k): Cuando existe una sola fase, la cual satura 100% el medio poroso.

1.4.5.2 Permeabilidad Efectiva (ke): Cuando existe más de una fase en el medio poroso, las cuales fluyen simultáneamente. Esta permeabilidad es función de la saturación del fluido considerado, y como es lógico suponer, será siempre menor que la permeabilidad absoluta.

1.4.5.3 Permeabilidad relativa (k_r): Se refiere a la relación entre la efectiva y la absoluta. Esta permeabilidad también es función de la saturación del fluido y será siempre menor o igual a la unidad.

$$k_r = \frac{k_{ei}}{k} \quad (\text{Ec.1.19})$$

Donde:

i = Petróleo, agua o gas.

1.4.6 Factores que afectan la Permeabilidad

La permeabilidad está afectada en el yacimiento, por los mismos factores que afectan a la porosidad tales como: presión de sobrecarga, grado de compactación de la roca, tamaño y distribución de los granos, etc.

Además, es importante tomar en cuenta que las medidas de permeabilidad están afectadas a su vez por el efecto de deslizamiento de las moléculas y por la presencia de líquidos reactivos en el medio poroso.

1.4.7 Valores Promedios de Permeabilidad

El medio poroso no presenta homogeneidad en toda su extensión y la variación de permeabilidad, en sentido vertical y horizontal. Puede ser considerada suponiendo el medio formado por estratos en paralelo y en serie respectivamente; pudiéndose obtener un valor representativo de la permeabilidad de la siguiente manera:

1.4.7.1 Capas en Paralelo:

Llamado así porque el flujo es paralelo a la dirección de las capas.

1.4.7.1.1 Flujo Lineal / medio isotrópico

Esta configuración se puede apreciar en la Fig. 1.4.7.1.1.1

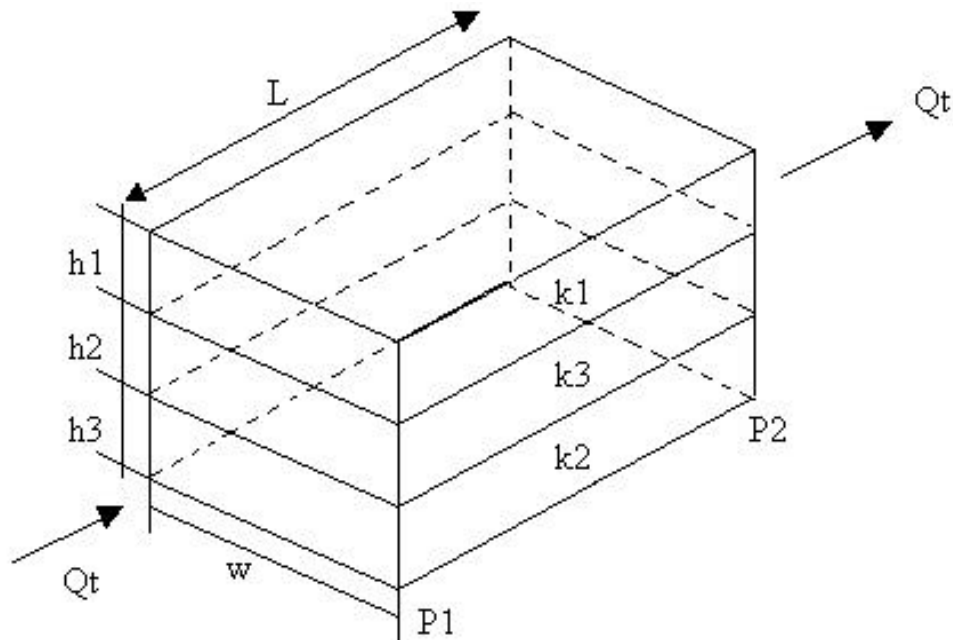


Fig. 1.4.7.1.1.1 Flujo lineal a través de capas en paralelo

Transformando el paquete anterior en uno de permeabilidades promedio se tiene que:

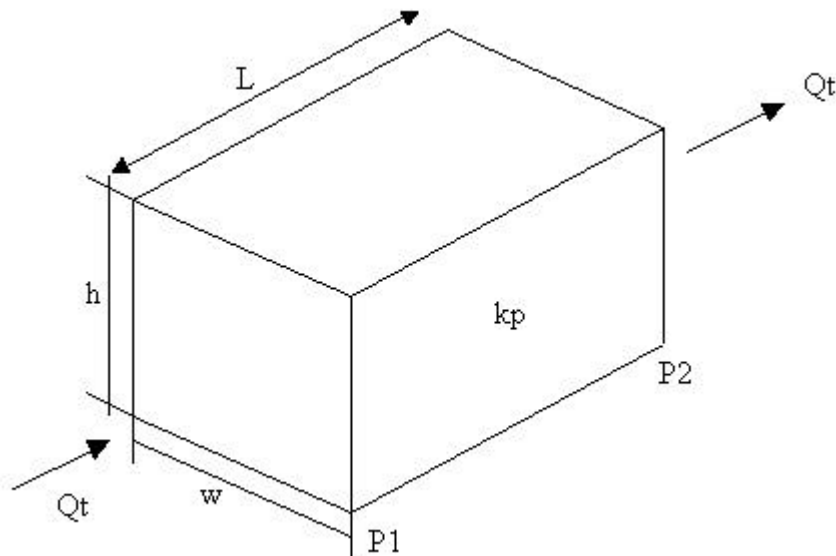


Fig 1.4.7.1.1.2 Flujo lineal a través de capas en paralelo con permeabilidad promedio

Suposiciones:

$$q_t \neq q_1 \neq q_2 \neq q_3 \Rightarrow q_t = q_1 + q_2 + q_3 \quad \text{Ec. 1.20}$$

$$k_1 \neq k_2 \neq k_3 \neq k_p \quad \text{Ec. 1.21}$$

$$w_1 = w_2 = w_3 = w \quad \text{Ec. 1.22}$$

$$L_1 = L_2 = L_3 = L \quad \text{Ec. 1.23}$$

$$p_1 \neq p_2 \neq p_3 \neq p \quad \text{Ec. 1.24}$$

$$h_1 \neq h_2 \neq h_3 \neq h \quad \text{Ec. 1.25}$$

De la Ec. 1.20:

$$Q_t = q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \sum_{i=1}^n q_i$$

Reemplazando la Ley de Darcy para flujo lineal y despejando q en cada capa, tiene que:

$$\frac{k_p * w * h_t}{m} * \frac{\Delta p}{L} = \frac{k_1 * w * h_1}{m} * \frac{\Delta p}{L} + \frac{k_2 * w * h_2}{m} * \frac{\Delta p}{L} + \frac{k_3 * w * h_3}{m} * \frac{\Delta p}{L} \quad (\text{Ec. 1.26})$$

Simplificando:

$$K_p * h_t = k_1 * h_1 + k_2 * h_2 + k_3 * h_3 \Rightarrow k_p = \frac{k_1 * h_1 + k_2 * h_2 + k_3 * h_3}{h_t} \quad (\text{Ec. 1.27})$$

En general para n capas:

$$k_p = \frac{\sum_{i=1}^n k_i * h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \quad (\text{Ec.1.28})$$

1.4.7.1.2 Flujo Radial:

Dicho flujo simula permeabilidades para capas en paralelo en los alrededores de un pozo, tal como se aprecia en las Fig. 1.4.7.1.2.1 y Fig. 1.4.7.2.2

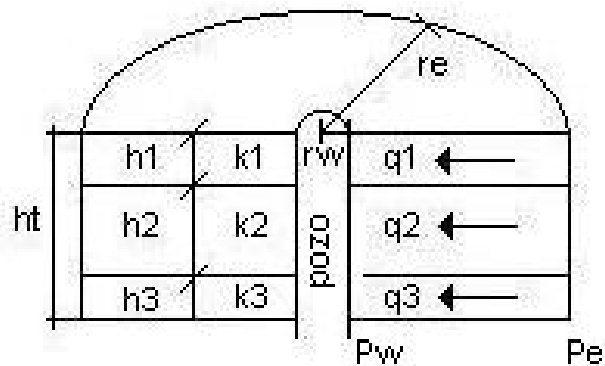


Fig. 1.4.7.1.2.1 Flujo Radial a través de capas en paralelo

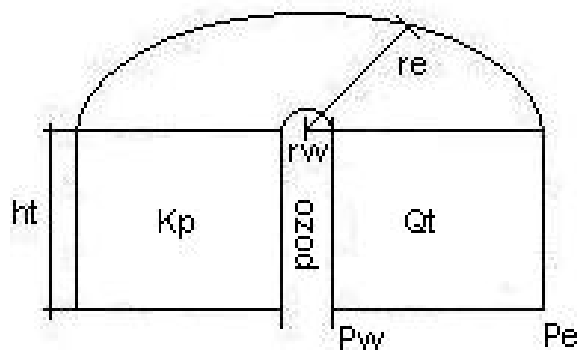


Fig. 1.4.7.1.2.2 Flujo radial a través de capas en paralelo con permeabilidad promedio

Como: $Q_t = q_1 + q_2 + q_3$

Aplicando la Ley de Darcy para flujo radial en cada capa resulta:

$$\left. \begin{aligned} \frac{2 * p * k_p * h_t}{m} \frac{\Delta p}{\ln \frac{r_e}{r_w}} &= \frac{2 * p * k_1 * h_1}{m} \frac{\Delta p}{\ln \frac{r_e}{r_w}} + \\ \frac{2 * p * k_2 * h_2}{m} \frac{\Delta p}{\ln \frac{r_e}{r_w}} &+ \frac{2 * p * k_3 * h_3}{m} \frac{\Delta p}{\ln \frac{r_e}{r_w}} \end{aligned} \right\} \quad (\text{Ec. 1.29})$$

Simplificando se tiene:

$$K_p * h_t = k_1 * h_1 + k_2 * h_2 + k_3 * h_3 \quad (\text{Ec. 1.30})$$

Luego:

$$k_p = \frac{k_1 * h_1 + k_2 * h_2 + k_3 * h_3}{h_t} \quad (\text{Ec. 1.31})$$

En general para n capas:

$$k_p = \frac{\sum_{i=1}^n k_i * h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \quad (\text{Ec. 1.32})$$

Con las ecuaciones 1.28 y 1.32 se puede calcular la permeabilidad promedio de un yacimiento de capas en paralelo con flujo lineal y flujo radial, para los cuales el promedio de permeabilidades se comporta de manera similar.

Capas en Serie:

Al igual que en el caso donde s
paralelo, existe un procedimiento para calcular permeabilidades de capas porosas
dispuestas perpendicularmente a la dirección del flujo, o en serie.

1.4.7.2.1 Flujo Lineal

Este caso se puede ilustrar en las siguientes figuras:

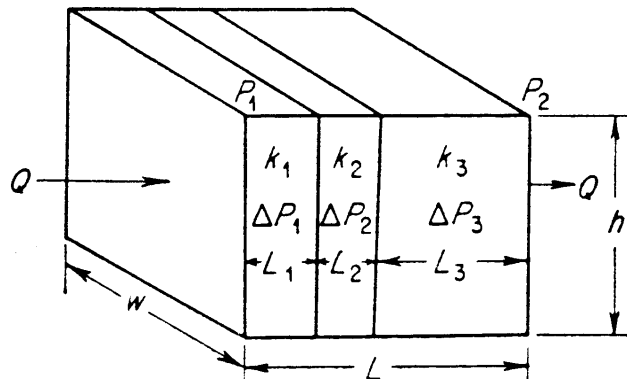


Fig. 1.4.7.2.1.1 Flujo lineal a través de capas en serie

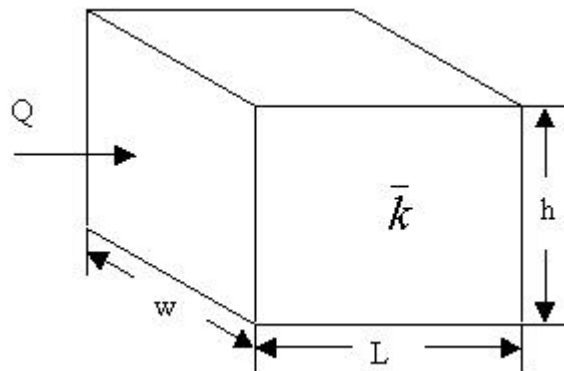


Fig. 1.4.7.2.1.2 Flujo lineal a través de capas en serie con permeabilidad promedia

Como:

$$Q_t = q_1 = q_2 = q_3 \quad (\text{Ec. 1.33})$$

$$P_1 - P_2 = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 \quad (\text{Ec. 1.34})$$

$$L = L_1 + L_2 + L_3 = \sum_{j=1}^3 L_j \quad (\text{Ec. 1.35})$$

asimismo, se tiene que aplicando la Ley de Darcy para flujo lineal:

$$Q = \frac{k * (A) * h * \Delta P}{m * L}$$

$$Q_1 = \frac{k_1 * w * h * \Delta P_1}{m * L_1} \quad (\text{Ec. 1.36})$$

$$Q_2 = \frac{k_2 * w * h * \Delta P_2}{m * L_2} \quad (\text{Ec. 1.37})$$

$$Q_3 = \frac{k_3 * w * h * \Delta P_3}{m * L_3} \quad (\text{Ec. 1.38})$$

$$Q_t = \frac{\bar{k} * w * h * (P_1 - P_2)}{m * L_t} \quad (\text{Ec. 1.39})$$

Reacomodando y sustituyendo en la Ec. 1.33 queda:

$$\frac{Q_t * m * L}{\bar{k} * w * h} = \frac{Q_1 * m * L_1}{k_1 * w * h} + \frac{Q_2 * m * L_2}{k_2 * w * h} + \frac{Q_3 * m * L_3}{k_3 * w * h} \quad (\text{Ec. 1.40})$$

$$\frac{L}{\bar{k}} \frac{Q_t * m}{w * h} = \frac{Q_t * m}{w * h} * \left(\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} \right) \Rightarrow \frac{L}{\bar{k}} = \sum_{j=1}^3 \frac{L_j}{k_j} \quad (\text{Ec. 1.41})$$

En general:

$$\bar{k} = \frac{L}{\sum_{j=1} \frac{L_j}{k_j}} \quad (\text{Ec. 1.42})$$

1.4.7.2.2 Flujo Radial:

Se puede observar en la figura 1.4.7.2.2.1, la cual se muestra a continuación:

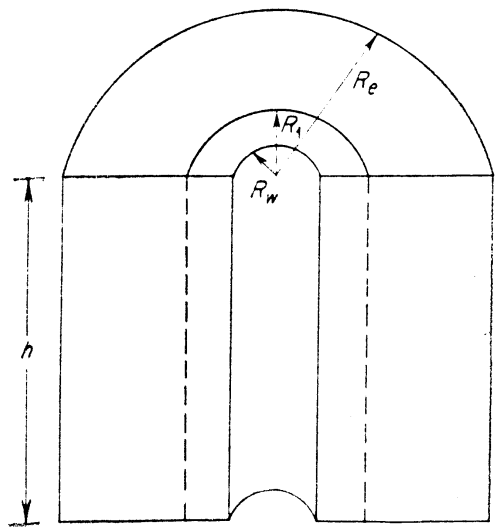


Fig. 1.4.7.2.2.1 Flujo radial a través de capas en serie con permeabilidad promedio

El razonamiento que se aplicó anteriormente en todos los casos puede ser empleado para este sistema, en definitiva, se tiene que:

$$\bar{k} = \frac{\log \frac{r_e}{r_w}}{\sum_{j=1}^n \frac{\log \frac{r_j}{r_{j-1}}}{k_j}} \quad (\text{Ec.1.43})$$

Además de estas ecuaciones aplicables para estimar permeabilidades promedios en estratos combinados, también es posible calcular promedios aritméticos, ponderados o estadísticos, en caso de necesitarse un valor representativo de permeabilidad para todo el yacimiento. Las ecuaciones resultantes son iguales a las obtenidas en el cálculo de porosidades promedio, pero lógicamente aplicadas a permeabilidad.

Todo lo discutido anteriormente sobre permeabilidad y ecuación de flujo, es válido para aquellos casos en los cuales existe una sola fase (agua, petróleo o gas) fluyendo en el medio poroso. En caso de existir varias fases fluyendo simultáneamente es necesario calcular las saturaciones de dichas fases, así como también las propiedades del medio poroso que dependen del contenido de fluidos.

1.4.8 Procedimiento práctico de determinación de permeabilidades ⁽⁹⁾

La permeabilidad de un medio poroso puede ser determinada por muestras extraídas de la formación o por pruebas in-situ como el Build Up. El método preferible siempre a utilizar suele ser el de extracción de muestras, ya que así se puede determinar la permeabilidad de la roca a los diferentes fluidos que le pueden invadir. Aunque este método frecuentemente resulta ser mas costoso ya que es necesario utilizar ensamblajes especiales para perforar.

Para determinar la permeabilidad del medio, este debe estar completamente saturado con el fluido al que se le vaya a evaluar.

Luego de determinar la viscosidad del fluido saturante, se debe proceder a realizar varias pruebas a diferentes tasas de flujo y graficándoles como se muestra en la Figura 1.4.8.

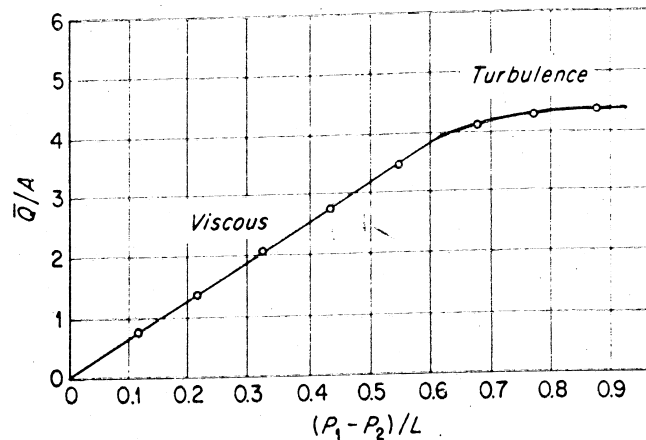


Figura 1.4.8 La pendiente de la parte recta de la gráfica representa la permeabilidad del sistema.

Donde:

\bar{Q} => Caudal promedio calculado en el Apéndice C en mililitros.

A => Área transversal de flujo en cm^2

P_1 y P_2 => Presiones de entrada y salida del sistema a estudiar respectivamente en atm abs

L => Longitud del flujo en cm

Es importante resaltar que se deben de graficar varios puntos para así poder determinar con precisión el punto donde el flujo deja de ser laminar para hacerse turbulento.

La figura 1.4.8 es el resultado de graficar la siguiente ecuación:

$$K = \bar{Q} * \eta * L / A * \Delta P^{(9)} \quad (\text{Eq. 1.44})$$

Donde:

η => Viscosidad del fluido en cp

ÄP => Variación de presión calculada en el apéndice C en atm abs.

1.5 Nuevo Criterio de Selección de Pantallas o Liners ⁽⁸⁾

Para poder tener un criterio actualizado de selección de mallas y tamaños de grava, es necesario consultar diferente bibliografía entre la cual resulta de particular importancia resaltar el trabajo realizado por Asadi, M y Conway, M. 2001, se desarrolló un modelo a gran escala de los alrededores del pozo y fue usado para evaluar el efecto de pega existente entre el revoque y el liner ranurado y para estudiar varios métodos de limpieza de hoyo como acidificación, rompedores enzimáticos, y oxidantes. Se formó un pozo simulado con una tubería de Plexiglás de 6 pies de largo con 6 pulgadas de diámetro interno a la cual se le adhirió arena en las paredes internas para simular una formación poco consolidada.

Mas detalladamente, la “formación” se construyó colocando una pantalla permeable cilíndrica de PVC de 5 pulgadas de diámetro externo dentro de la tubería de 6 pies de largo por 6 pulgadas de diámetro interno, y a su vez se añadió en el espacio anular formado una lechada de arena de un diámetro promedio (d50) de 151µm y agua. Se congeló todo esto de forma vertical. A dicha formación se le construyó un revoque de un lodo de 3% de KCl y carbonato de calcio y un poco de sólidos de cuarzo para simular un revoque eficiente, el cuál se dejo en el “pozo” por unas 24 horas. a 150° F y a una presión de 150 lpc.

Una vez hecho todo esto, el modelo fue colocado de forma horizontal. (Ver la disposición final del arreglo) fig. 1.6.1.

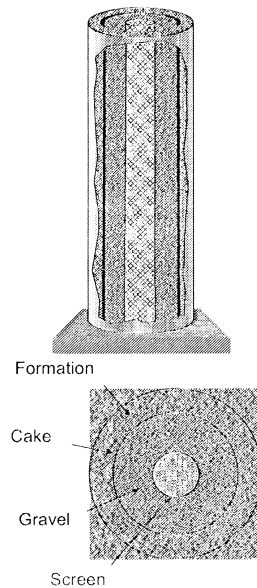


Fig. 1.6.1 Equipo empleado en este trabajo para la simulación del pozo

Al RDF también se le agregaron 25 lb/bbl de revdust (arcillas que hacen las veces de sólidos de perforación) para simular condiciones de campo. La viscosidad del RDF fue medida luego de añadir el simulador de los sólidos de perforación no inertes y se muestra en la tabla 1.6.1.

Data Fann 35			
RPM	LECTURA	FUERZA DE CORTE 1/s	VISCOSIDAD cp
3	10	5	1000
6	12	10	600
100	24	170	72
200	30	340	45
300	35	510	35
600	45	1021	22.5
Temperature	58°F		

Tabla 1.6.1 Viscosidad del RDF

Luego de formado el revoque, el residuo de lodo se hizo circular y se colocó un liner ranurado en el centro del “pozo”. Entonces se evaluó el efecto de pega existente entre el revoque y el liner ranurado con y sin la presencia de empaque de grava, midiendo las caídas de presiones a través del liner durante el proceso

de producción. El modelo fue completamente instrumentado e incluyó sensores de presión, un densímetro y un medidor de flujo para asistir electrónicamente a la recolección de data. Basados en las variaciones de presión en los sensores, se midió el grado de taponamiento del liner como resultado de la invasión del revoque hacia el empaque de grava y el liner. Finalmente se aplicaron varios métodos de limpieza al sistema y se compararon sus efectividades.

De acuerdo al criterio de selección, la grava seleccionada fue de 20/40 US mesh, sin embargo, para evaluar el efecto del empaque, algunas pruebas se empacaron con 40/60 US mesh. De acuerdo a esto, se utilizaron pantallas (simulando liners ranurados) de 210 y 125 μ m respectivamente. Los resultados de las pruebas se analizaron a continuación:

Prueba N° 1:

Una vez colocado todo el arreglo, se dejó correr dentro del modelo de Plexiglás una solución al 10% de HCl, dejándola en remojo por 6 horas a 150° F bajo condiciones estáticas. Luego se hizo circular desde las paredes del modelo, una solución de KCl al 3%, a una tasa de 2 gpm. La caída de presión a través del sistema fue de 62 lpc. Además de esto, se procedió a remover la pantalla ranurada y se limpió con agua destilada, para luego volverla a colocar dentro del modelo y volver a medir la caída de presión en el sistema. Debido a que las caídas de presión no resultaron ser iguales, se pudo concluir que la pantalla fue invadida con partículas del empaque o la formación. No se especifica en el trabajo si se utilizó grava silícica.

Prueba N° 2:

Esta prueba fue básicamente una confirmación de la anterior. Se utilizó el mismo sistema que en la prueba 1, solo que esta vez no se le formó un revoque ni se le

corrió el ácido. La caída de presión a través del sistema fue de 75 lpc. y también la pantalla resultó invadida con finos de la formación, confirmando la mala selección de la pantalla.

Prueba N° 3:

Para esta prueba se utilizó una pantalla de 0,004 plg, con un revoque adherido a la formación y empacada con grava 20/40 mesh. El sistema se sometió a una limpieza con HCl al 10% , a 25 lpc, a 150° F, por 6 horas en condiciones estáticas. Después de esto, se inyectó por las paredes del modelo una solución de KCl al 3% y la caída de presión en el sistema fue de 2 lpc, a una tasa de inyección de 2 gpm. Esto representó un incremento en la eficiencia del sistema de 41% comparado con la prueba N° 1, donde no se aplicó ninguna presión sobre el ácido que limpiaba el revoque.

Prueba N° 4:

Esta resultó ser igual a la prueba N° 2, solo que esta vez lo que se modificó fue la especificación de la pantalla se utilizó una pantalla de 0,01 plg de apertura. Se determinó entonces que el diámetro mayor de las partículas del sistema fue de 250 μ m. Aparte de esto, los resultados fueron similares entre las mencionadas pruebas.

Prueba N° 5

Se usó una pantalla de 0,01 plg para un sistema con revoque y grava 20/40 mesh. Colocando en el sistema una solución de HCl al 10% y a 25 lpc. En este caso, se detectó una reducción en la caída de presión de 20 unidades.

Prueba N° 6

Se utilizó una pantalla de 0,01 plg, con grava de 20/40 mesh. Pero, en este caso, en vez de correr HCl, se utilizó un sistema enzimático el “Enzyme-S” bajo una presión de 25 lpc. Esta vez se obtuvo un aumento en la eficiencia de limpiado en un 50%, además se indica que de haberse mezclado varios tipos de enzimas, la eficiencia hubiese aumentado aún mas.

Pruebas N° 7 y 8

En estas pruebas se utilizaron pantallas de 0,004 plg y grava de 40/60 mesh. La diferencia entre ellas, fue básicamente que en una se utilizó revoque y en la otra no. Pero se presentó un serio problema que fue la invasión de finos sobre la pantalla. Por lo cuál, sus resultados no son punto de referencia en gran parte.

Prueba N° 9

Para esta prueba se utilizó una pantalla de 0,008 plg con grava 40/60 mesh sin revoque. Sin embargo a pesar de que la apertura de la pantalla fue mayor que en las pruebas 7 y 8, no se detectaron canales de flujos de finos. Mas que esto, la caída de presión a través de la pantalla disminuyó en 20 lpc después de 60 minutos bombeando. No se detectó tampoco invasión a la pantalla antes ni después de limpiarla. Esto arrojó un nuevo criterio para la selección de las pantallas, indicando que la máxima apertura que se debe tener de pantalla puede ser correspondiente al d50 que se tenga de los granos de la formación.

Prueba N° 10

Una vez establecido el criterio de selección de pantallas, se procedió con esta prueba a medir la eficiencia de un sistema limpiador basado en HCl al 10%, la

cuál resultó ser 22% mejor que la de la prueba N° 6, ya que no se detectaron pegas de finos en la pantalla.

Prueba N° 11

Fue la misma prueba N° 10, solo que esta vez se utilizó el limpiador enzimático Enzyme-S, lo cuál dio un resultado superior en 44% al de la prueba N° 11. Quedando entonces este modelo como la mejor aproximación aplicable en campo.

Entre las conclusiones del trabajo se resalta que:

- ✓ La presencia del revoque restringe el flujo desde la formación hacia el empaque de grava y la pantalla hasta en un 40%. Esto enfatiza la importancia de la limpieza del revoque.
- ✓ El uso de limpiadores enzimáticos mejora hasta en un 60% las restricciones de flujo causadas por la presencia del revoque, lo cual es 20% mejor que utilizar HCl al 10%. Un nuevo criterio se utiliza aquí para la selección apropiada de las pantallas, el cual indica que la apertura necesaria debe ser igual o menor que la mitad del d_{50} del empaque de grava. Al contrario que en la literatura donde se indica que el tamaño de la pantalla debe ser igual o menor que la partícula mas pequeña del empaque.

2 ANÁLISIS DEL PROBLEMA

Una preocupación que ha sido manifestada por la gerencia de PDVSA EPM es la reducción de permeabilidad de empaques de grava en pozos productores altamente inclinados, porque el revoque que se deposita en la pared de la formación productora no es removido. Hasta ahora se han implementado varios procedimientos operacionales para limpiar el revoque antes o después de asentar el empaque.

Sin embargo, la pregunta permanece: ¿es necesario remover el revoque de la pared de la formación de interés? Una pregunta derivada de la interrogante anterior es ¿cuánto efecto reductor tiene el revoque sobre el empaque?

En general, el volumen del empaque es muy grande en relación con el volumen de los sólidos que forman el revoque.

Las preguntas claves que se generan de este análisis son:

1. ¿Cuál sería la percepción de la reducción de permeabilidad del empaque por el desprendimiento del revoque, si éste no es removido previo al asentamiento del empaque?
2. ¿Qué método es más efectivo en la remoción del revoque?
3. ¿Cuál debe ser la secuencia operacional a utilizar?

3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El procedimiento experimental se ha dividido en cinco fases las cuales contienen un resumen de la batería de pruebas realizadas en el laboratorio.

Previo al desarrollo de las fases, se efectuó un análisis para determinar el disco adecuado que simulara la formación productora, como se muestra en el apéndice C, sección C3.

Dichas fases son las siguientes:

Fase 1: Determinación de caudal en la bomba manual y presión de desprendimiento de revoque en el RDF

En esta fase se llevó a cabo la determinación de:

- ✓ Caudal de la bomba manual.
- ✓ Rango de presiones de desprendimiento de revoque de RDF
- ✓ Rango de presiones de desprendimiento de revoque de RDF con el sistema hidráulico.

Fase 2: Determinación de la caída de permeabilidad producida por el revoque de RDF

En esta fase determinaron los siguientes parámetros:

- ✓ Caída de permeabilidad producida por el revoque de RDF.
- ✓ Viscosidad del fluido hidráulico a 150° F.
- ✓ Permeabilidad al fluido hidráulico utilizado de la grava 20/40 mesh.
- ✓ Permeabilidad al aceite del núcleo de cerámica
- ✓ Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ grava.
- ✓ Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ grava saturada con salmuera.

- ✓ Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de RDF/ grava saturada con salmuera.

Fase 3: Determinación de la eficiencia de algunos limpiadores para la remoción del revoque en el RDF.

Este paso contiene cuatro importantes limpiadores del revoque, los cuales son hipoclorito, ácido clorhídrico, limpiador comercial y terpeno. De una manera más detallada, se presenta los pasos a seguir para la determinación de:

- ✓ Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de RDF/ grava saturada con GPCF + hipoclorito al 10%.
- ✓ Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de RDF/ grava saturada con GPCF + HCl al 10%,
- ✓ Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de RDF/ grava saturada con GPCF + Limpiador comercial.
- ✓ Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de RDF/ grava saturada con GPCF + Terpeno.

Fase 4: Determinación de la caída de permeabilidad ocasionada por el revoque en algunos lodos utilizados en campo.

En esta parte contiene el procedimiento a seguir para:

- ✓ Determinar la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo A, cuya formulación está contenido en el anexo 3, sección 11.7.1/ grava saturada con salmuera.
- ✓ Medir la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de Lodo B descrito en el anexo 3, sección 11.7.2/ grava saturada con salmuera.
- ✓ Obtener la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo C referenciado en el anexo 3, sección 11.7.3/ grava saturada con salmuera.

Fase 5: Determinación de la eficiencia de limpiadores de revoque en algunos lodos utilizados en campo.

Se trabajó con los mismos limpiadores aplicados al RDF, para determinar su aplicabilidad en tres sistemas comerciales: el lodo A, lodo B y el lodo cuyas formulaciones están contenidas en el anexo 3, secciones 11.7.1, 11.7.2 y 11.7.3.

En otras palabras se presenta el procedimiento para determinar:

- ✓ Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo A/ grava saturada con GPCF + hipoclorito al 10% cuya formulación está mencionada en el anexo 11.7.6.
- ✓ Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo A/ grava saturada con GPCF + HCl al 10%.
- ✓ Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo A/ grava + GPCF con Limpiador comercial.
- ✓ Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo A/ grava + GPCF con Terpeno.
- ✓ Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de Lodo B/ grava saturada con GPCF + hipoclorito al 10%.
- ✓ Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de Lodo B/ grava saturada con GPCF + HCl al 10%.
- ✓ Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de Lodo B/ grava saturada con GPCF + Limpiador comercial.
- ✓ Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de Lodo B/ grava saturada con GPCF + Terpeno.
- ✓ Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo C/ grava saturada con GPCF + hipoclorito al 10%
- ✓ Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo C/ grava saturada con GPCF + HCl al 10%.

- ✓ Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo C/ grava saturada con GPCF + Limpiador comercial.
- ✓ Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo C/ grava saturada con GPCF + Terpeno

A continuación se presenta el procedimiento experimental descrito en cada una de las pruebas efectuadas en el laboratorio:

3.1 Fase 1: Determinación de caudal en la bomba manual y presión de desprendimiento de revoque en el RDF

En esta fase se cuantificó el caudal de la bomba manual. Posteriormente mediante la aplicación del método de bombeo manual y el método de bombeo hidráulico se determinó la presión de desprendimiento del revoque.

3.1.1 Determinación del caudal de la bomba manual

Se llevó a cabo mediante el siguiente procedimiento:

- ✓ Se abrió llave la salida de la bomba hidráulica manual.
- ✓ Se bombearon carreras completas del émbolo de la bomba a diferentes velocidades de bombeo. Se define como carrera completa la distancia que recorre el pistón interno de la bomba en un solo sentido.
- ✓ Con una cantidad considerable de carreras completas bombeadas, se registraron las medidas de volumen recolectadas.

3.1.2 Pasos seguidos para la medición de presiones de desprendimiento de revoque con el sistema de bombeo manual.

Se utilizó la celda de ATAP para pruebas dinámicas, al igual que la celda de ATAP para cementación modificada para este Trabajo Especial de Grado como se aprecia en el apéndice B1.

Se empleó un núcleo de cerámica de 2" de diámetro por 1/4" de espesor y diámetro de poro de veinte micrones como el que se aprecia en la figura 2, apéndice B. El núcleo fue saturado con una solución de KCl al 3% aplicando un flujo normal a través de él.

Para realizar la medición de presiones de desprendimiento de revoque con el sistema de bombeo manual se siguieron los siguiente pasos:

- ✓ Se colocó el núcleo saturado en la parte inferior de la celda.
- ✓ Se llenó la celda hasta 1cm antes del tope con RDF.
- ✓ Se calentó la celda a 150° F y se aplicó un diferencial de presión de 150 lpc por un período de una hora para formar el revoque y obtener el filtrado (treinta minutos recolectando filtrado y otros treinta minutos para simular el tiempo operacional existente entre el final de la perforación y el comienzo de la operación de empaque).
- ✓ Se liberaron las presiones del sistema por el tope y por el fondo de la celda.
- ✓ Se procedió a llenar la celda hasta el tope con lodo de perforación.
- ✓ Se colocó el ensamblaje para proceder a contraflujo. Véase figuras 4 y 5 del apéndice B.

- ✓ Se procedió a realizar el contraflujo con el sistema de bombeo manual.

3.1.3 Determinación de presiones de desprendimiento de revoque (sistema hidráulico)

Al igual que en el procedimiento anterior, se utilizaron la celda de ATAP para pruebas dinámicas, y la celda de ATAP para cementación modificada para esta tesis como se ve en las figuras 1 y 2 del apéndice B.

Es necesario señalar que se presentó un problema de fuga de fluido hidráulico por la entrada de la celda modificada, por lo que se optó por no utilizarle más, y en su defecto se empleó la celda de filtrado dinámico, la cual aunque hace las

pruebas un poco engorrosas por sus grandes dimensiones en comparación con la celda modificada, proporciona medidas mucho mas confiables.

Se empleó un núcleo de cerámica de 2" de diámetro por 1/4" de espesor y diámetro de poro de veinte micrones. El núcleo fue saturado con una solución de KCl al 3% aplicando un flujo normal.

A continuación se presentan los pasos seguidos en esta prueba:

- ✓ Se colocó el núcleo saturado en la parte inferior de la celda.
- ✓ Posteriormente se llenó la celda hasta 1cm antes del tope con RDF.
- ✓ Se formó el revoque y se recogió el filtrado, para ello fue necesario calentar la celda a 150° F y aplicar un diferencial de presión de 150 lpc por un período de 1 hora. (treinta minutos recolectando filtrado y otros treinta minutos para simular el tiempo operacional existente entre el final de la perforación y el comienzo de la operación de empaque).
- ✓ Se liberaron las presiones del sistema por el tope y por el fondo de la celda.
- ✓ Se procedió a llenar la celda hasta el tope con RDF.
- ✓ Se colocó el ensamblaje para proceder a contraflujo. Como se muestra en la figura 6 del apéndice B. En donde el sistema inyector formado con la celda ATAP se llenó con fluido hidráulico el cual mediante la aplicación de distintas presiones fue desplazado hacia la celda receptora, es decir la celda que contenía el disco, el revoque y el RDF.
- ✓ Se procedió a realizar el contraflujo con el sistema de bombeo hidráulico.
- ✓ Se anotaron todas las mediciones de presión indicadas por los manómetros.
- ✓ Se registró el volumen recolectado en un cilindro graduado a la salida de la celda receptora.

3.2 Fase 2: Determinación de la eficiencia de algunos limpiadores para la remoción del revoque en el RDF

El objetivo fundamental de esta fase fue la medición de la caída de permeabilidad ocasionada por el revoque de RDF en comparación con el disco sin revoque. Para lograr dicha medición fue necesario efectuar una serie de pruebas, las cuales se detallan a continuación:

3.2.1 Determinación de la viscosidad del fluido hidráulico a 150° F

Se procedió a llenar un envase cilíndrico metálico con 250 cc de fluido hidráulico, dicho envase se colocó dentro de una camisa para celda ATAP de tal forma de elevar la temperatura de su contenido hasta 150° F. De seguido se colocó todo este arreglo debajo del viscosímetro Brookfield, el cual está dotado para dar mediciones de viscosidades en centipoises como se muestra en el anexo 1, fig. 11.5.

3.2.2 Procedimiento de determinación de permeabilidad al aceite de la grava 20/40 mesh.

Se utilizó la celda ATAP para pruebas dinámicas.

Se emplea la tapa inferior de la celda ATAP semejante a la que se utiliza en la configuración de la celda inyectora.

Para esta prueba se siguió el siguiente procedimiento experimental:

- ✓ Se saturó la grava con el fluido hidráulico haciendo pasar en contraflujo, hasta tener retorno por la parte superior de la celda.
- ✓ Se cerró la válvula de salida de la celda o válvula final que se aprecia en la figura 6 del apéndice B.
- ✓ Se presurizó el sistema.
- ✓ Se calentó todo el sistema hasta 150° F.
- ✓ Se colocó un cilindro graduado de 250 cc a la salida del sistema.

- ✓ Con un cronometro a mano, se abrió la válvula final, y al mismo tiempo se activó el cronómetro.
- ✓ Se tomaron las lecturas en los manómetros de entrada y de salida, las cuales se estabilizaron en un período no mayor a tres segundos.
- ✓ Al haber transcurrido veinte segundos desde el momento de apertura de la válvula final, esta se cerró mientras al mismo tiempo se retiraba el cilindro graduado evitando así posibles errores de medición.
- ✓ Este procedimiento se repite por lo menos tres veces, para así poder generar data y aplicar un estudio estadístico promedio por cada presión.

De igual forma, este procedimiento se realiza por lo menos cuatro presiones diferentes para así poder generar los puntos de las gráficas que acompañan a las tablas presentadas en los análisis de resultados y además determinar en que tipo de flujo nos encontramos y poder determinar de forma gráfica la permeabilidad del sistema que corresponda. En nuestro caso trabajamos con treinta, 50, 75 y 100 lpc.

Un procedimiento común para todos los casos es el de desmontaje de las pruebas, para el mismo se debe:

- ✓ Al terminar de realizar una prueba, por lo general se cierra la válvula final.
- ✓ Cerrar la bombona de nitrógeno.
- ✓ Cerrar las válvulas que van a la bombona de nitrógeno.
- ✓ Abrir la válvula de purga que se encuentra a la entrada de la celda inyectora de aceite hasta que la presión que marcan los manómetros que se encuentran a la entrada y salida de la celda receptora sea igual a cero lpc.
- ✓ Cerrar la entrada de la celda inyectora.
- ✓ Cerrar la salida de la celda receptora.
- ✓ Desconectar la manguera que une a las dos celdas. Esto se puede apreciar en la fig. 4 del apéndice B.

- ✓ Desmontar la celda receptora para el posterior análisis visual del revoque en el caso de que exista.
- ✓ Rellenar la celda inyectora con aceite, si es el caso.
- ✓ Proceder de forma inversa para volver a montar el sistema.

3.2.3 Procedimiento de determinación de permeabilidad al aceite del núcleo de cerámica

Se utilizó la celda ATAP para pruebas dinámicas.

Se emplea un núcleo de cerámica de 2" de diámetro por 1/4" de espesor y diámetro de poro de veinte micrones.

Se realizaron los siguientes pasos:

- ✓ Se satura el núcleo con el fluido hidráulico haciendo pasar en contraflujo, hasta tener retorno por la parte superior de la celda.
- ✓ Se coloca el núcleo ya saturado en la parte inferior de la celda.
- ✓ Se cierra la válvula de salida de la celda.
- ✓ La celda que funciona como surtidora de aceite se presuriza.
- ✓ Se calienta todo el sistema hasta 150° F.
- ✓ En este entonces se coloca un cilindro graduado de 250 cc a la salida del sistema
- ✓ Con un cronometro a mano, se procede a abrir la válvula final, activando el cronómetro.
- ✓ Se tomaron las lecturas en los manómetros de entrada y de salida, las cuales se estabilizaron en un período no mayor a tres segundos.
- ✓ Al haber transcurrido veinte segundos desde el momento de apertura de la válvula final, esta se debe cerrar y retirar al mismo tiempo el cilindro graduado para evitar errores de medición.

Se repitieron todos estos pasos dos veces por cada presión a la que se a realizó la prueba.

3.2.4 Procedimiento para medir la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ grava.

Se utilizaron tanto la celda ATAP como el núcleo de cerámica los cuales fueron descritos anteriormente y se siguió la siguiente secuencia:

- ✓ Se llenó la celda con grava 20/40 mesh hasta el tope, asegurando que la misma quede bien compactada utilizando una espátula que agite la grava. Se satura el núcleo y la grava con el fluido hidráulico haciendo pasar en contraflujo, hasta tener retorno por la parte superior de la celda.
- ✓ Se cerró la válvula de salida de la celda receptora.
- ✓ Se presurizó la celda inyectora.
- ✓ Se calentó todo el sistema hasta 150° F.
- ✓ Se colocó un cilindro graduado de 250 cc a la salida del sistema.
- ✓ Con un cronometro a mano, se procedió a abrir la válvula final, activando el cronómetro.
- ✓ Se tomaron las lecturas en los manómetros de entrada y de salida, las cuales se estabilizaron en un período no mayor a tres segundos.
- ✓ Al haber transcurrido veinte segundos desde el momento de apertura de la válvula final, esta se cerró se retiró al mismo tiempo el cilindro graduado para evitar errores de medición.

Este procedimiento se repitió tres veces para cada una de las diferentes presiones seleccionadas para verificar que tipo de flujo está presente en el medio poroso, y de esta forma determinar la permeabilidad para el flujo laminar.

3.2.5 Procedimiento para medir la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ grava saturada con GPCF (salmuera).

El objetivo de este punto fue simular las condiciones ideales de producción en un pozo altamente inclinado completado con empaque de grava, es decir,

cuando el revoque ha sido removido completamente para empezar a producir el fluido contenido en el yacimiento.

Los pasos a seguir fueron los siguientes:

- ✓ Se saturó el núcleo con el fluido hidráulico haciendo pasar un contraflujo a través de él.
- ✓ Se llenó la celda con una mezcla de fluido transportador (salmuera de 9,5 lb/gal) y grava 20/40 mesh hasta el tope, asegurando que la misma quede bien compactada utilizando una espátula que agite la grava.
- ✓ Se cierra tanto la válvula de entrada como la de salida de la celda de la celda receptora.
- ✓ Se presuriza el sistema a la presión deseada.

A partir de este paso se repite la secuencia descrita en la sección 3.2.4

3.2.6 Procedimiento para medir la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de RDF/ grava.

Este punto fue realizado para simular un pozo altamente inclinado completado con empaque de grava en condiciones de producción para determinar la restricción al flujo causada por el revoque de RDF.

La metodología a seguir fue la siguiente:

- ✓ El núcleo fue saturado con una solución de KCl al 3% aplicando un flujo normal.
- ✓ Se llenó la celda hasta 1cm antes del tope con RDF. Para formar el revoque y obtener un filtrado, para ello se calentó la celda a 150° F y se aplicó un diferencial de presión de 150 lpc por un período de 1 hora (treinta minutos recolectando filtrado y otros treinta minutos para simular el tiempo operacional existente entre el final de la perforación y el comienzo de la operación de empaque).

- ✓ Se removió cuidadosamente el RDF para no causar daños al revoque.
- ✓ Se llenó la celda con grava hasta el tope.
- ✓ Se cerró la celda receptora por su extremo superior.
- ✓ Se colocó la celda receptora en su camisa receptora junto con el ensamblaje final. (Ver figura 11.1 y 11.2 en los anexos)
- ✓ Se cerró la válvula final.
- ✓ Se presurizó el sistema.
- ✓ Se colocó un cilindro graduado de 250 centímetros cúbicos después de la válvula final.
- ✓ Se abrió la válvula superior y se activo el cronómetro.
- ✓ Se registraron las presiones de estabilización del sistema.
- ✓ Al transcurrir veinte segundos se retiró el cilindro graduado y se cerró la válvula final.

3.3 Fase 3: Determinación de la eficiencia de algunos limpiadores para la remoción del revoque en el RDF.

Esta serie de experimentos se realizaron para determinar la eficiencia de los removedores de revoque más comúnmente empleados por la industria petrolera.

Los limpiadores empleados fueron: hipoclorito, ácido clorhídrico, Limpiador comercial y terpeno.

Los procedimientos descritos en las pruebas efectuadas fueron:

3.3.1 Procedimiento para determinar la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de RDF/ grava saturada con GPCF + hipoclorito al 10%.

A continuación se mencionan los pasos que se siguieron para la medición de la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de RDF/ grava saturada con GPCF + hipoclorito al 10%.

- ✓ Se saturó el núcleo con una solución de KCl al 3% aplicando un flujo normal.
- ✓ Se llenó la celda hasta 1cm antes del tope con RDF para formar el revoque y obtener un filtrado tal como se indicó en la sección 3.2.6
- ✓ Se remueve cuidadosamente el RDF para no causar daños al revoque.
- ✓ Se llenó la celda con GPCF modificado con 10% en volumen con hipoclorito y grava hasta el tope.
- ✓ Se cerró la celda receptora por su extremo superior.
- ✓ Se coloca la celda receptora en su camisa receptora y se le coloca el ensamblaje final.
- ✓ Se cerró la válvula final.
- ✓ Se llevó todo el sistema hasta 150° F.
- ✓ Se presurizó el sistema, pero esta vez, de forma inversa, es decir: se cerró la válvula de entrada de la celda receptora y se presurizó por dos horas con treinta lpc por la parte superior para permitir así permitir que actúe el removedor.
- ✓ Una vez transcurridas las dos horas, se despresuriza el sistema de los treinta lpc, abriendo la válvula final.
- ✓ Se cerró la válvula final y se abrió la válvula de entrada de la celda receptora para proceder a presurizar con las presiones deseadas.
- ✓ Se coloca un cilindro graduado de 250 centímetros cúbicos después de la válvula final.
- ✓ Se abre la válvula superior y se activa el cronómetro.
- ✓ Se leen las presiones de estabilización del sistema.
- ✓ Al transcurrir veinte segundos desde la apertura de la válvula se retira el cilindro graduado y se cierra la válvula final.
- ✓ Se anota el volumen obtenido.

Todos estos pasos se repitieron tres veces para cada presión y con los cuales se obtuvo una presión promedio. Además se tomaron cuatro presiones diferentes para generar los puntos de la gráfica de permeabilidad.

3.3.2 Procedimiento para medir la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de RDF/ grava saturada con GPCF + HCl al 10%.

Para determinar la efectividad del HCl al 10% como agente removedor de revoque se efectuaron las mismas pruebas que en la sección 3.3.1, sólo que en lugar de hipoclorito al 10% se utilizó HCl.

3.3.3 Procedimiento para medir la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de RDF/ grava saturada con GPCF + Limpiador comercial

Se realizó el trabajo manera similar que en la sección 3.3.1, pero el agente removedor del revoque empleado fue el Limpiador comercial.

3.3.4 Procedimiento para medir la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de RDF/ grava saturada con + GPCF con Terpeno

Siguiendo los pasos descritos en la sección 3.3.1 se verificó la eficiencia del Terpeno como limpiador de revoque.

3.4 Fase 4: Determinación de la caída de permeabilidad ocasionada por el revoque en algunos lodos utilizados en campo.

Al igual que para el RDF, se procedió con los diferentes sistemas que proporcionaron algunas compañías contratistas de PDVSA.

Estos experimentos sirvieron de base para cuantificar la reducción de permeabilidad que ocasionan los distintos revoques formados por algunos fluidos comerciales en pozos altamente inclinados completados con empaque de grava.

Las pruebas realizadas en esta fase fueron las siguientes:

3.4.1 Determinación de la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo A/ grava saturada con salmuera

Para la determinación de la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo A/ grava saturada con salmuera se siguió el procedimiento especificado en la sección 3.2.6 pero esta vez el revoque formado provino del lodo A y la grava fue saturada con salmuera.

3.4.2 Medición de la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de Lodo B/ grava saturada con salmuera.

Al igual que en el paso anterior se siguió el procedimiento descrito en la sección 3.2.6 pero el revoque fue formado con fluido Lodo B y la grava fue saturada con salmuera.

3.4.3 Determinación de la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo C/ grava saturada con salmuera.

La determinación de la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo C/ grava saturada con salmuera fue realizada copiando las mismas pruebas descritas en la sección 3.2.6, con la variante de que el revoque se formó a partir del lodo C y la grava se saturó con salmuera.

3.5 Fase 5: Determinación de la eficiencia de limpiadores de revoque en algunos lodos utilizados en campo.

En esta fase se determinó la eficiencia de limpiadores para la remoción del revoque en los sistemas comerciales. Dichos sistemas comerciales fueron:

3.5.1 Lodo A.

3.5.1.1 Procedimiento para la medición de la permeabilidad al aceite del sistema núcleo/ revoque de lodo A/ grava saturada con GPCF + hipoclorito al 10%

La metodología experimental seguida en este paso fue la misma que la empleada en la sección 3.2.6, la diferencia es que el revoque se formó a partir del lodo A y la grava fue saturada con GPCF más hipoclorito al 10%.

3.5.1.2 Procedimiento para determinar la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo A/ grava saturada con GPCF + HCl al 10%.

Con el revoque obtenido del lodo A y la grava saturada con GPCF + HCl al 10% se elaboraron las pruebas descritas en la sección 3.2.6.

3.5.1.3 Procedimiento para determinar la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo A/ grava saturada con GPCF + Limpiador comercial.

El procedimiento seguido en este punto también fue el señalado en la sección 3.2.6 pero el revoque se originó a partir del lodo A, además la grava fue saturada con GPCF + Limpiador comercial

3.5.1.4 Procedimiento para determinar la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo A/ grava saturada con GPCF + Terpeno.

Al igual que en el paso previo se siguió el procedimiento descrito en 3.2.6 pero con revoque de lodo A y grava saturada con GPCF + Terpeno.

Los pasos comprendidos desde la sección 3.5.1.1 hasta la sección 3.5.1.4 para el lodo A se hicieron de una manera análoga para el lodo Lodo B y para el lodo C, por esta razón sólo se mencionará el nombre de la prueba debido a su explicación previa contenida en dichas secciones.

3.5.2 Lodo B

Las pruebas efectuadas a este lodo son las mismas que se aplicaron al lodo A, por lo que solo se mencionaran, dado que el procedimiento fue discutido anteriormente

3.5.2.1 Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de Lodo B/ grava saturada con GPCF + hipoclorito al 10%.

3.5.2.2 Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de Lodo B/ grava saturada con GPCF + HCl al 10%.

3.5.2.3 Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de Lodo B/ grava saturada con GPCF + Limpiador comercial.

3.5.2.4 Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica / revoque de Lodo B/ grava saturada con GPCF + Terpeno.

3.5.3 LodoC.

Análogamente que para el lodo A y el Lodo B se realizaron las mismas pruebas a este sistema. Dichas pruebas son:

3.5.3.1 Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo C / grava saturada con GPCF + hipoclorito al 10%

3.5.3.2 Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo C / grava saturada con GPCF + HCl al 10%.

3.5.3.3 Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo C/ grava saturada con GPCF + Limpiador comercial.

3.5.3.4 Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo C/ grava saturada con GPCF + Terpeno.

4 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados y sus respectivos análisis basados en el mismo orden de fases presentado en el capítulo anterior, para así facilitar al lector la rápida ubicación de cualquier detalle que pueda surgir.

4.1 Fase 1: Determinación de caudal en la bomba manual y presión de desprendimiento de revoque en el RDF

4.1.1 Determinación del caudal de bombeo de la bomba manual

Después de realizar dieciséis pruebas de bombeo, las cuales constan de medición de caudales a diferentes velocidades de bombeo, se procedió a reportarles, para así poder generar una data a la cuál aplicar un estudio estadístico mediante el cual determinar el valor promedio existente por carrera del émbolo de la bomba. Entendiendo por carrera del émbolo la distancia que recorre el pistón interno de la bomba en un solo sentido.

Tabla 4.1 Volumen de las carreras del émbolo

Número de la prueba	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Volumen recolectado [cc]	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2

Luego de procesada la data, se logra determinar que el valor promedio de una carrera de émbolo reportado fue de 2,6 ml.

4.1.2 Determinación de presiones de desprendimiento de revoque con el sistema de bombeo manual.

Al igual que en el trabajo de Brady ⁽³⁾ en el cuál se determinó una presión de desprendimiento del revoque, en este trabajo también se procedió a realizar la misma prueba debido a el desconocimiento existente acerca de las presiones de desprendimiento del revoque de lodo RDF utilizado en esta oportunidad, se realizaron varios intentos de desprendimiento de revoque, los cuales a su vez, generaron diversos resultados.

4.1.2.1 Prueba 1: Determinación de la presión mínima del desprendimiento del revoque formado con el RDF

Mediante esta prueba se intento determinar la presión mínima de desprendimiento del revoque de RDF, obteniendo los siguientes resultados:

- ✓ Se formo un revoque en la celda ATAP debido a la presión diferencial que se aplicó en la celda.
- ✓ Se llenó la celda hasta el tope con RDF para así garantizar que solo hay una Fase en el sistema (aunque este es un procedimiento, vale la pena recordarlo en este capítulo).
- ✓ Se bombearon 5 carreras, sin obtener caudal de salida, y las presiones de entra se mantuvieron hasta alcanzar 60 lpc. Lo cual da a entender que el revoque actúa como una capa impermeable la cual se desprende del disco filtro aplicando un contraflujo de por lo menos 60 lpc.
- ✓ Se despresurizó el sistema con la válvula de la bomba para de esta forma determinar la repetitividad de la prueba.
- ✓ Se intentó represurizar el sistema sin lograr mantener las presiones, lo que da a concluir que el revoque existente ya había sido desprendido por lo menos parcialmente del disco filtro.

- ✓ Se logró alcanzar una presión instantánea de 75 lpc. Lo que da a entender que el revoque no puede permanecer adherido al disco filtro por encima de esta presión.
- ✓ Se obtuvo en este entonces un caudal de retorno de 7.5 ml

Al desmontar la celda, se manifestó un desprendimiento total del revoque, lo cual sugiere una presión de desprendimiento de revoque entre 60 y 75 lpc. Bajo estas condiciones de bombeo y despresurización.

4.1.2.2 Prueba 2: Determinación de la presión mínima de desprendimiento de revoque con tiempo controlado.

En esta oportunidad se llevó a cabo la misma experiencia que en la prueba 1, con la diferencia que se modificó solo un factor, el tiempo que se deja el revoque en la celda sin ser atacado. Este tiempo le definimos como el de añejamiento.

Los pasos a seguidos fueron:

- ✓ Se formó un revoque en la celda ATAP.
- ✓ Se llenó la celda hasta el tope con RDF para así garantizar que solo hay una Fase en el sistema.
- ✓ Se bombearon 5 carreras, sin obtener caudal de salida, y las presiones de entra se mantuvieron hasta alcanzar 60 lpc.
- ✓ Se despresurizó el sistema con la válvula de la bomba.
- ✓ Se intentó represurizar el sistema sin lograr mantener las presiones.
- ✓ Se logró alcanzar una presión instantánea de 75 lpc.
- ✓ Se obtuvo en este entonces un caudal de retorno de 7.5 ml
- ✓ Los resultados no fueron similares a los obtenidos con anterioridad en la prueba 1, ya que la presión no se mantuvo, mas sin embargo el revoque no se desprendió, por lo que se demuestra que también actúa como un medio permeable.

- ✓ Al desmontar la celda, se evidenció la presencia de canales de flujo, donde se presentaron concentraciones mayores de aceite.

Estos resultados causaron gran inquietud, ya que se esperaba obtener, al igual que en la prueba 1, un desprendimiento total del revoque, sin embargo no fue así., quedando en evidencia que el tiempo de envejecimiento (añejamiento) del revoque está directamente relacionado con la presión de desprendimiento del mismo.

4.1.2.3 Prueba 3: Procedimiento alternativo para la determinación de desprendimiento del revoque mediante el sistema manual de bombeo.

Se llevó a cabo esta prueba para así tratar por otra forma determinar la presión de desprendimiento del revoque.

Habiendo previamente formado un revoque dentro de la celda ATAP, se procedió a:

- ✓ La celda ATAP se llenó hasta 1cm por debajo del tope con RDF.
- ✓ Se cierra la celda y se presuriza (en nuestro caso con 25 lpc) por el tope de la celda.
- ✓ Se cierra el sistema por ambos extremos.
- ✓ Se ejerció por la parte inferior una presión de 55 lpc utilizando el sistema de bombeo manual.
- ✓ Se abrió bruscamente la llave de entrada inferior de la celda ATAP, permitiendo la entrada de la onda de presión y determinar así si es posible el desprendimiento del revoque.
- ✓ Al equilibrarse la presión en el sistema, se leyó una presión de 11 lpc.
- ✓ Se despresurizó entonces el sistema para proceder a la observación de las condiciones del revoque. Habiendo este quedado levantado en

- ✓ algunas zonas formando especie de burbujas que le trataban de desprender.

4.1.2.3.1 Prueba 3.1: Desprendimiento del revoque a elevadas presiones

Esta es una repetición de la prueba 3 pero a presiones superiores.

- ✓ Se procedió a realizar el método de la prueba 3 con una presión de entrada de 125 lpc (generando un ÄP de 100 lpc).
- ✓ Con esta prueba se logró desprender completamente el revoque, el cual quedó en un colador que se colocó a la salida de la celda mientras se vaciaba el RDF.
- ✓ Para determinar a ciencia cierta la presión de desprendimiento del revoque, se procedió a formar un nuevo revoque bajo las mismas condiciones y dejándole envejecer por una hora. A este nuevo revoque se le efectuó el ya mencionado procedimiento de la prueba 3, comenzando a una presión diferencial de 100 lpc, para así comprobar el desprendimiento en un revoque “virgen”. El resultado fue un desprendimiento total del revoque.
- ✓ De igual manera, se continuó formando nuevos revoques y aplicando repetidamente el método de la prueba 3, disminuyendo el rango de presiones de desprendimiento. Véase a la tabla 4.1.1 donde se aprecian los resultados de presiones de desprendimiento.

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

Tabla 4.1.1 Desprendimiento de revoques usando el sistema manual de bombeo y el método de la prueba 3.

Presión de inyección [lpc]	Contrapresión [lpc]	Presión diferencial aplicada [lpc]	Resultados obtenidos	Apariencia del revoque
75	25	50	No se desprendió el revoque	Presencia de pequeños puntos donde se evidencia el flujo de aceite uniformemente distribuidas en toda en toda la superficie del revoque.
125	25	100	Desprendimiento total del revoque	Revoque uniformemente desprendido, recuperando una película uniforme saturada en aceite
85	25	60	Desprendimiento parcial del revoque aprox. 10%	Revoque desprendido únicamente en sus bordes, presentando un desprendimiento de aproximadamente 10% de su superficie y la formación de canales preferenciales de flujo.
95	25	70	Desprendimiento total del revoque	Revoque uniformemente desprendido, recuperando una película uniforme saturada en aceite

Con esto se determinó que existe una presión de desprendimiento de revoque, la cuál se encuentra entre 60 y 70 lpc. Siempre bajo las ya mencionadas condiciones de presión, temperatura y tipo de RDF.



Figura 4.2.1 Caso 1 de la tabla 4.2.1

4.1.3 Determinación de presiones de desprendimiento de revoque (Sistema hidráulico)

Para determinar las presiones de desprendimiento del revoque a través del método manual de inyección de presión, se procedió a repetir las pruebas, pero esta vez utilizando el sistema de inyección hidráulica con el mismo método de Prueba 3. Al final de las pruebas se obtuvo resultados similares, los cuales se aprecian en la tabla 4.1.2

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

Tabla 4.1.2 Desprendimiento de revoques usando el sistema hidráulico y el método de la Prueba 3.

Presión de inyección [lpc]	Contrapresión [lpc]	Presión diferencial aplicada [lpc]	Resultados obtenidos	Apariencia del revoque
75	25	50	No se desprendió el revoque	Presencia de pequeños puntos donde se evidencia el flujo de aceite uniformemente distribuidas en toda en toda la superficie del revoque.
125	25	100	Desprendimiento total del revoque	Revoque uniformemente desprendido, recuperando una película uniforme saturada en aceite
85	25	60	Desprendimiento parcial del revoque aprox. 20%	Revoque desprendido únicamente en sus bordes, presentando un desprendimiento de aproximadamente 20% de su superficie y la formación de canales preferenciales de flujo.
95	25	70	Desprendimiento total del revoque	Revoque uniformemente desprendido, recuperando una película uniforme saturada en aceite

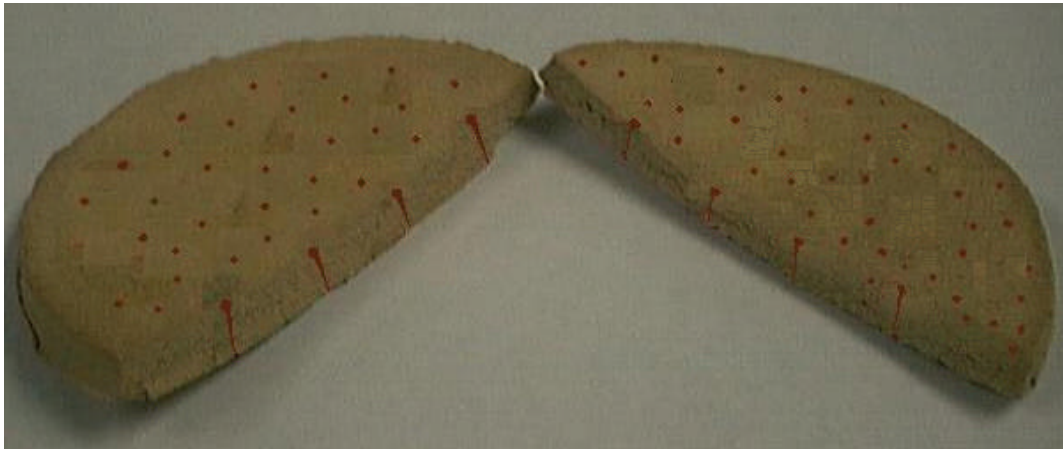


Figura 4.1.2 Caso 2 y 4 de la tabla 4.1.2 (se pueden apreciar claramente en el corte los canales de flujo formados)

4.2 Fase 2: Determinación de la caída de permeabilidad producida por el revoque de RDF

4.2.1 Determinación de la viscosidad del fluido hidráulico a 150° F

Para poder determinar la viscosidad del fluido hidráulico utilizado a la temperatura de 150° F, se colocó el mismo en un envase contenedor el cual se llevo a la mencionada temperatura.

Una vez estando el fluido en cuestión a la temperatura deseada, se procedió a utilizar el viscosímetro Brookfield, con el cual se determinó que la viscosidad bajo esas condiciones es de 88 cp.

4.2.2 Resultados de la determinación de permeabilidad del empaque de grava al aceite.

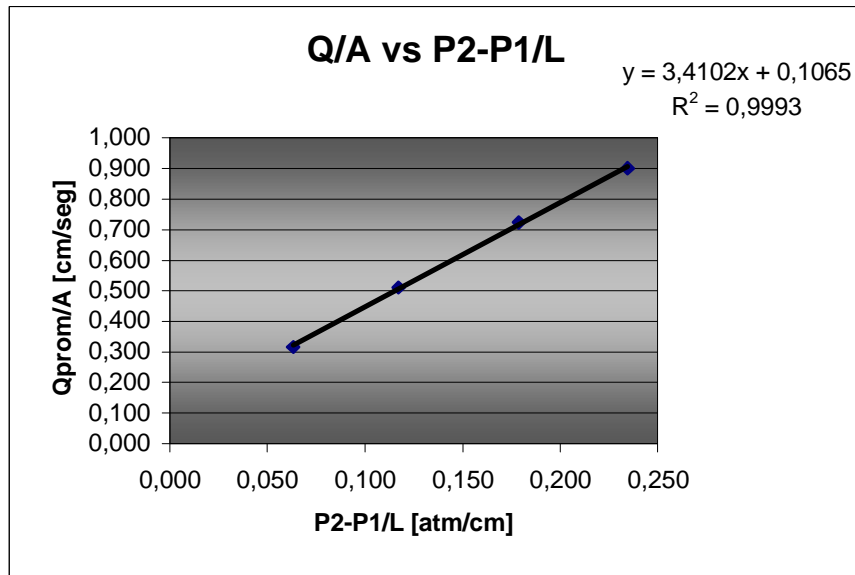
Habiendo determinado tanto los valores de presión de entrada como de salida de la celda receptora, como el volumen de aceite recogido a la salida del sistema, se procede a determinar el valor de la permeabilidad utilizando el

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

método de determinación de permeabilidades conociendo las presiones promedio del sistema, viscosidad del fluido, dimensiones del medio poroso y caudal que le atraviesa, el cual se explicó en el marco teórico.

Tabla 4.2.2 Permeabilidad del empaque de grava

Presión de la prueba [lpc]	30	50	75	100
Presión de salida 1 [lpc]	1	2	2	4
Presión de salida 2 [lpc]	1,5	2	1	3
Presión de salida 3 [lpc]	1	2	2	2
Presión promedio de salida [lpc]	1,167	2	1,667	3
Presión promedio de salida (P2) [atm abs.]	1,079	1,136	1,113	1,204
Presión de inyección 1 [lpc]	20	37	55	73
Presión de inyección 2 [lpc]	19	35	56	75
Presión de inyección 3 [lpc]	21	39	54	71
Presión promedio de inyección [lpc]	20	37	55	73
Presión promedio de inyección (P1) [atm abs.]	2,36	3,516	4,74	5,964
Pprom [atm abs.]	1,72	2,326	2,927	3,584
volumen promedio recolectado V1 [cc]	92	135	178	216
$(P1 * V1)/Pprom = Vprom$ [cc]	126,257	204,067	288,287	359,438
$Qprom = Vprom/20$ seg. [cc/seg]	6,313	10,203	14,414	17,972
Área transversal de flujo [cm ²]	19,962	19,962	19,962	19,962
P1-P2 [atm]	1,281	2,38	3,627	4,76
Longitud del medio poroso [cm]	20,3	20,3	20,3	20,3
$Qprom/\text{Área Transversal}$ [cm/seg]	0,316	0,511	0,722	0,9
$P1-P2 / L$ [atm/cm]	0,063	0,117	0,179	0,234
Permeabilidad [d]	441,127482	383,654795	355,682178	337,878918
Promedio aritmético de permeabilidad [d]	379,585			
pendiente de la gráfica	3,410			
viscosidad del fluido [cp]	88			
Permeabilidad método grafico [d]	300,097			
Promedio de permeabilidades [d]	339,841			



Gráfica 4.2.2 Permeabilidad del empaque de grava

La pendiente de la recta representa el valor de K / μ .

Sabiendo que μ es igual a 88 cp, el valor de K para este caso es de 339,840 d.

4.2.3 Resultados de la determinación de permeabilidad del núcleo de cerámica al aceite

Al igual que en el paso 4.2.2, se determinaron los valores de presión de entrada y de salida de la celda receptora, también el volumen de aceite recogido a la salida del sistema, se procede a determinar el valor de la permeabilidad del sistema utilizando el método de determinación de permeabilidades conociendo las presiones promedio del sistema, viscosidad del fluido, dimensiones del medio poroso y caudal que le atraviesa, el cual se explicó en el marco teórico.

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

Tabla 4.2.3 Permeabilidad del disco

Presión de la prueba [lpc]	30	50	75	100
Presión de salida 1 [lpc]	1	1	2	4
Presión de salida 2 [lpc]	1	2	1	3
Presión de salida 3 [lpc]	1	2	2	2
Presión promedio de salida [lpc]	1	1,667	1,667	3
Presión promedio de salida (P2) [atm abs]	1,068	1,113	1,113	1,204
Presión de inyección 1 [lpc]	12	45	57	76
Presión de inyección 2 [lpc]	15	42	58	75
Presión de inyección 3 [lpc]	14	43	56	76
Presión promedio de inyección [lpc]	13,667	43,333	57	75,667
Presión promedio de inyección (P1) [atm abs]	1,929	3,947	4,876	6,145
Pprom. [atm abs]	1,499	2,53	2,995	3,675
volumen promedio recolectado V2 [cc]	64	98	136	180
(P2 * V2)/Pprom = Vprom [cc]	45,609	152,875	221,439	301,023
Qprom = Vprom/20 seg. [cc/seg]	2,28	7,644	11,072	15,051
Área transversal de flujo [cm ²]	19,962	19,962	19,962	19,962
P1-P2 [atm]	0,861	2,833	3,763	4,941
Longitud del medio poroso [cm]	0,64	0,64	0,64	0,64
Qprom/Área Transversal [cm/seg]	0,114	0,383	0,555	0,754
P2-P1 / L [atm/cm]	1,346	4,427	5,879	7,721
Permeabilidad [d]	7,47	7,611	8,302	8,594
Media aritmético de permeabilidad [d]	7,994			
pendiente de la gráfica	0,1			
viscosidad del fluido [cp]	88			
Permeabilidad método grafico [d]	8,835			
Promedio de permeabilidades [d]	8,415			

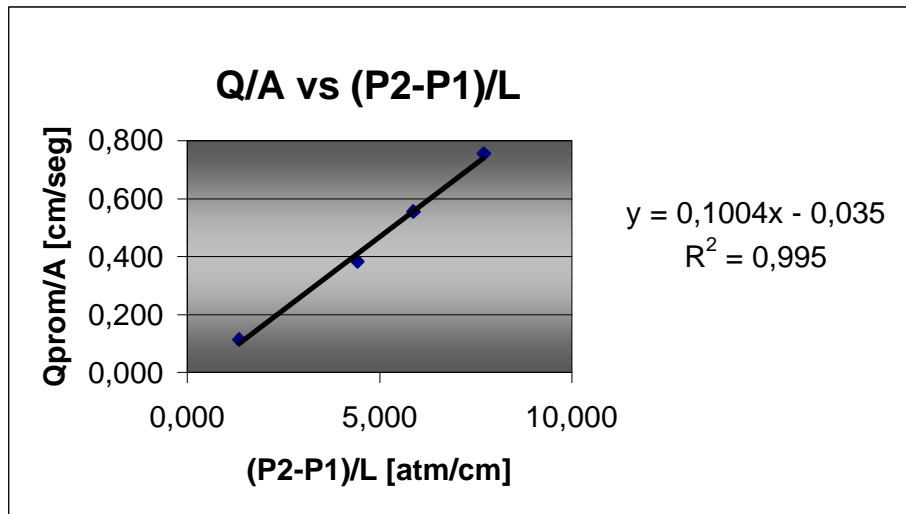


Fig. 4.2.3 Permeabilidad del disco

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

La pendiente de la recta de la gráfica 4.2.3 representa el valor de K / μ .
Sabiendo que μ es igual a 88 cp, el valor de K para este caso es de 8,415 d.

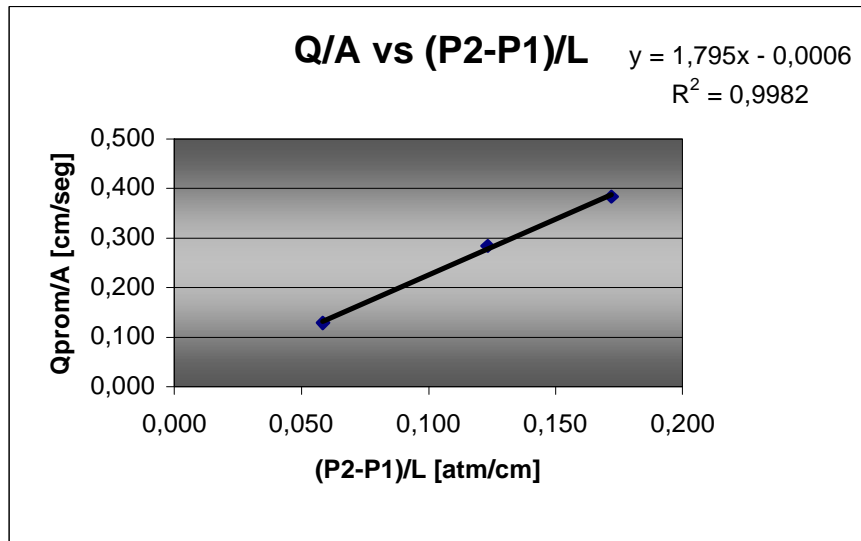
4.2.4 Resultados de la permeabilidad al aceite del núcleo de cerámica / grava al aceite.

En esta oportunidad, utilizando el mismo método de las pruebas anteriores se procedió a determinar la permeabilidad del sistema de disco y grava al aceite, sistema que simula las condiciones de un pozo en producción.

Resultados de las pruebas efectuadas al sistema:

Presión de la prueba [lpc]	30	50	75	100
Presión de salida 1 [lpc]	2	2	2	2
Presión de salida 2 [lpc]	2	2	2	2
Presión de salida 3 [lpc]	2	2	2	2
Presión promedio de salida [lpc]	2	2	2	2
Presión promedio de salida (P2) [atm abs]	1,136	1,136	1,136	1,136
Presión de inyección 1 [lpc]	20	40	55	85
Presión de inyección 2 [lpc]	21	39	54	70
Presión de inyección 3 [lpc]	19	41	56	85
Presión promedio de inyección [lpc]	20	40	55	80
Presión promedio de inyección (P1) [atm abs]	2,36	3,72	4,74	6,44
Pprom. [atm abs]	1,748	2,428	2,938	3,788
volumen promedio recolectado V1 [cc]	38	64	95	123
$(P1 * V1)/Pprom = Vprom$ [cc]	51,304	113,377	153,268	209,113
$Qprom = Vprom/20 \text{ seg.}$ [cc/seg]	2,565	5,669	7,663	10,456
Área transversal de flujo [cm ²]	19,962	19,962	19,962	19,962
P1-P2 [atm]	1,224	2,584	3,604	5,304
longitud del medio poroso [cm]	20,94	20,94	20,94	20,94
$Qprom/\text{Área Transversal}$ [cm/seg]	0,129	0,284	0,384	0,524
$P1-P2 / L$ [atm/cm]	0,058	0,123	0,172	0,253
Permeabilidad [d]	193,463	192,516	196,287	181,971
Promedio aritmético de permeabilidad [d]	157,7			
Pendiente de la gráfica	1,795			
viscosidad del fluido [cp]	88			
Permeabilidad método grafico [d]	158,44			
promedio de permeabilidades [d]	158,07			

Tabla 4.2.4 Permeabilidad del disco y empaque



Gráfica 4.2.4 Determinación de permeabilidad núcleo / grava

La ecuación de la línea recta es:

$$Y = 1,795x - 0,0006 \quad (\text{Eq. 4.1})$$

De donde la pendiente de la recta representa el valor de K / μ .

Sabiendo que μ es igual a 88 cp, el valor de K para este caso es de 158,070 darcys.

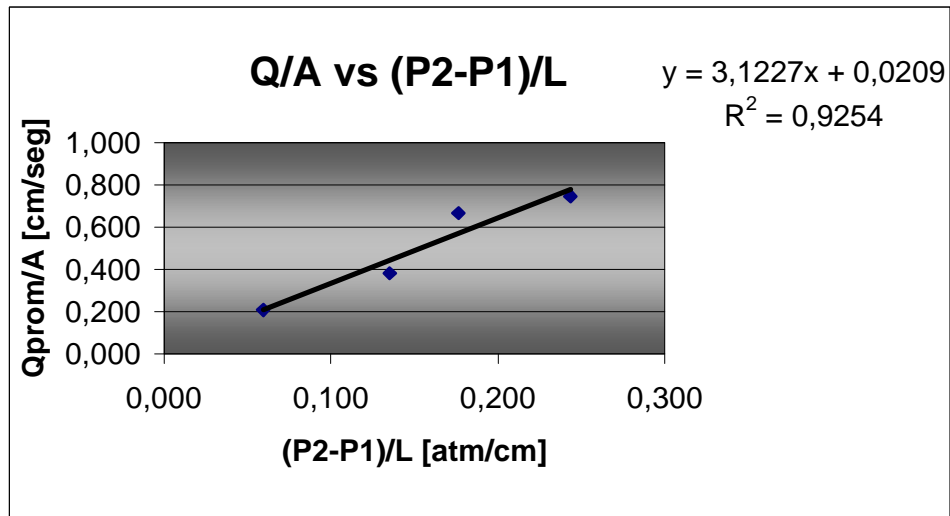
4.2.5 Resultados de la medición de la permeabilidad del sistema núcleo de cerámica / grava saturada con fluido transportador (salmuera) al aceite.

En esta oportunidad lo que se intentó fue simular un pozo en las condiciones iniciales de producción, ya que el disco estaba saturado con KCl al 3% y la grava estaba saturada con salmuera transportadora, al igual que un pozo en condiciones iniciales. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

Tabla 4.2.5 Determinación de permeabilidad grava con GPCF

Presión de la prueba [lpc]	30	50	75	100	150
Presión de salida 1 [lpc]	2	1	2	1	2
Presión de salida 2 [lpc]	1	2	1	3	2
Presión de salida 3 [lpc]	2	2	2	2	2
Presión promedio de salida [lpc]	1,667	1,667	1,667	2	2
Presión promedio de salida (P2) [atm abs]	1,113	1,113	1,113	1,136	1,136
Presión de inyección 1 [lpc]	17	45	57	77	105
Presión de inyección 2 [lpc]	23	42	55	75	100
Presión de inyección 3 [lpc]	20	43	56	79	110
Presión promedio de inyección [lpc]	20	43,333	56	77	105
Presión promedio de inyección (P1) [atm abs]	2,36	3,947	4,808	6,236	8,14
Pprom [atm abs]	1,737	2,53	2,961	3,686	4,638
volumen promedio recolectado V1[cc]	61	98	164	176	170
(P1 * V1)/Pprom = Vprom [cc]	82,894	152,875	266,329	297,758	298,361
Qprom = Vprom/20 seg. [cc/seg]	4,145	7,644	13,316	14,888	14,918
Área transversal de flujo [cm^2]	19,962	19,962	19,962	19,962	19,962
P1-P2 [atm]	1,247	2,833	3,695	5,1	7,004
longitud del medio poroso [cm]	20,94	20,94	20,94	20,94	20,94
Qprom/Área Transversal [cm/seg]	0,208	0,383	0,667	0,746	0,747
P2-P1 / L [atm/cm]	0,06	0,135	0,176	0,244	0,334
Permeabilidad [d]	306,902	249,037	332,712	269,475	196,617
Media aritmética de permeabilidad [d]	270,949				
Pendiente de la gráfica	3,122				
Viscosidad del fluido [cp]	88				
Permeabilidad método grafico	274,736				
promedio de permeabilidades	272,842				



Gráfica 4.2.5 Determinación de permeabilidad grava con GPCF.

La ecuación de la línea recta trazada siguiendo los lineamientos teóricos que se explicaron previamente en el marco teórico en el tema de determinación de la permeabilidad de un medio poroso es la siguiente:

$$Y = 3,1227 x + 0,0209 \quad (\text{Eq. 4.2})$$

Donde la pendiente de la recta representa el valor de K / μ .

Sabiendo que μ es igual a 88 cp, el valor de K para este caso es de 272, 842 darcys. Lo cual indica que la permeabilidad inicial del pozo cuando la grava aún se encuentra saturada con salmuera es mayor a la permeabilidad del pozo cuando la grava se encuentra saturada con aceite (simulando un pozo en producción).

4.2.6 Resultados de la medición de la permeabilidad del sistema núcleo de cerámica / revoque de RDF / grava saturada con fluido transportador (salmuera) al aceite.

En esta oportunidad la prueba se enfocó a determinar los efectos que causa el revoque en la caída de permeabilidad comparándolo con el pozo en condiciones iniciales donde aún la grava se encuentra saturada con salmuera.

Resultados de las pruebas efectuadas al sistema:

La ecuación de la línea recta trazada en la gráfica 4.2.6 es la siguiente:

$$y = 2,255x - 0,0006 \quad (\text{Eq. 4.3})$$

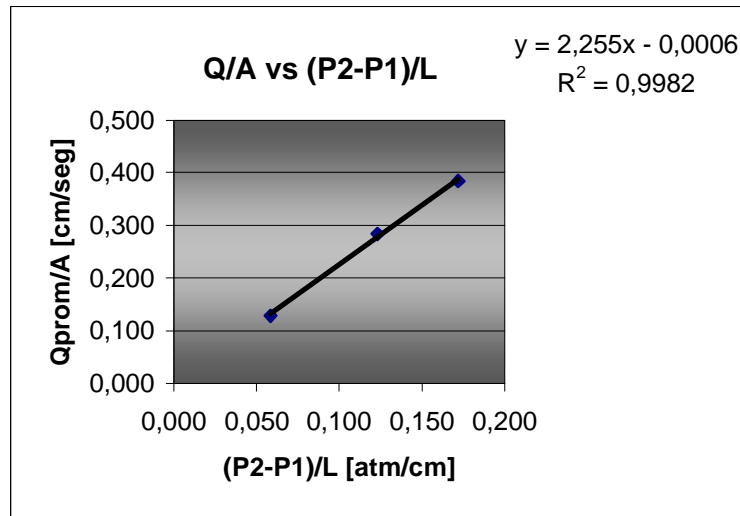
Donde la pendiente de la recta representa el valor de K / μ .

El valor de K para este caso es de 195,79 darcys. Lo cual indica que la permeabilidad inicial del pozo (disco + grava con fluido transportador + pantalla), cuando la grava esta todavía saturada con salmuera es mayor a la permeabilidad del pozo cuando la grava se encuentra saturada con aceite (simulando un pozo en producción).

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

Tabla 4.2.6 Permeabilidad del núcleo / revoque de RDF / grava con GPCF

Presión de la prueba [lpc]	30	50	75	100	150
Presión de salida 1 [lpc]	1	2	2	2	2
Presión de salida 2 [lpc]	1	2	1	3	2
Presión de salida 3 [lpc]	1	2	2	2	2
Presión promedio de salida [lpc]	1	2	1,667	2,333	2
Presión promedio de salida (P2) [atm abs]	1,068	1,136	1,113	1,159	1,136
Presión de inyección 1 [lpc]	24	43	63	83	125
Presión de inyección 2 [lpc]	23	42	65	75	120
Presión de inyección 3 [lpc]	25	43	61	73	130
Presión promedio de inyección [lpc]	24	42,667	63	77	125
Presión promedio de inyección (P1) [atm abs]	2,632	3,901	5,284	6,236	9,5
Pprom [atm abs]	1,85	2,519	3,199	3,697	5,318
volumen promedio recolectado V1 [cc]	48	80	109	105	200
$(P2 * V2)/Pprom = Vprom$ [cc]	68,29	123,917	180,06	177,1	357,3
$Qprom = Vprom/20$ seg. [cc/seg]	3,414	6,196	9,003	8,855	17,86
Área transversal de flujo [cm ²]	19,962	19,962	19,962	19,962	19,96
P1-P2 [atm]	1,564	2,765	4,171	5,077	8,364
longitud del medio poroso [cm]	20,94	20,94	20,94	20,94	20,94
$Qprom/\text{Área Transversal}$ [cm/seg]	0,171	0,31	0,451	0,444	0,895
$P2-P1 / L$ [atm/cm]	0,075	0,132	0,199	0,242	0,399
Permeabilidad [d]	201,532	206,828	199,27	160,99	197,2
Promedio aritmético de permeabilidad [d]	193,156				
pendiente de la gráfica	2,255				
Viscosidad del fluido * 1000 [cp]	88				
Permeabilidad método grafico [d]	198,44				
promedio de permeabilidades [d]	195,798				
permeabilidad del pozo ideal (sistema salmuera)	272,842				
Perdida en permeabilidad %	28,238				



Gráfica 4.2.6 Permeabilidad del núcleo / revoque de RDF / grava con GPCF

4.3 Fase 3: Determinación de la eficiencia de algunos limpiadores para la remoción del revoque en el RDF

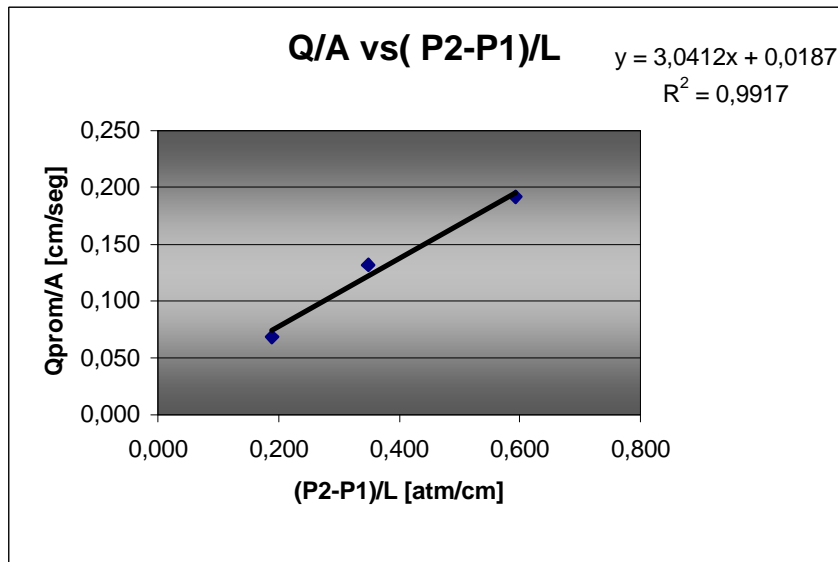
4.3.1 Resultados de la medición de la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica / revoque / grava saturada con fluido transportador (salmuera) modificada con 10% de Hipoclorito.

Luego de efectuadas las mediciones pertinentes de presión y volumen recolectado para esta prueba como se muestra en la tabla 4.3.1, se procedió a determinar la eficiencia del limpiador aplicado, que en este caso fue el hipoclorito de sodio al 5 %.

Resultados de las pruebas efectuadas al sistema:

Tabla 4.3.1 Permeabilidad del núcleo/ revoque/ grava saturada con GPCF y 10% de Hipoclorito.

Presión de la prueba [lpc]	30	50	75
Presión de salida 1 [lpc]	1	2	2
Presión de salida 2 [lpc]	1	2	1
Presión de salida 3 [lpc]	1	2	2
Presión promedio de salida [lpc]	1	2	2
Presión promedio de salida (P2) [atm abs]	1,068	1,136	1,113
Presión de inyección 1 [lpc]	20	43	60
Presión de inyección 2 [lpc]	26	42	60
Presión de inyección 3 [lpc]	20	43	62
Presión promedio de inyección [lpc]	22	43	61
Presión promedio de inyección (P1) [atm abs.]	2,496	3,901	5,125
Pprom [atm abs]	1,782	2,519	3,119
Volumen promedio recolectado V1 [cc]	54	90	144
$(P2 * V2)/Pprom = Vprom$ [cc]	75,636	139,407	236,6
$Qprom = Vprom/20$ seg. [cc/seg]	3,782	6,97	11,83
Área transversal de flujo [cm ²]	19,962	19,962	19,962
P1-P2 [atm]	1,428	2,765	4,012
longitud del medio poroso [cm]	20,94	20,94	20,94
$Qprom/\text{Área Transversal}$ [cm/seg]	0,189	0,349	0,593
$P2-P1 / L$ [atm/cm]	0,068	0,132	0,192
Permeabilidad [d]	244,471	232,682	272,2
Promedio aritmético de permeabilidad [d]	249,784		
pendiente de la gráfica	3,041		
viscosidad del fluido * 1000 [cp]	88		
Permeabilidad método grafico [d]	267,625		
promedio de permeabilidades [d]	258,704		
permeabilidad del pozo ideal	272,842		
perdida en permeabilidad %	5,181		



Gráfica 4.3.1 Determinación de permeabilidad del núcleo/ revoque/ grava saturada con GPCF y 10% de Hipoclorito.

La ecuación de la recta es la siguiente:

$$y = 3,0412x + 0,0187 \quad (\text{Ec. 4.4})$$

De donde se determina el valor de $K = 267625,6$ milidarcys. Esto indica que el utilizar hipoclorito al 10% mezclado con el fluido transportador representa un 23% en retorno de permeabilidad del pozo. O en otras palabras, el pozo al final del proceso del acarreo de la grava resulta con una permeabilidad menor en un 5% a la permeabilidad del pozo ideal, en el cual solamente existe formación, grava saturada con salmuera y liner, sin la presencia del revoque.

Resulta conveniente señalar que luego de realizadas las pruebas al sistema, las partes de la celda que no son de material inoxidable, resultaron seriamente oxidadas por la presencia del hipoclorito.

El resultado gráfico de esta prueba se encuentra en el Apéndice A figura A7.

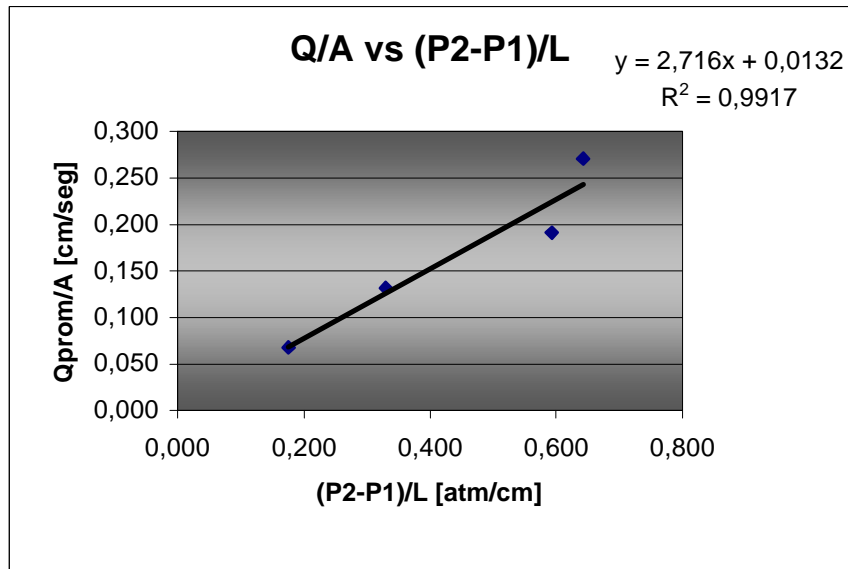
PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

4.3.2 Resultados de la medición de la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica / revoque / grava saturada con fluido transportador (salmuera) modificada con HCl al 10%

La prueba en la que se añadió HCl al fluido transportador de la grava generó los siguientes resultados:

Tabla 4.3.2 Permeabilidad al aceite del sistema núcleo/ revoque / grava con GPCF y HCl al 10%

Presión de la prueba [lpc]	30	50	75	100
Presión de salida 1 [lpc]	1	2	2	2
Presión de salida 2 [lpc]	1	2	1	2
Presión de salida 3 [lpc]	1	2	2	3
Presión promedio de salida [lpc]	1	2	2	2
Presión promedio de salida (P2) [atm abs.]	1,068	1,136	1,113	1,159
Presión de inyección 1 [lpc]	20	43	60	88
Presión de inyección 2 [lpc]	26	42	60	86
Presión de inyección 3 [lpc]	20	43	62	83
Presión promedio de inyección [lpc]	22	43	61	86
Presión promedio de inyección (P1) [atm abs.]	2,496	3,901	5,125	6,825
Pprom [atm abs]	1,782	2,519	3,119	3,992
volumen promedio recolectado V1 [cc]	50	85	144	150
$(P2 * V2)/Pprom = Vprom$ [cc]	70,034	131,662	236,6	256,46
$Qprom = Vprom/20 \text{ seg.}$ [cc/seg]	3,502	6,583	11,83	12,823
Área transversal de flujo [cm ²]	19,962	19,962	19,962	19,962
P1-P2 [atm]	1,428	2,765	4,012	5,667
longitud del medio poroso [cm]	20,94	20,94	20,94	20,94
$Qprom/\text{Área Transversal}$ [cm/seg]	0,175	0,33	0,593	0,642
$P2-P1 / L$ [atm/cm]	0,068	0,132	0,192	0,271
Permeabilidad [md]	226,362	219,755	272,2	208,89
Promedio aritmético de permeabilidad [md]	231,802259			
pendiente de la gráfica	2,716			
viscosidad del fluido * 1000 [cp]	88			
Permeabilidad método grafico [md]	239,008			
Promedio de permeabilidades [md]	235,405129			
permeabilidad del pozo ideal (sistema salmuera)	272,842394			
perdida en permeabilidad %	13,7212052			



Gráfica 4.3.2 Determinación de permeabilidad al aceite del sistema núcleo/revoque / grava con GPCF y HCl al 10%

De la gráfica se determina que la ecuación de la línea recta es :

$$y = 2,716x + 0,0132 \quad (\text{Ec. 4.5})$$

Por tanto el valor de K para este caso es de 239008 milidarcys. Esto indica que el utilizar HCl al 10% mezclado con el fluido transportador representa un 14,3% en retorno de permeabilidad del pozo. O en otras palabras, el pozo al final del proceso del acarreo de la grava resulta con una permeabilidad menor en un 13,7% a la permeabilidad del pozo ideal, en el cual solamente existe formación, grava saturada con salmuera y liner, sin la presencia del revoque.

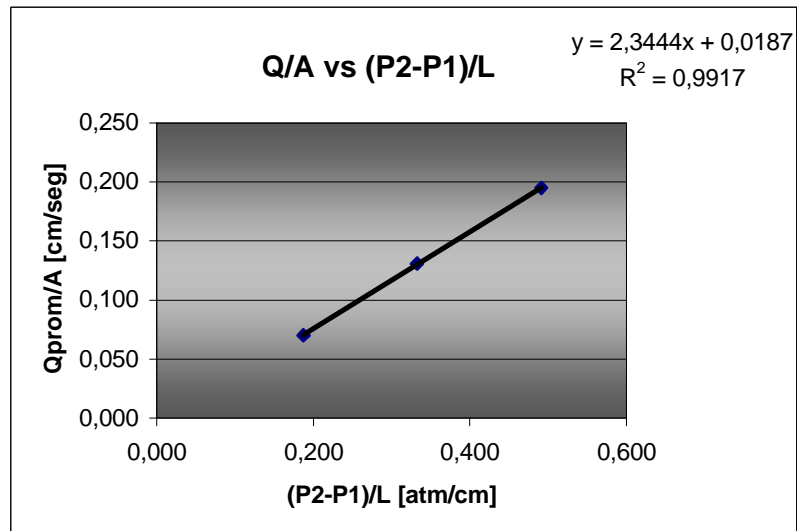
Resulta conveniente señalar que luego de realizadas las pruebas al sistema, las partes de la celda que no son de material inoxidable, resultaron seriamente oxidadas debidas al HCl.

4.3.3 Resultados de la medición de la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica / revoque / grava saturada con fluido transportador (salmuera) modificada con Ultra Breake Cake remover.

Debido a que el revoque de RDF si representa una caída considerable en permeabilidad del pozo, se realizó la siguiente prueba, donde se atacó el revoque directamente con el fluido transportador de la grava que en esta oportunidad estaba mezclada con 10 % del removedor comercial Ultra Breake. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 4.3.3 Permeabilidad del núcleo/ revoque/ grava con GPCF y Ultra Breake

Presión de la prueba [lpc]	30	50	75
Presión de salida 1 [lpc]	1	2	2
Presión de salida 2 [lpc]	1	3	1
Presión de salida 3 [lpc]	1	2	2
Presión promedio de salida [lpc]	1	2	2
Presión promedio de salida (P2) [atm abs.]	1,068	1,159	1,113
Presión de inyección 1 [lpc]	20	43	60
Presión de inyección 2 [lpc]	28	42	63
Presión de inyección 3 [lpc]	20	43	62
Presión promedio de inyección [lpc]	23	43	62
Presión promedio de inyección (P1) [atm abs.]	2,541	3,901	5,193
Pprom [atm abs]	1,805	2,53	3,153
volumen promedio recolectado V1 [cc]	53	86	119
$(P2 * V2)/Pprom = Vprom$ [cc]	74,635	132,614	195,99
$Qprom = Vprom/20 \text{ seg.}$ [cc/seg]	3,732	6,631	9,799
Área transversal de flujo [cm ²]	19,962	19,962	19,962
P1-P2 [atm]	1,473	2,743	4,08
longitud del medio poroso [cm]	20,94	20,94	20,94
$Qprom/\text{Área Transversal}$ [cm/seg]	0,187	0,332	0,491
$P2-P1 / L$ [atm/cm]	0,07	0,131	0,195
Permeabilidad [md]	233,811	223,174	221,71
Promedio aritmético de permeabilidad [md]	226,232117		
pendiente de la gráfica	2,344		
viscosidad del fluido * 1000 [cp]	88		
Permeabilidad método grafico [md]	206,272		
promedio de permeabilidades [md]	216,252058		
permeabilidad del pozo ideal (sistema salmuera)	272,842394		
perdida en permeabilidad %	20,7410347		



Gráfica 4.3.3 Determinación de permeabilidad del núcleo/ revoque/ grava con GPCF y Ultra Breake

En esta oportunidad la ecuación de la recta viene dada por:

$$y = 2,3444x + 0,0187 \quad (\text{Ec. 4.6})$$

Para de esta forma K es igual a 216252 milidarcys. Esto indica que el utilizar el Ultra Beake mezclado con el fluido transportador representa un 7,5% en retorno de permeabilidad del pozo. O en otras palabras, el pozo al final del proceso del acarreo de la grava resulta con una permeabilidad menor en un 20,74% a la permeabilidad del pozo ideal, en el cual solamente existe formación, grava saturada con salmuera y liner, sin la presencia del revoque. Resulta conveniente señalar que las pruebas realizadas a presiones superiores a 100 lpc se produjo taponamiento del liner, lo cual puede resultar ser altamente contraproducente.

El resultado gráfico de la prueba se puede apreciar en el Apéndice A figura A4.

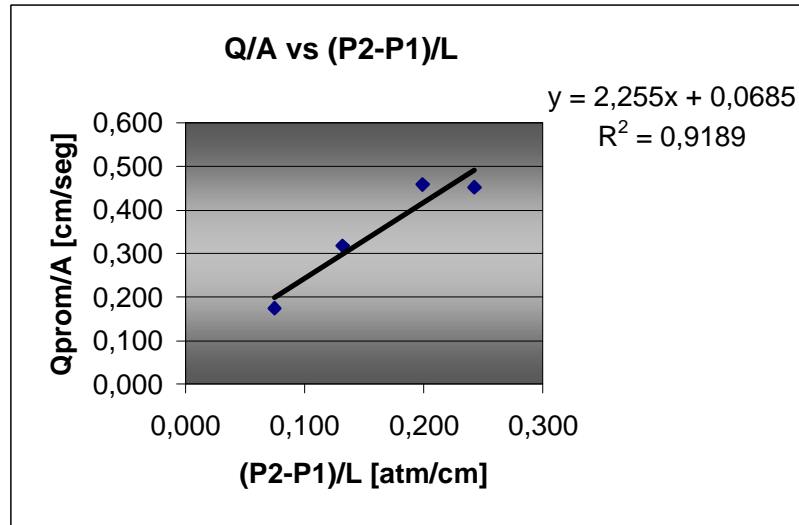
PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

4.3.4 Resultados de la medición de la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica / revoque / grava saturada con fluido transportador (salmuera) modificada con Terpeno.

Al igual que en las demás pruebas donde se evaluó la efectividad de los diferentes removedores, en esta oportunidad se puso a prueba el Terpeno de naranja, el cual dio los siguientes resultados:

Tabla 4.3.4 Permeabilidad del núcleo/ revoque/ grava con GPCF Terpeno

Presión de la prueba [lpc]	30	50	75	100
Presión de salida 1 [lpc]	1	2	2	2
Presión de salida 2 [lpc]	1	2	1	3
Presión de salida 3 [lpc]	1	2	2	2
Presión promedio de salida [lpc]	1	2	1,667	2,333
Presión promedio de salida (P2) [atm abs.]	1,068	1,136	1,113	1,159
Presión de inyección 1 [lpc]	24	43	63	83
Presión de inyección 2 [lpc]	23	42	65	75
Presión de inyección 3 [lpc]	25	43	61	73
Presión promedio de inyección [lpc]	24	42,667	63	77
Presión promedio de inyección (P1) [atm abs.]	2,632	3,901	5,284	6,236
Pprom [atm abs]	1,85	2,519	3,199	3,697
volumen promedio recolectado V1 [cc]	49	82	111	107
$(P2 * V2)/Pprom = Vprom$ [cc]	69,712	127,015	183,37	180,47
$Qprom = Vprom/20$ seg. [cc/seg]	3,486	6,351	9,168	9,023
Área transversal de flujo [cm ²]	19,962	19,962	19,962	19,962
P1-P2 [atm]	1,564	2,765	4,171	5,077
longitud del medio poroso [cm]	20,94	20,94	20,94	20,94
$Qprom/\text{Área Transversal}$ [cm/seg]	0,175	0,318	0,459	0,452
$P2-P1 / L$ [atm/cm]	0,075	0,132	0,199	0,242
Permeabilidad [d]	205,731	211,999	202,93	164,06
Promedio aritmético de permeabilidad [d]	196,178			
pendiente de la gráfica	2,255			
viscosidad del fluido * 1000 [cp]	88			
Permeabilidad método grafico [d]	198,44			
promedio de permeabilidades [d]	197,309			
permeabilidad del pozo ideal (sistema salmuera)	272,842			
Perdida en permeabilidad %	27,684			



Gráfica 4.3.4 Determinación de permeabilidad del núcleo/ revoque/ grava con GPCF y Ultra Breake.

La gráfica 4.3.4 indica que la recta que mejor se arregla a los puntos presentes es:

$$y = 2,255x + 0,0685 \quad (\text{Ec. 4.7})$$

De allí se determina que K para este caso es de 197309 milidarcys. Esto indica que el utilizar el Terpeno mezclado con el fluido transportador representa un 0,554% en retorno de permeabilidad del pozo. O en otras palabras, el pozo al final del proceso del acarreo de la grava resulta con una permeabilidad menor en un 27,684% a la permeabilidad del pozo ideal, en el cual solamente existe formación, grava y liner, sin la presencia del revoque.

4.4 Fase 4: Determinación de la caída de permeabilidad ocasionada por el revoque en algunos lodos utilizados en campo.

Al igual que al proceder con el lodo base de esta tesis el RDF base carbonato de calcio, se procedió con los diferentes sistemas que se nos proporcionaron por las diferentes compañías contratistas de PDVSA.

4.4.1 Lodo A.

4.4.1.1 Resultados de la medición de la permeabilidad del sistema núcleo de cerámica / revoque de lodo A / grava saturada con fluido transportador (salmuera) al aceite.

Ya habiendo evaluado el lodo base RDF se procede a realizar las mismas pruebas en varios sistemas proveídos por compañías contratistas de PDVSA, en esta oportunidad se evaluó el posible daño que causa el lodo A.

Resultados de las pruebas efectuadas al sistema:

La ecuación que se genera del segmento recto de la gráfica 4.4.1 es la siguiente:

$$y = 2,456x - 0,0276 \quad (\text{Ec. 4.8})$$

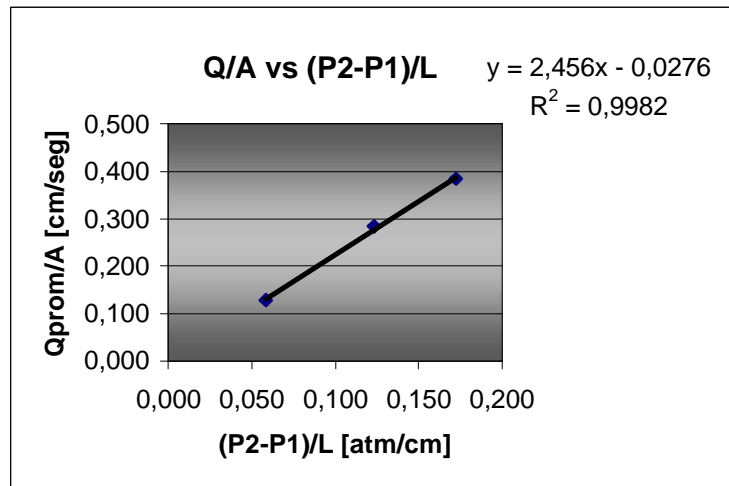
Donde la pendiente de la recta representa el valor de K / μ .

Sabiendo que μ es igual a 88 cp, el valor de K para este caso es de 215,86 darcys, lo cuál implica una reducción de permeabilidad de 20,88 % con respecto al pozo ideal (sin revoque). Y a su vez, un 8% menos perjudicial que el lodo base de carbonato de calcio RDF.

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

Tabla 4.4.1 Permeabilidad del núcleo/ revoque de lodo A / grava con GPCF (salmuera)

Presión de la prueba [lpc]	30	50	75	100	150
Presión de salida 1 [lpc]	1	2	2	2	2
Presión de salida 2 [lpc]	1	2	1	3	2
Presión de salida 3 [lpc]	1	2	2	2	2
Presión promedio de salida [lpc]	1	2	1,667	2,333	2
Presión promedio de salida (P2) [atm abs]	1,068	1,136	1,113	1,159	1,136
Presión de inyección 1 [lpc]	24	43	63	83	125
Presión de inyección 2 [lpc]	23	42	65	75	120
Presión de inyección 3 [lpc]	25	43	61	73	130
Presión promedio de inyección [lpc]	24	42,667	63	77	125
Presión promedio de inyección (P1) [atm abs]	2,632	3,901	5,284	6,236	9,5
Pprom [atm abs]	1,85	2,519	3,199	3,697	5,318
Volumen promedio recolectado V1 [cc]	52	86	115	150	200
(P2 * V2)/Pprom = Vprom [cc]	73,981	133,211	189,97	252,99	357,3
Qprom = Vprom/20 seg. [cc/seg]	3,699	6,661	9,499	12,65	17,86
Área transversal de flujo [cm^2]	19,962	19,962	19,962	19,962	19,96
P1-P2 [atm]	1,564	2,765	4,171	5,077	8,364
longitud del medio poroso [cm]	20,94	20,94	20,94	20,94	20,94
Qprom/Área Transversal [cm/seg]	0,185	0,334	0,476	0,634	0,895
P2-P1 / L [atm/cm]	0,075	0,132	0,199	0,242	0,399
Permeabilidad [d]	218,326	222,341	210,24	229,98	197,2
Promedio aritmético de permeabilidad [d]	215,61				
pendiente de la gráfica	2,456				
Viscosidad del fluido * 1000 [cp]	88				
Permeabilidad método grafico [d]	216,128				
promedio de permeabilidades [d]	215,869				
permeabilidad del pozo ideal (sistema salmuera)	272,842				
perdida en permeabilidad %	20,881				



Gráfica 4.4.1 Permeabilidad del núcleo/ revoque de lodo A / grava con GPCF

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

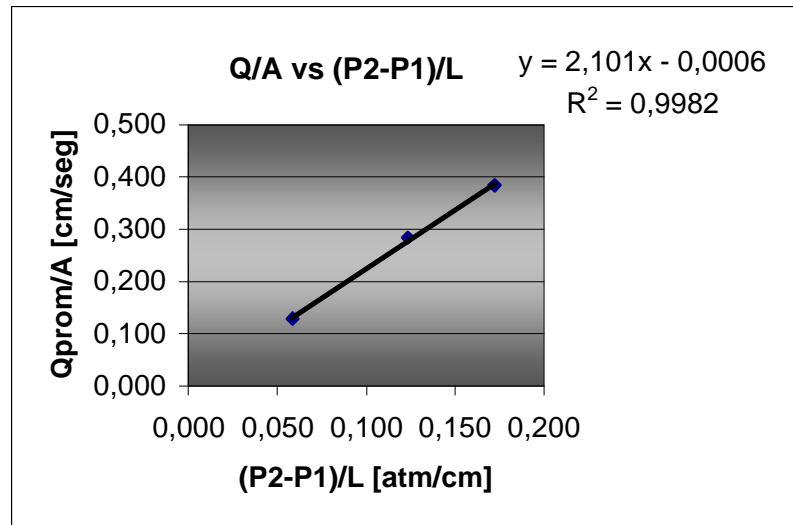
4.4.2 Lodo B.

4.4.2.1 Resultados de la medición de la permeabilidad del sistema núcleo de cerámica / revoque de lodo B / grava saturada con fluido transportador (salmuera) al aceite.

Se realizaron las pruebas previamente descritas de medición de permeabilidad, esta vez sobre el lodo B, para así determinar como este afecta a la permeabilidad del empaque de grava. Los resultados aparecen a continuación:

Tabla 4.4.2 Permeabilidad del núcleo/ revoque de lodo B/ grava con GPCF

Presión de la prueba [lpc]	30	50	75	100	150
Presión de salida 1 [lpc]	1	2	2	2	2
Presión de salida 2 [lpc]	1	2	1	3	2
Presión de salida 3 [lpc]	1	2	2	2	2
Presión promedio de salida [lpc]	1	2	1,667	2,333	2
Presión promedio de salida (P2) [atm abs]	1,068	1,136	1,113	1,159	1,136
Presión de inyección 1 [lpc]	24	43	63	83	125
Presión de inyección 2 [lpc]	23	42	65	75	120
Presión de inyección 3 [lpc]	25	43	61	73	130
Presión promedio de inyección [lpc]	24	42,667	63	77	125
Presión promedio de inyección (P1) [atm abs]	2,632	3,901	5,284	6,236	9,5
Pprom [atm abs]	1,85	2,519	3,199	3,697	5,318
volumen promedio recolectado V1 [cc]	40	75	101	130	180
$(P2 * V2)/Pprom = Vprom$ [cc]	56,908	116,173	166,85	219,26	321,5
$Qprom = Vprom/20$ seg. [cc/seg]	2,845	5,809	8,342	10,963	16,08
Área transversal de flujo [cm ²]	19,962	19,962	19,962	19,962	19,96
P1-P2 [atm]	1,564	2,765	4,171	5,077	8,364
longitud del medio poroso [cm]	20,94	20,94	20,94	20,94	20,94
$Qprom/\text{Área Transversal}$ [cm/seg]	0,143	0,291	0,418	0,549	0,805
$P2-P1 / L$ [atm/cm]	0,075	0,132	0,199	0,242	0,399
Permeabilidad [d]	167,943	193,902	184,64	199,32	177,4
Promedio aritmético de permeabilidad [d]	184,65				
pendiente de la gráfica	2,101				
viscosidad del fluido * 1000 [cp]	88				
Permeabilidad método grafico [d]	184,888				
Promedio de permeabilidades [d]	184,769				
permeabilidad del pozo ideal (sistema salmuera)	272,842				
Perdida en permeabilidad %	32,28				



Gráfica 4.4.2 Permeabilidad del núcleo/ revoque de Lodo B / grava con GPCF

De la gráfica 4.4.2 se determina que la mejor recta es:

$$y = 2,101x - 0,0006 \quad (\text{Ec. 4.9})$$

Despejando y multiplicando por la viscosidad del fluido se determina que el valor de K para este caso es de 184,769 darcys, lo cuál implica una reducción de permeabilidad de 32,28 % con respecto al pozo ideal (sin revoque). Y a su vez, un 4.05% mas perjudicial que el lodo base de carbonato de calcio RDF.

4.4.3 Lodo C.

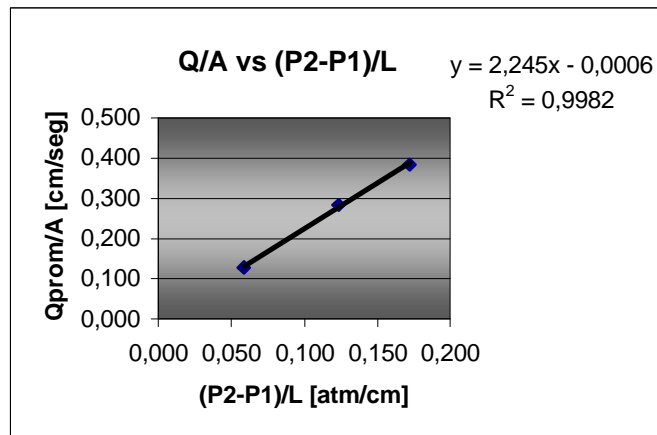
4.4.3.1 Resultados de la medición de la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo C / grava saturada con salmuera.

Al igual que en el procedimiento 4.4.2 se determinaron las presiones del sistema y los volúmenes recolectados para cada caso, los cuales se reportan a continuación:

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

Tabla 4.4.3 Permeabilidad del núcleo/ revoque del lodo C / grava con GPCF.

Presión de la prueba [lpc]	30	50	75	100	150
Presión de salida 1 [lpc]	1	2	2	2	2
Presión de salida 2 [lpc]	1	2	1	3	2
Presión de salida 3 [lpc]	1	2	2	2	2
Presión promedio de salida [lpc]	1	2	1,667	2,333	2
Presión promedio de salida (P2) [atm abs]	1,068	1,136	1,113	1,159	1,136
Presión de inyección 1 [lpc]	24	43	63	83	125
Presión de inyección 2 [lpc]	23	42	65	75	120
Presión de inyección 3 [lpc]	25	43	61	73	130
Presión promedio de inyección [lpc]	24	42,667	63	77	125
Presión promedio de inyección (P1) [atm abs]	2,632	3,901	5,284	6,236	9,5
Pprom [atm abs]	1,85	2,519	3,199	3,697	5,318
volumen promedio recolectado V1 [cc]	50	76	109	130	200
(P2 * V2)/Pprom = Vprom [cc]	71,135	117,722	180,06	219,26	357,3
Qprom = Vprom/20 seg. [cc/seg]	3,557	5,886	9,003	10,963	17,86
Área transversal de flujo [cm ²]	19,962	19,962	19,962	19,962	19,96
P1-P2 [atm]	1,564	2,765	4,171	5,077	8,364
longitud del medio poroso [cm]	20,94	20,94	20,94	20,94	20,94
Qprom/Área Transversal [cm/seg]	0,178	0,295	0,451	0,549	0,895
P2-P1 / L [atm/cm]	0,075	0,132	0,199	0,242	0,399
Permeabilidad [d]	209,929	196,487	199,27	199,32	197,2
Promedio aritmético de permeabilidad [d]	200,433				
pendiente de la gráfica	2,245				
viscosidad del fluido [cp]	88				
Permeabilidad método grafico [d]	197,56				
promedio de permeabilidades [d]	198,996				
permeabilidad del pozo ideal (sistema salmuera)	272,842				
perdida en permeabilidad %	27,065				



Gráfica 4.4.3 Permeabilidad del núcleo/ revoque de lodo C / grava con GPCF.

La ecuación de la línea recta trazada siguiendo los lineamientos teóricos que se explicaron previamente en el marco teórico en el tema de determinación de la permeabilidad de un medio poroso es la siguiente:

$$y = 2,245x - 0,0006 \quad (\text{Ec. 4.10})$$

Donde la pendiente de la recta representa el valor de K / μ .

Sabiendo que μ es igual a 88 cp, el valor de K para este caso es de 199 darcys, lo cuál implica una reducción de permeabilidad de 27,06 % con respecto al pozo ideal (sin revoque). Y a su vez, un 1,17 % menos perjudicial que el lodo base de Carbonato de Calcio RDF.

4.5 Fase 5: Eficiencia de limpiadores de revoque en algunos lodos utilizados en campo.

En esta ocasión se trabajó con los mismos limpiadores aplicados al RDF, pero esta vez se aplicaron a tres sistemas comerciales.

4.5.1 Lodo A.

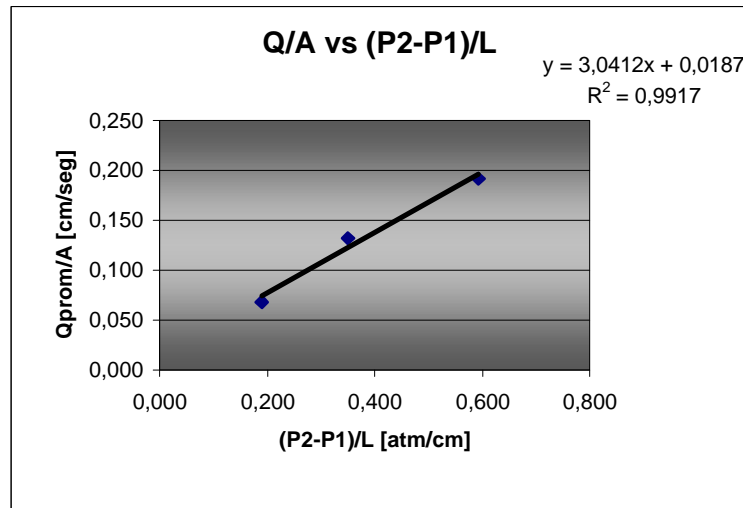
4.5.1.1 Resultados de la medición de permeabilidad al aceite del sistema núcleo/ revoque de lodo A/ grava saturada con GPCF + hipoclorito al 10%

A continuación se presentan los resultados obtenidos cuando el revoque de lodo A fue atacado con hipoclorito de sodio:

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

Tabla 4.5.1.1 Permeabilidad del núcleo/ revoque de lodo A/ grava saturada con GPCF + hipoclorito al 10%

Presión de la prueba [lpc]	30	50	75
Presión de salida 1 [lpc]	1	2	2
Presión de salida 2 [lpc]	1	2	1
Presión de salida 3 [lpc]	1	2	2
Presión promedio de salida [lpc]	1	2	2
Presión promedio de salida (P2) [atm abs]	1,068	1,136	1,113
Presión de inyección 1 [lpc]	20	43	60
Presión de inyección 2 [lpc]	26	42	60
Presión de inyección 3 [lpc]	20	43	62
Presión promedio de inyección [lpc]	22	43	61
Presión promedio de inyección (P1) [atm abs]	2,496	3,901	5,125
Pprom [atm abs]	1,782	2,519	3,119
volumen promedio recolectado V1 [cc]	60	95	152
$(P2 * V2)/Pprom = Vprom$ [cc]	84,04	147,152	249,75
$Qprom = Vprom/20 \text{ seg.}$ [cc/seg]	4,202	7,358	12,487
Área transversal de flujo [cm ²]	19,962	19,962	19,962
P1-P2 [atm]	1,428	2,765	4,012
longitud del medio poroso [cm]	20,94	20,94	20,94
$Qprom/\text{Área Transversal}$ [cm/seg]	0,211	0,369	0,626
$P2-P1 / L$ [atm/cm]	0,068	0,132	0,192
Permeabilidad [d]	271,635	245,609	287,32
Promedio aritmético de permeabilidad [d]	268188,34		
pendiente de la gráfica	3,041		
viscosidad del fluido * 1000 [cp]	88		
Permeabilidad método grafico [d]	267,625		
promedio de permeabilidades [d]	267,906		
permeabilidad del pozo ideal (sistema salmuera)	272,842		
perdida en permeabilidad %	1,808		



Gráfica 4.5.1.1 Permeabilidad del núcleo/ revoque de lodo A/ grava saturada con GPCF + hipoclorito al 10%

De la gráfica se tiene que la ecuación de la parte recta es:

$$y = 3,0412x + 0,0187 \quad (\text{Ec. 4.11})$$

Donde la pendiente de la recta representa el valor de K / μ .

Sabiendo que μ es igual a 88 cp, el valor de K para este caso es de 267,908 darcys, lo cuál implica una reducción de permeabilidad de 1,8 % con respecto al pozo ideal (sin revoque). Y a su vez, un 3,38% mas efectivo que el lodo base de Carbonato de Calcio RDF removido con hipoclorito.

Entre las observaciones visuales efectuadas es justo comentar que las partes no inoxidable de la celda receptora resultaron seriamente oxidadas debido al hipoclorito.

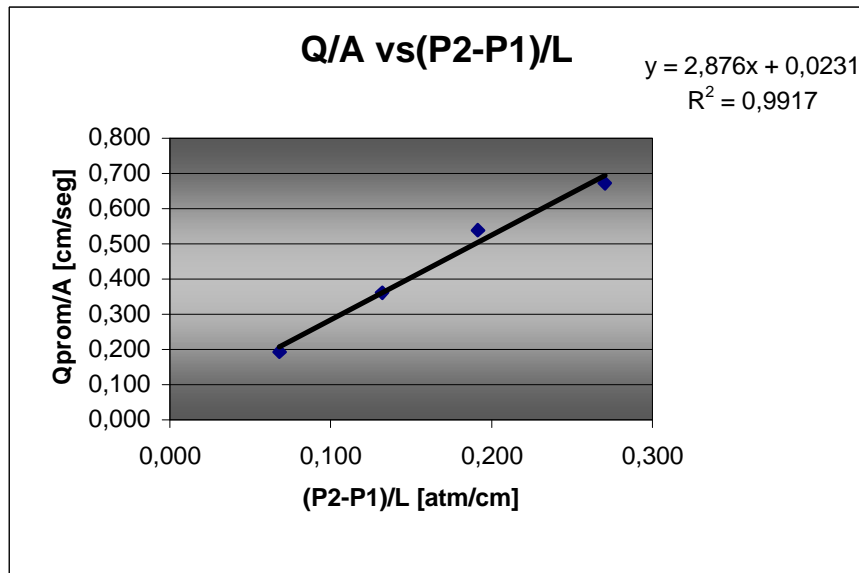
4.5.1.2 Resultados de la medición de permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo A/ grava saturada con GPCF + HCl al 10%.

A continuación se presentan los resultados de la aplicación de HCl como agente removedor del revoque del lodo A.

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

Tabla 4.5.1.2 Permeabilidad del núcleo/ revoque de lodo A/ grava con GPCF
+ HCl al 10%.

Presión de la prueba [lpc]	30	50	75	100
Presión de salida 1 [lpc]	1	2	2	2
Presión de salida 2 [lpc]	1	2	1	2
Presión de salida 3 [lpc]	1	2	2	3
Presión promedio de salida [lpc]	1	2	2	2
Presión promedio de salida (P2) [atm abs]	1,068	1,136	1,113	1,159
Presión de inyección 1 [lpc]	20	43	60	88
Presión de inyección 2 [lpc]	26	42	60	86
Presión de inyección 3 [lpc]	20	43	62	83
Presión promedio de inyección [lpc]	22	43	61	86
Presión promedio de inyección (P1) [atm abs]	2,496	3,901	5,125	6,825
Pprom [atm abs]	1,782	2,519	3,119	3,992
volumen promedio recolectado V1 [cc]	55	93	131	157
$(P2 * V2)/Pprom = Vprom$ [cc]	77,037	144,054	215,24	268,43
$Qprom = Vprom/20$ seg. [cc/seg]	3,852	7,203	10,762	13,422
Área transversal de flujo [cm ²]	19,962	19,962	19,962	19,962
P1-P2 [atm]	1,428	2,765	4,012	5,667
longitud del medio poroso [cm]	20,94	20,94	20,94	20,94
$Qprom/Área$ Transversal [cm/seg]	0,193	0,361	0,539	0,672
$P2-P1 / L$ [atm/cm]	0,068	0,132	0,192	0,271
Permeabilidad [d]	248,998	240,438	247,626	218,641
Promedio aritmético de permeabilidad [d]	238,925			
pendiente de la gráfica	2,876			
viscosidad del fluido * 1000 [cp]	88			
Permeabilidad método grafico [d]	253,088			
promedio de permeabilidades [d]	246,855			
Permeabilidad del pozo ideal (sistema salmuera)	272,842			
perdida en permeabilidad %	9,835			



Gráfica 4.5.1.2 Permeabilidad del núcleo/ revoque de lodo A/ grava con GPCF + HCl al 10%..

De la gráfica se genera la siguiente ecuación:

$$y = 2,876x + 0,0231 \quad (\text{Ec. 4.12})$$

El valor de K para este caso es de 246,006 darcys, lo cuál implica una reducción de permeabilidad de 9,83 % con respecto al pozo ideal (sin revoque). Y a su vez, un 3,87% mas efectivo que el lodo base de Carbonato de Calcio RDF removido con HCl.

Nuevamente las partes oxidables de la celda receptora resultaron seriamente afectadas por el oxido, el cual se debe a la presencia del HCl.

4.5.1.3 Resultados de la determinación de permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo A/ grava saturada con GPCF + Ultra Breake.

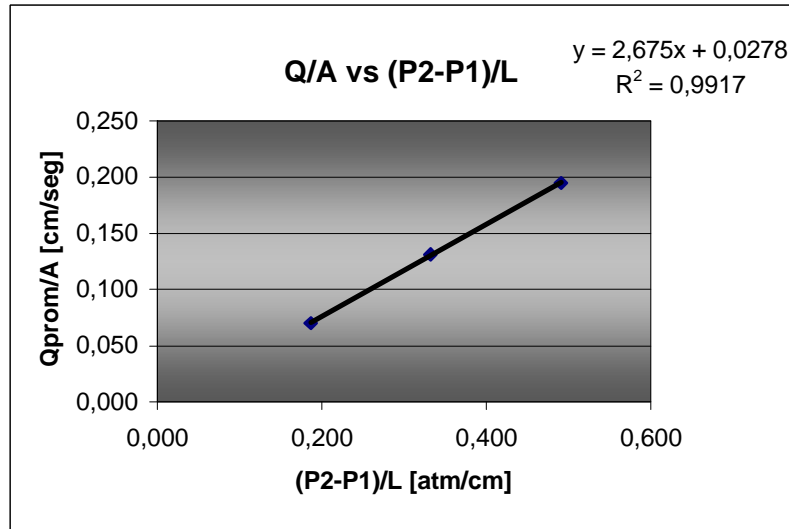
Al igual que en el caso anterior, esta prueba se efectuó sobre el lodo A, pero esta vez la diferencia es el removedor que se aplicó.

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

Los resultados se muestran a continuación:

Tabla 4.5.1.3 Permeabilidad del núcleo/ revoque de lodo A/ grava con GPCF
+ Ultra Breake

Presión de la prueba [lpc]	30	50	75
Presión de salida 1 [lpc]	1	2	2
Presión de salida 2 [lpc]	1	3	1
Presión de salida 3 [lpc]	1	2	2
Presión promedio de salida [lpc]	1	2	2
Presión promedio de salida (P2) [atm abs]	1,068	1,159	1,113
Presión de inyección 1 [lpc]	20	43	60
Presión de inyección 2 [lpc]	28	42	63
Presión de inyección 3 [lpc]	20	43	62
Presión promedio de inyección [lpc]	23	43	62
Presión promedio de inyección (P1) [atm abs]	2,541	3,901	5,193
Pprom [atm abs]	1,805	2,53	3,153
volumen promedio recolectado V1 [cc]	55	90	129
$(P2 * V2)/Pprom = Vprom$ [cc]	77,451	138,783	212,46
$Qprom = Vprom/20$ seg. [cc/seg]	3,873	6,939	10,623
Área transversal de flujo [cm ²]	19,962	19,962	19,962
P1-P2 [atm]	1,473	2,743	4,08
longitud del medio poroso [cm]	20,94	20,94	20,94
$Qprom/\text{Área Transversal}$ [cm/seg]	0,194	0,348	0,532
$P2-P1 / L$ [atm/cm]	0,07	0,131	0,195
Permeabilidad [d]	242,634	233,554	240,343
Promedio aritmético de permeabilidad [d]	238,843		
pendiente de la gráfica	2,675		
viscosidad del fluido [cp]	88		
Permeabilidad método grafico [d]	235,400		
promedio de permeabilidades [d]	237,121		
permeabilidad del pozo ideal (sistema salmuera)	272,842		
perdida en permeabilidad %	13,0920243		



Gráfica 4.5.1.3 Permeabilidad del núcleo/ revoque de lodo A/ grava con GPCF + Ultra Breake

De la gráfica 4.5.1.3 se puede generar la siguiente ecuación:

$$y = 2,675x + 0,0278 \quad (\text{Ec. 4.13})$$

Por tanto, en este caso el valor de K es de 237,121 darcys, lo cuál implica una reducción de permeabilidad de 13,09 % con respecto al pozo ideal (sin revoque). Y a su vez, un 7,65 % mas efectivo que el lodo base de Carbonato de Calcio RDF removido con Ultra Break.

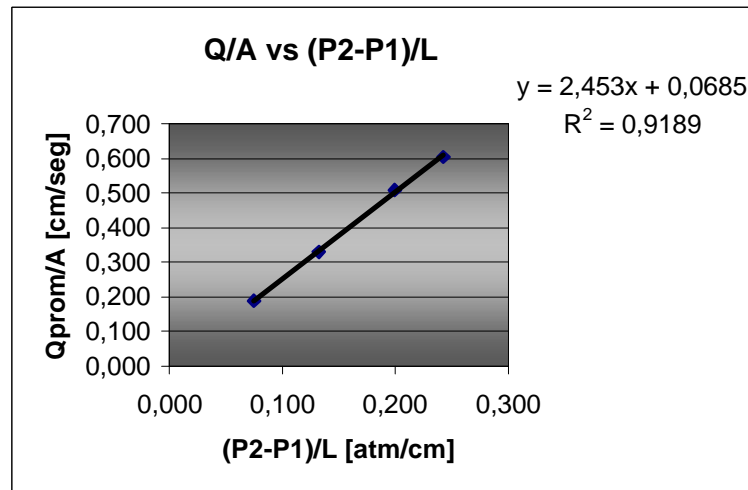
4.5.1.4 Resultados de la medición de la permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo A/ grava saturada con GPCF + Terpeno.

Esta es la ultima prueba efectuada a este fluido de perforación. En esta oportunidad se evaluó la eficiencia del terpeno como removedor de revoque mezclándolo en el GPCF.

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

Tabla 4.5.1.4 Permeabilidad del núcleo/ revoque de lodo A/ grava con GPCF
+ Terpeno

Presión de la prueba [lpc]	30	50	75	100
Presión de salida 1 [lpc]	1	2	2	2
Presión de salida 2 [lpc]	1	2	1	3
Presión de salida 3 [lpc]	1	2	2	2
Presión promedio de salida [lpc]	1	2	1,667	2,333
Presión promedio de salida (P2) [atm abs]	1,068	1,136	1,113	1,159
Presión de inyección 1 [lpc]	24	43	63	83
Presión de inyección 2 [lpc]	23	42	65	75
Presión de inyección 3 [lpc]	25	43	61	73
Presión promedio de inyección [lpc]	24	42,667	63	77
Presión promedio de inyección (P1) [atm abs]	2,632	3,901	5,284	6,236
Pprom [atm abs]	1,85	2,519	3,199	3,697
volumen promedio recolectado V1 [cc]	53	85	123	143
(P2 * V2)/Pprom = Vprom [cc]	75,403	131,662	203,19	241,19
Qprom = Vprom/20 seg. [cc/seg]	3,77	6,583	10,159	12,059
Área transversal de flujo [cm^2]	19,962	19,962	19,962	19,962
P1-P2 [atm]	1,564	2,765	4,171	5,077
longitud del medio poroso [cm]	20,94	20,94	20,94	20,94
Qprom/Área Transversal [cm/seg]	0,189	0,33	0,509	0,604
P2-P1 / L [atm/cm]	0,075	0,132	0,199	0,242
Permeabilidad [d]	222,525	219,755	224,86	219,25
Promedio aritmético de permeabilidad [d]	221,599			
pendiente de la gráfica	2,453			
Viscosidad del fluido * 1000 [cp]	88			
Permeabilidad método grafico [d]	215,864			
promedio de permeabilidades [d]	218,731			
permeabilidad del pozo ideal (sistema salmuera)	272,842			
perdida en permeabilidad %	19,832			



Gráfica 4.5.1.4 Determinación de permeabilidades.

Graficando los valores de la tabla 4.5.1.4 correspondientes a Q_p / A vs $\Delta P / L$ se obtiene la siguiente ecuación:

$$y = 2,453x + 0,0685 \quad (\text{Ec. 4.13})$$

La cual tiene una correlación de 0,9189

La pendiente de la recta representa el valor de K / μ , si μ es igual a 88 cp, el valor de K para este caso es de 218,731 darcys, lo cuál implica una reducción de permeabilidad de 19,83 % con respecto al pozo ideal (sin revoque). Y a su vez, un 7,85 % mas efectivo que el lodo base de Carbonato de Calcio RDF removido con Terpeno.

4.5.2 Lodo B.

4.5.2.1 Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de B/ grava saturada con GPCF + hipoclorito al 10%.

Luego de hechas todas las pruebas al lodo A y al RDF, se procedió a probar el siguiente lodo B.

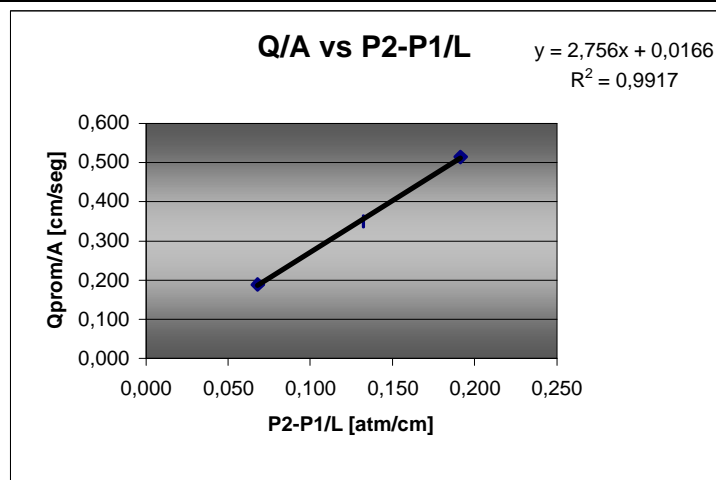
Este lodo fue atacado con los mismos removedores empleados para los demás lodos y en esta prueba en específico con hipoclorito de sodio.

Resultados del revoque de lodo B atacado con hipoclorito:

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

Tabla 4.5.2.1 Permeabilidad del sistema núcleo / revoque de lodo B/ grava con GPCF e hipoclorito al 10%.

Presión de la prueba [lpc]	30	50	75
Presión de salida 1 [lpc]	1	2	2
Presión de salida 2 [lpc]	1	2	1
Presión de salida 3 [lpc]	1	2	2
Presión promedio de salida [lpc]	1	2	2
Presión promedio de salida (P2) [atm abs]	1,068	1,136	1,113
Presión de inyección 1 [lpc]	20	43	60
Presión de inyección 2 [lpc]	26	42	60
Presión de inyección 3 [lpc]	20	43	62
Presión promedio de inyección [lpc]	22	43	61
Presión promedio de inyección (P1) [atm abs]	2,496	3,901	5,125
Pprom [atm abs]	1,782	2,519	3,119
volumen promedio recolectado V1 [cc]	54	90	125
$(P2 * V2)/Pprom = Vprom$ [cc]	75,636	139,407	205,39
$Qprom = Vprom/20$ seg. [cc/seg]	3,782	6,97	10,269
Área transversal de flujo [cm ²]	19,962	19,962	19,962
P1-P2 [atm]	1,428	2,765	4,012
longitud del medio poroso [cm]	20,94	20,94	20,94
$Qprom/\text{Área Transversal}$ [cm/seg]	0,189	0,349	0,514
$P2-P1 / L$ [atm/cm]	0,068	0,132	0,192
Permeabilidad [md]	244,471	232,682	236,284
Promedio aritmético de permeabilidad [d]	237,812		
Pendiente de la gráfica	2,756		
viscosidad del fluido [cp]	88		
Permeabilidad método grafico [d]	242528		
promedio de permeabilidades [d]	240,170		
permeabilidad del pozo ideal (sistema salmuera)	272,842		
perdida en permeabilidad %	11,974		



Gráfica 4.5.2.1 Permeabilidad del sistema núcleo / revoque de lodo B/ grava con GPCF e hipoclorito al 10%.

De la gráfica 4.5.2.1 se puede calcular la ecuación:

$$y = 2,756x + 0,0166 \quad (\text{Ec. 4.14})$$

De allí que la permeabilidad en este caso sea de 240,17 darcys, lo cuál implica una reducción de permeabilidad de 11,97 % con respecto al pozo ideal (sin revoque). Y a su vez, un 6,793 % menos efectivo que el lodo base de Carbonato de Calcio RDF removido con hipoclorito.

4.5.2.2 Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo B/ grava saturada con GPCF + HCl al 10%.

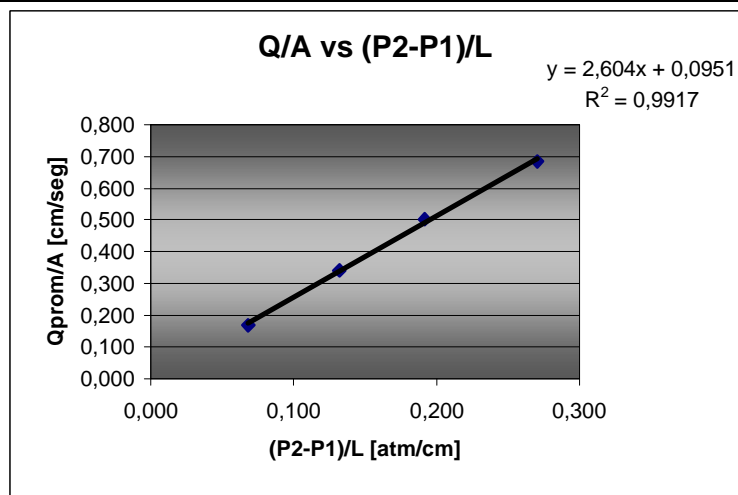
Del revoque del lodo B ya se tienen los resultados de su remoción con hipoclorito, por tanto el paso siguiente es atacarle con HCl al 10 % mezclado con el fluido transportador de la grava GPCF en una proporción de 1 a 10.

Los resultados fueron los siguientes:

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

Tabla 4.5.2.2 Permeabilidad del sistema núcleo / revoque de lodo B/ grava con GPCF e hipoclorito al 10%.

Presión de la prueba [lpc]	30	50	75	100
Presión de salida 1 [lpc]	1	2	2	2
Presión de salida 2 [lpc]	1	2	1	2
Presión de salida 3 [lpc]	1	2	2	3
Presión promedio de salida [lpc]	1	2	2	2
Presión promedio de salida (P2) [atm abs]	1,068	1,136	1,113	1,159
Presión de inyección 1 [lpc]	20	43	60	88
Presión de inyección 2 [lpc]	26	42	60	86
Presión de inyección 3 [lpc]	20	43	62	83
Presión promedio de inyección [lpc]	22	43	61	86
Presión promedio de inyección (P1) [atm abs]	2,496	3,901	5,125	6,825
Pprom [atm abs]	1,782	2,519	3,119	3,992
volumen promedio recolectado V1 [cc]	48	88	122	160
$(P2 * V2)/Pprom = Vprom$ [cc]	67,232	136,309	200,46	273,56
$Qprom = Vprom/20$ seg. [cc/seg]	3,362	6,815	10,023	13,678
Área transversal de flujo [cm ²]	19,962	19,962	19,962	19,962
P1-P2 [atm]	1,428	2,765	4,012	5,667
longitud del medio poroso [cm]	20,94	20,94	20,94	20,94
$Qprom/\text{Área Transversal}$ [cm/seg]	0,168	0,341	0,502	0,685
$P2-P1 / L$ [atm/cm]	0,068	0,132	0,192	0,271
Permeabilidad [d]	217,308	227,511	230,613	222,818
Promedio aritmético de permeabilidad [d]	224,562			
pendiente de la gráfica	2,604			
viscosidad del fluido [cp]	88			
Permeabilidad método grafico [d]	229,152			
promedio de permeabilidades [d]	226,857			
Permeabilidad del pozo ideal (sistema salmuera)	272,842			
Perdida en permeabilidad %	16,8540715			



Gráfica 4.5.2.2 Permeabilidad del sistema núcleo / revoque de lodo B/ grava con GPCF e hipoclorito al 10%..

Trazando la recta que incluya la mayor cantidad de puntos de la gráfica 4.5.2.2 Se determina la ecuación:

$$y = 2,604x + 0,0951 \quad (\text{Ec. 4.15})$$

Donde la pendiente de la recta representa el valor de K / μ .

Sabiendo que μ es igual a 88 cp, el valor de K para este caso es de 226,857 darcys, lo cuál implica una reducción de permeabilidad de 16,85 % con respecto al pozo ideal (sin revoque). Y a su vez, un 3,13% menos efectivo que el lodo base de Carbonato de Calcio RDF removido con HCl.

4.5.2.3 Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo B/ grava saturada con GPCF + Ultra Break.

Al igual que en las anteriores pruebas, se procedió a medir la reducción de permeabilidad final obtenida debida a la aplicación en este caso del removedor Ultra Breake.

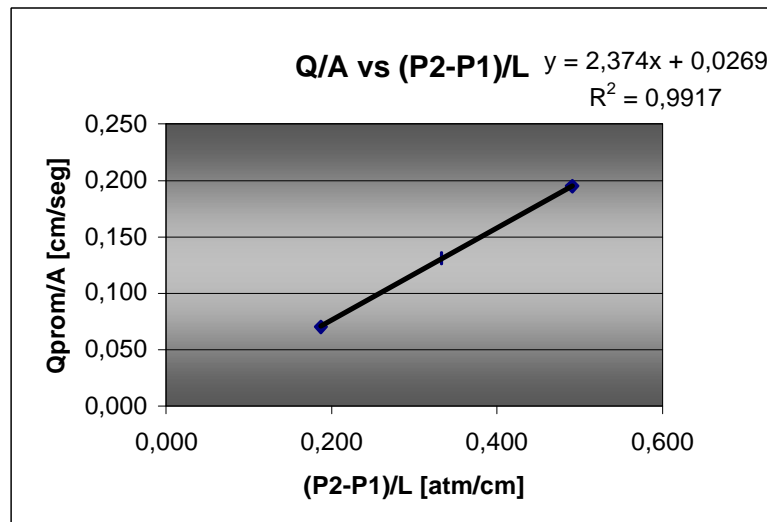
Ya en los casos anteriores este removedor mostró ser poco eficiente, a la misma vez que presentó problemas de taponeamiento de liner. Aunque su formulación fue revisada por parte del técnico del laboratorio fue imposible superar estos problemas.

Los resultados se muestran a continuación:

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

Tabla 4.5.2.3 Permeabilidad del sistema núcleo / revoque de lodo B / grava con GPCF y Ultra Breake

Presión de la prueba [lpc]	30	50	75
Presión de salida 1 [lpc]	1	2	2
Presión de salida 2 [lpc]	1	3	1
Presión de salida 3 [lpc]	1	2	2
Presión promedio de salida [lpc]	1	2	2
Presión promedio de salida (P2) [atm abs]	1,068	1,159	1,113
Presión de inyección 1 [lpc]	20	43	60
Presión de inyección 2 [lpc]	28	42	63
Presión de inyección 3 [lpc]	20	43	62
Presión promedio de inyección [lpc]	23	43	62
Presión promedio de inyección (P1) [atm abs]	2,541	3,901	5,193
Pprom [atm abs]	1,805	2,53	3,153
volumen promedio recolectado V1 [cc]	48	84	117
(P2 * V2)/Pprom = Vprom [cc]	67,594	129,53	192,69
Qprom = Vprom/20 seg. [cc/seg]	3,38	6,477	9,635
Área transversal de flujo [cm^2]	19,962	19,962	19,962
P1-P2 [atm]	1,473	2,743	4,08
longitud del medio poroso [cm]	20,94	20,94	20,94
Qprom/Área Transversal [cm/seg]	0,169	0,324	0,483
P2-P1 / L [atm/cm]	0,07	0,131	0,195
Permeabilidad [d]	211,753	217,984	217,99
Promedio aritmético de permeabilidad [d]	215,907461		
pendiente de la gráfica	2,374		
viscosidad del fluido * 1000 [cp]	88		
Permeabilidad método grafico [d]	208,912		
promedio de permeabilidades [d]	212,40973		
permeabilidad del pozo ideal (sistema salmuera)	272,842394		
perdida en permeabilidad %	22,1492939		



Gráfica 4.5.2.3 Permeabilidad del sistema núcleo / revoque de lodo B/ grava con GPCF y Ultra Breake

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

La gráfica 4.5.2.3 muestra la recta:

$$y = 2,374x + 0,0269 \quad (\text{Ec. 4.16})$$

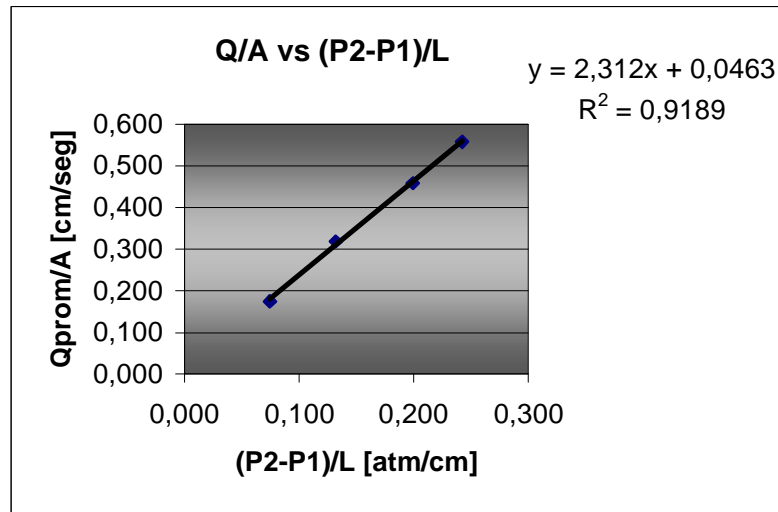
La permeabilidad correspondiente para este caso es de 212,409 darcys, lo cuál implica una reducción de permeabilidad de 22,14 % con respecto al pozo ideal (sin revoque). Y a su vez, un 1,4 % mas perjudicial que el lodo base de Carbonato de Calcio RDF removido con Ultra Break.

4.5.2.4 Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica / revoque de lodo B/ grava saturada con GPCF + Terpeno.

Los resultados se presentan a continuación

Tabla 4.5.2.4 Permeabilidad del sistema núcleo / revoque de lodo B/ grava con GPCF y Terpeno

Presión de la prueba [lpc]	30	50	75	100
Presión de salida 1 [lpc]	1	2	2	2
Presión de salida 2 [lpc]	1	2	1	3
Presión de salida 3 [lpc]	1	2	2	2
Presión promedio de salida [lpc]	1	2	1,667	2,333
Presión promedio de salida (P2) [atm abs]	1,068	1,136	1,113	1,159
Presión de inyección 1 [lpc]	24	43	63	83
Presión de inyección 2 [lpc]	23	42	65	75
Presión de inyección 3 [lpc]	25	43	61	73
Presión promedio de inyección [lpc]	24	42,667	63	77
Presión promedio de inyección (P1) [atm abs]	2,632	3,901	5,284	6,236
Pprom [atm abs]	1,85	2,519	3,199	3,697
volumen promedio recolectado V1 [cc]	49	82	111	132
(P2 * V2)/Pprom = Vprom [cc]	69,712	127,015	183,37	222,63
Qprom = Vprom/20 seg. [cc/seg]	3,486	6,351	9,168	11,132
Área transversal de flujo [cm^2]	19,962	19,962	19,962	19,962
P1-P2 [atm]	1,564	2,765	4,171	5,077
longitud del medio poroso [cm]	20,94	20,94	20,94	20,94
Qprom/Área Transversal [cm/seg]	0,175	0,318	0,459	0,558
P2-P1 / L [atm/cm]	0,075	0,132	0,199	0,242
Permeabilidad [d]	205,731	211,999	202,93	202,39
Promedio aritmético de permeabilidad [d]	205,76			
pendiente de la gráfica	2,312			
viscosidad del fluido [cp]	88			
Permeabilidad método grafico [d]	203,456			
promedio de permeabilidades [d]	204,608			
permeabilidad del pozo ideal (sistema salmuera)	272,842			
perdida en permeabilidad %	25,009			



Gráfica 4.5.2.4 Permeabilidad del sistema núcleo / revoque de lodo B/ grava con GPCF y Terpeno

De la gráfica anterior se genera la ecuación :

$$y = 2,312x + 0,0463 \quad (\text{Ec. 4.17})$$

K para este caso es de 204,608 darcys, lo cuál implica una reducción de permeabilidad de 25 % con respecto al pozo ideal (sin revoque). Y a su vez, un 2,64 % mas efectivo que el lodo base de Carbonato de Calcio RDF removido con Terpeno.

4.5.3 Lodo C.

4.5.3.1 Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo C / grava saturada con GPCF + hipoclorito al 10%

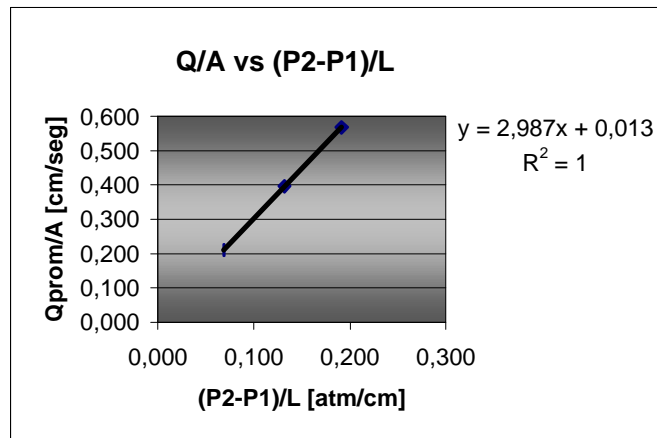
En esta prueba se aplico sobre el revoque una solución de fluido transportador de la grava modificada con 10 % de hipoclorito de sodio.

Los resultados de la pruebas fueron los siguientes:

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

Tabla 4.5.3.1 Permeabilidad del sistema núcleo / revoque del lodo C/ grava con GPCF e hipoclorito

Presión de la prueba [lpc]	30	50	75
Presión de salida 1 [lpc]	1	2	2
Presión de salida 2 [lpc]	1	2	1
Presión de salida 3 [lpc]	1	2	2
Presión promedio de salida [lpc]	1	2	2
Presión promedio de salida (P2) [atm abs]	1,068	1,136	1,113
Presión de inyección 1 [lpc]	20	43	60
Presión de inyección 2 [lpc]	26	42	60
Presión de inyección 3 [lpc]	20	43	62
Presión promedio de inyección [lpc]	22	43	61
Presión promedio de inyección (P1) [atm abs]	2,496	3,901	5,125
Pprom [atm abs]	1,782	2,519	3,119
volumen promedio recolectado V1 [cc]	60	102	138
$(P2 * V2)/Pprom = Vprom$ [cc]	84,04	157,995	226,75
$Qprom = Vprom/20$ seg. [cc/seg]	4,202	7,9	11,337
Área transversal de flujo [cm ²]	19,962	19,962	19,962
P1-P2 [atm]	1,428	2,765	4,012
longitud del medio poroso [cm]	20,94	20,94	20,94
$Qprom/\text{Área Transversal}$ [cm/seg]	0,211	0,396	0,568
$P2-P1 / L$ [atm/cm]	0,068	0,132	0,192
Permeabilidad [md]	271,635	263,706	260,858
Promedio aritmético de permeabilidad [d]	265,399		
pendiente de la gráfica	2,987		
viscosidad del fluido [cp]	88		
Permeabilidad método grafico [d]	262,856		
promedio de permeabilidades [d]	264,127		
permeabilidad del pozo ideal (sistema salmuera)	272,842		
Perdida en permeabilidad %	3,194		



Gráfica 4.5.3.1 Permeabilidad del sistema núcleo / revoque del lodo C/ grava con GPCF e hipoclorito

En la gráfica 4.5.3.1 aparece una recta de ecuación:

$$y = 2,987x + 0,013 \quad (\text{Ec. 4.18})$$

El valor de K para este caso es de 264,127 darcys, lo cuál implica una reducción de permeabilidad de 3,19 % con respecto al pozo ideal (sin revoque), y a su vez, un 2 % mas efectivo que el lodo base de carbonato de calcio RDF removido con hipoclorito.

4.5.3.2 Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo C / grava satura con GPCF + HCl al 10%.

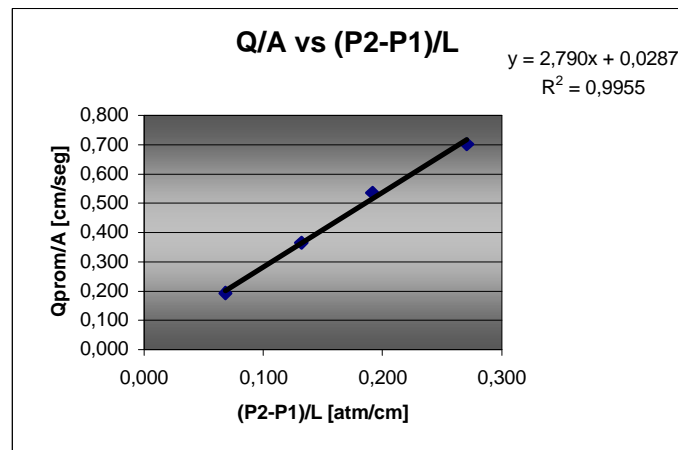
Una vez reportados tanto los valores de presión de entrada como de salida de la celda receptora, como el volumen de salmuera recogida a la salida del sistema, se procede a determinar el valor de la permeabilidad del sistema utilizando el método de determinación de permeabilidades conociendo las presiones promedio del sistema, viscosidad del fluido, dimensiones del medio poroso y caudal que le atraviesa, el cual se explicó en el marco teórico.

Resultados de las pruebas efectuadas al sistema:

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

Tabla 4.5.3.2 Permeabilidad del sistema núcleo / revoque del lodo C / grava con GPCF y HCl al 10%

Presión de la prueba [lpc]	30	50	75	100
Presión de salida 1 [lpc]	1	2	2	2
Presión de salida 2 [lpc]	1	2	1	2
Presión de salida 3 [lpc]	1	2	2	3
Presión promedio de salida [lpc]	1	2	2	2
Presión promedio de salida (P2) [atm abs]	1,068	1,136	1,113	1,159
Presión de inyección 1 [lpc]	20	43	60	88
Presión de inyección 2 [lpc]	26	42	60	86
Presión de inyección 3 [lpc]	20	43	62	83
Presión promedio de inyección [lpc]	22	43	61	86
Presión promedio de inyección (P1) [atm abs]	2,496	3,901	5,125	6,825
Pprom [atm abs]	1,782	2,519	3,119	3,992
Volumen promedio recolectado V1 [cc]	55	94	130	164
(P2 * V2)/Pprom = Vprom [cc]	77,037	145,603	213,6	280,4
Qprom = Vprom/20 seg. [cc/seg]	3,852	7,28	10,68	14,02
Área transversal de flujo [cm ²]	19,962	19,962	19,962	19,962
P1-P2 [atm]	1,428	2,765	4,012	5,667
Longitud del medio poroso [cm]	20,94	20,94	20,94	20,94
Qprom/Área Transversal [cm/seg]	0,193	0,365	0,535	0,702
P2-P1 / L [atm/cm]	0,068	0,132	0,192	0,271
Permeabilidad [d]	248,998	243,023	245,736	228,389
Promedio aritmético de permeabilidad [d]	241,536			
Pendiente de la gráfica	2,79			
Viscosidad del fluido [cp]	88			
Permeabilidad método grafico [d]	245,520			
Promedio de permeabilidades [d]	243,528			
permeabilidad del pozo ideal (sistema salmuera)	272,842			
perdida en permeabilidad %	10,749			



Gráfica 4.5.3.2 Permeabilidad del sistema núcleo / revoque del lodo C/ grava con GPCF y HCl al 10%

En la gráfica 4.5.3.2 se aprecia una recta de ecuación:

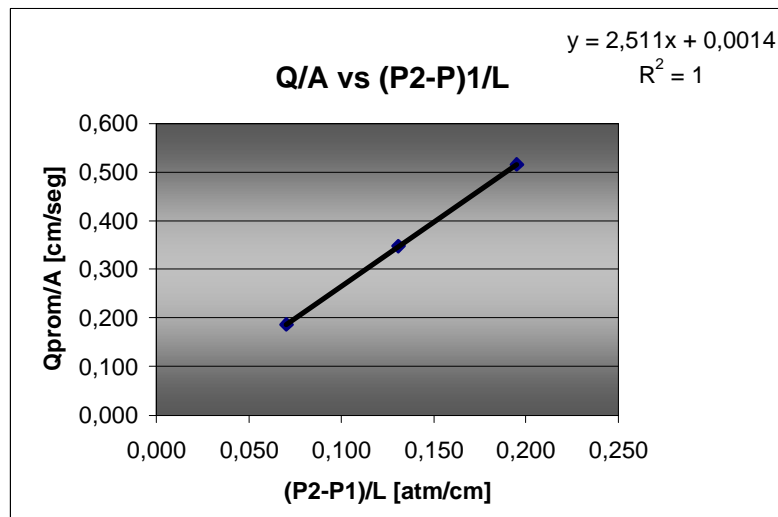
$$y = 2,790x + 0,0287 \quad (\text{Ec. 4.19})$$

K para este caso es de 243,52 darcys, lo cuál implica una reducción de permeabilidad de 10,74 % con respecto al pozo ideal (sin revoque). Y a su vez, un 2,98 % mas efectivo que el lodo base de Carbonato de Calcio RDF removido con HCl.

4.5.3.3 Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo C / grava saturada con GPCF + Ultra Break.

Esta prueba se llevo a cabo con la finalidad de evaluar la efectividad del removedor de revoque que menos ventajas presentó a lo largo de todas las pruebas realizadas con anterioridad, pero esta vez con el lodo C.

La figura que se presenta a continuación es resultado de la tabla 4.5.3.3



Gráfica 4.5.3.3 Permeabilidad del sistema núcleo / revoque de lodo C / grava con GPCF y Ultra Breake

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

Tabla 4.5.3.3 Permeabilidad del sistema núcleo / revoque de lodo C / grava con GPCF y Ultra Breake

Presión de la prueba [lpc]	30	50	75
Presión de salida 1 [lpc]	1	2	2
Presión de salida 2 [lpc]	1	3	1
Presión de salida 3 [lpc]	1	2	2
Presión promedio de salida [lpc]	1	2	2
Presión promedio de salida (P2) [atm abs]	1,068	1,159	1,113
Presión de inyección 1 [lpc]	20	43	60
Presión de inyección 2 [lpc]	28	42	63
Presión de inyección 3 [lpc]	20	43	62
Presión promedio de inyección [lpc]	23	43	62
Presión promedio de inyección (P1) [atm abs]	2,541	3,901	5,193
Pprom [atm abs]	1,805	2,53	3,153
volumen promedio recolectado V1 [cc]	53	90	125
$(P2 * V2)/Pprom = Vprom$ [cc]	74,635	138,783	205,87
$Qprom = Vprom/20 \text{ seg.}$ [cc/seg]	3,732	6,939	10,293
Área transversal de flujo [cm ²]	19,962	19,962	19,962
P1-P2 [atm]	1,473	2,743	4,08
longitud del medio poroso [cm]	20,94	20,94	20,94
$Qprom/\text{Área Transversal}$ [cm/seg]	0,187	0,348	0,516
$P2-P1 / L$ [atm/cm]	0,07	0,131	0,195
Permeabilidad [d]	233,811	233,554	232,890
Promedio aritmético de permeabilidad [d]	233,418422		
pendiente de la gráfica	2,511		
viscosidad del fluido [cp]	88		
Permeabilidad método grafico [d]	220,968		
promedio de permeabilidades [d]	227,193		
permeabilidad del pozo ideal	272,842		
perdida en permeabilidad %	16,7309715		

La ecuación de la línea recta trazada en la gráfica 4.5.3.3 es la siguiente:

$$y = 2,511x + 0,0014 \quad (\text{Ec. 4.20})$$

En este caso K es de 227,193 darcys, lo cuál implica una reducción de permeabilidad de 16,73 % con respecto al pozo ideal (sin revoque). Y a su vez, un 4,01 % menos perjudicial que el lodo base de Carbonato de Calcio RDF removido con Ultra Break.

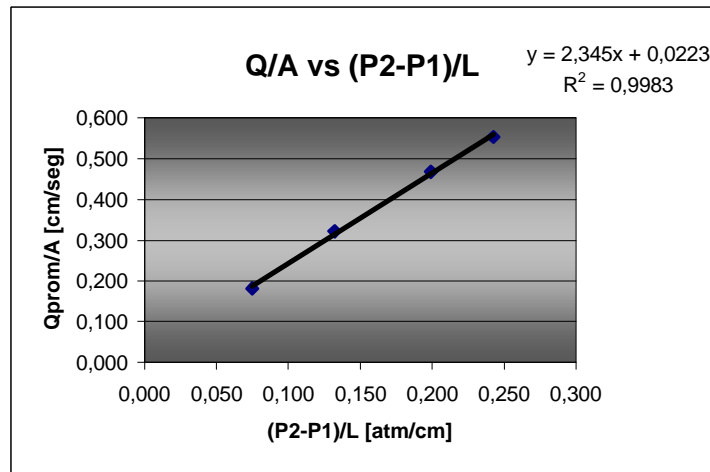
4.5.3.4 Permeabilidad al aceite del sistema núcleo de cerámica/ revoque de lodo C / grava saturada con GPCF + Terpeno.

Esta fue la última prueba realizada en laboratorio, se evaluó la eficiencia del GPCF con terpeno como agente removedor de revoque de lodo C.

Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 4.5.3.4 Permeabilidad del sistema núcleo / revoque de lodo C / grava con GPCF y Terpeno

Presión de la prueba [lpc]	30	50	75	100
Presión de salida 1 [lpc]	1	2	2	2
Presión de salida 2 [lpc]	1	2	1	3
Presión de salida 3 [lpc]	1	2	2	2
Presión promedio de salida [lpc]	1	2	1,667	2,333
Presión promedio de salida (P2) [atm abs]	1,068	1,136	1,113	1,159
Presión de inyección 1 [lpc]	24	43	63	83
Presión de inyección 2 [lpc]	23	42	65	75
Presión de inyección 3 [lpc]	25	43	61	73
Presión promedio de inyección [lpc]	24	42,667	63	77
Presión promedio de inyección (P1) [atm abs]	2,632	3,901	5,284	6,236
Pprom [atm abs]	1,85	2,519	3,199	3,697
volumen promedio recolectado V1 [cc]	51	83	113	131
$(P2 * V2)/Pprom = Vprom$ [cc]	72,558	128,564	186,67	220,95
$Qprom = Vprom/20 \text{ seg.}$ [cc/seg]	3,628	6,428	9,333	11,047
Área transversal de flujo [cm ²]	19,962	19,962	19,962	19,962
P1-P2 [atm]	1,564	2,765	4,171	5,077
longitud del medio poroso [cm]	20,94	20,94	20,94	20,94
$Qprom/\text{Área Transversal}$ [cm/seg]	0,182	0,322	0,468	0,553
$P2-P1 / L$ [atm/cm]	0,075	0,132	0,199	0,242
Permeabilidad [d]	214,128	214,584	206,58	200,85
Promedio aritmético de permeabilidad [d]	209,037			
pendiente de la gráfica	2,345			
viscosidad del fluido * 1000 [cp]	88			
Permeabilidad método grafico [d]	206,36			
promedio de permeabilidades [d]	207,698			
Permeabilidad del pozo ideal (sistema salmuera)	272,842			
perdida en permeabilidad %	23,876			



Gráfica 4.5.3.4 Permeabilidad del sistema núcleo / revoque de lodo C / grava con GPCF y Terpeno

La igualdad que se genera de la gráfica 4.5.3.4 se representa a continuación:

$$y = 2,345x + 0,0223$$

K para este caso es de 207,698 darcys, lo cuál implica una reducción de permeabilidad de 23,87 % con respecto al pozo ideal (sin revoque). Y a su vez, un 3,81 % mas efectivo que el lodo base de Carbonato de Calcio RDF removido con Terpeno.

En todos los experimentos realizados se cumplió que la suma en serie de las permeabilidades por separado fue igual a la permeabilidad total del sistema (ver ejemplo en el apéndice C.2).

El volumen promedio de GPCF utilizado fue de 150 cc. Dicho volumen fue desplazado totalmente de la celda por el aceite al aplicar el contraflujo (siempre que la presión de la prueba así lo permitiera), lo cual indica las excelentes características de barrido del aceite al GPCF en el medio poroso representado por el empaque de grava.

4.6 Comparación de los diferentes sistemas

A continuación se presentan una serie de gráficas, en las cuales se destaca la efectividad de los diferentes métodos de remoción de revoques

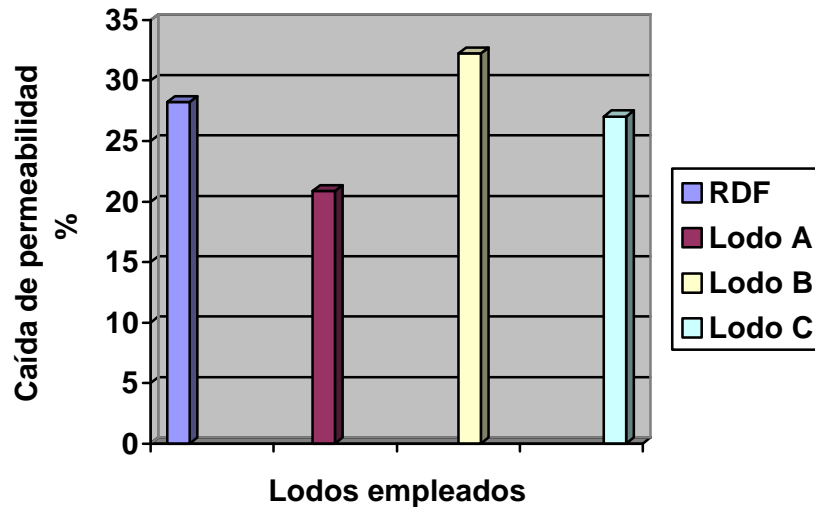


Figura 4.6.1 Comparación de pérdidas en permeabilidades con respecto al pozo ideal de los diferentes sistemas probados, representadas en porcentajes.

De esta gráfica se puede decir que el revoque que menos daño al pozo causa es el del lodo A, seguido por el lodo C y el RDF.

El revoque que causa mayores daños a la formación es el creado con lodo B. Todos estos sistemas fueron comparados con el pozo ideal a condiciones iniciales, el cual es el simulado por un contraflujo de fluido hidráulico a través del filtro disco saturado con KCL 3% y grava saturada con salmuera de 9,5 lpg.

Considerando como pozo ideal aquel que no tiene revoque a condiciones iniciales de flujo, que sería el objetivo buscado cuando se añaden removedores al sistema.

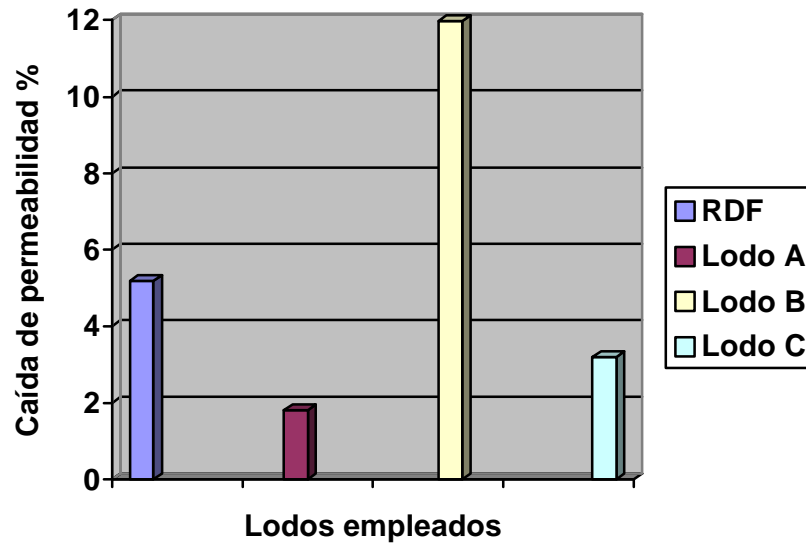


Figura 4.6.2 Aquí se representa La pérdida en permeabilidad en porcentaje con respecto al pozo ideal resultante al final del proceso de ataque con Hipoclorito.

En esta gráfica se mezclan la Fase 3 con la 5 donde a los diferentes sistemas evaluados son atacados por removedores. En este caso en específico, por hipoclorito de sodio.

Llama la atención el elevado rendimiento de las pruebas que tenían formado un revoque de lodo A acado por hipoclorito. En este caso la caída de permeabilidad fue inferior a dos puntos porcentuales, lo que indica que un pozo altamente inclinado perforado con lodo A, completado con un empaque de grava transportado por un GPCF formulado con hipoclorito de sodio permite obtener tasas de producciones similares a las esperadas de nunca haber existido revoque.

Lo mismo pasa con los demás sistemas probados, manteniendo todos un rango de daño menor a doce puntos pocentuales comparando con el pozo ideal.

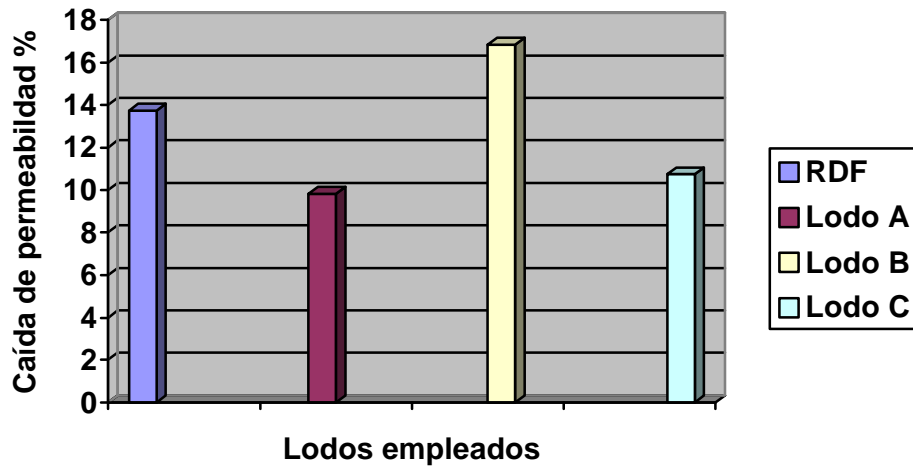


Figura 4.6.3 Aparecen representadas en porcentaje las pérdidas en permeabilidades con respecto al pozo ideal después del proceso de ataque a los diferentes revoques con HCl.

En esta oportunidad los diferentes sistemas reaccionaron de forma poco favorable, considerando que el rango de pérdidas de permeabilidad del pozo va de 10 a 17%, además, debido a los problemas que puede traer aplicar esta operación en cuanto a caídas de productividad, se aconseja realizar previamente un estudio económico que involucre costos de reparación de pozo (post completación) versus el método de remoción de revoque mediante el GPCF o simplemente no remover el revoque.

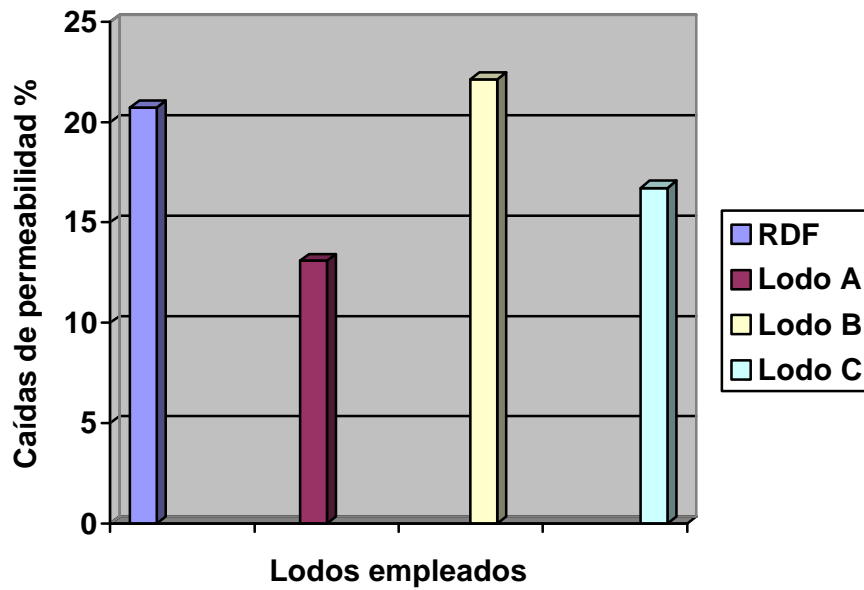


Figura 4.6.4 Aparecen representadas en porcentaje las pérdidas en permeabilidades con respecto al pozo ideal después del proceso de ataque a los diferentes revoques con Ultra Break.

Resulta claro que comparando con los sistemas anteriormente empleados, el Ultra Break fue el que presentó condiciones de remoción de revoque menos favorables. El rango de recuperación de permeabilidad va de un 13 a un 23 % aproximadamente.

Resulta importante recordar que en muchos casos cuando se utiliza el Ultra Break el liner resultó taponado a presiones superiores a 95 lpc. Lo cuál puede causar serios problemas si llegara a pasar en producción de un pozo real.

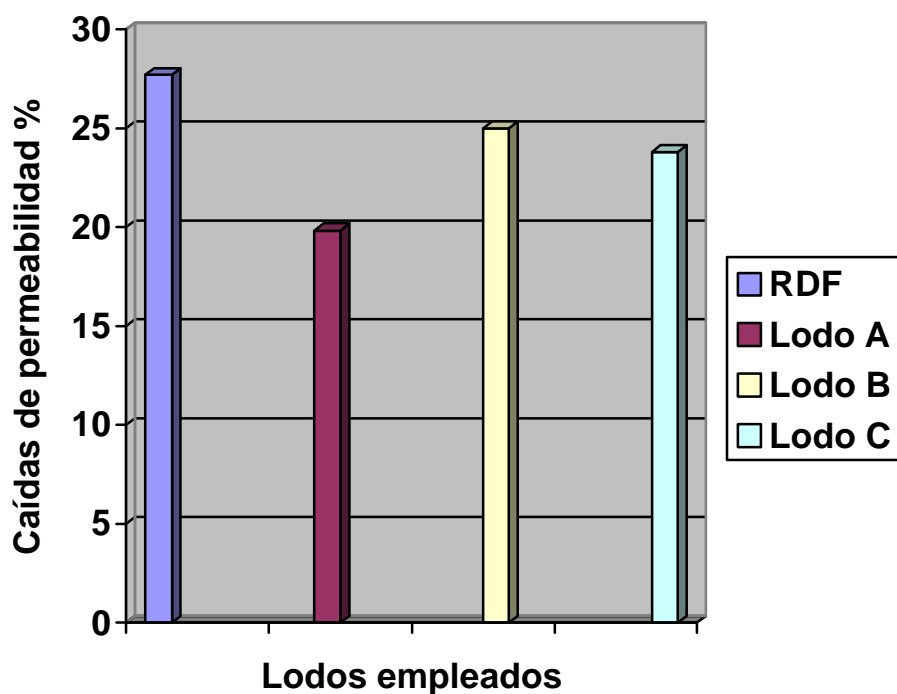


Figura 4.6.5 Aparecen representadas en porcentaje las pérdidas en permeabilidades con respecto al pozo ideal después del proceso de ataque a los diferentes revoques con Terpeno.

Con esta gráfica se puede observar que el terpeno como agente removedor de revoques resulta poco efectivo. Comparando entre los diferentes sistemas se puede determinar que el revoque del lodo C es el que mejor reacciona al ataque por terpeno, esto se puede deber a la cantidad de aceite presente en la formulación del lodo.

5 CONCLUSIONES

A continuación se presenta una serie de conclusiones que se arrojan del análisis exhaustivo de los resultados de esta Tesis:

- ✓ La presencia del revoque entre la formación y el empaque de grava representa una obstrucción que causa caídas considerables en la permeabilidad (alrededor de 25 %) del medio formación / grava / liner.
- ✓ El uso de removedores de revoque mezclados con el fluido transportador de la grava es una práctica que arroja resultados favorables para la solución del problema de daño colateral causado por la presencia del revoque en las paredes del hoyo.
- ✓ El agente removedor de mayor eficiencia entre los diferentes sistemas probados es la solución de hipoclorito al 5% mezclada con el fluido transportador de la grava en una relación 90/10 v/v.
- ✓ El fluido de perforación que presentó menor daño al empaque y el liner es el lodo A; Adicionalmente la remoción del revoque formado por este fluido fue la más óptima por ser la que menos opuso resistencia a los agentes limpiadores del mismo.
- ✓ Se evidencia que el revoque del RDF utilizado como lodo base en este trabajo se desprende del disco filtro de 20 micrones si se aplica un diferencial de presión comprendido entre 60 y 70 lpc.
- ✓ El fluido de perforación que arrojó resultados menos favorables en este estudio fue el Lodo B. Tanto como reducción de permeabilidad del empaque de grava, como su dificultad a ser removido por las diferentes sustancias empleadas para atacar a los revoques.

6 Recomendaciones

Una vez realizado este trabajo se sugiere seguir las siguientes recomendaciones para trabajos posteriores:

- ✓ Se debe atacar al revoque con el fin de disminuir a la mínima expresión el daño que éste causa sobre el empaque de grava.
- ✓ Realizar una evaluación económica de los costos de los removedores versus los costos que se generan debido a la caída de producción causada por la presencia del revoque.
- ✓ Se debe tener mucho cuidado cuando se este formulando o creando el GPCF, ya que un GPCF mal formulado puede causar tanto o más daño que dejar el pozo sin ningún tratamiento.
- ✓ Al utilizar hipoclorito como removedor de revoque mezclado en el GPCF, es recomendable agregar algún agente anticorrosivo,
- ✓ Se recomienda perforar con el lodo A, ya que este es el que menor daño causa al empaque y a su vez, el fluido transportador de grava de preferencia debe ser mezclado con hipoclorito al 10 %.
- ✓ Se recomienda realizar tanto las pruebas de desprendimiento de revoque con el lodo que se trabaje, así como también la prueba de medición de permeabilidad del sistema al aceite.

- ✓ Se recomienda realizar este trabajo bajo las condiciones adecuadas de empleo de discos filtros, grava y liners que simulen las características propias tanto de la formación como la del equipo a emplear para la completación del pozo (liners, empaques de grava).

7 REFERENCIAS

- (1) Alvarez, J. PDVSA EPM. 19 / 06 / 2002 Caracas Venezuela.
- (2) SPE . JPT, 05 / 2002 “ Uso de coil tubing para reparación de hoyos altamente inclinados.
- (3) Brady, M., Bradbury, A. “filter cake cleanup in open-hole gravel-pack completions : a necessity or a myth?” Paper SPE 63232, presentado en la ATC del 1 al 4 de octubre del 2002 , Dallas Texas.
- (4) Godwin, K., “ Simultaneous Gravel packing and filtercake cleanup with shunt tubes in open – hole completions: A case history from the Gulf of Mexico” Paper SPE 71672, presentado en la ATC del 30 / 9 al 3 / 10 del 2001 en New Orleans, Louisiana.
- (5) Economides, M., “Petroleum well construction”, Wiley, New York. 1998.
- (6) PDVSA CIED. “Tecnología aplicada a los fluídos de perforación” Febrero 1997

- (7) Economides, M., "Petroleum production systems" Pentice Hall, New Jersey. 1994.

- (8) Asadi, M., Conway, M., "Mudcake / Screen Cleanup Investigation in Openhole Gravel – Packed Completions" Paper SPE 71670, presentado en la ATC del 30 / 9 al 3 / 10 del 2001 en New Orleans, Louisiana.

- (9) Amix, J., "Petroleum Reservoir Engeneering" Pentice Hall, New York. 1960

- (10) Parra, J., "Elementos de Ingeniería de Yacimientos" Ed. Innovación Tecnológica, Caracas. 1989

8 NOMENCLATURA / ABREVIATURAS

ATAP : Alta presión, alta temperatura.

cp : Centipoise.

d : Darcy.

gal : Galones.

GPCF : Fluido transportador de la grava.

lpc : Libra por pulgada cuadrada.

lpb : Libra por barril.

md : milidarcy.

MWD: measure while drilling (herramienta que realiza mediciones mientras se perfora).

pH : Potencial ión hidrógeno.

PVC: material plástico transparente empleado para construir tuberías.

RDF : Fluido para perforar la zona productora.

9 GLOSARIO DE TÉRMINOS

“A”

Ácido: Cualquier compuesto químico que contiene hidrógeno reemplazable por elementos o radicales positivos para formar sales, como por ejemplo el de Ácidos o sustancias acídicas. Se puede citar el HCl

Almidón: grupo de hidrato de carbono que se encuentran en las células de muchas plantas. El almidón se usa especialmente como controlador de filtrado, y ocasionalmente para aumentar la viscosidad.

Anular: Espacio entre la sarta de perforación y la pared del hoyo.

“C”

Carbonato de calcio: Sal insoluble de calcio que se utiliza extensamente como material densificante. también se utiliza para controlar pérdidas de circulación en formaciones productoras de hidrocarburos.

Centipoise: unidad de viscosidad igual a 0,01 poise. Un poise es igual a un gramo por metro segundo, y un centipoise es un gramo por centímetro segundo

Consistencia del revoque: De acuerdo con la publicación API RP13B se pueden usar expresiones tales como “Duro, blando, firme, etc” para dar una idea de la consistencia del revoque.

“D”

Darcy: Un medio poroso tiene la permeabilidad de un darcy cuando una presión de una atmósfera es capaz de forzar un líquido de un cp de viscosidad a través de una muestra cúbica de un centímetro de lado y atravesándola por 1 cm / seg.

Densidad: dimensión de la materia según su masa por unidad de volumen; se expresa en libras por galón (lpg)

“E”

Espesor de revoque: es una medida de los sólidos que se depositan sobre el papel filtro durante la prueba de filtración API estandar durante 30 min.

“F”

Filtrado: líquido forzado a través de un medio poroso durante un proceso de filtración.

Flujo laminar: Fluido que fluye paralelo a las paredes del pozo. El fluido se mueve a diferentes velocidades a través del frente que varía desde cero al lado de la pared hasta un máximo en el centro del flujo.

Flujo turbulento: Flujo de un fluido en el cual la velocidad de un punto dado cambia constantemente en magnitud y dirección.

“P”

Polímero: Sustancia formada por la unión de dos o más moléculas de la misma clase, ligadas por sus extremos para formar otro compuesto que tiene los mismos elementos en la misma proporción que la sustancia original, pero con un peso molecular más elevado y con diferentes propiedades químicas.

“R”

Revoque: Sólidos suspendidos que se depositan sobre un medio poroso durante el pase de la parte fluida del lodo hacia la formación.

“S”

Surfactante: Material que tiende a concentrarse en la interfase. Se emplea en lodos para controlar el grado de emulsificación, la humectación.

“V”

Velocidad de Corte: Tasa o velocidad con que una acción, resultante de fuerzas aplicadas, determina o tiende a determinar que dos partes adyacentes de un cuerpo se deslicen una con respecto a la otra en una dirección paralela a su plano de contacto.

10 APÉNDICES

APÉNDICE A

Resultados gráficos



Figura A1 Caso 3 de la tabla 4.2.1 se observan canales preferenciales de flujo y desprendimiento parcial del revoque.



Figura A2 Caso 3 de la tabla 4.2.1 se observa desprendimiento parcial del revoque sobre todo en los bordes.



Figura A3 revoque afectado por contraflujo del sistema hidráulico a una presión de 60 lpc.



Figura A4 apariencia del revoque atacado con Ultra Breake



Figura A5 Vista superior de un revoque de RDF al cual se le colocó grava por su parte superior.



Figura A6 Vista inferior del mismo revoque de la Figura A5.



Figura A7 Aspecto del revoque atacado con Hipoclorito. Resultó una capa rojiza de 1/32 de pulgada.

APÉNDICE B

Equipos



Figura B1 Celda ATAP para cementación modificada. Se puede observar a la derecha del cuerpo de la celda la presencia de la malla de 60 mesh.

disco de cerámica ▶



Figura B2 Celda ATAP para filtrado dinámico y retorno de permeabilidad. Nótese que se encuentra en configuración receptora dada la presencia del disco poroso. La tapa superior del equipo posee una maya de 60 mesh que hace las veces de liner ranurado.



Figura B3 Celda ATAP para filtrado dinámico y retorno de permeabilidad. En la gráfica se muestra en su configuración inyectora dada la ausencia del disco de cerámica.

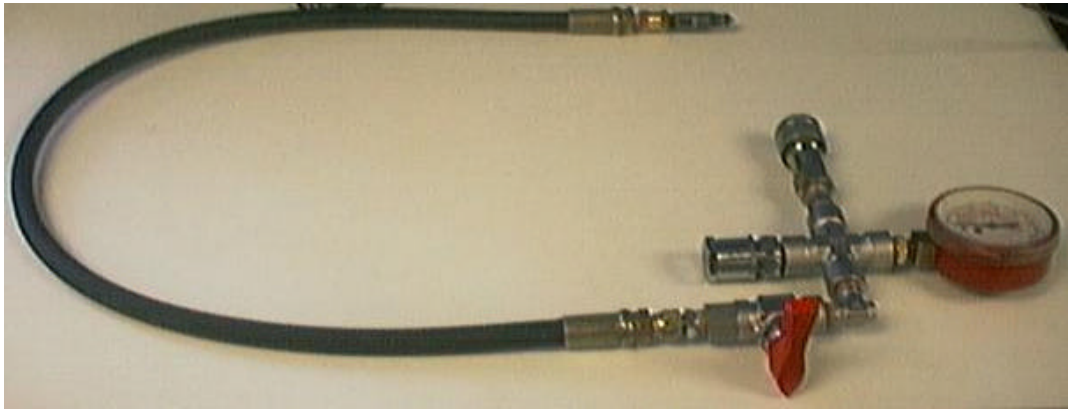


Figura B4 Ensamblaje conector de la celda inyectora a la receptora.



Figura B5 Sistema de bombeo manual.

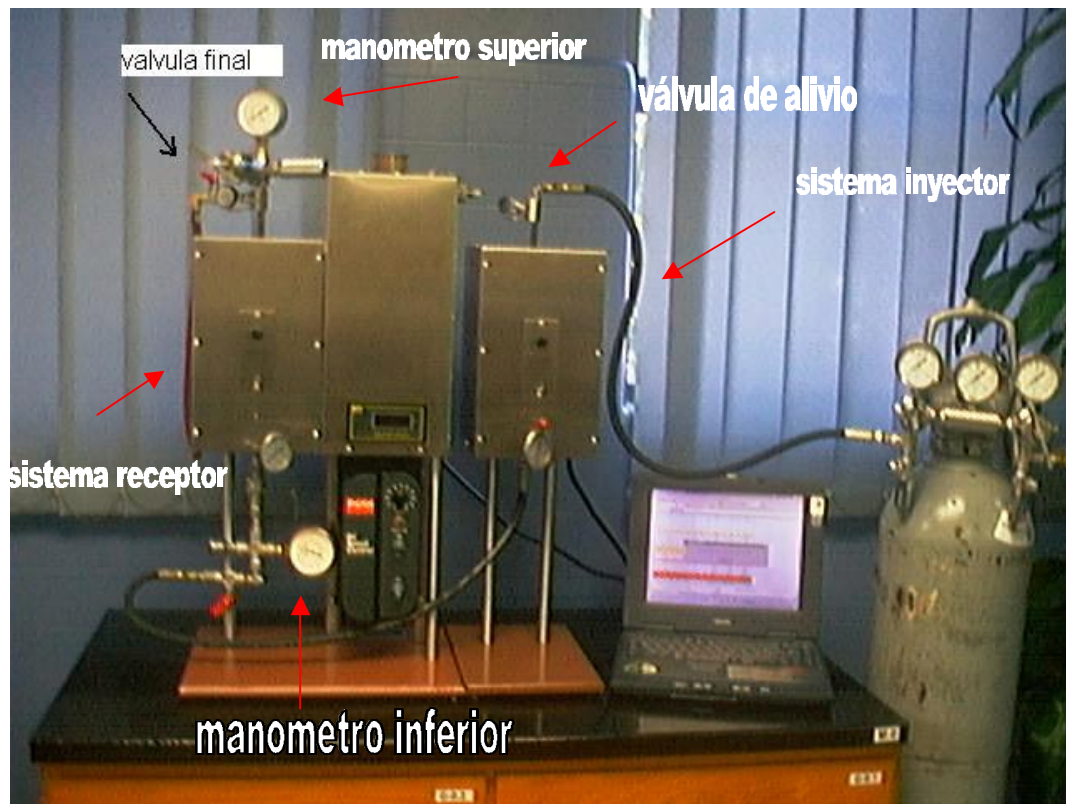


Figura B6 sistema de bombeo hidráulico (sistema que se adoptó como definitivo para el resto de las pruebas)

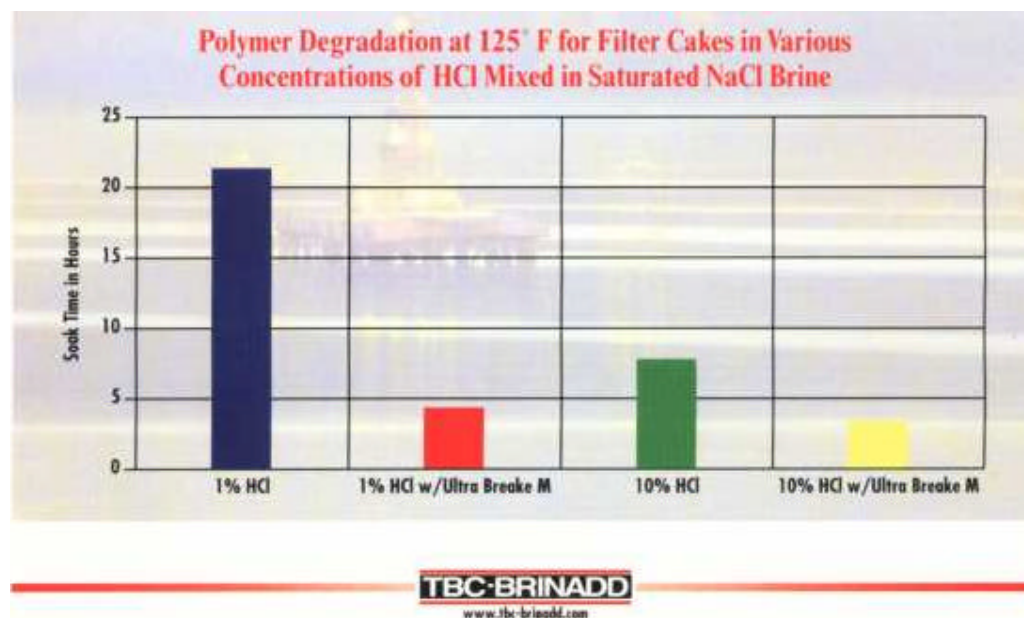


Figura B7 Formulaciones de los diferentes GPCF que utilizan el Ultra Breake. En nuestro caso se utilizó el segundo de izquierda a derecha.

APÉNDICE C

Cálculos tipo:

C1 Determinación de permeabilidad al aceite del núcleo de cerámica:

A continuación se presenta el cálculo tipo de determinación de P_{prom} , V_{prom} y Q_{prom} .

Este último indispensable para poder graficar Q/A vs. $P_2 - P_1 / L$

$$P_1 * V_1 = P_2 * V_2 = P_{prom} * V_{prom}$$

$$P_2 * V_2 / P_{prom} = V_{prom}$$

$$Q_{prom} = V_{prom} / \text{tiempo de flujo.}$$

De donde:

P_1 = presión que registra el manómetro de inferior transformada a atmósferas absolutas.

P_2 = presión que registra el manómetro superior transformada a atmósferas absolutas.

$V_1 = V_2$ = volumen inyectado = volumen recuperado del sistema después de transcurridos 20 seg. Medido en cc.

P_{prom} = (Presión del manómetro inferior + presión del manómetro superior) / 2 reportada en atmósferas absolutas.

$Q_{prom} = V_{prom} / \text{tiempo d bombeo (en este caso 20 seg.)}$

Para el caso del cálculo de la permeabilidad de la grava al aceite:

$$P_1 = 5,964$$

$$P_2 = 1,204$$

$$P_{prom} = 3,584$$

$$V_1 = 216$$

$$V_{prom} = 359,438$$

$$Q_{prom} = 17,972$$

Área transversal de flujo (diámetro interno de la celda ATAP de filtrado dinámico) = 19,962 cm²

$$P_1 - P_2 = 4,760$$

Longitud del medio poroso = 20,6 cm

$$Q_{\text{prom}} / \text{Área} = 0,900$$

$$P_1 - P_2 / \text{Longitud del medio poroso} = 0,234$$

$$\text{Permeabilidad [darcys]} = (Q_{\text{prom}} * \text{Long} * \mu) / (\text{Área} * (P_1 - P_2))$$

$$K = 337,878$$

C2 Sumatoria de permeabilidades en serie

Este procedimiento sirve como verificación de que las pruebas de medición de permeabilidad si concuerdan y que el método si aplica.

Se tiene calculado prácticamente el valor de la permeabilidad del empaque de grava como se muestra en la discusión de resultados 3.4. Dicho valor es de 340 Darcys.

De igual manera se tiene reportada en la discusión de resultados 3.5 la permeabilidad al aceite del disco de cerámica, la cual es de un valor de 8,4 Darcys.

Si se toman estos dos valores y se aplica la teoría con la siguiente ecuación de suma de permeabilidades en un medio con capas diferentes colocadas en serie:

$$K = L / \text{sumatoria } (L_j / K_j)$$

$$\text{Se tiene: } K = 20,94 / (0,64 / 8,4 + 20,3 / 340)$$

Quedando $K = 154$ Darcys.

Si vamos a la Discusión de resultados 4.2.4 se puede evidenciar que el valor de permeabilidad que se detectó para el medio compuesto fue de 158 Darcys. Todo esto demuestra la validez del método.

C3 Criterio de Selección de Discos Filtrantes

Asadi, M. y Conway, M. 2001 ⁽⁸⁾, proponen un nuevo criterio de selección de pantallas, el cual se llevo a cabo en nuestro Trabajo Especial de Grado.

En la realidad, cuando se perfora un pozo, se necesitan muestras de la arena productora para así saber cual es el tamaño promedio de grano que conforma dicha arena. Una vez conocido esto, se procede a seleccionar un tamaño de grava la cual posteriormente formará el empaque. Luego de seleccionado el tamaño de la grava que conformará el empaque, se procede a seleccionar la apertura adecuada que debe tener la pantalla o liner que retendrá a la grava en su posición y permitirá un caudal óptimo de hidrocarburos hacia la superficie.

A diferencia del caso real, en nuestro caso, disponíamos de varios tamaños de grava, pero no así de pantallas o liners. En tal sentido, sólo se disponía de pantallas de 60 mesh, las cuales según lo explicado por Asadi, M. y Conway, M. 2001 ⁽⁸⁾, corresponden a una grava de tamaño variable entre 20 y 40 mesh. En este aspecto no hubo inconvenientes, ya que se disponía de suficiente grava de estas dimensiones.

Pero el problema se dio con la selección de discos, ya que según Asadi, M. y Conway, M. 2001 ⁽⁸⁾, el diámetro promedio de grano o D50 de la formación debe corresponder a la apertura de la pantalla o liner, lo que indica que se debe trabajar con un disco filtro que tenga un diámetro de grano de 0,0098 pulgadas o sea un aproximado de diámetro de grano de unos 250 micrones, lo que implica un diámetro de poro de 100 micrones. Este disco actualmente está disponible en el mercado, pero dada la situación de que solo se disponía de discos de 20 micrones, se procedió al estudio de este trabajo con dicho equipo.

A continuación se presenta la relación existente entre diámetro de poro y diámetro de disco:

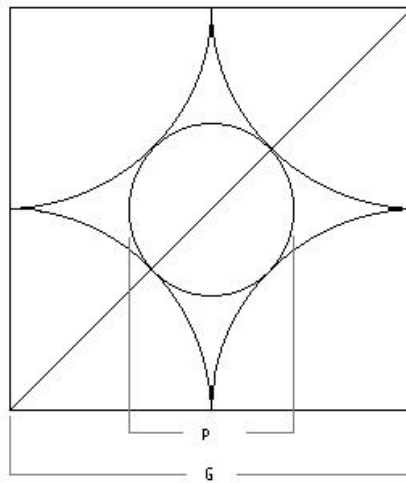


Fig 1.5.1 Relación entre poro y diámetro de grano

Donde:

P => diámetro del poro

G => diámetro del grano.

Entonces por Pitágoras:

$$G^2 + G^2 = (G + P)^2 \quad (\text{Ec. 3.1})$$

Agrupando:

$$2G^2 = (G + P)^2 \quad (\text{Ec 3.2})$$

Sacando raíz de ambos lados

$$(\sqrt{2}) G = G + P \quad (\text{Ec. 3.3})$$

Finalmente, se tiene que:

$$((\sqrt{2}) - 1) G = P \quad (\text{Ec. 3.4})$$

Por tanto si se desea saber el diámetro de poro de un disco donde el diámetro de grano es de 60 mesh (0,0098 plg) se realizan las cuentas correspondientes y da un resultado de 0,00405 plg, lo que representa aproximadamente 100 micrones.

11 ANEXO 1. Equipos empleados



Figura 11.1 Detalle del ensamblaje final. La válvula original permaneció siempre completamente abierta, para así no incurrir nunca en errores de medición.



Figura 11.2 Equipo para pruebas de filtrado dinámico, que en nuestro caso sirvió como camisa térmica para la celda ATAP.



Figura 11.3 Equipo PPA utilizado como camisa para la celda inyectora.



Figura 11.4 Camisa para calentar la celda de cementación modificada.



Figura 11.5 Viscosímetro Brookfield.

Anexo 2. Reciclaje de los discos filtro de cerámica

11.6 Procedimiento para el reciclaje de los núcleos de cerámica

Una vez utilizados los discos filtro de cerámica, idealmente sería reemplazarlos con discos nuevos. Pero dada nuestra precaria situación, se procedió a desarrollar un procedimiento para reciclar los discos filtro.

1. Después de realizados los experimentos sobre los revoques formados sobre el disco, se deben registrar los resultados, preferiblemente de forma gráfica.
2. Luego se debe remover el revoque formado con una espátula y desecharle.
3. Ya teniendo el disco sin revoque, se procede a lavarle con agua y jabón para eliminar las partículas de revoque y aceite que se encuentren en la superficie del disco.
4. El siguiente paso es sumergir por una hora el disco en un baño de HCl al 10% del mismo tipo que se utiliza para modificar el fluido transportador de la grava o GPCF.
5. Se procede nuevamente a lavar el disco con abundante agua y jabón.
6. Se coloca el disco en la celda de cementación modificada.
7. Se llena la celda de cementación modificada con algún tipo de solvente, que en nuestro caso fue utilizado el Thinner.
8. Se tapa la celda y se procede a presurizarla por su parte superior, para luego permitir el flujo de Thinner a través del disco abriendo la celda por su parte inferior.
9. Se despresuriza el sistema y se destapa la celda.
10. Se repite tres veces desde el paso 7 hasta el 9, pero con la diferencia que el fluido de limpieza es agua.
11. Se repite una vez el ciclo del paso 7 al 9, utilizando como fluido limpiador HCl.
12. Se repite el paso 10.

Este procedimiento demostró ser eficaz, ya que a forma de prueba, se procedió a repetir tres veces la prueba de medición de permeabilidad del núcleo al aceite tal como se realizó en procedimiento y análisis de resultado 1.6. Obteniendo siempre el mismo resultado de 8,41 darcys.

Anexo 3 Formulaciones de los fluidos empleados:

11.7 Formulación de los fluidos empleados en este trabajo

11.7.1 Lodo A


LODO SALINO

FORMULACION DEL FLUIDO SALINO	
Producto	Concentración (lpb)
Salmuera saturada (NaCL) de 10 lpg	
XANVIS (Viscosificante)	1,5
Almidon Modificado (Reductor de filtrado)	3 - 4
PH Buffer (Control de alcalinidad)	1.5
Material puenteante (3-77 micrones)	23
Material puenteante (3-177 micrones)	23
KCl	10.7
DEFOAM (antiespumante)	0.05 de ser necesario
PROPIEDADES DEL FLUIDO SALINO	
Tipo de Fluido	Lodo Salino
Densidad (lpg)	10,5
Viscosidad embudo (seg/qt gal)	45 – 60
Viscosidad Plástica (cp)	18 – 24
Punto Cedente (lbs/100 pie2)	20 – 30
Geles 10"/10' (lbs/100 pie2)	6 – 12 / 14 – 16
MBT (lpb eq)	< 2.5
Filtrado API (cc/30 min)	< 3
PH	8,5 – 9.8
Cloruros en filtrados	> 180.000

En Algunos casos se utiliza Glicol como Inhibidor en vez de KCl.

Tabla 11.7.2 Características del lodo A

11.7.2 Formulación del lodo B:

	Taladro(Rig) <input type="checkbox"/>	Laboratorio(Lab) <input checked="" type="checkbox"/> (B)	Fecha(Date): 28/07/02
	Ubicación (Location) Las Morochas		Reporte N°: 280702
	Tipo de Fluido (Fluid Type) Perflow de Laboratorio		

Prueba Piloto Pilot Test													
Productos (Products)		Concentraciones del Productos (Product Concentrations)											
Agua		290											
Xanvis		0.5											
Bioloze		6.0											
Claytrol		2.0											
KOH		pH=9.0											
X-cide 102		0.1											
Milcarb (BHI)		30.0											
Soluflake F		5.0											
Vassa (LP-70P)		42 (12%)											
Propiedades (Properties)	Seleccione (Chocose)	Base	#1		#2		#3		#4		#5		
		Antes (Before)	Después (After)	Antes (Before)	Después (After)	Antes (Before)	Después (After)	Antes (Before)	Después (After)	Antes (Before)	Después (After)	Antes (Before)	Después (After)
Densidad (Density)	lbs/gal <input checked="" type="checkbox"/>	8.6											
Visc. Plástica (PV)	Cps <input checked="" type="checkbox"/>	20											
Punto Cedente (YP)	lbs/100 in ² <input checked="" type="checkbox"/>	30											
Lectura 200/100 200/100 reading	Rpm <input checked="" type="checkbox"/>	39 / 28											
Gel 10"/10"/30" Gel 10"/10"/30"	lbs/100 in ² <input checked="" type="checkbox"/>	7 / 6											
Ph (pH)	<input checked="" type="checkbox"/>	9.0											
Filtrado API (API Filtrate)	Cc <input checked="" type="checkbox"/>	3.6											
Filtrado AP/AT (HTHP Filtrate)	Cc <input type="checkbox"/>												
Pm (Pm)	Cc <input type="checkbox"/>												
Pf / Mf (Pf / Mf)	Cc <input type="checkbox"/>												
Cloruros (Chlorides)	Mg/lb <input type="checkbox"/>												
Dureza Total (Total Hardness)	PPM <input type="checkbox"/>												
Arena (Sand)	% <input type="checkbox"/>												
Sólidos (Solids)	% <input type="checkbox"/>												
Agua (Water)	% <input type="checkbox"/>												
Aceite (Oil)	% <input type="checkbox"/>												
M.B.T (M.B.T)	lbs/bbl <input type="checkbox"/>												
Conc. ALPLEX Alplex Conc.	lbs/bbl <input type="checkbox"/>												

11.7.3 Formulación Iodo C

PROPIEDADES		
Tipo de Fluido	Características Dispersas	
Intervalo	7486' – 8143 '	
Densidad (lpg)	9.0 – 9.2	
Viscosidad embudo (seg/qt gal)	60 – 80	
Viscosidad Plástica (cps)	14 – 25	
Punto Cedente (lbs/100 pie2)	40 – 60	
Geles 10 seg/10 min (lbs/100 pie2)	18/28 – 20/29	
Filtrado API (cc/30 min)	< 5	
% Sólidos v/v	< 6	
PH	10.0 – 10.5	
L6	20 - 30	
L3	18 - 25	
MBT	< 5	
FORMULACION VISCOELASTICO		
Producto	Descripción	Concent. Lpb
Aceite vassa	Controlador de densidad	8% V/V
KCL	Inibidor	1 % (3 lpb)
Polimero 1 (Hec)	Viscosificante	3
Polimero 2 (Biovis)	Control Reológico	2
Almidon (Dril Star)	Controlador de filtrado	2.5
Ph Buffer (MgO)	Control de alcalinidad	0.5
Biocida	Bactericida	0.15
Glicol (PA-10)	Inhibidor de arcilla	2 % (7 lpb)
Carb. Micr. (30/35 y 40/45)	Material sellante y densidad	50

Tabla 11.7.3 Características del sistema base agua de la compañía el Samán

11.7.4 Formulación y características del RDF

PRODUCTO	DESCRIPCIÓN	CONCENTRACIÓN [lb / Bbl]
Agua		306,21
Flovis	Viscosificante	1,6
KCl	Inhibidor	5
Flo-Trol	Controlador de filtrado	4
CaCO3	Densificante y agente puenteante	102,4
X-Cide	Bactericida	0,5
NaOH	Controlador del pH	0,5

Tabla 5.7.4.1 Formulación del RDF

PROPIEDAD	RESULTADO
Densidad [lpg]	10
PH	9,57
Gel a 10 seg [lb / 100]	10
Gel a 10 min [lb / 100]	14
Viscosidad Plástica [cp]	13
Punto cedente [cp]	28
Viscosidad Aparente [cp]	27
% Agua	85
% Sólidos	15
Filtrado a 7 1/2 API [cc]	4
Filtrado a 30 min API [cc]	8
Espesor del revoque [1 / 32"]	2

Tabla 5.7.4.2 Propiedades del RDF

11.7.5 Formulación de los fluidos transportadores de la grava o GPCF

11.7.6 GPCF con hipoclorito al 10%

Este sistema consta de salmuera de NaCl de 9,5 #/gal .

Conociendo que el volumen de salmuera que cabe en la celda es de 150 cc aproximadamente, se preparan 135 cc de salmuera, y el resto de los 15 cc faltantes para completar 150 cc se completan con Hipoclorito al 5%.

11.7.7 GPCF con HCl

Este sistema consta de salmuera de NaCl de 9,5 #/gal .

Conociendo que el volumen de salmuera que cabe en la celda es de 150 cc aproximadamente, se preparan 135 cc de salmuera, y el resto de los 15 cc faltantes para completar 150 cc se completan con HCl al 10%.

11.7.8 GPCF con Ultra Breake

Este sistema consta de salmuera de NaCl de 9,5 #/gal .

Conociendo que el volumen de salmuera que cabe en la celda es de 150 cc aproximadamente, se preparan 135 cc de salmuera, y el resto de los 15 cc faltantes para completar 150 cc se completan con una solución de Ultra Breake, la cual se le añade 1% en volumen de HCl el cual funciona como activador de la solución. En el apéndice 2.5 aparece una comparación entre diferentes concentraciones de Ultra Breake utilizadas.

11.7.9 GPCF con Terpeno

Este sistema consta de salmuera de NaCl de 9,5 #/gal .

Conociendo que el volumen de salmuera que cabe en la celda es de 150 cc aproximadamente, se preparan 135 cc de salmuera, y el resto de los 15 cc faltantes para completar 150 cc se completan con Terpeno de naranja.

11.8 Propiedades del fluido hidráulico

GULF EP GEAR OILS 68, 100, 150, 220

Gulf Harmony Hydraulic Oils AW meet or exceed these demanding specifications:

Specification	68	100	150	220
ANSI/AGMA 9005-D4 (EP Gear Oils)	✓	✓	✓	✓
AGMA 250.04 (Obsolete - For EP Gear Oils)	✓	✓	✓	✓
Cincinnati Machine P-63	✓			
Cincinnati Machine P-74				✓
Cincinnati Machine P-76		✓		
Cincinnati Machine P-77			✓	
US Steel 222 and 224	✓	✓	✓	✓

Typical Properties

ISO Viscosity Grade	68	100	150	220
Viscosity (ASTM D445), cSt at 40°C	64.3	95.2	142.6	208.6
Specific Gravity at 15.6°C (ASTM D4052)	0.88	0.88	0.89	0.89
API Gravity (ASTM D1298)	28.7	28.3	27.6	26.9
Flash Point (ASTM D92), °C	232	245	255	268

Tabla 11.8.1 propiedades del fluido hidráulico

Anexo 4**11.9 Normas de seguridad de los materiales empleados****11.9.1 Fluido hidráulico**

Material Safety Data Sheet

Gulf EP Gear Oil

Revision Number: 0 Revision Date: 10/05/01 MSDS Number: 008335

1. CHEMICAL PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION

Gulf EP Gear Oil

PRODUCT NUMBER(S): 282283 282284 282285 282286

SYNONYM: Gulf EP Gear Oil 100

Gulf EP Gear Oil 150

Gulf EP Gear Oil 220

Gulf EP Gear Oil 68

COMPANY IDENTIFICATION**EMERGENCY TELEPHONE NUMBERS**

Gulf Lubricants Company

HEALTH (24 hr): (800)231-0623 or

(510)231-0623 (International)

6101 Bollinger Canyon Rd.

TRANSPORTATION (24 hr): CHEMTREC

San Ramon, CA 94583

(800)424-9300 or (703)527-3887

Emergency Information Centers

are located in U.S.A.

Int'l collect calls accepted

PRODUCT INFORMATION: MSDS Request: (866)BUY-GULF or www.gulflubes.com

Environmental, Safety, & Health Info.: (440)347-2033

Product Info.: (866)BUY-GULF or www.gulflubes.com

2. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

100.0 % Gulf EP Gear Oil

CONTAINING

COMPONENTS	AMOUNT	LIMIT/QTY	AGENCY/TYPE
------------	--------	-----------	-------------

LUBRICATING BASE OIL

SEVERELY REFINED PETROLEUM DISTILLATE

> 97.00%	5 mg/m3 (mist)	ACGIH TWA
	10 mg/m3 (mist)	ACGIH STEL
	5 mg/m3 (mist)	OSHA PEL

The BASE OIL may be a mixture of any of the following: CAS 64741884, CAS 64741895, CAS 64741964, CAS 64741975, CAS 64742014, CAS 64742525, CAS 64742536, CAS 64742547, CAS 64742558, CAS 64742570, CAS 64742627, CAS 64742650, or CAS 72623837.

ADDITIVES

< 3.00%

COMPOSITION COMMENT:

All the components of this material are on the Toxic Substances Control Act Chemical Substances Inventory.

This product fits the ACGIH definition for mineral oil mist. The ACGIH TLV is 5 mg/m3, the OSHA PEL is 5 mg/m3.

3. HAZARDS IDENTIFICATION

IMMEDIATE HEALTH EFFECTS

EYE:

Not expected to cause prolonged or significant eye irritation.

SKIN:

Contact with the skin is not expected to cause prolonged or significant

irritation. Not expected to be harmful to internal organs if absorbed through the skin.

INGESTION:

Not expected to be harmful if swallowed.

INHALATION:

Contains a petroleum-based mineral oil. May cause respiratory irritation or other pulmonary effects following prolonged or repeated inhalation of oil mist at airborne levels above the recommended mineral oil mist exposure limit.

4. FIRST AID MEASURES

EYE:

No specific first aid measures are required because this material is not expected to cause eye irritation. As a precaution remove contact lenses, if worn, and flush eyes with water.

SKIN:

No specific first aid measures are required because this material is not expected to be harmful if it contacts the skin. As a precaution, remove clothing and shoes if contaminated. Wash skin with soap and water. Wash or clean contaminated clothing and shoes before reuse.

INGESTION:

No specific first aid measures are required because this material is not expected to be harmful if swallowed. Do not induce vomiting. As a precaution, give the person a glass of water or milk to drink and get medical advice. Never give anything by mouth to an unconscious person.

INHALATION:

If exposed to excessive levels of material in the air, move the exposed person to fresh air. Get medical attention if coughing or respiratory discomfort occurs.

5. FIRE FIGHTING MEASURES

FIRE CLASSIFICATION:

Classification (29 CFR 1910.1200): Not classified by OSHA as flammable or combustible.

FLAMMABLE PROPERTIES:

FLASH POINT: (COC) 392F (200C) Min.

AUTOIGNITION: NDA

FLAMMABILITY LIMITS (% by volume in air): Lower: NA Upper: NA

EXTINGUISHING MEDIA:

CO2, Dry Chemical, Foam, Water Fog

NFPA RATINGS: Health 1; Flammability 1; Reactivity 0.

FIRE FIGHTING INSTRUCTIONS:

This material will burn although it is not easily ignited. For fires involving this material, do not enter any enclosed or confined fire space without proper protective equipment, including self-contained breathing apparatus.

COMBUSTION PRODUCTS:

Normal combustion forms carbon dioxide, water vapor and may produce oxides of sulfur, nitrogen and phosphorus. Incomplete combustion can produce carbon monoxide.

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

CHEMTREC EMERGENCY NUMBER (24 hr): (800)424-9300 or (703)527-3887

International Collect Calls Accepted

ACCIDENTAL RELEASE MEASURES:

Stop the source of the leak or release. Clean up releases as soon as possible, observing precautions in Exposure Controls/Personal Protection. Contain liquid to prevent further contamination of soil, surface water or groundwater. Clean up small spills using appropriate techniques such as sorbent materials or pumping. Where feasible and appropriate, remove contaminated soil. Follow prescribed procedures for reporting and responding to larger releases.

7. HANDLING AND STORAGE

Container is not designed to contain pressure. Do not use pressure to empty container or it may rupture with explosive force. Empty containers retain product residue (solid, liquid, and/or vapor) and can be dangerous. Do not pressurize, cut, weld, braze, solder, drill, grind, or expose such

containers to heat, flame, sparks, static electricity, or other sources of ignition. They may explode and cause injury or death. Empty containers should be completely drained, properly closed, and promptly returned to a drum reconditioner, or properly disposed of. Avoid contaminating soil or releasing this material into sewage and drainage systems and bodies of water.

8. EXPOSURE CONTROLS/PERSONAL PROTECTION

GENERAL CONSIDERATIONS:

Consider the potential hazards of this material (see Section 3), applicable exposure limits, job activities, and other substances in the work place when designing engineering controls and selecting personal protective equipment. If engineering controls or work practices are not adequate to prevent exposure to harmful levels of this material, the personal protective equipment listed below is recommended. The user should read and understand all instructions and limitations supplied with the equipment since protection is usually provided for a limited time or under certain circumstances.

ENGINEERING CONTROLS

Use in a well-ventilated area. If user operations generate an oil mist, use process enclosures, local exhaust ventilation, or other engineering controls to control airborne levels below the recommended mineral oil mist exposure limits.

PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT

EYE/FACE PROTECTION:

No special eye protection is normally required. Where splashing is possible, wear safety glasses with side shields as a good safety practice.

SKIN PROTECTION:

No special protective clothing is normally required. Where splashing is possible, select protective clothing depending on operations conducted, physical requirements and other substances. Suggested materials for protective gloves include: <4H>

RESPIRATORY PROTECTION:

No respiratory protection is normally required. If user operations generate an oil mist, determine if airborne concentrations are below the

recommended mineral oil mist exposure limits. If not wear a NIOSH approved respirator that provides adequate protection from measured concentrations of this material. Use the following elements for air-purifying respirators: particulate.

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

PHYSICAL DESCRIPTION:

Brown liquid.

pH: NA

VAPOR PRESSURE: <0.01 mm Hg at 20C

VAPOR DENSITY

(AIR=1): Heavier than air.

BOILING POINT: >617F (>325C)

FREEZING POINT: NA

MELTING POINT: NA

SOLUBILITY: Soluble in hydrocarbon solvents; insoluble in water.

SPECIFIC GRAVITY: 0.88 - 0.89 @ 15.6/15.6C

VISCOSITY: 61.2 - 208 cSt @ 40C

10. STABILITY AND REACTIVITY

HAZARDOUS DECOMPOSITION PRODUCTS:

None known.

CHEMICAL STABILITY:

Stable.

CONDITIONS TO AVOID:

No data available.

INCOMPATIBILITY WITH OTHER MATERIALS:

May react with strong oxidizing agents, such as chlorates, nitrates, peroxides, etc.

HAZARDOUS POLYMERIZATION:

Polymerization will not occur.

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

EYE EFFECTS:

The eye irritation hazard is based on an evaluation of the data for the components.

SKIN EFFECTS:

The skin irritation hazard is based on an evaluation of the data for the components.

ACUTE ORAL EFFECTS:

The acute oral toxicity is based on an evaluation of the data for the components.

ACUTE INHALATION EFFECTS:

The acute respiratory toxicity is based on an evaluation of the data for the components.

ADDITIONAL TOXICOLOGY INFORMATION:

This product contains petroleum base oils which may be refined by various processes including severe solvent extraction, severe hydrocracking, or severe hydrotreating. None of the oils requires a cancer warning under the OSHA Hazard Communication Standard (29 CFR 1910.1200). These oils have not been listed in the National Toxicology Program (NTP) Annual Report nor have they been classified by the International Agency for Research on Cancer (IARC) as; carcinogenic to humans (Group 1), probably carcinogenic to humans (Group 2A), or possibly carcinogenic to humans (Group 2B).

12. ECOLOGICAL INFORMATION

ECOTOXICITY:

The toxicity of this material to aquatic organisms has not been evaluated. Consequently, this material should be kept out of sewage and drainage systems and all bodies of water.

ENVIRONMENTAL FATE:

This material is not expected to be readily biodegradable.

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

Oil collection services are available for used oil recycling or disposal. Place contaminated materials in containers and dispose of in a manner consistent with applicable regulations. Contact your sales representative or local environmental or health authorities for approved disposal or recycling methods.

14. TRANSPORT INFORMATION

The description shown may not apply to all shipping situations. Consult 49CFR, or appropriate Dangerous Goods Regulations, for additional description requirements (e.g., technical name) and mode-specific or quantity-specific shipping requirements.

DOT SHIPPING NAME: NONE

DOT HAZARD CLASS: NONE

DOT IDENTIFICATION NUMBER: NONE

DOT PACKING GROUP: N/A

ADDITIONAL INFO: Petroleum Lubricating Oil - Not Hazardous by U.S. DOT.

ADR/RID Hazard class - Not applicable.

15. REGULATORY INFORMATION

SARA 311 CATEGORIES: 1. Immediate (Acute) Health Effects: NO

2. Delayed (Chronic) Health Effects: NO

3. Fire Hazard: NO

4. Sudden Release of Pressure Hazard: NO

5. Reactivity Hazard: NO

REGULATORY LISTS SEARCHED:

01=SARA 313 11=NJ RTK 22=TSCA Sect 5(a)(2)

02=MASS RTK 12=CERCLA 302.4 23=TSCA Sect 6

03=NTP Carcinogen 13=MN RTK 24=TSCA Sect 12(b)

04=CA Prop 65-Carcin 14=ACGIH TWA 25=TSCA Sect 8(a)

05=CA Prop 65-Repro Tox 15=ACGIH STEL 26=TSCA Sect 8(d)

06=IARC Group 1	16=ACGIH Calc TLV	27=TSCA Sect 4(a)
07=IARC Group 2A	17=OSHA PEL	28=Canadian WHMIS
08=IARC Group 2B	18=DOT Marine Pollutant	29=OSHA CEILING
09=SARA 302/304	20=EPA Carcinogen	31=OSHA STEL
10=PA RTK		

The following components of this material are found on the regulatory lists indicated.

SEVERELY REFINED PETROLEUM DISTILLATE

is found on lists: 14,15,17,

NEW JERSEY RTK CLASSIFICATION:

Under the New Jersey Right-to-Know Act L. 1983 Chapter 315 N.J.S.A. 34:5A-1 et. seq., the product is to be identified as follows:

PETROLEUM OIL

WHMIS CLASSIFICATION:

This product is not considered a controlled product according to the criteria of the Canadian Controlled Products Regulations.

16. OTHER INFORMATION

NFPA RATINGS: Health 1; Flammability 1; Reactivity 0;

HMIS RATINGS: Health 1; Flammability 1; Reactivity 0;

(0-Least, 1-Slight, 2-Moderate, 3-High, 4-Extreme, PPE:- Personal Protection Equipment Index recommendation, *- Chronic Effect Indicator). These values are obtained using the guidelines or published evaluations prepared by the National Fire Protection Association (NFPA) or the National Paint and Coating Association (for HMIS ratings).

REVISION STATEMENT:

This is a new Material Safety Data Sheet.

ABBREVIATIONS THAT MAY HAVE BEEN USED IN THIS DOCUMENT:

TLV - Threshold Limit Value TWA - Time Weighted Average
STEL - Short-term Exposure Limit TPQ - Threshold Planning Quantity
RQ - Reportable Quantity PEL - Permissible Exposure Limit
C - Ceiling Limit CAS - Chemical Abstract Service Number
A1-5 - Appendix A Categories () - Change Has Been Proposed
NDA - No Data Available NA - Not Applicable

Prepared according to the OSHA Hazard Communication Standard
(29 CFR 1910.1200) and the ANSI MSDS Standard (Z400.1) by Gulf Lubricants Company,
6101 Bollinger Canyon Road, San Ramon, CA 94583.

The above information is based on the data of which we are aware and is believed to be correct as of the date hereof. Since this information may be applied under conditions beyond our control and with which we may be unfamiliar and since data made available subsequent to the date hereof may suggest modification of the information, we do not assume any responsibility for the results of its use. This information is furnished upon condition that the person receiving it shall make his own determination of the suitability of the material for his particular purpose.

Revision Number: 0 Revision Date: 10/05/01 MSDS Number: 008335

A continuación se presentarán tablas que resumen el problema planteado y los distintos puntos de vista por parte del Workshop.

MAIL INICIAL:	Ing. José Gregorio Tovar	DESCRIPCIÓN:	Una preocupación que ha sido manifestada es la reducción de permeabilidad de empaques de grava en pozos productores altamente inclinados, porque el revoque que se deposita en la pared de la formación productora no es removido. Hasta ahora se ha implementado varios procedimientos operacionales para limpiar el revoque antes o después de asentar el empaque. Sin embargo, la pregunta permanece: ¿Es necesario mover el revoque de la pared de la formación de interés? Una pregunta derivada de la interrogante anterior es ¿cuánto efecto reductor tiene el revoque sobre el empaque? En general, el volumen del empaque es muy grande en relación con el volumen de revoque. Por tesis sobre el tema, sabemos que no toda la superficie de la formación atravesada transmite fluido, y parte del revoque permanece en la cara de la formación, y solamente el fluido fluirá solo por aquellos sitios de mayor transmisibilidad de fluido o donde haya las gargantas de poro mayores. Luego el revoque que va a ser desplazado es menor todavía con el volumen teórico del revoque que se deposita sobre la cara de la formación. Las preguntas de esta consulta son: 1) ¿Qué piensa del fenómeno y cuál es su percepción de la reducción de permeabilidad del empaque por el desprendimiento del revoque, si éste no es removido previo al asentamiento del empaque? 2) ¿Qué método es más efectivo en la remoción del revoque previo o después del asentamiento del empaque? Por favor, describa sucintamente la secuencia operacional que Ud. suele emplear o recomienda para solucionar este problema. 3) ¿Tiene Ud. alguna idea o conoce algún equipo usado por algún ente de investigación o presentado en un papel técnico (por favor, señale la referencia o el contacto) para medir los efectos del revoque en la reducción de la permeabilidad de empaques de grava?
E-MAIL:	tovarjo@pdvsa.com		
FECHA:	18/06/2002		
CON COPIA A:	Sergio Ciguela, Julio Ferrer, Douglas Hernández, Nicolás Galíndez, Wilson Camargo, Francisco Ramírez, Alfredo Caligore, Antonio Guevara, Osmel Molina, Rafael Suarez, Arturo Silva, Javier Alvarez, Arturo Carvajal, Claudio Rossetti.		

WORKSHOP	tovarjo@pdvsa.com , guevarav@pdvsa.com , ferreja@pdvsa.com , gonzalez@las-morochas.oilfield.slb.com ,	hernandezdb@pdvsa.com , molinaok@pdvsa.com , ciguelas@pdvsa.com , lflores@midf.com ,	galindeznl@pdvsa.com , suarezru@pdvsa.com , mayorf@pdvsa.com , zorillag@yahoo.com ,	camargow@pdvsa.com , silvaak@pdvsa.com , rodriguezxyz@pdvsa.com , turix123@mpunto.com ,	ramirezrlm@pdvsa.com , alvarezzg@pdvsa.com , caligoreaq@pdvsa.com , rossettic@mpunto.com .
----------	--	--	--	--	--

CONTRIBUCIONES DEL WORKSHOP

ENVIADO POR	E-MAIL	FECHA	CON COPIA A	OPINION	REFERENCIAS
Sergio Ciguela	ciguelas@pdvsa.com	19/06/2002	José G. Tovar, Julio Ferrer, Douglas Hernández, Nicolás Galíndez, Wilson Camargo, Francisco Ramírez, Alfredo Caligore, Antonio Guevara, Osmel Molina, Rafael Suarez, Arturo Silva, Javier Alvarez.	El mejor método de remoción de revokes es el que ataca al revoque del lodo utilizado, y la mejor manera de aplicarlo es colocando una píldora de agente que lo ataca enfrente de la cara de la formación. Por ejemplo, los revokes de lodos viscoelásticos se están atacando con píldoras de enzimas específicas. Es importante limpiar antes de empaclar, ya que el daño (S) remanente después de un empaque normal está entre 5 y 20, así que se dañaría además por revoque desprendido, se va a perder el beneficio. No se debe tratar después del empaque, ya que no se garantiza la buena colocación de los fluidos de limpieza. Además, justamente el revoque será mas grueso frente a la zona de mayor permeabilidad.	De saber que tipo de lodo se usó, podría consultar con el grupo.
Javier Alvarez	alvarezzg@pdvsa.com	19/06/2002	José G. Tovar, Julio Ferrer, Douglas Hernández, Nicolás Galíndez, Wilson Camargo, Francisco Ramírez, Alfredo Caligore, Antonio Guevara, Osmel Molina, Rafael Suarez, Arturo Silva, Arturo Carvajal, Claudio Rossetti.	Buenos días José Gregorio, Con respecto a tu pregunta hay que aclarar: El empaque se está realizando a hoyo desnudo o a hoyo entubado? Por que hago la pregunta?, porque si es a hoyo entubado, se supone que vas a cañonear la zona productora y el revoque es atravesado con el cañoneo, adicionalmente si lo haces bajo balance, puedes remover incluso el daño que se genera con el cañoneo (teoría de disminución de permeabilidad de la zona cañoneada como consecuencia de la compactación de la zona producto del jet con que se ha disparado, residuos de carga, acero, cemento, etc.). Como estás guiando la pregunta, me parece que es en función de que el empaque se va a realizar a hoyo desnudo, entonces: La permeabilidad se ve drásticamente reducida, ya que toda la zona se encuentra sellada con el revoque, que es lo que permite que en el pozo se puedan realizar los trabajos de perforación, por tanto, si este revoque no es removido, aun cuando el pozo sea sometido a altos diferenciales de presión, el pozo no va a fluir ya que este es el principio del revoque, parar la entrada o pérdida del fluido hacia la formación. Otro problema es en el caso de que ocurra desprendimiento del revoque, ya que el mismo no se va a comportar no como partículas pequeñas sino como una especie de masa que se va a adherir al empaque, ocasionando taponamiento del mismo. El método de remoción más efectivo depende del tipo de lodo que estés utilizando en el pozo, y realizarlo antes de colocar la grava para evitar que este revoque (ya disuelto) pueda taponar las rejillas o incluso el empaque, en nuestro caso, nosotros no realizamos el empaque con grava, es decir, no colocamos grava entre la rejilla y la formación. El tren utilizado para la remoción es como se indica a continuación: Antes de realizar el asentamiento de la empacadura se circulo el pozo por el anular con: 50 bbls de KCL al 5% + 60 bbls de HCL al 5% + 40 bbls de Interflow + 80 bbls de agua con 2% de KCL.	En cuanto a la tercera pregunta, no conozco ningún equipo con el que se pueda medir los efectos del revoque pero la literatura con ejemplos prácticos es la siguiente: curso dictado por el CIED sobre SAND CONTROL, dictado por el Sr Howard McKinzie de la OGCI, capítulo 15, y el libro Petroleum Well Construction del señor Michael Economides, Larry T. Watters y Shari Dunn-Norman, Capítulo 18.
Freddy Mayor	mayorf@pdvsa.com	19/06/2002	Jose Tovar, Argenis Peñaloza, Luis Torres, Luis Otamendi, Carlos Rojas, Julio Montilva, Benigno Zambrano, Cesar Matos, Edmundo López, Bernardo Alencio, Alfredo Matheus Gino Chirinos, Marcial Bracho, Gustavo Rosillon, Sergio Ciguela, Francisco Ramirez.	Se habla de que estos revokes hay que removerlos antes del empaque, mi pregunta es ¿Que pasa si se pierde circulación durante la remoción de revoque antes del empaque para el caso de pozos horizontales?	
Flores Luis	lflores@midf.com	19/06/2002	Guzman José, José Tovar.	Estimado José: Como puedes observar, en el e-mail de José Gregorio, el problema es bastante interesante, creo que podemos relacionarlo con el Smart Filter Cake System que estamos desarrollando, por favor de una mirada en esto y emita tu opinión o la de otro experto que tu indiques.	
		19/06/2002	José Tovar	Anexo te envío un análisis corto hecho por José Guzman, me avisas si estas interesado.	
Wilfredo Rodriguez	rodriguezxyz@pdvsa.com	19/06/2002	José G. Tovar, Jesus Betancourt, Julio Ferrer, Douglas Hernández, Nicolás Galíndez, Wilson Camargo, Francisco Ramirez, Alfredo Caligore, Antonio Guevara, Osmel Molina, Rafael Suarez, Arturo Silva, Javier Alvarez, Arturo Carvajal, Claudio Rossetti.	Tovarco, este tema es bastante interesante. En el área de aislamiento zonal, los trabajos realizados por Fred Sabins en Westport INC. demuestran que para los fluidos como el revoque del lodo solamente puede fluir a traves de permeabilidades bien altas, no recuerdo el número pero es mayor de 20 darcys. Este criterio lo aplicamos en cemento para considerar el efecto de sellado de las formaciones permeables con baja presión de poro y alto gradiente de fractura.	Las referencias que tengo respecto al proceso de limpieza de revoque previo al empaque son las de Shell y Pemex quienes aplican la técnica de vacío y la del clean up para remover el revoque antes de empaclar. Para no entrar en vaguedades, prefiero usar un comodín. Un personaje que puede darte mejor información es Jesús Betancourt a quien copio la nota.
				Mi percepción particular a las interrogantes que planteas son las siguientes: 1. El revoque puede fluir o no a través del empaque dependiendo principalmente de : a) La relación entre el tamaño de la partícula que forma el revoque y el tamaño de la grava que conforma el empaque con grava. Comúnmente, los revokes son formado por tamaño de granos tan fino que los empaques	

Osmel Molina	molinack@pdvsa.com	19/06/2002	José G. Tovar, Julio Ferrer, Douglas Hernández, Nicolás Galíndez, Wilson Camargo, Francisco Ramirez, Alfredo Caligaris, Antonio Cueva, Osmel Molina, Rafael Suarez, Arturo Silva, Javier Alvarez, Tarcicio Aparicio, Jesús Coa Arturo Carvajal, Claudio Rossetti, Arquimides Salazar.	de grava no van a impedir que los mismos se produzcan. b) El delta presión registrada entre la presión estática del yacimiento y la presión de fondo fuyente del pozo. En la medida que el diferencial de presión sea mayor, mayores serán las probabilidades de remover el revoque. Si las condiciones anteriores indican que el revoque se puede producirse después de colocado el empaque con grava, la única variable adicional que debemos considerar es el escogimiento de los granos (esfericidad y redondez) y si este es muy bueno (este valor es cualitativo) el revoque fluidizado no debería ser frenado dentro del empaque, reduciendo su permeabilidad. 2. De lo que si estoy totalmente convencido es que el revoque debe ser removido de la zona productora, ya que sus características de impermeabilidad restringen la entrada de fluidos al pozo. 3. La remoción del revoque va a depender de la naturaleza del mismo. En Occidente por ejemplo, los revoques creados por todos salinos son removidos con hipoclorito de sodio. Revoques creados por carbonatos de calcio (CaCO3) pueden ser removidos con ácidos débiles y/o fuertes (acético y/o clorhídrico). Últimamente han cobrado fuerzas los rompedores enzimáticos cuya reacción es similar a la actuación de los rompedores en los fluidos de fractura.	La literatura que he revisado de estos tópicos, provienen de presentaciones mostradas por las compañías de servicio (Dowell Schlumberger y Halliburton). En Dowell pueden contactar al Sr. Patricio (0414-7676070).
Claudio Rossetti Arturo Carvajal	rossettic@hotmail.com	08/07/2002	Osmel Molina, José Tovar	Buenos días, señor Osmel, somos Claudio Rossetti y Arturo Carvajal, los tesisistas de José Gregorio Tovar en la tesis de estudio de los efectos del revoque en la transmisión de fluidos a través de empaques de grava. De antemano le comunicamos nuestros agradecimientos. La siguiente es para hacer de su conocimiento que en lo próximo contactaremos al Señor Patricio de Dowel, pidiéndole información, ya que esta es una de las cosas mas necesarias actualmente. Estamos virtualmente detenidos en la investigación debido a la carencia de información como la formulación de los lodos poliméricos utilizados en la perforación de hoyos altamente inclinados, la formulación del fluido transportador de la grava, el fluido que limpia la grava, el fluido que queda finalmente en el pozo, antes de poner este a producir, los diferenciales de presión con los que se trabaja (presión de la columna hidrostática vs presión de la formación al momento de correr el empaque, la presión con la que circulan los diferentes ácidos para la remoción de revoque). Y este es un punto de gran interés, ya que sabiendo las presiones de trabajo, sabremos si utilizar filtro prensa API o HPHT. También sería de gran utilidad tener conocimiento de un caso de hoyo altamente inclinado que se haya proyectado o completado (programa de perforación) para así mediante este conocer otros muchos detalles como por ejemplo el Mesh de la grava seleccionada para el empaque, litología de la formación, etc. Gracias por su colaboración, y esperando su respuesta nos despedimos atentamente	
Claudio Rossetti Arturo Carvajal	rossettic@hotmail.com	08/07/2002	Javier Álvarez, José Tovar	Estimado Javier Álvarez, Somos Claudio Rossetti y Arturo Carvajal los tesisistas de José Gregorio Tovar en el tema Estudio de los efectos del revoque en la transmisión de fluidos a través de empaques de grava. Le agradecemos de antemano el interés que ha demostrado en el asunto, dirigiéndonos a una bibliografía que nos orientó de gran manera. Nos parece válido su punto de vista en cuanto a los efectos impermeabilizantes del revoque sobre el empaque de grava. Solo que nos parece (y por esto el efecto de esta tesis) que las permeabilidades que se manejan para los revoques de grava son demasiado elevadas, (1.2 exp5 a 1.7exp6 md) y el espesor de revoques para nuestro caso (lodos poliméricos) es muy reducido. En todo caso, por esto es que vamos a experimentar en laboratorio las condiciones de trabajo en el pozo y esto será lo que tenga la última palabra. Pero como no todo es color de rosas, actualmente estamos virtualmente detenidos en la investigación debido a la carencia de información como la formulación de los lodos poliméricos utilizados en la perforación de hoyos altamente inclinados, la formulación del fluido transportador de la grava, el fluido que limpia la grava, el fluido que queda finalmente en el pozo, antes de poner este a producir, los diferenciales de presión con los que se trabaja (presión de la columna hidrostática vs presión de la formación al momento de correr el empaque, la presión con la que circulan los diferentes ácidos para la remoción de revoque). Y este es un punto de gran interés, ya que sabiendo las presiones de trabajo, sabremos si utilizar filtro prensa API o HPHT. También sería de gran utilidad tener conocimiento de un caso de hoyo altamente inclinado que se haya proyectado o completado (programa de perforación) para así mediante este conocer otros muchos detalles como por ejemplo el Mesh de la grava seleccionada para el empaque, litología de la formación, etc. Gracias por su colaboración, y esperando su respuesta nos despedimos atentamente.	
Claudio Rossetti Arturo Carvajal	rossettic@hotmail.com	08/07/2002	Wilfredo Rodriguez, José Tovar	Estimado Wilfredo Rodríguez, somos Claudio Rossetti y Arturo Carvajal los tesisistas de José Gregorio Tovar en el tema Estudio de los efectos del revoque en la transmisión de fluidos a través de empaques de grava. Le agradecemos de antemano el interés presentado por el tema. Todavía no hemos podido contactar al Sr. Jesús Betancourt, por lo que le agradeceríamos que anexara su dirección electrónica. En cuanto a los valores de permeabilidad de los empaques de grava, estos van de 1.2 exp 5 hasta 1.7 exp 6 (md) dependiendo del Mesh seleccionado. Por esto nos es de gran ayuda su colaboración. Por lo pronto, trataremos de contactar a Fred Sabins para así poder obtener información mas detallada acerca del tema. Pero como no todo es color de rosas, actualmente estamos virtualmente detenidos en la investigación debido a la carencia de información como la formulación de los lodos poliméricos utilizados en la perforación de hoyos altamente inclinados, la formulación del fluido transportador de la grava, el fluido que limpia la grava, el fluido que queda finalmente en el pozo, antes de poner este a producir, los diferenciales de presión con los que se trabaja (presión de la columna hidrostática vs presión de la formación al momento de correr el empaque, la presión con la que circulan los diferentes ácidos para la remoción de revoque). Y este es un punto de gran interés, ya que sabiendo las presiones de trabajo, sabremos si utilizar filtro prensa API o HPHT. También sería de gran utilidad tener conocimiento de un caso de hoyo altamente inclinado que se haya proyectado o completado (programa de perforación) para así mediante este conocer otros muchos detalles como por ejemplo el Mesh de la grava seleccionada para el empaque, litología de la formación, etc. Gracias por su colaboración, y esperando su respuesta nos despedimos atentamente. Sin mas por los momentos, nos despedimos. Claudio Rossetti y Arturo Carvajal.	
NOTA:	En vista de los continuos problemas que ofrece el servicio de hotmail, hemos decidido cambiar de cuenta turix123@ mipunto.com (Arturo Carvajal) rossettic@mipunto.com (Claudio Rossetti) Favor hacer los cambios pertinentes en sus listas de direcciones. Muy agradecidos nos despedimos atentamente.				