

ELEMENTOS DE METAL REDUCTORES DE PRESIÓN PARA COLGADORES PARA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO CORTA

CAMPO TÉCNICO

La presente divulgación se refiere al uso de elementos de metal reductores de presión, y, más particularmente, al uso de un elemento de metal para reducir la presión contra un colgador para tubería de revestimiento corta causada por la expansión térmica de los fluidos de pozo.

ANTECEDENTES

Los pozos geotérmicos pueden perforarse a través de una formación subterránea con el fin de mover el calor en una amplia variedad de aplicaciones de superficie y de fondo de pozo. En algunos casos, una porción del pozo geotérmico se puede revestir al colocar y, típicamente, al cementar una tubería de revestimiento en el pozo. A continuación, se puede introducir y extraer una sarta de tubería de la tubería de revestimiento. Alternativamente, la sarta de tubería también puede introducirse y extraerse de cualquier porción no entubada del pozo.

En algunas operaciones, se puede suspender una tubería de revestimiento corta de una sarta de revestimiento o una capa de cemento fraguado con un colgador para tubería de revestimiento corta. El colgador para tubería de revestimiento corta se ancla al interior de la sarta de revestimiento o capa de cemento fraguado y suspende la tubería de revestimiento corta debajo de la sarta de revestimiento o capa de cemento fraguado. La tubería de revestimiento corta suspendida y el colgador para tubería de revestimiento corta no se extienden a la superficie como lo puede hacer una sarta de revestimiento o capa de cemento fraguado. Un colgador para tubería de revestimiento corta también forma un sello con la sarta de revestimiento o capa de cemento fraguado para evitar el flujo de fluido desde el exterior de la tubería de revestimiento corta suspendido. En cambio, el flujo de fluido se dirige de este modo a través de la tubería de revestimiento corta.

Los elementos de sellado de metal se pueden usar con colgadores para tubería de revestimiento corta en algunas aplicaciones de pozos, tal como aquellas aplicaciones de mantenimiento de pozos geotérmicos. Los pozos geotérmicos pueden tener temperaturas extremas (por ejemplo, superiores a 350°F) que pueden hacer que sea preferible utilizar elementos de sellado de metal, ya que pueden soportar mejor estas temperaturas que otras especies de elementos de sellado. Los fluidos de pozo,

tal como agua, pueden quedar atrapados entre los elementos de sellado de metal en el exterior del colgador para tubería de revestimiento corta. La expansión térmica de estos fluidos de pozo puede aumentar la carga de presión en el colgador para tubería de revestimiento corta. Esta expansión térmica puede ser motivo de especial preocupación en pozos geotérmicos y otros pozos con temperaturas extremas. La presente divulgación proporciona aparatos y métodos mejorados para el uso de colgadores para tubería de revestimiento corta en pozos que tienen temperaturas extremas.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Los ejemplos ilustrativos de la presente divulgación se describen en detalle a continuación con referencia a las figuras de los dibujos adjuntos, que se incorporan en la presente por referencia, y en donde:

La Figura 1 es un esquema de un sistema de tubería de ejemplo para un pozo geotérmico que penetra una formación subterránea de acuerdo con los ejemplos divulgados en la presente;

La Figura 2 es una sección transversal ampliada que ilustra el sistema de tubería de ejemplo de la Figura 1 de acuerdo con los ejemplos divulgados en la presente;

La Figura 3 es una ilustración isométrica de un colgador para tubería de revestimiento corta de ejemplo de acuerdo con los ejemplos divulgados en la presente;

La Figura 4 es una ilustración isométrica de otro ejemplo de un colgador para tubería de revestimiento corta de acuerdo con los ejemplos divulgados en la presente;

La Figura 5A es una sección transversal ampliada de los elementos de sellado de un colgador para tubería de revestimiento corta después del sellado y anclaje a una tubería de revestimiento en un pozo de acuerdo con los ejemplos divulgados en la presente;

La Figura 5B es una sección transversal ampliada de los elementos de sellado de un colgador para tubería de revestimiento corta después de que los elementos de metal reductores de presión hayan reducido la presión dentro del espacio entre los elementos de sellado de acuerdo con los ejemplos divulgados en la presente;

La Figura 6A es una sección transversal ampliada de los elementos de sellado de un colgador para tubería de revestimiento corta después del sellado y anclaje a una tubería de revestimiento en un pozo de acuerdo con los ejemplos divulgados en la presente; y

La Figura 6B es una sección transversal ampliada de los elementos de sellado

de un colgador para tubería de revestimiento corta después de que los elementos de metal reductores de presión hayan reducido la presión dentro del espacio entre los elementos de sellado de acuerdo con los ejemplos divulgados en la presente.

Las figuras ilustradas son solo de ejemplo y no pretenden afirmar ni implicar ninguna limitación con respecto al entorno, la arquitectura, el diseño o el proceso en el que se pueden implementar diferentes ejemplos.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

La presente divulgación se refiere al uso de elementos de metal reductores de presión, y, más particularmente, al uso de un elemento de metal para reducir la presión contra un colgador para tubería de revestimiento corta causada por la expansión térmica de los fluidos de pozo.

En la siguiente descripción detallada de varios ejemplos ilustrativos, se hace referencia a los dibujos adjuntos que forman parte de esta, y en la que se muestran a modo de ilustración ejemplos que se pueden poner en práctica. Estos ejemplos se describen con suficiente detalle para permitirle a las personas del oficio de nivel medio ponerlos en práctica, y debe entenderse que se pueden usar otros ejemplos y que se pueden realizar cambios estructurales, mecánicos, eléctricos y químicos lógicos sin apartarse del espíritu o alcance de los ejemplos divulgados. Para evitar detalles que no son necesarios para permitirle a las personas del oficio de nivel medio poner en práctica los ejemplos descritos en la presente, la descripción puede omitir cierta información conocida por las personas del oficio de nivel medio. La siguiente descripción detallada, por lo tanto, no debe tomarse en un sentido limitativo, y el alcance de los ejemplos ilustrativos está definido únicamente por las reivindicaciones adjuntas.

A menos que se indique lo contrario, todos los números que expresan cantidades de ingredientes, propiedades tales como peso molecular, condiciones de reacción, etc. utilizados en la presente memoria descriptiva y reivindicaciones asociadas deberán comprenderse como modificados en todos los casos por la expresión "alrededor de". En consecuencia, a menos que se indique lo contrario, los parámetros numéricos establecidos en la siguiente memoria descriptiva y reivindicaciones adjuntas son aproximaciones y pueden variar según las propiedades deseadas que se buscan obtener mediante los ejemplos de la presente divulgación. Como mínimo, y no como un intento de limitar la aplicación de la doctrina de equivalentes al alcance de la reivindicación, cada parámetro numérico se debe interpretar al menos a la luz del número de dígitos significativos informados y mediante

la aplicación de técnicas de redondeo habituales. Debe observarse que cuando "alrededor de" está al principio de una lista numérica, "alrededor de" modifica cada número de la lista numérica. Además, en algunas listas numéricas de rangos, algunos límites inferiores enumerados pueden ser mayores que algunos límites superiores enumerados. Las personas del oficio de nivel medio reconocerán que el subconjunto seleccionado requerirá la selección de un límite superior por encima del límite inferior seleccionado.

A menos que se especifique lo contrario, cualquier uso de cualquier forma de los términos "conectar", "engranar", "acoplar", "unir" o cualquier otro término que describa una interacción entre elementos no pretende limitar la interacción a la interacción directa entre los elementos y también puede incluir la interacción indirecta entre los elementos descritos. Además, cualquier uso de cualquier forma de los términos "conectar", "engranar", "acoplar", "unir" o cualquier otro término que describa una interacción entre elementos incluye elementos formados integralmente juntos sin la ayuda de sujetadores o dispositivos de unión externos. En el siguiente análisis y en las reivindicaciones, las expresiones "que incluye" y "que comprende" se usan de manera no exclusiva y, por ende, debe interpretarse que significan "que incluye, entre otros". A menos que se indique lo contrario, como se usa en este documento, "o" no requiere exclusividad mutua.

Las expresiones hacia arriba y hacia abajo/fondo de pozo se pueden usar para referirse a la ubicación de diversos componentes con respecto al fondo o extremo de un pozo. Por ejemplo, un primer componente descrito como hacia arriba de un segundo componente puede estar más alejado del extremo del pozo que el segundo componente. De manera similar, un primer componente descrito como ubicado hacia abajo de un segundo componente puede ubicarse más cerca del extremo del pozo que el segundo componente.

Los ejemplos de los aparatos, métodos y sistemas descritos en la presente se refieren al uso de elementos de metal reductores de presión para colgadores para tubería de revestimiento corta. Los elementos de metal reductores de presión pueden colocarse en la superficie externa del colgador para tubería de revestimiento corta y se disponen entre los elementos de sellado. Como se usa en la presente, "elementos de sellado" se refiere a cualquier elemento utilizado para formar un sello. Los elementos de metal reductores de presión pueden fundirse a las temperaturas del pozo, y el volumen del metal fundido se contrae, lo que, de este modo, proporciona un espacio volumétrico adicional para la expansión térmica de cualquier fluido de pozo atrapado

en el espacio entre los elementos de sellado. Alternativamente, los elementos de metal reductores de presión pueden reaccionar con el fluido del pozo (por ejemplo, un fluido acuoso) y pueden producir un producto de reacción que ocupe menos volumen que los volúmenes combinados del elemento de metal reductor de presión sin reaccionar y el fluido de pozo. El producto de reacción proporcionaría de este modo un espacio volumétrico adicional para la expansión térmica de cualquier fluido de pozo sin reaccionar. Ventajosamente, los elementos de metal reductores de presión pueden usarse a altas temperaturas de pozo, tales como aquellas que superan los 350°F. Como ventaja adicional, los elementos de metal reductores de presión pueden usarse cuando los fluidos de pozo tienen una alta salinidad. Una ventaja adicional es que los elementos de metal reductores de presión comprenden una amplia variedad de metales y aleaciones de metal. Otra ventaja adicional es que, en algunos ejemplos, los elementos de metal reductores de presión pueden usarse como elementos de sellado de respaldo para complementar las capacidades de sellado generales del colgador para tubería de revestimiento corta. Otra ventaja es que los elementos de metal reductores de presión pueden colocarse en un colgador para tubería de revestimiento corta existente sin impacto o ajuste del diámetro externo o perfil exterior de la tubería de revestimiento corta.

Los elementos de metal reductores de presión aumentan el espacio volumétrico disponible para la expansión térmica del fluido de pozo. En un ejemplo específico, el agua puede expandirse un 40 % con un aumento de temperatura de 250°F a 650°F. Los fluidos de pozo, tal como agua, pueden quedar atrapados entre los elementos de sellado del colgador para tubería de revestimiento corta. La expansión térmica del agua, inducida por el aumento de la temperatura de pozo, puede aplicar una presión no deseable a los elementos de sellado y el colgador para tubería de revestimiento corta.

Los elementos de metal reductores de presión se someten a una alteración del material para proporcionar espacio volumétrico adicional para cualquier fluido de pozo atrapado que permanezca después de dicha alteración del material. La alteración material puede ser una alteración física tal como un cambio de fase o una alteración química tal como la formación de un producto de reacción. En cualquier ejemplo, el espacio volumétrico disponible para la expansión térmica del fluido de pozo restante se incrementa para permitir que se reduzca la presión anular dentro del espacio vacío sellado entre los elementos de sellado.

En algunos ejemplos, los elementos de metal reductores de presión

comprenden un metal que cambia de fase. El metal puede cambiar de fase de sólido a líquido a través de fusión o a través de una reacción galvánica. Generalmente, los ejemplos de metales que cambian de fase incluyen metales que se contraen cuando experimentan un cambio de fase a la fase líquida. En algunos ejemplos, el metal que cambia de fase puede estar aleado. La aleación de metal puede ser no eutéctica o eutéctica. Si la aleación es no eutéctica, puede ser hipoeutéctica o hipereutéctica. Los ejemplos de los metales que cambian de fase incluyen, entre otros, bismuto, antimonio, galio, plomo, estaño, manganeso, cadmio, aluminio, hierro, magnesio, níquel, berilio, bario, zinc o cualquier combinación o aleación. Los ejemplos preferidos de aleaciones incluyen, entre otros, aleaciones de bismuto, antimonio y galio.

En algunos ejemplos, los elementos de metal reductores de presión comprenden un metal reactivo que puede reaccionar con el fluido de pozo para producir un producto de reacción que tenga un volumen menor que el volumen combinado del metal reactivo sin reaccionar y el fluido de pozo. Se puede usar magnesio para ilustrar la reducción volumétrica general en el espacio ocupado que se somete a una reacción con agua para formar un hidróxido de metal. El magnesio y el agua pueden tener un volumen de 52 a 66 cm³ por mol dependiendo de la temperatura del agua. El hidróxido de magnesio, el producto de reacción del magnesio y el agua, tiene un volumen de 24,9 cm³/mol. El volumen del producto de reacción es de 38 % a 48 % del volumen de magnesio y agua sin reaccionar. Cualquier gas que se desprenda de la reacción puede escapar hacia el pozo, lo que proporciona más espacio para una expansión térmica adicional. Como otro ejemplo, el calcio y el agua pueden tener un volumen de 45 a 52 cm³ por mol dependiendo de la temperatura del agua. El hidróxido de calcio, el producto de reacción de calcio y agua, tiene un volumen de 34,4 cm³/mol. El volumen del producto de reacción es de 65 % a 75 % del volumen de calcio y agua sin reaccionar. Como ejemplo adicional, el aluminio y el agua pueden tener un volumen de 67 a 77 cm³ por mol dependiendo de la temperatura del agua. El hidróxido de aluminio, el producto de reacción de aluminio y agua, tiene un volumen de 26 cm³/mol. El volumen del producto de reacción es de 33 % a 40 % del volumen de calcio y agua sin reaccionar.

Generalmente, el metal reactivo puede comprender cualquier metal o aleación de metal que se someta a una reacción para formar un producto de reacción que tenga un volumen menor que los volúmenes combinados del metal reactivo base y el fluido de pozo. Los ejemplos de metales reactivos adecuados incluyen, entre otros, magnesio, calcio, aluminio, estaño, zinc, berilio, bario, manganeso, o cualquier

aleación o combinación. Los metales preferidos incluyen magnesio, calcio y aluminio. Los ejemplos de aleaciones de metal adecuadas para el metal reactivo incluyen, entre otros, aleaciones de magnesio, calcio, aluminio, estaño, zinc, cobre, berilio, bario, manganeso, zirconio, itrio, neodimio, gadolinio, plata, estaño, renio o cualquier combinación. Las aleaciones de metal preferidas incluyen aleaciones de magnesio-zinc, magnesio-aluminio, calcio-magnesio o aluminio-cobre.

En algunos ejemplos, las aleaciones de metal del metal reactivo pueden comprender elementos aleados que no son metálicos. Los ejemplos de estos elementos no metálicos incluyen, entre otros, grafito, carbono, silicio, nitruro de boro y similares. En algunos ejemplos, el metal se alea para aumentar la reactividad y/o para controlar la formación de óxidos.

En algunos ejemplos, las aleaciones de metal del metal reactivo también se alean con un metal dopante que promueve la corrosión o inhibe la pasivación, lo que aumenta así la formación de hidróxido. Los ejemplos de metales dopantes incluyen, entre otros, níquel, hierro, cobre, carbono, titanio, galio, germanio, mercurio, cobalto, iridio, oro, paladio o cualquier combinación.

En algunos ejemplos, los metales o aleaciones de metal pueden comprender metales que a la vez cambian de fase y son reactivos. Las aleaciones de metal se pueden formar en un proceso de solución sólida, un proceso de pulvimetalurgia o a través de cualquier otro método, como resultará evidente para las personas del oficio de nivel medio. Independientemente del método de fabricación, el elemento de metal reductor de presión puede deslizarse sobre el mandril de colgador para tubería de revestimiento corta y mantenerse en su lugar a través de cualquier método adecuado. El elemento de metal reductor de presión puede colocarse sobre el mandril de colgador para tubería de revestimiento corta en una pieza sólida o en múltiples piezas discretas. Una vez en su lugar, el elemento de metal reductor de presión se mantiene en su posición con anillos de extremo, anillos sellados, anillos de retención, tornillos de fijación o cualquier otro método similar para retener el elemento de metal reductor de presión en su posición. Como se analizó anteriormente, los elementos de metal reductores de presión se pueden formar y dimensionar para encajar sobre colgadores para tubería de revestimiento corta existentes y, por lo tanto, es posible que no requieran la modificación del diámetro externo o el perfil del colgador para tubería de revestimiento corta.

En algunos ejemplos opcionales, los elementos de metal reductores de presión se pueden fabricar para incluir vacíos que pueden aumentar el espacio disponible para

la expansión térmica a medida que el elemento de metal reductor de presión cambia de fase o reacciona con el fluido de pozo. En otros ejemplos opcionales, se pueden agregar materiales triturables huecos (por ejemplo, microesferas de vidrio) a los elementos metálicos reductores de presión como parte de su fabricación. Los materiales triturables huecos pueden aplastarse al superar un umbral de presión. El volumen ocupado de los materiales triturables huecos es principalmente aire. La trituración de los materiales triturables huecos aumentaría de este modo el volumen disponible para la expansión térmica del fluido de pozo. En algunos ejemplos opcionales, los elementos de metal reductores de presión se pueden fabricar para tener una estructura de celda cerrada que puede aumentar el espacio disponible para la expansión térmica a medida que el elemento de metal reductor de presión cambia de fase o reacciona con el fluido de pozo.

En algunos ejemplos, los elementos de metal reductores de presión pueden usarse para complementar el sello formado por los elementos de sellado. Si el elemento de metal reductor de presión comprende un metal reactivo, el producto de reacción (por ejemplo, un hidróxido de metal) puede solidificarse después de la reacción y formar un material similar al cemento endurecido, que puede impedir el paso del fluido de pozo a través del producto de reacción sólido. El producto de reacción también puede complementar la capacidad de anclaje de los elementos de sellado del colgador para tubería de revestimiento corta. Si el elemento de metal reductor de presión comprende un metal que cambia de fase, el metal líquido puede volver a solidificarse en tal posición para evitar el paso del fluido de pozo a través del metal sólido. El metal sólido también puede complementar la capacidad de anclaje de los elementos de sellado del colgador para tubería de revestimiento corta.

Generalmente, los fluidos de pozo que pueden expandirse térmicamente en el pozo son fluidos de base acuosa. Estos fluidos de pozo incluyen, entre otros, agua salada (por ejemplo, agua que contiene una o más sales disueltas en ella), salmuera (por ejemplo, agua salada saturada, que puede producirse a partir de formaciones subterráneas), agua de mar o cualquier combinación de estos. En el caso de agua salada, salmueras y agua de mar, el fluido de pozo puede comprender una sal monovalente o una sal divalente. Las sales monovalentes pueden incluir, por ejemplo, sal de cloruro de sodio, sal de bromuro de sodio, sal de cloruro de potasio, sal de bromuro de potasio y similares. La sal divalente puede incluir, por ejemplo, sal de cloruro de magnesio, sal de cloruro de calcio, sal de bromuro de calcio y similares. En algunos ejemplos, la salinidad del fluido de pozo puede exceder el 10 %.

Ventajosamente, los elementos de metal reductores de presión de la presente divulgación pueden no verse afectados por el contacto con fluidos con salinidad alta.

Los elementos de metal reductores de presión pueden usarse en formaciones de alta temperatura, por ejemplo, en formaciones con zonas que tienen temperaturas iguales o mayores de 350°F. En algunos ejemplos, los elementos de metal reductores de presión pueden usarse tanto en formaciones de alta temperatura como con fluidos de pozo de alta salinidad. Si bien esta divulgación hace referencia a pozos geotérmicos debido a sus temperaturas extremas, debe entenderse que las enseñanzas de esta divulgación no se limitan a aplicaciones geotérmicas y pueden aplicarse a cualquier pozo, y en particular a aquellos que tengan temperaturas iguales o mayores de 350°F o para cualquier pozo en el que los fluidos de pozo puedan ser susceptibles a una expansión térmica no deseable.

La Figura 1 es un esquema de un sistema de tubería de ejemplo, generalmente 5, para un pozo geotérmico 10 que penetra una formación subterránea 15. El sistema de tubería 5 comprende una tubería de revestimiento de superficie 20 y una capa de cemento de superficie 25 que desciende desde la superficie 30. El sistema de tubería 5 comprende además dos capas de tubería de revestimiento intermedia 35 y capas de cemento intermedias 40 que se despliegan y encajan concéntricamente dentro de la tubería de revestimiento de superficie 20. En algunos ejemplos, solo puede usarse una capa de tubería de revestimiento intermedia 35. En algunos ejemplos, se puede perforar un pozo poco profundo que puede no utilizar una capa de tubería de revestimiento intermedia 35. Un colgador para tubería de revestimiento corta 45 se despliega dentro de la tubería de revestimiento intermedia 35 más interna. El colgador para tubería de revestimiento corta 45 puede usarse para suspender una tubería de revestimiento corta 55 desde dentro de la tubería de revestimiento anterior (es decir, la tubería de revestimiento intermedia 35 más interna). La tubería de revestimiento corta 55 puede ser cualquier conducto adecuado para suspensión dentro del pozo geotérmico 10. La tubería de revestimiento corta 55 es un conducto que no corre hacia la superficie 30 como lo hacen las sartas de tubería de revestimiento intermedia 35. El colgador para tubería de revestimiento corta 45 se sella dentro de la tubería de revestimiento intermedia 35 lo que permite que la tubería de revestimiento corta 55 actúe funcionalmente como una extensión de la tubería de revestimiento intermedia 35.

La Figura 2 es una ilustración de sección transversal ampliada del sistema de tubería de ejemplo 5 de la Figura 1. El sistema de tubería 5 funciona como un

conducto para el pozo geotérmico 10 que penetra la formación subterránea 15. El sistema de tubería 5 comprende una tubería de revestimiento de superficie 20 y una capa de cemento de superficie 25 que ancla la tubería de revestimiento de superficie 20 en el pozo. La tubería de revestimiento de superficie 20 se extiende desde la superficie 30 hasta la profundidad deseada en el pozo geotérmico 10. La tubería de revestimiento intermedia 35 se despliega concéntricamente dentro de la tubería de revestimiento de superficie 20. La tubería de revestimiento intermedia 35 se puede mantener en su lugar dentro de la tubería de revestimiento de superficie 20 con una capa de cemento intermedia 40. Si bien solo se ilustra una capa de la tubería de revestimiento intermedia 35, debe entenderse que pueden usarse tantas capas de tubería de revestimiento intermedia 35 como se desee. Cualquier capa posterior de la tubería de revestimiento intermedia 35 puede encajar concéntricamente entre sí dentro de la tubería de revestimiento intermedia 35 ilustrada. El colgador para tubería de revestimiento corta 45 se despliega dentro de la tubería de revestimiento intermedia 35. El colgador para tubería de revestimiento corta 45 suspende una tubería de revestimiento corta 55 de su extremo. El colgador para tubería de revestimiento corta 45 se ancla a la tubería de revestimiento intermedia 35 con una serie de elementos de sellado 50. Los elementos de sellado 50 forman sellos externos con la superficie interior adyacente de la tubería de revestimiento intermedia 35. Los sellos formados evitan que el fluido de pozo se desvíe de la tubería de revestimiento corta 55 y el colgador para tubería de revestimiento corta 45. Los elementos de metal reductores de presión 60 pueden posicionarse entre los elementos de sellado 50 para reducir la presión de fluidos de pozo atrapados en cualquier vacío 65 entre los elementos de sellado 50 y la superficie interior adyacente de la tubería de revestimiento intermedia 35.

Debe entenderse claramente que los ejemplos por las Figuras 1-2 son meramente aplicaciones generales de los principios de esta divulgación en la práctica, y es posible una amplia variedad de otros ejemplos. Por lo tanto, el alcance de esta divulgación no se limita de manera alguna a los detalles de cualquiera de las Figuras descritas en la presente.

La Figura 3 es una ilustración isométrica de un ejemplo de un colgador para tubería de revestimiento corta, generalmente 100. El colgador para tubería de revestimiento corta 100 se acopla a y forma un sello dentro de la tubería de revestimiento anterior en el extremo de acoplamiento 105. Los elementos de sellado 110 forman sellos externos para sellar contra la superficie de la tubería de

revestimiento anterior y anclan el colgador para tubería de revestimiento corta 100 a la tubería de revestimiento anterior o capa de cemento fraguado. En algunos ejemplos, los elementos de sellado 110 son elementos de sellado metálicos y forman sellos de metal con metal o sellos de metal con cemento. En otros ejemplos, los elementos de sellado 110 pueden ser elementos de sellado no metálicos. Una tubería de revestimiento corta (no se ilustra) puede acoplarse a y suspenderse del extremo de suspensión 115. Elementos de metal reductores de presión 120 puede posicionarse entre los elementos de sellado 110 para reducir la presión de la expansión térmica de cualquier fluido de pozo atrapados en cualquier vacío (por ejemplo, los vacíos 65 como se ilustra en la Figura 2) formado entre los elementos de sellado 110 y la superficie interior adyacente de la tubería de revestimiento anterior o capa de cemento fraguado. Como se describió anteriormente, los elementos de metal reductores de presión 120 reducen la presión en los vacíos al proporcionar un espacio volumétrico adicional en el que los fluidos de pozo atrapados pueden expandirse térmicamente.

Debe entenderse claramente que el ejemplo ilustrado por la Figura 3 es meramente una aplicación general de los principios de esta divulgación en la práctica, y es posible una amplia variedad de otros ejemplos. Por lo tanto, el alcance de esta divulgación no se limita de manera alguna a los detalles de cualquiera de las Figuras descritas en la presente.

La Figura 4 es una ilustración isométrica de otro ejemplo de un colgador para tubería de revestimiento corta, generalmente 200. El colgador para tubería de revestimiento corta 200 se acopla a y forma un sello dentro de la tubería de revestimiento anterior en el extremo de acoplamiento 205. Los elementos de sellado metálicos 210 forman sellos externos para sellar contra la superficie de la tubería de revestimiento anterior o capa de cemento fraguado y anclan el colgador para tubería de revestimiento corta 200 a la tubería de revestimiento anterior o capa de cemento fraguado. Los elementos de sellado no metálicos 215 pueden disponerse próximos a los elementos de sellado metálicos 210 para formar sellos contra la tubería de revestimiento anterior o capa de cemento fraguado. Una tubería de revestimiento corta (no se ilustra) puede acoplarse a y suspenderse del extremo de suspensión 220. Los elementos de metal reductores de presión 225 pueden posicionarse entre los elementos de sellado metálicos 210 y/o los elementos de sellado no metálicos 215 para reducir la presión de la expansión térmica de cualquier fluido de pozo atrapados en cualquier vacío (por ejemplo, los vacíos 65 como se ilustra en la Figura 2) formado entre los elementos de sellado metálicos 210 y/o los elementos de sellado no

metálicos 215 y la superficie interior adyacente de la tubería de revestimiento anterior o capa de cemento. Como se describió anteriormente, los elementos de metal reductores de presión 225 reducen la presión en los vacíos al proporcionar un espacio volumétrico adicional en el que los fluidos de pozo atrapados pueden expandirse térmicamente.

Si bien en la Figura 4 ilustra dos elementos de sellado no metálicos 215 colocados individualmente en los extremos de una serie de elementos de sellado metálicos 210, debe entenderse que se puede usar cualquier cantidad de elementos de sellado no metálicos 215, y que los elementos de sellado no metálicos 215 puede colocarse en cualquier secuencia o serie con los elementos de sellado metálicos 210 según se desee.

Los elementos de sellado no metálicos 215 pueden ser cualquier tipo de elemento de sellado. Los elementos de sellado no metálicos 215 pueden comprender cualquier material no metálico hinchable en petróleo, hinchable en agua y/o una combinación de material no metálico hinchable, como se le ocurriría a una persona del oficio de nivel medio. Un ejemplo específico de un material no metálico hinchable es un elastómero hinchable. Los elementos de sellado no metálicos hinchables 215 pueden hincharse cuando se exponen a un fluido inductor de hinchamiento (por ejemplo, un fluido oleaginoso o acuoso). Generalmente, los elementos de sellado no metálicos 215 pueden hincharse mediante difusión, por lo que el fluido inductor de hinchamiento se absorbe en la estructura de los elementos de sellado no metálicos 215 donde puede retenerse una porción del fluido inductor de hinchamiento. El fluido inductor de hinchamiento puede continuar difundiéndose en los elementos de sellado no metálicos hinchables 215 haciendo que los elementos de sellado no metálicos 215 se hinchen hasta que entren en contacto con una superficie adyacente. Los elementos de sellado no metálicos 215 pueden trabajar en tándem con los elementos de sellado metálicos 210 para crear un sello anular diferencial alrededor del colgador para tubería de revestimiento corta 200.

Debe entenderse claramente que el ejemplo ilustrado por la Figura 4 es meramente una aplicación general de los principios de esta divulgación en la práctica, y es posible una amplia variedad de otros ejemplos. Por lo tanto, el alcance de esta divulgación no se limita de manera alguna a los detalles de cualquiera de las Figuras descritas en la presente.

La Figura 5A es una sección transversal ampliada de los elementos 300 de sellado de un colgador para tubería de revestimiento corta después del sellado y

anclaje a una tubería de revestimiento 305 en un pozo. Un elemento de metal reductor de presión 310 está dispuesto en el espacio vacío 315 entre los elementos de sellado adyacentes 300. En algunas operaciones de pozos, un fluido de pozo 320 puede quedar atrapado en el espacio vacío 315 después de que los elementos de sellado 300 hayan formado el sello alrededor del exterior del colgador para tubería de revestimiento corta. Es posible que este fluido de pozo 320 no pueda escapar del espacio vacío 315 cerrado una vez sellado. En un pozo con una temperatura de fondo de pozo muy alta, tal como un pozo geotérmico, el fluido de pozo 320 puede expandirse térmicamente. La expansión térmica del fluido de pozo 320 puede aumentar la presión dentro del espacio vacío 315. El aumento de la presión dentro del espacio vacío 315 puede afectar la integridad del sello formado y el anclaje realizado por los elementos de sellado 300. En su estado inicial, los elementos de metal reductores de presión 310 reducen el espacio volumétrico disponible dentro del espacio vacío 315 para que residan los fluidos de pozo. Los elementos de metal reductores de presión 310 pueden limitar de este modo la cantidad de fluido de pozo 320 que puede quedar atrapado en el espacio vacío 315.

Aún con respecto a la Figura 5A, los elementos de metal reductores de presión 310 se ilustran en su estado inicial antes de que hayan reducido la presión en el espacio vacío 315. Los elementos de metal reductores de presión 310 comprenden un metal que cambia de fase. Los elementos de metal reductores de presión 310 pueden colocarse dentro de espacio vacío 315 y mantenerse en su lugar con anillos de extremo, anillos sellados, anillos de retención, tornillos de fijación de cualquier otro método similar para retener el elemento de metal reductor de presión en su posición. La composición de los elementos de metal reductores de presión 310 puede seleccionarse para inducir la fusión a una temperatura umbral específica o una reacción galvánica.

La Figura 5B es una sección transversal ampliada de los elementos de sellado 300 de un colgador para tubería de revestimiento corta después de que los elementos de metal reductores de presión 310 hayan reducido la presión dentro del espacio vacío 315. En el ejemplo ilustrado, los elementos de metal reductores de presión 310 se han fundido o reaccionado galvánicamente, y este cambio de fase produce un líquido que ocupa menos volumen dentro del espacio vacío 315. Este cambio de fase del elemento de metal reductor de presión 310 puede ocurrir cuando la temperatura dentro del pozo excede la temperatura de fusión del elemento de metal reductor de presión 310 o cuando el elemento de metal reductor de presión 310 ha reaccionado

galvánicamente. Después de que el elemento de metal reductor de presión 310 haya cambiado de fase, el fluido de pozo 320 atrapado dentro del espacio vacío 315 tendría un espacio volumétrico adicional para la expansión térmica. El espacio volumétrico adicional proporcionado por el elemento de metal reductor de presión 310 permite que la presión dentro del espacio vacío 315 se reduzca a medida que el fluido de pozo 320 se expande térmicamente dentro del espacio vacío 315.

En algunos ejemplos, los elementos de metal reductores de presión 310 líquidos pueden volver a solidificarse y complementar el sello proporcionado por los elementos de sellado 300 si la geometría del espacio vacío 315 es propicia para que una porción del metal resolidificado entre en contacto con las superficies externas de la tubería de revestimiento anterior y el colgador para tubería de revestimiento corta de manera tal que exista un diferencial de presión a través del metal resolidificado.

Debe entenderse claramente que los ejemplos por las Figuras 5A-5B son meramente aplicaciones generales de los principios de esta divulgación en la práctica, y es posible una amplia variedad de otros ejemplos. Por lo tanto, el alcance de esta divulgación no se limita de manera alguna a los detalles de cualquiera de las Figuras descritas en la presente.

La Figura 6A es una sección transversal ampliada de los elementos 400 de sellado de un colgador para tubería de revestimiento corta después del sellado y anclaje a una tubería de revestimiento 405 en un pozo. Un elemento de metal reductor de presión 410 está dispuesto en el espacio vacío 415 entre los elementos de sellado adyacentes 400. En algunas operaciones de pozos, un fluido de pozo 420 puede quedar atrapado en el espacio vacío 415 después de que los elementos de sellado 400 hayan formado el sello alrededor del exterior del colgador para tubería de revestimiento corta. Es posible que este fluido de pozo 420 no pueda escapar del espacio vacío 415 cerrado una vez sellado. En un pozo con una temperatura de fondo de pozo muy alta, tal como un pozo geotérmico, el fluido de pozo 420 puede expandirse térmicamente. La expansión térmica del fluido de pozo 420 puede aumentar la presión dentro del espacio vacío 415. El aumento de la presión dentro del espacio vacío 415 puede afectar la integridad del sello y el anclaje realizado por los elementos de sellado 400. En su estado inicial, los elementos de metal reductores de presión 410 reducen el espacio volumétrico disponible dentro del espacio vacío 415 para que resida el fluido de pozo 420. Los elementos de metal reductores de presión 410 pueden limitar de este modo la cantidad de fluido de pozo 420 que puede quedar atrapado en el espacio vacío 415.

Aún con respecto a la Figura 6A, los elementos de metal reductores de presión 410 se ilustran en su estado inicial antes de que hayan reducido la presión en el espacio vacío 415. Los elementos de metal reductores de presión 410 comprenden metales reactivos. Los elementos de metal reductores de presión 410 pueden colocarse dentro de espacio vacío 415 y mantenerse en su lugar con anillos de extremo, anillos sellados, anillos de retención, tornillos de fijación de cualquier otro método similar para retener el elemento de metal reductor de presión 410 en su posición. La composición de los elementos de metal reductores de presión 410 puede seleccionarse para que reaccione con el fluido de pozo 420 para producir un producto de reacción que ocupe menos volumen que los volúmenes combinados del fluido de pozo 420 y el elemento de metal reductor de presión 410.

La Figura 6B es una sección transversal ampliada de los elementos de sellado 400 de un colgador para tubería de revestimiento corta después de que los elementos de metal reductores de presión 410 hayan reducido la presión dentro del espacio vacío 415. En el ejemplo ilustrado, los elementos de metal reductores de presión 410 han reaccionado con el fluido de pozo 420. El producto de reacción producido a partir de esta reacción ocupa menos volumen dentro del espacio vacío 415 que los volúmenes combinados del fluido de pozo 420 sin reaccionar y los elementos de metal reductores de presión 410. Por lo tanto, se proporcionaría espacio volumétrico adicional para la expansión térmica a cualquier fluido de pozo 420 sin reaccionar. Este espacio volumétrico adicional proporcionado por el elemento de metal reductor de presión 410 permite que la presión dentro del espacio vacío 415 se reduzca a medida que el fluido de pozo restante se expande térmicamente dentro del espacio vacío 415.

En algunos ejemplos, el producto de reacción de los elementos de metal reductores de presión 410 y el fluido de pozo 420 pueden complementar el sello proporcionado por los elementos de sellado 400 si la cantidad de producto de reacción formado y la geometría del espacio vacío 415 son propicias para que una porción del producto de reacción entre en contacto con las superficies externas de la tubería de revestimiento anterior y el colgador para tubería de revestimiento corta de manera tal que exista un diferencial de presión a través del producto de reacción formado.

Debe entenderse claramente que los ejemplos por las Figuras 6A-6B son meramente aplicaciones generales de los principios de esta divulgación en la práctica, y es posible una amplia variedad de otros ejemplos. Por lo tanto, el alcance de esta divulgación no se limita de manera alguna a los detalles de cualquiera de las Figuras descritas en la presente.

También debe reconocerse que los colgadores para tubería de revestimiento corta divulgados también pueden afectar directa o indirectamente a los diversos equipos y herramientas de fondo de pozo que pueden entrar en contacto con los colgadores para tubería de revestimiento corta durante el funcionamiento. Dichos equipos y herramientas pueden incluir, entre otros, una tubería de revestimiento de pozo, tubería de revestimiento corta de pozo, sarta de terminación, sartas de inserción, sarta de perforación, tubería bobinada, línea de acero, cableado eléctrico, tubería de perforación, collares de perforación, motores de lodo, motores y/o bombas de fondo de pozo, motores y/o bombas montados en la superficie, centralizadores, turbolizadores, raspadores, flotadores (por ejemplo, zapatas, collares, válvulas, etc.), herramientas de registro y equipos de telemetría relacionados, accionadores (por ejemplo, dispositivos electromecánicos, dispositivos hidromecánicos, etc.), camisas de deslizamiento, camisas de producción, tapones, cedazos, filtros, dispositivos de control de flujo (por ejemplo, dispositivos de control de flujo de entrada, dispositivos de control de flujo de entrada autónomos, dispositivos de control de flujo de salida, etc.), acoplamientos (por ejemplo, conexión húmeda electrohidráulica, conexión seca, acoplador inductivo, etc.), líneas de control (por ejemplo, eléctricas, de fibra óptica, hidráulicas, etc.), líneas de vigilancia, barrenas de perforación y rectificadores, sensores o sensores distribuidos, intercambiadores de calor de fondo de pozo, válvulas y dispositivos de accionamiento correspondientes, sellos de herramientas, empacadores, tapones de cemento, tapones puente y otros dispositivos o componentes de aislamiento de pozo y similares. Cualquiera de estos componentes puede incluirse en los sistemas descritos en general anteriormente y mostrados en cualquiera de las Figuras.

Se proporcionan colgadores para tubería de revestimiento corta para suspender una tubería de revestimiento corta en un pozo de acuerdo con la divulgación y las Figuras ilustradas. Un colgador para tubería de revestimiento corta de ejemplo comprende dos elementos de sellado dispuestos en el exterior del colgador para tubería de revestimiento corta, y un elemento de metal reductor de presión dispuesto entre los dos elementos de sellado.

Adicional o alternativamente, los colgadores para tubería de revestimiento corta pueden incluir una o más de las siguientes características individualmente o en combinación. El elemento de metal reductor de presión puede comprender un metal seleccionado del grupo que consiste en bismuto, antimonio, galio, plomo, estaño, manganeso, cadmio, aluminio, hierro, magnesio, níquel, berilio, bario, zinc, calcio, estaño, cobre, zirconio, itrio, neodimio, gadolinio, plata, renio, cualquier aleación de

estos y cualquier combinación de estos. El elemento de metal reductor de presión puede comprender una aleación de metal que tiene al menos un metal aleado seleccionado del grupo que consiste en bismuto, antimonio, galio, aluminio, calcio, magnesio y cualquier combinación de estos. El elemento de metal reductor de presión puede fabricarse para incluir vacíos dentro del elemento de metal reductor de presión. El metal reductor de presión puede comprender además un material triturable hueco.

Se proporcionan métodos para reducir la presión anular alrededor de un colgador para tubería de revestimiento corta en un pozo de acuerdo con la divulgación y las Figuras ilustradas. Un método de ejemplo comprende posicionar un colgador para tubería de revestimiento corta en un pozo; en donde el colgador para tubería de revestimiento corta comprende: dos elementos de sellado dispuestos en el exterior del colgador para tubería de revestimiento corta y que tienen un espacio vacío entre ellos, y un elemento de metal reductor de presión dispuesto entre los dos elementos de sellado. El método comprende además atrapar un fluido de pozo en el espacio vacío; en donde el fluido de pozo se expande térmicamente en el espacio vacío y crea una presión anular en el espacio vacío; y reducir la presión anular al alterar materialmente el elemento de metal reductor de presión.

Adicional o alternativamente, el método puede incluir una o más de las siguientes características individualmente o en combinación. La alteración material del elemento de metal reductor de presión puede comprender además cambiar la fase del elemento de metal reductor de presión. El cambio de la fase del elemento de metal reductor de presión puede comprender además fundir el elemento de metal reductor de presión. El cambio de la fase del elemento de metal reductor de presión puede comprender además hacer reaccionar galvánicamente el elemento de metal reductor de presión. La alteración material del elemento de metal reductor de presión puede comprender además hacer reaccionar el elemento de metal reductor de presión con el fluido de pozo. El elemento de metal reductor de presión puede comprender un metal seleccionado del grupo que consiste en bismuto, antimonio, galio, plomo, estaño, manganeso, cadmio, aluminio, hierro, magnesio, níquel, berilio, bario, zinc, calcio, estaño, cobre, zirconio, itrio, neodimio, gadolinio, plata, renio, cualquier aleación de estos y cualquier combinación de estos. El elemento de metal reductor de presión puede comprender una aleación de metal que tiene al menos un metal aleado seleccionado del grupo que consiste en bismuto, antimonio, galio, aluminio, calcio, magnesio y cualquier combinación de estos. El elemento de metal reductor de presión puede fabricarse para incluir vacíos dentro del elemento de metal reductor de presión.

El elemento de metal reductor de presión puede comprender además un material triturable hueco. El pozo puede ser un pozo de un pozo geotérmico.

Se proporcionan sistemas de colgadores para tubería de revestimiento corta para suspender una tubería de revestimiento corta en un pozo de acuerdo con la divulgación y las Figuras ilustradas. Un sistema de ejemplo comprende dos elementos de sellado dispuestos en el exterior del colgador para tubería de revestimiento corta, y un elemento de metal reductor de presión dispuesto entre los dos elementos de sellado. El sistema comprende además la tubería de revestimiento corta acoplada a un primer extremo del colgador para tubería de revestimiento corta, y un conducto conectado a un segundo extremo del colgador para tubería de revestimiento corta.

Adicional o alternativamente, el sistema puede incluir una o más de las siguientes características individualmente o en combinación. El elemento de metal reductor de presión puede comprender un metal seleccionado del grupo que consiste en bismuto, antimonio, galio, plomo, estaño, manganeso, cadmio, aluminio, hierro, magnesio, níquel, berilio, bario, zinc, calcio, estaño, cobre, zirconio, itrio, neodimio, gadolinio, plata, renio, cualquier aleación de estos y cualquier combinación de estos. El elemento de metal reductor de presión puede fabricarse para incluir vacíos y/o un material triturable hueco dentro del elemento de metal reductor de presión. El conducto puede ser una tubería de revestimiento o una capa de cemento fraguado. El pozo puede ser el pozo de un pozo geotérmico.

La descripción anterior proporciona diversos ejemplos de los aparatos, sistemas y métodos de uso divulgados en la presente que pueden contener diferentes etapas del método y combinaciones alternativas de componentes. Debe entenderse que, aunque se pueden analizar ejemplos individuales en la presente, la presente divulgación cubre todas las combinaciones de los ejemplos divulgados, lo que incluye, entre otros, las diferentes combinaciones de componentes, combinaciones de etapas del método y propiedades del sistema. Debe entenderse que las composiciones y los métodos se describen en términos de "que comprenden", "que contienen" o "que incluyen" diversos componentes o etapas. Los sistemas y los métodos también pueden "consistir esencialmente en" o "consistir en" los diversos componentes y etapas. Además, como se usan en las reivindicaciones, los artículos indefinidos "un" o "una" se definen en la presente como uno o más de uno de los elementos que introducen.

Por razones de brevedad, en la presente solo se divulgan explícitamente ciertos rangos. Sin embargo, los rangos desde cualquier límite inferior pueden

combinarse con cualquier límite superior para mencionar un rango no mencionado explícitamente, y los rangos desde cualquier límite inferior pueden combinarse con cualquier otro límite inferior para mencionar un rango no mencionado explícitamente. De la misma manera, los rangos desde cualquier límite superior pueden combinarse con cualquier otro límite superior para mencionar un rango no mencionado explícitamente. Además, siempre que se divulga un rango numérico con un límite inferior y un límite superior, se divulga específicamente cualquier número y cualquier rango incluido que se encuentre dentro del rango. En particular, debe entenderse que cada rango de valores (de la forma "de alrededor de a a alrededor de b", o, de manera equivalente, "de aproximadamente a a b", o, de manera equivalente, "de aproximadamente a-b") divulgado en la presente establece cada número y rango abarcados dentro del rango más amplio de valores incluso si no se mencionan explícitamente. Por lo tanto, cada punto o valor individual puede servir como su propio límite inferior o superior combinado con cualquier otro punto o valor individual o cualquier otro límite inferior o superior, para mencionar un rango no mencionado explícitamente.

Se presentan uno o más ejemplos ilustrativos que incorporan los ejemplos divulgados en la presente. No todas las características de una implementación física se describen o muestran en esta solicitud para una mayor claridad. Por lo tanto, los sistemas y métodos divulgados están bien adaptados para lograr los fines y ventajas mencionados, así como los que son inherentes a estos. Los ejemplos particulares divulgados anteriormente son solo ilustrativos, ya que las enseñanzas de la presente divulgación pueden modificarse y ponerse en práctica de maneras diferentes pero equivalentes que son evidentes para las personas del oficio de nivel medio que tienen el beneficio de las enseñanzas de la presente. Además, no se pretende limitar los detalles de construcción o diseño que se muestran en la presente, a excepción de lo que se describe en las siguientes reivindicaciones. Por lo tanto, es evidente que los ejemplos ilustrativos particulares divulgados anteriormente pueden alterarse, combinarse o modificarse, y que todas tales variaciones se consideran dentro del alcance de la presente divulgación. Los sistemas y métodos divulgados de manera ilustrativa en la presente pueden ponerse en práctica de manera adecuada en ausencia de cualquier elemento que no se divulgue específicamente en la presente y/o cualquier elemento opcional divulgado en la presente.

Si bien la presente divulgación y sus ventajas se han descrito en detalle, debe entenderse que pueden realizarse diversos cambios, sustituciones y alteraciones en la

presente sin apartarse del espíritu y el alcance de la divulgación tal como se define en las siguientes reivindicaciones.