



## Validación Del Perfil De Presiones Obtenido con el Simulador PulsFrac Mediante los Datos Del Sensor FastGauge

Camacho Llanos Berman Stalin<sup>1</sup>, Ing. Malavé Tomalá Klever Geliver<sup>2</sup>  
Facultad de Ingenierías en Ciencias de la Tierra  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)  
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral  
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador  
[bcamacho@espol.edu.ec](mailto:bcamacho@espol.edu.ec)<sup>1</sup>, [kmalave@espol.edu.ec](mailto:kmalave@espol.edu.ec)<sup>2</sup>

### Resumen

*El presente trabajo tiene por objetivo validar los datos de presión dinámica dados por un simulador, con los valores reales del pozo obtenidos por el sensor de alta velocidad FastGauge utilizado durante la operación de cañoneo de las formaciones productivas. Las técnicas dinámicas de disparos StimGun y SurgePro, analizadas en esta tesis, tienen la gran ventaja de que limpian la zona dañada. Además, la primera origina microfracturas en la formación. Con el mejoramiento de los medidores de alta velocidad y software computacionales que incorporan los parámetros del pozo, del yacimiento y detalles del ensamblaje TCP utilizado, se logra entender de mejor manera la dinámica de las presiones.*

*La curva real obtenida de los datos registrados por el sensor dentro del pozo se compara con la curva dada por la simulación, para determinar si hay analogía entre los dos perfiles. De no haber concordancia, se cambian algunos parámetros en el simulador hasta lograr semejanza entre las curvas, con lo cual se pueden identificar los valores de las presiones presentes durante el trabajo.*

*La combinación del medidor FastGauge y el software PulsFrac que sirve para evaluar tratamientos dinámicos en los pozos, permite analizar los resultados obtenidos después de efectuar el cañoneo y entender el comportamiento del ensamblaje bajado en el pozo. Además, con los datos registrados por el Gauge OWR y la ayuda del software KAPPA obtenemos los siguientes valores: daño de formación (S), permeabilidad (K) e índice de productividad (IP). Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones.*

**Palabras Claves:** Presión dinámica, StimGun, SurgePro, Sensor FastGauge, Software PulsFrac, Software KAPPA, Daño de formación, Permeabilidad, Índice de productividad.

### Abstract

*This paper aims to validate the dynamic pressure data given by a simulator, with the actual values of the well obtained by high-speed sensor FastGauge used during the shelling operation of the producing formations. Dynamics techniques and SurgePro StimGun shots analyzed in this thesis have the great advantage of that clean the damaged area. Also, the first rise in the formation microfractures. With the improvement of high-speed measuring computer software that incorporate the parameters of the well, the site and details of assembly used in TCP is achieved better understand the dynamics of the pressures.*

*The actual curve obtained from data recorded by the downhole sensor is compared with the curve given by the simulation, to determine if there is analogy between the two profiles. If no match, changed some settings in the simulator to achieve similarity between the curves, which can identify the values of these pressures at work.*

*The combination meter PulsFrac FastGauge and software used to evaluate dynamic treatment wells, to analyze the results obtained after carrying out the shelling and understands the behavior of the assembly down into the well. Furthermore, the data recorded by the OWR Gauge and KAPPA software help obtain the following values: formation damage (S), permeability (K) and productivity index (PI). Finally, we present the conclusions and recommendations.*

**Key words:** Dynamic pressure, StimGun, SurgePro, Sensor FastGauge, PulsFrac Software, Software KAPPA, formation damage, permeability, index of productivity.

## 1. Introducción

Las operaciones de disparos constituyen un paso fundamental para establecer comunicación entre el yacimiento y la boca del pozo. No basta con abrir orificios en el revestidor de acero, en el cemento circundante y en la formación, utilizando métodos y cañones ofrecidos en catálogos de servicios. El diseño de los disparos constituye una parte integral del programa de pruebas y completación, donde se tiene que tomar en cuenta las características de la formación y los requerimientos del pozo.

El uso de modernos métodos de cañoneo permiten crear en la formación un sobre-balance dinámico utilizando la técnica “StimGun” (cañón mas propelente) o un bajo-balance dinámico mediante la tecnología “SurgePro” (cañón más cámaras de vacío). Estas técnicas de cañoneo originan comportamiento de presiones dinámicas en el fondo del pozo durante pequeños intervalos de tiempo.

Para entender la respuesta del fenómeno dinámico en la presión durante el proceso de cañoneo, las técnicas “STIMGUN” y “SURGEPRO” utilizan el medidor de alta velocidad “FastGauge” que registra los cambios bruscos de presión y temperatura originados por los disparos, datos que se utilizan para describir y validar los modelos computacionales utilizados y que además explican el comportamiento del evento dinámico originado por el cañoneo.

## 2. Sistema Sobre balance Dinámico mediante STIMGUN.

En La técnica consiste en un ensamblaje de cañón más propelente (químico) y combina el bajo-balance estático con sobre-balance dinámico. Cuando se realiza un trabajo de cañoneo, se espera que los conductos sean los más limpios con el menor daño posible y exista una buena comunicación entre el yacimiento y el pozo. Pero en muchos casos se obtiene un disparo lleno de residuos que son partículas de acero, de cemento y de roca compactada alrededor de cada conducto, lo que reduce la permeabilidad efectiva en casi un 70%.

La técnica del “STIMGUN” tiene como objetivo generar perforaciones limpias y garantizar un apropiado sobre-balance dinámico. Junto con el software PulsFrac permite diseñar el sistema de disparo más óptimo para lograr un exitoso trabajo de cañoneo.

El “STIMGUN” es más efectivo que los métodos convencionales de perforación porque combina la aplicación de cañones con cargas de alta penetración y un agente químico (propelente). El respectivo ensamblaje consta en la figura 1.

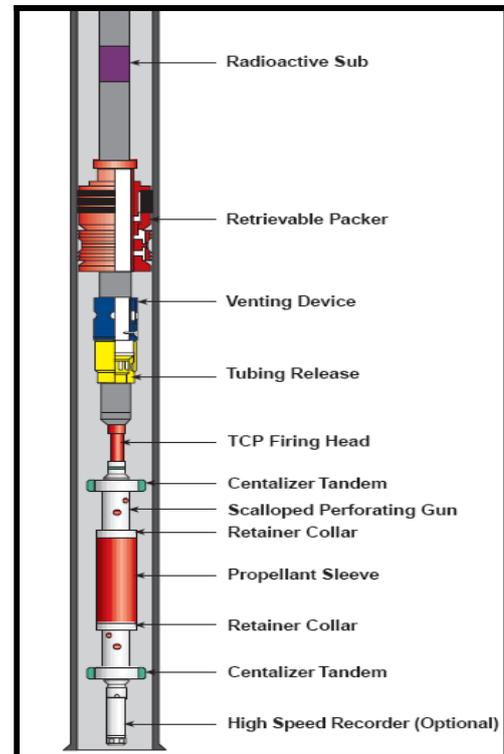


Figura 1. Ensamblaje STIMGUN.  
(Fuente: Halliburton)

La camisa formada por el propelente cubre la parte central del cañón y el componente químico reacciona cuando se efectúa el disparo, produciendo un reventón de gas, CO<sub>2</sub>, a alta presión, que ingresa por los punzados ocasionando pequeñas microfracturas, mejorando la conductividad del yacimiento, reduciendo el daño de formación y por consiguiente incrementando la permeabilidad efectiva de la misma. La figura 2 muestra el proceso descrito.

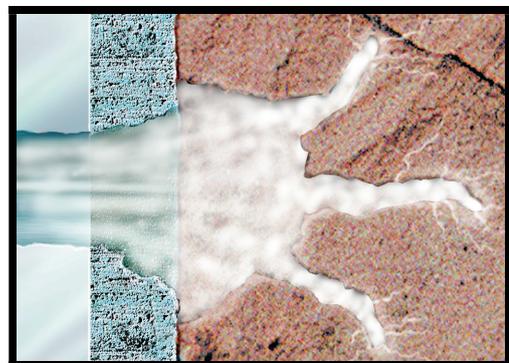


Figura 2. Acción del propelente.  
(Fuente: Halliburton).

## Beneficios.

El StimGun como sistema cañón-propelente produce micro-fracturas en la zona vecina al pozo, dando los siguientes beneficios:

- ✓ Estimula los alrededores de los punzados.
- ✓ Asegura la conductividad de la formación.
- ✓ Limpia y mejora los punzados resultantes.
- ✓ Excelente herramienta para estimulación de pozos.

Las principales limitaciones del cañoneo con propelente son:

- ✓ El propelente soporta una temperatura máxima de 350°F.
- ✓ Para su uso se necesita de una presión mínima de confinamiento de 500 psi.
- ✓ Se requiere utilizar cañones de por lo menos 4 disparos por pie.
- ✓ Los packers tienen que estar separados por lo menos 50 ft del cañón.
- ✓ Se debe controlar la velocidad si el ensamblaje se baja por medio de cable. La aplicación con TCP no presenta ningún inconveniente.

## 3. Sistema Bajo balance Dinámico mediante SURGEPRO.

El SurgePro es un sistema de surgencia dinámica que permite efectuar disparos con bajo balance, optimizando el índice de productividad porque crea un desbalance dinámico entre el yacimiento y el pozo.

El proceso consta de un sistema convencional de cañoneo, pero su innovación es una cámara al vacío cuya función es la siguiente: en el instante en que se ejecuta los disparos el pozo se presuriza debido a la energía resultante del cañoneo. Inmediatamente la cámara al vacío del SURGEPRO se activa absorbiendo la mayor cantidad de residuos originados por los disparos, garantizando la limpieza de las perforaciones y mejorando los índices de productividad.

La camisa de circulación del "SurgePro", que baja cerrada, se abre en el momento del cañoneo mediante la activación de un disco de perclorato de potasio que se encuentra en el interior de la misma. El perclorato activado abre la camisa permitiendo que el fluido del yacimiento llene las secciones de cañones, creando el efecto de surgencia dinámica. El desbalance puede durar varios milisegundos. La figura 3 presenta el funcionamiento del "SurgePro".

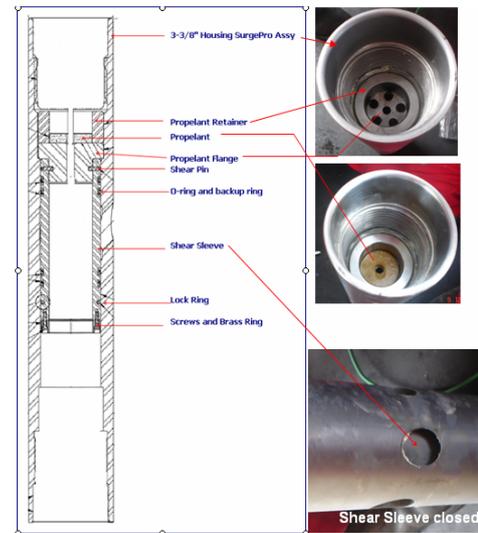


Figura 3. Funcionamiento del SURGEPRO.  
(Fuente: Halliburton).

## Secuencia de Cañoneo.

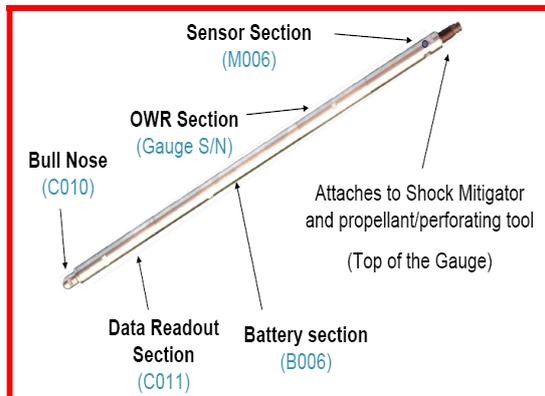
- Activación de la Carga.- Cada ignición ocurre en milisegundos y todos los disparos duran varios milisegundos.
- Los conductos son creados por el jet en microsegundos.
- La energía residual (mayormente gases) permanece en el cañón.
- La presurización de perforaciones y del pozo se inicia a partir de una compleja onda de movimiento de los fluidos.
- El intercambio de fluidos ocurre entre el cañón, el pozo y la formación, dando lugar a los Transientes de Flujo.

## 4. Sensor FastGauge.

El FastGauge fue desarrollado por el IES (Instrumentation and Engineering Services). Permite monitorear y grabar la condición quasi-estático del yacimiento o cambios rápidos de presiones asociadas con pruebas de pozos y producción.

El sensor también se puede utilizar para medir el movimiento, la aceleración y los niveles de vibración de la sarta de cañoneo.

Los avances tecnológicos de los medidores (gauges) son empleados por la industria del petróleo y del gas, como es el caso del Series 200 High Speed Pressure Gauge, mostrado en la figura 4 y utilizado en este trabajo.



**Figura 4. Sensor FastGauge**  
(Fuente: Instrumentation and Engineering Services).

Una aplicación especial del FastGauge de 1-11/16 pulgadas, OD, es utilizado como “drop bar” para encender el cañón y el propelente. La barra de disparo puede ser dejada en el pozo el tiempo necesario para registrar datos de presión.

### Especificaciones Del FastGauge.

- Las especificaciones son las siguientes:
- Memoria: 1 millón de datos
  - Graba a alta velocidad: 115,000 datos por segundo.
  - Frecuencia del sensor: 0 – 10,000 Hz
  - Rango de temperatura: -40°C hasta 120°C
  - Precisión: 0.024%
  - Si el rango de la presión es de 0 - 20,000 psi, la precisión es de  $\pm 4.8$  psi
  - Tamaño y peso
    - OD: 1-11/16” OD
    - Longitud: 10.5’ ; peso: 50 lbs.

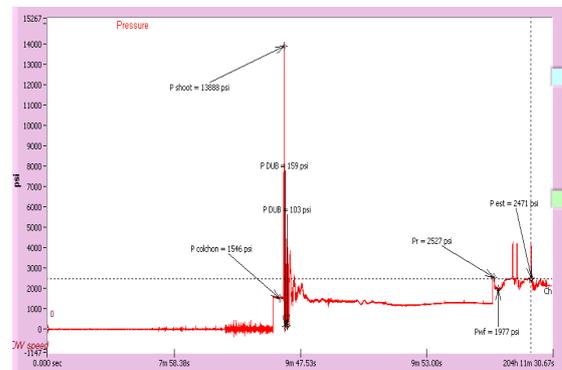
### 5. Selección de los Pozos

Para la realización de esta tesis se seleccionó los siguientes pozos: tortuga 10 al cual se aplicó la técnica del SurgePro y lobo 09 el StimGun.

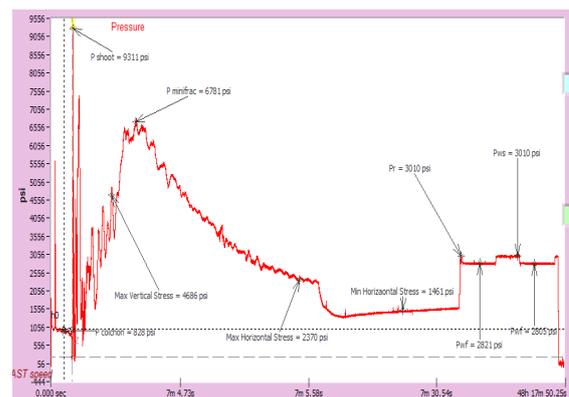
### 6. Información Proporcionada por El Sensor FastGauge.

El sensor registra los datos de presión desde el momento en que es encendido y liberado en superficie, en el viaje descendente, en el proceso de disparo y durante la prueba de producción de los pozos seleccionados: Lobo 09 y Tortuga 10.

Con la información dada por el FastGauge y aplicando el programa “OWR GAUGE”, se obtiene los perfiles reales de presión mostrados en las figura 5 y figura 6.



**Figura 5. Perfil de presión del pozo tortuga 10.**



**Figura 6. Perfil de presión del pozo lobo 09.**

### 7. Ajuste del Perfil de Presiones

Para ajustar el perfil de presión obtenido por el simulador PULSFRAC, se ingresan al mismo las curvas reales de presión indicadas en el punto anterior, lo cual permite efectuar los cambios necesarios en los parámetros manejados por el simulador para obtener una curva similar a la del software OWR Gauge, validando de esta forma la información del PulsFrac.

### 8. Interpretación de los Datos.

Para la interpretación del perfil de presiones mostrado en las figuras anteriores, El respectivo análisis se efectúa a continuación.

**Pozo Tortuga 10.**

La interpretación se realiza desde el momento en que la barra con el sensor es liberada en superficie hasta las 26,32 horas, donde el pozo se cierra para recuperar el TCP debido a la restricción al flujo que se puede originar por los residuos de los disparos efectuados y además porque este tipo de ensamblaje solo es para el servicio de cañoneo.

La barra choca con el colchón de agua en el pozo, viaja a través del mismo e impacta la cabeza de disparo del TCP con una presión de 1546 psi, momento en que se acciona el tren explosivo. También la barra de disparo donde va acoplado el sensor viaja por el colchón de agua alrededor de 1 minuto 20 segundos.

Utilizando las cargas moldeadas, la máxima presión en el momento de la detonación es de 13888 psi. Posteriormente ocurre la generación del desbalance dinámico desde la formación hacia la boca del pozo y por tanto existe flujo de fluidos.

Se evidencia que existen dos zonas de surgencia debido a que se perforaron dos intervalos productores. La presión mínima de desbalance hacia el pozo es de 159 psi y 103 psi, en cada intervalo disparado.

La presión restaurada del yacimiento es 2527 psi, obtenida después de 7 horas, 18 minutos y 1 segundo, desde el momento del disparo, la presión de fondo fluente es 1977 psi.

**Pozo Lobo 09.**

La interpretación se realiza desde el momento en que la barra con el sensor es liberada en superficie hasta las 49 horas, donde el pozo se cierra para recuperar el TCP.

Como se puede ver en el perfil, la barra choca con el colchón de agua, viaja a través del mismo e impacta la cabeza de disparo del TCP con una presión de 828 psi, momento en que se acciona el tren explosivo. Además se puede observar que la barra de disparo, donde va acoplado el sensor, viaja alrededor de 14 segundos por el colchón de agua.

Utilizando las cargas Millenium II, la detonación alcanza un máximo valor de presión que es de 9311 psi. Posteriormente ocurre la generación del sobrebalance dinámico desde el pozo hacia la formación y por tanto flujo de fluidos en la misma dirección por la combustión del propelente, dando una extensión de la microfractura de 3.2' con 6781 psi, compactando la matriz en función del esfuerzo del yacimiento U Inferior, valor que es 2.25 veces la presión del yacimiento. De la validación del perfil de presión se determina que el gradiente de fractura es 0.56 psi/ft,

siendo 4686 psi el máximo esfuerzo vertical, 2370 psi el máximo esfuerzo horizontal y 1461 psi el mínimo esfuerzo horizontal.

El valor de la presión restaurada del yacimiento es 3010 psi, que se obtiene en 1 horas, 2 minutos y 13 segundos. Además la presión de fondo fluente es 2821 psi.

El diferencial de presión del yacimiento hacia la sarta TCP en la cara del pozo es de 189 psi, generado por la energía del yacimiento al producir 2160 bfpd a flujo natural.

**9. RESULTADOS**

**Tabla 1.** Resultados de la interpretación por kappa.

<b>Resultado de la Interpretación en Kappa-Saphire</b>		
	<b>lobo 09</b>	<b>tortuga 10</b>
<b>Método de Horner</b>		
Permeabilidad (md)	760	141
Skin	-2.9	1.35
Presión media(psi)	3010	2470
Presión a 1 hr (psi)	2813	2434
<b>Método de la derivada</b>		
Permeabilidad (md)	785	149
Skin	-2.9	1.59
t match (hrs)	968	1210
P match (psi)	0.082	0.0583
Almacenamiento (bbl /Psi )	9.50E-03	8.24E-04
L Longitud a la falla (ft)	1400	134
Angulo entre las fallas (deg)	0	29
<b>Índice de productividad</b>		
IP Actual( Stand bpd/psi)	<b>10.15</b>	<b>1.72</b>
IP Ideal (Stand bpd/psi)	10.15	1.99
Eficiencia de Flujo	1	0.87
AOFP(max Qt) (bfpd)	22738	1179
Capacidad de Flujo (md/cp)	623	65.35



## 10. CONCLUSIONES

- El medidor de presiones “FastGauge” realiza dos trabajos en un solo paso: actúa como parte integrante de la barra de disparo y registra las variaciones de presiones desde el momento de la detonación de los cañones hasta la evaluación del pozo, mostrando un perfil de presiones dinámico en condiciones fluyentes y a niveles de la detonación, en alta velocidad de registro.
- La aplicación del sensor “FastGauge” permite obtener datos precisos de las presiones del yacimiento después del disparo, reduciendo costos, ya que no se requiere el servicio de otra compañía para lograr dicha información.
- Los datos del memory gauge verifican el funcionamiento de la herramienta StimGun y en conjunto con el software PulsFrac, determinan la respuesta de la fractura creada en la formación y el perfil se utiliza para verificar la ignición del proppante.
- Los resultados de los datos de presión a alta velocidad obtenidos con el sensor FastGauge se comparan con los calculados por el simulador PulsFrac, para verificar la validez de la simulación. El software disponible para diseñar y evaluar los tratamientos dinámicos permite la optimización de la sarta de trabajo y la evaluación de los posibles resultados antes de efectuar la operación, para entender el comportamiento que seguiría la herramienta cuando se corra en el pozo.
- Con la aplicación del software KAPPA se determina parámetros del yacimiento como: permeabilidad, índice de productividad, factor de daño y la extensión (límites) del yacimiento.

## 11. RECOMENDACIONES

- El StimGun es ideal para formaciones de baja permeabilidad por cuanto las microfracturas creadas reducen el daño de formación en la zona invadida.
- La tecnología SurgePro es recomendable para formaciones con altas permeabilidades (800 – 1500 md), porque maximiza la surgencia dinámica, limpiando los canales generados por los disparos.

- Para ejecutar un trabajo con STIMGUN o SURGEPRO se tiene que calcular el desbalance óptimo para controlar la presión de la formación, de manera que no afecte las tuberías del pozo.
- El medidor de presión de alta velocidad “FastGauge” debe ser utilizado en disparos con proppante, para caracterizar los parámetros de ignición de este producto en el pozo.

## 12. BIBLIOGRAFÍA

- [1] L.A. Behrmann,\*SPE, and Bryan McDonald, Schlumberger Wireline and Testing, Underbalance or Extreme Overbalance.
- [2] SPE 56469.A Review of Field Performance of New Propellant/Perforating Technologies. Jim Gilliat, Halliburton Energy Services, Inc., Phillip M. Snider, SPE, Marathon Oil Company, and Robert Haney, HTH. Technical Services, Ltd. Copyright 1999, Society of Petroleum Engineers Inc. Houston, Texas.
- [3] Applications of an Advanced Dynamic Underbalance Perforating System for Improved Oil Production in Development Wells: Case Histories from Eastern Venezuela. Carmen Casas, Alexis Matthey, Osmel Molina, Alejandro Larez and Carmen Betancourt, PDVSA E&P, and José Mata, Maged Fam\* and Ricardo Fernández, Halliburton.
- [4] SPE 71594 A Newly Designed Electronic Memory Gauge Improves Reservoir Characterization. M. Azari, C. Fraser, H. Kool, and M.Y. Soliman, SPE, Halliburton Energy Services.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL  
CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.