"Análisis Técnico y de Costos del uso del StimGun Como Método de Punzonamiento en algunos Pozos de Petroproducción"

Jacqueline Boas Matamoros[1]
Ing. Ángel Martínez Andrade[2]
Ing. Héctor Román[3]

[1] Ingeniero en Petróleos 2009, e-mail: j_vbm@hotmail.com
[2] Ingeniero en Petróleos de la Empresa Halliburton en el área de Wireline Perforating Services.
[3] Director de Tesis, Ingeniero en Petróleo, Coordinador de Ingeniería de Petróleos en Petroproducción - Lago Agrio, Profesor de la ESPOL desde 1990, e-mail: hroman@espol.edu.ec

Resumen

La técnica de punzonamiento STIMGUN, combina el uso de cañones con cargas de alta penetración y propelentes. Esta herramienta es un conjunto compuesto de camisas estimulantes de material propelente las cuales son colocadas externamente al cañón y se activan instantáneamente al momento del disparo generando grandes cantidades de gases a alta presión sobre las perforaciones, creando micro fracturas que mejoran el canal de flujo de la formación hacia el pozo.

El StimGun fue desarrollado para reducir el daño en la formación y mejorar su productividad; por tanto, la presente investigación está dirigida al estudio de la tecnología y al análisis de costos de la implementación de esta técnica de punzonamiento, basada en la descripción de fundamentos teóricos y técnicos del proceso, la comparación entre el STIMGUN y otras técnicas utilizadas, como TCP convencional y SurgePro. Además, se hace uso de dos simuladores, PERFPRO Y PULSFRAC, de la Empresa Halliburton, que permiten variar ciertos parámetros, como son: propiedades petrofísicas, densidad de cañoneo, daño de formación, penetración de disparo, entre otros, con el fin de obtener el mejor diseño de cañoneo y de esta manera determinar la eficiencia de esta técnica.

Palabras clave: Cañoneo con propelente para estimulación de pozos

Abstract

STIMGUN technique combines the use of guns with high penetration charges and propellants. This tool is a set composed of stimulants sleeve propellant material, which are located externally around the gun and are activated instantly at the time of the shooting, generating large amounts of high-pressure gas drilling on creating micro fractures that improve the flow channel formation toward the well.

The StimGun was developed to reduce formation damage and improve productivity, and therefore this research is addressed to the study of technology and cost analysis of implementing this new technique, this is based on the description of theoretical and technical foundaments of the process, the comparison between STIMGUN and other techniques that are conventional TCP SurgePro. All this was done by placing two simulators consideration PERFPRO and PULSFRAC, which allows you to vary certain parameters, such as: petrophysical properties, density of gunfire, formation damage, penetration of shot, among others, in order to obtain the optimal design of bombardment and thus determine the efficiency of the new technique

Introducción

El procedimiento más importante que se realiza antes de poner a producir un pozo es la operación de Punzonamiento, que básicamente es establecer la conectividad desde el reservorio hacia las paredes del pozo y se lo obtiene con la utilización de cargas que son disparadas a través de la tubería de revestimiento, cemento y llega hasta la formación.

Por tal motivo la selección del correcto sistema de cañoneo es de suma importancia para obtener una mayor productividad o inyectividad según sea el caso.

La necesidad de realizar punzados más eficientes han dado lugar al estudio de nuevas alternativas, como la del STIMGUN, por tanto el objetivo principal que orientó a proponer un Análisis Técnico y de costos de esta técnica, es determinar de qué manera el diferencial de presión alrededor de los orificios de las perforaciones intervienen en el incremento de producción.

Cuando se realiza un punzonamiento, se presenta un daño en la formación, el cual es causado por la presión del impacto del disparo que traspasa el acero, cemento, roca y fluidos dentro de la formación que lo rodea. Como resultado de dicho impacto se presenta escombros sueltos en los ductos de los perforados ejecutados, por tanto, el daño debido al cañoneo puede ser un considerable limitante tanto para la productividad como la inyectividad de un pozo.

Bajo estos antecedentes y para garantizar que no se cause un daño mayor a la formación, es necesario remover estos residuos y minimizar el daño causado por el punzonamiento. Para esto se requiere, en la mayoría de los casos, de procedimientos adicionales como son: estimulación ácida, lavado con salmuera, fracturamiento hidráulico, herramientas especiales de limpieza para el fondo del pozo (Chorros hidráulicos), entre otros.

Una parte importante de la investigación de pozos ha sido tratar de mitigar los daños inducidos por los punzados, logrando disparos 100% limpios, sin importar el tipo de formación que se está perforando, ni las condiciones del pozo. Lo que consecuentemente daría como resultado una eficiencia del 100%, dando lugar a un área efectiva de influjo mayor, de reducido caudal, con lo cual podremos controlar los problemas de arenamientos y posibles fallas en el pozo.

La presente investigación enfoca los principales parámetros bajo los cuales se puede aplicar el Stimgun como método de Punzonamiento TCP de Bajo Balance para lo cual se hizo una evaluación y comparación con otros métodos utilizados actualmente, como es el TCP convencional y el SurgePro.

Parámetros que intervienen en la realización de un punzonamiento.

Para realizar los punzados en un pozo se debe tomar en cuenta muchos factores que faciliten tanto el diseño como la ejecución de los disparos, por ello es necesario hacer un estudio detallado, que permita obtener una buena productividad**.**

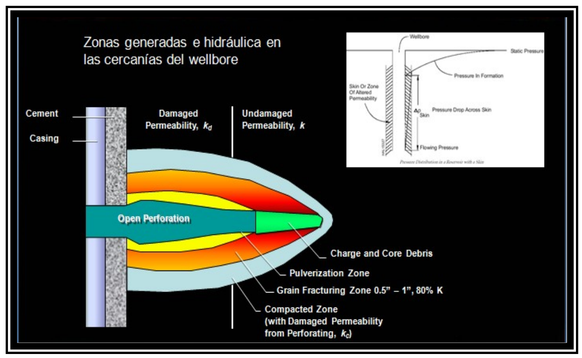

Figura 1. Factores que causan daño a la formación y su efecto en la permeabilidad. (Fuente: Halliburton)

Factores que intervienen en un Disparo

- Taponamiento del disparo.
- Presión diferencial.
- Resistencia y compresión de la formación.
- Densidad de disparo.

Factores que afectan la productividad del pozo luego del punzonamiento.

- Factores Geométricos.
- Origen del Daño de formación:
  - ✓ Daño por Invasión de sólidos.
  - ✓ Daño generado por el cemento.

- ✓ Daño generado por el disparo.
- ✓ Daño generado por el fluido de terminación.

- Penetración del Disparo.

Tecnología con Propelentes

Las compañías que individualmente colaboraron con sus investigaciones en el desarrollo de la Tecnología con propelentes, integrando a la perforación, simulación y producción de pozos, modelos computarizados y tecnología de recolección de datos a alta velocidad, son: HTH Technical Services, Inc; Owen Oil Tools; John F. Schatz Research & Consulting, Inc; Computalog, IES (Instrumentation and Engineering Services), cuyos acuerdos de licencia para el cuerpo de la tecnología de Stimgun están disponibles en el Grupo de Desarrollo de Tecnología de Propelente a través de *MARATHON OIL COMPANY*, como dueña de los derechos del producto.

Desde los inicios de la industria petrolera hasta 1940, se utilizó nitroglicerina y un tipo de explosivos que se utilizaban en general para estimular los pozos.

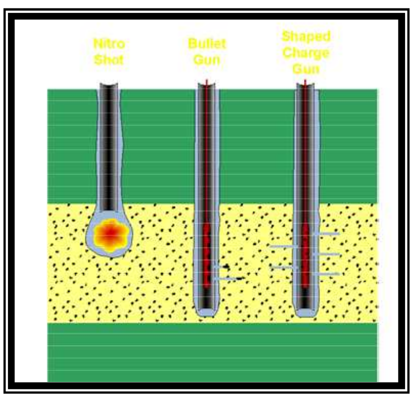

Figura 2. Evolución de los procesos para punzonamiento
(Fuente: Schlumberger)

Los propelentes sólidos fueron inducidos a la industria petrolera en 1970. Se inició con una herramienta cilíndrica, con un tapón al fondo y un sistema de ignición.

Con el paso de los años los estudios dieron su resultado y se desarrollaron tecnologías que mejoraron el método de punzonamiento. Es así que se realizaron pruebas, diseñando una nueva herramienta la cual prioriza la estimulación de pozos, junto con programas de simulación sofisticados, usando un registrador de datos de alta velocidad.

La importancia y el éxito de la tecnología de los propelentes radican en que posee:

- Una fusión integral de ciencia e ingeniería.
- Innovación en diseños de herramienta/propelente.
- Alta velocidad de adquisición de datos, con sofisticados sistemas computarizados.
- Análisis de datos y optimización del trabajo.
- Extensa experiencia en el campo.

Este propelente ha sido diseñado para ser utilizado en tres casos, como: Herramienta de estimulación de pozos, Ensamblaje de StimGun, StimTube y Surge Pro.

Tanto el Stim Gun como el Surge Pro poseen el mismo ensamble de cañón, que es el de un cañón convencional, radicando su diferencia en las condiciones y parámetros para su aplicación.

Proceso de Punzonamiento

El punzonamiento o cañoneo comienza desde el posicionamiento en el fondo del pozo, junto a una zona productora, de un “CAÑÓN”, que contiene explosivos con cargas de formas específicas y hechas especialmente para poder causar perforaciones en pozos entubados.

Todo cañoneo se genera, en una fracción de segundo, por medio de cargas huecas, las cuales tienen un efecto de cavidad explosiva, es decir, tiene un revestimiento de partículas metálicas prensadas cuyo objetivo es aumentar la penetración.

Las cargas consisten de tres partes principales que son: un explosivo, un casco, un liner cónico con un cable detonador. Cada uno de estos componentes debe estar fabricado con características exactas y con estrictos estándares de calidad.

Figura 3. Proceso de penetración de la carga (Fuente Halliburton)

El proceso para realizar los disparos, comienza cuando al detonar el explosivo principal, se produce un colapso en la camisa dando lugar a un chorro de partículas metálicas fundidas que se impulsa a alta velocidad a lo largo del eje de la carga. Este chorro es de gran potencia y se presenta en una forma similar a una ráfaga, la cual tiene una punta que va a una velocidad mayor que la de la cola de la misma. Este gradiente de velocidad causa un alargamiento del chorro, el cual atraviesa primeramente el revestidor, luego el cemento hasta finalmente llegar a la formación

TABLA 1
Terminología de las formas de las cargas de Halliburton

TIPOS DE CARGAS DE PENETRACION PROFUNDA	
DP	Deep Penetrating
SDP	Super Deep Penetrating
DP/LD	Deep Penetrating /low debris
Millennium charge	Trade Name Premium DP
dominator charge	Trade Name Special DP
TIPOS DE CARGA DE AGUJERO GRANDE	
BH	Big Hole
BH/LD	Big Hole/low Debris
SH	Super Hole
SH/LD	Super Hole/Low Debris
Mirage charge	Trade Name Special BH/LD
Excalibre Charge	Trade Name Hybrid BH/DP for Dual Casing Applications

STIMGUN

Cuando se realiza un punzonamiento, se espera que los perforados sean limpios y exista conductividad del reservorio a las paredes del pozo. Pero en muchos casos, lo que se obtiene es un túnel lleno de residuos, con una superficie de partículas de acero, de cemento y roca compactada alrededor de cada punzado, lo que reduce la permeabilidad efectiva en casi un 75%.

La técnica de punzonamiento STIMGUN tiene como objetivo generar unas perforaciones limpias, y garantiza que el apropiado sobre-balance dinámico junto con el hardware (cañón más propelente) y software (Perfpro, PulsFrac), se diseñe el sistema más óptimo para lograr un trabajo de punzado exitoso.

El sistema STIMGUN es más efectivo que los métodos convencionales de perforación pues combina la aplicación de cañones con cargas de alta penetración y propelentes. Las camisas de propelente se colocan recubriendo al cañón y reacciona en el instante que se produce el disparo, produciendo un considerable porcentaje de gas a alta presión pasando por los punzados y ocasionando micro-fracturas lo que mejora la conductividad del pozo, reduce el daño de formación y por ende la permeabilidad efectiva aumenta.

Componentes

El ensamblaje de Stimgun está conformado por un tubo normal usado en cualquier sistema de cañoneo (porta cargas), el cual está armado por explosivos, cargas, booster, primacord (cable detonante), y a este conjunto se le adiciona una camisa de propelente al tubo del cañón. Esta camisa queda segura al cañón a través de dos anillos que la sujetan al cuerpo del cañón.

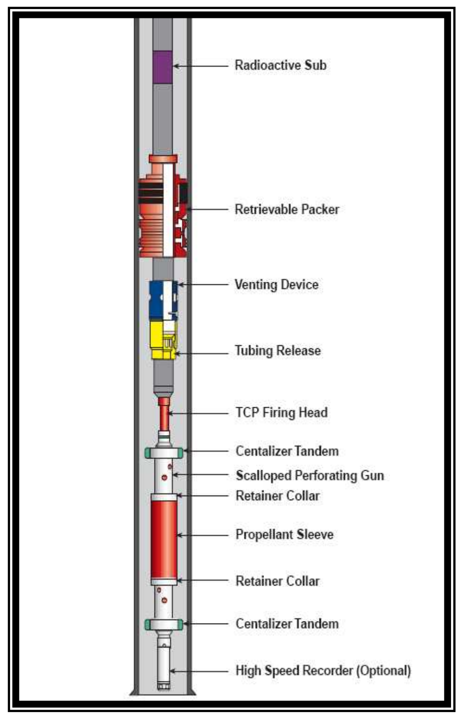

Figura 4. Ensamblaje del Stimgun
(Fuente: SPE - Halliburton)

El propelente es un compuesto oxidante formado por partículas de perclorato de potasio y una resina epóxica. Por tal no debe considerarse como explosivo y para su activación necesita de condiciones instantáneas de presión, temperatura y además confinamiento.

Cuando el propelente reacciona por la acción de los explosivos genera un gas, de alta tasa de expansión aproximadamente 1500:1 y ultrarrápida (en milisegundos).

Con la activación del propelente se presenta una estimulación en los punzados, y esto es una consecuencia de la liberación de CO_2 (gas) en condiciones de sobre-balance, logrando micro-fracturas en el túnel del punzado, mejorando la conductividad del reservorio.

Este sistema con propelente o STIM GUN, puede ser bajado ya sea con Cable Eléctrico (L&P, Loggin and Perforating), ó con TCP (Tubing Coveyed Perforating).

Condiciones para el uso del StimGun

Las condiciones de reservorio no necesariamente deben ser las mejores para poder aplicar Stimgun, por el contrario, este proceso puede ser aplicado en condiciones petrofísicas pobres (considerándose en Ecuador como permeabilidades bajas, a las formaciones que tienen una permeabilidad menor a 300md) ya que su objetivo es mejorarlas con la aplicación del propelente.

Así mismo, el ensamblaje StimGun puede ser bajado al pozo por medio de cable eléctrico, tubería, tubería de perforación, o con tubería flexible, (TCP).

Los Datos que se requiere para una propuesta con Stimgun (TCP) son:

Configuración mecánica del Pozo
Es necesario conocer el detalle de la condición mecánica del pozo, en especial:

- Detalle de Revestidores.
- Detalle de Tuberías.
- Deben conocerse parámetros como: pesos, dimensiones, profundidades, desviación del pozo, longitudes, conexiones, profundidades.

Registro

Se debe disponerse de registros tales como:

- Registros de Temperatura.
- Registros de Desviación (Selección del cabezal de disparo).
- Registros de cementación (CBL, CASTV, USIT, SBT).
- Cualquier otro Registro corrido.

Parámetros de Yacimiento
Es sumamente importante disponer de estos parámetros, ya que de ellos depende la selección de un sistema de cañoneo óptimo para una aplicación en particular, entre estos parámetros están: permeabilidad, Porosidad, Esfuerzos, Temperatura, Condiciones del Cemento, Presiones, etc.

Una vez que se obtienen estos parámetros, y en conjunto con las condiciones mecánicas del pozo se hacen las simulaciones correspondientes para obtener el desempeño de la carga y cañón seleccionado en condiciones de fondo para lo cual se tiene en cuenta lo siguiente:

- ✓ Los simuladores disponibles son: WEM, PerfPro, PulsFrac; se debe tomar en cuenta los formatos adecuados.
- ✓ La temperatura es un parámetro básico para la selección del explosivo de trabajo (HNS, PYX, HMX, RDX).

Como se puede notar el sistema de cañoneo con propelentes resulta ser de mucha utilidad para mejorar las condiciones de producción, pero el uso del propelente en el cañoneo tiene ciertas limitaciones tales como:

- ✓ El propelente soporta una temperatura máxima de 350ºF.
- ✓ Para su uso se necesita de una presión mínima de confinamiento de 500 psi.
- ✓ En superficie debe tener por lo menos 100 ft. de aire o gas.
- ✓ En el ensamblaje de los cañones se requiere utilizar cañones de por lo menos 4 tiros por pie y nunca a 0º fase.
- ✓ El sistema tiene que estar centralizado.
- ✓ Las empacaduras o tapones tienen que estar separados a por lo menos 50 ft.
- ✓ Si el ensamblaje se baja por medio de cable, la velocidad es restringida por protección del sistema la cual es máximo de 50 ft, por otro lado la aplicación con TCP no presenta ningún inconveniente.

Principios de funcionamiento del StimGun

El cañón es detonado como en un sistema de cañoneo normal y durante el proceso la camisa de propelente se activa rápidamente y produce una explosión en la cual hay liberación de gas a alta presión. Este gas es el que entra en los túneles de los disparos y crea mini- fracturas alrededor de las los agujeros y reduce la zona dañada, dando origen a una mejor conductividad del reservorio al pozo

La fractura de los punzados ocurre y crece debido a la continua generación de gas y al consumo progresivo de propelente y la reacción del gas se realiza en 12 milisegundos.

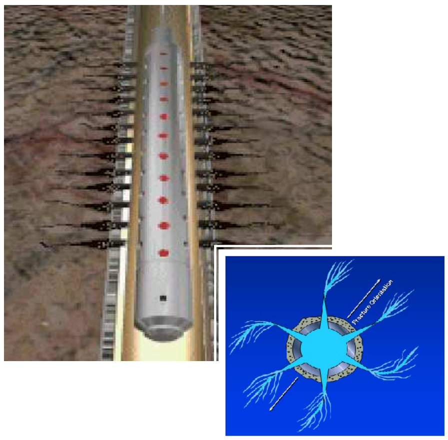

Figura 4. Una vez que se forma el túnel del punzado, el propelente empieza reaccionar y se efectúan las mini-fracturas. (Fuente: Halliburton)

Selección de pozos y diseño del punzonamiento con STIMGUN

Todos los pozos que poseen baja permeabilidad son candidatos potenciales para el punzonamiento con StimGun. La utilización de los softwares PerfPro - PulsFrac y la evaluación del tipo de roca, tipos de fluidos, porosidad y permeabilidad de la formación, y la ejecución de simulaciones, ayudan a determinar si la técnica de STIMGUN seria la apropiada para el punzonamiento con bajo –balance y sobre- balance dinámico de un pozo. El logro del adecuado desbalance y el propelente asegura la limpieza de los túneles.

Para el desarrollo de esta investigación se tomaron en cuenta cinco pozos ubicados en el Distrito Oriente del Ecuador, los cuales son Sacha 214D, Sacha 228D, Cuyabeno 28D, VHR 22 y Auca 70D. A continuación se detalla el proceso técnico y analítico para el procedimiento de cañoneo con StimGun.

Análisis de la efectividad del Stimgun en los pozos seleccionados

La efectividad de una operación de cañoneo esta principalmente relacionada al radio de penetración del disparo, el cual tiene que ser mayor al radio de daño de formación producido por invasión del pozo. Es decir que la penetración que sobrepasa la zona de daño incrementa la productividad (PR). Por otro lado este criterio se puede complementar al tomar en consideración que la limpieza de los disparos es un factor importante que interviene en dicha efectividad.

Por tanto el método de STIMGUN al fusionar alta penetración y limpieza de punzados (propelente), presenta mayor posibilidad de obtener efectividad en los disparos. Para lo cual se puede comparar los radios de invasión (r_s) y la penetración del disparo (P) en los pozos seleccionados como objetivo de estudio. Y se indica en las siguientes tablas:

Tabla 2
Penetración en los pozos cañoneados con StimGun

Pozo	Arena	Diámetro (Plg)	Tipo de Carga	Dpp	Penetración Total En La Formación (Plg)	Penetración Promedio En La Formación (Plg)	Diámetro Promedio de Orificio (Plg)
SACHA 214D	Hi	4 5/8	MILLENIUM	5	42,70	29,81	0,35
		4 5/8	DOMINATOR	5	51,70	35,20	0,42
		4 5/8	RDX DP	5	35,20	26,31	0,32
SACHA 228D	H i	4 5/8	MILLENIUM	5	42,70	29,81	0,35
		4 5/8	DOMINATOR	5	22,00	35,20	0,42
		4 5/8	RDX DP	5	35,20	26,31	0,32
CUYABENO 28D	U i	4 5/8	MILLENIUM	5	43,20	29,92	0,35
		4 5/8	DOMINATOR	5	51,70	36,00	0,42
		4 5/8	RDX DP	5	38,00	26,40	0,32

Tabla 3
Penetración en los pozos cañoneados con StimGun

Pozo	Arena	Diámetro (plg)	Tipo De Carga	Ddp	Penetración Total En La Formación (Plg)	Penetración Promedio En La Formación (Plg)	Diámetro Promedio De Orificio (Plg)
VHR 22	Basal Tena	4 5/8	MILLENIUM	5	52,30	32,20	0,37
		4 5/8	DOMINATOR	5	61,20	36,50	0,45
		4 5/8	RDX DP	5	31,30	27,10	0,33
AUCA 70D	Napo Ti	4 5/8	MILLENIUM	5	53,20	31,87	0,37
		4 5/8	DOMINATOR	5	62,20	36,60	0,44
		4 5/8	RDX DP	5	43,40	26,40	0,32

Partiendo de la simulación y utilizando varias opciones de carga, se observa que se obtiene mejores resultados con las cargas MILENNIUM, debido a que la penetración de la carga es la suficiente para sobrepasar el radio de invasión. En cambio, las cargas DOMINATOR, son una buena opción, pero no se encuentran aún normalizadas dentro de las cartas 19 API, pero se conoce que tiene una eficiencia 21% mayor a la carga MILENNIUN. Por tanto para complementar el uso de propelentes, con una penetración de 53.2 pulgadas de la carga Milennium, otorga mayor eficiencia.

Por medio del sensor FastGauge acoplado a la barra de disparo, se obtiene las presiones de reservorio (Pr), presión de fondo fluyente (Pwf), permeabilidad (K), daño de formación (S), índice de productividad e investigar sobre la existencia de límites, con la finalidad de conocer el potencial productivo de la arena "Hollín inferior, Napo U inferior, Basal Tena y Napo T inferior" y sus relaciones de afluencia del sistema Yacimiento – Pozo

De los resultados de los pozos cañoneados con la técnica STIMGUN y SurgePro se puede realizar el análisis en cada pozo, a partir de la penetración alcanzada durante el cañoneo y el incremento porcentual que se produce en la productividad (manteniéndose los parámetros empleados y generados por el pozo); además se considera la referencia una penetración de 26,31 pulgadas, que se pudo haber alcanzado si se utilizaba otro tipo de carga. Por tanto se detallan los resultados obtenidos y observaciones para cada pozo a continuación:

		sacha 214D	Sacha 228D	Cuyabeno 28D	Cuyabeno 28D		VHR 22	Auca 70D
Fast Gauge	STIMGUN	SI	NO	NO	SI	SURGEPRO	SI	SI
St estimado		5,7	1,19	>20	9		5	4,2
St obtenido		3,79	-3,20	<20	-2,9		0,275	-0,839
IP estimado		1,86	0,64	20,6	10,15		0,2	0,65
IP actual		4,84	1,12	5,37	10,15		0,286	0,71
Ko		310	340	2630	785		358	369
POR		0,16	0,15	0,18	0,18		0,15	0,15
PR estimado		0,4	0,76	0,15	0,4		0,5	0,55
PR obtenido		1,396	2,82	0,20	2,4		0,94	1.19

Índice de productividad

PR obtenido

Ventajas y Desventajas del Sistema de Punzonamiento con Stimgun.

Ventajas:

- Una de las principales ventajas del STIMGUN como tal, es que permite profundizar, garantiza la limpieza en el túnel de las perforaciones y de esta manera queda el pozo estimulado o permite la preparación para estimulación.
- Garantizar la conectividad con la formación.
- Se puede aplicar en formaciones con baja permeabilidad.
- Reducción de Finos.
- Excelente herramienta para estimulaciones en pozos horizontales.
- Permite cañonear un intervalo largo o un corto con la misma eficiencia.
- El Stimgun puede ser aplicado en pozos con temperatura hasta 350 grados F.
- Se puede utilizar el StimGun como parte de una sarta de TCP para cañoneos de bajo Extremo Sobre Balance.
- El ensamble de Stimgun puede ser bajado con tubería (TCP) por debajo de una empacadura.

Desventajas:

- No se puede utilizar esta tecnología para cañoneos que requieren profundidad de penetración limitada.
- Esta tecnología no permite cañonear con cero grados de fase.
- Por seguridad no se debe aplicar el Stimgun cuando la base del intervalo a punzonar esté ubicada a menos de 50 ft del fondo, es decir del tapón.

Análisis Costo-Beneficio.

El presente estudio es una respuesta al interés de manifestar que la técnica de punzonamiento STIMGUN, es una alternativa importante que permite minimizar el daño de formación traduciéndose en un incremento de productividad ó inyectabilidad. Para ello se ha tomado en cuenta cuatro pozos mencionados en el punto 3.1; en los cuales se realizó el diseño en el software Perfpro, y Pulsfrac; considerando variación en los parámetros, es decir enfocando a los siguientes escenarios:

- Punzado con TCP convencional.
- Punzado con carga millenium en TCP (StimGun).
- Punzado variando el desbalance.

El Análisis de Costo-Beneficio, tiene como objetivo fundamental proporcionar una medida de la rentabilidad de este proyecto, mediante la comparación de los costos previstos con los beneficios esperados en la realización del mismo.

Por cuanto al realizar la comparación del proceso TCP convencional, STIMGUN y SurgePro; se puede definir la factibilidad de las alternativas planteadas. Partiendo del análisis técnico y en base a la simulación de los tres procesos y a la técnica que realmente se ejecutó, teniendo en cuenta que en todos los casos se utilizó Vann Gun de 4 5/8" y carga Millenium RMX, debido a que este explosivo es de alta penetración.

El objetivo de este análisis es determinar el incremento porcentual de producción tomando en cuenta factores como:

1. Producción promedio estimada que se obtuvo a partir de la simulación.
2. Producción promedio obtenida luego de la ejecución de StimGun y con la data obtenida por el sensor FastGauge.
3. Precio promedio de barril, debido a que los trabajos se realizaron entre los meses de Marzo a Julio del 2009, se considera un precio referencial de acuerdo a la fecha en que se ejecuto el trabajo, cuyo valor es de $52.

4. La diferencia entre la Producción que se obtiene con la aplicación de StimGun y la producción obtenida con la simulación es lo que relativamente se considera la GANANCIA.
5. Costo del proceso, el cual se encuentra detallado individualmente en el punto 4.1.
6. Diferencia de Costos entre procesos.
7. Beneficio Economico, el cual se obtiene de la diferencia entre la ganancia y la diferencia de costos.
8. Por último el incremento porcentual, lo cual es de interés para determinar si resulta factible la técnica de StimGun.

A continuación se presentara una tabla comparativa resumida, en la cual se muestra el nombre de los pozos, el tipo de proceso, la penetración de carga (Millennium), reducción del factor de daño, relación de productividad (PR), producción de fluido total (Qt), la tasa de producción de petróleo (Qo), el incremento de tasas (ΔQ), y el incremento porcentual.

COMPARACION DE COSTO-BENEFICIO ENTRE STIMGUN Y TCP CONVENCIONAL														
POZO	TIPO DE PROCESO	P (plg)	SKIN	PR	IP	Qt(bfpd)	Qo(bopd)	ΔQ (bppd)	PRECIO REFERENCIAL DE CRUDO ($)	GANANCIA	COSTO ($)	Diferencia de costos	BENEFICIO ECONOMICO	INCREMENTO Porcentual
sacha 214D	TCP convenc.	26,31	5,7	0,4	1,86	599	593	908	52	47216	20592,5	22519	24697	50,4
	STIMGUN	29,81	3,8	1.396	4,84	1506	1501				43111,5			
Sacha 228D	TCP convenc.	26,31	1,2	0,76	0,64	256	254	464	52	24128	20592,5	22519	1609	6,6
	STIMGUN	29,81	-3,2	2,82	1,12	720	718				43111,5			
Cuyabeno 28D	TCP convenc.	26,4	9	0,4	6,3	1190.7	1184,2	969,8	52	50429,6	20592,5	22519	27910,6	55,3
	STIMGUN	29,92	-2,9	2,4	10,15	2160	2154				43111,5			
COMPARACION DE COSTO- BENEFICIO ENTRE STIMGUN Y SURGE PRO														
VHR 22	STIMGUN	27,1	2	0,63	0,25	218,5	196,5	333,4	52	17336,8	43111,5	3646,5	13690,3	67,42
	SurgePro	32,2	0,3	0,94	0,3	1104	529,9				46758			
Auca 70D	STIMGUN	28,3	2,2	0,82	0,55	541,75	519,7	107,9	52	5610,8	43111,5	3646,5	1964,3	35
	SurgePro	31,87	-0,8	1,19	0,7	528	411,8				46758			

Recomendaciones

1. Debido a que el ensamble de cañones implica estar siempre en contacto con material explosivo, es necesario tomar las debidas precauciones, como evitar el uso de celulares y radios cerca de la zona de trabajo, además del uso de los implementos obligatorios de seguridad tales como: guantes, gafas, casco y botas de seguridad.

2. Principalmente se recomienda que para ejecutar un cañoneo con STIMGUN o SurgePro se tiene que calcular el desbalance necesario para contrarrestar la presión de la formación, siendo lo más acertado posible, ya que de no hacerlo podría existir daños en la tubería y ocasionar un trabajo errado.

3. Es muy importante que los datos de reservorio (petrofísica de la roca y fluidos, como: Permeabilidad, Porosidad, Esfuerzos, Temperatura, Condiciones del Cemento, Presiones, etc. ,) de la zona a perforar sean las adecuadas, ya que al existir algún un valor no confiable, afecta directamente en la ejecución del disparo. La obtención de Datos y la validación del modelo generado por PerfPro y Pulsfrac permitirán un claro entendimiento del proceso de cañoneo, dando capacidad de predicción y relacionándolo con las características especificas del yacimiento en evaluación.

4. El Stimgun es ideal para cañonear en las formaciones de baja permeabilidad, por cuanto el origen de las microfracturas reduce el daño en la zona de invasión.

5. El SurgePro en cambio es recomendable para formaciones de alta permeabilidad y en zonas con tendencias a arenamientos, por tanto el proceso de surgencia dinámica asegura la limpieza en los orificios de las perforaciones.

6. La aplicación del Fastgauge permite obtener datos más precisos de las condiciones del pozo luego del disparo y de esta manera se reduce costos de inversión porque no se necesita del servicio de otra compañía para la adquisición de datos e interpretación de resultados.

Conclusiones

1. El éxito de un cañoneo no solo radica en alcanzar la mayor profundidad de los disparos, sino en la limpieza del túnel de las perforaciones, por lo tanto el STIMGUN es una solución adecuada, porque con el propelente se da lugar a microfracturas que mejoran notablemente la conectividad y por ende la productividad o inyectabilidad del pozo.

2. El factor de daño (SKIN) es un parámetro importante para poder definir la eficiencia del disparo, por tanto se puede afirmar que el daño ocasionado por la perforación del pozo, cementación, y por el mismo punzonamiento, reduce la permeabilidad alrededor de las paredes del pozo de un 40% a 100% por lo tanto con la acertada aplicación del proceso STIMGUN reduce ese daño en aproximadamente en un 50%, reflejándose directamente en el incremento del índice de productividad.

3. Por otro lado en roca dura o con alta compresibilidad se puede esperar una penetración de aproximadamente 40% de la data API publicada y muchas veces la penetración es todavía menor pero con mejores resultados de productividad debido a la limpieza de las perforaciones.

4. La fusión del STIMGUN Bajo Balance con cargas de alta penetración permiten realizar un cañoneo eficiente y esto se refleja en el incremento del índice de productividad que es hasta de un 30%.

5. En lugar de la barra detonadora se aplicó el sensor FASTGAUGE, el cual registra los eventos más significativos del perfil de presiones; presentando evidencia muy clara de la presión de reservorio al momento de punzar, perfilaje del modelo de presión al consumir el propelente en la técnica StimGun, facilitando posteriores interpretaciones del Drawdown.

6. La ejecución de un trabajo de Cañoneo mediante la técnica de STIMGUN bajo balance es aproximadamente dos veces más costoso que haberlo efectuado con un sistema TCP convencional, sin embargo el incremento porcentual de las ganancias son de hasta un 60% bajo similares parámetros de operación requeridos.

7. En el pozo SACHA 214D, el valor de la Eficiencia de Productividad en función de la penetración que se consiguió con carga MILLENNIUN en el pozo es mayor en un 0.4% a la otra opción propuesta con carga RDX DP, pero a la vez esta ultima es menor en un 0.6 % con respecto a las Dominator. La Relación de Productividad es 1.396 para la penetración alcanzada y con una reducción de daño del 1.91%; aplicando STIMGUN con carga Millenium.

8. En el pozo SACHA 228D, el valor de la Eficiencia de Productividad de acuerdo a la penetración que se alcanzo con carga MILLENIUM es un 0.3% mayor que si se hubiera aplicado las RDX DP (que también son cargas de penetración profunda), y de igual manera, ésta última con respecto las Dominator tiene una eficiencia de 0.56% menos. La Relación de Productividad es 2.82 para la penetración alcanzada con 4,2% en la reducción del factor de daño utilizando el proceso de STIMGUN con carga Millenium.

9. En el pozo CUYABENO 28D, el valor de la Eficiencia de Productividad para la penetración que se alcanzó con Millenium en este pozo es mayor en un 0.36% a la otra opción propuesta y a su vez es 0.55% menor a lo que produciría una carga Dominator. La Relación de Productividad es de 2,4 para la penetración alcanzada. Con la aplicación de STIMGUN y carga Millenium se logra una reducción de casi un 10% en el factor de daño.

10. A partir de los valores de daño de formación total St (ideal o real) de los pozos seleccionados, se puede establecer un análisis cualitativo de la eficiencia de la técnica de punzado, el STIMGUN. Ya que partiendo de la simulación con Perfpro se obtiene valores estimados del St usando un sistema de cañoneo convencional TCP con cargas de alta penetración, con lo cual se obtiene valores positivos y mayores a 1.

Referencias

1. HALLIBURTON ENERGY SERVICES, Perforating Solutions, U.S.A., 2005-2007

2. J.DIAZ; C. SANCHEZ, Tesis “Análisis Técnico-Económico del uso de las diferentes técnicas de cañoneo en los campos operados por Petroproducción”.

3. 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.

4. **SPE 37326 Well Testing and Evaluation of Tubing-Conveyed Extreme Overbalanced Perforating** Mehdi Azari, SPE, John Burleson, SPE, Mohamed Soliman, SPE, and Justin Mason, SPE, Halliburton Energy Services. Copyright 1997, Society of Petroleum Engineers Inc. John F. SCHATZ. Reserch & Consulting Inc. California USA.

5. ROMAN HECTOR, Apuntes Técnicas de cañoneo.

6. MARTINEZ, Angel. Apuntes de Técnicas de Cañoneo.

7. http://www.petroleo.com/pi/secciones/PI/ES/MAIN/IN/ARTICULOS.

8. http://ingenieria-de-petroleo.blogspot.com/2009/05/danos-de-formacion-parte-i.html

9. http://www.iapg.org.ar/sectores/cursos/cursos/listados/110906.htm

10. www.halliburton.com