



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS  
DE LA TIERRA

**“PRUEBAS DE INYECCION EN POZOS NO  
FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE  
CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE  
ALMACENAMIENTO”**

## **T E S I S**

PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO PETROLERO**

PRESENTA:

**JUAN PRISCILIANO ALEMAN MORENO**

DIRIGIDA POR:

**ING. MARTIN TERRAZAS ROMERO**



MEXICO, D. F.

2005

m. 342341



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

---

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

**“PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA  
HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE  
ALMACENAMIENTO”**

TESIS PRESENTADA POR:

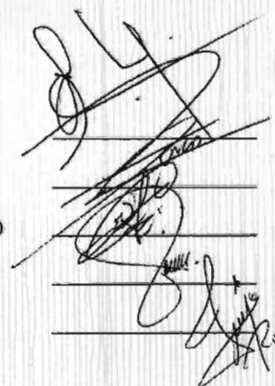
JUAN PRISCILIANO ALEMÁN MORENO

DIRIGIDA POR:

ING. MARTÍN TERRAZAS ROMERO

JURADO DEL EXAMEN PROFESIONAL:

PRESIDENTE: M. I. JOSÉ ÁNGEL GÓMEZ CABRERA  
VOCAL: ING. MARTÍN TERRAZAS ROMERO  
SECRETARIO: ING. MARTÍN CARLOS VELÁZQUEZ FRANCO  
1ER SUPLENTE: M. C. JAIME ORTIZ RAMÍREZ  
2DO. SUPLENTE: ING. GUILLERMO TREJO REYES



febrero/05

---



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIRECCIÓN  
60-I-103

SR. JUAN PRISCILIANO ALEMÁN MORENO  
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Martín Terrazas Romero y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Petrolero:

**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**


- INTRODUCCIÓN
- I GENERALIDADES
- II PROBLEMÁTICA DE LA TOMA DE INFORMACIÓN EN POZOS QUE NO FLUYEN A LA SUPERFICIE
- III HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO
- IV RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ÁREA DE CHICONTEPEC
- V CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFÍA

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo, le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Univesitaria D.F., a 10 de febrero de 2005  
EL DIRECTOR

  
M. en C. GERARDO FERRANDO BRAVO

GFB\*JAGC\*gtg  


## DEDICATORIAS

A MI MADRE GABRIELA MORENO QUE ME ENSEÑO LO VALIOSO QUE ES LA VIDA Y SER TENAZ EN EL TRABAJO

A MI PADRE CANDIDO ALEMÁN QUE ME ENSEÑO LAS RESPONSABILIDADES Y OBLIGACIONES DEL SER HUMANO

A MI ESPOSA ROSA LOPEZ QUE ME DIO TODO SU APOYO Y DEDICACIÓN

A MIS HIJOS JUAN CARLOS, JESSICA Y JOSE LUIS QUE ME HAN DADO LA FUERZA PARA SEGUIR ADELANTE

A MIS HERMANOS MARISOL, LUIS, SERGIO Y JAIME QUE ESTUVIERON CONMIGO EN LAS BUENAS Y EN LAS MALAS

## **AGRADECIMIENTOS**

**A UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
POR DARME LA OPORTUNIDAD DE ESTUDIAR UNA  
CARRERA Y SER ALGUIEN EN LA VIDA**

**A LA FACULTAD DE INGENIERIA POR DARME LA  
OPORTUNIDAD DE ESTUDIAR INGENIERIA PETROLERA**

**AL INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO POR DARME  
LA OPORTUNIDAD DE LABORAR CON ELLOS Y  
REALIZAR EL PRESENTE TRABAJO DE TESIS CON UN  
PROBLEMA REAL**

**AL Ing. ISSAC MIRANDA, AL M. I. JOSE LUIS ROLDAN Y  
AL Dr. ROBERTO PADILLA SIXTO POR BRINDARME SU  
AMISTAD Y POR TODO SU APOYO QUE ME DIERON  
PARA LA REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO**



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

# **INDICE**

## **INTRODUCCION**

### **1. GENERALIDADES**

### **2. PROBLEMÁTICA DE LA TOMA DE INFORMACIÓN EN POZOS QUE NO FLUYEN A LA SUPERFICIE**

### **3. HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO**

- **DISEÑO**
- **COMPONENTES**
- **CALIBRACIÓN DE LA VALVULA**

### **4. RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ÁREA DE CHICONTEPEC**

### **5. CONCLUSIONES**



# **INTRODUCCIÓN**

El presente trabajo está relacionado con el diseño, construcción y aplicación en campo de una herramienta de cierre en fondo para el control del efecto de almacenamiento de pozo en pruebas de inyección.

En la industria petrolera se han destinado grandes cantidades de dinero en el desarrollo de tecnologías tendientes a eliminar el efecto de almacenamiento de fluidos en el pozo, sin que hasta la fecha se tenga control sobre este parámetro tan importante en la interpretación de pruebas de variación de presión.

Con base en lo anterior, especialistas de Petróleos Mexicanos y del Instituto Mexicano del Petróleo se dieron a la tarea de estudiar la metodología para eliminar el efecto de almacenamiento de pozo en pruebas de inyección, por lo que se conformó un grupo multidisciplinario (ingenieros mecánicos, petroleros y especialistas en diseño), con el objetivo de solucionar el problema planteado.

Para ello se diseñaron y construyeron dos versiones de herramientas capaces de evitar el efecto de almacenamiento de pozo en pruebas de inyección y un banco de calibración de presión.





## **PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

La herramienta para el control del efecto de almacenamiento de pozo, se caracteriza por el uso de la nueva tecnología para mejorar la toma de decisiones en la explotación de yacimientos de hidrocarburos, proponiendo un novedoso sistema de toma de información en pruebas de inyección sin efectos de almacenamiento, planteándose como objetivo incrementar la recuperación de hidrocarburos con los resultados de las pruebas de inyección al obtenerse parámetros como la conductividad del pozo, índice de productividad, daño a la formación, discontinuidades, etc. que es información utilizada para realizar diseños de pozos tendientes a optimizar la producción de hidrocarburos.

Los elementos principales de la herramienta de cierre en fondo son: cuello de pesca, sistema de anclaje, válvula antirretorno de presión de apertura y cierre variables, absorbedor de impactos, sondas de memoria presión-temperatura y camisa protectora.

El principio de operación de la herramienta, está apoyado en controlar el efecto de almacenamiento de pozo mediante un dispositivo de apertura y cierre mecánico integrado a un sistema de anclaje operado con línea de acero.

La válvula antirretorno es calibrada por medio de un resorte, que abrirá a una determinada presión diferencial calculada con base en la presión de fondo



## **PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

estática, densidad y nivel de líquido en la tubería de producción y presión en la cabeza del pozo, permitiendo la inyección de fluidos a gasto constante y el monitoreo de la presión y temperatura a la profundidad de colocación de la herramienta mediante dos sondas de memoria presión-temperatura, evitando así los efectos que ocurren en el interior de la tubería de producción, conocidos como efectos de almacenamiento.

El objetivo general de las herramientas de cierre en fondo es minimizar el efecto de almacenamiento de pozo en pruebas de inyección-fall-off, su empleo reduce los tiempos de duración de las pruebas y eleva la calidad de la información representativa del yacimiento, desde los primeros instantes de una prueba de variación de presión, de tal forma que permita realizar un diagnóstico efectivo, permitiendo disponer de una herramienta propia a bajo costo con la que se obtenga información característica del sistema roca - fluidos, y de los parámetros del yacimiento-pozo como son, permeabilidad de la formación, capacidad de flujo, daño a la formación, presión promedio del yacimiento, volumen poroso, sistemas fracturados, fracturas inducidas, discontinuidades, heterogeneidades, interferencia entre pozos y límites físicos



PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE  
EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

---

# CAPITULO

# 1

# GENERALIDADES



## GENERALIDADES

Las pruebas de presión consisten esencialmente en generar y registrar variaciones de presión en el fondo de uno o varios pozos durante un periodo de tiempo determinado, las cuales representan la respuesta del yacimiento, y que a partir de un modelo de interpretación, es posible determinar los parámetros del yacimiento y del pozo tales como, permeabilidad (K), capacidad de flujo (Kh), daño a la formación (S), presión promedio del yacimiento (Pws), volumen poroso, parámetros de sistemas fracturados, fracturas inducidas, discontinuidades, heterogeneidades, Interferencia entre pozos y límites físicos.

Asumiendo que el pozo terminado únicamente se cierra en un yacimiento hasta que se alcanza una situación completamente estable, si este pozo entonces es puesto en producción y la presión es reducida en el pozo, una onda de presión reducida se mueve gradualmente fuera del yacimiento estableciendo un gradiente de presión de disminución hacia el pozo. Con el fluido retirándose continuamente del pozo, la onda de presión se mueve adicionalmente, cada punto por el que pasa la onda experimenta una declinación continua de presión. En un tiempo particular, la distancia máxima que la onda ha viajado se llama el radio de drenaje del pozo.



## **PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

Cuando el frente de onda alcanza una frontera cerrada, la presión en cada punto dentro de la frontera continua declinando, pero a un ritmo más rápido, si el frente de onda encuentra una frontera que suministre fluido en un gasto suficiente para mantener una presión constante, la presión en muchos puntos dentro del radio de drene puede continuar decreciendo, pero a un ritmo más lento. Con cualquier frontera cerrada o la presión de frontera constante, el gradiente de presión hacia el pozo tiende a estabilizarse después de un tiempo suficiente. El nivel de presión en un punto particular puede continuar declinando.

Para la presión de frontera constante un "estado estable" puede ser aproximado donde el gradiente y el nivel de presión no cambian con el tiempo. Para una frontera cerrada una condición de "estado pseudo estable" es alcanzado donde el gradiente de presión es constante, pero la presión declina linealmente con el tiempo en cada punto alcanzando por el radio de drene.

Cambios en el ritmo de producción o producción de otros pozos pueden causar variaciones de presión adicionales, los cuales afectan la declinación de la presión y los gradientes de presión en cada punto dentro del radio de drene del primer pozo.



## **PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

La base del análisis para presión transitoria es la observación de esos cambios de presión y el fluido retirado o el ritmo de inyección que los causa; junto con la descripción matemática del proceso de flujo, involucrando las propiedades de la roca a través de la que ocurre el movimiento y las características de los fluidos que están en movimiento.

La ecuación de difusión, describiendo el movimiento del fluido a través de la roca en el yacimiento, asume flujo horizontal, efectos de gravedad insignificantes, una roca homogénea e isotrópica y un solo fluido poco compresible. También la ley de Darcy debe aplicarse y la porosidad, permeabilidad, viscosidad y compresibilidad deben ser independientes de la presión. Con estas limitaciones la ecuación de difusión se puede resolver fácilmente. Donde ocurren variaciones de presión menores, los métodos de aproximación dan resultados razonables. Donde ocurren variaciones mayores, las técnicas de simulación numérica de yacimientos se pueden usar para intentar modelar esas variaciones.

Para el análisis de yacimientos resulta intrigante la posibilidad de determinar la presión y la permeabilidad promedio, el volumen y quizá algunas heterogeneidades cercanas al yacimiento.

Las variaciones de presión son importantes para todos los problemas de terminación, como comunicación detrás de la tubería de revestimiento, perforaciones parciales o inefectivas y penetración parcial de la zona productiva.



## **PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

Un análisis apropiado tiene que considerar todos los datos disponibles; las pruebas de producción, detalles de perforación y terminación de pozos u operaciones en el pozo, perfiles de flujo y otros datos de producción registrados pueden ser útiles.

### **ALMACENAMIENTO**

Cuando el pozo se cierra instantáneamente en la superficie en lugar de hacerlo en el fondo, el yacimiento sigue aportando fluido hacia el pozo a un ritmo cada vez menor, debido a que el fluido en el pozo es compresible, teniendo la formación que suministrar cada vez más y más fluido (producción) para que se presente el incremento de presión después del cierre.

En la práctica se ha demostrado, que el volumen finito de un pozo y fluido dentro del pozo, afectan las presiones medidas en el mismo. Por ejemplo, si se cierra un pozo en la superficie, el gasto que se tiene en la cara de la formación no se suspende inmediatamente y el fluido continúa entrando al pozo, hasta que la presión ejercida por los fluidos almacenados es capaz de detener el flujo de fluidos de la formación hacia el pozo.



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

Cuando un pozo que ha permanecido cerrado por un tiempo prolongado, se abre súbitamente en la superficie, el aporte de hidrocarburos que se tendrá al inicio ( $q$ ), será debido a la descarga del pozo misma que gradualmente disminuye a cero, paralelamente el yacimiento empieza a aportar, por lo tanto un gasto constante ( $q_{cte}$ ) en la superficie es la suma de los dos gastos que cambian en sentidos opuestos, esto es, la descarga del pozo que disminuye más el flujo de la formación que aumenta.

De lo anterior se establece que el efecto de almacenamiento de pozo está asociado con un gasto de la formación que varía continuamente.

$$C = \frac{\Delta V}{\Delta P} \dots\dots\dots(1-1)$$

Donde:

$C$  = Constante de almacenamiento (bl/ lb<sub>r</sub>/pulg<sup>2</sup>)

$\Delta V$  = Cambio de fluido en el pozo (bl)

$\Delta P$  = Cambio de presión en el fondo del pozo (lb<sub>r</sub>/pulg<sup>2</sup>)





**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

El almacenamiento de pozo se origina debido a la compresión del fluido y el Movimiento de la interfase gas-líquido:

Si una parte del fluido producido en la cabeza de un pozo se origina por la descarga del mismo, el resultado de la producción puede ser una caída en el nivel del líquido en el pozo, esta situación ocurre cuando el fluido es descargado de la tubería de producción por unidad de caída de presión en la cara de la formación, esto es:

$$C = \frac{V_u}{\frac{\rho}{144} \frac{g}{g_c}} \dots\dots\dots(1-2)$$

Donde:

$V_u$  = Volumen del pozo por unidad de longitud (pie<sup>3</sup>/pie)

$\rho$  = Densidad del fluido en (lb<sub>m</sub>/pie<sup>3</sup>)

$g$  = Aceleración debida a la gravedad (pie/seg<sup>2</sup>)

$g_c$  = Constante de conversión

La siguiente ecuación establece la relación que existe entre el gasto y el almacenamiento Qp y la variación de presión.



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

$$Q_p = 24 C (t) \frac{dp}{dt} \dots\dots\dots(1-3)$$

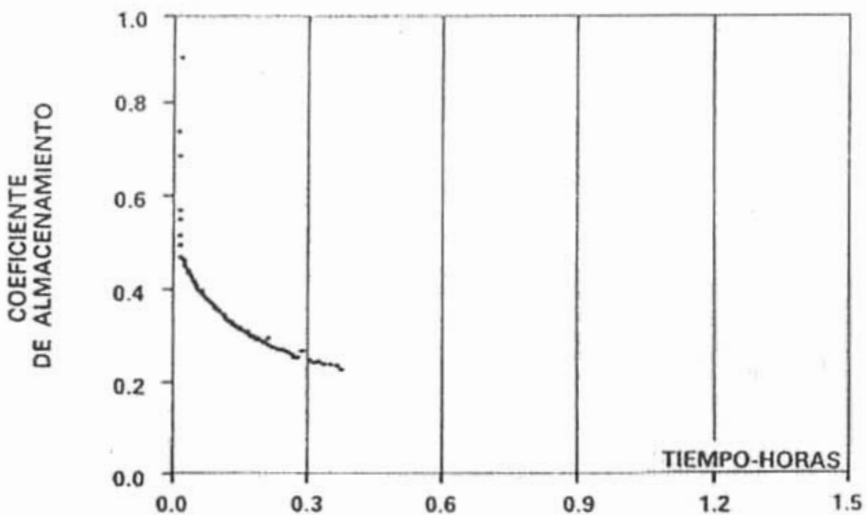
[Qp] = Gasto bl / dia

[p] = Presión psi

C (Δt) = Coeficiente de Almacenamiento

[Δt] = Tiempo de Cierre (horas)

Con la ecuación anterior es posible graficar el coeficiente de almacenamiento C(Δt).



**FIGURA 1 – 1 GRÁFICA DEL COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO**



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

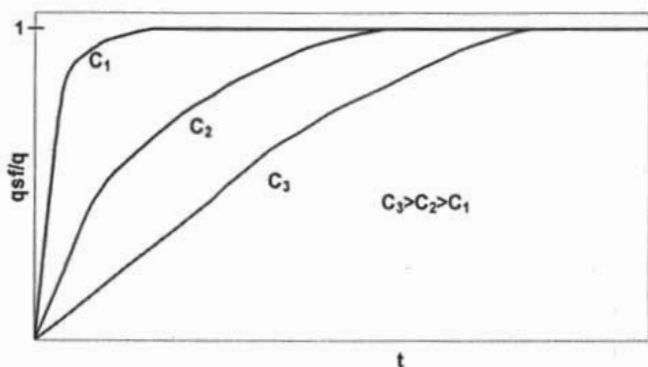
**COMPRESIBILIDAD DEL FLUIDO**

Para el caso de que se tenga el pozo cerrado, lleno con un líquido bajo saturado o gas (una sola fase), al abrir el pozo se tendrá una producción del fluido del pozo por unidad de caída de presión que será constante:

$$C = V_w c \dots\dots\dots(1-4)$$

Donde  $V_w$  es el volumen total del pozo en (pie<sup>3</sup>) y  $c$  es la compresibilidad isotérmica del fluido en el pozo en (psi<sup>-1</sup>). La compresibilidad del fluido se evalúa a la temperatura media del yacimiento.

La constante de almacenamiento varía con la presión, que es importante en pozos de gas o en pozos con un nivel de líquido variable durante la prueba.



**FIGURA. 1-2 EFECTO DEL ALMACENAMIENTO DE POZO CON EL GASTO QUE OCURRE EN LA CARA DE LA FORMACIÓN.**



## **PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

La magnitud de la constante de almacenamiento por cambio de nivel de líquido es mayor que la constante por compresión de fluido, debe hacerse notar que los efectos de almacenamiento de pozo pueden cambiar dependiendo del parámetro que lo causa, la duración de estos efectos son directamente proporcionales a  $C$ .

La figura I-5 muestra esquemáticamente la relación del gasto en la cara de la formación ( $q_{sf}$ ), respecto al gasto en la superficie ( $q$ ) cuando el gasto en la superficie se cambia de

0 a  $q$  en el tiempo cero ( $t$ ), cuando  $C = 0$ ,  $q_{sf}/q = 1$  para todo tiempo. Mientras más grande es  $C$ , la región de transición es mayor, puesto que se tiene una fase.

### **DAÑO A LA FORMACIÓN**

Durante la perforación, terminación o producción de un pozo, es posible que pueda desarrollarse una zona de permeabilidad alterada alrededor de las paredes del agujero. Para medir estos efectos, Van Everdingen y Hurst en dos publicaciones separadas introdujeron el concepto de factor de daño. Ellos señalaron que las presiones medidas en un pozo, frecuentemente no se ajustaban a las soluciones ideales calculadas para el problema considerado, aunque la información real pareciera ser paralela a las soluciones teóricas.



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

Van Everdingen y Hurst propusieron que la diferencia era una caída adicional de presión causada por restricciones al flujo cercanas al pozo. Pensaron que esta caída de presión era resultado de una película de fluido muy delgada en la superficie de la arena del pozo. Este efecto es representado por un factor de daño, S, el cual está relacionado con la caída de presión debida al daño  $\Delta PS$ , por:

$$\Delta PS = \frac{141.2 q B \mu}{K h} S \dots\dots\dots(1-5)$$

donde:

$\Delta PS$  = Caída de presión a través del daño, psi

B = Factor de volumen,

$\mu$  = Viscosidad, cp

S = Factor de Daño

K = Permeabilidad, md

H = Espesor de la formación, pies

Un problema con el concepto del efecto de daño es que el valor numérico del factor de daño "S", no demuestra directamente el grado de daño.

Un factor de daño positivo indica que la permeabilidad cercana a la pared del pozo ha sido reducida, mientras que un factor de daño negativo indica un



## **PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

incremento en la permeabilidad, y un factor de daño cero indica que no hay cambio en la permeabilidad.

Si  $S = 0$ : El pozo no está dañado (permeabilidad sin cambios)

**Eficiencia de Flujo = 1.0**

Si  $S < 0$ : El pozo está estimulado (incremento en la permeabilidad)

**Eficiencia de Flujo > 1.0**

- $-1 < S < -3$       Acidificado
- $-2 < S < -4$       Fracturado
- $S < -5$             Masivamente Fracturado

Si  $S > 0$ : El pozo está dañado (permeabilidad reducida)

**Eficiencia de Flujo < 1.0**

- $S > 0$               Dañado
- $S > + 10$           Altamente Dañado

### **EFICIENCIA DE FLUJO**

La eficiencia del flujo describe la capacidad real del flujo de los pozos como una fracción de su capacidad sin daño. La relación del daño es lo contrario de la eficiencia de flujo. El factor de daño, la eficiencia de flujo, o la relación del daño se puede determinar de la mayoría de las técnicas de presión transitoria.



## **PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

Un pozo terminado con sólo una parte de la zona productora abierta (por la perforación ineficaz) o el hecho de que el pozo no fue perforado totalmente en la zona, aparecerá como dañado, incluso si no hay restricción física al flujo.

### **HETEROGENEIDADES DEL YACIMIENTO**

Las heterogeneidades del yacimiento afectan el comportamiento de la presión transitoria. La variación en las propiedades de la roca debido a los cambios deposicionales o post deposicionales (fracturas, permeabilidad direccional o estratificada), cambios en las propiedades de los fluidos (contactos gas - aceite, aceite - agua), cambios debido a la variación de presión y cambios debido a los efectos de los fluidos de estimulación o inyección, todos afectan la presión transitoria.

Las pruebas múltiples de pozos son afectadas más severamente por las heterogeneidades y consecuentemente se pueden utilizar para definir heterogeneidades en casos simples. La primera dificultad es que muchas condiciones diferentes pueden dar la misma respuesta de variación de presión. Sin otra evidencia geológica, sísmica, flujo o funcionamiento del pozo, las pruebas de presión transitoria no se deben de utilizar para deducir propiedades heterogéneas del yacimiento. Si las capas individuales de un yacimiento estratificado no se aíslan, la información individual significativa del estrato sobre



## **PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

permeabilidad, factor de daño o presión media del yacimiento, no se puede estimar con la tecnología actual.

### **PRUEBAS DE PRESIÓN**

El objetivo de las pruebas de presión, que consisten básicamente en generar y medir variaciones de presión en los pozos, es obtener información del sistema roca – fluidos y de los mismos pozos, a partir del análisis de dichas variaciones de presión. La información que se puede obtener incluye daño a la formación, permeabilidad, presión media, discontinuidades, eficiencia de flujo, etc., la cual es esencial para la explotación eficiente de los yacimientos.

Una clasificación de las pruebas de presión por su tipo es:

- Pruebas de Incremento de Presión
- Pruebas de Decremento de Presión
- Pruebas de Gasto Múltiple
- Pruebas de Inyectividad
- Pruebas de Decremento en Pozos Inyectores (Fall – off)
- Pruebas de Interferencia



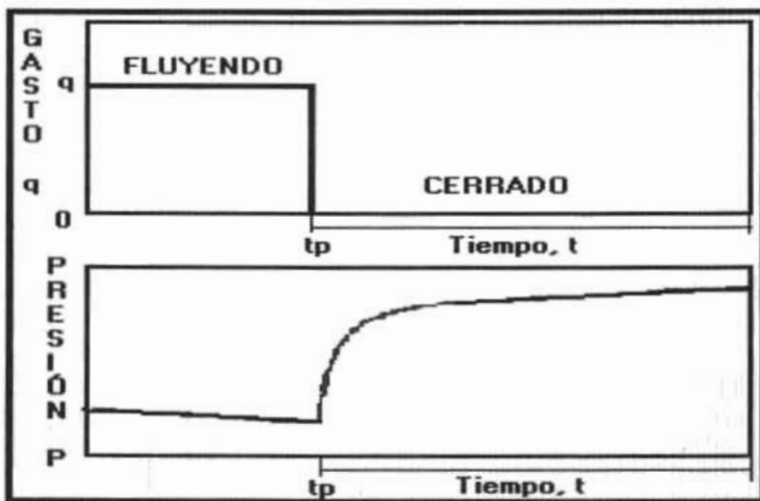


## PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

Cada tipo presenta ciertas ventajas y limitaciones y ciertos factores que son particularmente importantes para obtener resultados razonables. A continuación se describe cada tipo

### > Pruebas de Incremento de Presión

La prueba de Incremento de Presión es probablemente la técnica de prueba más familiar. Escencialmente el pozo produce con un gasto constante por bastante tiempo para establecer una distribución de presión estabilizada, entonces se cierra el pozo como se muestra en la figura.



**FIGURA 1-3 HISTORIA DE PRESIÓN Y GASTO IDEALIZADA PARA UNA PRUEBA DE INCREMENTO DE PRESIÓN**



## PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

---

La estabilización es importante, de lo contrario se calcularán datos erróneos. Si la estabilización es imposible, otras técnicas, tales como la prueba de gasto variable se deben de utilizar.

Refiriendose a la figura anterior  $t_p$  es el tiempo de producción, y  $\Delta t$  es el tiempo de cierre. La presión se mide inmediatamente antes del cierre y se registra como una función del tiempo durante el periodo de cierre. La curva de incremento de presión resultante se analiza para conocer las propiedades del yacimiento y las condiciones del pozo.

**Método de Horner:** Después de que los efectos de almacenamiento del pozo hayan disminuido, la presión del pozo durante el cierre es

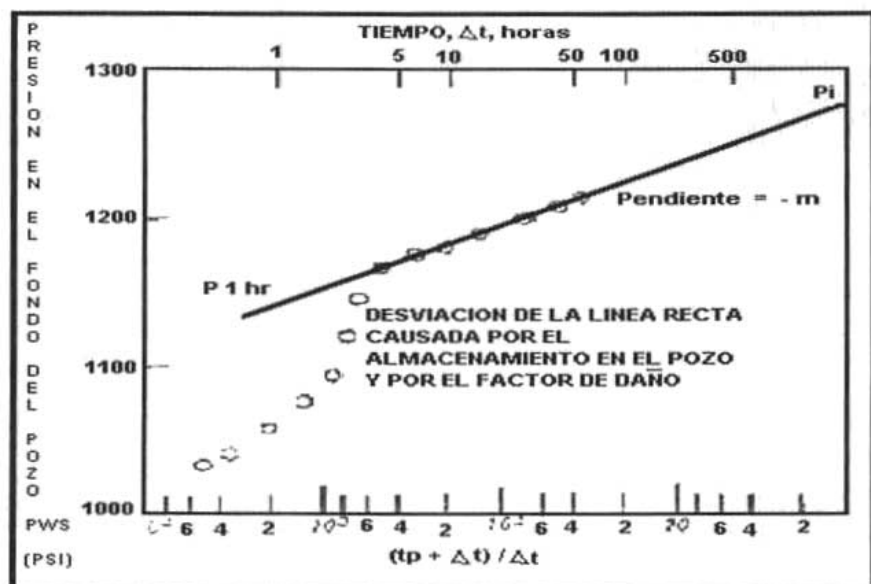
$$P_{ws} = P_i - \frac{162.6 q B \mu}{K h} \log\left(\frac{t_p + \Delta t}{\Delta t}\right) \dots\dots\dots(1-6)$$

Si se grafica  $P_{ws}$  vs  $\log\left(\frac{t_p + \Delta t}{\Delta t}\right)$ , resulta una línea recta con pendiente  $-m$ , esta

grafica se llama el Diagrama de Horner.



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**



**FIGURA 1-4 DIAGRAMA DE HORNER DE DATOS DE INCREMENTO DE PRESIÓN**

La porción de la línea recta de la curva se puede extrapolar al tiempo infinito para obtener  $P_i$ .

El valor de  $P_i$  es exacto para periodos cortos de producción, pero es demasiado alto para periodos largos de producción. El valor medio de la pendiente ( $m$ ) se puede utilizar para determinar la permeabilidad ( $K$ ) del yacimiento:

$$K = \frac{162.6 q B \mu}{m h} \dots\dots\dots(1-7)$$



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

El factor de daño (S) no aparece en la ecuación de Horner (pero afecta la forma inicial de la curva) al igual que el efecto de almacenamiento del pozo. El factor de daño "S" se puede calcular con la siguiente ecuación.

$$S = 1.151 \left[ \frac{P_{1hr} - P_{wf} (\Delta t = 0)}{m} - \log \left( \frac{K}{\phi \mu C_i r_w^2} \right) + 3.23 \right] \dots\dots\dots(1-8)$$

El valor para  $P_{1hr}$  se debe de tomar de la línea recta de la gráfica de horner, cuando los datos de incremento no caen sobre la línea recta a 1 hora, ésta deberá ser extrapolada.

**Diagrama de Miller – Dyes – Hutchinson (MDH):** El diagrama de incremento de Horner puede ser simplificado si el tiempo de producción es mucho mayor que el tiempo de cierre. La ecuación de incremento de Miller – Dyes – Hutchinson (MDH) es

$$P_{ws} = P_{1hr} + m \log \Delta t \dots\dots\dots(1-9)$$

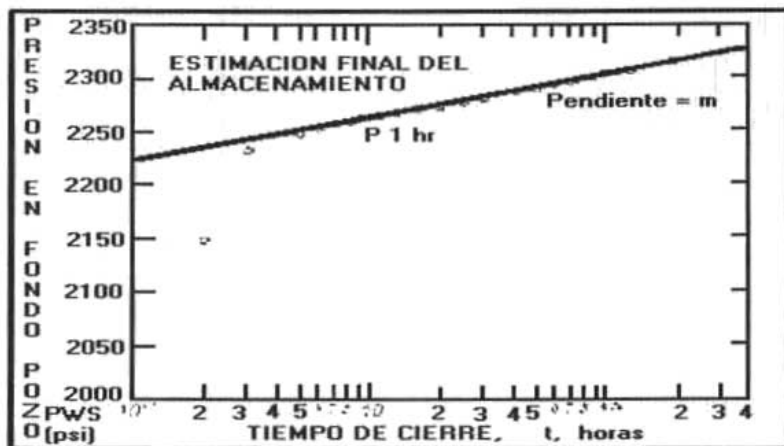
donde

$$m = \frac{162.6 q B \mu}{K h} \dots\dots\dots(1-10)$$

Un diagrama de  $P_{ws}$  contra  $\log \Delta t$  debe de ser una línea recta, como se muestra en la siguiente figura



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**



**FIGURA 1-5 DIAGRAMA DE MILLER - DYES - HUTCHINSON**

Puesto que es más fácil utilizar el método de MDH es de empleo general, a excepción del caso de la prueba con tubería de perforación donde el tiempo de flujo es casi igual al tiempo de cierre, en este caso se debe de utilizar el método de Horner.

Frecuentemente las pruebas de incremento de presión no son tan simples como discutidas. Muchos factores pueden afectar la forma del diagrama de incremento de presión, estos incluyen los efectos de almacenamiento del pozo, daño a la formación, penetración parcial, fracturas hidráulicas, condiciones inestabilizadas de flujo, interconexiones de fluido y la roca, los contactos agua-aceite o gas-aceite y las heterogeneidades de la roca.

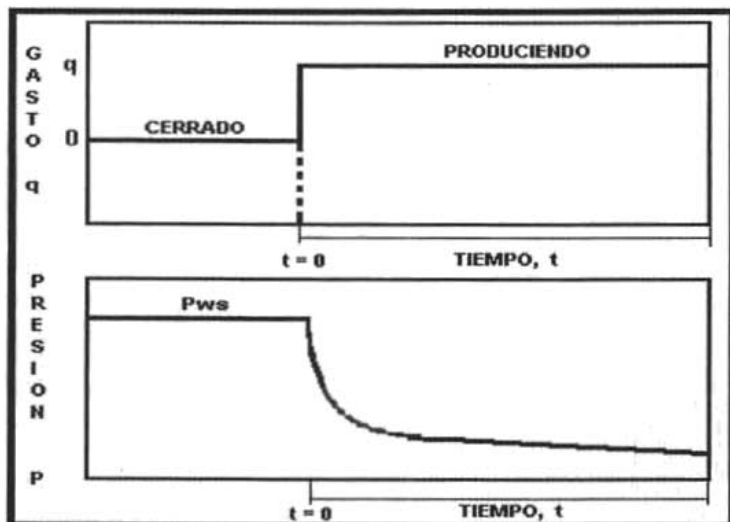


## PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

Una consideración importante del costo de la prueba de incremento de presión, es el hecho de que la renta está diferida mientras que se está corriendo la prueba.

### ➤ Pruebas de Decremento de Presión

Una prueba de decremento de presión es simplemente una serie de mediciones de la presión de fondo hechas durante un período de flujo en el cual se considera gasto constante. El pozo se cierra antes de correr la prueba por un período de tiempo grande que permita que la presión se estabilice.



**FIGURA 1-6 HISTORIA DE PRESIÓN Y GASTO IDEALIZADA PARA UNA PRUEBA DE DECREMENTO DE PRESIÓN**



## **PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

Los objetivos de una prueba de decremento de presión en un pozo son: obtener la permeabilidad de la formación, y determinar el daño o estimulación inducidos en la vecindad del agujero durante la perforación o terminación del pozo. Además, se puede determinar el volumen poroso del yacimiento.

Las pruebas de decremento de presión tienen dos ventajas sobre las pruebas de incremento de presión. Primero, la producción continúa durante el periodo de prueba y segundo, además de la permeabilidad y de la información del daño de la formación, se puede hacer una estimación del volumen del yacimiento en comunicación con el pozo.

Entonces la prueba de los límites "límites del yacimiento" se puede utilizar para estimar si hay suficiente aceite o gas (si es un yacimiento de gas seco), para justificar pozos adicionales en un nuevo yacimiento.

### **> Pruebas de gasto Múltiple**

Las pruebas de incremento y decremento de presión requieren un gasto constante, que a veces es imposible o impráctico de mantener por un periodo suficientemente largo. El análisis de gasto múltiple se puede aplicar a varias situaciones de flujo, como: gastos variables incontrolados, una serie de gastos



## **PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

constantes o presión del fondo del pozo constante con gasto cambiante continuamente.

Las pruebas de gasto múltiple tiene la ventaja de proporcionar datos de pruebas transitorias sin el requisito de cerrar el pozo. Esto reduce al mínimo los efectos de almacenamiento del pozo y los efectos de segregación de la fase, proporcionando así buenos resultados donde las pruebas de incremento o decremento de presión no pueden. Esta es quizás su ventaja más grande.

Las medidas exactas del gasto y de la presión son esenciales. Las medidas del gasto son mucho más críticas que en pruebas de gasto constante. Los cambios del gasto deben ser suficientes para efectuar significativamente el comportamiento de presión transitoria. El procedimiento de análisis es directo y simple, pero las mediciones necesarias para hacer el diagrama son muy largas y a veces es necesario utilizar la computadora.

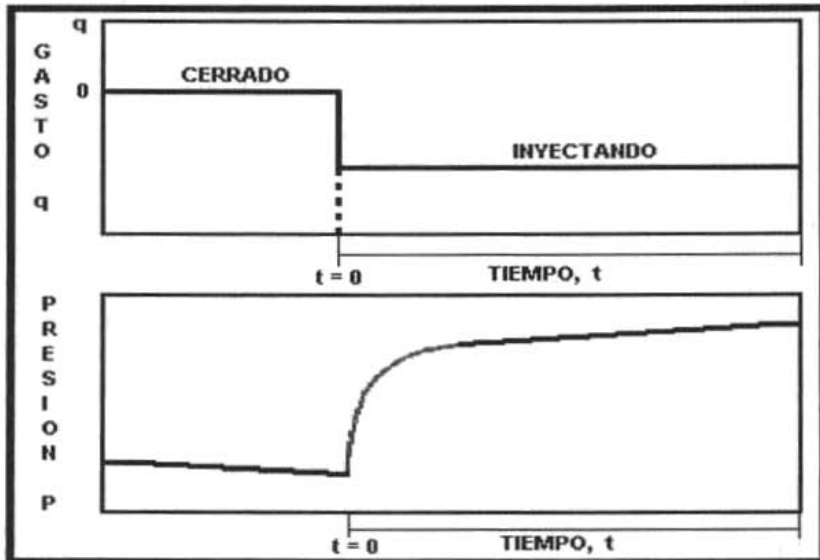




## PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

### ➤ Pruebas de Inyectividad

Conocida también como pruebas de incremento en pozos inyectores.



**FIGURA 1 – 7 HISTORIA DE PRESIÓN Y GASTO IDEALIZADA PARA UNA PRUEBA DE INYECTIVIDAD**

Las pruebas de Inyección en pozos inyectores tienen su aplicación en operaciones de mantenimiento de presión por inyección de agua o gas. En la mayoría de los casos los objetivos de una prueba en pozos inyectores son los mismos que para pruebas en pozos productores, es decir, la determinación de las propiedades pozo-yacimiento. En una prueba de inyección el pozo se cierra hasta que la presión se estabiliza y entonces se inicia la inyección a gasto constante mientras se graba la presión de fondo fluyendo ( $P_{wf}$ ).



## PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

---

Si el fluido inyectado tiene las mismas propiedades, densidad, viscosidad y características que los fluidos del yacimiento, entonces una prueba de inyección sería idéntica a una prueba de decremento de presión, excepto que el gasto constante sería negativo.

Antes de la prueba el pozo se encuentra cerrado y la presión estabilizada; a un tiempo determinado se inicia la inyección a un gasto  $q$  constante. Por convención,  $q < 0$  para inyección (se usó  $q > 0$  para las pruebas en pozos productores). Se utilizan las mismas ecuaciones que en las pruebas de decremento:

$$P_{ws} = P_{1hr} + m \log t \dots\dots\dots(1-11)$$

donde

$$m = - \frac{162.6 q B\mu}{K h} \dots\dots\dots(1-12)$$

$$S = 1.151 \left[ \frac{P_{1hr} - P_i}{m} - \log \left( \frac{K}{\phi \mu C_i r_w^2} \right) + 3.23 \right] \dots\dots\dots(1-13)$$

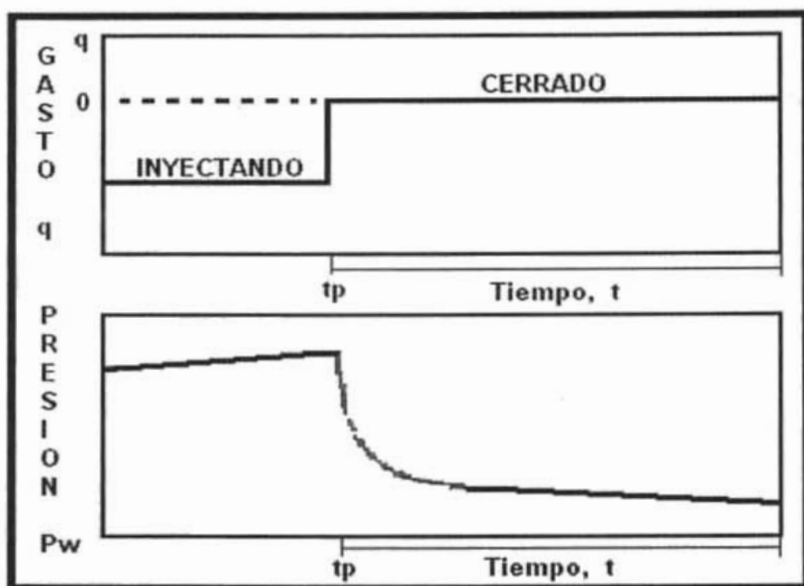


## PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

### ➤ Pruebas de Decremento en Pozos inyectoros (Fall-off)

Estas pruebas son análogas a las pruebas de incremento en pozos productores.

Se mantiene  $q$  constante hasta que el pozo se cierra a un tiempo  $t_p$ , como se muestra en la figura



**FIGURA 1 – 8 HISTORIA DE PRESIÓN Y GASTO IDEALIZADA PARA UNA PRUEBA DE DECREMENTO EN POZOS INYECTORES**

Los datos de presión tomados inmediatamente antes y durante el periodo de cierre son analizados de una manera similar a los de una prueba de incremento de presión.



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

Como en el caso de una prueba de incremento, en la gráfica de Horner los valores en la escala horizontal se incrementan de derecha a izquierda. Por lo que, aunque la pendiente aparenta ser negativa, ésta realmente es positiva.

Una vez que la línea recta semilog ha sido determinada, la permeabilidad del yacimiento y el factor de daño se calculan con las ecuaciones

$$K = \frac{162.6 q B \mu}{m h} \dots\dots\dots(1-14)$$

$$S = 1.151 \left[ \frac{P_{1hr} - P_{wf} (\Delta t = 0)}{m} - \log \left( \frac{K}{\phi \mu C_i r_w^2} \right) + 3.23 \right] \dots\dots\dots(1-15)$$

Como en el caso de una prueba de incremento de presión, si el gasto de inyección varía antes de la prueba, el tiempo equivalente de inyección puede aproximarse con:

$$t_p = \frac{24 V_p}{q} \dots\dots\dots(1-16)$$

Donde  $V_p$  es el volumen acumulativo inyectado desde la última estabilización de la presión y  $q$  es el gasto constante justamente antes del cierre. Los comentarios anteriores acerca del  $t_p$  apropiado para un análisis por medio del método de Horner. También son aplicables aquí.



## **PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

El método de Miller – Dyes – Hutchinson (MDH) para pruebas “fall off” se aplica en forma similar a como se aplica en pruebas de decremento.

### **➤ Pruebas de Interferencia (Pruebas de Pozos Múltiples)**

En una prueba de interferencia, un cambio del gasto de larga duración en un pozo cercano crea un cambio de presión en el pozo de observación, que se puede relacionar con las características del yacimiento. Una prueba de pulso es una prueba de interferencia, que provee datos similares por el cambio de gasto de producción de una manera cíclica para producir pulsos de presión a corto plazo. La respuesta de la presión a los pulsos se mide en uno o más pozos de observación. Las respuestas de la presión son muy pequeñas (quizás 0.01 psi), por lo que requieren equipo de medición especial.

Si se utilizan bastantes pozos de observación, los datos de prueba de interferencia se pueden analizar por métodos de computadora para dar una descripción de la variación de las propiedades del yacimiento y su localización. La prueba de pulso vertical en un pozo (bajo condiciones ideales) pueden indicar la continuidad vertical de la formación. La orientación y la longitud de las fracturas verticales se pueden estimar con técnicas de simulación de yacimientos y la prueba de pulso.



# CAPITULO

## 2

### PROBLEMÁTICA DE LA TOMA DE INFORMACIÓN EN POZOS QUE NO FLUYEN A LA SUPERFICIE



PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

---

# **PROBLEMÁTICA DE LA TOMA DE INFORMACIÓN EN POZOS QUE NO FLUYEN A LA SUPERFICIE**

## **TOMA DE INFORMACIÓN**

En la industria petrolera, la medición y análisis de las variaciones de presión en el fondo de un pozo productor de aceite, gas o inyector de agua, tiene como objetivo primordial obtener información del sistema roca-fluidos, esencial para explotar eficientemente los yacimientos.

La información acerca de las condiciones del yacimiento, son de mucha importancia en los estudios de caracterización de yacimientos, para predecir adecuadamente su comportamiento y estimar producciones futuras basados en los datos de presión y gasto medidos a condiciones de fondo o superficie de pozo. Dos de los factores más importantes que afectan las presiones medidas en un pozo, son el daño a la formación y el almacenamiento de pozo.

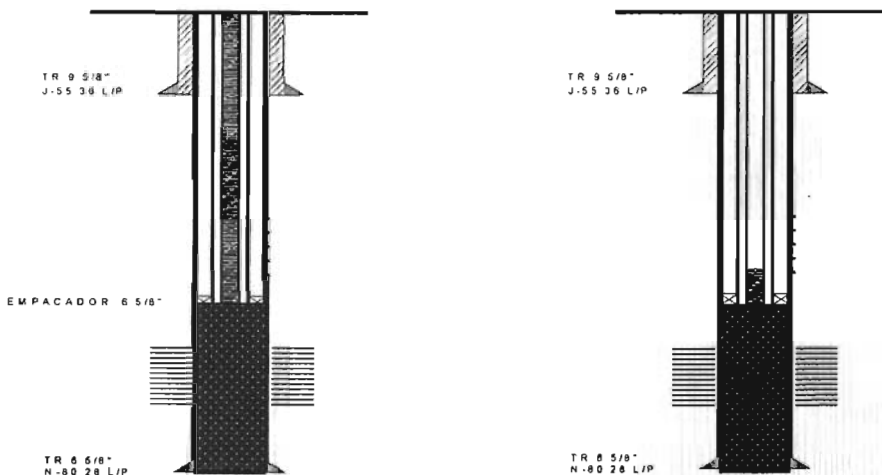
El coeficiente de almacenamiento de un pozo no es constante a lo largo de una prueba de variación de presión, cambios repentinos en el coeficiente de almacenamiento son fáciles de visualizar y ocurren con relativa frecuencia, en la



## PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

figura 2-1 se muestra una condición de pozo que puede causar un incremento en el coeficiente de almacenamiento.

Cuando un pozo inyector con alta presión en la cabeza del pozo es cerrado para una prueba de inyección, la presión en la cabeza permanece alta inmediatamente después del cierre, sin embargo, minutos después, la presión de fondo cae por debajo de la presión hidrostática, el nivel de líquido empieza a caer y forma un vacío; cuando esto sucede, el coeficiente de almacenamiento se incrementa de un coeficiente por compresión de fluido a otro por caída en el nivel de líquido.



**Fig. 2-1 Condiciones del pozo que muestran un incremento en el coeficiente de almacenamiento C.**





## **PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

Debido a que los investigadores en pruebas de variación de presión matemáticamente no han resuelto eliminar el problema del efecto de almacenamiento, en la industria petrolera mundial, se han destinado grandes cantidades de dinero en el desarrollo de tecnologías tendientes a eliminar dicho efecto, por lo que las compañías brindan este servicio a costos elevados.

Por tal motivo, especialistas del Grupo de Sistemas y Herramientas para la Adquisición de Información de Pozos del Instituto Mexicano del Petróleo se dieron a la tarea de estudiar la metodología para eliminar el efecto de almacenamiento de pozo en pruebas de inyección por lo que propusieron el diseño y construcción de una herramienta capaz de eliminar dicho efecto, así como dar seguimiento a la aplicación de esta tecnología en campo.

El sistema planteado representa, potencialmente, un instrumento valioso con capacidad para eliminar el efecto de almacenamiento de pozo en pruebas de inyección, contempla la opción de instalar una herramienta en el fondo del pozo que permita almacenar datos de presión temperatura.

Para poder enfrentar tecnológicamente los retos que impone la industria petrolera, se dispone de una infraestructura apropiada con la que se puede simular una gran cantidad de condiciones reales de operación, laboratorios para calibración de



## **PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

presión y temperatura, taller de manufacturas, áreas de ensamble y celdas para alta presión, así como programas de cómputo para diseño, análisis y simulación.

Hasta hace algunos años, resultaba difícil medir simultáneamente gasto y presión. Por esta razón los ingenieros de yacimientos se veían obligados a asumir que  $C(\Delta t)$  era una constante

### **OPERACIONES CON LÍNEA DE ACERO**

Para el desarrollo de las operaciones, se utiliza una unidad de Línea de Acero (ULA), la cual posee un carrete devanado con alambre acerado de uso especial, activado por un sistema hidráulico a través de la fuerza que le imprime un motor diesel, posee un sistema contador que permite medir la longitud del alambre que sale del interior del carrete y que es introducido al pozo, también cuenta con un indicador de peso que muestra el comportamiento del peso de las herramientas conforme bajan al interior del pozo y de la misma manera durante la extracción de estas hacia la superficie.



## PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO



**FIGURA 2-2 UNIDAD DE LINEA DE ACERO PARA OPERACIONES EN POZOS**

Los servicios que se realizan con la unidad de línea de acero se efectúan cuando el pozo está en etapa de terminación, reparación o mantenimiento, encontrándose éstos en la mayoría de los casos con presión. Para que la herramienta de trabajo se pueda bajar al pozo, es necesario instalar en el árbol de válvulas un equipo de control de presión, el cual permite evitar la exposición de presión, fluidos y gases contenidos en el pozo con la superficie, permitiendo introducir en forma segura las herramientas y accesorios.

Las actividades que se realizan utilizando equipos de línea de acero se clasifican por el tipo de operación en tres grupos:



## **PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

- Operaciones Mecánicas
- Toma de Información
- Muestreo PVT (presión, volumen y temperatura)

Las Operaciones Mecánicas, utilizan herramientas de percusión que imprimen golpes a diferentes tipos de herramientas con fines específicos, como el de: instalar, activar o recuperar dispositivos mecánicos en los aparejos de producción, así como la de imprimir huellas de obstrucciones, verificar las condiciones de la tubería de producción, recuperación de muestras de fluidos o sólidos, activar dispositivos para hacer cambios de fluidos, desprender adherencias de las tuberías, desplazar obstrucciones, alojar accesorios de control y monitoreo, bloquear dispositivos de seguridad, indicando a continuación las operaciones usuales.

Tipo de operación:

- Calibración
- Sacar impresión
- Sacar muestra
- Cortar parafina
- Raspar parafina
- Abrir y/o cerrar camisa deslizable



## **PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

- Colocar y/o recuperar válvula de B.N. (bombeo neumático)
- Recuperar varilla igualadora
- Colocar y/o recuperar ancla de tubería
- Colocar y/o recuperar tapón mecánico
- Colocar y/o recuperar válvula de circulación
- Colocar y/o recuperar válvula de retención (pie)
- Pescas con unidad de línea
- Cortar línea

Cabe mencionar que toda esta gama de operaciones se hace tomando en cuenta las normas de seguridad y ecológicas.

La toma de información considera la recuperación de datos de los yacimientos utilizando registradores o sensores mecánicos o electrónicos, que se introducen en las cercanías de los intervalos probados de los pozos, con los cuales se aportan parámetros de presión, temperatura, gradiente, superficial y de fondo, el nivel de fluidos, las variaciones de presión con respecto al tiempo en forma estática o dinámica, datos que permiten auxiliar en la evaluación del comportamiento de los yacimientos.



## **PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

El objetivo de la toma de registros de presión de fondo es la de obtener parámetros de presión, gradientes del fluido contenido, niveles y tipo de fluidos aportados por la formación y temperatura máxima existente.

Esta información sirve como de apoyo para conocer y determinar el gasto de producción del pozo, y su explotación racional, en los casos de recuperación; los fluidos de control permiten establecer un equilibrio que evite el daño a la formación, el decaimiento de presión conforme se explota el yacimiento la información se utiliza para estudios de interferencia entre pozos cercanos, caracterización de los campos, o para la obtención de curvas isobáricas.

Así también, al conjuntar datos de presión, temperatura, muestreos, registros geofísicos y núcleos, se pueden estimar las reservas de hidrocarburos de los campos.

Existe una variedad de tipos de registros de presión, los cuales pueden ser obtenidos utilizando los registradores o sensores de presión mecánicos (con terminación "SM") o electrónicos de memoria (con terminación "SE"), mismos que aportarán la información hasta el final de la prueba, cuando se tengan los instrumentos en la superficie del pozo. Posteriormente se procede a su cálculo e



## **PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

interrelación en el caso del mecánico y verificación de información, listado de impresión y grabado en un disco magnético en el caso del electrónico.

A continuación se relacionan los diversos tipos de registros de presión, tomados con línea de acero:

### Registro de presión de fondo cerrado (RPFC)

Con los registros de presión de fondo cerrado (condiciones estáticas), se obtienen datos puntuales a diferentes profundidades por periodos de tiempo específicos.

### Registro de presión de fondo fluyendo (RPFF)

El objetivo de la toma de registros de presión de fondo fluyente a condición dinámica, es la de obtener parámetros de presión con datos o puntos continuos, contra el tiempo y profundidad. Esta información sirve de apoyo para conocer y determinar el potencial del pozo en conjunto con datos superficiales de presión.

### Curva de decremento (CD)

El objetivo de la curva de decremento es obtener inicialmente un dato puntual estático de presión, al abrir o hacer fluir el pozo por un estrangulador específico, la presión en fondo y en superficie disminuyen, tendiendo a estabilizarse a una presión diferente a la inicial en un cierto periodo de tiempo, siendo esta la



## **PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

información primordial en este tipo de registros, obteniéndose el tiempo en el que el pozo estabiliza su presión durante la etapa de flujo. Esta información aporta el tiempo de recuperación dinámica del yacimiento.

### **Curva de incremento (CI)**

El registro de curva de incremento, se realiza posteriormente a un periodo de flujo del pozo. Generalmente inicia con el cierre del pozo al término de la curva de decremento o durante la etapa de flujo estable, teniéndose un valor de presión que antecede al cierre del pozo, iniciando con la acción de cierre un incremento de presión en fondo y en superficie, el cual al cabo de un tiempo específico llega a recuperarse acercándose a la presión inicial estática que se tenía a esa profundidad. Esta información aporta el tiempo de recuperación estática del yacimiento.

### **Estabilización de presión (EP)**

El objetivo del registro de estabilización, es el de obtener las variaciones de presión de la movilidad del fluido en un periodo de tiempo, es decir, la finalidad es obtener información acerca del tiempo necesario para que la presión en el fondo del pozo permanezca sin variación.





## **PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

Las muestra PVT comprenden la captura del fluido producido por el yacimiento en su cercanía mas próxima del intervalo productor, mediante la utilización de muestreos del tipo abierto de circulación por el cual el fluido atraviesa la cámara de captura conforme es introducido al interior del pozo. Al llegar a la profundidad programada se estaciona por un tiempo específico esperando el cierre de las válvulas (en el caso de operación por reloj) o se activa el mecanismo de cierre cizallando un pasador de corte cerrando las válvulas (en el caso de cabeza de golpe), con lo cual queda entrampada la muestra representativa a condición de presión, volumen y temperatura del yacimiento, misma que es trasladada hasta la superficie. La calidad de la muestra, dependerá principalmente de la buena preparación de limpieza que se le de al pozo. Posteriormente se transfiere del muestreo a un envase hermético de transporte para su envío al laboratorio en donde se efectúan los análisis de composición química de fluidos y PVT.



# CAPITULO

## 3

### HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO

- DISEÑO
- COMPONENTES
- CALIBRACIÓN



## DISEÑO

### PROBLEMÁTICA Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN

El efecto de almacenamiento de pozo, es debido a la compresibilidad y movimiento de los líquidos en el pozo. Después de cerrar un pozo, el flujo de fluidos del yacimiento no para inmediatamente sino continúa en un gasto lento que disminuye hasta que la presión en el pozo se estabiliza. Otra complicación son los efectos mecánicos del pozo que conduce los líquidos al segregarse los fluidos en la tubería de producción, que generan el efecto de almacenamiento de pozo, otro aspecto es derivado de la inyección de fluidos al pozo, actualmente esta prueba se realiza sin tener control sobre presión de inyección y gasto además de que al finalizar la inyección de fluidos al pozo, el yacimiento continua admitiendo sin que se pueda contabilizar el volumen.

Con base en lo anterior especialistas de Petróleos Mexicanos e Instituto Mexicano del Petróleo se dieron a la tarea de estudiar la metodología para eliminar el efecto de almacenamiento de pozo en pruebas de inyección por lo que se conformó, un grupo multidisciplinario (ingenieros mecánicos, petroleros y especialistas en diseño).

Para resolver la problemática planteada, en el año 2003, se propuso diseñar y construir una herramienta capaz de evitar el efecto de almacenamiento de pozo en pruebas de inyección, así como, un banco de calibración de presión de la herramienta para de cierre en el fondo del pozo. Como método de evaluación de la herramienta se realizó el planteamiento siguiente:

- Realizar la ingeniería de detalle y fabricación de la herramienta para fondo de pozo con presión de apertura variable.



## PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

---

- Realizar pruebas en laboratorio e implantación en campo.
- Eliminar el efecto de almacenamiento de pozo en pruebas de inyección.
- Disponer de información confiable para la realización de estudios de yacimientos.
- Optimizar la explotación de hidrocarburos y desarrollo de campos.
- Selección de los pozos candidatos, con los requerimientos siguientes:
  - Tubería de producción de 2.875 pulg. de diámetro.
  - El interior de la tubería no debe tener comunicación de producción con el espacio anular.
  - No tener instalado sistema de bombeo mecánico u otro mecanismo que obstruya el paso de la herramienta de fondo para su anclaje con el empacador.
  - La menor distancia entre el empacador y el nivel medio de los disparos (10 % de la profundidad total del pozo), para minimizar o en su caso eliminar el efecto de almacenamiento de pozo.
  - Disponer del estado mecánico del pozo.

La herramienta para el control del efecto de almacenamiento de pozo, se caracteriza por el uso de la nueva tecnología para mejorar la toma de decisiones en la explotación de yacimientos de hidrocarburos, proponiendo un novedoso sistema de toma de información en pruebas de inyección sin efectos de almacenamiento, planteándose como objetivo incrementar la recuperación de hidrocarburos con los resultados de las pruebas de inyección al obtenerse



## PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

parámetros como la conductividad del pozo, índice de productividad, daño a la formación, discontinuidades, etc., información que es utilizada para realizar diseños de pozos propensos a optimizar la producción de hidrocarburos.

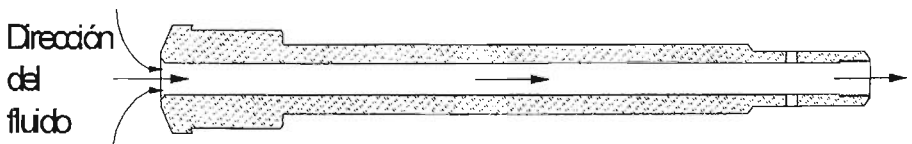
### A. ACOPLAMIENTO CON EL EMPACADOR

Debido a que el sistema contempla la opción de instalar una herramienta en el fondo del pozo que permita almacenar datos de presión – temperatura, mediante una sonda de memoria y minimizando el efecto de almacenamiento de pozo, para su anclaje se utiliza un empacador.

#### 1. Varilla igualadora de presión

Dispositivo de apertura y cierre mecánico mediante la operación en superficie de línea de acero, fabricado en material de acero inoxidable tipo 316.

- **Cuerpo**  
Permite el flujo de fluidos por su interior y sirve de soldador y pesca para el anclaje y desanclar



**FIGURA 31 – 1 VARILLA IGUALADORA DE PRESIÓN**



## PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

### ▪ Sello

Permite el flujo de fluidos por su interior y el sello por medio de aro sellos ubicados en la cabeza de la varilla igualadora hasta una presión máxima de 5000 psi.

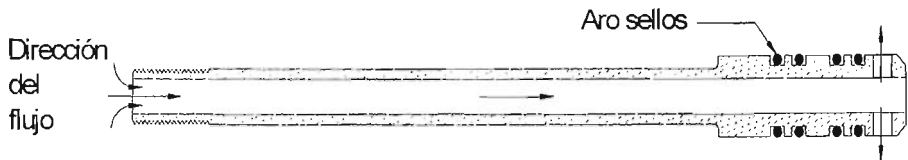


FIGURA 31 – 2 SELLOS

## B. VÁLVULA DE APERTURA VARIABLE

Es un sistema tipo válvula antirretorno (check) de sello esférico, calibrada por medio de un resorte, que abrirá a una determinada presión diferencial calculada en función del nivel de líquido y densidad del aceite en el interior de la tubería de producción del pozo, de la presión de fondo del pozo cerrado y presión de inyección inicial en superficie.

### 1. Conexión a la válvula antirretorno

En esta pieza se efectúa el sello de la válvula, cuenta con un diámetro de 0.5 pulg. para el flujo de fluidos, en un extremo se conecta una bomba de presión manual o conexión NTP a tubing para calibrar la válvula a la presión requerida.

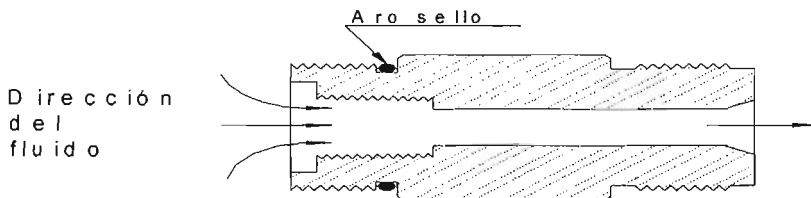


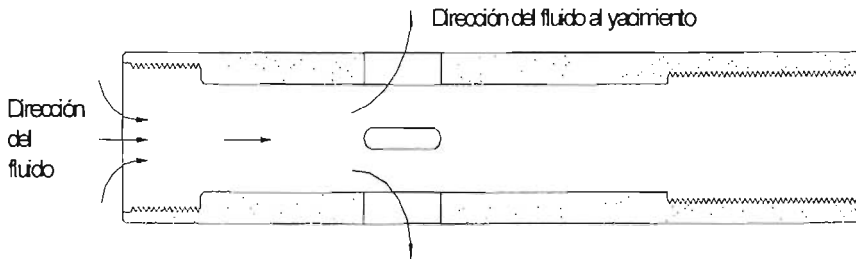
FIGURA 31-3 CONEXIÓN A LA VÁLVULA ANTIRRETORNO



## PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

### 2. Cuerpo de la válvula antirretorno

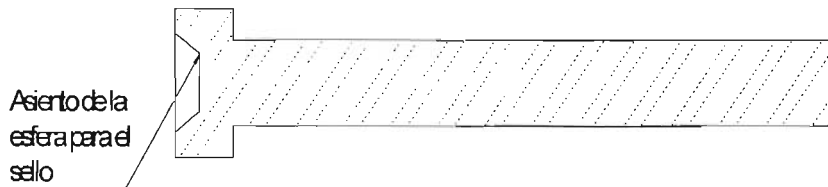
En esta pieza como su nombre lo indica es el cuerpo donde se encuentra el mecanismo de apertura y cierre variable de la válvula y consta de 4 ranuras por donde sale el fluido que va al yacimiento.



**FIGURA 31-4 CUERPO DE LA VÁLVULA ANTIRRETORNO**

### 3. Vástago de la válvula antirretorno

En esta pieza se aloja el resorte de la válvula y la esfera de 0.75 pulg de diámetro que permite el sello.



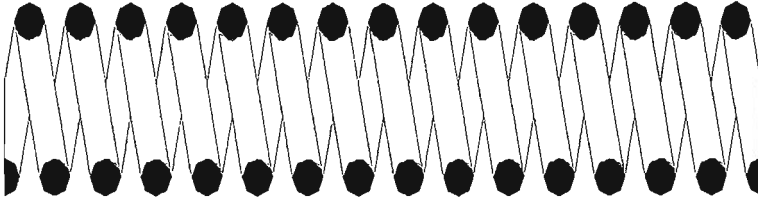
**FIGURA 31-5 VÁSTAGO DE LA VÁLVULA ANTIRRETORNO**

### 4. Ajustador de presión

Esta pieza es el mecanismo de calibración del resorte de la válvula mediante el uso de un dado y maneral. *Ver ingeniería de detalle en el anexo A.*



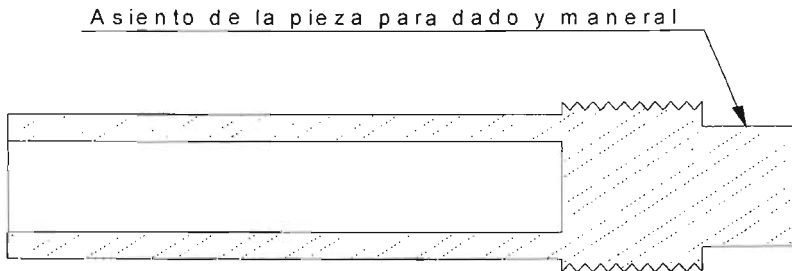
**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**



**FIGURA 31-6 AJUSTADOR DE PRESIÓN**

**5. Resorte de la válvula antirretorno**

Mecanismo de calibración de la válvula a diferentes presiones fabricado en acero inoxidable tipo 316 para evitar su corrosión. .



**FIGURA 31-7 RESORTE DE LA VÁLVULA ANTIRRETORNO**

**C. AMORTIGUADOR DE IMPACTOS**

Se diseñó un amortiguador de impactos para asegurar a las sondas de memoria de adquirir información y no dañarse a la hora de anclar y desanclar el tapón mecánico con la herramienta de fondo esto debido a los golpes que se dan en el fondo.

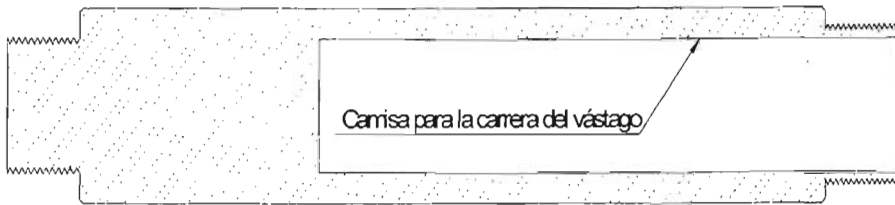




**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

**1. Cuerpo del amortiguador de impactos**

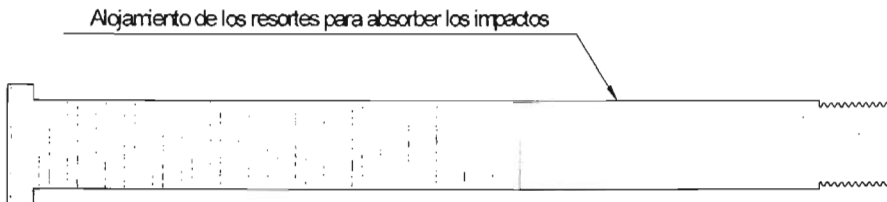
Es la carcasa del amortiguador de impactos y permite la conexión del amortiguador de impactos con la válvula check. .



**FIGURA 31-8 CUERPO AMORTIGUADOR DE IMPACTOS**

**2. Vástago del amortiguador de impactos**

Permite el alojamiento de los resortes del amortiguador de impactos fabricados en acero inoxidable tipo 316 para su corrosión.



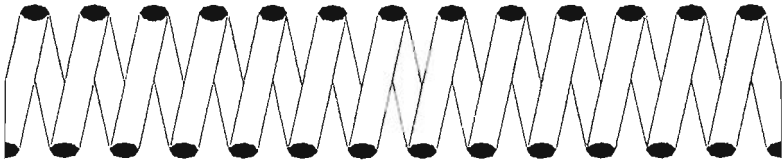
**FIGURA 31-9 VÁSTAGO DEL AMORTIGUADOR DE IMPACTOS**

**3. Resorte del amortiguador de impactos**

Mecanismo para absorber los impactos en el fondo al estar anclando y desanclando el tapón mecánico, fabricado en acero inoxidable tipo 316 para evitar su corrosión. .



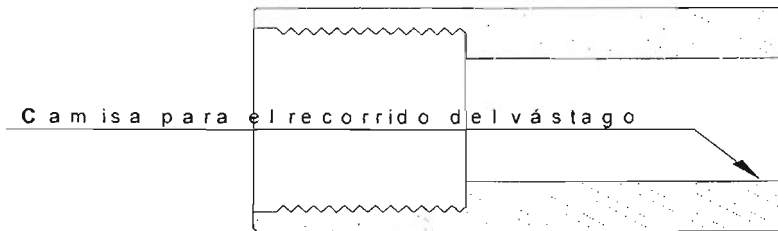
**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**



**FIGURA 31-10 RESORTE DEL AMORTIGUADOR DE IMPACTOS**

**4. Tapón del amortiguador de impactos**

Esta pieza une al cuerpo del amortiguador y en su interior permite el recorrido del vástago.



**FIGURA 31-11 TAPÓN DEL AMORTIGUADOR DE IMPACTOS**

**D. PROTECCIÓN DE LA Sonda DE MEMORIA**

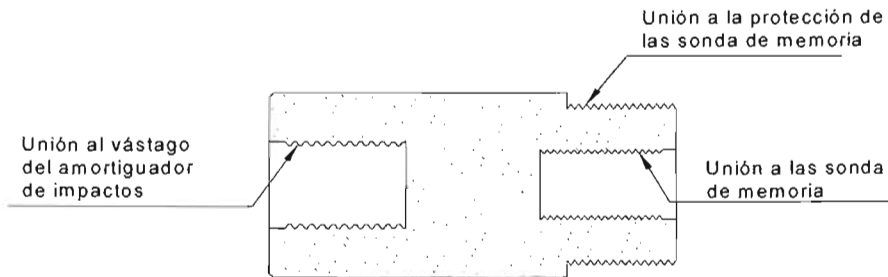
Se adicionó a la herramienta de fondo una camisa para proteger la sonda de memoria al bajar y subir la herramienta y permitiendo en su interior el flujo de fluidos hacia la sonda de memoria además de tener en la punta una guía de sección cónica para desplazar el fluido que se tiene en el pozo.



## PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

### 1. Conexión a la sonda de memoria

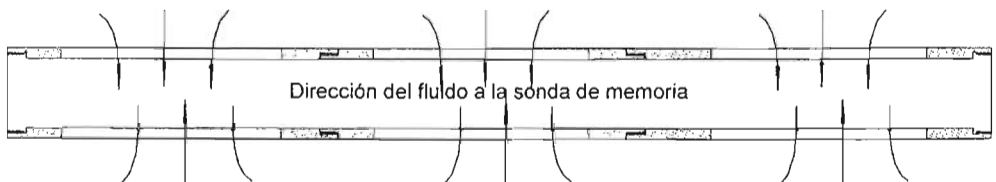
Esta pieza une el vástago del amortiguador de impactos, la camisa para proteger a las sondas de memoria y en su interior se conecta la sonda de memoria.



**FIGURA 31-12 CONEXIÓN A LA SONDA DE MEMORIA**

### 2. Cuerpo de protección de la sonda de memoria

Esta pieza es la camisa para proteger a la sonda de memoria, se compone de tres secciones para su ensamble, mantenimiento y transportación.



**FIGURA 31-13 CUERPO DE PROTECCIÓN DE LA SONDA DE MEMORIA**

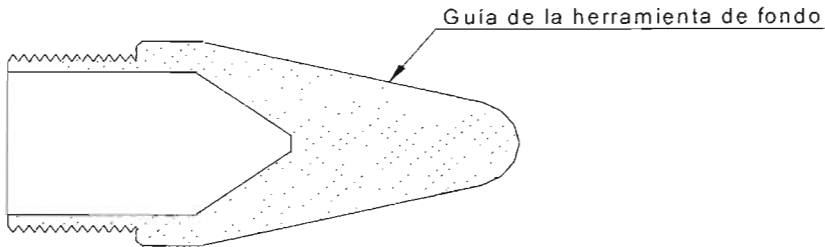
### 3. Nariz protectora

Esta pieza es la guía de la herramienta de fondo y la conicidad que se tiene en la parte inferior sirve para desplazar el fluido que se tiene en un pozo.



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

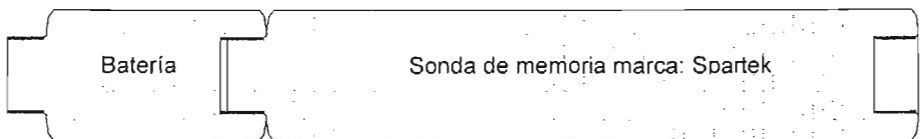
---



**FIGURA 31-14 NARIZ PROTECTORA**

**4. Sonda de memoria**

Sonda que permite tomar el registro de presión – temperatura en el fondo del pozo programable para registrar datos a diferentes intervalos de tiempo. Esta sonda es proporcionada por el área de Línea de Acero (PEMEX).



**FIGURA 31-15 SONDA DE MEMORIA**



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

**E. ÁREA DE FLUJO**

Se analizó el área de flujo que se tendrá en el diámetro menor de la herramienta de fondo que es el elemento de la varilla igualadora (cabeza) y de la parte del sello de la válvula check, para no alcanzar la velocidad del sonido y tener flujo crítico.

Análisis de la velocidad de flujo en la cabeza de la varilla igualadora y en el orificio de la válvula.

Considerando los datos de entrada siguientes:

$$Q = 3 \text{ bl/min}$$

$$\varnothing_{\text{INT}} \text{ de la tubería de producción} = 2.441 \text{ pulg}$$

$$\text{Capacidad de la tubería de producción} = 5.792 \times 10^{-3} \text{ bl/pie}$$

$$\varnothing_{\text{CABEZA DE LA VARILLA IGUALADORA}} = 0.5 \text{ pulg}$$

$$\varnothing_{\text{ORIFICIO DE LA VALVÚLA}} = 0.5 \text{ pulg}$$

Utilizando la ecuación para calcular el gasto se tiene:

$$V = Cu * Q / A \dots\dots\dots(31-1)$$

$$A = \pi r^2 \dots\dots\dots(31-2)$$

Donde:

V = Velocidad del fluido (pies/seg)

A = Área (pulg<sup>2</sup>)

Q = Gasto (bl/min)

Cu = Constante de conversión de unidades = 13.46

Calculando el área de la tubería:

$$A = \pi(2.441/2)^2 = 4.67 \text{ pulg}^2$$

Calculando V se tiene:



## PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

---

$V = C_u * Q/A = 13.46*3/4.679 = 8.63$  pies/seg *velocidad en la tubería de producción.*

Calculando el área de la cabeza de la varilla igualadora y del orificio de la válvula:

$$A = \pi(0.5/2)^2 = 0.196 \text{ pulg}^2$$

Sustituyendo valores en la ecuación (31-1) tenemos:

$V = C_u * Q / A = 13.46*3/0.196 = 206.02$  pies/seg *velocidad en la cabeza de la varilla igualadora y en el orificio de la válvula.*

Considerando la velocidad del sonido = 1085.95 pies/seg tenemos:

Vel. en la tubería de producción < vel. del sonido.

$$8.63 \text{ pies/seg} < 1085.95 \text{ pies/seg}$$

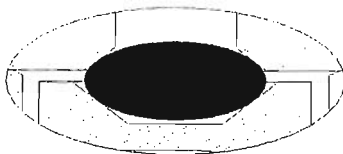
Vel. en la cabeza de la varilla igualadora y en el orificio de la válvula < vel. del sonido.

$$206.02 \text{ pies/seg} < 1085.95 \text{ pies/seg}$$

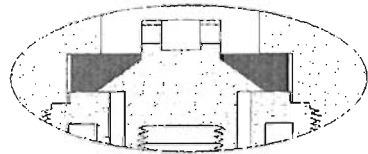
Conclusión: Debido al análisis anterior no se tendrá flujo crítico.

### F. TIPO DE SELLO

Para la selección del tipo de sello, se realizaron pruebas de laboratorio utilizando dos tipos de sello; cónico y esférico, ambos con superficie de contacto metal-metal, siendo el esférico el que presentó mejores resultados, además de ser práctico para su reemplazo en cada operación.



Sello cónico



Sello esférico



## PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

---

### G. ROSCAS

Una de las formas de unir dos o más piezas con mayor aplicación en la industria, es utilizando uniones roscadas, y más aún, cuando estas piezas por su propia operación o mantenimiento requieren del ensamble y desensamble periódico.

A la fecha, se han diseñado una gran variedad de tipos y formas de roscas, estas dependen esencialmente de tres factores:

- El material
- La función que desempeñe
- Los esfuerzos a los que será sometida

En la actualidad existen 2 normas principales para las roscas:

- UNIFIED INCH SCREN THREADS (Roscas unificadas para tornillos en pulgadas). Se originó mediante un acuerdo de los comités para la estandarización de las roscas de tornillos en Canadá, Reino Unido y Estados Unidos en 1984.
- METRIC SCREN THREADS (Roscas métricas para tornillos). La estandarización de las roscas métricas para tornillos se ha realizado bajo el amparo de la Organisation For Standarization (ISO; Organización Internacional para la estandarización).

Aun cuando la tendencia mundial avanza hacia el sistema métrico, en México y particularmente en el tema de roscas, seguimos utilizando el sistema en pulgadas. La Industria Petrolera Nacional (PEMEX) por depender básicamente de tecnologías norteamericanas no es la excepción, por lo anterior la realización de este diseño, se representaran las unidades en ambos sistemas.



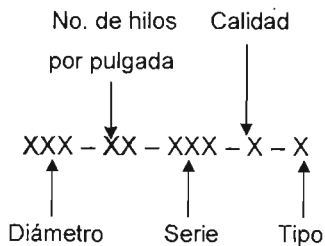
## PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

---

### 1. Nomenclatura

- En relación al diámetro y número de hilos, se tiene:
  - *SERIE DE ROSCA ESTÁNDAR*    *UNC*
  - *SERIE DE ROSCA FINA*        *UNF*
  - *SERIE DE ROSCA EXTRAFINA*    *UNEF*
  
- En relación al tipo, se tiene:
  - *ROSCAS EXTERIORES*    *A*
  - *ROSCAS INTERIORES*    *B*
  
- En relación a su calidad o tolerancias, se tiene:
  - *DE USO SIMPLE (TOLERANCIA AMPLIA) 1*
  - *DE USO GENERAL (TOLERANCIA MEDIA) 2*
  - *DE USO CON PRECISIÓN (TOLERANCIA CON EXACTITUD) 3*

Con lo anterior, la especificación de una rosca es:







**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

Ejemplo:

**2.375" – 12 Hilos – UNC – 2 – A**

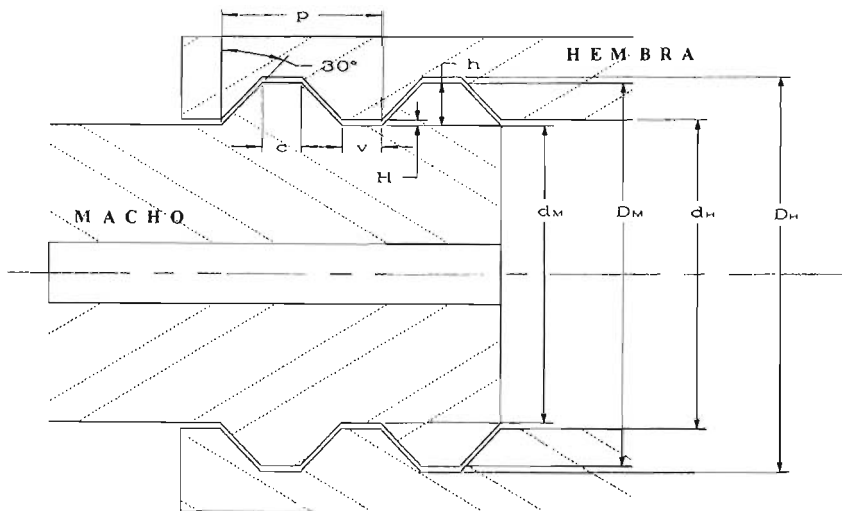
ó

**2 3/8" 12 Hilos UNC 2A**

Dentro del grupo "Sistemas y Herramientas para Adquisición de Información de Pozos" pertenecientes al Instituto Mexicano del Petróleo, han adoptado por experiencias exitosas en desarrollos anteriores, como rosca típica la ACME de 60° TRUNCADA, por tal motivo, en el presente desarrollo, las uniones roscadas se diseñaran con este perfil.

## 2. Diseño geométrico

En la figura 31-16 se muestran tanto macho como hembra las partes de los perfiles de una rosca ACME de 60° TRUNCADA.



**FIGURA. 31-16 ROSCA ACME DE 60° TRUNCADA**



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

$$p = \frac{1}{N} \dots\dots\dots(31-3)$$

$$c = 0.250P \dots\dots\dots(31-4)$$

$$v = 0.227P \dots\dots\dots(31-5)$$

$$h = 0.453P \dots\dots\dots(31-6)$$

$$H = 0.02P \dots\dots\dots(31-7)$$

$$d_M = D_M - 2h \dots\dots\dots(31-8)$$

$$d_H = d_M + 2H \dots\dots\dots(31-9)$$

$$D_H = d_H + 2h \dots\dots\dots(31-10)$$

Como se observa en la figura 31-16 y en las ecuaciones anteriores, las partes del perfilado de la rosca, depende únicamente del número de hilos y no del diámetro.

Utilizando dichas ecuaciones, en la Tabla 31-1 se muestran las dimensiones calculadas para una gama de números de hilos probables a utilizar en nuestro desarrollo.

Ejemplo:

$$D_M = 1.5 \text{ pulg}$$

$$N = 12$$

$$p = \frac{1}{N} = \frac{1}{12} = 0.0833 \text{ pulg}$$

$$c = 0.250P = 0.250(0.0833) = 0.0208 \text{ pulg}$$

$$v = 0.227P = 0.227(0.0833) = 0.0189 \text{ pulg}$$

$$h = 0.453P = 0.453(0.0833) = 0.0377 \text{ pulg}$$



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

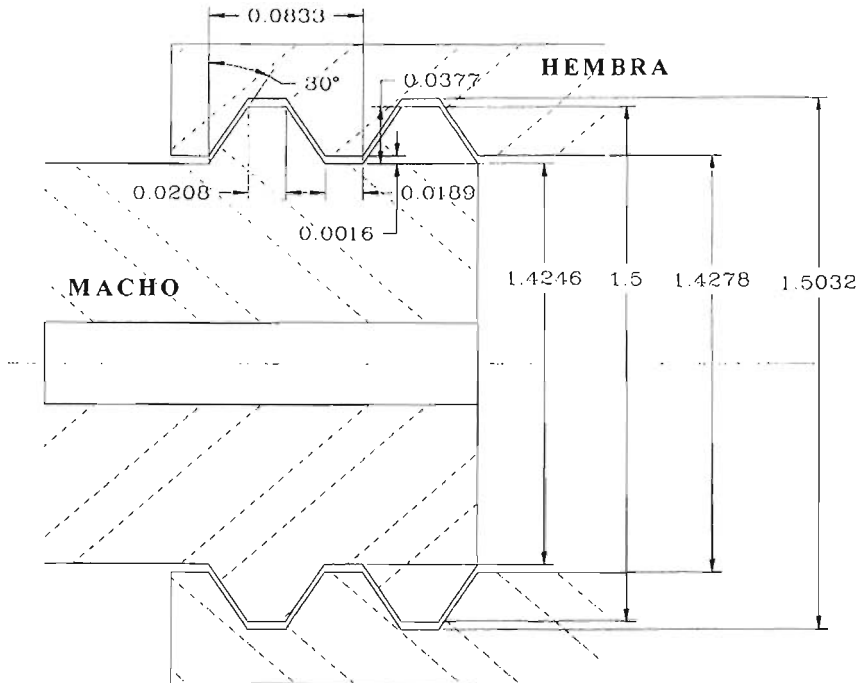
$$H = 0.02P = 0.02(0.0833) = 0.0016 \text{ pulg}$$

$$D_M = 1.5 \text{ pulg}$$

$$d_M = D_M - 2h = 1.5 - 2(0.0377) = 1.4246 \text{ pulg}$$

$$d_H = d_M + 2H = 1.4246 + 2(0.0016) = 1.4278 \text{ pulg}$$

$$D_H = d_H + 2h = 1.4278 + 2(0.0377) = 1.5032 \text{ pulg}$$



**FIGURA 31-17 ROSCA ACME DE 60° TRUNCADA PARA  $N = 12$  Y  $D_m = 1.5$  pulg.**



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

No. Hilos	CRESTA c (pulg)	VALLE v (pulg)	PROFUNDIDAD h (pulg)	HOLGURA H (pulg)
4	0.0625	0.0567	0.1132	0.0050
6	0.0416	0.0378	0.0755	0.0033
8	0.0312	0.0283	0.0566	0.0025
10	0.0250	0.0227	0.0453	0.0020
12	0.0208	0.0189	0.0377	0.0016
14	0.0178	0.0162	0.0323	0.0014
16	0.0156	0.0141	0.0283	0.0012
18	0.0138	0.0126	0.0251	0.0011

**TABLA 31-1 DIMENSIONES PARA PERFIL DE ROSCA ACME DE 60°TRUNCADA**

### 3. Cálculo de roscas por resistencia

Una vez, definido el tipo de rosca y su geometría, el siguiente paso, es determinar el material a utilizar para dichas uniones.

El material para las piezas que se unen con rosca, normalmente se seleccionan basándose en los siguientes puntos:

- Resistencia mecánica
- Temperaturas de operación
- Resistencia a la corrosión
- Peso
- Propiedades magnéticas
- Esperanza de vida
- Costo

Para este caso, el ambiente de trabajo y las temperaturas de operación son críticas, ya que en la gran mayoría de los pozos petroleros se encuentran



## PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

---

presentes en cantidades importantes el ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) y el bióxido de carbono ( $CO_2$ ) y en muchos casos se encuentran temperaturas del orden de 302 °F.

Debido al agresivo ambiente de trabajo y con el propósito de asegurar la correcta operación e incrementar la vida útil de los elementos, se propone el acero inoxidable tipo 316, como el material más apropiado para la fabricación de las piezas.

Desde el punto de vista de diseño por resistencia mecánica, la tarea es calcular la longitud de la sección roscada, para este caso la condición más importante a considerar, es la carga de tensión a que puede estar sometida la herramienta dentro del pozo petrolero.

Debido a que el material propuesto es el mismo tanto para las roscas tipo macho como tipo hembra y la geometría prácticamente es la misma para ambos casos, se realizará el análisis únicamente con las roscas tipo macho, para ello se utiliza la siguiente ecuación.

$$\sigma = \frac{4pT}{\pi L(D_M^2 - d_M^2)} \dots\dots\dots (31-11)$$

Donde:  $\sigma$  = Esfuerzo de fluencia (lb/pulg<sup>2</sup>)

$T$  = Fuerza de tensión de corte (Lb<sub>r</sub>)

$D_M$  = Diámetro mayor del macho (pulg)

$d_M$  = Diámetro menor del macho (pulg)

$p$  = Paso

$L$  = Longitud de la sección roscada (pulg)



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE GIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

Despejando  $L$  se tiene:

$$L = \frac{4pT}{\pi\sigma(D_M^2 - d_M^2)} \dots\dots\dots(31-12)$$

La máxima fuerza de tensión esperada en la operación de la herramienta dentro del pozo petrolero es de 8 000 lb<sub>r</sub>.

Ejemplo:

Para una rosca ACME de 60° truncada de 12 hilos en acero inoxidable tipo 316 y un diámetro de 1.5 pulg se tiene:

**N = 12 hilos**

$$p = 0.0833 \text{ pulg}$$

$$\sigma = 30\,000 \text{ lb/pulg}^2$$

$$D_M = 1.5 \text{ pulg}$$

$$d_M = 1.4246 \text{ pulg}$$

$$T = 8\,000 \text{ Lb}_r$$

Sustituyendo los valores en la ecuación (31-12) se tiene:

$$L = \frac{4(0.0833)(8000)}{\pi(30000)(1.5000^2 - 1.4246^2)} = 0.128 \text{ pulg}$$



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

Nota: Debido a las condiciones de operación por parte del personal de PEMEX y por las condiciones de trabajo antes mencionadas a las que estará sometida la herramienta de fondo se eligió un factor de diseño grande.

Por lo tanto:

$$L = 0.128 \times 6 \text{ (factor de seguridad)}$$

$$L = 0.769 \approx 0.750 \text{ pulg}$$

Cálculos que se realizan para verificar que las roscas soporten la tensión de corte.

Como definición general para todo tipo de roscas se tiene:

La tensión de corte o de cizalladura es igual a la fuerza dividida por el área que se somete a tensión.

La ecuación para el cálculo del esfuerzo de corte es:

$$\tau = \frac{2T}{\pi(D_m)(L)} \dots\dots\dots(31-13)$$

Donde:

$\tau$  = Esfuerzo de corte (lb/pulg<sup>2</sup>)

$T$  = Fuerza de corte (Lb<sub>f</sub>)

$D_M$  = Diámetro mayor del macho (pulg)

$L$  = Longitud de la sección roscada (pulg)

A continuación se presenta el cálculo geométrico de las secciones roscadas para una gama de roscas que se utilizaron en este diseño:

1. Varilla igualadora – sello.



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

Datos propuestos:

$$D_M = 0.5625 \text{ pulg}$$

$$N = 18 \text{ hilos}$$

$$h = 0.0251 \text{ pulg}$$

$$H = 0.0011 \text{ pulg}$$

$$\sigma = 30\,000 \text{ lb/pulg}^2$$

$$T = 8\,000 \text{ lb}_f$$

Sustituyendo valores en las ecuaciones (31-3), (31-8), (31-9) y (31-10):

$$p = \frac{1}{N} = 1/18 = 0.055 \text{ pulg}$$

$$d_M = D_M - 2h = 0.5625 - 2(0.0251) = 0.512 \text{ pulg}$$

$$d_H = d_M + 2H = 0.512 + 2(0.0011) = 0.514 \text{ pulg}$$

$$D_H = d_H + 2h = 0.514 + 2(0.0251) = 0.563 \text{ pulg}$$

Sustituyendo valores en la ecuación (31-12) se tiene:

$$L = \frac{4(0.055)(8000)}{\pi(30000)(0.5625^2 - 0.512^2)} = 0.344 \text{ pulg}$$

$$L = 0.344 \times 6 \text{ (factor de seguridad)}$$

$$L = 2.064 \approx 2 \text{ pulg}$$

Cálculo de la tensión de corte, y sustituyendo valores en la ecuación (31-13) se tiene:

$$\tau = \frac{2T}{\pi(D_m)(L)} = \frac{2(8000)}{\pi(0.5625)(2)} = 4\,527.4 \text{ lb/pulg}^2$$





**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

2. Conexión al tapón.

Datos propuestos:

$$D_M = 1.5 \text{ pulg}$$

$$N = 12 \text{ hilos}$$

$$h = 0.0377 \text{ pulg}$$

$$H = 0.0016 \text{ pulg}$$

$$\sigma = 30\,000 \text{ lb/pulg}^2$$

$$T = 8\,000 \text{ lb}_f$$

Sustituyendo valores en las ecuaciones (31-3), (31-8), (31-9) y (31-10):

$$p = \frac{1}{N} = 1/12 = 0.083 \text{ pulg}$$

$$d_M = D_M - 2h = 1.500 - 2(0.0377) = 1.424 \text{ pulg}$$

$$d_H = d_M + 2H = 1.424 + 2(0.0016) = 1.427 \text{ pulg}$$

$$D_H = d_H + 2h = 1.427 + 2(0.0377) = 1.502 \text{ pulg}$$

Sustituyendo valores en la ecuación (31-12) se tiene:

$$L = \frac{4(0.083)(8000)}{\pi(30000)(1.5^2 - 1.424^2)} = 0.127 \text{ pulg}$$

$$L = 0.127 \times 6 \text{ (factor de seguridad)}$$

$$L = 0.763 \approx 0.75 \text{ pulg}$$

Cálculo de la tensión de corte, y sustituyendo valores en la ecuación (31-13) se tiene:



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

$$\tau = \frac{2T}{\pi(D_m)(L)} = \frac{2(8000)}{\pi(1.5)(0.75)} = 4\,527.4 \text{ lb/pulg}^2$$

3. Conexión a la válvula.

Datos propuestos:

$$D_M = 1.687 \text{ pulg}$$

$$N = 12 \text{ hilos}$$

$$h = 0.0377 \text{ pulg}$$

$$H = 0.0016 \text{ pulg}$$

$$\sigma = 30\,000 \text{ lb/pulg}^2$$

$$T = 8\,000 \text{ lb}_f$$

Sustituyendo valores en las ecuaciones (31-3), (31-8), (31-9) y (31-10):

$$p = \frac{1}{N} = 1/12 = 0.083 \text{ pulg}$$

$$d_M = D_M - 2h = 1.687 - 2(0.0377) = 1.612 \text{ pulg}$$

$$d_H = d_M + 2H = 1.612 + 2(0.0016) = 1.615 \text{ pulg}$$

$$D_H = d_H + 2h = 1.615 + 2(0.0377) = 1.690 \text{ pulg}$$

Sustituyendo valores en la ecuación (31-12) se tiene:

$$L = \frac{4(0.083)(8000)}{\pi(30000)(1.6875^2 - 1.612^2)} = 0.113 \text{ pulg}$$

$$L = 0.113 \times 6 \text{ (factor de seguridad)}$$

$$L = 0.681 \approx 0.687 \text{ pulg}$$



## PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

---

Cálculo de la tensión de corte, y sustituyendo valores en la ecuación (31-13) se tiene:

$$\tau = \frac{2T}{\pi(D_m)(L)} = \frac{2(8000)}{\pi(1.687)(0.687)} = 4\,394.3 \text{ lb/pulg}^2$$

### 4. Ajustador de calibración y cuerpo del amortiguador de impactos.

Datos propuestos:

$$D_M = 1.406 \text{ pulg}$$

$$N = 12 \text{ hilos}$$

$$h = 0.0377 \text{ pulg}$$

$$H = 0.0016 \text{ pulg}$$

$$\sigma = 30\,000 \text{ lb/pulg}^2$$

$$T = 8\,000 \text{ lb}_f$$

Sustituyendo valores en las ecuaciones (31-3), (31-8), (31-9) y (31-10):

$$p = \frac{1}{N} = 1/12 = 0.083 \text{ pulg}$$

$$d_M = D_M - 2h = 1.406 - 2(0.0377) = 1.330 \text{ pulg}$$

$$d_H = d_M + 2H = 1.330 + 2(0.0016) = 1.333 \text{ pulg}$$

$$D_H = d_H + 2h = 1.333 + 2(0.0377) = 1.408 \text{ pulg}$$

Sustituyendo valores en la ecuación (31-12) se tiene:

$$L = \frac{4(0.083)(8000)}{\pi(30000)(1.406^2 - 1.33^2)} = 0.136 \text{ pulg}$$



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

$$L = 0.136 \times 6 \text{ (factor de seguridad)}$$

$$L = 0.816 \approx 0.812 \text{ pulg}$$

Cálculo de la tensión de corte, y sustituyendo valores en la ecuación (31-13) se tiene:

$$\tau = \frac{2T}{\pi(D_m)(L)} = \frac{2(8000)}{\pi(1.406)(0.812)} = 4\,460.9 \text{ lb/pulg}^2$$

Datos propuestos:

$$D_M = 1.65 \text{ pulg}$$

$$N = 14 \text{ hilos}$$

$$h = 0.0323 \text{ pulg}$$

$$H = 0.0014 \text{ pulg}$$

$$\sigma = 30\,000 \text{ lb/pulg}^2$$

$$T = 8\,000 \text{ lb}_f$$

Sustituyendo valores en las ecuaciones (31-3), (31-8), (31-9) y (31-10):

$$p = \frac{1}{N} = 1/14 = 0.071 \text{ pulg}$$

$$d_M = D_M - 2h = 1.650 - 2(0.0323) = 1.585 \text{ pulg}$$

$$d_H = d_M + 2H = 1.585 + 2(0.0014) = 1.587 \text{ pulg}$$

$$D_H = d_H + 2h = 1.587 + 2(0.0323) = 1.652 \text{ pulg}$$

Sustituyendo valores en la ecuación (31-12) se tiene:



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

$$L = \frac{4(0.071)(8000)}{\pi(30000)(1.65^2 - 1.585^2)} = 0.114 \text{ pulg}$$

$$L = 0.114 \times 6 \text{ (factor de seguridad)}$$

$$L = 0.687 \approx 0.687 \text{ pulg}$$

Cálculo de la tensión de corte, y sustituyendo valores en la ecuación (31-13) se tiene:

$$\tau = \frac{2T}{\pi(D_m)(L)} = \frac{2(8000)}{\pi(1.65)(0.687)} = 4\,493.1 \text{ lb/pulg}^2$$

5. Vástago del amortiguador de impactos.

Datos propuestos:

$$D_M = 0.937 \text{ pulg}$$

$$N = 10 \text{ hilos}$$

$$h = 0.0453 \text{ pulg}$$

$$H = 0.002 \text{ pulg}$$

$$\sigma = 30\,000 \text{ lb/pulg}^2$$

$$T = 8\,000 \text{ lb}_f$$

Sustituyendo valores en las ecuaciones (31-3), (31-8), (31-9) y (31-10):

$$p = \frac{1}{N} = 1/10 = 0.1 \text{ pulg}$$

$$d_M = D_M - 2h = 0.937 - 2(0.0453) = 0.846 \text{ pulg}$$

$$d_H = d_M + 2H = 0.846 + 2(0.002) = 0.850 \text{ pulg}$$

$$D_H = d_H + 2h = 0.850 + 2(0.0453) = 0.940 \text{ pulg}$$



## PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

---

Sustituyendo valores en la ecuación (31-12) se tiene:

$$L = \frac{4(0.1)(8000)}{\pi(30000)(0.937^2 - 0.846^2)} = 0.209 \text{ pulg}$$

$$L = 0.209 \times 6 \text{ (factor de seguridad)}$$

$$L = 1.25 \approx 1.25 \text{ pulg}$$

Cálculo de la tensión de corte, y sustituyendo valores en la ecuación (31-13) se tiene:

$$\tau = \frac{2T}{\pi(D_m)(L)} = \frac{2(8000)}{\pi(0.937)(1.25)} = 4\,349.0 \text{ lb/pulg}^2$$

6. Conexión a la sonda y la camisa para protección de la sonda.

Datos propuestos:

$$D_M = 1.75 \text{ pulg}$$

$$N = 14 \text{ hilos}$$

$$h = 0.0323 \text{ pulg}$$

$$H = 0.001 \text{ pulg}$$

$$\sigma = 30\,000 \text{ lb/pulg}^2$$

$$T = 8\,000 \text{ lb}_f$$

Sustituyendo valores en las ecuaciones (31-3), (31-8), (31-9) y (31-10):

$$p = \frac{1}{N} = 1/14 = 0.071 \text{ pulg}$$



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

$$d_M = D_M - 2h = 1.750 - 2(0.0323) = 1.685 \text{ pulg}$$

$$d_H = d_M + 2H = 1.685 + 2(0.001) = 1.688 \text{ pulg}$$

$$D_H = d_H + 2h = 1.688 + 2(0.0323) = 1.752 \text{ pulg}$$

Sustituyendo valores en la ecuación (31-12) se tiene:

$$L = \frac{4(0.071)(8000)}{\pi(30000)(1.75^2 - 1.685^2)} = 0.107 \text{ pulg}$$

$$L = 0.107 \times 6 \text{ (factor de seguridad)}$$

$$L = 0.647 \approx 0.687 \text{ pulg}$$

Cálculo de la tensión de corte, y sustituyendo valores en la ecuación (31-13) se tiene:

$$\tau = \frac{2T}{\pi(D_M)(L)} = \frac{2(8000)}{\pi(1.75)(0.687)} = 4\,237.0 \text{ lb/pulg}^2$$

7. Cabeza de protección de la sonda.

Datos propuestos:

$$D_M = 1.75 \text{ pulg}$$

$$N = 12 \text{ hilos}$$

$$h = 0.037 \text{ pulg}$$

$$H = 0.001 \text{ pulg}$$

$$\sigma = 30\,000 \text{ lb/pulg}^2$$

$$T = 8\,000 \text{ lb}_f$$

Sustituyendo valores en las ecuaciones (31-3), (31-8), (31-9) y (31-10):



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

$$p = \frac{1}{N} = 1/12 = 0.083 \text{ pulg}$$

$$d_M = D_M - 2h = 1.750 - 2(0.037) = 1.674 \text{ pulg}$$

$$d_H = d_M + 2H = 1.674 + 2(0.0001) = 1.677 \text{ pulg}$$

$$D_H = d_H + 2h = 1.677 + 2(0.037) = 1.752 \text{ pulg}$$

Sustituyendo valores en la ecuación (31-12) se tiene:

$$L = \frac{4(0.083)(8000)}{\pi(30000)(1.75^2 - 1.674^2)} = 0.108 \text{ pulg}$$

$$L = 0.108 \times 6 \text{ (factor de seguridad)}$$

$$L = 0.652 \approx 0.687 \text{ pulg}$$

Cálculo de la tensión de corte, y sustituyendo valores en la ecuación (31-13) se tiene:

$$\tau = \frac{2T}{\pi(Dm)(L)} = \frac{2(8000)}{\pi(1.75)(0.687)} = 4\,237.0 \text{ lb/pulg}^2$$

En la tabla siguiente se muestra el resumen del cálculo geométrico de la sección roscada que se utilizaron en este diseño.





**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

Cálculo geométrico de la sección roscada	No. Hilos	Dm (pulg)	dm (pulg)	dH (pulg)	DH (pulg)	L (pulg)	$\tau$ (lb/pulg <sup>2</sup> )
Varilla igualadora - sello	18	0.562	0.512	0.514	0.563	2.000	4 527.4
Conexión al tapón mecánico	12	1.500	1.424	1.427	1.502	0.750	4 527.4
Conexión a la válvula	12	1.687	1.612	1.615	1.690	0.687	4 394.3
Ajustador de calibración y Cuerpo del amortiguador de impactos	12	1.406	1.33	1.333	1.408	0.812	4 460.9
Cuerpo del amortiguador de impactos	14	1.650	1.585	1.587	1.652	0.687	4 493.1
Vástago del amortiguador de impactos	10	0.937	0.846	0.850	0.940	1.250	4 349.0
Conexión a la sonda y camisa para protección	14	1.750	1.685	1.688	1.752	0.687	4 237.0
Cabeza de protección a la sonda	12	1.750	1.674	1.677	1.752	0.687	4 237.0

**Tabla 31-2 Cálculo de roscas por resistencia**

Debido a que en una parte de la herramienta de fondo se ajustará una sonda de memoria estándar de PEMEX, esta unión es diseñada de acuerdo a la tabla siguiente.

Conexión a la sonda.

Rosca isométrica de diámetro de 0.75 pulg, 16 hilos – UNF – 2B



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

Dimensiones básicas para la serie de rocas fina (UNF/UNRF)							
Tamaño Nominal	Diámetro mayor básico D, pulg	Filetes/pulg, n	Diámetro básico de paso E, pulg	Diámetro menor exterior de diseño UNR (Ref.), Ks, pulg	Diámetro menor interior básico, K, pulg	Sección en el diámetro menor, en $D - 2hb$ , pulg <sup>2</sup>	Área del esfuerzo a la tracción, pulg <sup>2</sup>
0(0.060)	0.0600	80	0.0519	0.0451	0.0465	0.0015	0.0018
1(0.073)	0.0730	72	0.0640	0.0565	0.0580	0.0024	0.0028
2(0.086)	0.0860	64	0.0759	0.0674	0.0691	0.0034	0.0039
3(0.099)	0.0990	56	0.0874	0.0778	0.0797	0.0045	0.0052
4(0.112)	0.1120	48	0.0985	0.0871	0.0894	0.0057	0.0066
5(0.125)	0.1250	44	0.1102	0.0979	0.1004	0.0072	0.0083
6(0.128)	0.1380	40	0.1218	0.1082	0.1109	0.0087	0.0102
8(0.164)	0.1640	36	0.1460	0.1309	0.1339	0.0129	0.0147
10(0.190)	0.1900	32	0.1697	0.1528	0.1562	0.0175	0.0200
12(0.216)	0.2160	28	0.1928	0.1734	0.1773	0.0226	0.0258
1/4	0.2500	28	0.2268	0.2074	0.2113	0.0326	0.0364
5/16	0.3125	24	0.2854	0.2629	0.2674	0.0524	0.0580
3/8	0.3750	24	0.3479	0.3254	0.3299	0.0809	0.0878
7/16	0.4375	20	0.4050	0.3780	0.3834	0.1090	0.1187
1/2	0.5000	20	0.4675	0.4405	0.4459	0.1486	0.1599
9/16	0.5625	18	0.5264	0.4964	0.5024	0.1890	0.2030
5/8	0.6250	18	0.5889	0.5589	0.5649	0.2400	0.2560
3/4	0.7500	16	0.7094	0.6763	0.6823	0.3510	0.3730
7/8	0.4375	20	0.4050	0.3780	0.3834	0.1090	0.1187
1	1.0000	12	0.9459	0.9001	0.9098	0.6250	0.6630
1 1/8	1.1250	12	1.0709	1.0258	1.0348	0.8120	0.8560
1 1/4	1.2500	12	1.1959	1.1508	1.1598	1.0240	1.0730
1 3/8	1.3750	12	1.3209	1.2758	1.2848	1.2600	1.3150
1 1/2	1.2000	12	1.4459	1.4008	1.4098	1.5210	1.5810

**\*Tabla 31-3 Dimensiones básicas para la serie de rosca fina (UNF / UNRF)**



## PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

---

### H. ARO – SELLOS

Los aro-sellos comúnmente conocidos por "ligas" y como su nombre lo indica son componentes mecánicos que nos permiten garantizar la hermeticidad entre dos piezas ensambladas. Su uso genérico está orientado a evitar escurrimientos o penetración de fluidos entre piezas o ensambles mecánicos.

Como reiteradamente se ha comentado, las extremas condiciones de operación existentes en un pozo petrolero dificultan en gran medida las tareas de diseño de los ingenieros, en el caso de los aro-sellos, su selección e implementación son de vital importancia para el correcto funcionamiento de los sistemas y herramientas que están sometidos a presiones altas, por ejemplo presiones que llegan a los valores de 15 Kpsi.

Aunque los hay de forma cuadrada, los más comúnmente utilizados son de sección circular lo que da origen a su nombre "aro-sello" o "O-ring". Dependiendo su aplicación se fabrican en diferentes materiales y con diferentes durezas, en México se pueden adquirir en material neopreno, nitrilo y vitón con dureza de 70 y 90.

Por su aplicación, los aro-sellos se dividen en estáticos y dinámicos. Los aro-sellos estáticos son utilizados en situaciones donde las piezas ensambladas no tienen movimiento relativo entre ellas, por el contrario los dinámicos se usan donde sí existen movimiento relativo, normalmente este movimiento es rotacional. Cabe señalar que para una aplicación estática o dinámica, el aro-sello puede ser el mismo, lo único que cambia son las dimensiones del alojamiento que los alberga.



## **PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

Para la selección de aro-sellos se apoyo en el catálogo del fabricante Parker Seal de México. S.A. debido a que se han obtenidos excelentes resultados en diseños anteriores en el IMP y la industria petrolera no es la excepción.

1. Para la selección del aro-sello de la varilla igualadora – sello se tiene:

$$\emptyset \text{ EXTERIOR DE LA PIEZA} = 0.920 \text{ pulg}$$

$$\emptyset \text{ DE LA SUPERFICIE DE SELLO} = 0.700 \text{ pulg}$$

Para el área de sello, y partiendo del diámetro 0.700 pulg, se selecciona de la tabla de aro – sellos del anexo B, el aro-sello número 2-209 ya que se tiene el diámetro interior, inmediato inferior, al diámetro de la superficie de sello con las siguientes características:

$$W = 0.125 \text{ pulg}$$

$$\emptyset \text{ EXT.} = 0.937 \text{ pulg}$$

$$\emptyset \text{ INT.} = 0.687 \text{ pulg}$$

2. Para la selección del aro-sello de la conexión al tapón se tiene:

$$\emptyset \text{ EXTERIOR DE LA ROSCA} = 1.500 \text{ pulg}$$

$$\emptyset \text{ DE LA SUPERFICIE DE SELLO} = 1.280 \text{ pulg}$$

Para el área de sello, y partiendo del diámetro 1.280 pulg, se selecciona de la tabla de aro – sellos del anexo B, el aro-sello numero 2-218 ya que se tiene el



## PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

---

diámetro interior, inmediato inferior, al diámetro de la superficie de sello con las siguientes características:

$$W = 0.125 \text{ pulg}$$

$$\emptyset_{\text{EXT.}} = 1.500 \text{ pulg}$$

$$\emptyset_{\text{INT.}} = 1.250 \text{ pulg}$$

ESTA TESIS NO SALIÓ  
DE LA BIBLIOTECA

3. Para la selección del aro-sello de la conexión a la válvula se tiene:

$$\emptyset_{\text{EXTERIOR DE LA ROSCA}} = 1.687 \text{ pulg}$$

$$\emptyset_{\text{DE LA SUPERFICIE DE SELLO}} = 1.467 \text{ pulg}$$

Para el área de sello, y partiendo del diámetro 1.467 pulg, se selecciona de la tabla de aro – sellos del anexo B, el aro-sello número 2-221 ya que se tiene el diámetro interior, inmediato inferior, al diámetro de la superficie de sello con las siguientes características:

$$W = 0.125 \text{ pulg}$$

$$\emptyset_{\text{EXT.}} = 1.687 \text{ pulg}$$

$$\emptyset_{\text{INT.}} = 1.437 \text{ pulg}$$

El montaje normal o recomendado para un aro-sello, es aquel donde su alojamiento lo tendrá el elemento denominado macho.



## PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

### I. CÁLCULO DE RESORTES

Los resortes mecánicos se utilizan en las máquinas con el objeto de ejercer fuerzas, proporcionar flexibilidad y almacenar o adsorber energía.

Para el caso del resorte de la válvula antirretorno (check), su función es de regresar a la esfera a la posición original de sello cuando se manifieste un decremento de presión.

Y para los resortes del amortiguador de impactos su función es la de absorber los impactos que recibe la herramienta de fondo cuando se esta anclando y desanclando la herramienta y evitar que se dañen las sondas de memoria.

#### 1. Resortes helicoidales

La figura II-4 muestra un resorte helicoidal de compresión hecho de alambre redondo, que soporta una carga axial  $F$ . Se designara con  $D$  el *diámetro medio del resorte* y con  $d$  el *diámetro del alambre*. Si el resorte se considera seccionado en algún punto (figura II-5), se separa una porción y se sustituye por el efecto de las fuerzas internas sobre la porción restante, como se indica en la figura II-5, la parte seccionada ejercería una fuerza cortante directa  $F$  y un momento de torsión  $T$  en la parte restante del resorte.

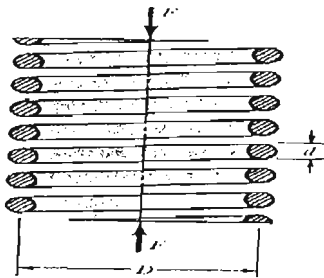


FIGURA 31-18 RESORTE HELICOIDAL

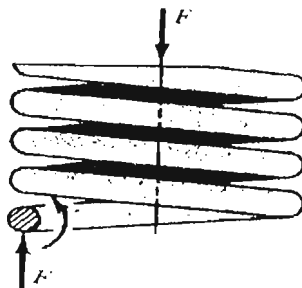


FIGURA. 31-19 RESORTE HELICOIDAL



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

El esfuerzo máximo en el alambre puede calcularse mediante la ecuación siguiente.

$$\tau_{m\acute{a}x} = \pm \frac{Tr}{J} + \frac{F}{A} \dots\dots\dots(31-14)$$

Donde:  $Tr/J$  es la fórmula de la torsión y  $F/A$  es el esfuerzo cortante.

$$T = FD/2$$

$$r = d/2$$

$$J = \pi d^4/32$$

$$A = \pi d^2/4$$

Sustituyendo valores

$$\tau = \frac{8FD}{\pi d^3} + \frac{4F}{\pi d^2} \dots\dots\dots(31-15)$$

El *índice del resorte* se define como una medida de la curvatura de las vueltas

$$C = \frac{D}{d} \dots\dots\dots(31-16)$$

Con esta relación la ecuación del esfuerzo máximo puede ordenarse como sigue:

$$\tau = K_s \frac{8FD}{\pi d^3} \dots\dots\dots(31-17)$$

Donde **Ks** es un *factor de corrección de esfuerzo cortante*, que se define por la siguiente ecuación

$$K_s = \frac{2C + 1}{2C} \dots\dots\dots(31-18)$$



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

**Deformación de resortes helicoidales.**

La deformación del resorte es:

$$y = \frac{8FD^3Na}{d^4G} \dots\dots\dots(31-19)$$

Donde **Na** = número de espiras activas

La constante o *módulo de rigidez* del resorte es **k = F/ y**, por lo tanto

$$k = \frac{d^4G}{8D^3Na} \dots\dots\dots(31-20)$$

La tabla 31-4 muestra el tipo y forma del extremo afecta el número de espiras y la longitud del resorte.

TERMINO	TIPOS DE EXTREMOS DE RESORTES			
	SIMPLE	SIMPLE Y APLANADO	A ESCUADRA	A ESCUADRA Y APLANADO
Espiras de extremo Ne	0	1	2	2
Espiras totales Nt	Na	Na + 1	Na + 2	Na + 2
Longitud libre Lo	pNa + d	p(Na + 1)	pNa + 3d	pNa + 2d
Longitud cerrada Ls	d(Nt + 1)	dNt	d(Nt + 1)	dNt
Paso p	(Lo - d)/Na	Lo/(Na + 1)	(Lo - 3d)/Na	(Lo - 2d)/Na

Tabla 31-4 Fórmulas para calcular las dimensiones de resortes de compresión. (Na = número de espiras activas). Tomada del Manual del Ingeniero Mecánico

Otros datos de la geometría son:

Longitud cerrada del resorte

$$Lc = Nt \times d \dots\dots\dots(31-21)$$





**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

Deflexión inicial

$$y_i = F/k \dots \dots \dots (31-22)$$

Deflexión adicional

$$y_a = 0.15 \times y \dots \dots \dots (31-23)$$

Longitud libre

$$L_f = L_c + y_i + y_a + y \dots \dots \dots (31-24)$$

**2. Resistencia a la tensión de los resortes**

Los materiales para resortes pueden compararse analizando sus resistencias a la tensión, que varían mucho según el tamaño del alambre.

$$S_{ut} = \frac{A}{d^m} \dots \dots \dots (31-25)$$

Donde **A** y **m** son valores constantes para calcular resistencias de tensión mínimas de los aceros comunes para resistencias expresadas en las unidades kpsi. (Ver tabla 31-5).

MATERIAL	SIMPLE Núm.	EXPONENTE m	INTERCEPCIÓN	
			A, Kpsi	A, Mpa
Alambre para cuerda musical	A228	0.163	186	2060
Alambre revenido en aceite	A229	0.193	146	1610
Alambre estirado duro	A227	0.201	137	1510
Al cromo - vanadio	A232	0.155	173	1790
Al cromo - silicio	A401	0.091	218	1960

**Tabla 31-5 Constantes para calcular resistencias de tensión mínimas de los aceros comunes para resortes. Tomada del Manual del Ingeniero Mecánico**



## PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

---

Para la resistencia de fluencia a la torsión se utiliza el *esfuerzo torsional máximo permisible* en el caso de aplicaciones estáticas.

Esta es la mejor y más confiable información disponible y, en el caso de los resortes, puede utilizarse en vez de los valores de  $S_{ys}$ . Los valores son:

$$S_{ys} = \tau_{adm} = \begin{cases} 0.78 S_{ut} & \text{Aceros al carbono estirados en frío} \\ 0.87 S_{ut} & \text{Aceros al carbono templado, revenido y acero baja aleación} \\ 0.61 S_{ut} & \text{Acero inoxidable y aleaciones no ferrosas} \end{cases}$$

Para la fabricación de los resortes que se utilizaran para este diseño es necesario conocer los siguientes datos:

- Diámetro exterior del resorte
- Diámetro del alambre
- Longitud del resorte
- Número de espiras totales
- Tipo de resorte
- Material del resorte

Los parámetros establecidos, las condiciones de diseño y la geometría donde se albergará el resorte para la válvula check, es de acuerdo, al cuerpo de la válvula y al vástago del resorte:

- Diámetro exterior máximo = 1.250 pulg
- Diámetro interior mínimo = 0.665 pulg
- Deflexión de operación = 2.0 pulg



## PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

---

- Sus extremos deben ser escuadrados y aplanado
- Material resistente a ambientes corrosivos
- Presiones de operación en el fondo del pozo = 3 000 lb/pulg<sup>2</sup>

Debido a que la operación de trabajo en campo de estos resortes estará expuesto a ambientes corrosivos, se propone utilizar el acero inoxidable tipo 304 para su fabricación.

### 3. Cálculo de los resortes

Se proponen los siguientes datos para el cálculo del resorte de la válvula:

$$D = 0.9 \text{ pulg}$$

$$d = 0.225 \text{ pulg}$$

$$y = 0.3 \text{ pulg}$$

$$\varnothing_{\text{orificio de la válvula}} = 0.5 \text{ pulg}$$

$$P_1 \text{ presión de operación en la válvula (en pozo lleno)} = 2000 \text{ psi}$$

$$P_2 \text{ presión de inyección en la válvula (en pozo lleno)} = 2500 \text{ psi}$$

Material acero inoxidable 304

$$\text{Módulo de rigidez } G = 10.6 \times 10^6 \text{ psi}$$

$$\text{Variables de resistencia a la tensión } A = 173 \text{ kpsi}$$

$$\text{Variables de resistencia a la tensión } m = 0.155$$

$$\text{Tipo de extremo del resorte } Nd = 2$$

$$\text{Factor de diseño F.S.} = 1 - 1.5$$

Sustituyendo valores:

$$A = \pi r^2 = \pi (0.5/2)^2 = 0.196 \text{ pulg}^2 \text{ Área del orificio de la válvula}$$



## PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

---

$$F_1 = P_1 \times A = (2000 \text{ psi}) (0.196 \text{ pulg}^2) = 392.7 \text{ lb}_f$$

$$F_2 = P_2 \times A = (2500 \text{ psi}) (0.196 \text{ pulg}^2) = 490.0 \text{ lb}_f$$

$$C = 0.9/0.225 = 4 \text{ Índice del resorte}$$

$$K_s = 2(4)+1/2(4) = 1.125 \text{ Factor de corrección}$$

$$\tau_{\max} = K_s \frac{8FD}{\pi d^3} = 1.125(8)(490)(0.9)/\pi(0.225)^3 = 3969/0.0357$$

$$\tau_{\max} = 111.176 \text{ kpsi}$$

$$S_{ul} = \frac{A}{d^m} = 173 \times 10^3 / 0.225^{0.155} = 218 \text{ kpsi}$$

$$S_{ys} = 0.61 S_{ul} = 0.61(218) = 130.8 \text{ kpsi}$$

$$F.S. = 130.8/111.176 = 1.176 \text{ Factor de diseño}$$

$$k = F/y = (490 - 392.7)/0.3 = 324.33 \text{ lb/pulg}$$

$$N_a = 0.225^4 (10.6 \times 10^6) / 8(324.33)(0.9^3) = 27166.64/1891.49$$

$$N_a = 14.36 \approx 14 \text{ Espiras activas}$$

$$N_t = 14+2 = 16 \text{ Espiras totales}$$

$$L_c = N_t \times d = 16(0.225) = 3.7 \text{ pulg Longitud cerrada}$$

$$y_i = F_1/k = 392.7/324.33 = 1.25 \text{ pulg Deflexión inicial}$$

$$y_a = 0.15(0.3) = 0.05 \text{ pulg Deflexión adicional}$$

$$L_f = L_c + y_i + y_a + y = 3.7+1.25+0.05 +0.3 = 5.3 \approx 5.5 \text{ pulg Longitud libre}$$

$$D_o = D + d = 0.9 + 0.225 = 1.125 \text{ pulg}$$

$$D_i = D - d = 0.9 - 0.225 = 0.675 \text{ pulg}$$

Se proponen los siguientes datos para el resorte del amortiguador de impactos:

$$F_1 = 70 \text{ lb}$$

$$D = 1.2 \text{ pulg}$$

$$d = 0.15 \text{ pulg}$$



## PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

---

$$y = 2.25 \text{ pulg}$$

Material acero inoxidable 304

$$\text{Módulo de rigidez } G = 10.6 \times 10^6 \text{ psi}$$

$$\text{Variables de resistencia a la tensión } A = 173 \text{ kpsi}$$

$$\text{Variables de resistencia a la tensión } m = 0.155$$

$$\text{Tipo de extremo del resorte } Nd = 2$$

$$\text{Factor de diseño F.S.} = 1 - 2$$

Sustituyendo valores:

$$C = 1.2/0.15 = 8 \text{ Índice del resorte}$$

$$K_s = 2(8)+1/2(8) = 1.0625 \text{ Factor de corrección}$$

$$\tau_{\max} = K_s \frac{8FD}{\pi d^3} = 1.0625(8)(80)(1.2)/\pi(0.15)^3 = 816/0.0106$$

$$\tau_{\max} = 76.981 \text{ kpsi}$$

$$S_{ut} = \frac{A}{d^m} = 173 \times 10^3 / 0.15^{0.155} = 232.141 \text{ kpsi}$$

$$S_{ys} = 0.61 S_{ut} = 0.61(232.141) = 139.448 \text{ kpsi}$$

$$\text{F.S.} = 139.448/76.981 = 1.8 \text{ Factor de diseño}$$

$$k = F/y = 70/2.25 = 31.11 \text{ lb/pulg}$$

$$N_a = 0.15^4 (10.6 \times 10^6) / 8(31.11)(1.2^3) = 5366.25/430.06$$

$$N_a = 12.47 \approx 12 \text{ Espiras activas}$$

$$N_t = 12+2 = 14 \text{ Espiras totales}$$

$$L_c = N_t \times d = 14(0.15) = 2.1 \text{ pulg Longitud cerrada}$$

$$y_i = F_1/k = 10/31.11 = 0.321 \text{ pulg Deflexión inicial}$$

$$y_a = 0.15 \times y = 0.15(2.25) = 0.337 \text{ pulg Deflexión adicional}$$

$$L_f = L_c + y_i + y_a + y = 2.1+0.321+0.337+ 2.25 = 5.3 \approx 5 \text{ pulg Longitud libre}$$



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

$$D_o = D + d = 1.2 + 0.15 = 1.35 \text{ pulg}$$

$$D_i = D - d = 1.2 - 0.15 = 1.05 \text{ pulg}$$

En la tabla siguiente contamos con la información necesaria para la fabricación de los resortes que se usaron para este diseño.

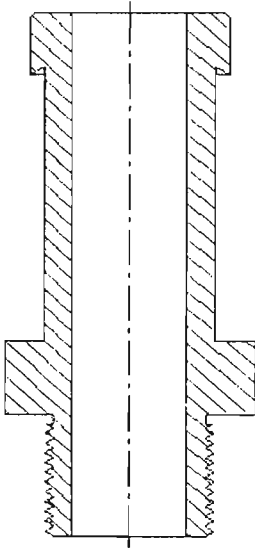
<b>GEOMETRÍA DEL RESORTE DE LA VÁLVULA</b>					
Diámetro de resorte $D$ (pulg)	Diámetro del alambre $d$ (pulg)	Longitud del resorte $L_f$ (pulg)	Numero de espiras totales $N_t$	Tipo de resorte	Material
0.90	0.225	5.50	16	Escuadrado y aplanado	Acero inoxidable 304
<b>GEOMETRÍA DEL RESORTE DEL AMORTIGUADOR DE IMPACTOS</b>					
1.20	0.15	5.00	14	Escuadrado y aplanado	Acero inoxidable 304

**Tabla 31-6 Valores para la fabricación de los resortes**



## COMPONENTES

### Elemento con cuello de pesca tipo: JDC



#### Descripción

Elemento con cuello de pesca para pescante tipo: JDC

Este elemento permite colocar el soldador y pescante para el anclaje y desanclaje de la herramienta de fondo

Esta fabricado en acero 4140 T con tratamiento térmico y anticorrosivo.

Tiene un diámetro exterior de 2.200 pulg, diámetro interior de 1.000 pulg y una longitud de 5.325 pulg.

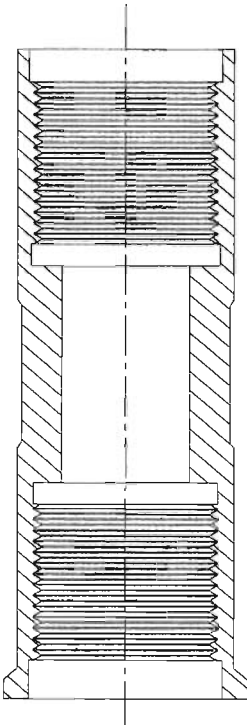


FIGURA 32 - 1



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

## Conexión al elemento de pesca



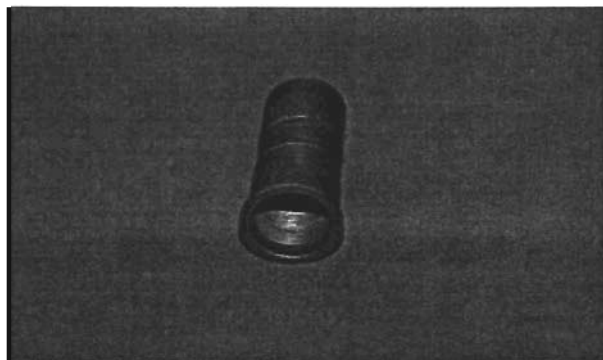
### Descripción

Conexión al elemento de pesca.

Este elemento permite unir al elemento de pesca con el empacador recuperable de 2 7/8 pulg.

Esta fabricado en acero 4140 T con tratamiento térmico y anticorrosivo.

Tiene un diámetro exterior de 2.000 pulg, diámetro interior de 1.000 pulg y una longitud de 6.000 pulg.



**FIGURA 32 – 2**





**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

## Camisa interna del empacador



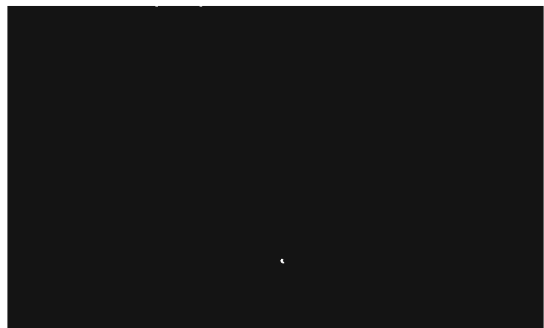
### Descripción

Camisa interna del empacador.

Permite la unión al elemento de pesca, tiene un diámetro interior de 1.000 pulg, para admitir el flujo de fluidos a la válvula check.

Esta fabricado en acero 4140 T con tratamiento térmico y anticorrosivo.

Tiene un diámetro exterior de 1.475 pulg, diámetro interior de 1.000 pulg y una longitud total de 29.125 pulg.

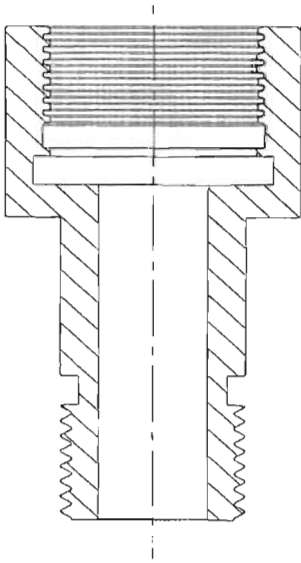


**FIGURA 32 - 3**



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

## Conexión camisa interna-vástago de sello.



### Descripción

Conexión camisa interna del empacador.

Este elemento comunica la camisa interior del empacador con el vástago de sello.

Fabrica en acero 4140 T con tratamiento térmico y anticorrosivo.

Cuenta con un diámetro exterior de 1.760 pulg, diámetro interior de 0.645 pulg y una longitud total de 3.260 pulg.

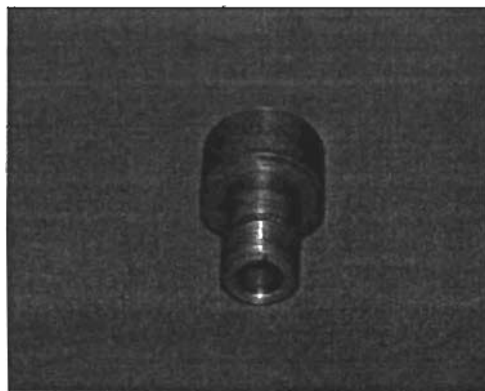
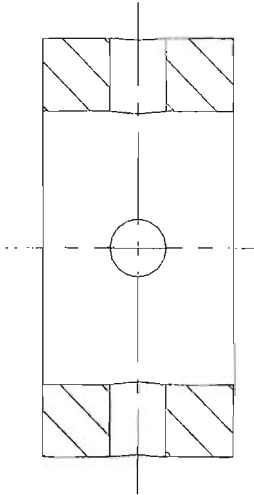


FIGURA 32 - 4



## Anillo interior porta pernos.



### Descripción

Anillo porta pernos.

En el se alojan los pernos que permiten el desanclaje de la hta. Permite su sustitución despues de cada operación

Está hecho de acero 4140 T con tratamiento térmico anticorrosivo

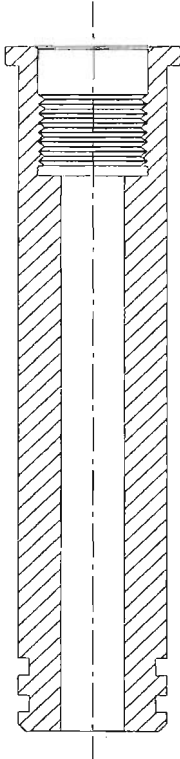
Tiene diametro exterior de 1.700 pul, diametro interior de 1.110 pulg y una longitud de 0.800 pulg.



FIGURA 32 - 5



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**



**Vástago de sello interno.**

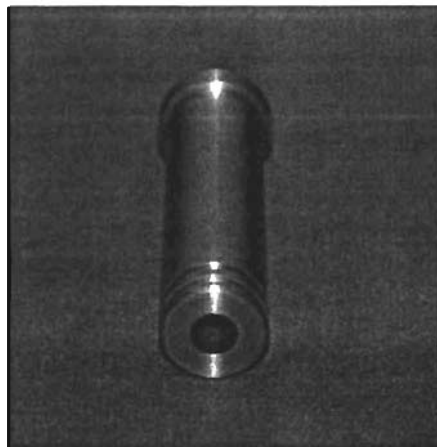
**Descripción**

Vástago de sello interno.

Permite conducir los fluidos por el interior del empacador, hacia la válvula check.

Esta fabricado en acero 4140 T con tratamiento térmico y anticorrosivo.

Tiene un diámetro exterior de 1.765 pulg, diámetro interior de 0.635 pulg y una longitud de 7.250 pulg.

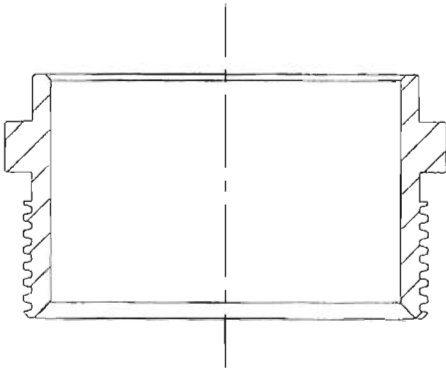


**FIGURA 32 -6**



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

## Tapón de retención de la camisa superior.



### Descripción

Tapón de retención de la camisa superior.

Tiene la función de mantener el resorte amortiguador dentro de la camisa porta mordazas superior.

Fabricado en acero 4140 T con tratamiento térmico y anticorrosivo.

Tiene un diámetro exterior de 2.250 pulg, diámetro interior de 1.780 pulg con una longitud total de 1.250 pulg.

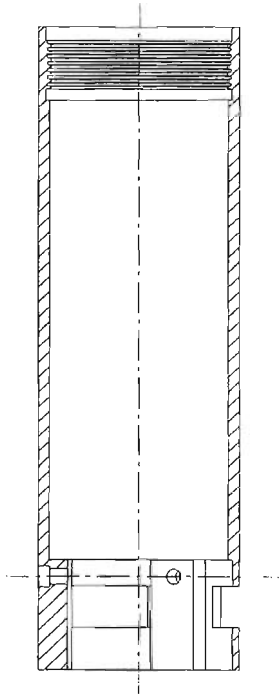


FIGURA 32 - 7



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

### Camisa superior.



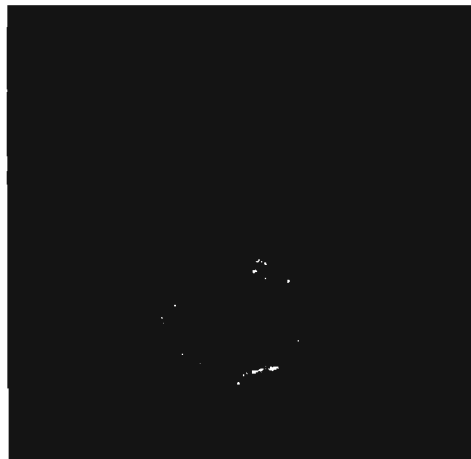
#### Descripción

Camisa superior.

Su función es alojar las mordazas de anclaje superiores, y el resorte de amortiguación.

Se fabrica en acero 4140 T con tratamiento térmico y anticorrosivo.

Tiene un diámetro exterior de 2.250 pulg, diámetro interior de 2.000 pulg y una longitud de 7.600 pulg.

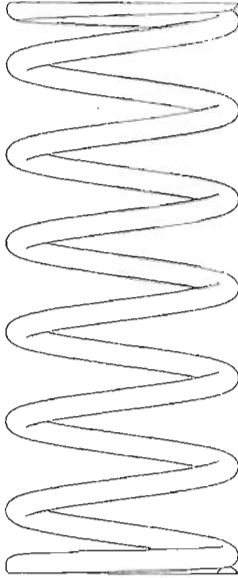


**FIGURA 32 - 8**



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

## Resorte de amortiguación.



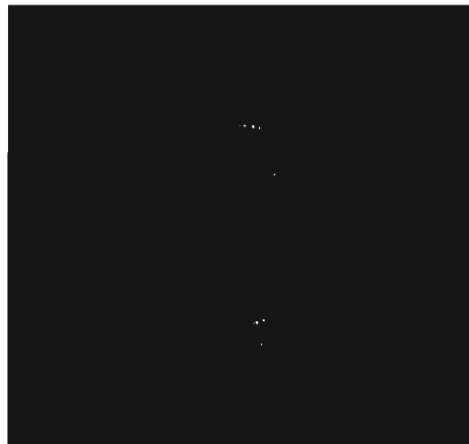
### Descripción

Resorte de amortiguación.

Permite posicionar el sistema de anclaje en su sitio de funcionamiento una vez rotos los pernos de la camisa superior.

Esta fabricado en acero inoxidable tipo 316.

Tiene un diámetro exterior de 1.940 pulg, diámetro interior de 1.570 pulg y una longitud de 5.000 pulg.

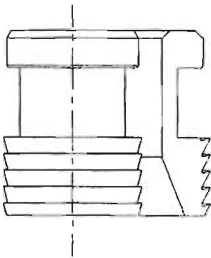
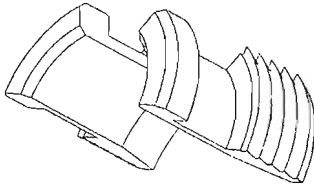


**FIGURA 32 - 9**



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

## Mordazas superiores.



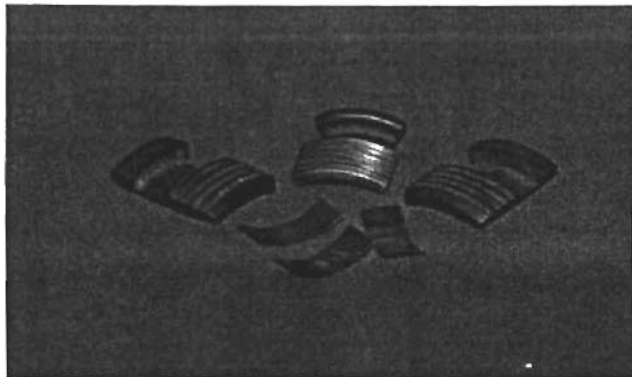
### Descripción.

Mordazas superiores.

Permiten el anclaje del empacador sobre la TP.

Están fabricadas en acero D-3 para mordazas, tratado térmicamente para resistir el desgaste y corrosión.

Tienen una longitud de 1.680 pulg y un espesor de 0.410 pulg.



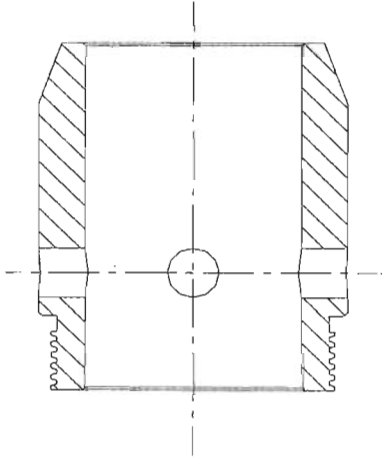
**FIGURA 32 - 10**





**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

## Cono superior.



### Descripción

Cono superior.

Sirve como rampa de deslizamiento de las cuñas superiores durante la operación de anclaje, permitiendo así que éstas logren fijarse sobre la TP.

Se fabrica en acero 4140 tratado térmicamente para resistir la corrosión, desgaste y fricción.

Tiene un diámetro exterior de 2.250 pulg, diámetro interior de 1.570 pulg, y una longitud de 2.645 pulg.

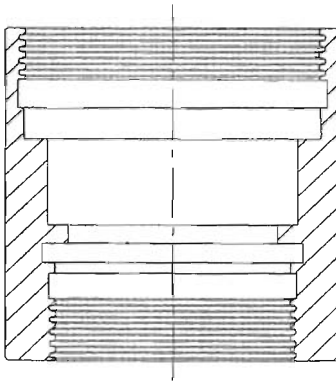


**FIGURA 32 - 11**



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

## Cople superior.



### Descripción

Cople superior.

Su función es interconectar el cono superior así como la camisa interior secundaria.

Está fabricado de acero 4140 tratado térmicamente.

Cuenta con un diámetro exterior de 2.250 pulg, diámetro interior de 1.400 pulg y una longitud de 2.380 pulg.

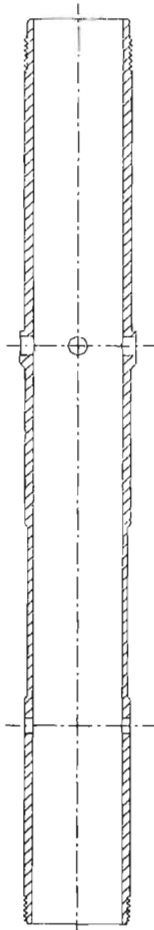


**FIGURA 32 - 12**



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

**Camisa interior secundaria.**



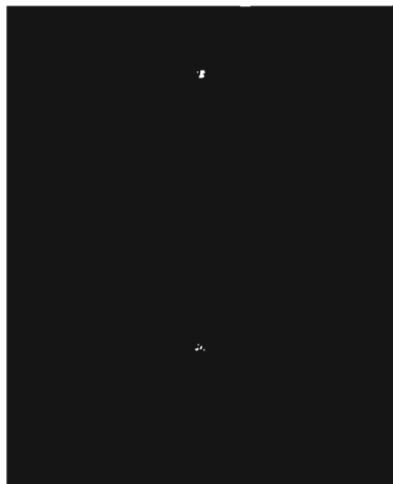
**Descripción**

Camisa interior secundaria.

Permite que todo el sistema de anclaje y sello pueda moverse de manera independiente con respecto a la camisa interior, durante la operación de anclaje y desanclaje.

Está fabricada en acero 4140 tratado para mejorar sus propiedades de resistencia a la corrosión.

Tiene un diámetro exterior de 1.785 pulg, diámetro interior de 1.375 pulg y una longitud de 14.815 pulg.

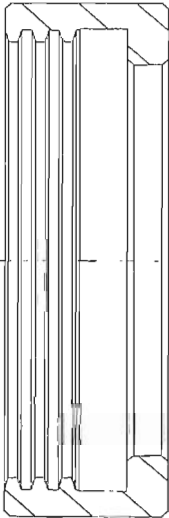


**FIGURA 32 - 13**



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

## Anillo de retención



### Descripción

Anillo de retención.

Limita la carrera de la camisa interior, sirviendo éste como tope.

Se fabrica en acero 4140 tratado térmicamente resistente al desgaste y la corrosión.

Tiene un diámetro exterior de 1.815 pulg, diámetro interior de 1.380 pulg y una longitud de 0.500 pulg.

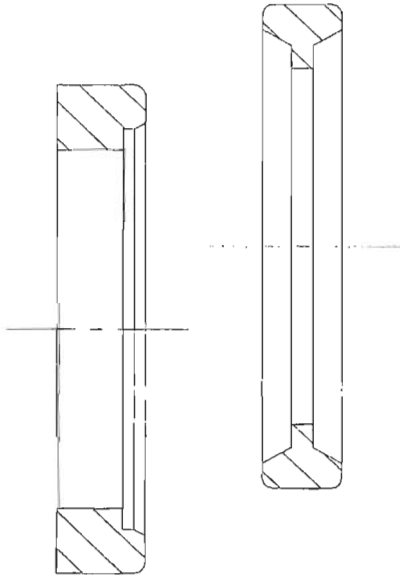


**FIGURA 32 - 14**



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

### Anillos de Separación de los sellos



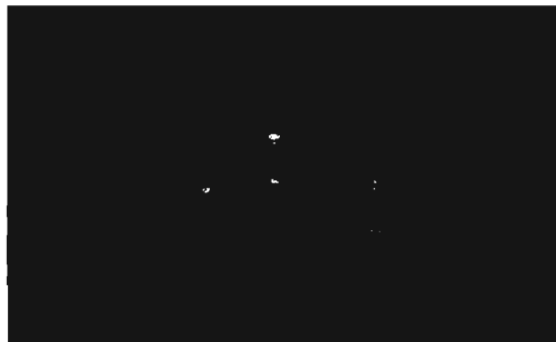
#### Descripción

Anillos de separación de los sellos.

Como su nombre lo indica separan cada uno de los sellos principales entre si para lograr que estos se deformen libremente durante la operación de sellos.

Se fabrica en acero 4140 tratado térmicamente.

Tiene un diámetro exterior de 2.290 pulg, diámetro interior de 1.685 pulg y una longitud de 0.350 pulg.

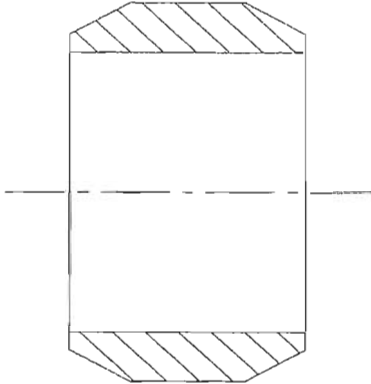


**FIGURA 32 - 15**



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

## Sellos del empacador



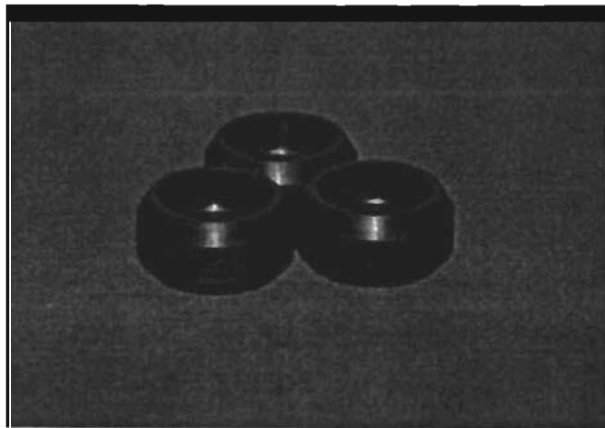
### Descripción

Sellos del empacador.

Tienen la función de realizar la hermeticidad del empacador con la TP, consta de 3 piezas.

Se fabrica en vitón 80 y 70.

Tiene un diámetro exterior de 2.260 pulg, diámetro interior de 1.670 pulg y una longitud total de 1.265 pulg.

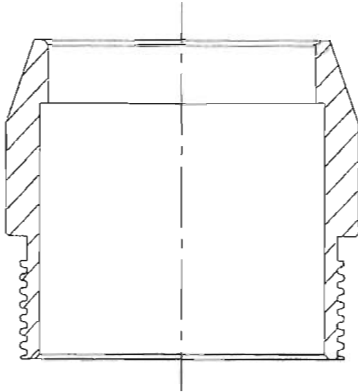


**FIGURA 32 - 16**



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

### Cono Inferior



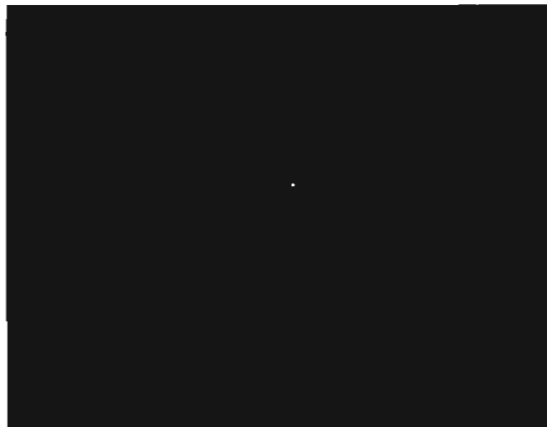
#### Descripción

Cono Inferior.

Permite el deslizamiento de las mordazas interiores a través de este para lograr que las mordazas se anclen en la TP.

Esta fabricado de acero 4140 tratado, resistente a la corrosión.

Tiene un diámetro exterior de 2.250 pulg, diámetro interior de 1.700 pulg y una longitud de 1.940 pulg.

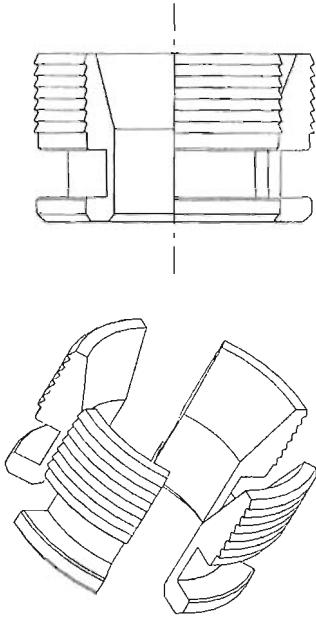


**FIGURA 32 - 17**



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

## Mordazas Inferiores



### Descripción

Mordazas Inferiores.

Permite el anclaje en la parte inferior de la herramienta sobre la TP.

Esta fabricado de acero D-3 para mordazas, tratado térmicamente para resistir el desgaste y la corrosión.

Tiene una longitud de 1.470 pulg y un espesor de 0.390 pulg.



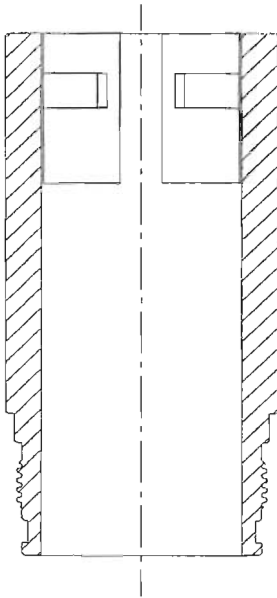
**FIGURA 32 - 18**





**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

### Camisa porta Mordazas Inferior.



#### Descripción

Camisa porta Mordazas Inferior.

Tiene la función de alojar las mordazas inferiores además de conectarse a la camisa ranurada.

Esta fabricado de acero 4140, tratado térmicamente.

Tiene un diámetro exterior de 2.250 pulg, diámetro interior de 1.650 pulg y una longitud de 4.550 pulg.

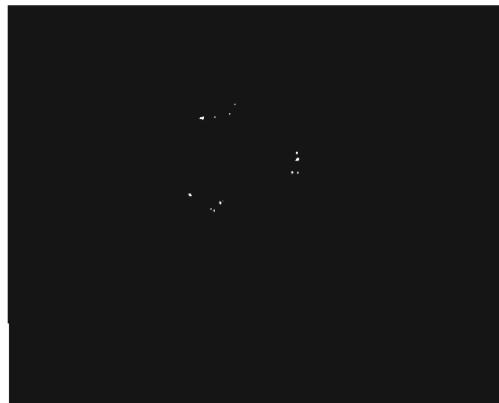
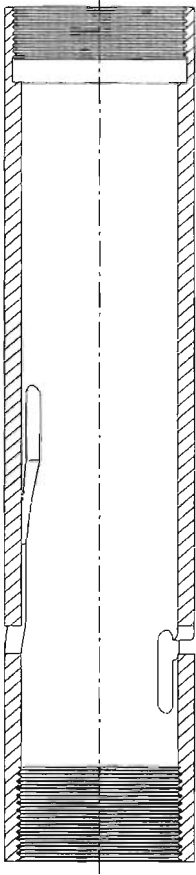


FIGURA 32 - 19



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**



**Camisa Ranurada.**

**Descripción**

Camisa ranurada.

Permite el recorrido de los pernos de sujeción para el anclaje, hermeticidad y desanclaje del empacador.

Esta fabricado de acero 4140, tratado térmicamente.

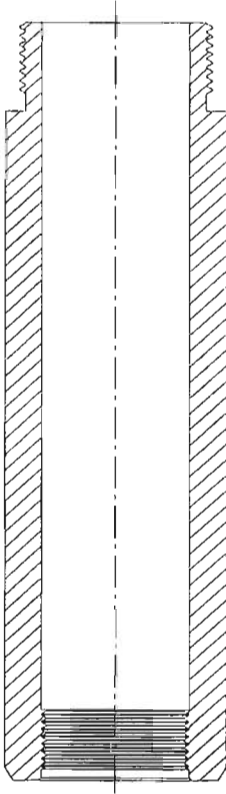
Tiene un diámetro exterior de 2.250 pulg, diámetro interior de 1.850 pulg y una longitud de 11.800 pulg.



**FIGURA 32 - 20**



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**



**Camisa Final del Empacador.**

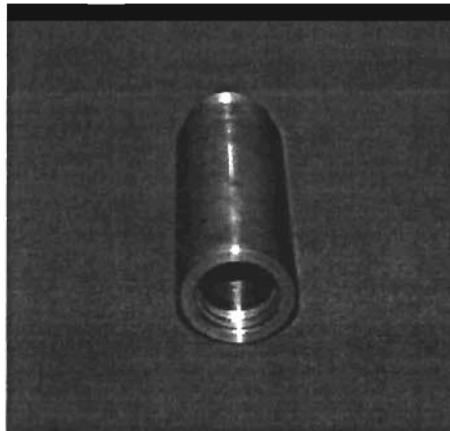
**Descripción**

Camisa Final del Empacador.

En esta pieza se encuentra el vástago del sello interior y además permite el ensamble con la válvula check.

Esta fabricado de acero 4140, tratado térmicamente.

Tiene un diámetro exterior de 2.250 pulg, diámetro interior de 1.500 pulg y una longitud total de 8.500 pulg.

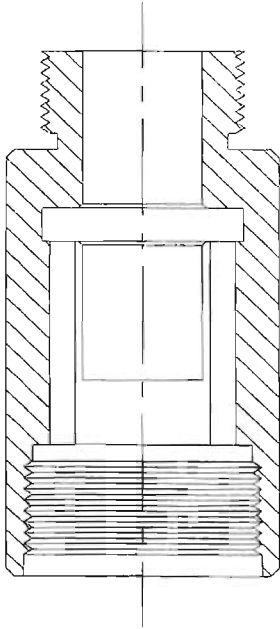


**FIGURA 32 - 21**



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

**Conexión al tapón.**



**Descripción**

Conexión al tapón.

Es la conexión entre el empacador recuperable y la valvula check.

Esta fabricado de acero inoxidable tipo 316.

Tiene un diámetro exterior de 2.000 pulg, diámetro interior de 0.925 pulg y una longitud total de 4.000 pulg.



**FIGURA 32 - 22**



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

### Conexión a la válvula.

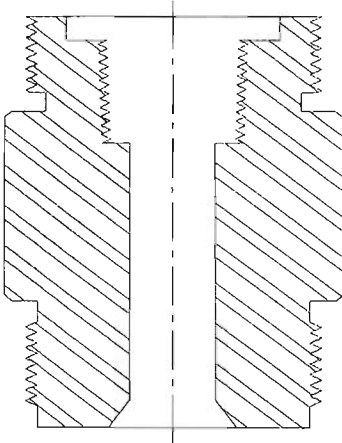
#### Descripción

Conexión a la válvula.

En esta pieza se encuentra alojado el sello tipo esférico de la válvula check, tiene un diámetro de  $\frac{1}{2}$  pulgada para admitir el flujo de fluidos.

Esta fabricado de acero inoxidable tipo 316.

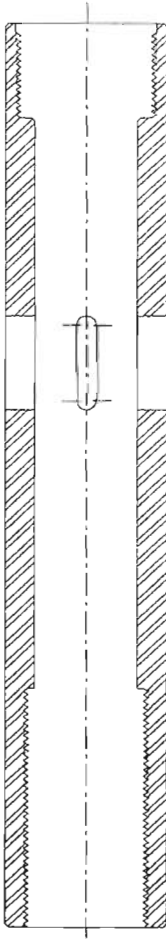
Tiene un diámetro exterior de 2.000 pulg, diámetro interior de 0.500 pulg y una longitud total de 3.250 pulg.



**FIGURA 32 - 23**



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**



**Cuerpo de la válvula.**

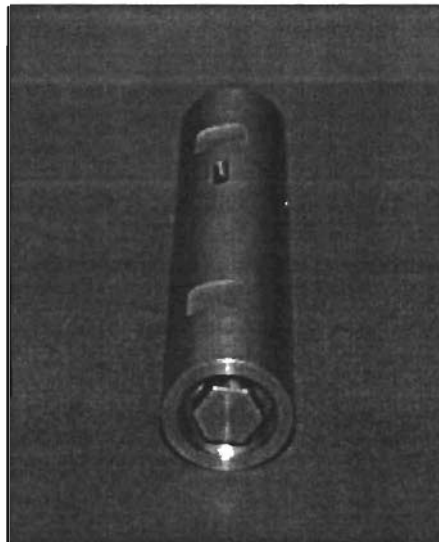
**Descripción**

Cuerpo de la válvula.

Consta de 4 ranuras por donde circula el fluido que va directamente al yacimiento.

Esta fabricado de acero inoxidable tipo 316.

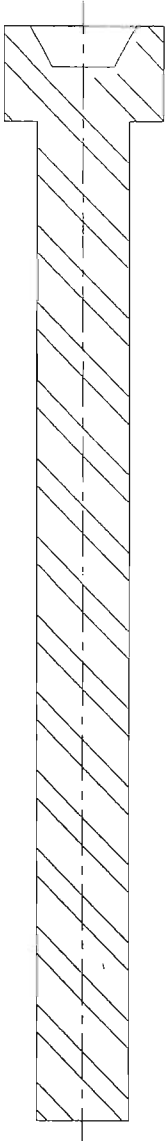
Tiene un diámetro exterior de 2.000 pulg, diámetro interior de 1.280 pulg y una longitud total de 12.000 pulg.



**FIGURA 32 - 24**



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**



## Vástago de la válvula.

### Descripción

Vástago de la válvula.

En esta pieza se aloja la esfera de  $\frac{3}{4}$  pulg de diámetro y el resorte de calibración.

Esta fabricado de acero inoxidable tipo 316.

Tiene un diámetro exterior de 1.125 pulg, diámetro interior de 0.650 pulg y una longitud total de 7.450 pulg.

**FIGURA 32 - 25**



## Resorte de la válvula.

### Descripción

Resorte de la válvula check.

Es el mecanismo de calibración de la válvula a diferentes presiones según se requiera.

Esta fabricado en acero inoxidable tipo 304.

Tiene un diámetro exterior de 1.125 pulg, diámetro interior de 0.675 pulg y longitud total de 5.500 pulg.

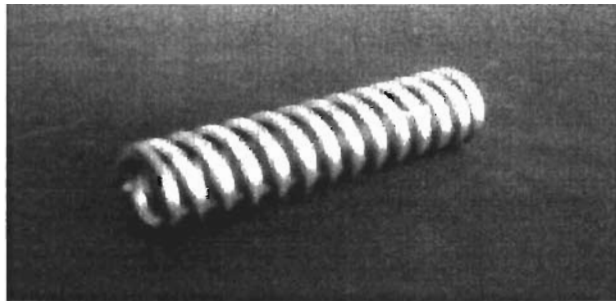
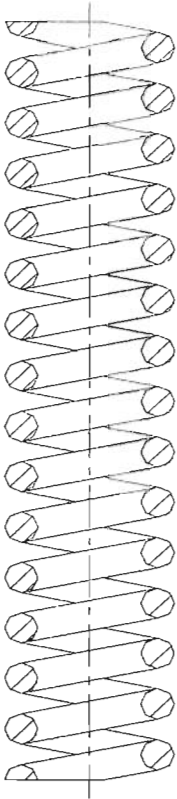


FIGURA 32 - 26





**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

### **Ajustador de Calibración.**

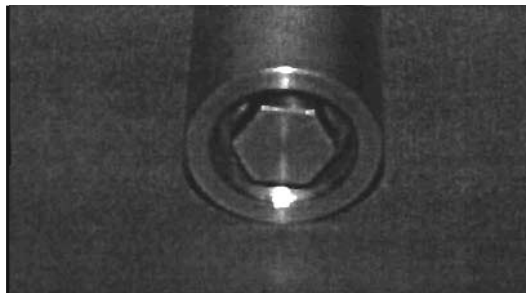
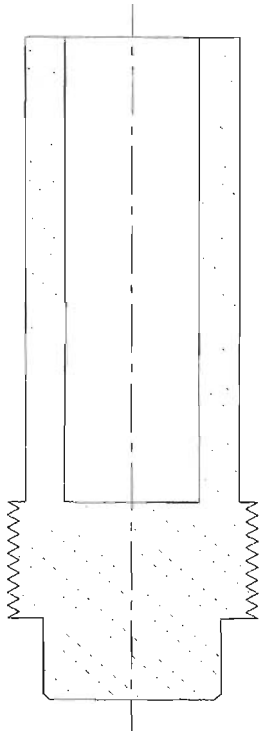
#### **Descripción**

Ajustador de calibración.

Esta pieza es el mecanismo de calibración del resorte de la válvula check.

Fabricado en acero inoxidable tipo 316.

Tiene un diámetro máximo de 1.406 pulg, diámetro mínimo de 0.750 pulg y longitud total de 4.250 pulg.



**FIGURA 32 - 27**



## PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

### Cuerpo del amortiguador.

#### Descripción

Cuerpo del amortiguador.

Es la carcasa del amortiguador de impactos y permite la conexión de este con la válvula check.

Fabricado en acero inoxidable tipo 316.

Tiene un diámetro exterior de 2.200 pulg, diámetro interior de 1.370 pulg y longitud total de 12.250 pulg.

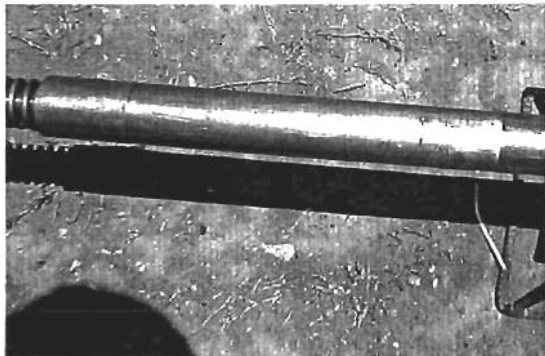
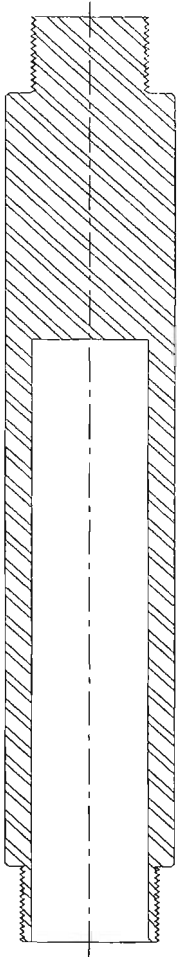


FIGURA 32 - 28



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**



### **Vástago del Amortiguador.**

#### **Descripción**

Vástago del amortiguador.

Permite el alojamiento de los resortes del amortiguador de impactos.

Fabricado en acero inoxidable tipo 316.

Tiene un diámetro máximo de 1.350 pulg, diámetro mínimo de 1.000 pulg y longitud total de 12.500 pulg.

**FIGURA 32 - 29**



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

**Resorte del Amortiguador.**

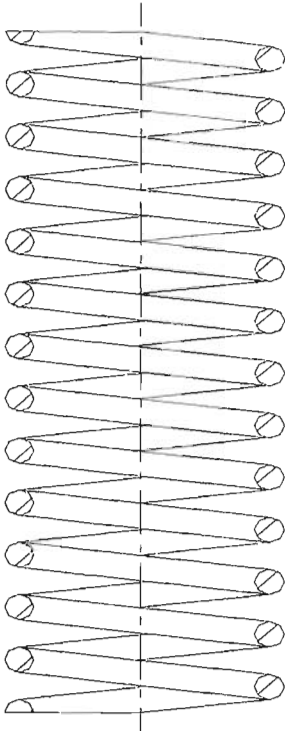
**Descripción**

Resorte del amortiguador.

Es el mecanismo de amortiguamiento para el anclaje y desanclaje del empacador recuperable, consta de 2 piezas.

Esta fabricado en acero inoxidable tipo 304.

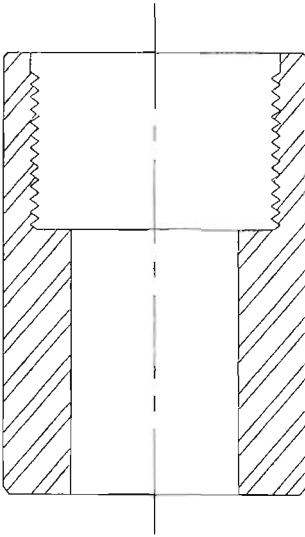
Tiene un diámetro exterior de 1.350 pulg, diámetro interior de 1.050 pulg y longitud total de 5.000 pulg.



**FIGURA 32 - 30**



## Tapón del Amortiguador.



### Descripción

Tapón del amortiguador.

Esta pieza se une al cuerpo del amortiguador y en su interior permite el recorrido del vástago.

Fabricado en acero inoxidable tipo 316.

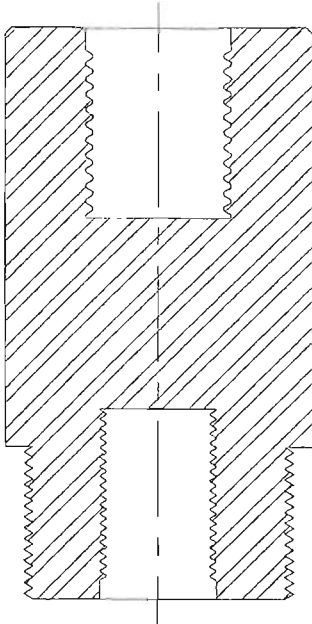
Tiene un diámetro exterior de 2.000 pulg, diámetro interior de 1.100 pulg y longitud total de .500 pulg.

FIGURA 32 - 31



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

### Conexión a la Sonda.



#### Descripción

Conexión a la sonda.

Esta pieza une al vástago de amortiguador, a las sonda de memoria y a la camisa para proteger a las sondas.

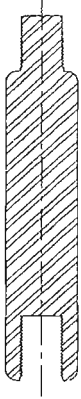
Fabricado en acero inoxidable tipo 316.

Tiene un diámetro máximo de 2.000 pulg, diámetro interior de 0.750 pulg y longitud total de 3.750 pulg.

**FIGURA 32 - 32**



## PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO



### Batería y Sonda de Memoria.

#### Descripción

Batería y sonda de memoria, marca: Spartek.

Esta sonda permite tomar el registro de presión – temperatura en el fondo del pozo, programable para registrar datos a diferentes intervalos de tiempo.

Tiene un diámetro máximo de 1.250 pulg, y longitud total de 18.000 pulg.

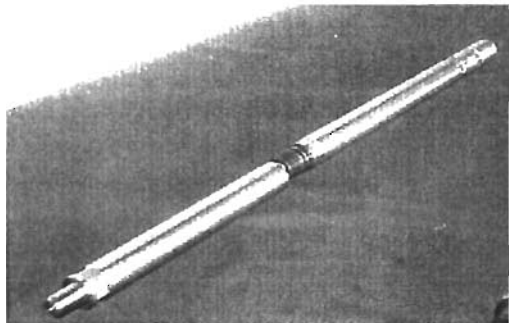
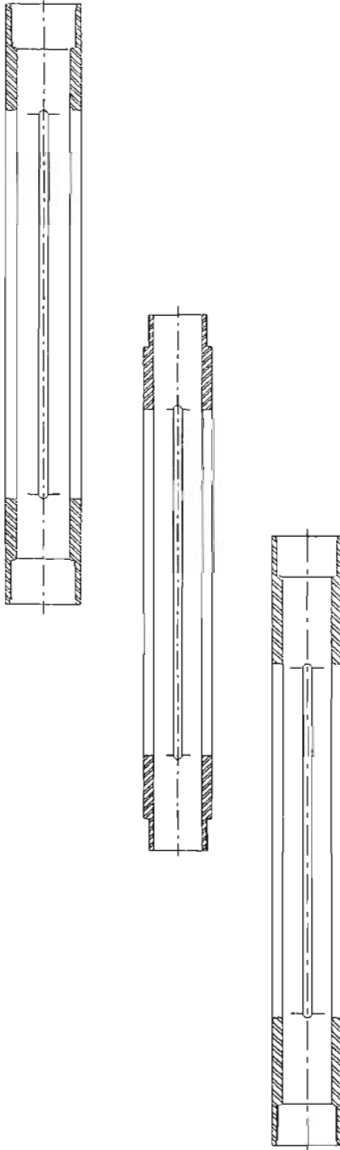


FIGURA 32 - 33



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

### Camisa para Protección de la Sonda.



#### Descripción

Camisa para protección de la sonda.

La función de esta camisa es proteger a la sonda de memoria al bajar y subir la herramienta de fondo, permitiendo el flujo de fluidos hacia la sonda.

Fabricado en acero inoxidable tipo 316.

Tiene un diámetro exterior de 2.000 pulg, diámetro interior de 1.400 pulg y longitud total de 52.000 pulg.



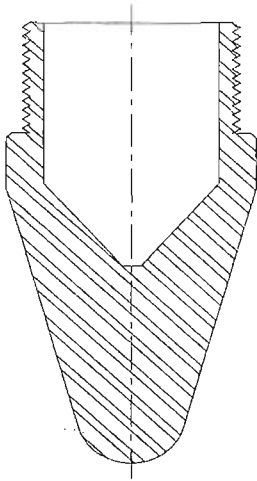
FIGURA 32 - 34





**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

**Cabeza de Protección de la Sonda.**



**Descripción**

Cabeza de protección de la sonda.

Esta pieza es la guía de la herramienta de fondo y la forma de la conicidad que se tiene en la parte inferior sirve para desplazar el fluido.

Fabricado en acero inoxidable tipo 316.

Tiene un diámetro máximo de 2.000 pulg, y longitud total de 4.000 pulg.



**FIGURA 32 - 35**



## CALIBRACIÓN DE LA VALVULA

Para llevar a cabo la calibración de apertura de la válvula es necesario conocer en primer lugar el nivel estático del fluido dentro de la Tubería de Producción (T. P.) así como la capacidad de dicha tubería ( $\frac{m^3}{m}$ ), diámetro de la tubería, la presión en la cabeza del pozo, la profundidad de colocación de la herramienta (por lo general se coloca aproximadamente 10 mts por arriba del empacador de la T. P.), densidad del fluido que se va a inyectar (si es salmuera su densidad es de 1.01 gr/cm<sup>3</sup>)

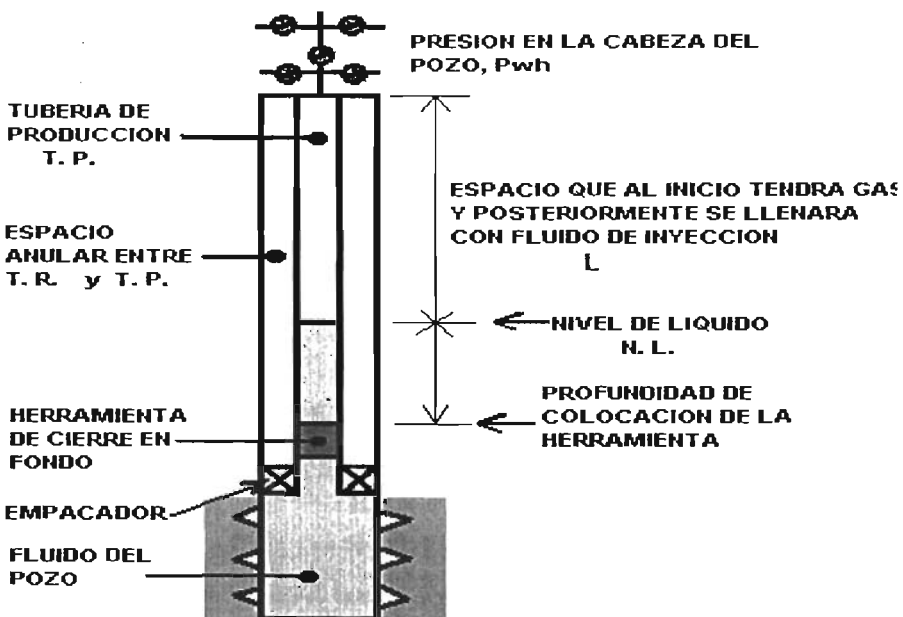


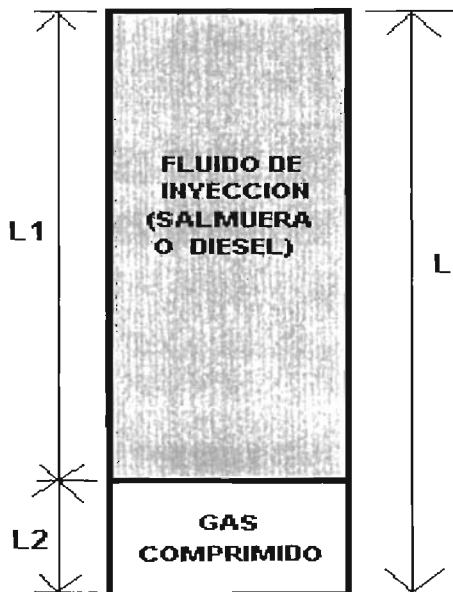
FIGURA 33-1



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

si tomamos la parte donde en un inicio hay gas y que posteriormente se llenara de fluido de inyección, entonces la dividiremos en dos partes



**FIGURA 33-2**

vemos en la figura que cuando estemos llenando la parte de la tubería que contiene solamente gas, este tendera a comprimirse ocupando un volumen  $V_2$  y el fluido de inyección ocupara solamente el volumen  $V_1$ .

Si hacemos un análisis de la presión a la que estaba inicialmente el gas y a la que estará cuando esa porción de la tubería este llena de fluido de inyección tendremos



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

$$P V = P_2 V_2 \dots\dots\dots(33-1)$$

despejando  $P_2$

$$P_2 = \frac{P V}{V_2} \dots\dots\dots(33-2)$$

Donde

$P \cong P_{wh}$  (presión en la cabeza del pozo) o bien

$$P \cong \bar{P} = P_{wh} + \frac{P_{N.L.} - P_{wh}}{2}$$

$V = L * \text{Capacidad Tubería (C. T.)}$

$V_2 = (L - L_1) * \text{Capacidad Tubería (C.T.)}$

C.T. = Capacidad de la Tubería

sustituyendo

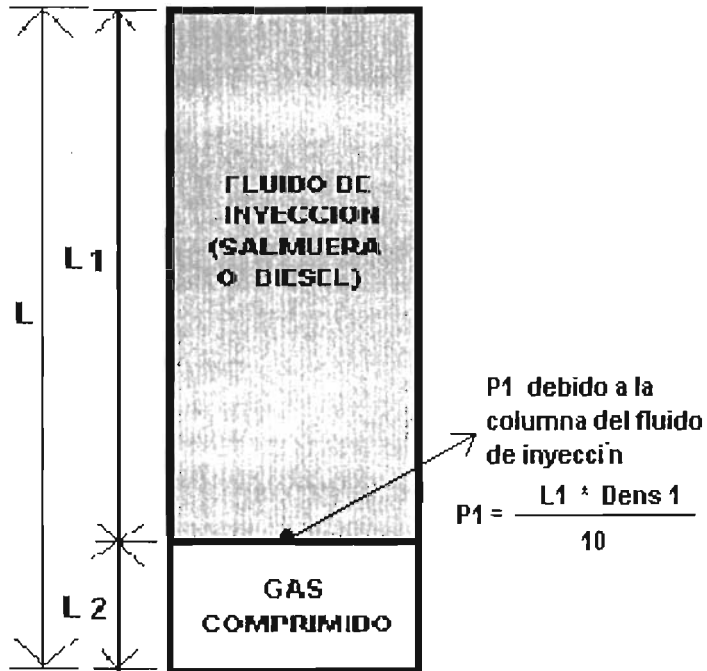
$$P_2 = \frac{\bar{P} * (L * C.T.)}{(L - L_1) * C.T.} \dots\dots\dots(33-3)$$

$$P_2 = \frac{\bar{P} * L}{L - L_1} \dots\dots\dots(33-4)$$

Pero, por otra parte tenemos que la presión en la parte superior del gas cuando se lleno el espacio con fluido de inyección es-



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**



**FIGURA 33-3**

$$P_2 = \frac{L_1 \cdot \rho_1}{10} \dots\dots\dots(33-5)$$

igualando, tenemos

$$\frac{\bar{P} \cdot L}{L - L_1} = \frac{L_1 \cdot \rho_1}{10} \dots\dots\dots(33-6)$$



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

$$10(\bar{P} * L) = (L - L_1)(L_1 * \rho_1) \dots\dots\dots(33-7)$$

$$10 \bar{P} L = L L_1 \rho_1 - L_1^2 \rho_1 \dots\dots\dots(33-8)$$

reordenando nos queda

$$L_1^2 \rho_1 - L L_1 \rho_1 + 10 \bar{P} L = 0 \dots\dots\dots(33-9)$$

donde

$\rho_1$  = densidad del fluido a inyectar,  $gr / cm^3$

$\bar{P}$  = Presión promedio de todo el gas al inicio,  $Kg / cm^2$

L = Longitud donde inicialmente estaba todo el gas

Vemos que nos queda una ecuación de segundo grado en la cual nuestra incógnita es la longitud  $L_1$  y la podemos obtener de la siguiente manera

$$L_1 = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \dots\dots\dots(33-11)$$

es decir

$$L_1 = \frac{-(L_1 * \rho_1) \pm \sqrt{(L_1 * \rho_1)^2 - 4 \rho_1 10 \bar{P} L}}{2 \rho_1} \dots\dots\dots(33-12)$$



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

una vez conociendo el valor de  $L_1$  obtenemos el valor de  $L_2$

$$L = L_1 + L_2 \dots\dots\dots(33-13)$$

$$L_2 = L - L_1 \dots\dots\dots(33-14)$$

El volumen ocupado por el fluido de inyección es

$$Vol 1 = V_1 = L_1 * C. T. \dots\dots\dots(33-15)$$

El volumen ocupado por el gas una vez que se comprimió debido al fluido de inyección es

$$Vol 2 = V_2 = L_2 * C. T. \dots\dots\dots(33-16)$$

La presión en el fondo debido a la columna de fluido de inyección es

$$P_1 = \frac{L_1 * \rho_1}{10} \dots\dots\dots(33-17)$$

Para calcular la presión en el fondo, debido a la columna de gas se hace en forma iterativa, como primer paso se puede suponer una  $P_2$  o bien se puede calcular una aproximación con

$$P_2 = P_1 + 2.5 \left( \frac{P_1}{100} \right) \left( \frac{L_2}{1000} \right) \dots\dots\dots(33-18)$$

donde

$$P_1 = lb / pg^2$$

$$L = \text{pies}$$



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

$$P_2 = lb / pg^2$$

$$T_{PC} = 167 + 316.60 \gamma_g \quad ^\circ R \quad \dots\dots\dots(33-19)$$

$$P_{PC} = 702.5 - 50 \gamma_g \quad lb / pg^2 \text{ abs} \quad \dots\dots\dots(33-20)$$

$$T_{PR} = \frac{T}{T_{PC}} \quad \dots\dots\dots(33-21)$$

$$P_{PR} = \frac{\bar{P}}{P_{PC}} \quad \dots\dots\dots(33-22)$$

$$\rho_r = 0.27 \frac{P_{PR}}{Z T_{PR}} \quad \dots\dots\dots(33-23)$$

$$Z = 1 + (A_1 + A_2 / T_{PR} + A_3 / T_{PR}^3) \rho_r + (A_4 + A_5 / T_{PR}) \rho_r^2 + A_6 \rho_r^5 / T_{PR} + \dots\dots\dots(33-24)$$

$$+ (A_7 \rho_r^2 / T_{PR}^3) (1 + A_8 \rho_r^2) * \exp(-A_8 \rho_r^2)$$

done

$$\gamma_g = 0.65$$

$$T = ^\circ R$$

$$\bar{P} = \frac{P_1 + P_2}{2}$$

$$A1 = 0.31506$$

$$A2 = -1.0467$$

$$A3 = -0.5783$$

$$A4 = 0.5353$$





**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

$$A5 = -0.6123$$

$$A6 = -0.10489$$

$$A7 = 0.68157$$

$$A8 = 0.68446$$

El procedimiento consiste en suponer un valor de Z para obtener  $\rho$ , y posteriormente obtener el valor de Z, se compara con el valor supuesto de Z. Si no coinciden estos valores, se hace para la siguiente iteración el valor de Z supuesto igual al valor calculado. El proceso se repite hasta caer dentro de una tolerancia preestablecida (menor o igual a 0.001).

Una vez obtenido el valor de Z, se sustituye en

$$\rho = 2.7 \frac{P \gamma_g}{Z T} \frac{lb}{pie^3} \dots\dots\dots(33-25)$$

y posteriormente, se sustituye en

$$Gg = \rho \frac{lb}{pie^3} * \left( \frac{1 pie^2}{144 pg^2} \right) = lb / pg^2 / pie \dots\dots\dots(33-26)$$

la caída de la presión debido al gas es

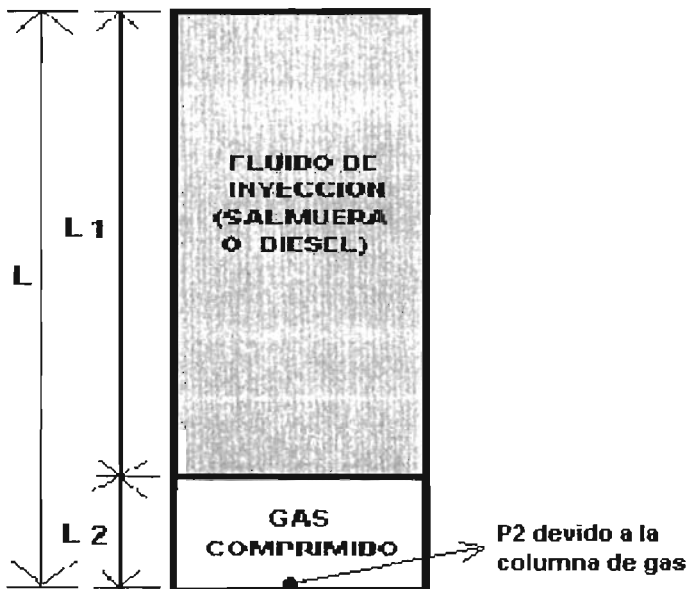
$$\Delta P_{gas} = Gg * L_2 = \frac{lb}{pg^2 abs} \dots\dots\dots(33-27)$$



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

por lo tanto, la presión en el fondo, debido a la columna de gas a una profundidad L es

$$P_2 = P_1 + \Delta P_{gas} = \frac{lb}{pg^2 abs} \dots\dots\dots(33-28)$$



**FIGURA 33-4**

Por lo tanto la presión de apertura a la cual se calibrara la válvula será

$$P_{calib} = P_1 + P_2 + 300 \dots\dots\dots(33-29)$$



## PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

---

La razón de que se le aumenten  $300 \text{ lb} / \text{pg}^2$  es debido a que en un inicio se tiene fluido del yacimiento encima de la válvula y poco a poco este se ira desplazando hacia el yacimiento y su lugar lo ira ocupando el fluido de inyección.



# CAPITULO

## 4

### RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ÁREA DE CHICONTEPEC



# CASO DE APLICACIÓN:

## POZO TAJIN 23

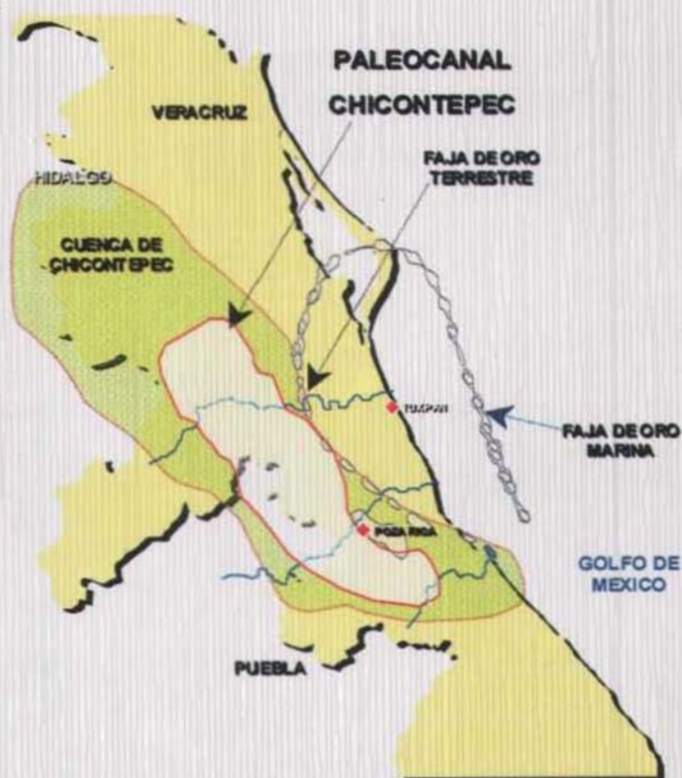


FIGURA 4-1

El área de Chicontepec se encuentra localizada en el estado de Veracruz y Oriente de Puebla



## **PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

**Las principales características de los yacimientos que se encuentran localizados en el área de Chicontepec son:**

- Empuje por gas disuelto
- Baja permeabilidad
- Yacimientos bajosaturados
- Yacimientos estratificados y arenas lenticulares
- La expansión del sistema roca – fluido contribuye con el 10 % de la producción
- La expansión del gas disuelto contribuye con el 90 % de la producción
- Recuperación por explotación primaria es del 3 % al 5 %

### **Información de los yacimientos del área de Chicontepec**

#### **➤ Chicontepec**

- Inicio de explotación: Febrero de 1952 (campo Presidente Alemán)
- Area: 3785 km<sup>2</sup>
- Campos: 29
- Yacimientos de aceite Negro (18 – 45 ° API)
- Tipo de empuje: Expansión del gas en solución
- Permeabilidad: 0.1 – 10 md
- Porosidad: 6 – 12 %
- Presiones Iniciales: 80 – 400 kg/cm<sup>2</sup>



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

- Presión de burbuja: 50 – 330 kg/cm<sup>2</sup>
- Viscosidad @ c.y. : 5 – 10 cp

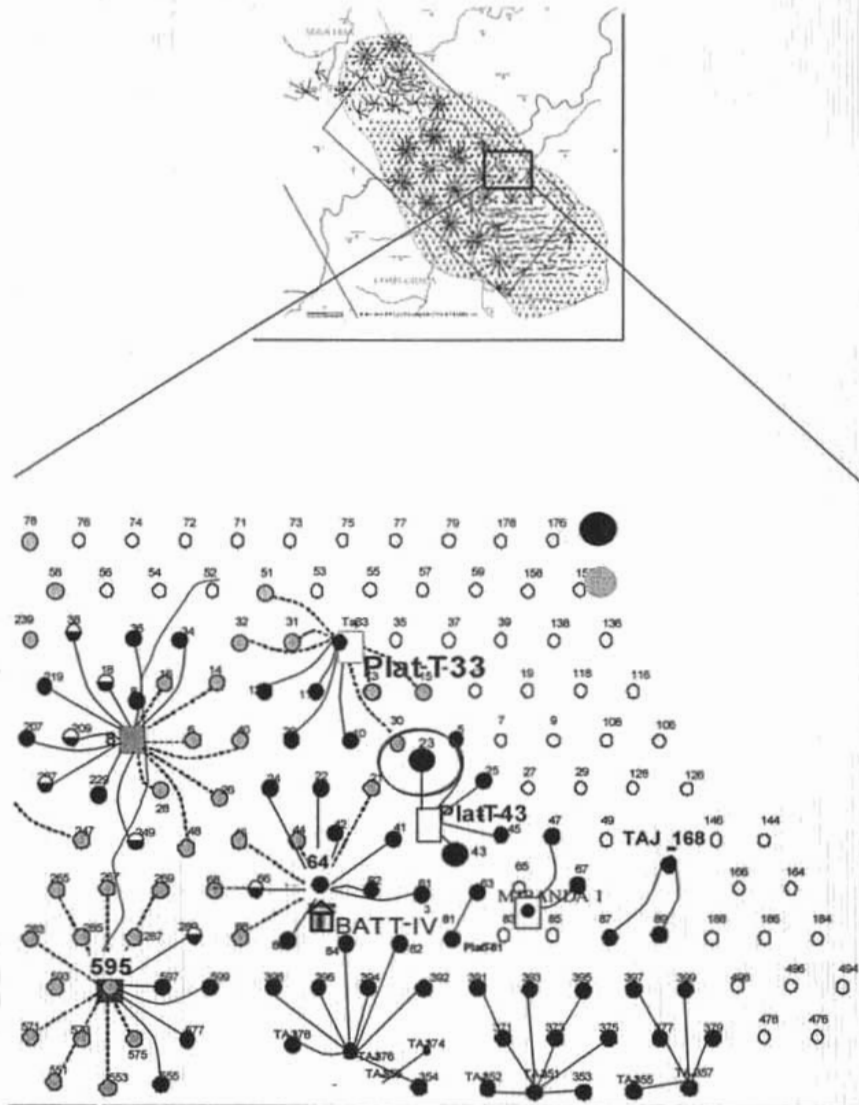
➤ **Agua Fría - Coapechaca - Tajin**

- Inicio de explotación: Junio de 1977
- Area: 117 km<sup>2</sup>
- Campos: 4 (Agua Fría, Coapechaca, Tajin y Coralillo)
- Pozos en explotación: 195
- Yacimientos de Aceite negro (24 " API)
- Tipo de empuje: Expansión del gas en solución
- Permeabilidad: 0.1 – 5 md
- Porosidad: 6 - 12 %
- Presiones Iniciales: 225 - 275 kg/cm<sup>2</sup>
- Presión de burbuja: 130 - 160 kg/cm<sup>2</sup>
- Viscosidad @ c. y. : 5 cp



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

**Localización del Pozo Tajin 23**



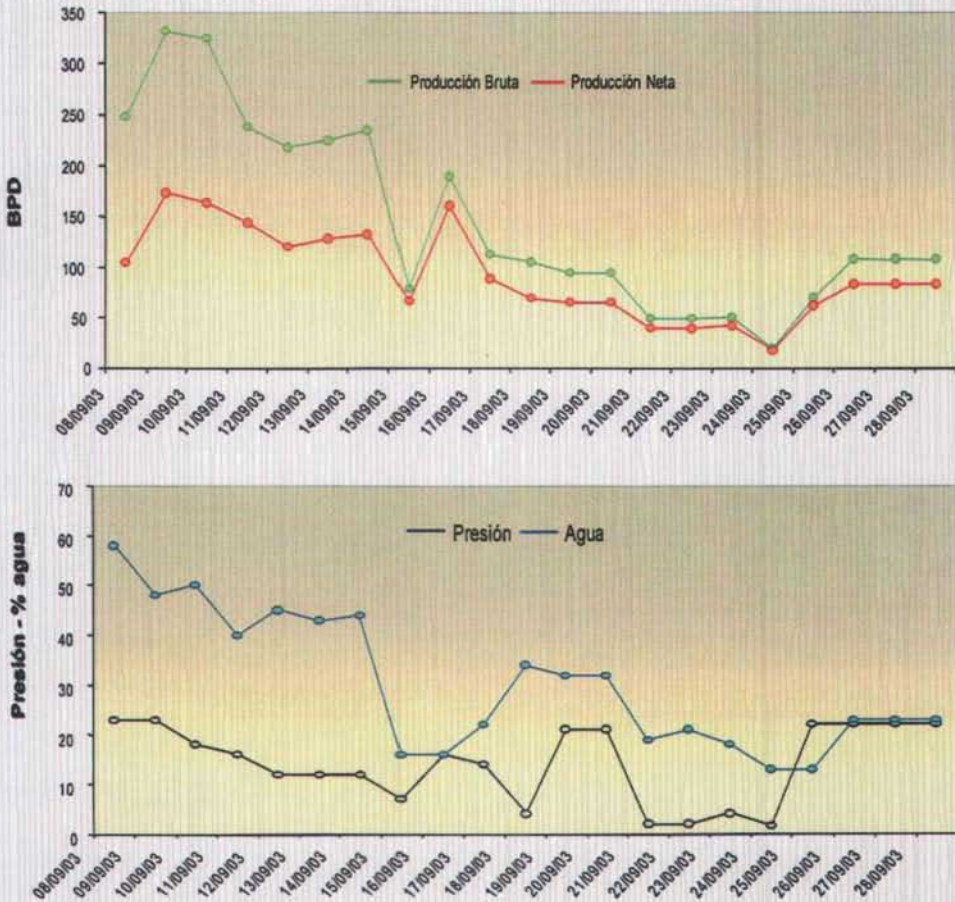
**FIGURA 4-2**





**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

### Comportamiento de la Producción, Tajín 23



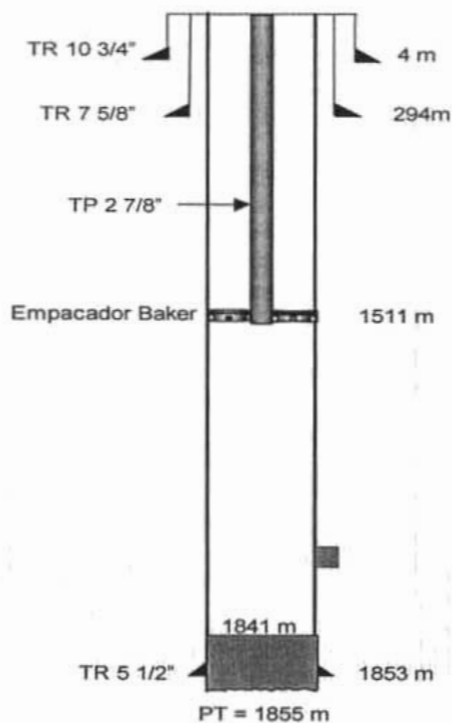
**FIGURA 4-3**



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

Debido a que la producción de este pozo, Tajin 23 estaba decayendo se optó por realizarle un fracturamiento el día 4 de Septiembre del 2003

Fecha de Fracturamiento	4 de Septiembre del 2003
Intervalo	1770 - 1795 mts.
Presión de Fractura	228 kg/cm <sup>2</sup>
Fluido Fracturante	Arena
Volumen de Fluido Fracturante	2018 bls

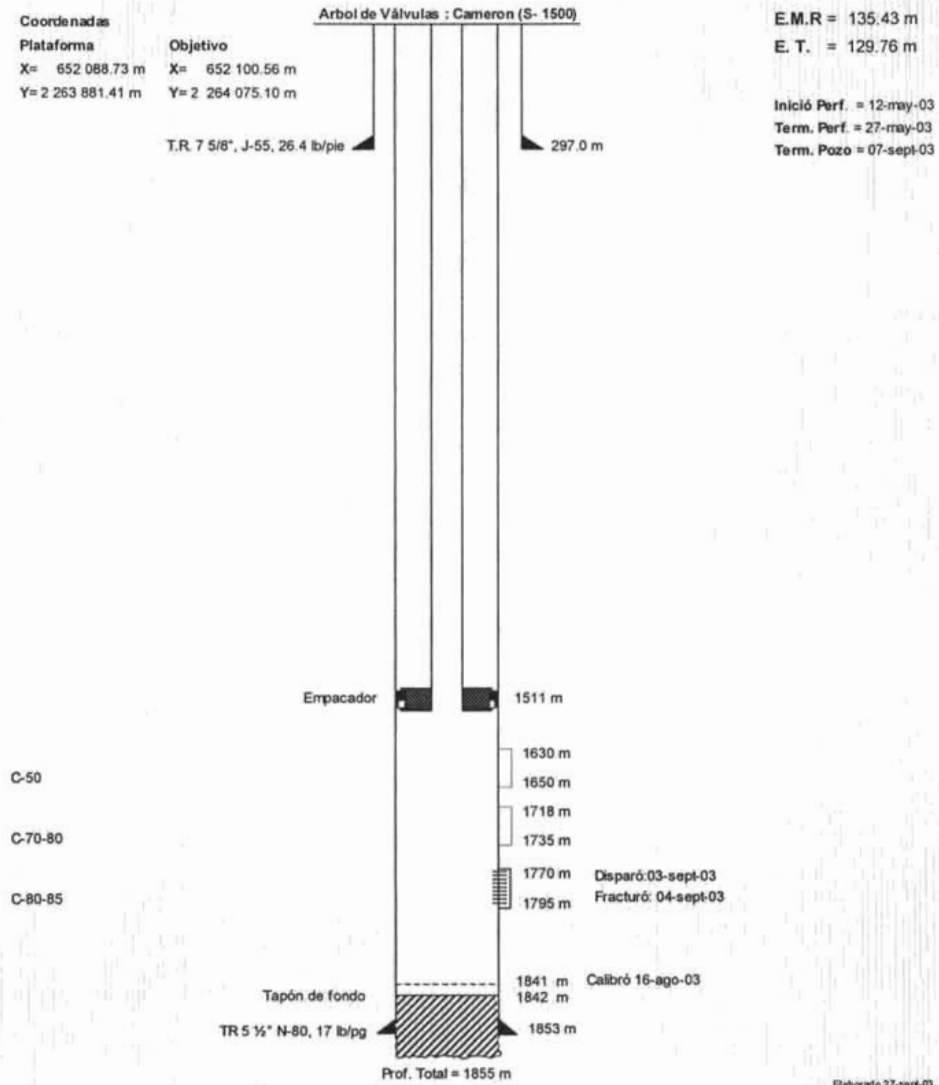


**FIGURA 4-4**



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

**ESTADO MECÁNICO POZO: TAJIN N° 23 (D-43)**



**FIGURA 4-5**



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

Al pozo Tajin 23 se le realizó un registro MDT

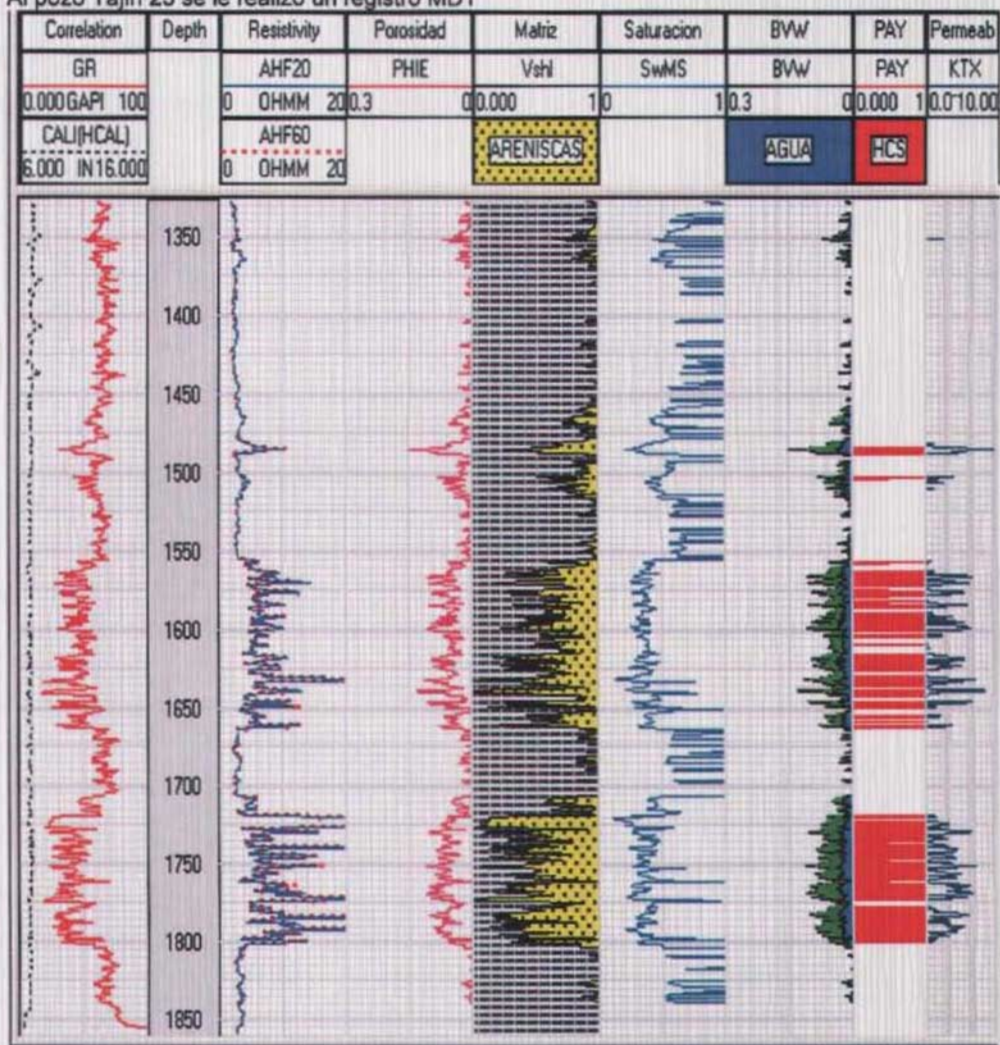


FIGURA 4-6



#### **PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

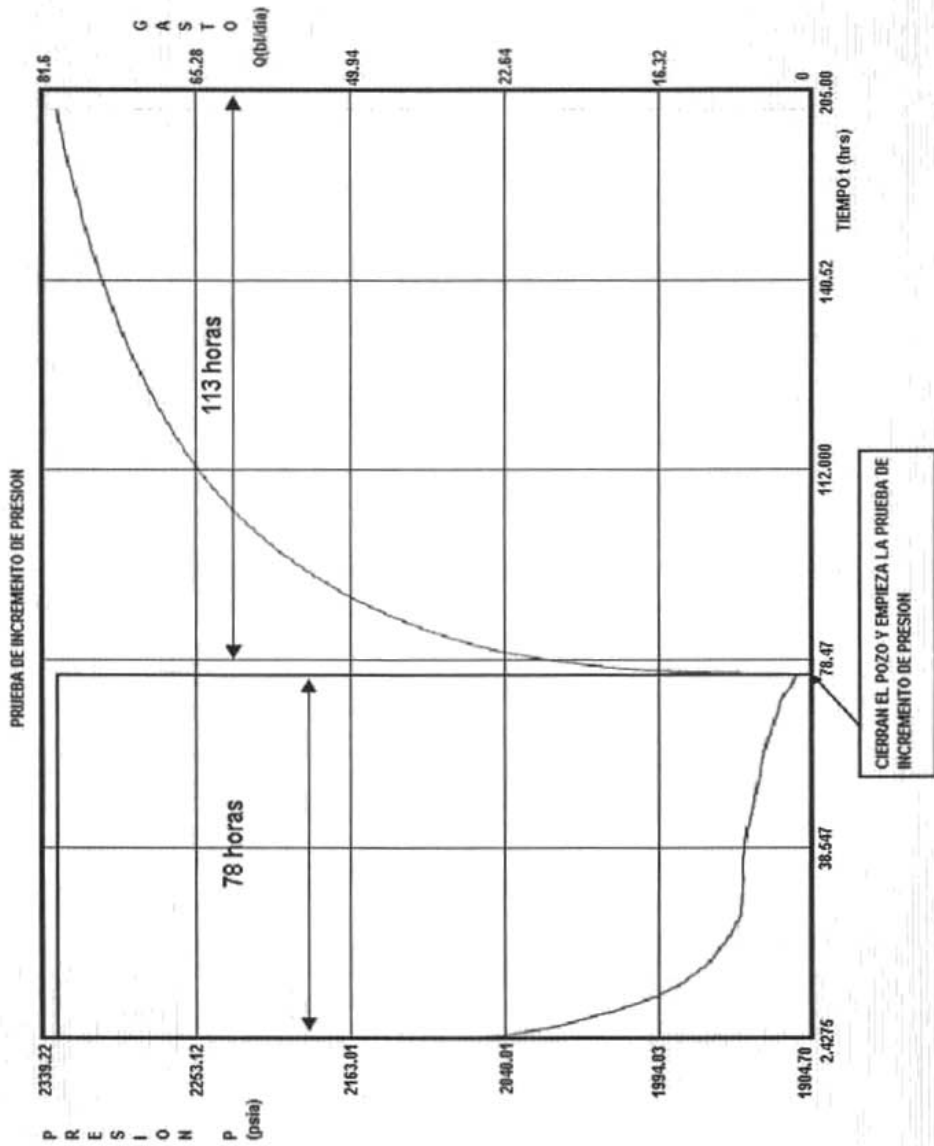
De la figura 4-6 correspondiente al registro MDT registrado en el pozo Tajin 23 se observa el intervalo productor en este pozo que va de 1705 a 1805 mts. Perteneciente a la formación, teniendo un espesor (h) de 100 mts. (328 ft)

En Octubre del 2003 se llevo a cabo una prueba de incremento de presión en este pozo con cierre en superficie y cuyo registro se muestra en la figura 4 – 7.

En esta figura se observa que el pozo estaba produciendo 78 bl/día ( $q_o = 78$  bl/día)



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

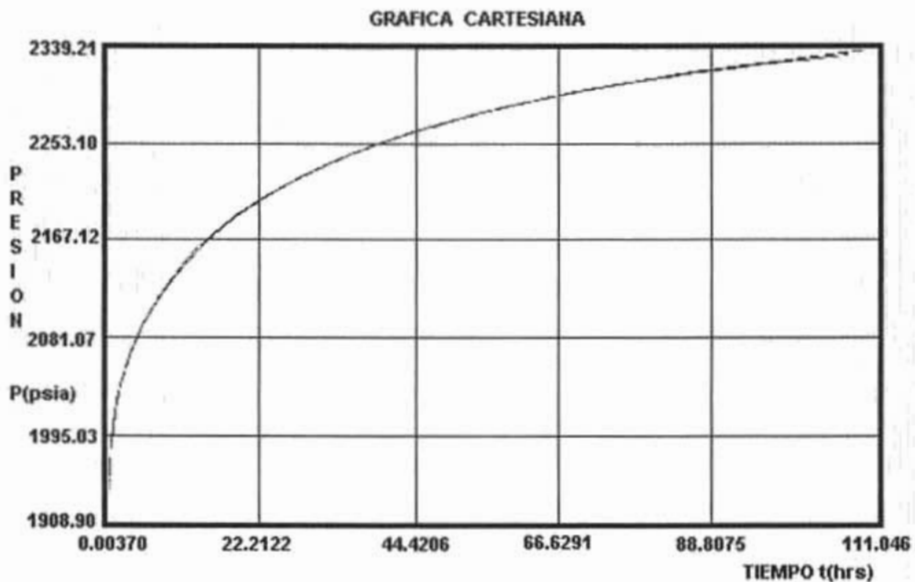


**FIGURA 4-7**



## PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

En la gráfica de la figura 4-8 se presenta el comportamiento de presión de la prueba de incremento en una gráfica cartesiana



**FIGURA 4-8**

En la figura 4-9 se presenta en una gráfica de diagnóstico de flujo log – log, el comportamiento de las caídas de presión con el tiempo y el comportamiento de la derivada de presión de la prueba de incremento, donde se observa a tiempos cortos de prueba la presencia de almacenamiento en el pozo que son los datos encerrados en un círculo en esta gráfica



PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

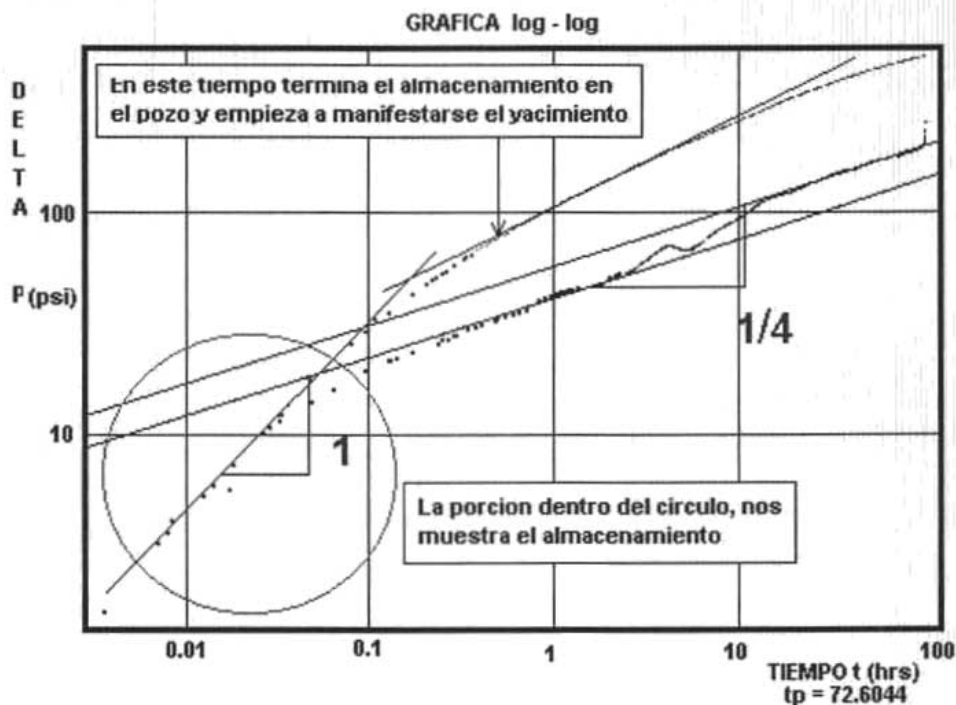


FIGURA 4-9

En esta gráfica también se puede observar en la respuesta del yacimiento la presencia de flujo bilineal (pendiente de  $1/4$ ) debido al fracturamiento realizado en el pozo por lo que en este rango de datos nos podemos auxiliar de la gráfica especializada de Presión vs  $t^{1/4}$  para obtener parámetros que nos caracterizarán al yacimiento





PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

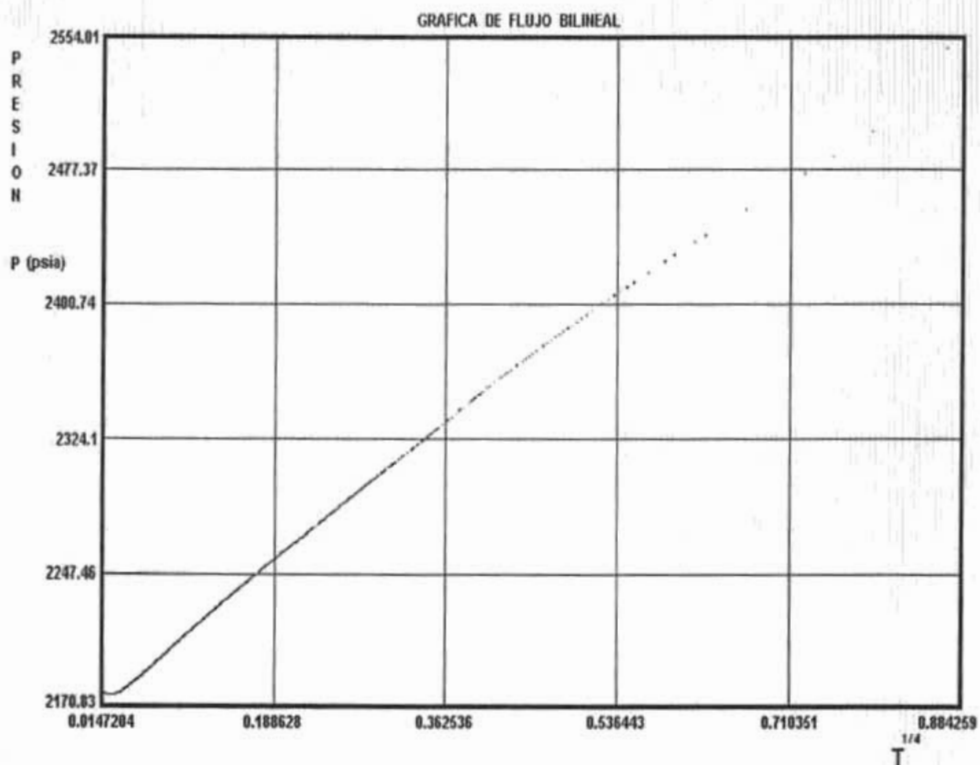


FIGURA 4-10

o bien por medio de software especializado en el análisis de pruebas de presión al seleccionar un modelo de pozo fracturado de conductividad finita que determine los parámetros que caractericen al yacimiento



PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE  
EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

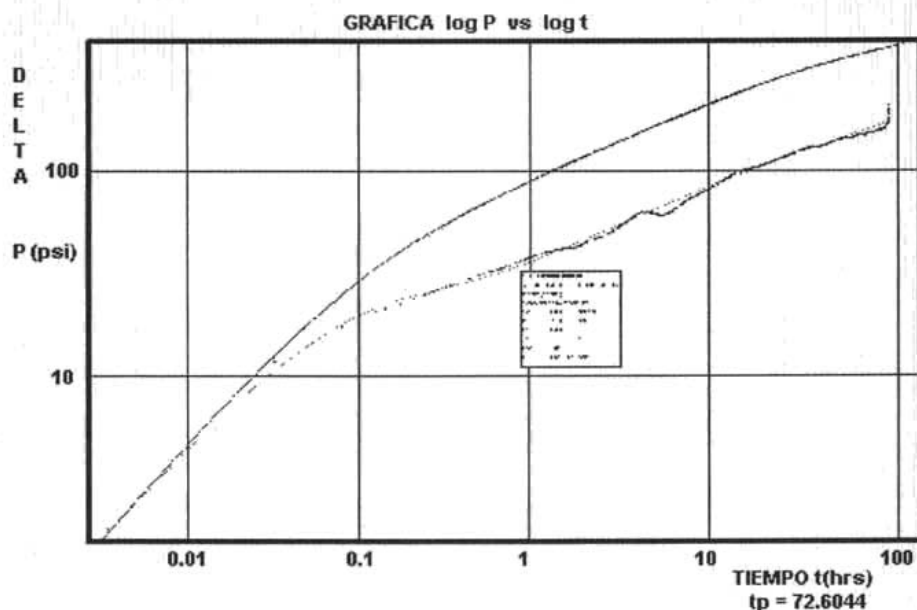


FIGURA 4-11

A través del análisis de esta prueba con el modelo mencionado anteriormente se obtienen los siguientes resultados

$$K = 0.7783 \text{ md}$$

$$X_f = 69 \text{ ft}$$

$$F_{cd} = 30.0442$$

$$S = -3.5$$

$$S_f = 0.0385$$



## PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

Con estos resultados también es posible cuantificar el almacenamiento presente en el pozo, de la siguiente manera

Datos adicionales:

$B_o = 1.08$  (factor de volumen)

$\mu = 3.93$  cp (viscosidad)

$\phi = 7.5\%$  (porosidad)

$q_o = 78$  bl/día

$h = 328$  ft (espesor de la formación)

regresando a la gráfica de  $\log(\Delta P)$  vs  $\log(t)$

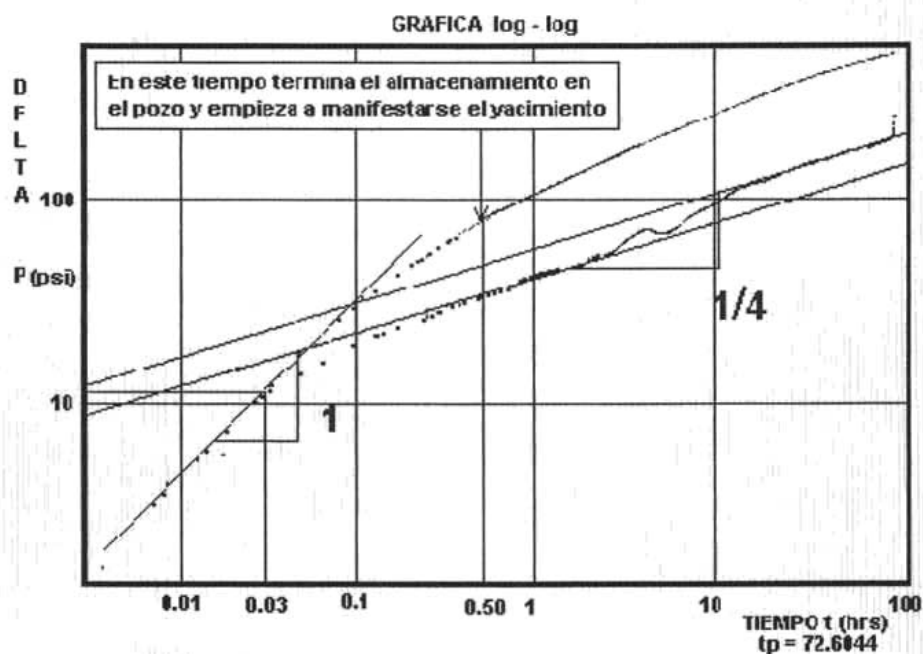


FIGURA 4-12



## PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

si ajustamos una línea recta de pendiente unitaria en la parte de almacenamiento neto, es decir donde se juntan las dos curvas (presión y derivada) y además seleccionamos un punto sobre la recta, por ejemplo,  $\Delta t = 0.05$  hrs le corresponde un  $\Delta P = 20$  psi, entonces, el coeficiente de almacenamiento es posible obtenerlo de la siguiente manera

$$C = \frac{q_o B_o \Delta t}{24 \Delta P}$$

sustituyendo, valores

$$C = \frac{(78)(1.08)(0.05)}{24(20)}$$

$$C = \frac{4.212}{480}$$

$$C = 0.0088 \frac{bl}{psi}; \text{ es el coeficiente de almacenamiento}$$

El tiempo a partir del cual ya son despreciables los efectos de almacenamiento se puede obtener con la siguiente ecuación.

$$t = \frac{(200000 + 12000 S) C}{\frac{k h}{\mu}}$$

sustituyendo, nos queda

$$t = \frac{(200000 + 12000(-3.5)) * 0.0088}{\frac{0.7783 * 328.11}{3.93}}$$



## PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

---

$$t = \frac{1390.4}{64.9791}$$

$$t = 21.397$$

$$t \approx 21.4 \text{ hrs}$$

Este es el tiempo a partir del cual ya son despreciables los efectos de almacenamiento en el pozo, lo cual lo podemos corroborar en la figura 4-12 de la siguiente manera, de la gráfica vemos que el tiempo en el cual termina el predominio de los efectos de almacenamiento es aproximadamente a las 0.05 hrs. A partir de este tiempo nos movemos hacia delante 1 ciclo y medio y nos da el tiempo en el cual ya son despreciables los efectos de almacenamiento.



## **PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

En Julio del 2004 se llevó a cabo una prueba Fall-off en el pozo Tajin 23 utilizando la herramienta de cierre en fondo, donde se siguió el siguiente procedimiento

### **SECUENCIA DE ACTIVIDADES DEL POZO TAJIN - 23**

#### **OPERACIONES PREVIAS A LA PRUEBA FALL-OFF:**

1. Con pozo cerrado calibrar pozo con block de impresión de diámetro 2 5/16", a la profundidad de 1510 metros, esta operación se efectúa para asegurar que el interior de la T.P. (tubería de producción) este libre y permitirá el paso de la herramienta de cierre en fondo a través de ella.
2. Determinar nivel de líquido con ecómetro, se realiza para determinar la presión diferencial a la que será calibrada la válvula y para determinar el volumen de líquido a inyectar.
3. Tomar RPFC (registro de presión de fondo cerrado) por estaciones cada 250 metros con amerada mecánica, se realiza para determinar el nivel de líquido en el pozo así como el gradiente de los fluidos al interior de la tubería de producción.

#### **OPERACIONES DURANTE LA PRUEBA FALL-OFF:**

4. Con el dato del RPFC, nivel de líquido y presión de inyección inicial (500-700 psi), se calibra la válvula a la presión diferencial calculada, posteriormente se arma herramienta de fondo (empacador recuperable para T.P. de 2 7/8" - válvula check - absorbedor de impactos - sonda de memoria).



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

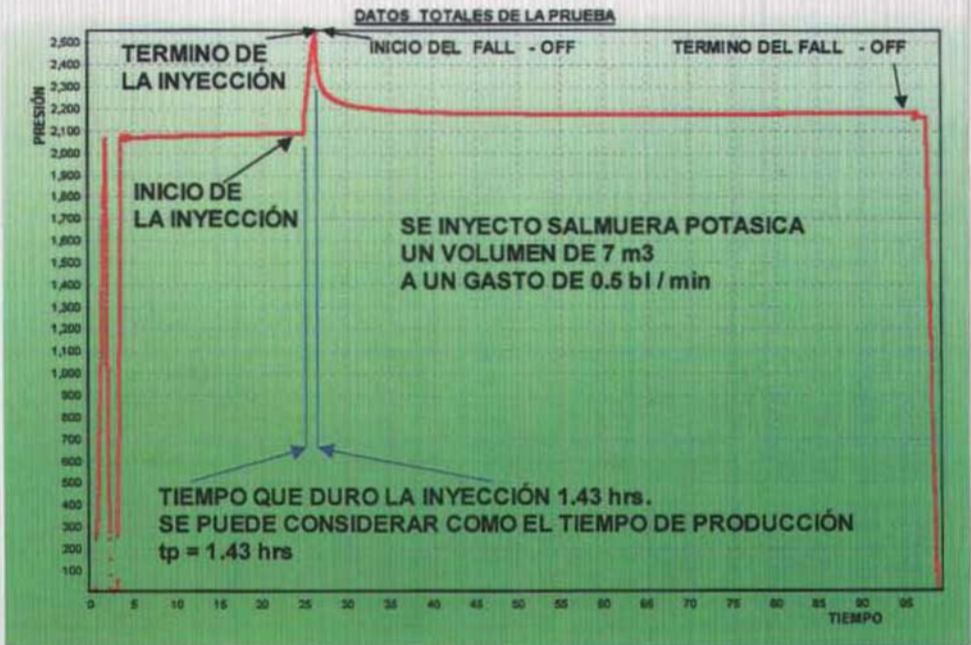
---

5. Instalar transmisor de presión en el pozo, se emplea para monitorear el comportamiento de la presión en cabeza del pozo.
6. Programar sonda de memoria y adquirente de datos de presión en superficie a un dato cada 5 segundos.
7. Anclar collar stop (ancla para tubería) para T.P. de 2 7/8", a la profundidad de 1500 metros como mecanismo de anclaje.
8. Posteriormente se baja herramienta de fondo con dos sondas de memoria por estaciones cada 250 metros durante 5 minutos (0, 250, 500, 750, 1000, 1250, 1495 mts).
9. A la profundidad de 1495 mts. Se ancla la herramienta de fondo, con el objetivo de minimizar el efecto de almacenamiento de pozo, concluida esta operación se baja nuevamente con línea de acero con una caja ciega para golpear la herramienta de fondo, garantizando así la hermeticidad entre los sellos del empacador recuperable y la T.P., terminada esta operación se retira Línea de Acero.
10. Una vez anclada la herramienta, esperar 6 horas antes de iniciar la inyección de fluido al pozo.
11. Con la unidad de alta inyectar 10 metros cúbicos de diesel o salmuera potásica a un gasto constante de 0.5 BPM al yacimiento.
12. Cerrar pozo por 48 horas.



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

13. Con Unidad de Línea de Acero desanclar herramienta de cierre en fondo, estacionándose 1 hora en punto de anclaje.
14. Extraer herramienta de fondo a la superficie tomando registro por estaciones cada 250 metros por 5 minutos.
15. Entregar pozo a Producción.
16. Recuperar datos de presión de la sonda de memoria y datos de presión en cabeza de pozo.



**FIGURA 4-13**

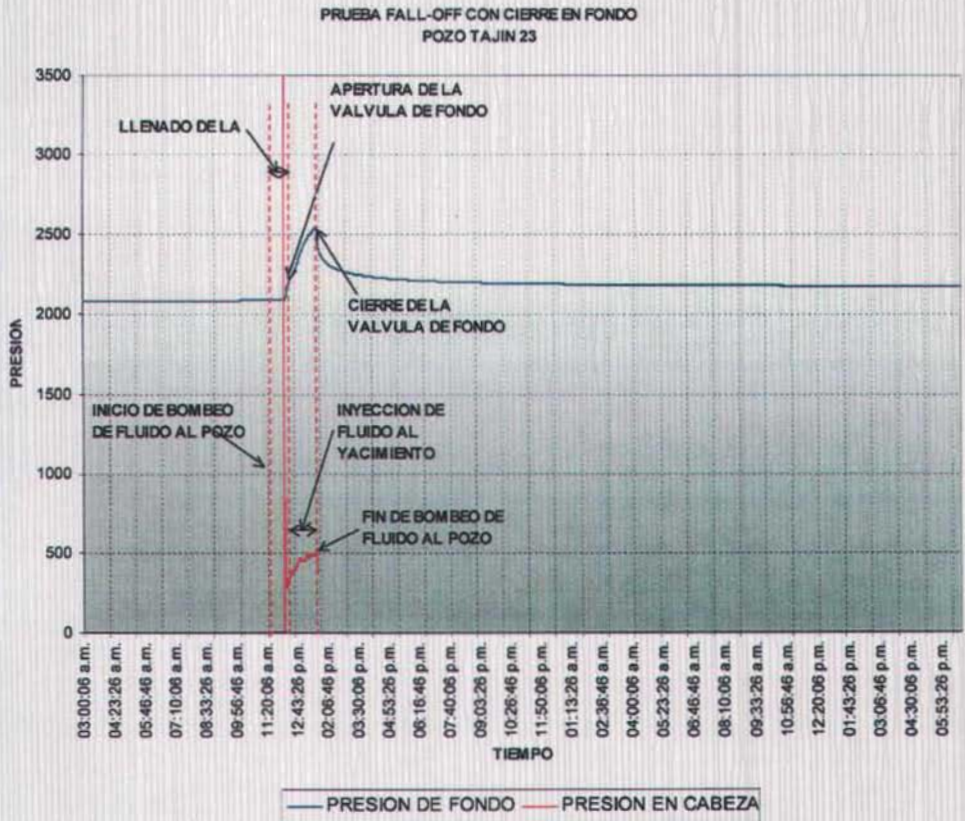




**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

En la figura anterior 4-13 se muestra toda la prueba completa, desde la introducción de la herramienta al pozo, hasta cuando se saco del mismo.

En la siguiente figura se muestra la gráfica de la presión en la cabeza del pozo durante la inyección de la salmuera



**FIGURA 4-14**



## PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

En la gráfica de la figura 4-15 se muestra únicamente los datos correspondientes al Fall-off, los datos se presentan en una gráfica cartesiana

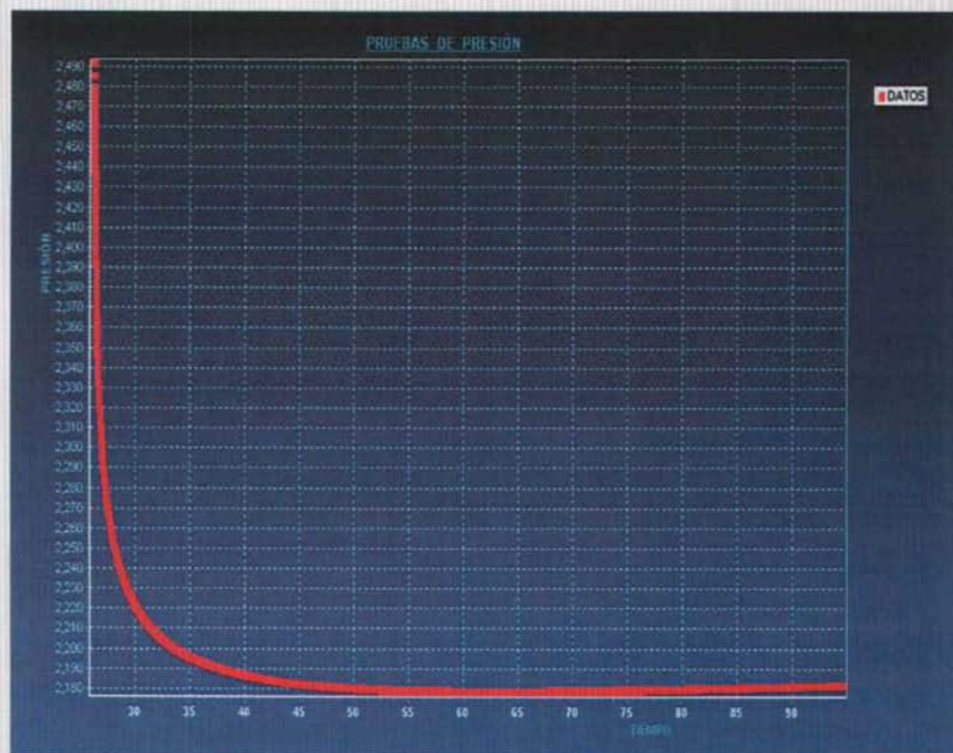


FIGURA 4-15



## PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO

Si graficamos  $\log(\Delta P)$  vs  $\log(\Delta t)$  y además obtenemos su derivada

Tendremos el comportamiento mostrado en la figura 4-16

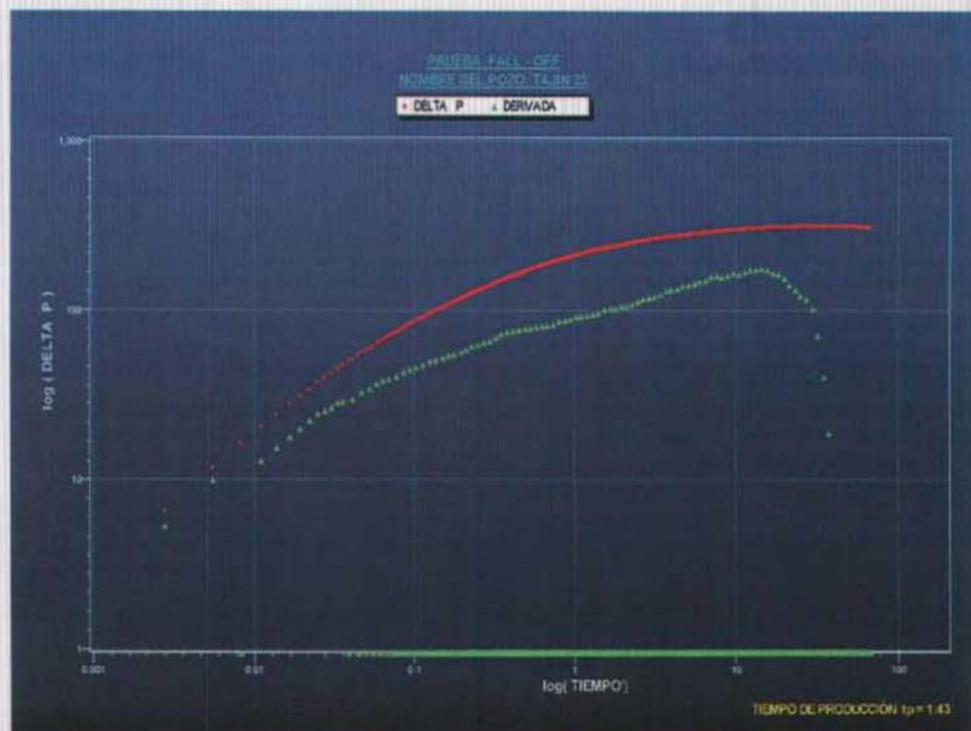
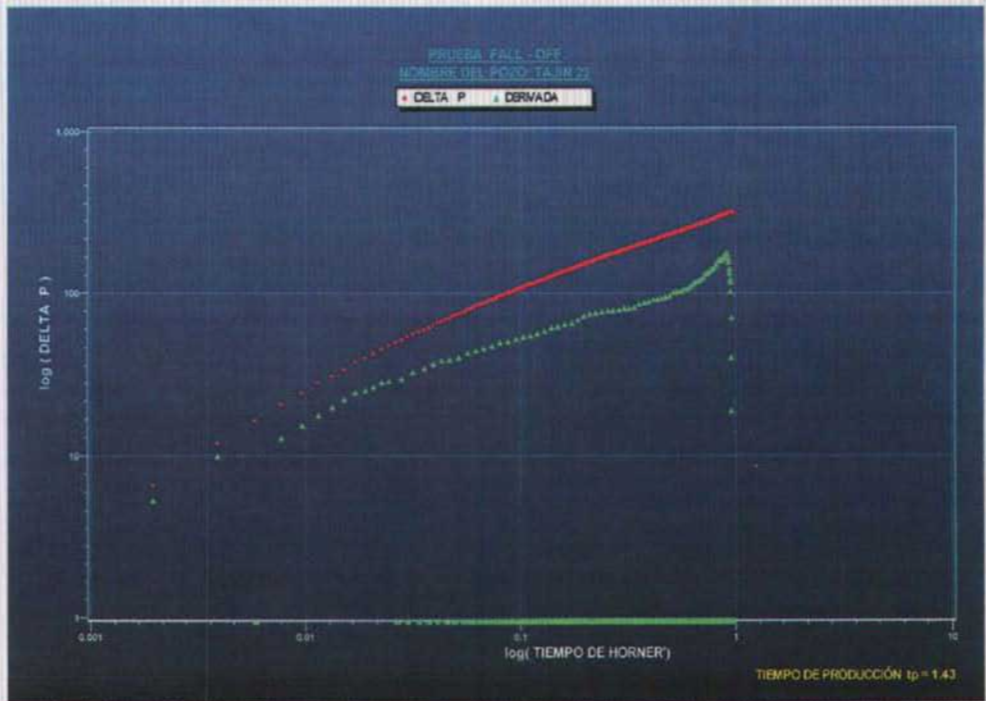


FIGURA 4-16



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

Si ahora graficamos  $\log(\Delta P)$  vs.  $\log(\text{tiempo de horner } \Delta t / (t_p + \Delta t))$  obtendremos la siguiente gráfica

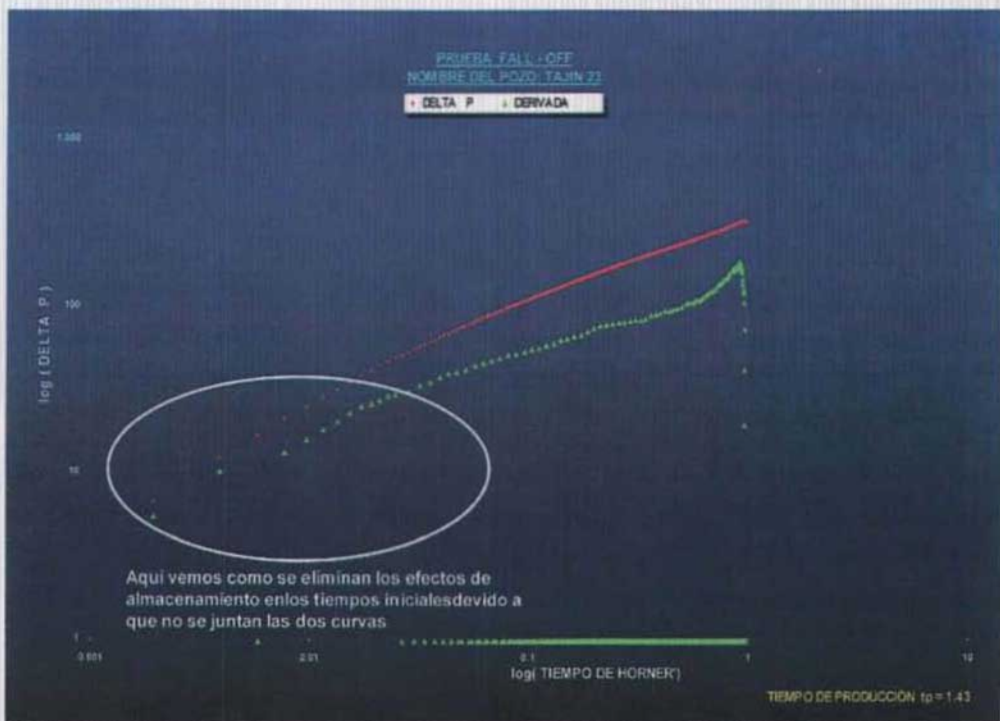


**FIGURA 4-17**

En las dos gráficas de las figuras 4-16 y 4-17 se puede observar que no se juntan las dos curvas (los datos de presión y derivada) al inicio de la prueba, por lo que se muestra que los efectos de almacenamiento en los tiempos iniciales de la prueba disminuyen considerablemente



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

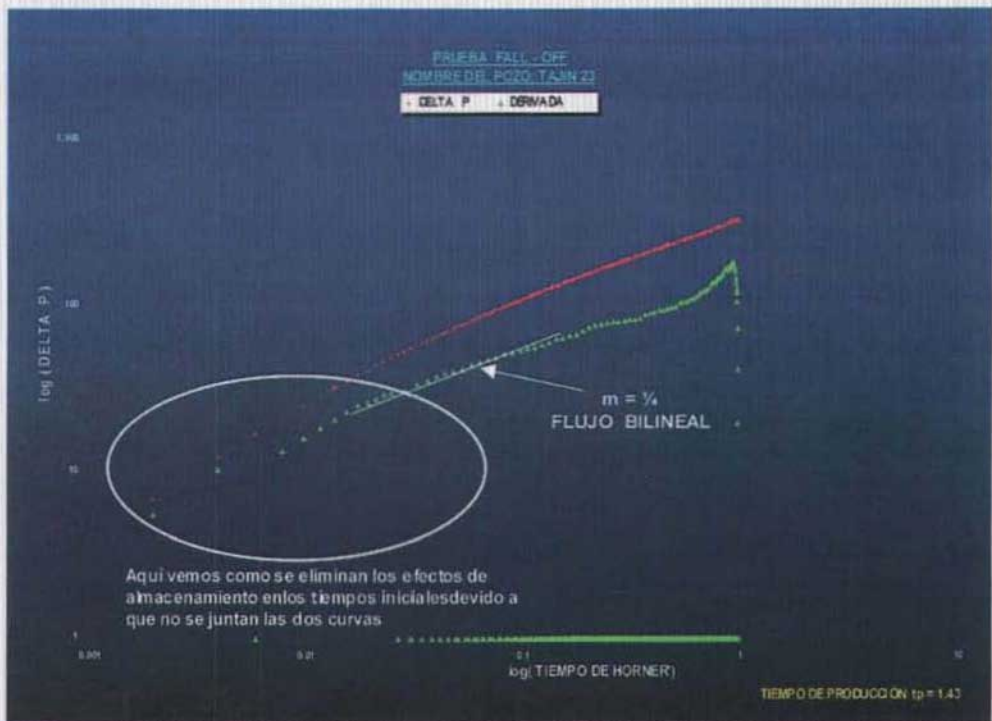


**FIGURA 4-18**

En la gráfica de la figura 4-18 podemos observar que la porción que está encerrada en un círculo y que corresponde a la etapa inicial de la prueba no se juntan las dos curvas (presión y derivada) por lo que podemos concluir que no hay almacenamiento en el pozo ó que este es mínimo.



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**



**FIGURA 4-19**

En la gráfica de la figura 4-19 se observa que la pendiente de la derivada es de  $\frac{1}{4}$  que corresponde a la presencia de una geometría de flujo bilineal, ajustando un modelo de pozo fracturado conductividad finita obtenemos los siguientes resultados

<b>K</b>	<b>0.75 md</b>
<b>Xf</b>	<b>18 ft</b>
<b>Fcd</b>	<b>1</b>



**PRUEBAS DE INYECCIÓN EN POZOS NO FLUYENTES CON LA HERRAMIENTA DE CIERRE  
EN FONDO PARA EL CONTROL DE ALMACENAMIENTO**

---

# **CAPITULO**

## **5**

### **CONCLUSIONES**



# CONCLUSIONES

- La herramienta para el control de almacenamiento en pruebas de inyección en pozos no fluyentes ha sido evaluada en campo, corroborándose su efectividad al obtenerse resultados satisfactorios, minimizando los tiempos en las pruebas de variación de presión.
- Con la herramienta de cierre en fondo se obtiene una respuesta inmediata del yacimiento lo que ayuda en forma significativa a los analistas de pruebas de presión ya que la eliminación del almacenamiento da como resultado la respuesta del yacimiento en tiempos cortos.
- Con el empleo de la herramienta se logra una reducción en los tiempos de operación, lo que implica un ahorro económico para PEMEX
- Utilizando la herramienta de cierre en fondo se obtiene información que permite la evaluación directa de los parámetros del yacimiento como son: permeabilidad (K), daño a la formación (S), caída de presión debida al daño ( $\Delta PS$ ), potencial de la formación (Kh), con la interpretación de la derivada el tipo de flujo que se tiene en el yacimiento, etc.
- La herramienta se encuentra en una etapa de mejora, que permitirá continuar su aplicación en yacimientos de diversas características.