

**SISTEMA Y MÉTODO PARA UTILIZAR IMPULSOS DE PRESIÓN PARA LA
MEJORA Y EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA ESTIMULACIÓN DE
FRACTURA**

5 **DATOS SOBRE SOLICITUDES RELACIONADAS**

La presente solicitud reivindica el beneficio de prioridad en virtud del artículo 119 del Título 35 del Código de los Estados Unidos para la solicitud provisional de los EE.UU. No. 62/040,508, presentada el 22 de agosto de 10 2014, titulada "Sistema y Método para utilizar impulsos de presión para la mejora y evaluación del rendimiento de la estimulación de fractura".

Campo de la divulgación

Las realizaciones descritas en la presente se refieren 15 a un sistema y un método para aplicar impulsos de energía periódicos a una parte de un pozo, una o varias fracturas y/o una zona cercana a un pozo para investigar y/o estimular al menos una parte del pozo y/o una zona cercana al pozo.

ANTECEDENTES

20 **Descripción de la técnica respectiva**

La fracturación hidráulica de pozos ha sido utilizada por más de 60 años para aumentar la capacidad de flujo de hidrocarburos de un pozo. La fracturación hidráulica bombea fluidos al pozo a altas presiones y velocidades de bombeo de 25 manera que la formación de roca del pozo falla y forma una

fractura para aumentar la producción de hidrocarburos de la formación. Se puede usar un apuntalante para mantener abierta la fractura después de liberar la presión de fracturación. Si bien la fracturación hidráulica puede
5 utilizarse para aumentar la producción de hidrocarburos al crear fracturas dentro de un pozo, la condición de la fractura puede no ser conocida. Un análisis de la fractura puede ser beneficioso para determinar la presión óptima requerida para cambiar una propiedad de una fractura y
10 aumentar potencialmente la producción de hidrocarburos de la fractura.

Puede ser beneficioso desarrollar sistemas y métodos que puedan utilizarse para mejorar el rendimiento de las técnicas típicas de fracturación hidráulica. También puede
15 ser beneficioso desarrollar sistemas y métodos que puedan usarse para analizar las propiedades del pozo y de la fractura antes, durante y después de la fracturación hidráulica.

SUMARIO

20 La presente descripción está dirigida a un sistema y método para usar impulsos de presión que superen algunos de los problemas y desventajas expuestos anteriormente.

Una realización de un sistema de pozo comprende una cuerda de trabajo y un dispositivo de fondo de pozo
25 conectado a una parte de la cuerda de trabajo. El

dispositivo de fondo de pozo está configurado para suministrar impulsos de energía periódicos a una parte del pozo. El sistema puede incluir al menos un sensor configurado para medir impulsos de energía en la parte del pozo. Al menos un sensor está configurado para determinar al menos una propiedad del pozo en base a los impulsos de energía detectados por el sensor. El sensor puede estar conectado al dispositivo de fondo de pozo. Los impulsos de energía periódicos pueden comprender ondas sísmicas, y el sensor puede comprender un geófono. Los impulsos de energía periódicos pueden comprender ondas de presión, y el sensor puede comprender un sensor de presión.

La parte del pozo puede comprender al menos una fractura en la formación. El sistema puede incluir un primer elemento de aislamiento y un segundo elemento de aislamiento de tal manera que una fractura se posicione entre los elementos de aislamiento. Los elementos de aislamiento pueden ser elementos de relleno. El sistema puede incluir un primer elemento de relleno, donde el primer elemento de relleno está situado por debajo de la fractura y el dispositivo de fondo de pozo está situado adyacente a la fractura. El sistema puede incluir un segundo elemento de relleno, donde el segundo elemento de relleno está situado por encima del dispositivo de fondo de pozo. La cuerda de trabajo puede ser un tubo enrollado. El dispositivo de

fondo de pozo puede ser una herramienta vibratoria y los impulsos de energía periódicos pueden ser ondas de presión oscilantes. La herramienta vibratoria puede ser una herramienta de martillo de fluido que crea las ondas de presión oscilantes en función del efecto Coandă. La frecuencia y/o la amplitud de las ondas de presión oscilantes se pueden modificar durante el funcionamiento de la herramienta de martillo de fluido.

El dispositivo de fondo de pozo puede ser un dispositivo acústico y los impulsos de energía periódicos pueden ser ondas acústicas. El sistema puede incluir un apuntalante colocado dentro de la fractura, y el apuntalante puede estar configurado para liberar energía cuando es accionado por los impulsos de energía periódicos. El apuntalante puede ser un apuntalante explosivo o un apuntalante de fragancia. El apuntalante puede ser cualquiera de los apuntalantes descritos en la solicitud de patente provisional No. 62/040,441 denominada "Aplicaciones de fracturación hidráulica que emplean partículas microenergéticas por D.V.", Gupta y Randal F. LaFollette, presentada el 22 de agosto de 2014, que se incorpora a la presente a modo de referencia. El sensor puede estar configurado de modo de medir los impulsos de energía en la parte del pozo a partir de los impulsos de energía periódicos. El sensor puede estar conectado al dispositivo

de fondo de pozo. El sensor puede estar configurado para determinar al menos una propiedad de la fractura en base a los impulsos de energía detectados por el sensor. La propiedad puede ser el ancho de la fractura, la longitud de la fractura, una forma de la fractura y/o una longitud apuntalada de la fractura.

Una realización consiste en un método para suministrar impulsos de energía a una parte de un pozo, que comprende colocar un dispositivo de fondo de pozo en forma adyacente a una parte del pozo y aplicar pulsos de energía periódicos a partir del dispositivo de fondo de pozo a la parte del pozo. El método puede incluir determinar una o más propiedades del pozo en base a los impulsos de energía reflejados a partir del pozo. La parte del pozo puede incluir al menos una fractura. El método puede incluir determinar una o más propiedades de la fractura. La propiedad puede ser la longitud de la fractura, el ancho de la fractura, una longitud apuntalada de la fractura y/o una forma de la fractura.

El método puede incluir modificar la frecuencia de los impulsos de energía periódicos en tiempo real. El método puede incluir modificar la magnitud de los impulsos de energía periódicos en tiempo real. El método puede incluir reevaluar en tiempo real la o las propiedades del pozo sobre los impulsos de energía reflejados modificados. El método

puede incluir modificar en tiempo real de un caudal de un fluido que fluye a través del dispositivo de fondo de pozo para modificar la frecuencia y la magnitud de los impulsos de energía periódicos. El método puede incluir modificar en
5 tiempo real de una señal al dispositivo de fondo de pozo para modificar la frecuencia y la magnitud de los impulsos de energía periódicos en tiempo real. El método puede incluir modificar una propiedad de la fractura con los impulsos de energía periódicos. Los impulsos de energía
10 periódicos pueden aumentar el ancho y/o el largo de la fractura. Los impulsos de energía periódicos pueden inhibir el crecimiento de la fractura. Los impulsos de energía periódicos pueden aumentar la conductividad de la fractura. El método puede incluir limpiar la fractura con los impulsos
15 de energía periódicos. La limpieza de la fractura puede incluir el aumento del transporte del apuntalante dentro de la fractura o la ruptura de una capa de una formación adyacente a la fractura que tiene una baja permeabilidad.

Una realización es un sistema de pozo que comprende una
20 cuerda de trabajo y al menos un dispositivo de fondo de pozo conectado a una parte de la cuerda de trabajo. El dispositivo de fondo de pozo está configurado para suministrar impulsos de energía periódicos a una parte del pozo, y el sensor está configurado para determinar al menos
25 una propiedad del pozo en base a los impulsos de energía

detectados. El dispositivo de fondo de pozo está configurado para modificar selectivamente una magnitud y una frecuencia de los impulsos de energía periódicos. Los impulsos de energía periódicos pueden ser ondas de presión, ondas acústicas y/u ondas sísmicas.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS GRÁFICOS

La FIG. 1 muestra una realización de un dispositivo de fondo de pozo configurado para suministrar impulsos de energía a una parte del pozo.

10 La FIG. 2 muestra una realización de un dispositivo de fondo de pozo de la FIG. 1 con la magnitud y la frecuencia de impulsos de energía modificadas así como un cambio en una fractura en el pozo.

15 La FIG. 3 muestra una realización de un dispositivo de fondo de pozo configurada para suministrar impulsos de energía a una parte de un pozo posicionado sobre una fractura.

20 La FIG. 4 muestra una realización de un dispositivo de fondo de pozo configurada para suministrar impulsos de energía a una parte de un pozo posicionado debajo de una fractura.

La FIG. 5 muestra una parte de una realización de un dispositivo de fondo de pozo vibratorio configurado para suministrar impulsos de energía a una parte de un pozo.

La FIG. 6 es un gráfico que muestra impulsos de energía periódicos calculados y medidos a una velocidad de bombeo superficial de 1,5 barriles por minuto (bpm) y 3,0 bpm.

La FIG. 7 es un gráfico que ilustra el efecto de la
5 velocidad de bombeo sobre la presión de la fractura cerca del pozo para velocidades de bombeo superficial de 1,5 bpm y 3 bpm.

La FIG. 8 es un gráfico que ilustra el efecto de la longitud de fractura sobre la presión de la fractura para
10 una longitud de fractura de cincuenta (50) metros y una longitud de fractura de trescientos (300) metros.

La FIG. 9 es un gráfico que ilustra el efecto del pozo y la velocidad de la onda de fractura sobre la presión de fractura cerca del pozo.

15 La FIG. 10 es un gráfico que ilustra el efecto de la condición de límite de pozo sobre la presión de fractura cerca del pozo.

La FIG. 11 es un gráfico que ilustra el efecto si la fractura está abierta o cerrada sobre la presión de fractura
20 cerca del pozo.

Aunque la divulgación es susceptible de varias modificaciones y formas alternativas, en los dibujos se muestran a modo de ejemplo realizaciones específicas, que se describirán en detalle en la presente. Sin embargo, debe
25 entenderse que la divulgación no pretende limitarse a las

formas particulares divulgadas. Por el contrario, esta divulgación pretende cubrir todas las modificaciones y alternativas que se encuentren dentro del alcance de la invención, como se define en las reivindicaciones adjuntas.

5 **DESCRIPCIÓN DETALLADA**

La FIG. 1 muestra un dispositivo de fondo de pozo 20 conectado a una cuerda de trabajo 10 ubicada dentro de una carcasa o tubería de un pozo. El dispositivo de fondo de pozo 20 está configurado para suministrar impulsos de
10 energía periódicos, mostrados como ondas 21, a una parte del pozo. El dispositivo de fondo de pozo puede consistir en diversos dispositivos que están configurados para suministrar impulsos de energía periódicos. Por ejemplo, el dispositivo de fondo de pozo 20 puede ser un dispositivo
15 acústico que genera ondas acústicas, como se muestra en la FIG 1 y la FIG 2. En otra realización, el dispositivo de fondo de pozo 20 puede generar ondas sísmicas, como se muestra en la FIG. 3. En otra realización, el dispositivo de fondo de pozo 20 puede ser un dispositivo vibratorio que
20 genera ondas de presión, como se muestra en la FIG 4 y en la FIG. 5.

El dispositivo de fondo de pozo 20 está conectado a una cuerda de trabajo 10 que se usa para colocar el dispositivo de fondo de pozo 20 en la ubicación deseada dentro del pozo.
25 La cuerda de trabajo 10 puede consistir en diversos tipos de

cuerdas de trabajo o combinaciones de varios tipos de cuerdas de trabajo, como cable, tubo enrollado o tubo articulado, como apreciaría un entendido en la técnica que tiene el beneficio de esta divulgación. El dispositivo de fondo de pozo 20 puede estar situado en forma adyacente a una parte de un pozo que se desea estimular por medio de los impulsos de energía periódicos y/o investigar por medio de los impulsos de energía periódicos. El dispositivo de fondo de pozo 20 puede estar situado dentro de un pozo adyacente a una fractura 2, de modo que los impulsos de energía periódicos 21 puedan enviarse a la fractura 2 y la formación que rodea la fractura 2. Los impulsos de energía reflectantes 22 serán reflejados por el pozo y devueltos al dispositivo de fondo de pozo 20. Los sensores 50 pueden registrar y/o analizar los impulsos de energía reflectantes 22 para determinar en tiempo real diversas características de la fractura y/o el pozo, como se discutirá en la presente. Los sensores 50 podrían usarse para determinar las propiedades de los componentes de pozo en función de los impulsos de energía dentro del pozo. Los sensores 50 pueden estar conectados al dispositivo de fondo de pozo 20 y o pueden estar situados en la superficie o en varios lugares dentro del pozo. Los sensores 50 pueden ser sensores accionados por batería situados dentro del pozo. Los sensores 50 situados dentro del pozo pueden registrar las

mediciones de los impulsos de energía en la memoria y/o transmitir las mediciones a la superficie a través de diversos mecanismos, como una línea electrónica dentro o a lo largo de la cuerda de trabajo 10. Los sensores 50
5 situados dentro del pozo podrían transmitir mediciones a la superficie a través de otros mecanismos, como vía TELECOILTM, comercializado por Baker Hughes de Houston, Texas.

El dispositivo de fondo de pozo 50 puede estar situado entre dos elementos de aislamiento para enfocar los impulsos
10 de energía periódicos 21 y los impulsos de energía reflectantes 22. Por ejemplo, el dispositivo de pozo 50 puede estar situado entre el elemento de relleno 40 y 60 que puede ser accionado dentro de la carcasa 1 del pozo para enfocar los impulsos de energía periódicos 21 y los impulsos
15 de energía reflectantes 22 dentro de una parte deseada del pozo. Los elementos de relleno 40 y 60 pueden estar conectados al dispositivo de fondo de pozo 20 y/o a la cuerda de trabajo 10 a través de una herramienta de relleno 30 usada para accionar el elemento de relleno 40 entre un
20 estado accionado y no accionado. Se puede usar un único elemento de relleno 40 debajo del dispositivo de fondo de pozo 20. Del mismo modo, el dispositivo de fondo de pozo 20 puede usarse para generar impulsos de energía periódicos 20 dentro del pozo sin un elemento de relleno superior 60 o un
25 elemento de relleno inferior 40.

Los impulsos de energía periódicos 21 pueden usarse para investigar una fractura 2 para determinar diversas propiedades de la fractura 2, como el ancho de la fractura, la longitud de la fractura, la longitud apuntalada de la fractura, el ancho apuntalado de la fractura, la conductividad de la fractura, el cumplimiento de la fractura y/o la forma de la fractura. Los impulsos de energía periódicos 21 pueden usarse para estimular o inhibir el crecimiento de una fractura 2 en un pozo. La FIG. 2 muestra un cambio en la longitud de la fractura que se muestra en la FIG. 1 debido a la acción de impulsos de energía periódicos 21. Los impulsos de energía periódicos 21 pueden usarse para proporcionar energía a una fractura 2. La energía proporcionada a una fractura 2 puede activar el apuntalante 3 situado dentro de la fractura 2. Por ejemplo, el apuntalante 3 puede ser el apuntalante explosivo 5, y los impulsos de energía periódicos 21 pueden hacer que el apuntalante explosivo 5 libere energía o explote. En otro ejemplo, los impulsos de energía periódicos 21 pueden activar el apuntalante 3 para reticular. El apuntalante puede ser un apuntalante de flagrantia 4, que sufre una combustión controlada cuando es accionado por los impulsos de energía periódicos 21.

La magnitud y/o la frecuencia de los impulsos de energía periódicos 21 del dispositivo de fondo de pozo 20

pueden modificarse durante la investigación y/o estimulación. La FIG. 2 muestra los impulsos de energía periódicos 21 que tienen un cambio en magnitud y frecuencia con respecto a los impulsos de energía periódicos 21 representados en la FIG. 1.

5 El cambio de magnitud y frecuencia se muestra esquemáticamente mediante un tamaño y un número de flechas diferentes en conexión con los impulsos de energía 21 y 22, en comparación con la FIG. 1. En el caso de que el dispositivo de fondo de pozo 20 sea un dispositivo acústico,

10 puede ser un dispositivo acústico como la herramienta XMAC F1^T, comercializada por Baker Hughes de Houston, Texas, como se muestra en la FIG. 1 y la FIG. 2, o un dispositivo sísmico, como SeisXplorerTM, comercializado por Baker Hughes de Houston, Texas, como se muestra en la FIG. 3, donde la

15 señal que se suministra al dispositivo de fondo de pozo 20 puede variarse para hacer que el impulso de energía periódico generado 21 cambie de magnitud y/o frecuencia. La frecuencia y/o la magnitud también se pueden variar por la variación en el flujo de fluido a través del dispositivo de

20 fondo de pozo 20. Por ejemplo, si el dispositivo de fondo de pozo 20 es un dispositivo vibratorio, como una herramienta de martillo de fluido conforme se muestra la FIG. 4 y la FIG. 5, el cambio de flujo en el fluido a través del dispositivo 20 puede cambiar la magnitud y/o la frecuencia

25 de los impulsos de energía periódicos 21.

La FIG. 3 muestra un dispositivo de fondo de pozo 20, que genera impulsos de energía sísmica 21, que se coloca sobre fracturas múltiples 2. Los impulsos de energía sísmica 21 generados desde el dispositivo de fondo de pozo 20 pueden usarse para investigar una parte del pozo. Se puede usar un único agente de relleno 60 para concentrar los impulsos 21 en una parte deseada del pozo. Como se muestra en la FIG 3, el dispositivo de fondo de pozo 10 puede estar situado a lo largo de una cuerda de trabajo 10, y la cadena de trabajo 10 puede extenderse por encima y por debajo del dispositivo de fondo de pozo 20. Aunque no se muestra en la FIG. 3, el dispositivo de fondo de pozo 20 puede estar situado adyacente a una o varias fracturas 2 de manera que los impulsos sísmicos 21 estimulen y/o investiguen la o las fracturas 2.

La FIG. 4 muestra un dispositivo de fondo de pozo 20, que genera impulsos de presión 21, que se coloca debajo de una fractura 2, dentro del pozo. Se puede colocar un agente de relleno debajo del dispositivo de fondo de pozo 20 para concentrar los impulsos de presión 21 en la parte deseada del pozo. Se pueden usar sensores de presión 50 para monitorear los impulsos de energía en el pozo con la finalidad de analizar las propiedades del pozo. Aunque no se muestra en la FIG. 4, el dispositivo de fondo de pozo 20 puede estar situado adyacente a una fractura 2 de manera que

los impulsos de presión 21 estimulen y/o investiguen la fractura 2.

El dispositivo de fondo de pozo 20 puede ser un dispositivo vibratorio que genera impulsos de energía
5 periódicos 21 dentro del pozo. Por ejemplo, el dispositivo vibratorio puede ser una herramienta de martillo de fluido, como la herramienta de alcance extendido EasyReachTM, comercializada por Baker Hughes de Houston, Texas. El dispositivo vibratorio puede ser una herramienta de martillo
10 de fluido que oscila de modo de crear impulsos periódicos en función del efecto Coandă. La patente de los EE.UU. No. 8,727,404 denominada Generador de Impulsos Fluidos, que se incorpora a la presente en su totalidad a modo de referencia, divulga un dispositivo vibratorio de fondo de pozo que se
15 puede aplicar para producir los impulsos de energía periódicos deseados.

La FIG. 5 muestra una parte de un dispositivo vibratorio de fondo de pozo 100 que se puede usar para generar impulsos de energía periódicos 21 dentro de un pozo.
20 El dispositivo vibratorio de fondo de pozo 100 incluye un puerto de alimentación de entrada 112 a través de la cual se introduce fluido en el dispositivo 100. El fluido bombeado hacia abajo de la cuerda de trabajo 10 entra en el dispositivo vibratorio de fondo de pozo 100 a través del
25 puerto de alimentación de entrada 112. El dispositivo 100

incluye una primera alimentación eléctrica¹²⁴ y una segunda alimentación eléctrica 128, ambas conectadas al puerto de alimentación de entrada 112 a través de una alimentación de conexión 114. El fluido que fluye a través del dispositivo
5 100 alternará entre el flujo hacia abajo de la primera alimentación de energía¹²⁴ y la segunda alimentación de energía 128 debido al efecto de Coandă basado en entradas de fluido desde las vías de accionamiento 122 y 126 y las vías de retroalimentación 121 y 125, conforme se detalla en la
10 patente de los EE.UU. No. 8,727,404, con el flujo alternativo que se utiliza para crear pulsos de presión periódicos 21.

Puede ser beneficioso utilizar un dispositivo de fondo de pozo 20 para proporcionar un impulso de energía periódico
15 21 a una fractura 2 de un pozo durante la fractura hidráulica la fracturación hidráulica de la fractura 2. El mismo dispositivo de fondo de pozo 20 puede usarse para investigar el pozo y/o estimular el pozo. Puede ser importante que dicho dispositivo de fondo de pozo 20 sea
20 capaz de producir pulsos de energía consistentes durante un periodo de tiempo prolongado. La FIG. 6 muestra un gráfico que indica impulsos de presión calculados mediante una herramienta de martillo de fluido EasyReachTM a velocidades de bombeo superficiales de 1,5 bpm y 3 bpm. La FIG. 6
25 muestra que la herramienta EasyReachTM es capaz de generar

impulsos de energía consistentes como indican los impulsos de presión medidos a velocidades de bombeo superficiales de 1,5 bpm y 3 bpm.

Los inventores desarrollaron un modelo informático,
5 basado en el Método de Características, para la herramienta EasyReach™ a fin de evaluar la capacidad de fractura como resonador del impulso de presión. El modelo matemático supone que el pozo y la fractura son tubos para los cuales se conoce la velocidad de la onda. La velocidad de
10 propagación de la onda en el tubo enrollado se proporciona mediante la siguiente ecuación, con ρ para la densidad del fluido, w para el espesor de la pared del tubo enrollado, d es el diámetro exterior del tubo enrollado, E para el módulo de Young del material del tubo enrollado y K para el módulo
15 de volumen de fluido.

$$c = \left[\rho \left(\frac{1}{K} + \frac{d}{wE} \right) \right]^{-0.5}$$

La velocidad de la onda corriente abajo del dispositivo de fondo de pozo 20 puede interpolarse a partir de una tabla dada de frecuencia y velocidad compleja, en función de las propiedades del pozo y/o de la fractura. En cualquier
20 momento dado, la frecuencia de la herramienta puede usarse para calcular la velocidad de la onda en el pozo y la fractura. Durante la simulación, la frecuencia de impulsos de energía periódicos de la herramienta EasyReach™ comienza en 7 Hz y varía entre 5 Hz y 9 Hz. La frecuencia para otros

dispositivos de pozo 20 puede variar con respecto a las frecuencias de la herramienta EasyReach™. Las FIG. 7-11 muestran gráficos basados en el módulo informático y los resultados de la simulación a partir de la herramienta
5 EasyReach™ que representan la evolución de la presión de fractura a lo largo del tiempo e ilustran que una fractura es un sistema de resonancia efectivo. Así, los impulsos de energía periódicos y, en particular, los impulsos de presión, pueden mejorar el rendimiento de la estimulación de la
10 fractura. La capacidad para variar la magnitud y la frecuencia de los impulsos de energía periódicos desde un dispositivo de fondo de pozo 20 puede permitir la investigación y/o estimulación de un sistema resonante, como una fractura.

15 La FIG. 7 muestra una estimulación, que indica el efecto de la velocidad de bombeo superficial sobre la presión de la fractura cerca del pozo. La herramienta de martillo de fluido EasyReach™ se utiliza para generar ondas de presión periódicas. Tanto la fractura como la corriente
20 descendente de la herramienta tienen una longitud de 164 pies (50 m) y ambas están cerradas. El diámetro interno del pozo se modela teniendo un diámetro de 5,5 pulgadas, con la fractura que tiene un diámetro interno de 1 pulgada. La FIG. 7 muestra datos para una velocidad de bombeo superficial de
25 1,5 bpm y una velocidad de bombeo superficial de 3 bpm.

Como es de esperar, una velocidad de bombeo superficial de 3 bpm produce una presión de fractura mayor que la velocidad de bombeo superficial de 1,5 bpm. El aumento de la amplitud de la onda en el tiempo se debe a que las ondas se desplazan
5 hacia adelante y hacia atrás tanto en el pozo como en la fractura.

La FIG. 8 muestra el efecto sobre la longitud de la fractura de la presión de fractura cerca del pozo. La FIG. 8 muestra el efecto sobre dos longitudes de fractura
10 diferentes: una longitud de fractura de 164 pies (50 m) y una longitud de fractura de 984 pies (300 m). La velocidad de bombeo superficial para esta simulación es de 3 bpm. Ambas fracturas se consideran tubos cerrados, con un diámetro interno de 1 pulgada. La presión de fractura es
15 mayor para una fractura que tiene una longitud más corta, ya que la misma cantidad de fluido de bombeo tiene una mayor contribución en un pequeño volumen de fractura.

La FIG. 9 muestra el efecto de la velocidad de la onda de pozo y fractura sobre la presión de fractura cerca del
20 pozo. Las dos velocidades de onda simuladas fueron de 325 m/s y 650 m/s. Como se muestra en la FIG. 9, un incremento en la velocidad de onda en un sistema de pozo y/o fractura cerrada incrementa significativamente la presión de fractura, ya que las ondas viajan hacia atrás y hacia adelante más
25 rápido.

La FIG. 10 muestra el efecto de la condición de límite del pozo (es decir, si el pozo es abierto o cerrado) sobre la presión de fractura cerca del pozo. En la simulación de pozo cerrado, se utiliza un agente de relleno para cerrar el pozo y concentrar las ondas en un lugar dentro del pozo. En la simulación de pozo abierto no se utiliza ningún agente de relleno. Como era de esperar, la presión de fractura cerca del pozo es significativamente mayor cuando se usa un agente de relleno para cerrar el pozo que en el sistema de pozo abierto.

La FIG. 11 muestra el efecto sobre la presión de fractura cuando la fractura está abierta (fractura abierta) o cerrada (fractura cerrada). La presión de fractura cerca del pozo es mayor en una fractura cerrada que en una fractura abierta. Las simulaciones indican que la aplicación de impulsos de energía periódicos y el uso de un agente de relleno aumentarían significativamente la presión de fractura. Además, la respuesta de fractura varía según las diversas propiedades.

Al suministrar impulsos de energía periódicos a una parte de un pozo y una fractura, las propiedades del pozo y/o la fractura pueden determinarse al modelar matemáticamente el sistema como un sistema resonante basado en datos de onda dentro del pozo. Los datos de onda dentro del pozo pueden ser suministrados por sensores,

conectados a un dispositivo de fondo de pozo y ubicados dentro el pozo y/o por sensores ubicados en la superficie. Además de investigar el pozo y la fractura 2, los impulsos de energía periódicos 21 se pueden usar para realizar cambios en una fractura, como se indicó en la presente.

Aunque la presente invención se ha descrito en términos de ciertas realizaciones preferidas, otras realizaciones que son evidentes para los entendidos en la técnica también se encuentran dentro del alcance de la presente, como realizaciones que no exhiben todas las características y ventajas establecidas en la presente. Por lo tanto, el alcance de la presente invención se define únicamente con referencia a las reivindicaciones adjuntas y sus equivalentes.