

XII CONGRESO LATINOAMERICANO DE PERFORACION

**APLICACIONES PRACTICAS DE LA HERRAMIENTA DE ACCION
SIMULTANEA DISPARO-ESTIMULACION Y SU VERSATILIDAD EN EL
CAMPO: EXPERIENCIAS EN MEXICO Y A NIVEL MUNDIAL**

Ing. Javier Ballinas Navarro

JAEX, S.A. de C.V., MEXICO

APLICACIONES PRACTICAS DE LA HERRAMIENTA DE ACCION SIMULTANEA DISPARO-ESTIMULACION Y SU VERSATILIDAD EN EL CAMPO : EXPERIENCIAS EN MEXICO Y A NIVEL MUNDIAL

RESUMEN

En la Industria Petrolera Mundial ha cobrado especial auge la introducción de una novedosa herramienta capaz de efectuar en forma simultánea las etapas de disparo y estimulación. Estos dos eventos, de especial influencia en la longevidad productiva de un pozo específico, normalmente se ejecutan en forma independiente y consecutiva.

El sistema es de hecho una fusión de técnicas de disparos y estimulación, en cuyo diseño se han conjugado notables desarrollos técnicos recientes. El ensamble puede ser bajado con cable eléctrico, tubería flexible ó de producción (sistema TCP) empleando cualquier tipo de pistola.

Se ha enfocado ésta avanzada tecnología hacia la productividad inicial del yacimiento pues una vez ubicada centralizadamente una camisa generadora de gas que reviste a la pistola estándar, se enciende por la detonación de las cargas formando una nube de gas de alta presión que induce mini-fracturas por acción del gas energizado.

Otro valor agregado de la herramienta de acción simultánea es que tiene una sonda de alta resolución y resistencia a significativos impactos, capaz de monitorear el comportamiento de presión en el fondo en función del tiempo. Consecuentemente, un análisis de la curva permite estimar magnitudes de parámetros de mecánica de rocas.

Es recomendable evaluar las posibilidades de éxito haciendo uso de un simulador computarizado que permitirá optimizar el diseño físico del aparejo de trabajo y pronosticar las probabilidades de respuesta productiva del yacimiento considerado en base a las dimensiones geométricas de la(s) mini-fractura(s) inducida(s).

El sistema tiene altas probabilidades de éxito cuando se aplica a pozos con daños de penetración somera a moderada en presencia de micro-fracturas naturales, las cuales pueden ser inter-conectadas con la conductividad inducida y de ésta manera, propiciar una manifestación favorable de la formación eliminando la necesidad de una estimulación de limpia.

En éste trabajo, se presentan ejemplos de aplicación de éste sistema en México y otras regiones del mundo en formaciones carbonatadas y areniscas.

INTRODUCCION

Los propelantes han estado disponibles para la industria desde hace varios años. El objetivo principal del sistema es remover y penetrar al daño en el yacimiento producido principalmente en la etapa de perforación. Se acepta, en términos generales, que una formación disparada presenta una reducción en la permeabilidad efectiva del orden de 75% por efecto del daño producido por un evento de disparo estándar.^{1,2} Asimismo, se estima que un 25 a 50% de los disparos aportan flujo y el resto de los agujeros presentan algún grado de taponamiento.^{3,4}

En el proceso de limpieza en las vecindades de la formación, han sido efectivas las técnicas sobre y bajo-balance, aunque no son fácilmente aplicables en todas las situaciones.⁵ Acondicionar una camisa revestidora generadora de gas a cualquier pistola entubada convencional es un método simple y efectivo para obtener un factor de daño (skin) de cero e incluso, con magnitud negativa. Las Figuras 1 y 2 ilustran el concepto de la herramienta.

Se pueden ennumerar las siguientes ventajas al aplicar ésta tecnología:

- ◆ Inducción de conductividad al yacimiento por la acción combinada del gas a alta presión generada por la ignición del propelante y la energía remanente de las cargas explosivas.
- ◆ El ensamble del propelante y la pistola de disparo es un mecanismo eficiente para crear túneles de disparo e inducir conductividad al yacimiento en una acción simultánea, siendo introducidas al pozo normalmente juntas en un sólo viaje, reduciendo tiempo y costo de operación..
- ◆ Se elimina la necesidad del uso de cargas “ premium ” ó de alta penetración.
- ◆ En pozos sin perforaciones pre-existentes, se alcanza una condición inicial de sobre-balance seguida por una situación bajo-balance.

- ♦ Como parte integrante del ensamble, se encuentra una sonda de memoria de excelente resolución y alta resistencia para monitorear el comportamiento de la presión en función del tiempo y de ésta manera facilitar el cálculo de parámetros de mecánica de rocas.

Cuando la pistola detona, el calor y el “ shock ” asociado en el evento de ignición del propelante, crean rápidamente una nube de gas a alta presión. La propagación y la magnitud del pulso de presión es superior al esfuerzo tensional de la formación así como a la resistencia de cualquier material obturante pero es inferior a las magnitudes de los esfuerzos que controlan la estabilidad del yacimiento. Esta situación definitivamente redundará en el fracturamiento de la roca. La Figura 3 muestra el posicionamiento de la herramienta en el pozo para ser activada en forma centralizada en el intervalo de interés.

De hecho, ésta estimulación se produce rápidamente (< 100 milisegundos) siguiendo el camino de menor resistencia y todas las perforaciones se ven sujetas a una presión diferencial hasta de 10,000 lbf/pulg² por un período de aproximadamente 20 milisegundos, situación que asegura el flujo por todas y cada una de las perforaciones.

El efecto de fracturamiento induce capacidad de flujo al yacimiento eliminando el daño ocasionado durante la etapa de perforación y definitivamente conectando el yacimiento al pozo.

APLICACIÓN DE LOS PROPELANTES EN EL CAMPO

Algunas de las primeras aplicaciones del sistema combinado pistola de disparo/propelante fueron en arenas gasíferas compactas en el oeste de Texas. En éstos pozos, el daño ocasionado al yacimiento con sistemas de disparos TCP estándar usualmente requería su remoción a través de estimulaciones de limpia.

Los propelantes no sólo eliminaban el daño, sino que además mejoraban la inyectividad en el yacimiento y reducían la tortuosidad debido al impacto del gas energizado.⁶ En pozos viejos que han sido re-perforados con éste sistema han manifestado una notable mejoría en su comportamiento productivo.

Por otra parte, las presiones de inyección durante trabajos de estimulación han disminuido significativamente, por el alto porcentaje de perforaciones abiertas y la inducción de conductividad a través del daño.^{7,8}

CASOS HISTORICOS

Este de Texas. Un pozo maduro con producción de 9 BOPD fue re-perforado con la combinación pistola/propelante. La producción se incrementó a 35 BOPD y ha permanecido estable por tiempo razonable. Antes del re-disparo no se tenían datos provenientes de pruebas de presión, por lo cual no había manera de evaluar a éste pozo aparentemente marginado.

Golfo de México.⁹ Un pozo horizontal fue disparado a condiciones sobre-balance con una combinación especial de pistola/propelante. Otros pozos en la plataforma que han usado procedimientos estándar de disparo habrían sufrido pérdidas de fluido. El pozo disparado con la novedosa técnica eliminó las pérdidas señaladas.

El sistema también resultó óptimo para manejar problemas asociados con finos y daño ocasionados con técnicas de disparo para acondicionar engravamientos.¹⁰

Canadá. Un pozo disparado con la técnica multi-citada indujo gastos de producción similares a otros pozos que habían requerido de fracturamientos hidráulicos de moderada penetración para rebasar al daño inducido. Los registros de agujero abierto manifestaron una absoluta similitud en las condiciones litológicas del yacimiento.

Experiencias en agujero abierto. Un operador en Canadá estimuló en Alberta a la arenisca compacta Belloy a condiciones de agujero abierto para establecer inyektividad (permeabilidad de 5 md, prof. de 7,900 pies, agujero de 8 ½ pulgadas). No hubo problemas de colapso de tuberías y usando cable eléctrico se efectuaron corridas sólomente de propelante para estimular disparos pre-existentes (alternativa en dos etapas del sistema pistola/propelante). Las camisas generadoras de gas tuvieron diámetros exteriores de 2 ½ y 3 pulgadas, accionadas en un espesor de intervalo de 52 pies. Antes de éstos eventos, el yacimiento no admitía fluido.

Posteriormente al disparo con el sistema combinado, la formación fue acidificada con presiones de inyección normales en base a la profundidad y la resistencia compresiva de la roca. También se tuvieron disponibles datos de presión en función del tiempo en el evento de disparo registrados por un sensor ultra-rápido de resistencia a alto impacto utilizado en 3 de las 4 corridas efectuadas con propelante. En la Figura 4 se proporcionan las características del sensor, así como sus aplicaciones prácticas, mientras que en la Figura 5 se observa un comportamiento típico de Presión vs Tiempo del evento del disparo con pistola/propelante, comparado con otra curva generada por un simulador de fracturamiento a condiciones pre-operativas.

Propelante en México. En la Región Norte en México, se re-disparó con 3 metros con propelante de 2" en una arenisca compacta al intervalo 3,150 - 3,158 metros. En su disparo original, se usó una pistola estándar de 2 ½", con cargas combinadas de alta penetración y de agujero grande, el pozo fluyó con 0.9 Mscf/D de gas y 180 BWPD de agua. Después del propelante, el pozo manifestó 1.15 MMscf/D de gas y 130 BWPD.

Control de producción de agua. En Wyoming, U.S.A., en un campo bajo inyección situado en la cuenca de Oregon, fueron aplicadas a 40 pozos, desde 1996, las últimas tecnologías en control de agua, acidificación y disparo. Los objetivos fueron el de disminuir el aporte de agua en pozos productores, mejorar la producción de aceite y optimizar el barrido areal y vertical en pozos inyectores. En resumen, en los pozos productores se efectuaron tratamientos de control de agua en los yacimientos drenados protegiéndolos con tapones de arena; enseguida se disparan nuevos intervalos, primero de manera estándar y posteriormente con propelante de 2 pulgadas para efectuar como último paso una estimulación. Este proceso y sus variantes, ha tenido un notable éxito en éste campo.

Aplicaciones con TCP

En sus etapa inicial, el sistema pistola/propelante fue usado con cable eléctrico. Sin embargo, trabajando al sistema con TCP a condiciones de sobre y bajo-balance ha redundado en buenos resultados.

La principal ventaja del sistema TCP es que prácticamente todo el intervalo es perforado en una sola corrida a condiciones extremas de bajo-balance. Este tipo de terminación es muy frecuente y sus beneficios han sido comprobados. Sin embargo, en algunos yacimientos con daño de alta penetración, la técnica puede no ser suficiente.

Otro aspecto importante es el de los esfuerzos producidos a empacadores de producción y otros accesorios en el fondo del pozo al momento de la ignición de cargas y propelante. En un caso en un pozo específico, un empacador recuperable para 5,000 lbf/pulg² de presión diferencial fue colocado 10 metros por encima del ensamble de disparo.

Si bien el pozo se comportó normalmente y la formación respondió al disparo combinado, el empacador no pudo ser recuperado. Un análisis de la curva de presión recuperada del sensor de memoria mostró que la energía producida se atenúa rápidamente.

Si hay suficiente distancia entre el empacador y el ensamble de disparo, es muy baja la probabilidad que ocurra un problema como el descrito. Se sugiere que 2 ó 3 juntas de tubería de producción actúen como separadores entre los elementos mecánicos mencionados y el ensamble de disparo evitando la acción de esfuerzos excesivos en los mismos. Estadísticamente, en más de 150 trabajos con TCP, solamente se han registrado dos fallas en empacadores mientras el ensamblaje especial de disparo ha funcionado correctamente.

CASOS HISTORICOS CON TCP

Nuevo México, arena Morrow. Este yacimiento es sensible al fluido y ha respondido adecuadamente al disparo con TCP en condiciones de bajo-balance. En años recientes, también con buenos resultados se ha usado la técnica de disparo combinada a condiciones extremas de sobre-balance. Fue mínima la carga de fluido usada en la tubería de producción para servir como sello a la expansión de gas. El ensamble fue diseñado normalmente con empacador recuperable, válvula de circulación y soltador de tubería. La presión bajo-balance fue de 3,500 lbf/pulg² y los resultados en producción fueron significativos.

Este de Texas. Pozos en ésta región han sido fracturados hidráulicamente con pequeños volúmenes de apuntalante para rebasar a la penetración del daño presente, sin embargo, debido a la presencia de un acuífero cercano la producción se ha visto afectada con altos porcentajes de agua, del orden de 350 BOPD y 1,000 BWPD. Un pozo fue disparado con combinación propelante/pistola con 3,000 lbf/pulg² de bajo balance. La producción resultante fue de 450 BOPD con 50 BWPD. El operador se ahorró costos de manejo superficial de agua y por otro lado, en definitiva la inyección del gas generado por el proceso especial de disparo es un evento ultra-rápido y perfectamente enfocado. Por éstas razones el sistema es aplicable a yacimientos con acuíferos cercanos.

Wyoming. Pozos someros de gas en éste campo no parecen candidatos para dispararse con TCP a condiciones de bajo-balance y con propelantes. A 1,500 pies, debe haber fluido hasta la superficie. Para conseguir esto, se diseñó una válvula de circulación que permaneciera cerrada hasta 1 segundo después de la detonación de la pistola. Por consecuencia, la tubería de producción pudo ser corrida virtualmente seca; asentando un empacador recuperable, con la tubería cerrada y con suficiente presión hidrostática, se proporcionaron las condiciones necesarias para la correcta ignición del propelante en confinamiento.

La barra de detonación fue arrojada normalmente para accionar a la válvula de circulación e iniciar la ignición de la pistola. En el proceso de apertura de la válvula, el propelante generó suficiente presión para crear conductividad en las vecindades de los disparos. Como segundo paso, la válvula fue abierta y se expuso a la formación a condiciones bajo-balance. Como comparación, el promedio en los pozos de gas en éste campo producen 750 Mscf/D y éste pozo en particular produjo 3.1 MMscf/D.

California. Pozos en una plataforma marina han sido disparados con TCP (un promedio de carga hidrostática de 450 pies) con pistolas convencionales con bajo-balance pequeño. Una sonda de memoria ultra-rápida ha registrado datos de eventos de disparo con pistolas estándar y propelante, mostrando éstos últimos una mejora substancial en la permeabilidad absoluta en las inmediaciones del yacimiento.

De hecho, los operadores han equiparado los resultados, en términos de producción, con estimulaciones de limpia e incluso, matriciales.

Subsecuentes pozos que han sido disparados con éste sistema simultáneo de disparo/estimulación han redundado en excelentes resultados, especialmente en pozos horizontales.

Alaska. Dos pozos terminados en formaciones sensibles a fluido a 4,700 pies fueron disparados con la combinación pistola/propelante a condición bajo-balance. Datos obtenidos de 3 sensores de memoria indicaron un daño en la terminación; posteriormente, los pozos fluyeron con un promedio de 5 MMscf/D (otros pozos en el área necesitan de fracturas ó estimulaciones para optimizar su producción). De análisis de curvas de presión, se obtuvieron factores skin en el rango de -4 . La predicción del simulador de cálculo geométrico de las mini-fracturas inducidas fue de una longitud de fractura de 4 pies después del disparo combinado, con una presión promedio de 18,000 lbf/pulg² aplicada a las perforaciones. El ensamble fue bajado con una sarta DST.

SUGERENCIAS PARA OPTIMIZAR EL FUNCIONAMIENTO DEL PROPELANTE

Definitivamente, los casos anteriores han mostrado una notable mejoría en las producciones en pozos disparados con el sistema combinado. Sin embargo, hay que señalar que las terminaciones con TCP no han estado libres de problemas, si bien la incidencia de ellos ha sido baja. Han ocurrido problemas de comunicación de empacadores y deslizamiento de tapones mecánicos. Estas experiencias han llevado a las siguientes sugerencias:

- ◆ Es recomendable proteger a tapones mecánicos con arena
- ◆ Debe proporcionarse al cemento un adecuado tiempo de espera para que desarrolle su esfuerzo compresivo inicial antes del evento de disparo
- ◆ Todos los tubos y el aparejo deben ser cuidadosamente inspeccionados para asegurar su correcto comportamiento durante el evento de disparo
- ◆ Mantener una distancia mínima de 50 pies entre propelante y elementos mecánicos
- ◆ Puede ser optimizada la compresibilidad del fluido del pozo
- ◆ Calcular la longitud óptima del propelante usando el modelo de cómputo

Como nota, en los Estados Unidos de Norteamérica, la incidencia de fallas varias en trabajos de pistola/propelante con TCP es de 10 problemas documentados en 150 trabajos (6.6%).

IMPORTANCIA DEL MODELAJE PRE-OPERATIVO

En todos los casos, es altamente recomendable usar el simulador de modelaje pre-operativo del evento para predecir, entre otros parámetros, la longitud óptima de la camisa generadora de gas, la geometría de las mini-fracturas inducidas, el ritmo de ignición del propelante y las posibilidades productivas del yacimiento disparado.

Inclusive la optimización de la longitud del propelante se ha señalado en la sección anterior como una medida precautoria para conseguir el correcto funcionamiento del sistema.

El modelo también predice posibles problemas operativos. Hay que recordar que la técnica produce una tremenda presión de trabajo en el fondo, que aunque de ultra-corta duración podría dañar alguna parte mecánica del pozo. Por ello, el simulador tiene capacidad para estimar esfuerzos en tuberías. En una versión más reciente, el modelo calcula presiones en empacadores, tapones mecánicos y sartas de tuberías. La Tabla 1 ilustra los alcances del modelo cuando es utilizado para el diseño pre-operativo y como herramienta para análisis post-operativo, mientras que en la Figura 6 se muestra las presentaciones gráficas del programa, básicamente parámetros geométricos de las mini-fracturas inducidas, presiones de fondo y diferenciales, así como datos de ignición del ensamble. No son sistemas compatibles con el propelante aquellos de fase 0° y los que consideran la técnica de entrada limitada.

FUTUROS DESARROLLOS

- ♦ En adición a su uso con cable eléctrico, la combinación pistola/propelante ha sido exitosamente empleada con línea de acero con avanzados sistemas de medición; esta alternativa requiere más investigación pero podría ser de excelente aplicación con el propelante.

- ◆ También, el propelante usado con sistemas de pistola modular como las terminaciones que se diseñan con la técnica monobore han tenido resultados prometedores. Uno de éstos trabajos utilizó camisas de propelante espaciadas en varias pistolas en 13 módulos (longitud total de 400 pies).
- ◆ Parece ser que los sistemas de disparo con propelante pueden tener una importante participación en procedimientos de Disparo a Sobre-Balance Extremo. Sensores de memoria ultra-rápidos corridos con éste tipo de trabajos ilustran que hay significativas pérdidas de presión. El sistema pistola/propelante indudablemente puede mantener energizada a la formación por debajo del empacador de producción y de hecho, iniciar pequeñas fracturas antes que el fluido en la tubería de producción empiece a moverse. Entonces el nitrógeno que se emplea en éste tipo de operaciones tiene un nuevo objetivo : extender la longitud de las mini-fracturas inducidas.
- ◆ Se ampliará la investigación para propelantes a usarse en altas temperaturas y en estudios sísmicos.
- ◆ Se ajustarán los ensambles de pistola/propelante para aplicaciones como re-disparo y para pozos terminados en agujero abierto.
- ◆ Se incrementará la versatilidad del ensamble pistola/propelante para su aplicación en pozos inyectores. La Figura 7 proporciona el comportamiento de Presión vs Tiempo, registrado con sensor de memoria ultra-rápido para un pozo inyector en la formación Sparky en U.S.A. En éste caso, se mejoró notablemente el volumen de inyección de agua por día, concluyéndose que la litología de la formación es fundamental para un diseño adecuado del sistema y optimizar el análisis de la curva de comportamiento de presión recuperada del sensor.

CONCLUSIONES

1. Han sido desarrollados sistemas de introducción de propelantes en pozos verticales y altamente desviados.
2. El sistema combinado pistola/propelante ha tenido resultados aceptables como una técnica de rompimiento y acondicionamiento de agujeros pre-fractura, así como un método para atacar daño y crear conductividad en las vecindades del yacimiento.

3. También, el sistema combinado ha tenido notables éxitos al disparar yacimientos en presencia cercana de acuíferos pues se ha comprobado que la propagación geométrica de las mini-fracturas inducidas no tienen un crecimiento vertical de consideración. Por otra parte, se puede probar en éste tipo de situaciones, la estabilidad del cemento colocado.
4. Hay posibilidad de falla de algún elemento mecánico del pozo durante el evento de ignición del sistema pistola/propelante pero se sugiere tomar las precauciones señaladas en éste trabajo para minimizar las anomalías, que en circunstancias actuales, no rebasan el 2% de incidencia.
5. Es recomendable que tanto los Operadores como las Compañías de Servicio hagan un esfuerzo para obtener datos de pruebas de presión pre- y post-operativas para un mejor entendimiento de la condición del pozo seleccionado para incrementar los beneficios resultantes.
6. Es bastante útil el modelaje computarizado pre-operativo para aumentar las posibilidades de éxito del trabajo, tanto operativamente como en el resultado productivo del yacimiento.
7. Es indudable que el sistema de fusión disparo-estimulación con propelante está ganando mercado a nivel mundial en forma ágil, más es importante reconocer que especialmente para condiciones operativas, hace falta optimizar los procedimientos actuales, situación que indudablemente se alcanzará a corto plazo.

NOMENCLATURA

BOPD	-	Barriles de aceite por día
BWPD	-	Barriles de agua por día
DST	-	Drill Stem Test
lbf/pulg ²	-	Libras fuerza / pulgada cuadrada
Mscf/D	-	Miles de pies cúbicos estándar de gas / día
MMscf/D	-	Millones de pies cúbicos de gas / día
TCP	-	Tubing Conveyed Perforating

AGRADECIMIENTO

El autor desea expresar su agradecimiento a la Gerencia de la Compañía Jaex S.A. de C.V. por su apoyo y autorización para la realización de éste trabajo técnico.

REFERENCIAS

1. Suman, G.O. Jr. " Perforation-A Prime Source of Well Performance Problems, " Artículo Técnico SPE 3445, presentado en el Congreso SPE Anual de Otoño No. 46, New Orleans, LA, Octubre 3-6, 1971.
2. Hane, B y Cuthill, D.: " The application of an Optimized Propellant Stimulation in Heavy Oilwells, " Artículo Técnico SPE 37531, presentado en el Simposio Internacional SPE de Operaciones Termales & Aceite pesado celebrado en Bakersfield, California, U.S.A., Febrero 10-12, 1997.
3. Dietrich, J.K., y Bondor, P.L.: " The Effect of Void and Filled Perforations on Well Productivity, " Artículo Técnico SPE 6178, presentado en la Conferencia y Exhibición Técnica Anual de Otoño No. 51, realizada en New Orleans, LA, Octubre 3-6, 1976.
4. Klotz, J.A., Krueger, R.F., y Pye, D.S., " Effect of Perforation Damage on Well Productivity, " Artículo Técnico SPE 4654, presentado en el Congreso SPE Anual de Otoño No.48, Las Vegas, NV, 30 Septiembre-3 Octubre, 1973.
5. Jones, L.G., y Slusser, M.L.: " The Simulation of Productivity Loss Caused by Perforations-Including Partial Completion and Formation Damage," Artículo Técnico SPE 4798, presentado en el Simposio No. 2 de Gas y Aceite del Medio-Oeste, celebrado en Indianapolis, IN, Marzo 28-29, 1974.
6. Monograma SPE 16, " Perforating Section 6.4-6.4.3, Perforation Damage, " p.59.
7. Suman, G.O., Jr.: " Perforations- a prime source of Well Performance Problems, ". JPT, Abril de 1972, p. 399-411.
8. Whisonant, R.J., y Hall, F.R.: " Combining Continuous Improvements in Acid Fracturing, Propellant Stimulations and Polymer Technologies to Increase Production and Develop Additional Reserves in A mature Field, " Artículo Técnico SPE 38789, presentado en la Conferencia y Exhibición Técnica Anual realizada en San Antonio, Texas, U.S.A., Octubre 5-8, 1997.
9. Snider, P.M., Benzel, W.M., Barker, J.M., y Leidel, D.J.: " Perforation Damage Studies in Unconsolidated Sands: Changes in Formation Particle Sizes and the Distribution as a Function of Shaped Charge Design, " Artículo Técnico SPE 38635, presentado en el Congreso SPE de Otoño, San Antonio, TX, Octubre 5-8, 1997.

10. Blok, R.H.J., Welling, R.W.F., Behrmann, L.A., y Venkitaraman, A.,: " Experimental Investigation of the Influence of Perforating on Gravel Pack Impairment," Artículo Técnico SPE 36481, presentado en la Conferencia y Exhibición Anual SPE 1996, Denver, Colorado, Octubre 6-9, 1996.

Figura 1. Ensamble Disparo-Estimulación

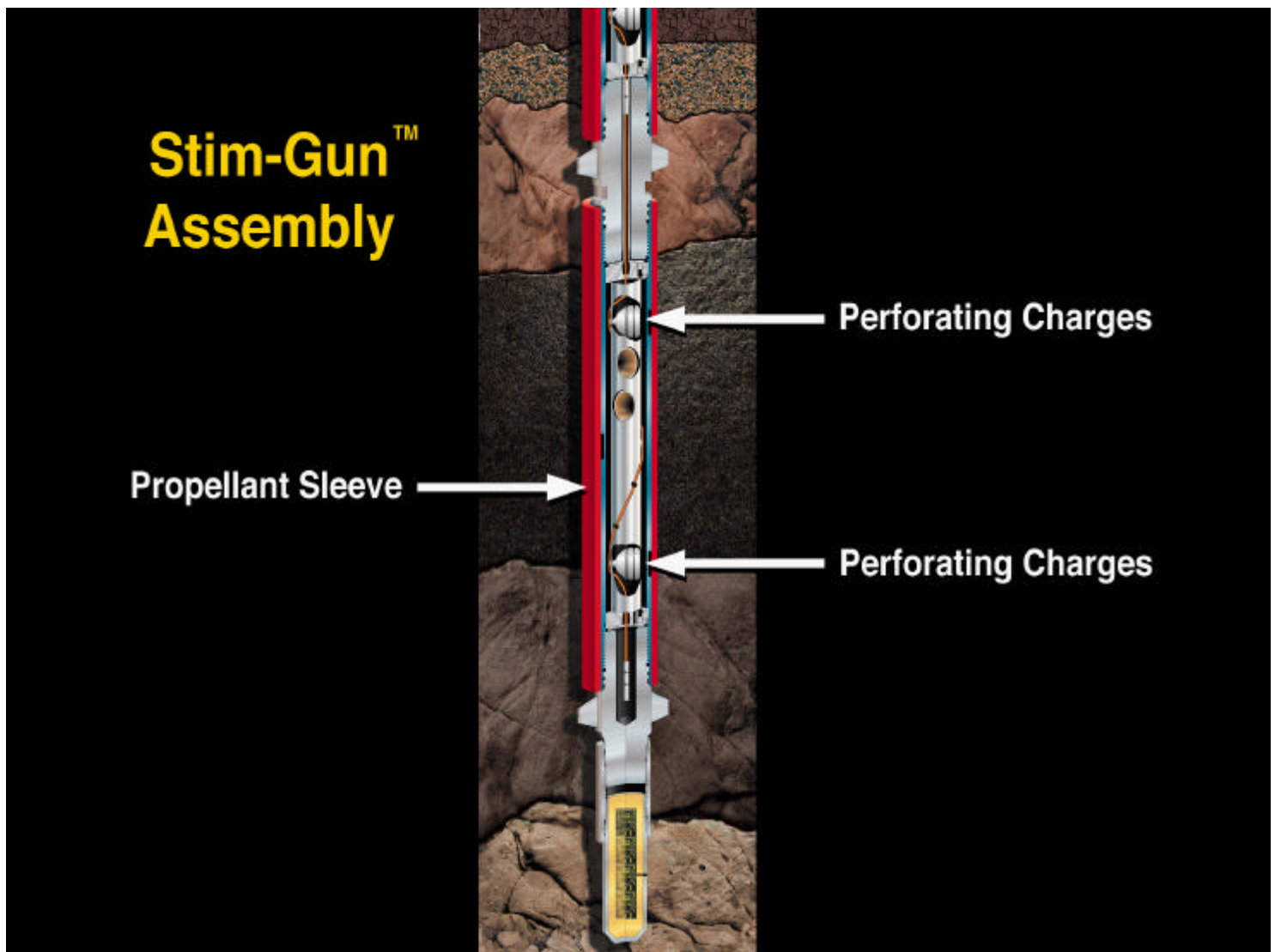


Figura 2. “Ensamble de Cañón/ Propelante”

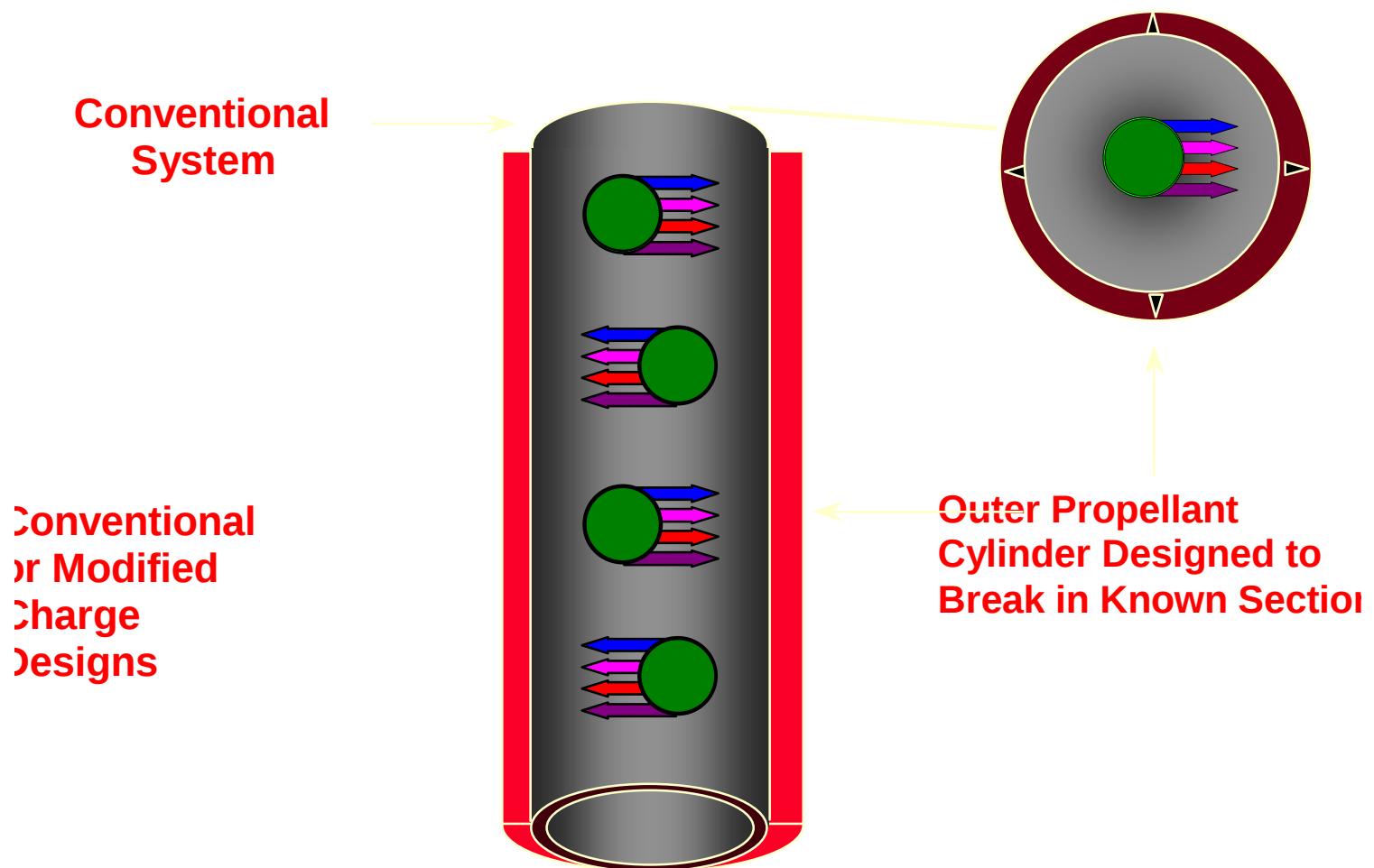


Figura 3. Mecanismo General

- El propelante es posicionado y activado en forma centralizada en el intervalo de interés
- Conforme el propelante se quema, produce una carga energizada contra la formación hasta vencer el esfuerzo mínimo del yacimiento e iniciar el fracturamiento de la roca

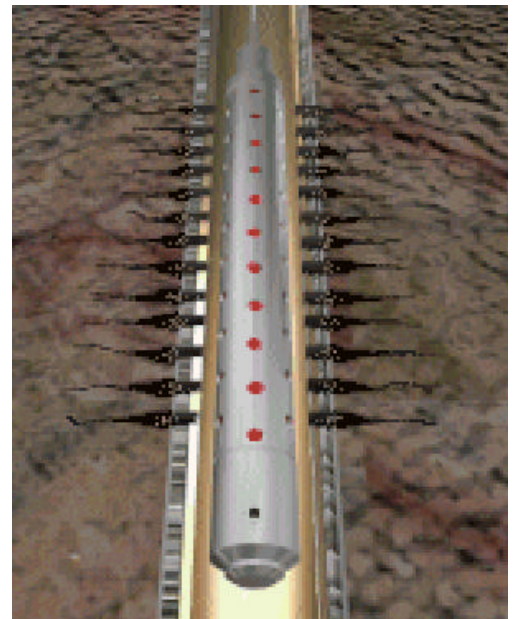
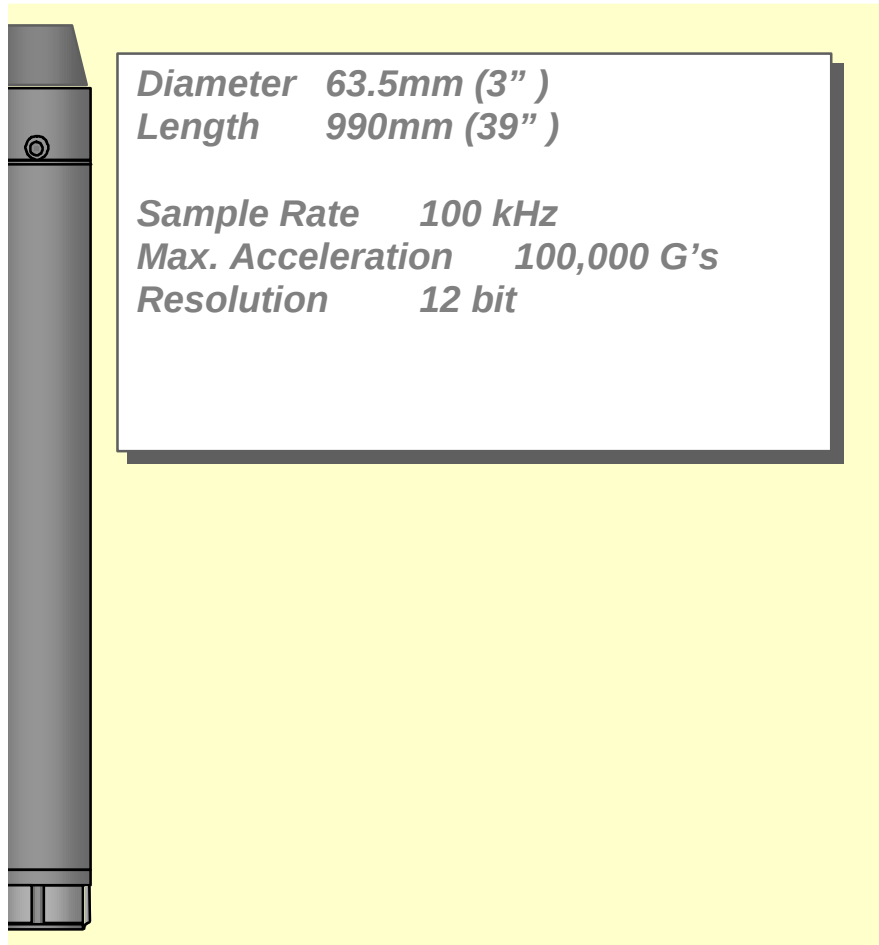


Figura 4. Sonda de Alta Velocidad / Alto Impacto



- La Sonda graba la razón de quemado del Propelante.
- Los Datos se utilizan para analizar las propiedades de la roca.
- Los Datos se comparan con el modelo de computadora para reconfirmar.
- La Aceleración se puede medir también.

Figura 5. Pérfil de Presión

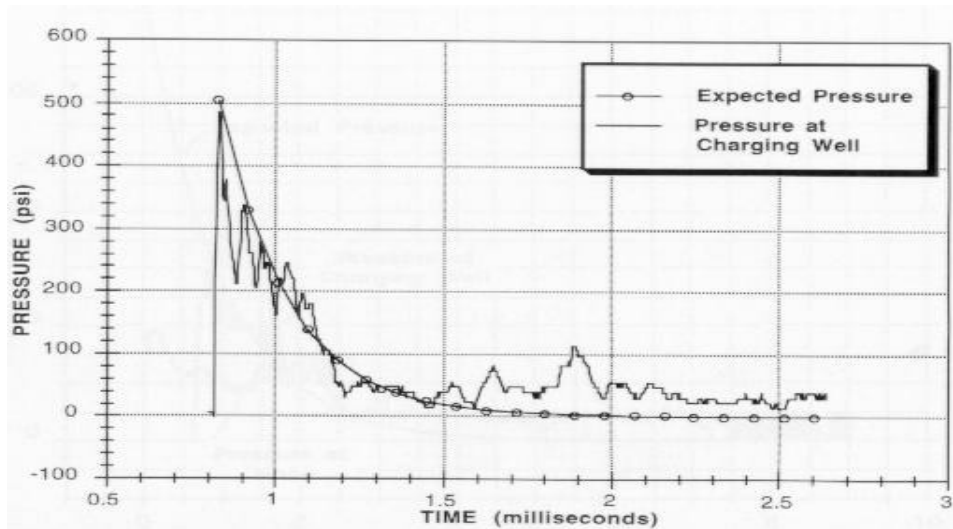


Tabla 1. Alcances del modelo de cómputo para optimizar el evento de disparo con el sistema fusionado pistola/propelante

DISEÑO PRE-OPERATIVO	ANÁLISIS POST-OPERATIVO
♦ Longitud de la camisa generadora	♦ Registro de Presión vs Tiempo
♦ Número de fracturas	♦ Cálculo de parámetros de mecánica de rocas
♦ Longitud y ancho de mini-fracturas	♦ Cálculo de permeabilidad de yacimiento
♦ Presiones en superficie y en fondo	♦ Obtención de presión y grad. de fractura
♦ Esfuerzos en tuberías y empacadores	♦ Estimación de tiempo de cierre de fractura
♦ Parámetros de ignición del propelante	♦ Optimización de futuros trabajos

Figura 6. Simulador

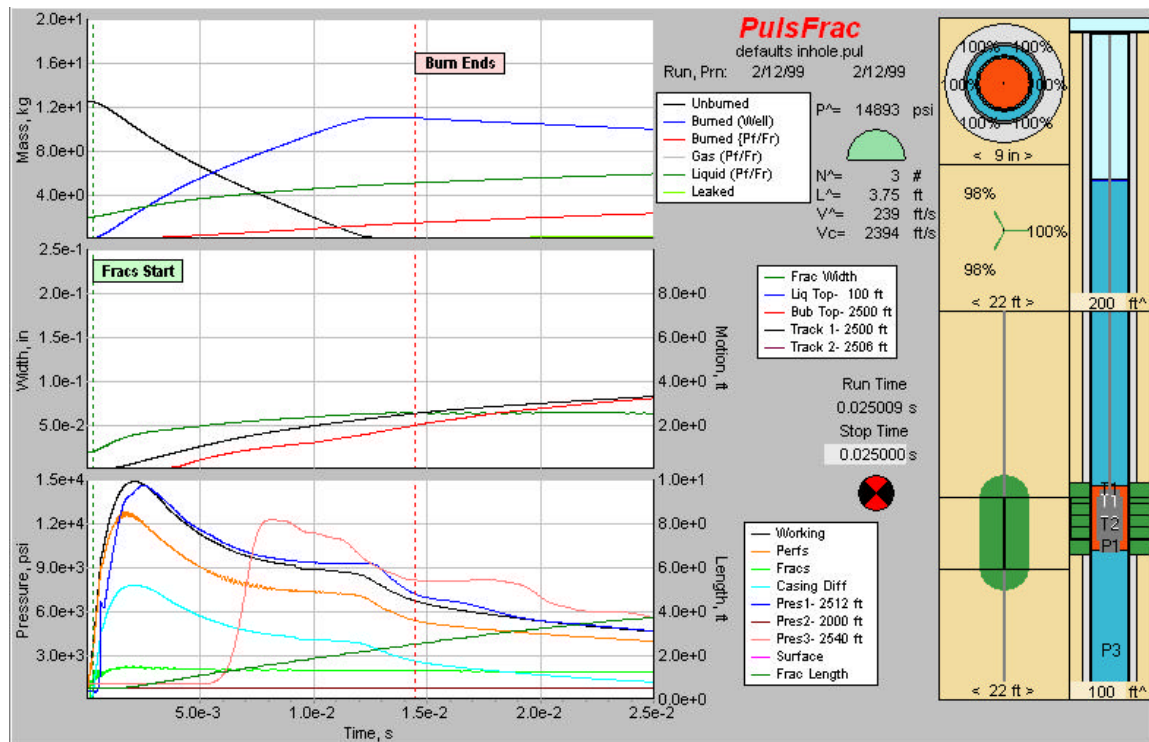


Figura 7. Respuesta del Yacimiento

