

INSTRUMENTOS DE SONDEO Y MÉTODOS RELACIONADOS

REIVINDICACIÓN DE PRIORIDAD

Esta solicitud reivindica el beneficio de la fecha de presentación de la solicitud de patente de los Estados Unidos serie núm. 15/725.097, presentada el 4 de octubre de 2017, para “Earth-Boring Tools and Related Methods”.

CAMPO TÉCNICO

Las modalidades descritas en la presente descripción se relacionan con instrumentos de sondeo y métodos relacionados de perforación. Más particularmente, las modalidades descritas en la presente descripción se relacionan con instrumentos de sondeo que incorporan estructuras para modificar la agresividad de los instrumentos de sondeo giratorios que usan elementos cortantes superabrasivos y con los métodos relacionados.

ANTECEDENTES

Las brocas de arrastre giratorias que usan elementos cortantes superabrasivos en la forma de elementos cortantes compactos de diamante policristalino

(PDC, por sus siglas en inglés) se han usado por décadas. Los elementos cortantes PDC típicamente comprenden una “mesa” de diamantes en forma de disco formada bajo condiciones de alta presión y alta temperatura y termoadherida a un sustrato de soporte tal como carburo de tungsteno cementado (WC), aunque se conocen otras configuraciones. Las brocas que tienen elementos cortantes PDC, que, por ejemplo, pueden soldarse en cavidades en la cara de la broca, las cavidades en cuchillas que se extienden desde la cara, o se montan a espigas insertadas en el cuerpo de la broca, han probado ser muy efectivas para alcanzar altas velocidades de penetración (ROP, por sus siglas en inglés) al perforar formaciones subterráneas que exhiben resistencias a la compresión inferior a media. Las mejoras en el diseño de los regímenes de flujo hidráulico sobre las caras de las brocas, el diseño del cortador, y la formulación del fluido de perforación han reducido tendencias anteriores notables de tales brocas de “hacerse una bola” al incrementar el volumen del material de formación que puede cortarse antes de exceder la capacidad de la broca y su fluido de flujo de perforación asociado para limpiar los cortes de la formación de la cara de la broca.

Sin embargo, incluso en vista de tales mejoras, los elementos cortantes PDC siguen sufriendo lo que simplemente podría denominarse “sobrecarga”, incluso con

un peso sobre la broca (WOB, por sus siglas en inglés) inferior aplicado a la columna de perforación a la cual se monta la broca que transporta tales elementos cortantes, especialmente si se usan estructuras cortantes agresivas. La relación de torsión al WOB puede usarse como un indicador de agresividad para elementos cortantes, de manera que cuanto mayor es la relación de torsión al WOB, más agresiva la broca. El problema de la excesiva agresividad de la broca es particularmente importante en formaciones de resistencia a la compresión inferior donde una profundidad de corte (DOC, por sus siglas en inglés) excesivamente grande puede alcanzarse en un WOB relativamente inferior. El problema también puede agravarse por las oscilaciones de la columna de perforación, en donde la elasticidad de la columna de perforación puede causar una aplicación errática del WOB a la broca de perforación, con la consecuente sobrecarga.

Otro problema separado implica la perforación desde una zona o estrato de resistencia a la compresión de formación relativamente más alta a una zona “más suave” de resistencia a la compresión significativamente inferior, cuyo problema también puede ocurrir en las denominadas formaciones “intercaladas”, en donde las hiladas de roca más dura, de resistencia a la compresión relativamente más alta se dispersan intermitentemente en una roca más suave de una resistencia a la compresión

relativamente inferior. Mientras que la broca perfora el material de formación más suave sin cambiar el WOB aplicado (o antes que el WOB pueda reducirse mediante el perforador), la penetración de los elementos cortantes PDC y, por lo tanto, la torsión en la broca (TOB, por sus siglas en inglés) resultante, incrementa casi instantáneamente y por una magnitud sustancial. La torsión abruptamente más alta, en cambio, puede causar daño a los elementos cortantes y/o al cuerpo mismo de la broca. En perforación direccional, tal cambio provoca que la orientación de la cara del instrumento del conjunto direccional (medición durante la perforación (MWD, por sus siglas en inglés), o un instrumento de dirección) fluctúe, dificultando aún más que el perforador direccional siga el trayecto direccional planeado para la broca. Por lo tanto, puede ser necesario para el perforador direccional que se retire la broca desde el fondo del pozo para reiniciar o reorientar la cara del instrumento. Además, un motor de fondo de pozo, tal como los motores tipo Moineau impulsados por fluido de perforación comúnmente usados en operaciones de perforación direccional en combinación con un conjunto de fondo de pozo orientable, puede detenerse completamente ante un incremento repentino de torsión. Esto es, la broca deja de girar, lo que detiene la operación de perforación y nuevamente se necesita retirar la broca

desde el fondo de pozo para restablecer el flujo del fluido de perforación y la salida del motor. Tales interrupciones en la perforación de un pozo pueden llevar mucho tiempo y ser bastante costosas.

A lo largo de los años, se han realizado numerosos intentos para proteger la integridad de los elementos cortantes de diamantes y sus estructuras de montaje, y para limitar la penetración del cortador en una formación que se está perforando. Por ejemplo, desde un período incluso antes de la llegada del uso comercial de elementos cortantes PDC, la patente de los EE. UU. núm. 3.709.308 describe el uso de diamantes naturales redondos posteriores en el cuerpo de la broca para limitar la penetración de los diamantes cúbicos usados para cortar una formación. La patente de los EE. UU. núm. 4.351.401 describe el uso de diamantes naturales de conjunto de superficie en o cerca del calibre de la broca como limitadores de penetración para controlar la profundidad de corte de los elementos cortantes PDC en la cara de la broca. Las siguientes otras patentes describen el uso de una variedad de estructuras inmediatamente posteriores a los elementos cortantes PDC (con respecto a la dirección prevista de la rotación de la broca) para proteger los elementos cortantes o sus estructuras de montaje: las patentes de los EE. UU. núms. 4.889.017; 4.991.670; 5.244.039 y 5.303.785. La patente de los EE. UU. núm.

5.314.033 describe, entre otras cosas, el uso de elementos cortantes con inclinación hacia atrás positiva y negativa o neutra cooperantes para limitar la penetración de los elementos cortantes con inclinación positiva en la formación. Otro enfoque para limitar la penetración del elemento cortante es usar estructuras o características en el cuerpo de la broca que preceden giratoriamente a los elementos cortantes PDC (en lugar de los posteriores), como se describió en las patentes de los EE. UU. núms. 3.153.458; 4.554.986; 5.199.511 y 5.595.252.

En otro contexto, el de las denominadas estructuras de perforación “antigiratorias”, se afirmó en la patente de los EE. UU. núm. 5.402.856 que una superficie de contacto alineada con una fuerza radial resultante generada mediante un ensanchador antigiratorio debería dimensionarse de tal manera que la fuerza por área aplicada a la pared lateral del pozo no exceda la resistencia a la compresión de la formación que se ensancha. Véase también las patentes de los EE. UU. núms. 4.982.802; 5.010.789; 5.042.596; 5.111.892 y 5.131.478.

Mientras algunas de las patentes anteriores reconocen la conveniencia de limitar la penetración del cortador, o la DOC, o de cualquier otra manera limitar las fuerzas aplicadas a una superficie del pozo, los enfoques descritos son de naturaleza algo generalizada y no logran adaptarse o implementar un enfoque de ingeniería para

lograr una ROP objetivo en combinación con un rendimiento de brocas más estable y predecible. Además, los enfoques descritos no proporcionan una broca o método de perforación que generalmente es tolerante al ser axialmente cargado con una cantidad de WOB sobre y por encima de lo que sería óptimo para la velocidad de penetración actual para la formación particular que se está perforando y que no generará grandes cantidades de paradas de broca o torsión que dañe la broca potenciales si la broca se somete a tales cantidades excesivas de peso sobre la broca.

Se presentan diversas soluciones exitosas para el problema del exceso de penetración del elemento cortante en las patentes de los EE. UU. núms. 6.298.930; 6.460.631; 6.779.613 y 6.935.441, cuya descripción se incorpora en la presente descripción como referencia en su totalidad. Específicamente, la patente de los EE. UU. núm. 6.298.930 describe una broca de arrastre giratoria que incluye características exteriores para controlar la profundidad de corte mediante elementos cortantes montados en esta, para controlar el volumen de corte del material de formación por rotación de broca, así como la torsión experimentada por la broca y un conjunto de fondo de pozo asociado. Estas características, también denominadas características de control de profundidad de corte (DOCC, por sus siglas en inglés) proporcionan una superficie o superficies de contacto no cortante(s) con

área de superficie suficiente para soportar el WOB axial o longitudinal sin exceder la resistencia a la compresión de la formación que se está perforando y de tal manera que la profundidad de penetración de los elementos cortantes PDC que cortan la formación esté controlada. Porque las características del DOCC están sujetas al WOB aplicado así como al contacto con la formación abrasiva y fluidos de perforación con abrasivos, las características del DOCC pueden estratificarse en la superficie de una broca de cuerpo de acero como una soldadura de cara dura o montante que tiene características de material requerido para una carga alta y ambiente de erosión/abrasión alta, o incluye elementos o insertos individuales discretos resistentes al desgaste en superficies de contacto en la cara de una broca tipo matriz, como se ilustra en la Figura 1 de la patente de los EE. UU. núm. 6.298.930. Los elementos o insertos resistentes al desgaste pueden comprender discos o tabiques de carburo de tungsteno, grano de diamante, película de diamante, diamante natural o sintético (PDC o TSP), o nitrilo de boro cúbico.

Las Figuras 10A y 10B de la patente '930, respectivamente, ilustran diferentes combinaciones de característica DOCC y del cortador PDC. En cada caso, un único cortador PDC se asegura a un portador de cortador y limitador DOC combinados, el portador, después, se recibe

dentro de una cavidad en la cara (o en una cuchilla) de una broca y se asegura allí. El limitador DOC incluye una saliente que exhibe una superficie de contacto.

Mientras las características de la DOCC son extremadamente ventajosas para limitar una profundidad de corte al administrar un WOB relativamente estable determinado, un problema cuando un instrumento de sondeo se mueve rápidamente entre materiales de formación relativamente suaves y relativamente duros de resistencias a la compresión de diferencia marcada bajo un WOB alto se denomina “fricción de deslizamiento por adhesión” de la columna de perforación y el conjunto de fondo de pozo, que ocurre cuando la broca repentinamente entra en contacto con una formación demasiado agresiva, que incrementa la torsión reactiva al punto que la rotación de la columna de perforación cesa hasta que la torsión reactiva es lo suficientemente mayor para girar la columna de perforación otra vez, no obstante, de una manera no controlada. Por lo tanto, puede comprometerse la orientación de la cara del instrumento. Además de la fricción de deslizamiento por adhesión, cuando un instrumento de sondeo se mueve rápidamente entre formaciones relativamente duras y relativamente suaves bajo un WOB alto puede provocar daño de impacto a los elementos cortantes PDC, y en casos extremos, a la broca misma. El uso de características de la DOCC convencionales en una broca de perforación

equipada con elementos cortantes PDC, típicamente, reduce la agresividad de la broca en el orden de aproximadamente 20 % a aproximadamente 30 % en comparación con la misma broca sin las características de la DOCC. Como las características de la DOCC existentes se basan solamente en el área de superficie de los elementos de contacto para controlar la exposición de los elementos cortantes PDC y la agresividad de la broca, tales características de la DOCC pueden no responder suficientemente en términos de reducción de agresividad para cambios repentinos en resistencia a la compresión de la roca para evitar fricción de deslizamiento por adhesión y daño de impacto.

Los inventores de la presente descripción han reconocidos deficiencias de las técnicas de la DOCC convencionales en ciertos ambientes de perforación subterráneos y han desarrollado un enfoque contrario a la lógica, novedoso y sorprendente para controlar la agresividad de la broca que responde sustancialmente más a los cambios en la resistencia a la compresión de la formación, tal como puede ocurrir con las formaciones intercaladas, que con las técnicas de la DOCC convencionales.

DESCRIPCIÓN

Las modalidades descritas en la presente descripción incluyen un instrumento de sondeo, que comprende un cuerpo, primeros elementos cortantes montados en una cara axialmente anterior del cuerpo, los primeros elementos cortantes tienen cada uno una cara cortante expuesta a una altura sobre la cara del cuerpo, las caras cortantes de los elementos cortantes se inclinan hacia atrás y se orientan en una dirección de rotación intencionada del instrumento de sondeo. El instrumento de sondeo comprende, además, segundos elementos cortantes montados en la cara axialmente anterior del cuerpo adyacente a los primeros elementos cortantes en una región de cono de la cara axialmente anterior adyacente a un eje longitudinal del cuerpo, los segundos cuerpos cortantes tienen cada uno una cara cortante configurada para una acción de corte tipo cizalla y expuestos a una altura sobre la cara del cuerpo, las caras cortantes de los segundos elementos cortantes se inclinan hacia atrás a aproximadamente un mismo o mayor alcance que los primeros elementos cortantes y se generalmente se orientan en la dirección de rotación intencionada del instrumento de sondeo.

Las modalidades descritas en la presente descripción también incluyen un instrumento de sondeo que

comprende un cuerpo que tiene cuchillas que se extienden generalmente radialmente que sobresalen longitudinalmente de ahí, primeros elementos cortantes superabrasivos montados en las caras de las cuchillas axialmente anteriores de las cuchillas adyacentes a las caras giratoriamente anteriores de estas, los primeros elementos cortantes superabrasivos comprenden una cara cortante configurada para una acción de corte tipo cizalla orientada sustancialmente en una dirección de rotación de la broca intencionada y que exhibe una agresividad. Los instrumentos de sondeo comprenden, además, segundos elementos cortantes superabrasivos montados en las caras de cuchilla axialmente anteriores en una región de cono de estos, los segundos elementos cortantes superabrasivos que comprenden una cara cortante configurada para una acción de corte tipo cizalla, orientada sustancialmente en la dirección de rotación de la broca intencionada y que exhibe una agresividad menor que la agresividad de los primeros elementos cortantes superabrasivos. Los primeros elementos cortantes superabrasivos y los segundos elementos cortantes superabrasivos exhiben sustancialmente la misma exposición sobre la cara axialmente anterior de la cuchilla común.

Las modalidades descritas en la presente descripción incluyen, además, un método para perforar una formación subterránea, que comprende atacar una formación subterránea para cizallar un material de formación con un

primer conjunto de elementos cortantes de una broca de arrastre giratoria bajo los WOB y TOB aplicados y atacar simultánea y sustancialmente la formación subterránea bajo los WOB y TOB aplicados para cizallar un material de formación menos eficientemente con una segundo conjunto de elementos cortantes de la broca de arrastre giratoria para reducir la agresividad de la broca de arrastre giratoria.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Las Figuras 1A y 1B son, respectivamente, una elevación inferior y una vista en perspectiva parcial de un instrumento de sondeo en la forma de una broca de arrastre, de acuerdo con una modalidad de la descripción;

las Figuras 2A y 2B son, respectivamente, una vista en perspectiva y una elevación frontal (como para montarse a un instrumento de sondeo) de un elemento cortante ineficiente como se usa en las brocas de arrastre de las Figuras 1A, 1B y 5 y como pueden usarse en otros instrumentos de sondeo;

la Figura 3 es una vista en perspectiva parcial de una broca de arrastre que usa elementos de contacto ovoides como estructuras de la DOCC, y la Figura 3A es una vista ampliada de un elemento cortante superabrasivo de la broca de arrastre de la Figura 3 giratoriamente arrastrado por un elemento de contacto ovoide;

la Figura 4 es una vista en perspectiva ampliada de una broca de arrastre equipada con tres (3) elementos cortantes ineficientes, tal como se describe en el EJEMPLO;

la Figura 5 es una vista frontal en perspectiva de otro instrumento de sondeo en la forma de una broca de arrastre de acuerdo con otra modalidad de la descripción; y

las Figuras 6A a 6D son, respectivamente, una vista en perspectiva frontal, una vista en perspectiva posterior, una elevación lateral y una elevación de la parte superior de un elemento cortante ineficiente que puede usarse en las brocas de arrastre de las Figuras 1A, 1B y 5 u otros instrumentos de sondeo.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

En varias modalidades, los instrumentos de sondeo se describen incorporando estructuras para reducir la agresividad de los elementos cortantes superabrasivos que responden a los cambios importantes y rápidos en resistencia a la compresión de la roca en formaciones que se están perforando mediante un instrumento de sondeo. A diferencia de las anteriores características de la DOCC que dependen de un área de superficie de los elementos de contacto para limitar la DOC de los elementos cortantes PDC asociados, la modalidad de la presente descripción usa elementos cortantes ineficientes en sustancialmente la misma exposición reducida ligeramente con respecto a elementos cortantes superabrasivos. El contacto repentino y la penetración de los elementos cortantes ineficientes con, por ejemplo, una roca mucho más suave sustancial y simultáneamente con contacto y penetración mediante los elementos cortantes superabrasivos resultan en un DOC sustancial, que responde al WOB que se incrementa dramáticamente, aun así el TOB no incrementa dramáticamente o disminuye dramáticamente con relación a una broca sin la DOCC, reduciendo sustancialmente el potencial de fricción de deslizamiento por adhesión de la columna de perforación así como el daño de impacto al instrumento de sondeo. Similarmente, cuando se encuentra una roca mucho más dura,

la presencia de los elementos cortantes ineficientes mitiga el potencial del daño por impacto.

La siguiente descripción proporciona detalles específicos, tales como tamaños, formas, composiciones de material y orientaciones para proporcionar una descripción completa de las modalidades de la descripción. Sin embargo, una persona con experiencia en la técnica entenderá que las modalidades de la descripción pueden practicarse sin usar necesariamente estos detalles específicos. Las modalidades de la descripción pueden practicarse junto con las técnicas convencionales de fabricación usadas en la industria.

Las figuras presentadas en la presente descripción son solamente para propósitos ilustrativos y no pretenden ser vistas reales de cualquier material, componente, estructura, dispositivo o sistema particular. Se esperan variantes de las formas ilustradas en las figuras como un resultado, por ejemplo, de tolerancias y/o técnicas de fabricación. Por lo tanto, las modalidades descritas en la presente descripción no deben interpretarse como limitadas a las formas o regiones particulares como se ilustran, pero incluyen desviaciones en las formas que resultan, por ejemplo, de la fabricación. Por ejemplo, una región ilustrada o descrita como forma de caja puede tener características rugosas y/o no lineales, y una región ilustrada o descrita como redonda puede incluir algunas características rugosas y/o

lineales. Además, los ángulos agudos entre las superficies que se ilustran pueden ser redondeados, y viceversa. Por lo tanto, las regiones ilustradas en las figuras son de naturaleza esquemática, y sus formas no están previstas para ilustrar la forma precisa de una región y no limitan el alcance de las presentes reivindicaciones. Las figuras no son necesariamente a escala.

Como se usa en la presente descripción, los términos “que comprende”, “que incluye”, “que contiene”, “caracterizado por”, y equivalentes gramaticales de estos son términos inclusivos o abiertos que no excluyen elementos adicionales no mencionados o formas de método, sino que incluyen también los términos más restrictivos “que consiste en” y “que consiste esencialmente en” y los equivalentes gramaticales de estos. Como se usa en la presente descripción, el término “podría” con respecto a un material, estructura, característica o método indica que este se contempla para usar en la implementación de una modalidad de la descripción y se usa tal término en preferencia al término más restrictivo “es” para evitar cualquier implicación de que otros, materiales compatibles, estructuras, características y métodos usables en combinación con esta podrían o deben ser excluidos.

Como se usa en la presente descripción, los términos espacialmente relativos, tales como “por debajo

de”, “debajo”, “inferior”, “al fondo”, “por encima”, “sobre”, “superior”, “parte superior”, “frente”, “posterior”, “izquierda”, “derecha” y lo similar pueden usarse para facilitar la descripción para describir la relación de una característica o elemento con otra(s) característica(s) u otro(s) elemento(s) como se ilustra en las figuras. A menos que se especifique de cualquier otra manera, los términos espacialmente relativos prevén abarcar diferentes orientaciones de los materiales además de la orientación ilustrada en las figuras. Por ejemplo, si los materiales en las figuras están invertidos, los elementos descritos como “sobre” o “por encima” o “en” o “en la parte superior de” otros elementos o características podrían orientarse después “debajo” o “por debajo de” o “bajo” o “en el fondo de” los otros elementos o características. Por lo tanto, el término “sobre” puede abarcar tanto una orientación por encima y por debajo, dependiendo del contexto en el que se usa el término, que será evidente para un experto en la técnica. Los materiales pueden orientarse de cualquier otra manera (p. ej., girados 90 grados, invertidos, volteados) y los descriptores espacialmente relativos usados en la presente descripción pueden interpretarse en consecuencia.

Como se usa en la presente descripción, las formas singulares “un”, “una”, “el” y “la” también

pretenden incluir las formas en plural, a menos que el contexto indique claramente cualquier otra manera.

Como se usa en la presente descripción, los términos “configurado” y “configuración” se refieren a un tamaño, forma, composición del material, orientación y arreglo de una o más de al menos una estructura y al menos un aparato que facilita el funcionamiento de una o más de la estructura y el aparato de una manera predeterminada.

Como se usa en la presente descripción, el término “sustancialmente” en referencia a un parámetro, propiedad o condición determinada significa e incluye un grado que un experto en la técnica entendería que el parámetro, propiedad o condición determinada se cumple con un grado de varianza, tal como dentro de las tolerancias de fabricación aceptables. A manera de ejemplo, dependiendo del parámetro, propiedad o condición particular que se cumple sustancialmente, el parámetro, propiedad o condición puede cumplirse al menos 90,0 %, cumplirse al menos 95,0 %, cumplirse al menos 99,0 %, o incluso cumplirse al menos 99,9 %.

Como se usa en la presente descripción, el término “aproximadamente” en referencia a un parámetro determinado incluye el valor indicado y tiene el significado dictado en el contexto (p. ej., incluye el grado de error asociado con la medición del parámetro determinado).

Como se usa en la presente descripción, los términos “instrumento de sondeo” y “broca de perforación de sondeo” significan e incluyen cualquier tipo de broca o instrumento usado para la perforación durante la formación o ampliación de un pozo en una formación subterránea e incluye, por ejemplo, brocas cortadoras fijas (es decir, de arrastre), brocas de núcleo, brocas excéntricas, brocas de centrar doble, expansores, molinos, brocas híbridas (p. ej., componentes de contacto en combinación con elementos cortantes fijos), y otros instrumentos y brocas de perforación que usan elementos cortantes fijos, como se conoce en la técnica.

Como se usa en la presente descripción, el término “elemento cortante” significa e incluye cualquier elemento de un instrumento de sondeo que se configura para cortar o de cualquier otra manera eliminar material de formación cuando el instrumento de sondeo se usa para formar o ampliar un pozo en la formación. En particular, “elemento cortante”, como se usa el término en la presente descripción con respecto a la implementación de las modalidades de la presente descripción, significa e incluye tanto elementos cortantes superabrasivos como elementos cortantes formados a partir de otros materiales duros. Los ejemplos de lo anterior incluyen compactos de diamante policristalino y compactos de nitrilo de boro cúbico, así como elementos cortantes que usan diamante y

revestimientos de película de carbono tipo diamante, y ejemplos de lo último incluyen carburos metálicos tales como carburo de tungsteno (WC).

Como se usa en la presente descripción, el término “elemento de contacto” significa un elemento configurado para montarse en un cuerpo de instrumento de sondeo, tal como una broca de perforación, y para frotar contra una formación a medida que el cuerpo del instrumento de sondeo se gira dentro de un pozo sin exhibir un cizallamiento sustancial (es decir, medible) u otra acción de extracción de material de formación cuando está en contacto con el material de formación. Los elementos de contacto incluyen, por ejemplo, los que se mencionan en la técnica como estructuras o elementos de control de profundidad de corte (DOCC), por ejemplo y sin limitarse a, elementos de contacto en forma de ovoide. Con referencia a las Figuras 3 y 3A, una broca de arrastre convencional 200 que comprende cuchillas 202 puede usar elementos cortantes PDC 204 adyacentes a las caras giratoriamente anteriores 206 de las cuchillas 202, giratoriamente seguidas por elementos de contacto 208 en la forma de ovoides insertados en las caras axialmente anteriores 210 de las cuchillas 202 en la región de cono 212 de la cara de la broca. Como se representa en la Figura 3A, los elementos de contacto 208 pueden subexponerse mediante una distancia D seleccionada para limitar el DOC de los elementos cortantes PDC 204 sin

exhibir alguna acción de extracción del material de formación sustancial.

Como se usa en la presente descripción, el término “energía específica mecánica” o “MSE”, por sus siglas en inglés, significa e incluye un valor indicativo del trabajo expandido por volumen de unidad de roca eliminada durante una operación de perforación. La MSE puede calcularse mediante el uso de mediciones de torsión en la broca y peso sobre la broca realizadas mediante sensores basados en brocas o hechas por sensores fuera de la broca. La MSE puede calcularse de la siguiente manera a partir de sensores basados en brocas:

$$MSE = (k_1 \times TOB \times RPM) / ROP \times D^2 + (k_2 \times WOB / \pi \times D^2)$$

donde, k_1 y k_2 son constantes, TOB es la torsión en broca, ROP es la velocidad obtenida de la penetración de la broca de perforación, D es el diámetro de la broca de perforación y WOB es el peso sobre la broca determinado mediante el uso de la medición del sensor basado en broca. La MSE calculada a partir de sensores del WOB y la TOB fuera de la broca tiende a alcanzar unos valores más altos.

Como se usa en la presente descripción el término, “Mu” indica la agresividad de un elemento cortante de una broca y esto corresponde a la broca misma, y significa e incluye una relación de la TOB al

WOB en un DOC específico tal como se mide en milímetros (mm) por revolución de broca.

Las modalidades de la presente descripción comprenden instrumentos de sondeo que usa estructuras de control de agresividad en la forma de elementos cortantes ineficientes en combinación con elementos cortantes superabrasivos convencionales para entrar en contacto con y cizallar material de formación, proporcionando una fuerza de arrastre que incrementa con una profundidad de corte incrementada de los elementos cortantes superabrasivos para limitar la torsión reactiva en los WOB relativamente altos. Tales estructuras de control de agresividad pueden contrastarse con las características DOCC convencionales como se ejemplificó, por ejemplo, por elementos de contacto ovoides o redondeados que entran en contacto con una formación en una acción de frotación no cortante y proporcionan área de superficie suficiente para prevenir que el instrumento de sondeo exceda una resistencia a la compresión de una formación que se está perforando. Si bien este último puede proporcionar, como se mencionó anteriormente, un control de agresividad adecuado durante cambios del WOB gradual o WOB constantes, tales elementos de contacto sustancialmente no responden para prevenir fricción de deslizamiento por adhesión después de encontrarse con una formación relativamente más suave en un WOB relativamente más alto, o prevenir daño de

impacto a elementos cortantes superabrasivos cuando se mueve repentinamente de una formación más suave a una formación relativamente más dura.

Las Figuras 1A y 1B ilustran una modalidad de un instrumento de sondeo en forma de broca de arrastre 100. Una broca de arrastre 100 está libre de elementos de contacto de DOCC convencionales. La broca de arrastre 100 comprende un cuerpo 102 que incluye cuchillas que se extienden generalmente radialmente 104 que sobresalen longitudinalmente. El cuerpo 102 se asegura al extremo de este de las cuchillas opuestas a la estructura (no se muestra) para asegurar la broca de arrastre 100 a una columna de perforación o a un conjunto de fondo de pozo (BHA, por sus siglas en inglés), como es convencional. La estructura a asegurar, puede, por ejemplo, comprender un vástago que tiene una conexión de pasador API. Los conductos de fluidos 106 se ubican entre las cuchillas 104 y se extienden a las ranuras de desecho 108 a lo largo e insertadas radialmente desde el diámetro exterior de las cuchillas 104. Las cuchillas primarias 104p se extienden generalmente radial y externamente desde un eje longitudinal L del cuerpo 102 a un diámetro externo de una broca de arrastre 100, mientras que las cuchillas secundarias 104s tienen extremos internos radialmente remotos desde el eje longitudinal L y se extienden

generalmente radial y externamente al diámetro externo de la broca de arrastre 100.

Todas las cuchillas 104 incluyen elementos cortantes superabrasivos, por ejemplo, elementos cortantes 110 que comprenden superficies de diamantes policristalinos 112 montadas en sustratos de carburo cementados 114 asegurados en cavidades 116 y que tienen caras cortantes de dos dimensiones 118 que se orientan en una dirección de rotación de la broca intencionada durante el uso. Los elementos cortantes 110 se inclinan hacia atrás, como lo conocen los expertos en la técnica. Como se muestra, las superficies de diamante 112 tienen caras cortantes circulares 118 y bordes cortantes arqueados 120. Sin embargo, debe apreciarse que los elementos cortantes 110 pueden comprender, por ejemplo, otras caras cortantes tridimensionales, convexas o cóncavas. Además, los elementos cortantes que presentan otras superficies cortantes tridimensionales pueden usarse como elementos cortantes 110. A manera de ejemplo no limitante, los elementos cortantes como se describe y reivindica en las patentes de los EE. UU. núms. 5.697.462; 5.706.906; 6.053.263; 6.098.730; 6.571.891; 8.087.478; 8.505.634; 8.684.112; 8.794.356 y 9.371.699, cedidas al Cesionario de la presente solicitud e incorporadas en la presente descripción en la totalidad cada uno por medio de esta referencia, pueden usarse como

elementos cortantes 110. Además, los elementos cortantes exhiben diferentes estructuras que pueden usarse en combinación como elementos cortantes 110 en la implementación de las modalidades de la presente descripción. Las boquillas 122 en los puertos 124 en los conductos de fluido 106 dirigen el fluido de perforación fuera del interior de la broca de arrastre 100 para enfriar los elementos cortantes 110 y limpiar los cortes de la formación de las caras cortantes 118 y los conductos de fluido 106 y a través de las ranuras de desecho 108 hacia arriba a través de un anillo entre la broca de arrastre 100 y una pared del pozo que se está perforando. La cara 130 de la broca de arrastre 100 incluye un perfil definido por las cuchillas 104 y específicamente, los bordes cortantes 120 de los elementos cortantes 110 montados en esta, el perfil comprende una región de cono 132 que se extiende radialmente desde el eje longitudinal L, una región de punta 134 radialmente externa desde y que circunda la región de cono 132, una región intermedia 136 radialmente externa desde y que circunda la región de punta 134, y una región de calibre 138 radialmente externa desde y que circunda la región intermedia 136. Opcionalmente, los elementos cortantes de repuesto que se inclinan hacia atrás 110b, estructurados similarmente a los elementos

cortantes 110, giratoriamente arrastran los elementos cortantes 110 en la región intermedia 136.

Los elementos cortantes de control de agresividad (AC, por sus siglas en inglés) 150 se ubican en una región de cono 132 de la cara 130 con elementos cortantes giratoriamente anteriores 110 en la región de cono 132. Como se ilustra, los elementos cortantes de AC 150a pueden estar en posiciones radiales similares a los elementos cortantes 110 a los que dirigen respectivamente, elementos cortantes AC 150b pueden estar parcialmente y radialmente desplazados de un elemento cortante asociado 110 al que dirigen respectivamente, o en el caso de los elementos cortantes AC 150c, pueden estar sustancialmente y radialmente entre dos elementos cortantes 110 dirigidos respectivamente para encontrar y romper puntas de rocas de formación entre los elementos cortantes 110 en el perfil. En algunos casos, los elementos cortantes de AC 150c pueden ser adyacentes lateralmente y estar entre elementos cortantes 110. Con diversas colocaciones radiales, los elementos cortantes de AC pueden, en algunos casos, giratoriamente arrastrar elementos cortantes 110 montados en una cuchilla giratoriamente anterior 104.

En términos genéricos, los elementos cortantes de AC 150 se estructuran a propósito para exhibir una acción cortante ineficiente, para requerir un incremento de WOB sustancial cuando la broca de arrastre 100 realiza un DOC

relativamente profundo mientras disminuye el TOB relativo a una broca sin DOCC. Los elementos cortantes de AC 150 se estructuran con una cara cortante bidimensional y que exhibe un borde cortante amplio arrastrado mediante una superficie externa de profundidad medible. Como se muestra, la cara cortante bidimensional puede tener una inclinación hacia atrás mayor que una inclinación hacia atrás de una cara cortante de un elemento cortante asociado 110; sin embargo, la inclinación hacia atrás de la cara cortante puede ser la misma o menor que la inclinación hacia atrás de un elemento cortante asociado 110. Opcionalmente, una cara posterior puede orientarse en un ángulo de inclinación hacia adelante similar o diferente correspondiente al ángulo de inclinación hacia atrás de la cara cortante.

Como las aplicaciones pueden depender de los materiales de formación anticipados que se encuentren, así como del tamaño del elemento cortante, los elementos cortantes de CA 150 podrían en algunas modalidades exponerse a una exposición sustancialmente similar por encima de la superficie de la cuchilla como los elementos cortantes 110, y en algunas modalidades un poco menos, por ejemplo, aproximadamente 0,254 mm a aproximadamente 1,016 mm, o aproximadamente 0,508 mm menos. En otras modalidades, la subexposición de los elementos cortantes de CA 150 puede ser significativamente mayor, o del orden de aproximadamente 2,54 mm a aproximadamente 3,81 mm. Un

límite final se basaría en el tamaño del elemento cortante 110 y su exposición por encima de la cara axialmente anterior de la cuchilla. Como ejemplo no limitante, en el caso de un elemento cortante 110 con una cara cortante de 25,4 mm de diámetro medio expuesta por encima de la cuchilla, la subexposición de un elemento cortante de AC 150 podría ser de hasta aproximadamente 5,08 mm. En aplicaciones donde se desea un mayor cambio de agresividad, los elementos cortantes de AC 150 pueden incluso estar sobreexpuestos en relación con los elementos cortantes 110.

Las Figuras 2A y 2B representan un ejemplo de un elemento cortante de AC 150, como se describe en la patente de los EE. UU. núm. 9.316.058, cedida al Cesionario de la presente invención y la descripción de la cual se incorpora en la presente descripción en su totalidad mediante esta referencia. El elemento cortante de AC 150 comprende un sustrato 152 que incluye una porción cilíndrica, el extremo 154 del cual (que puede incluir un biselar periférico) se recibe en un pozo en una cara de una cuchilla primaria 110p (ver las Figuras 1A y 1B). La cara cortante 156 se flanquea a ambos lados por superficies laterales arqueadas semitroncocónicas 158 y se extiende desde la porción cilíndrica del sustrato 152 hasta el borde cortante arqueado 160, detrás del cual se encuentra la superficie del ápice 162. En la parte posterior de la superficie 162 del ápice, la cara posterior opcional (no se muestra) puede

ser una imagen especular de la cara cortante 156 y estar en un mismo, similar o diferente ángulo al eje A del elemento cortante de AC 150, la cara cortante 156 y la cara posterior que convergen hacia la superficie del ápice 162. La cara cortante 156, el borde cortante 160, la superficie del ápice 162 y la cara posterior, así como las superficies laterales semitroncocónicas 158 pueden comprender el mismo material que el sustrato 152 tal como un carburo cementado (p. ej., WC) y ser integrales con este, o pueden comprender una capa superabrasiva sobre el material del sustrato, como se describe en la patente '058 mencionada anteriormente. La capa superabrasiva puede comprender, por ejemplo, diamante policristalino, un compacto de nitruro de boro cúbico, una película de diamante aplicada por deposición química de vapor (CVD, por sus siglas en inglés) o carbono similar al diamante (DLC, por sus siglas en inglés).

Las Figuras 6A a 6D ilustran otro ejemplo de un elemento cortante de AC 150'. Los números de referencia que indican características similares a las del elemento cortante de AC 150 son idénticos por conveniencia. El elemento cortante de AC 150' comprende un sustrato 152 que incluye una porción cilíndrica, el extremo 154 del cual (que puede incluir un biselar periférico) se recibe en un pozo en una cara de una cuchilla primaria 110p (ver las Figuras 1A y 1B). La cara cortante 156 se flanquea a ambos lados por superficies laterales arqueadas semitroncocónicas

158 y se extiende desde la porción cilíndrica del sustrato 152 hasta el borde cortante arqueado 160, detrás del cual se encuentra la superficie del ápice 162. En la parte posterior de la superficie del ápice 162, la cara posterior 164 puede configurarse como una saliente sustancialmente convexa 166 adyacente a la superficie del ápice 162 que conduce hacia abajo y hacia afuera a una porción circundante semitroncocónica 168 contigua a las superficies laterales 158, en lugar de como una imagen especular de la cara cortante 156 del elemento cortante de AC 150. La configuración de la cara posterior 164 puede proporcionar mayor resistencia y durabilidad al elemento cortante de AC 150' contra las fuerzas axiales impuestas por la aplicación del WOB, así como las fuerzas de impacto cuando se hace la transición entre materiales de formación subterráneos de dureza significativamente diferente, y las fuerzas giratorias. La cara cortante 156, el borde cortante 160, la superficie del ápice 162 y la cara posterior 164, así como las superficies laterales semitroncocónicas 158 pueden comprender el mismo material que el sustrato 152 tal como un carburo cementado (p. ej., WC) y pueden ser integrales con el mismo, o pueden comprender una capa superabrasiva sobre el material del sustrato, como se describe en la patente '058 mencionada anteriormente. La capa superabrasiva puede comprender, por ejemplo, diamante policristalino, un compacto de nitruro de boro cúbico, una

película de diamante aplicada por deposición química de vapor (CVD, por sus siglas en inglés) o carbono similar al diamante (DLC, por sus siglas en inglés).

Otro ejemplo de un elemento cortante de AC adecuado se describe en la patente de los EE. UU. núm. 6.098.730, también cedida al Cesionario de la presente invención y la descripción la cual se incorpora en la presente descripción en su totalidad mediante esta referencia. Las configuraciones de elementos cortantes adicionales adecuadas para usarse como elementos cortantes de AC cuando se orientan para proporcionar una acción de corte de cizallamiento al entrar en contacto con una formación subterránea se describen a manera de ejemplos no limitantes en las patentes de los EE. UU. núms. 5.323.865; 5.551.768; 5.746.280; 5.855.247; 6.332.503; 8.061.456; 8.240.403; 9.074.435; y la publicación de patente de los EE. UU. núm. 2009/0159341, cada una de las anteriores asignadas al Cesionario de la presente invención y cuya descripción se incorpora en la presente descripción en su totalidad mediante esta referencia.

Debe observarse que los elementos cortantes de AC 150 se montan, de acuerdo con las modalidades de la descripción, en un instrumento de sondeo tal como la broca de arrastre 100, girada transversalmente, es decir, aproximadamente 90°, a la orientación de los estos cuando se usa como se describe en la patente núm. '058. Dicho de

otra manera, en la patente '058, el elemento cortante usa una superficie lateral troncocónica 158 como una cara cortante y su intersección con la superficie del ápice 162 como borde cortante, y el elemento cortante preferentemente se inclina hacia atrás con respecto a una dirección de la rotación de la broca para mayor durabilidad y eficiencia de corte en las aplicaciones de perforación descritas. También se contempla que los elementos cortantes de AC 150 pueden usarse en la implementación de modalidades de la descripción con la cara cortante 156 orientada transversal a la dirección de rotación de la broca, pero también en un ángulo agudo menor incluido con respecto a esta, por ejemplo y sin limitarse a, entre aproximadamente 35° y aproximadamente 55° , pero sin excluir otros ángulos entre cero a 89° .

Si bien no desea limitarse a ninguna teoría en particular, se cree que el contacto de los bordes cortantes 160 y las superficies de ápice 162 de los elementos cortantes de AC 150 con una formación rocosa que se perfora mediante elementos cortantes 110 sustancialmente al mismo tiempo que los bordes cortantes 120 de los elementos cortantes 110 proporciona una acción de corte robusta pero sustancialmente ineficiente, que aumenta en ineficiencia en la forma de arrastre a medida que más área de superficie de las caras cortantes 156 entra en contacto con la roca a medida que aumenta el DOC, lo que requiere un mayor WOB

para una DOC determinada y reduce el TOB en una DOC determinada para la broca de arrastre 100 en relación con una broca sin estructuras de la DOCC. A manera de explicación adicional, las modalidades de la presente descripción permiten el inicio de un objetivo de la DOC, y/o la creación de un cambio deseado de μ en la DOC seleccionada para obtener el efecto deseado de requerir un WOB mayor simultáneamente con la reducción de la TOB en relación con la misma broca sin estructuras de la DOCC. Este fenómeno es particularmente notable en una DOC relativamente mayor, en donde los cortes de formación del contacto de los elementos cortantes de AC 150 quedan atrapados entre los bordes cortantes y las caras de los elementos cortantes y la cara del extremo del pozo. Dicho de otra manera, pueden seleccionarse diversos elementos cortantes de AC para colocarlos en una broca de arrastre giratoria en consideración del tamaño de la broca y el material de formación subterránea anticipado que se perforará para proporcionar un punto de inflexión predecible en una DOC sustancial donde el WOB requerido incrementa significativamente mientras que la TOB se controla y se inicia un cambio de μ deseado y la MSE no incrementa significativamente.

Por lo tanto, es evidente que los instrumentos de sondeo de acuerdo con las modalidades de la descripción exhiben una resistencia sustancial a la

fricción de deslizamiento por adhesión con un WOB relativamente alto, un control mejorado de la cara del instrumento, y proporcionan una indicación temprana antes de que la broca pueda sufrir daños catastróficos, tales como condición de medir resistencia, donde todos los elementos cortantes en un radio determinado en la cara de la broca se dañan severamente o se rompen.

Ejemplo

En pruebas de laboratorio, se accionó una broca de arrastre Baker Hughes T405 de 215,9 mm en una prueba de laboratorio de simulador de control ROP en lutita Mancos a 207 bar de presión y se giró a 90 rpm. El WOB incrementó de una línea base de aproximadamente 2268 kg a aproximadamente 22.680 kg y la DOC incrementó de una línea base de cero a más de 5,08 mm/rev. En cuatro (4) pruebas diferentes, la broca fue respectivamente 1) accionada sin estructuras de la DOCC, 2) accionada con tres estructuras de la DOCC ovoides en la región de cono subexpuestas 0,508 mm con respecto a la primera exposición del elemento cortante PDC anterior, 3) accionada con tres elementos cortantes de AC en la forma de elementos cortantes PDC Baker Hughes Stay True™ como se describe y reivindica en la patente de los EE. UU. núm. 9.316.058, con ápices y caras planas laterales orientadas paralelas a la dirección de rotación de la broca en una orientación convencional

para tales elementos cortantes, subexpuesta 0,508 mm con respecto a la primera exposición principal del elemento cortante PDC anterior y 4) como se muestra en la Figura 4, accionada con tres elementos cortantes Baker Hughes Stay True™ 150 con ápices y una cara plana orientada transversal a la dirección de rotación de la broca en una orientación de “zanjado”, subexpuesta 0,508 mm con respecto a la primera exposición del elemento cortante PDC anterior 110. Como se muestra en la tabla a continuación, bajo un WOB relativamente alto, a aproximadamente 15876 kg y mayor, con la broca realizando una profundidad de corte (4 mm pulg/rev), la broca con los elementos cortantes Stay True™ en la orientación de zanjado requirió 35 % más de WOB que la broca sin estructuras de la DOCC, al mismo tiempo que reduce la TOB en 10 %, el MU en 15 % e incrementa la MSE en solo 15 %. Este ligero incremento en la MSE es insignificante en comparación con la reducción o eliminación del potencial de una fricción de deslizamiento por adhesión muy dañina. Quizás aún más significativamente cuando la broca estaba equipada con estructuras de la DOCC ovoides, la WOB a 4 mm/rev de profundidad de corte fue solo 20 % mayor que la broca sin estructuras de la DOCC, sin disminución de la TOB, solo una disminución de 5 % en la MU, y un incremento de 10 % en la MSE. Por lo tanto, la broca cuando estaba equipada con elementos cortantes Stay True orientados al zanjado requería setenta y cinco por

ciento (75 %) más del WOB para lograr la misma DOC. Se anticipa que el cambio de respuesta favorable exhibido por la broca de prueba cuando está equipada con solo tres elementos cortantes de AC será de mayor magnitud cuando haya más elementos cortantes de AC, por ejemplo, se colocan en la región de cono ocho elementos cortantes de AC como se ilustra en las Figuras 1A y 1B o elementos cortantes de AC, como se ilustra en la Figura 5, que son típicos y representativos del número de estructuras de la DOCC convencionales usadas en brocas de tamaño similar.

4 mm/rev DOC	WOB	TOB	MU	MSE
StayTrue Convencional	+10 %	~	~	+10 %
Ovoides	+20 %	~	-5 %	+10 %
Stay True Transversal	+35 %	-10 %	-15 %	+15 %

La FIGURA 5 es una vista frontal en perspectiva de otra modalidad de un instrumento de sondeo en la forma de broca de arrastre 300, en donde los elementos comunes a las Figuras 1A y 1B y la Figura 5, respectivamente, se identifican con los mismos números de referencia. Como es el caso con la broca de arrastre 100, la broca de arrastre 300 no tiene elementos de contacto de la DOCC convencionales. La broca de arrastre 300 comprende un cuerpo 102 que incluye cuchillas que se extienden generalmente radialmente 104 que sobresalen

longitudinalmente. El cuerpo 102 se asegura en el extremo de este a las cuchillas opuestas a la estructura S para asegurar la broca de arrastre a una columna de perforación o a un conjunto de fondo de pozo (BHA), como es convencional. La estructura a asegurar podría, por ejemplo, comprender un vástago que tiene una conexión de pasador API. Los conductos de fluidos 106 se ubican entre las cuchillas 104 y se extienden a las ranuras de desecho 108 a lo largo e insertadas radialmente desde el diámetro exterior de las cuchillas 104. Las cuchillas primarias 104p se extienden generalmente radial y externamente desde un eje longitudinal L del cuerpo 102 a un diámetro externo de una broca de arrastre 100, mientras que las cuchillas secundarias 104s tienen extremos internos radialmente remotos desde el eje longitudinal L y se extienden generalmente radial y externamente al diámetro externo de la broca de arrastre 100.

Todas las cuchillas 104 incluyen elementos cortantes superabrasivos, por ejemplo, elementos cortantes 110 que comprenden superficies de diamantes policristalinos 112 montadas en sustratos de carburo cementados 114 asegurados en cavidades 116 y que tienen caras cortantes de dos dimensiones 118 que se orientan en una dirección de rotación de la broca intencionada durante el uso. Los elementos cortantes 110 se inclinan hacia atrás, como lo conocen los expertos en la técnica. Como se

muestra, las superficies de diamante 112 tienen caras cortantes circulares 118 y bordes cortantes arqueados 120. Las boquillas 122 en los puertos en los conductos de fluido 106 dirigen el fluido de perforación fuera del interior de la broca de arrastre 100 para enfriar los elementos cortantes 110 y limpiar los cortes de la formación de las caras cortantes 118 y los conductos de fluido 106 y a través de las ranuras de desecho 108 hacia arriba a través de un anillo entre la broca de arrastre 100 y una pared del pozo que se perfora. La cara 130 de la broca de arrastre 100 incluye un perfil definido por la cuchilla 102 y específicamente, los bordes cortantes 120 de los elementos cortantes 110 montados en esta, el perfil que comprende una región de cono 132 que se extiende radialmente desde el eje longitudinal L, una región de punta 134 radialmente externa desde y que circunda la región de cono 132, una región intermedia 136 radialmente externa desde y que circunda la región de punta 134, y una región de calibre 138 radialmente externa desde y que circunda la región intermedia 136. Opcionalmente, los elementos cortantes de repuesto que se inclinan hacia atrás 110b, estructurados similarmente a los elementos cortantes 110, giratoriamente arrastran los elementos cortantes 110 en la región intermedia 136.

Los elementos cortantes de control de agresividad (AC) 150 se ubican en una región de cono 132

de la cara 130 de elementos cortantes giratoriamente posteriores 110 en la región de cono 132. Como se ilustra, los elementos cortantes de AC 150a pueden estar en posiciones radiales similares a los elementos cortantes 10 que estos arrastran respectivamente, elementos cortantes AC 150b podrían estar parcialmente y radialmente desplazados desde un elemento cortante asociado 110 que estos arrastran respectivamente, o en el caso de los elementos cortantes AC 150c pueden estar sustancialmente y radialmente entre dos elementos cortantes arrastrados 110 respectivamente. Con diversas colocaciones radiales, los elementos cortantes de AC pueden en algunos casos conducir giratoriamente elementos cortantes 110 montados en una cuchilla que sigue rotacionalmente 102.

Al igual que con la broca de arrastre 100, la broca de arrastre 300 también usa elementos cortantes Baker Hughes Stay True™ 302 como se describe y reivindica en la patente de los EE. UU. núm. 9.316.058, con ápices y caras planas laterales orientadas paralelas a la dirección de rotación de la broca en una orientación convencional para tales elementos cortantes, en la región de punta 134 de esta.

Aunque ciertas modalidades ilustrativas se han descrito en relación con las figuras, los expertos en la técnica reconocerán y apreciarán que las modalidades abarcadas por la descripción no se limitan a las

modalidades ilustradas y descritas explícitamente en la presente descripción. Por el contrario, pueden hacerse muchas adiciones, eliminaciones y modificaciones a las modalidades descritas en la presente descripción sin apartarse del alcance de las modalidades abarcadas por la descripción, tales como las reivindicadas a continuación, que incluyen equivalentes legales. Además, las características de una modalidad descrita pueden combinarse con las características de otra modalidad descrita mientras aún están incluidas dentro del alcance de la descripción.