



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 295 691**

(51) Int. Cl.:

G01N 11/02 (2006.01)

G01N 11/12 (2006.01)

E21B 47/00 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Número de solicitud europea: **03808187 .3**

(86) Fecha de presentación : **08.10.2003**

(87) Número de publicación de la solicitud: **1552274**

(87) Fecha de publicación de la solicitud: **13.07.2005**

(54) Título: **Perfilador de conductividad para pozos.**

(30) Prioridad: **08.10.2002 US 416692 P**
04.09.2003 US 657026

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.04.2008

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.04.2008

(73) Titular/es: **Carl E. Keller**
6 Easy Street
Santa Fe, New Mexico 87506, US

(72) Inventor/es: **Keller, Carl E.**

(74) Agente: **Temño Cenicerros, Ignacio**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Perfilador de conductividad para pozos.

5 Referencia cruzada a solicitudes relacionadas

Esta solicitud reivindica el beneficio de la presentación de la Solicitud de Patente Provisional de los Estados Unidos de América N° de Serie 60/416.692, titulada “Perfilador de Conductividad para Pozos”, presentada el 8 de octubre 8 de 2002. Esta solicitud también reivindica prioridad a la Solicitud de Patente de Utilidad de Estados Unidos N° de Serie 10/657.026, presentada el 4 de septiembre de 2003.

Antecedentes de la invención**Campo de la invención (Campo tecnológico)**

La presente invención se refiere a la medición de la conductividad hidráulica de las capas del subsuelo terrestre, y particularmente a un aparato y método, que emplea un revestimiento de eversión flexible, para proporcionar una medición directa continua de la localización y caudal de las fracturas geológicas y lechos permeables que interceptan un pozo.

Antecedentes técnicos

Se pueden hacer muchos tipos de mediciones para evaluar las características de las vetas de flujo de líquidos en el subsuelo terrestre. La mayoría de las mediciones se hacen en un pozo perforado en las formaciones geológicas de interés. El pozo común se mide con una diversidad de técnicas “de exploración” para localizar fracturas, medir caudales en el pozo, medir los efectos de la temperatura del agua que fluye, e identificar vetas de flujo potencial tales como lechos permeables con propiedades medibles únicas. Las técnicas de medición conocidas típicamente implican acústica, resistividad eléctrica, escaneo con video, detección de radiación natural, y radiación inducida. Muchas de estas mediciones que usan técnicas actuales están solamente relacionadas indirectamente con las características de flujo específicas deseadas. Otros sistemas de medición para evaluaciones de vetas de flujo implican el uso de “obturadores (packers)”: bolsas inflables sencillas, dobles, o múltiples, que se usan para aislar una parte del pozo. La parte aislada, que comprende solamente una sección de la extensión vertical del pozo, se bombea después para evaluar el flujo desde, o dentro de, la pared del pozo en condiciones de trabajo específicas.

Es deseable obtener un modo mejorado para medir la conductividad hidráulica y características relacionadas más directamente. La presente invención lo consigue utilizando un aparato de revestimiento especial hacia abajo dentro del pozo. La tecnología de revestimiento de eversión se describe mejor en patentes previamente concedidas al inventor de la presente solicitud. Estas patentes son la Patente de Estados Unidos N° 6298.920 expedida el 9 de octubre de 2001; la Patente de Estados Unidos N° 6.283.209 expedida el 4 de septiembre de 2001; la Patente de Estados Unidos N° 6.244.846 expedida el 12 de junio de 2001; y la Patente de Estados Unidos N° 6.026.900 expedida el 22 de febrero de 2000.

Sumario de la invención (descripción de la invención)

Se describe un método para usar un revestimiento de pozo de eversión para realizar mediciones de conductividad de fluido en materiales que rodean una tubería, tubo, o conducto, así como un pozo por debajo de la superficie terrestre. Un revestimiento flexible se invierte de dentro hacia afuera (se pone del revés) dentro del pozo con un fluido presurizado interno. Según el revestimiento desplaza el fluido ambiental en el pozo dentro de la formación adyacente, se registra la velocidad de descenso del revestimiento. Según el revestimiento impermeable cubre las vetas de flujo en la pared del pozo, se ralentiza la velocidad de descenso. A partir de la velocidad de descenso medida, se determinan los caudales de secciones concretas del pozo.

Se proporciona, de acuerdo con la invención, un método para determinar la conductividad hidráulica del material que rodea un conducto o pozo, que comprende las etapas de: fija de forma estanca un extremo de un revestimiento flexible al extremo próximo del pozo; hacer pasar el revestimiento a lo largo del pozo permitiendo al mismo tiempo que el revestimiento invierta de dentro hacia afuera en un punto de eversión que se mueve a través del pozo; medir la velocidad del punto de eversión; y calcular la conductividad del material adyacente a partir de la velocidad del punto de eversión. La etapa de hacer pasar el revestimiento preferiblemente comprende impulsar el revestimiento hacia abajo en el pozo, tal como presurizando el revestimiento con un fluido.

La etapa de hacer pasar el revestimiento también podría comprender retirar el revestimiento por inversión hacia arriba en el pozo, hacia el extremo próximo, o superficial del pozo. Una etapa preferida adicional es controlar la tensión debida al peso y resistencia del revestimiento ascendente, particularmente cuando se practica la invención extrayendo o retirando el revestimiento hacia arriba en el pozo.

La etapa de calcular la conductividad comprende determinar un caudal de fluido total hacia el exterior dentro del material adyacente desde el segmento del pozo más allá del extremo de eversión del revestimiento. El método preferiblemente comprende la etapa adicional de controlar los cambios en la velocidad del punto de eversión, cuando

el revestimiento cubre una veta de flujo dentro de un material adyacente, el caudal de fluido total de la velocidad se reduce por la cantidad de flujo en la veta del flujo cubierta, provocando simultáneamente un cambio en la velocidad del punto de eversión. La velocidad del punto de eversión frente a la profundidad del pozo puede después representarse para localizar los cambios en la conductividad asociados con cambios en la velocidad del punto de eversión.

La invención también incluye un método preferido para determinar las características físicas de materiales que rodean un pozo subterráneo, teniendo el pozo al menos algo de agua ambiental que permanece en su interior, que comprende las etapas de: fijar de forma estanca un extremo de un revestimiento flexible a un extremo próxima del pozo; impulsar el revestimiento hacia abajo del pozo permitiendo al mismo tiempo que el revestimiento se invierta de dentro hacia afuera en un punto de eversión que desciende por el pozo; medir de forma continua la velocidad de descenso del punto de eversión; determinar un caudal total del agua ambiental hacia fuera dentro del material adyacente desde el segmento del pozo más allá del punto de eversión del revestimiento. Impulsar el revestimiento preferiblemente comprende presurizar el revestimiento con un fluido. El método incluye las etapas adicionales de controlar de forma continua la presión en el revestimiento, y calcular la conductividad a partir del caudal total hacia fuera en el material adyacente como una función de la presión que impulsa al revestimiento.

Preferiblemente, el facultativo de la invención controla los cambios en la velocidad del punto de eversión, en el que cuando el revestimiento cubre una veta de flujo en un material adyacente, el caudal de fluido total se reduce por la cantidad de flujo en la veta de flujo, provocando simultáneamente un cambio en la velocidad del punto de eversión. Después puede realizarse la etapa de representar la velocidad del punto de eversión frente a la profundidad del pozo para localizar cambios en la conductividad asociados con cambios en la velocidad del punto de eversión.

Un objetivo principal de la presente invención es proporcionar un medio y método para determinar directamente la transmisividad o conductividad hidráulica de secciones concretas de subsuelo terrestre.

Una ventaja principal de la presente invención es que permite que se mida la transmisividad del subsuelo de forma comparativamente rápida y con precisión mejorada.

Otros objetivos, ventajas y características novedosas, y el alcance adicional de la aplicabilidad de la presente invención se expondrán en parte en la siguiente descripción detallada, tomada junto con los dibujos adjuntos, y en parte llegarán a ser evidentes para los especialistas en la técnica después del examen de lo siguiente, o puede aprenderse por la práctica de la invención. Los objetivos y ventajas de la invención pueden realizarse y obtenerse mediante los instrumentos y combinaciones particularmente indicados en las reivindicaciones adjuntas.

Breve descripción de los dibujos

Los dibujos adjuntos, que se incorporan en y forman parte de la memoria descriptiva, ilustran varias realizaciones de la presente invención y, junto con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención. Los dibujos son solamente para el propósito de ilustrar una realización preferida de la invención y no deben interpretarse como limitantes de la invención. En los dibujos:

la Fig. 1 es una vista en corte lateral (de escala variable) de una realización de la presente invención que se practica por debajo de la superficie terrestre;

la Fig. 1a es una vista en corte (de escala variable) de una realización alternativa del aparato mostrado en la Fig. 1;

la Fig. 2 es otra vista en corte de una realización preferida de la invención que se hace funcionar en un pozo dentro del subsuelo terrestre;

la Fig. 3a es un gráfico que muestra cualitativamente un perfil de transmisividad hipotético que puede obtenerse practicando la invención en un medio subterráneo de transmisividad uniforme;

la Fig. 3b es un gráfico que muestra cualitativamente un perfil de transmisividad hipotético que puede obtenerse practicando la invención en un medio subterráneo de transmisividad no uniforme;

la Fig. 4 es un diagrama que representa ciertas variables geométricas e hidráulicas asociadas con los cálculos usados para determinar la transmisividad de acuerdo con la presente invención;

la Fig. 5 es un gráfico, que representa la velocidad (pies/segundos/psi) frente a la profundidad (m), que muestra un perfil de velocidad medido desde la parte inferior de una cubierta de pozo hasta el fondo del pozo; los datos sin procesar proporcionan el perfil de la velocidad irregular (trazo más oscuro), mientras que la curva suavizada normalizada (la curva más clara, suavizada en un intervalo de 40 segundos) se muestra superpuesta a la reducción de los datos sin procesar;

la Fig. 6 es un gráfico, que representa la velocidad (pies/segundos/psi) frente a la profundidad (m), que muestra una curva monótona (trazado de color claro) superpuesta a la curva normalizada de la Fig. 5 (trazado más oscuro).

La presente invención usa un revestimiento de pozo de eversión para realizar las mediciones de conductividad de fluido subterráneo. El aparato de revestimiento es similar en algunos aspectos al dispositivo descrito en la Patente de Estados Unidos N° 5.803.666. La presente invención usa el revestimiento de eversión en un método innovador para medir ciertas características del subsuelo. Evertir significa “poner del revés”, es decir, según se desenrolla un
 5 revestimiento flexible, plegable, tubular a partir de un carrete, simultáneamente se invierte topológicamente de modo que la superficie exterior del tubo llega a ser la superficie interior.

En la presente invención, el revestimiento se invierte de dentro hacia afuera en el pozo, tal como un pozo vertical por ejemplo, con fluido presurizado en el revestimiento. Según el revestimiento desplaza el fluido ambiental en el pozo
 10 dentro de la formación adyacente, se registra la velocidad de descenso del revestimiento. Según el revestimiento cubre las vetas de flujo en la pared del pozo, se ralentiza la velocidad de descenso. A partir de la velocidad de descenso medida, se determinan los caudales de secciones concretas del pozo. Esta medición directa de las características de las vetas de flujo radialmente desde el pozo, controlando la velocidad de descenso del revestimiento de eversión, es una faceta central de la presente invención. Tanto el diseño del hardware como el método de análisis se describen a
 15 continuación en este documento, y constituyen aspectos de la invención.

Una ventaja importante de la técnica es que requiere menos de 10% del tiempo la exploración típica o ensayo del obturador. Otra ventaja es que a menudo se instala un revestimiento impermeable en todos los casos, para el propósito de sellar de forma simple el pozo frente al flujo. Mediante la invención, los datos se recogen con un coste adicional
 20 pequeño durante la instalación normal del revestimiento.

Caracterizado en líneas generales, el aparato de acuerdo con la presente invención incluye un codificador en un rodillo de boca de pozo para medir la profundidad (frente al tiempo) de un revestimiento de eversión. A partir de los datos de profundidad frente al tiempo, se puede calcular la velocidad del punto de eversión del revestimiento. El
 25 aparato también incluye un medio para controlar de forma continua la presión de impulso del revestimiento de eversión. El medio de control puede ser un dispositivo “borboteador” de configuración conocida para controlar el nivel de agua en el revestimiento. Como alternativa, la presión puede controlarse por un indicador de presión simple para medir directamente la presión del fluido de accionamiento. En una realización, un componente adicional mide la tensión ejercida por el revestimiento descendente sobre un rodillo o carrete en la superficie. Esta medición de tensión es una
 30 corrección de primer orden para la conductividad deducida a partir de la presión y la velocidad de descenso sola. En circunstancias de un nivel freático relativamente profundo, la medición de la tensión es esencial para controlar cualquier resistencia al descenso del revestimiento que se puede atribuir a excesiva tensión del revestimiento. La medición de la tensión es muy importante si la medición de la conductividad se realiza durante la extracción, en lugar de durante la instalación, del revestimiento en el pozo.

La invención incluye un método para realizar mediciones de características del subsuelo. El uso del revestimiento de eversión requiere un análisis de los parámetros medidos para determinar la transmisividad de partes concretas del pozo. El proceso en el pozo puede describirse brevemente. El revestimiento se inserta hacia abajo del pozo impulsán-
 40 dolo con una presión de fluido; desciende como un pistón de ajuste casi perfecto en el pozo. Por encima del extremo de eversión del revestimiento, la pared del pozo se sella de forma eficaz por el revestimiento. La velocidad de descenso del revestimiento se usa para calcular el caudal de fluido total radialmente (en el régimen de subsuelo adyacente) desde el segmento del pozo por debajo del extremo de eversión del revestimiento. Cuando el revestimiento cubre una veta de flujo comparativamente significativa en la formación adyacente, el caudal del pozo abierto por debajo del punto de eversión se reduce por la cantidad de flujo en esa veta. El cambio en el caudal provoca simultáneamente un cambio
 45 en la velocidad de descenso del revestimiento (velocidad). Una representación de la velocidad de descenso frente a la profundidad muestra la localización de vetas de flujo principales por una disminución asociada en la velocidad de descenso en la localización de la veta de flujo.

Como la presión de impulso en el revestimiento no es necesariamente constante, el cálculo de la conductividad
 50 debe incluir la presión de impulso como una variable así como varios parámetros diferentes importantes tales como la “carga” local en la formación, el efecto de cualquier tensión aplicada al revestimiento deliberadamente o a través de fricción en el sistema, y otros factores de influencia. El resultado es la distribución y magnitud de la conductividad del fluido (y por tanto la permeabilidad) de las formaciones geológicas del subsuelo. Los resultados representados pueden imprimirse al completarse la instalación del revestimiento, usando un ordenador e impresora de disponibilidad
 55 inmediata.

La técnica de la invención se usó para deducir variaciones de conductividad, relacionadas con la profundidad, en un pozo vertical. Los resultados de la invención se compararon con los resultados del “ensayo de obturador” convencional con valores de conductividad muy similares. Es notable observar que la instalación del perfilador de conductividad de
 60 acuerdo con la presente invención requería a estas personas aproximadamente 30 minutos para instalarlo hasta 300 pies (99 m). En contraste, el procedimiento de ensayo de obturador requirió a dos personas 4 días.

Una ventaja de la presente invención es que un revestimiento de eversión proporciona una medición directa conti-
 65 nua de la localización y caudal de fracturas y lechos permeables que interceptan el pozo. Como ésta es una medición directa, no hay necesidad de elaborar una interpretación experta de los datos. El procedimiento es relativamente rápido (por ejemplo, de treinta minutos a aproximadamente 1,5 horas para un perfil completo de un pozo de 330 pies (100 m)). (Lo anterior se puede comparar con los cuatro días que probablemente se requerirían para un juego completo de ensayos de obturador de horquilla del mismo pozo). Además, a diferencia de los obturadores de horquilla, con la

presente invención hay poca preocupación sobre filtraciones más allá del precinto. El conjunto de datos incluye una medición continua de la transmisividad del pozo. Por lo tanto, la integral del flujo del pozo usando los valores de transmisividad medidos es internamente coherente. Hay que considerar que cualquier filtración más allá de los obturadores (por ejemplo, en un intervalo altamente fracturado o desigual del pozo) conduce a un límite superior en lugar de uno real, o un conjunto coherente por sí mismo de valores de transmisividad. Tanto el diseño de hardware como el método de análisis se describen a continuación, y constituyen aspectos de la invención.

Una ventaja importante de la técnica es que requiere menos de 10% del tiempo la exploración típica o ensayo del obturador. Otra ventaja es que a menudo se instala un revestimiento impermeable en todos los casos, para el propósito de sellar de forma simple el pozo frente al flujo. Mediante la invención, los datos se recogen con un coste adicional pequeño durante la instalación normal del revestimiento.

Caracterizado en líneas generales, el aparato de acuerdo con la presente invención incluye un codificador en un rodillo de boca de pozo para medir la profundidad (frente al tiempo) de un revestimiento de eversión. A partir de los datos de profundidad frente al tiempo, se puede calcular la velocidad del punto de eversión del revestimiento. El aparato también incluye un medio para controlar de forma continua la presión de impulso del revestimiento de eversión. El medio de control puede ser un dispositivo “borboteador” de configuración conocida para controlar el nivel de agua en el revestimiento. Como alternativa, la presión puede controlarse por un indicador de presión simple para medir directamente la presión del fluido de accionamiento. En una realización, un componente adicional mide la tensión ejercida por el revestimiento descendente sobre un rodillo o carrete en la superficie. Esta medición de tensión es una corrección de primer orden para la conductividad deducida a partir de la presión y la velocidad de descenso sola. En circunstancias de un nivel freático relativamente profundo, la medición de la tensión es esencial para controlar cualquier resistencia al descenso del revestimiento que se puede atribuir a excesiva tensión del revestimiento. La medición de la tensión es muy importante si la medición de la conductividad se realiza durante la extracción, en lugar de durante la instalación, del revestimiento en el pozo.

La invención incluye un método para realizar mediciones de características del subsuelo. El uso del revestimiento de eversión requiere un análisis de los parámetros medidos para determinar la transmisividad de partes concretas del pozo. El proceso en el pozo puede describirse brevemente. El revestimiento se inserta hacia abajo del pozo impulsándolo con una presión de fluido; desciende como un pistón de ajuste casi perfecto en el pozo. Por encima del extremo de eversión del revestimiento, la pared del pozo se sella de forma eficaz por el revestimiento. La velocidad de descenso del revestimiento se usa para calcular el caudal de fluido total radialmente (en el régimen de subsuelo adyacente) desde el segmento del pozo por debajo del extremo de eversión del revestimiento. Cuando el revestimiento cubre una veta de flujo comparativamente significativa en la formación adyacente, el caudal del pozo abierto por debajo del punto de eversión se reduce por la cantidad de flujo en esa veta. El cambio en el caudal provoca simultáneamente un cambio en la velocidad de descenso del revestimiento (velocidad). Una representación de la velocidad de descenso frente a la profundidad muestra la localización de vetas de flujo principales por una disminución asociada en la velocidad de descenso en la localización de la veta de flujo.

Como la presión de impulso en el revestimiento no es necesariamente constante, el cálculo de la conductividad debe incluir la presión de impulso como una variable así como varios parámetros diferentes importantes tales como la “carga” local en la formación, el efecto de cualquier tensión aplicada al revestimiento deliberadamente o a través de fricción en el sistema, y otros factores de influencia. El resultado es la distribución y magnitud de la conductividad del fluido (y por tanto la permeabilidad) de las formaciones geológicas del subsuelo. Los resultados representados pueden imprimirse al completarse la instalación del revestimiento, usando un ordenador e impresora de disponibilidad inmediata.

La técnica de la invención se usó para deducir variaciones de conductividad, relacionadas con la profundidad, en un pozo vertical. Los resultados de la invención se compararon con los resultados del “ensayo de obturador” convencional con valores de conductividad muy similares. Es notable observar que la instalación del perfilador de conductividad de acuerdo con la presente invención requería a estas personas aproximadamente 30 minutos para instalarlo hasta 300 pies (99 m). En contraste, el procedimiento de ensayo de obturador requería a dos personas 4 días.

Una ventaja de la presente invención es que un revestimiento de eversión proporciona una medición directa continua de la localización y caudal de fracturas y lechos permeables que interceptan el pozo. Como ésta es una medición directa, no hay necesidad de elaborar una interpretación experta de los datos. El procedimiento es relativamente rápido (por ejemplo, de treinta minutos a aproximadamente 1,5 horas para un perfil completo de un pozo de 330 pies (100 m)). (Lo anterior se puede comparar con los cuatro días que probablemente se requerirían para un juego completo de ensayos de obturador de horquilla del mismo pozo). Además, a diferencia de los obturadores de horquilla, con la presente invención hay poca preocupación sobre filtraciones más allá del precinto. El conjunto de datos incluye una medición continua de la transmisividad del pozo. Por lo tanto, la integral del flujo del pozo usando los valores de transmisividad medidos es internamente coherente. Hay que considerar que cualquier filtración más allá de los obturadores (por ejemplo, en un intervalo altamente fracturado o desigual del pozo) conduce a un límite superior en lugar de uno real, o un conjunto coherente por sí mismo de valores de transmisividad.

Se hace referencia a la Fig. 1, que ilustra la instalación de un revestimiento de estanqueidad de acuerdo con la invención. La instalación la realiza fácilmente un técnico en el campo después de una formación muy moderada. Para el propósito de claridad, en la Fig. 1 los tamaños relativos de los componentes subterráneos de la invención están

- relativamente exagerados a los tamaños de los componentes en la superficie. La Fig. 1 muestra el inicio de la invención después de que el revestimiento (10), que está del revés mientras está enrollado alrededor del carrete o bobina (20), se sujeta a la cubierta superficial (22) en el extremo superior o próximo del pozo perforado previamente (25). El pozo (25) se perfora en el subsuelo, normalmente a través de la zona vadosa (27) y hasta por debajo del nivel freático (28).
- 5 Por consiguiente, el hueco del pozo (25) por debajo del nivel freático (28) tenderá a llenarse con el agua subterránea ambiental desde el acuífero adyacente (29) u otro estrato más delgado que tenga agua. Se proporciona una longitud corta del pozo (25), en las cercanías de la superficie del suelo, en su extremo superior o próximo con la cubierta oportuna (22) de acuerdo en líneas generales con la convención.
- 10 El revestimiento de pared delgada (10) se fabrica a partir de un plástico o compuesto adecuadamente duradero, pero flexible, plegable e impermeable. Por ejemplo, el revestimiento (10) puede estar compuesto de uretano unido a nylon. El revestimiento (10) utilizado de acuerdo con la invención se selecciona para que tenga un diámetro que generalmente corresponde a, pero nunca significativamente menor que, el diámetro del pozo (25).
- 15 El revestimiento plegado (10) se extrae de la bobina rotatoria (20), y preferiblemente se pasa sobre un rodillo de guía (15). El extremo libre del revestimiento (10) se sujeta y sella al extremo próximo de la cubierta (22). El revestimiento (10) después se llena progresivamente con el fluido de accionamiento (30), preferiblemente agua, introducido mediante el conducto de fluido (23) por encima del suelo. Como se indica en la Fig. 1, el fluido se vierte en contacto con la superficie “exterior” del revestimiento (10), pero como un resultado de la presión del fluido (30) que empuja el revestimiento (10) hacia abajo del pozo (25), el tubo plegado del revestimiento se presiona contra las paredes del pozo, provocando la eversión del revestimiento. La eversión del revestimiento (10) sucede en un punto de eversión de movimiento constante (EP) según una longitud siempre mayor del revestimiento se llena con fluido de accionamiento (30). La superficie “exterior” antigua del revestimiento (10) efectivamente llega a ser la superficie interior, según el agua u otro fluido (30) introducido desde el conducto de fluido (23) infla y llena el revestimiento para presionar de esta manera la superficie “interior” antigua del revestimiento firmemente contra la pared del pozo (25), como se sugiere por las flechas de dirección más oscuras de la Fig. 1. Se contempla que el revestimiento (10) se fabrica y coloca en la bobina (20) “del revés”, de modo que la superficie del revestimiento que finalmente entra en contacto con la pared del pozo inicialmente define el interior del revestimiento plegado. Según el pozo (25) se llena con fluido de accionamiento (30), el fluido de accionamiento no obstante está contenido continuamente dentro del revestimiento inflado (10), que reviste de forma impermeable el pozo por encima del punto de eversión (EP) en movimiento descendente. El revestimiento (10) por tanto se hace pasar a lo largo del pozo (25), moviéndose el punto de eversión (EP) a alguna velocidad.
- 30 Como resultado, entre otras cosas, de la introducción rápida del fluido de accionamiento mediante el conducto (23), el fluido de accionamiento (30) llena el revestimiento (10) a un nivel de fluido de accionamiento (34) ordinariamente algo por encima del dato vertical del nivel freático (28), como se sugiere en la Fig. 1. En cualquier punto dado a lo largo de la columna del pozo, por lo tanto, la carga hidráulica dentro del revestimiento (10) excede algo la carga que se puede atribuir al agua subterránea ambiental, tal como la presión del acuífero saturado (29).
- 40 La presión del fluido (30) impulsa al revestimiento (10) hacia abajo del pozo (25) algo parecido a un pistón. El revestimiento flexible (10) a presión, sin embargo, se adapta a la pared irregular del pozo, y no se desliza sobre la pared del pozo. Con introducción forzada continuada de fluido de accionamiento en la parte superior del pozo (25), el revestimiento (10) se dilata, se alarga, y se infla hacia la pared del pozo. De nuevo, la expansión del revestimiento (10) sucede en el punto de eversión (EP) donde el revestimiento se pone del revés, estando dicho punto en el punto o anillo más inferior del revestimiento.
- 45 Como se aprecia, el pozo (25) por debajo del nivel freático (28) tiende a llenarse con agua terrestre (33) a un nivel que se aproxima al nivel vertical del nivel freático (28). Según el revestimiento (10) desciende por el pozo (25) a la presión del fluido de accionamiento (30), sin embargo se fuerza al agua detenida (33) desde dentro del pozo, a través de la pared del pozo, y regresa al estrato adyacente (29), como se indica por las flechas de dirección enroscadas más claras en la Fig. 1. El desplazamiento del agua ambiental (33) por el fluido de accionamiento (30), para forzar de esta manera al agua ambiental a regresar a través de la pared del pozo y dentro del régimen geológico adyacente, es un aspecto central del funcionamiento de la invención. Este “flujo inverso” del pozo (25) en el estrato subterráneo (29) permite la medición de la conductividad hidráulica de ese estrato.
- 55 Según el revestimiento (10) se propaga hacia abajo del pozo (25), se sella la pared del pozo. La velocidad de descenso del revestimiento (10) (es decir, la velocidad descendente del punto de eversión EP) se controla mediante las vetas de flujo (flechas de dirección en la Fig. 1) desde el pozo (25) en los estratos adyacentes (27), (29). Según el revestimiento (10) desciende, cubre las vetas de flujo en el estrato que adyacente, y por tanto aísla hidráulicamente la parte superior del pozo por encima del punto de eversión (EP). Por consiguiente, la velocidad del revestimiento de la velocidad descendente está dictada por las vetas de flujo de líquidos restantes desde el pozo por debajo del punto de eversión (EP) del revestimiento.
- 60 De nuevo se observa que aunque esta descripción de la invención se refiere a un “pozo” por debajo de la superficie terrestre, la invención tiene utilidad práctica en sistemas de transporte de fluido tales como tuberías superficiales o estructurales. Es o será fácilmente evidente, por ejemplo, que la invención puede usarse para detectar y localizar filtraciones en tuberías.

Se obtiene comprensión adicional de la invención por referencia a la Fig. 1a, que representa una realización alternativa de la invención vista en la Fig. 1. En esta realización, también se proporciona un par de manómetros, (PM1) y (PM2), para medir la presión de fluido en el pozo en localizaciones por debajo y por encima del punto de eversión (EP), respectivamente. Por tanto, mediante el primer manómetro (PM1) y un segundo manómetro (PM2) pueden controlarse las presiones por debajo y por encima del punto de eversión del revestimiento. Los manómetros pueden ser cualquier transductor convencional adecuado. Si se utilizan ambos manómetros (PM1) y (PM2), la puede controlarse la presión diferencial y también rastrearse. Como se explica adicionalmente en este documento, es preferible tener un medio para medir al menos la presión por encima del punto de eversión (EP), si no por debajo del punto de eversión, para practicar la invención.

Se hace referencia a la Fig. 1, que muestra un revestimiento (10) que ha progresado una distancia significativa hacia abajo del pozo (25). El revestimiento (10) preferiblemente se desenrolla de forma controlable a partir de una bobina (20) y se pasa sobre un rodillo (5). El ensamble de rodillo (5) está equipado con dispositivos de medida de tensión y posición (M), conocidos en la técnica, para medir la cantidad (longitud) de revestimiento (10) que se ha extraído, así como para calibrar la tensión en el revestimiento abajo en el pozo debido a la gravedad. Por tanto, el medidor (M) incluye un codificador, en conexión operativa con el eje del rodillo de boca de pozo (5), para medir la profundidad del revestimiento de eversión en el tiempo. Adicionalmente, controlando constantemente la tensión en el revestimiento (10), puede averiguarse la presión de impulso absoluta del fluido dentro del revestimiento, proporcionando la fuerza de tensión un factor de corrección. El equipo de medida recogido en el componente (M) también incluye un medio para controlar de forma continua la presión de impulso del revestimiento de eversión. Este medio de control de la presión de impulso pueden ser un “borboteado” para controlar el nivel del fluido de accionamiento (34) dentro del revestimiento (10), o un indicador de presión simple (tal como el manómetro PM2 de la Fig. 1a) para medir directamente la presión de impulso. Posteriormente en este documento se explicará el uso adicional de los dispositivos de medida (M) de manera alternativa para practicar la invención.

Cuando se inserta por primera vez en la cubierta de superficie (22), el revestimiento (10) arranca con una velocidad de descenso máxima. La velocidad de descenso depende de la velocidad a la que se desplaza el agua terrestre (30) de forma forzada radialmente hacia fuera en las formaciones subterráneas adyacentes por el revestimiento descendente (10). Cada vez que el revestimiento que se está desenrollando cubre una veta de flujo significativa en un estrato adyacente, por ejemplo, el lente arenoso (37) visto en la Fig. 2, el descenso del revestimiento disminuye en una cantidad dependiente de la veta de flujo sellada por el mismo. Establecido de forma diferente, el paso por una fractura abierta grande en una formación subterránea (por ejemplo, dentro de una capa de la zona saturada 29), o el paso por un estrato de elevada permeabilidad, provoca una gran disminución en la velocidad de descenso del revestimiento.

Se muestra un gráfico de la velocidad de descenso del revestimiento en un medio de conductividad uniforme hipotético (por ejemplo, arena homogénea) en la Fig. 3a. Es una línea recta, que indica que la velocidad de descenso del revestimiento (la velocidad a la que el punto de eversión desciende por el pozo) generalmente está disminuyendo a una velocidad constante hasta la profundidad total (1'D) del pozo. La pendiente de la línea sugiere la conductividad del medio, sugiriendo pendientes empinadas elevada conductividad. En contraste, en un medio fracturado o medio estratificado, la velocidad de descenso frente a la profundidad no es uniforme, y el gráfico de la velocidad de descenso frente a la profundidad puede parecerse, por ejemplo, a la de la Fig. 3b. La velocidad disminuye en etapas abruptas (una fractura grande) o una e tapa inclinada (una zona permeable). Los intervalos de velocidad constante son regiones de poca pérdida agua desde el pozo. En el ejemplo de la Fig. 3b, se indican cuatro zonas de conductividad extremadamente elevada por aumentos abruptos en la pendiente de la línea trazada en f1, f2, f3, y f4. Dichos segmentos de trazado abrupto y cortos generalmente están asociados a fracturas, o quizá a lentes delgados de, por supuesto, arena, que muestran elevada conductividad. Los intervalos que tienen una pendiente poco pronunciada, tal como aquellos en t1, t2 y t3 en la Fig. 3b, son indicativos de formaciones geológicas “herméticas”, zonas de conductividad comparativamente baja. Las partes del gráfico que manifiestan pendientes moderadas, tales como en p1 y p2 en la Fig. 3b, se correlacionan con formaciones subterráneas comparativamente permeables; cuanto más empinada es la pendiente del trazado, mayor es la conductividad de la formación correspondiente.

En la profundidad total del pozo (“TD” en las Fig. 3a y 3b), el revestimiento alcanza el fondo del pozo y su eversión se detiene. Además, es evidente para los especialistas en la técnica que el grosor vertical de una capa subterránea particular de conductividad particular puede determinarse por referencia a los datos del eje de “profundidad en el pozo” del gráfico. Los gráficos de las Fig. 3a y 3b son generalmente de carácter cualitativo para propósitos de ilustración. En la práctica de la invención tanto el dominio y el rango se representan numéricamente para posibilitar la evaluación cuantitativa.

La técnica de la invención, por tanto, deduce a partir del perfil de velocidad del revestimiento, las características de flujo de cada veta de flujo sellada por el revestimiento (10) según desciende verticalmente, midiendo la velocidad de descenso y la presión de impulso en el revestimiento (es decir, la carga en exceso o nivel de agua 34 dentro del revestimiento 10).

Un uso alternativo para la invención es medir la velocidad de un revestimiento ascendente. El movimiento del revestimiento se invierte tirando hacia arriba sobre el revestimiento invertido (10) en la parte superior del pozo, y el movimiento resultante se indica por una flecha de dirección recta continua en la Fig. 2. Los principios del método alternativo son esencialmente los mismos que con un revestimiento descendente, simplemente enfocado desde una perspectiva “invertida”. La Fig. 2 muestra el aparato de la invención utilizado para metodología de revestimiento

ES 2 295 691 T3

ascendente. Un revestimiento (10) se hace progresar una distancia significativa hasta el pozo (25). El revestimiento (10) preferiblemente se enrolla de forma controlable en una bobina (no mostrada en la Fig. 2) y se pasa sobre un rodillo (5). El ensamble de rodillo (5) está equipado con dispositivos de medida de tensión y posición (M), conocidos en la técnica, para medir la cantidad (longitud) de revestimiento (10) que se ha extraído o enrollado, así como para medir la tensión en el revestimiento de abajo en el pozo debido a la gravedad. Por tanto, el medidor (M) incluye un codificador, en conexión operativa con el eje del rodillo de boca de pozo (5), para medir la profundidad del revestimiento de eversión en el tiempo. El equipo de medida recogido en el componente (M) también incluye un medio para controlar de forma continua la presión de impulso del revestimiento de eversión. Este medio de control de la presión de impulso puede ser un “borboteador” para controlar el nivel del fluido de accionamiento (34) en el revestimiento (10), o un indicador de presión simple (tal como el manómetro PM2 de la Fig. 1a) para medir directamente la presión de impulso. Posteriormente en este documento se explicará el uso adicional de los dispositivos de medida (M) en una manera alternativa para practicar la invención.

En el método alternativo de un revestimiento ascendente (de inversión), se provoca que el revestimiento (10) se invierta según sube la parte central del revestimiento. La fuerza de accionamiento es la tensión sobre el revestimiento. Según se invierte y sube el revestimiento en el pozo, se retrae el agua en el pozo por debajo del punto de inversión (EP). La velocidad del revestimiento puede medirse retirando el revestimiento sobre el mismo rodillo. Un modo alternativo es para medir el caudal del revestimiento en la parte superior de la cubierta (22) según se desborda el agua sobre la parte superior del revestimiento (10) según se invierte. La Fig. 2, por ejemplo, muestra un flujómetro (FM) para controlar la descarga del flujo de líquidos desde el revestimiento ascendente. La inversión provoca que el volumen interior del revestimiento (10) por debajo de la tubería superficial disminuya. El flujo saliente del revestimiento (10) es igual al flujo entrante del pozo (25) por debajo del punto de inversión. La medición del flujo tiene la ventaja de que no está influida por la extensión del revestimiento (10) ni por la variación del diámetro del pozo (25). La velocidad del revestimiento (10) sobre el rodillo (5) está incluida solamente por un pequeño error debido a la extensión del revestimiento bajo fuerzas de tensión variables. El método para determinar la conductividad usando un revestimiento ascendente, por tanto, preferiblemente incluye una etapa de medición del caudal de líquidos producido desde el extremo superior del revestimiento, así como de control de la tensión en el propio revestimiento.

La fuerza de accionamiento del revestimiento ascendente (10) es la tensión en el revestimiento. La presión en el pozo (25) por debajo del revestimiento ascendente depende de la tensión en el revestimiento según asciende. Sin embargo, la presión en el interior del revestimiento (10) también afecta a la tensión medida en la superficie del revestimiento. La medición ya sea de la carga en el revestimiento, o de la presión del fluido en el revestimiento, unida a la tensión del revestimiento permite la deducción de la presión en el pozo (25) por debajo del revestimiento (10) de acuerdo con la aproximación simple:

$$\text{Tensión} = A (\text{Presión dentro del revestimiento} - \text{presión fuera del revestimiento})/2$$

donde A es el área seccional del revestimiento expandido (véase A_z en la Fig. 4).

A partir de esta relación, puede calcularse la presión fuera del revestimiento (10) en el pozo (25) por debajo del revestimiento. Un aumento en la tensión disminuirá la presión en el pozo (25) por debajo del revestimiento (10). Como se mostrará posteriormente, la velocidad de ascenso del revestimiento aumentará con el aumento de la tensión, pero la velocidad de elevación sigue estando controlada por el caudal en el pozo por debajo del punto de inversión.

De esta manera, para un revestimiento ascendente, se puede deducir la transmisividad del pozo (25) por debajo del revestimiento de una manera similar a la de un revestimiento descendente.

La invención usa un revestimiento convencional (10), pero añade la medición de la velocidad (distancia y tiempo) para el rodillo (15). El flujo de agua saliente del revestimiento se controla de forma continua, por ejemplo mediante un flujómetro FM que indica la descarga desde dentro del revestimiento (10) en su extremo superior (Fig. 2). Los datos con respecto a la velocidad de ascenso y la longitud utilizada del revestimiento (10) (de los medidores M asociados con el rodillo 15) y con respecto a la descarga desde dentro del revestimiento (del medidor FM) se registran en un ordenador portátil de alta velocidad convencional esté el revestimiento instalado o retirado. La reducción de datos se realiza digitalmente en el ordenador según se recogen los datos. Cuando el revestimiento (10) alcanza la parte superior del pozo (25), puede imprimirse el gráfico del perfil de conductividad.

Para instalaciones de nivel freático profundo, el peso colgante del revestimiento (10), especialmente para segmentos del revestimiento que cuelgan libres en la zona vadosa (27 en la Fig. 1), y cualquier tensión de contención adicional también se mide por medidores (M) y se registran para calcular el perfil de conductividad apropiado. En áreas que tienen un nivel freático muy profundo (28), puede ser deseable inyectar aire en el revestimiento (10) para inflarlo contra las paredes del pozo (25), reduciendo de este modo la fricción del revestimiento invertido contra el revestimiento empujado contra la pared del pozo (el revestimiento invertido de dentro hacia afuera).

Los resultados reales se miden como cambios en la transmisividad de la pared del pozo (25) correlacionada con el ascenso o descenso del revestimiento (10). Dada la longitud del aumento del pozo medida, se calcula la conductividad eficaz. Esto puede relacionarse con una abertura de fractura eficaz si se conoce el número de fracturas.

El método descrito anteriormente para un revestimiento descendente es el modo habitual de uso. La técnica de revestimiento ascendente tiene la necesidad adicional de medir la tensión en el revestimiento por encima del pozo. El procedimiento de revestimiento ascendente es el más útil, sin embargo, para revestimientos que se han colocados por debajo de la superficie y se han llenado con agua como se describe en la Patente de Estados Unidos N° 6.298.920 anterior. Esta instalación usa una barra de empuje (también llamada una cubierta rígida). Una vez que se ha retirado la barra, el revestimiento se deja llenar con agua hasta por encima de la superficie. Un tubo conecta con el extremo inferior del revestimiento para el propósito de invertir el revestimiento desde el pozo. Según se extrae el tubo del pozo, también se extrae el revestimiento de inversión conectado al tubo. Se aplica el mismo procedimiento y reducción de datos para el revestimiento ascendente. La ventaja de esta técnica es que no se requiere un pozo abierto estable. El revestimiento internamente presurizado habitualmente es adecuado para estabilizar uno de otro modo inestable en sedimentos no consolidados. Como el revestimiento colocado mediante barras de empuje tiene otro propósito, el procedimiento de retirada realizado y medido como se ha descrito agrega utilidad adicional a la instalación de revestimiento.

En todas las realizaciones de revestimiento descendente de la invención, el revestimiento fuerza al agua terrestre ambiental en la formación adyacente debido al exceso de carga en el revestimiento. El exceso de carga en el revestimiento se mide con relación a la carga en la formación. Un supuesto inicial en esta invención es que la carga en una formación subterránea es uniforme. Cuando el perfil de carga en la formación llega a ser conocido, el supuesto de una carga uniforme en la formación puede corregirse para la carga real según sea necesario. Sin embargo, la presión de impulso en el revestimiento (exceso de carga) habitualmente excede sustancialmente la carga natural de la formación.

Otro supuesto subyacente de la invención es que el flujo de agua desde el pozo por debajo del revestimiento es radial, esencialmente horizontal y unidimensional. Esta aproximación no es particularmente significativa para la utilidad de la invención. Según desciende el revestimiento, sella, secuencialmente, las vetas de flujo desde el pozo con una disminución resultante en la velocidad de descenso del revestimiento. Se supone que el flujo desde el pozo está en estado estable. Como el gradiente cerca de la pared del pozo, que domina el flujo, se desarrolla de forma relativamente rápida, éste no es un supuesto limitante significativo. En la práctica, el revestimiento descendente es relativamente continuo con muy pocas paradas.

Un tercer supuesto legítimo es que el caudal del pozo es igual a la velocidad descendente del revestimiento multiplicada por la sección transversal del pozo. La sección transversal del pozo puede no ser constante, el efecto de las variaciones de la sección transversal con la profundidad pueden abordarse en el análisis.

Finalmente, se supone que el revestimiento se invierte de dentro hacia afuera con resistencia de fricción muy pequeña o la resistencia de eversión se corrige por un pequeño ajuste en la presión de impulso. Como los revestimientos se han ensayado muy bien, la corrección es pequeña y fiable. Otras formas de fricción, resistencia, flotabilidad, etc., están abordadas adicionalmente a continuación en este documento.

Se muestra un modelo para realizar la reducción de datos de acuerdo con la presente invención en la Fig. 4, que representa la geometría de los cálculos usados en la invención. Z es la distancia hacia abajo del pozo. El revestimiento descendente puede compararse a un pistón de ajuste perfecto. El flujo radial (Qr) saliente del pozo se aproxima por un campo de flujo unidimensional que obedece la ley de Darcy:

$$Q_r = A_r V_r = 2\pi r H K / \mu \, dP / dr$$

donde

A_r es el área de flujo radial atravesada por la velocidad V_r. H es la altura del área de flujo radial,

K es la permeabilidad media, μ es la viscosidad del agua, y dP/dr es el gradiente de presión

La separación de variables y la integración dan:

$$\ln(r_o/r_a) = 2\pi HK(P_a - P_o) / (\mu Q_r)$$

donde r_o es el radio del pozo y r_a es el rango para la presión ambiente, P_a. P_o es la presión en el pozo. P_o > P_a. Q_r es el flujo horizontal radial saliente del pozo. El flujo saliente del pozo debe ser igual la velocidad a la que el agua se está desplazando hacia abajo por el revestimiento. Es decir, Q_r = Q_z, donde Q_z es el caudal vertical. El desplazamiento vertical por el revestimiento es: Q_z = A_z v_z, donde (A_z) es la sección transversal del pozo y v_z es la velocidad de descenso del revestimiento. Midiendo la velocidad de descenso del revestimiento, se conoce v_z. Un logaritmo de calibrado proporciona A_z = πr_o^2 como una función de la profundidad del pozo. Se puede obtener un resultado muy útil suponiendo que r_o es una constante.

Es notable que no haya ninguna razón para esperar que el revestimiento descendente sea diferente de una historia de velocidad decreciente monótona. Por lo tanto:

$$Q_r = Q_z = 2\pi HK(P_a - P_o) / (\mu \ln(r_o/r_a))$$

La resolución de K proporciona la conductividad eficaz del pozo abierto completo por debajo del revestimiento. Esto es un resultado útil, pero no un perfil del pozo.

Un aspecto central de la técnica de perfilado de conductividad de la invención es suponer que según desciende el revestimiento, cubrirá las vetas de flujo, provocando un cambio en Q_z como se refleja en v_z o,

$$\begin{aligned} Q_z(z_i) - Q_z(z_{i+1}) &= \delta Q_{zi} = \delta v_{zi} A_{zi} = \delta Q_r(z_i \text{ a } z_{i+1}) \\ &= -2\pi \delta z_i K_{zi} (P_o - P_a) / (\mu \ln(r_o/r_a)) \end{aligned}$$

K_{zi} es la permeabilidad del intervalo $\delta z_i = z_{i+1} - z_i$,

cubierto por el revestimiento durante el intervalo de tiempo $\delta t_i = t_{i+1} - t_i$.

Resolviendo la permeabilidad del intervalo,

$$K_{zi} = \delta v_{zi} A_{zi} \mu \ln(r_o/r_a) / (-2\pi \delta z_i (P_o - P_a))$$

El parámetro importante, $\delta v_{zi}/\delta z_i$, se determina a partir de los datos registrados. El subíndice "i" se introduce debido a la recogida discreta de los datos de tiempo y distancia. El suavizado de los datos y la centralización apropiada de las variables es parte de la reducción de datos hecha por un programa informático escrito para ese propósito, una tarea de los especialistas de las técnicas de programación conocidas.

Otro factor en la medición real de un revestimiento descendente es que la tensión en el revestimiento (10) no es cero. La tensión debe ser adecuada para soportar el revestimiento por encima del nivel de agua (34 en la Fig. 1) en el revestimiento. Cualquier exceso de tensión reducirá la presión de impulso del exceso de carga.

Es notable observar que la instalación de un revestimiento de eversión progresará de forma más rápida en los regímenes subterráneos de transmisividad elevada. Sin embargo, en formaciones de transmisividad baja, la instalación necesariamente progresará lentamente, porque la invención proporciona un método para medir directamente la transmisividad. Si la velocidad de descenso llega a cero antes de que se obtenga la profundidad total, entonces puede deducirse la impermeabilidad cercana de formaciones por debajo del nivel de velocidad cero.

Es evidente para un especialista en la técnica que el método de medición de la invención puede realizarse usando la técnica de revestimiento ascendente, en lugar de descendente. Los principios y ecuaciones matemáticas generalmente son iguales; se aplican de forma simple aunque el revestimiento (10) se esté extrayendo del pozo (10), en lugar de instalándolo en su interior. Un perfil de transmisividad puede generarse usando el sistema mostrado en la Fig. 2., donde la bobina eléctrica se usa para tirar del revestimiento (10) desde el pozo controlando al mismo tiempo la tensión que el revestimiento ejerce sobre el rodillo (15). En este modo alternativo para practicar la invención, la tensión en el revestimiento ascendente por encima del punto de eversión (EP) es la fuerza de accionamiento principal. Por tanto, es esencial usar el equipo de medida (M) asociado con el rodillo (15) para medir de forma continua la tensión del revestimiento según se levanta el revestimiento y se enrolla alrededor de la bobina accionada de forma inversa. El exceso de carga (diferencia en la carga del fluido 30 y el agua terrestre que permanece 33) también debe controlarse y explorarse de cerca. Midiendo la tensión frente a la velocidad de ascenso del revestimiento, puede determinarse el perfil de conductividad durante la extracción del revestimiento, según fluye el agua terrestre nativa al interior (en oposición a al exterior) del pozo (25) por debajo del revestimiento de eversión (10), como se indica por las flechas de dirección enroscadas de la Fig. 2.

Las Fig. 12a y 12b son gráficos cualitativos que muestran representaciones hipotéticas de la velocidad de ascenso del revestimiento frente a la profundidad del pozo en una medición de "revestimiento ascendente". La Fig. 12a es análoga a la Fig. 3a, y sugiere a qué puede parecerse el gráfico generado por un revestimiento ascendente a través de un medio permeable homogéneo o uniformemente. La Fig. 12b ofrece un gráfico análogo a la Fig. 3b, y proporciona una representación hipotética generada por un revestimiento ascendente a través de varios estratos de diferente transmisividad. Como las Fig. 3a y 3b, los segmentos abruptos y empinados del trazado son indicativos de zonas permeables o fracturas, mientras que las pendientes poco pronunciadas sugieren formaciones más herméticas.

Se hace referencia a la Fig. 13. El uso de un punto de eversión de revestimiento ascendente para medir la transmisividad durante la extracción del revestimiento puede verse facilitado por el uso de un tubo secundario (40) instalado paralelo al revestimiento principal (10). El tubo secundario (40) originalmente se co-instala por adelantado, o con, el

revestimiento (10), pero no se infla de ninguna manera; cuando el revestimiento (10) se enrolla hacia la superficie para la desinstalación, el tubo secundario (40) se infla con cualquier fluido presurizado adecuado, apartando de este modo el revestimiento (10) como se ve en la Fig. 13. Según se desplaza el revestimiento (10) a un lado, se abren las vetas de flujo de líquidos (41) para permitir que el agua fluya durante la extracción del revestimiento.

Se aprecia que el tubo secundario (40) puede colocarse, aunque no inflarse, durante el descenso del revestimiento principal (10) mientras se está haciendo una medición. El tubo secundario (40) se infla durante la retirada (ascendente) solamente para acelerar el ascenso del revestimiento principal cuando no se están realizando mediciones, proporcionando de este modo el beneficio práctico de una desinstalación rápida del aparato.

Un tubo secundario pequeño (40) o revestimiento también puede ser útil para la técnica de revestimiento descendente. El revestimiento descendente usa un dispositivo adicional para ayudar a extraer el revestimiento después de se haya completado la medición. En una formación de permeabilidad relativamente baja, la instalación del revestimiento puede requerir varias horas o más para descender hasta el fondo del pozo. La retirada del revestimiento se realiza tirando hacia arriba sobre el revestimiento invertido, o una cuerda unida al extremo cerrado del revestimiento. El flujo entrante dentro del pozo puede ser muy lento y por tanto la retirada del revestimiento puede requerir un tiempo tan prolongado como requirió la instalación. Para reducir en gran medida el tiempo de retirada, puede hacerse bajar un revestimiento plano, vacío, de diámetro pequeño, (Fig. 13) dentro del pozo antes de la instalación del revestimiento. El revestimiento pequeño puede estar (pero no necesariamente) cerrado en el extremo inferior y abierto en el extremo superior. La instalación del revestimiento y la medición de la transmisividad no están influidas por el revestimiento pequeño, plegado y plano. El revestimiento inflado sella bien frente al revestimiento pequeño plano.

Antes de retirar el revestimiento grande por inversión, el revestimiento pequeño se llena con agua para dilatarlo a una sección transversal casi circular (Fig. 13). Esto abre un espacio intersticial (41) entre el revestimiento (21), la pared del pozo (25), y el revestimiento pequeño (40). El espacio intersticial sirve como un paso conductor a vetas de flujo en la formación muy por encima del punto de eversión. Esto permite que el agua fluya más rápidamente desde la formación dentro del pozo por debajo del revestimiento ascendente. De esta manera, el revestimiento puede elevarse mucho más rápidamente desde el pozo que si no hubiera dicha conexión para las vetas de flujo por encima del punto de eversión. El revestimiento pequeño no es necesario para realizar la medición que es el fundamento de esta invención, pero permite que se realice la medición en un período de tiempo razonable.

La invención también encuentra uso para evaluar el campo de flujo en los medios entre el pozo (25) y cualquier pozo de control cercano. Según se está realizando el perfilado de conductividad de acuerdo con la invención como se ha descrito, la instalación de un revestimiento descendente produce una fuente de presión de línea de longitud decreciente en el pozo (25). El control del efecto del estado del límite de línea en los pozos de control cercanos puede ofrecer una idea del campo de flujo entre el pozo (25) con el revestimiento descendente (10) y los pozos de control cercanos. La posición del revestimiento (10) y la carga de trabajo en el revestimiento se miden como una función del tiempo. El revestimiento (10) se puede impulsar, en este caso, tan rápido como sea necesario con un suministro de agua por gravedad, y la fuente de línea decreciente da una resolución más especial que un pozo bombeado completo. Además, no existen preocupaciones acerca de un desvío del revestimiento que proporcione una "fuente" falsa. El revestimiento (10) puede insertarse a una carga medida y retirarse con una carga medida y una tensión medida (igual a la bajada del nivel de agua medida).

Por tanto, se ofrece una alternativa para bombear de forma simple en un pozo sencillo para desarrollar un estado de límite, o hacer extracciones de intervalo de obturador para evaluar el campo de flujo para los pozos de control. Las técnicas de modelación modernas después pueden reproducir la fuente de la línea decreciente para la evaluación de los datos obtenidos en ellos) pozo(s) de control y el campo de flujo implícito en el área según se impulsa el revestimiento descendente (o ascendente) (10).

Aplicabilidad industrial

La invención se ilustra adicionalmente por el siguiente ejemplo no limitante.

Se aplicó y ensayó un sistema de perfilado de conductividad de acuerdo en líneas generales con la descripción anterior. Los primeros datos recogidos fue la observación de que las velocidades de descenso de las instalaciones de revestimiento blanco fueron altamente variables para pozos diferentes y algunas veces cambiaron abruptamente. La velocidad de las marcas de la cinta sobre el revestimiento dio los caudales en la formación. Cuando el solicitante construyó "cabestrantes lineales" para la retirada lineal, fueron decisivos para medir la tensión del revestimiento y la profundidad con el tiempo. Después se añadió el registro digital para recoger los datos. Se usaron borboteadores para controlar el nivel de agua en el interior del revestimiento para determinar el exceso de carga en el revestimiento.

Se realizó un ensayo experimental anticipado del método en Cambridge, Ontario, para la University of Waterloo. Se acopló un cabestrante lineal con un ordenador portátil de registro para medir los parámetros de la ecuación anterior del este documento. Los parámetros no medidos fueron el diámetro del pozo, y el rango del pozo a una presión conocida (P_a a r_a). (Si P_a se define como la presión ambiental, y r_a se estima (supone), el error en el $\ln(r_o/r_a)$ no es grande con relación al rango mucho mayor de conductividad para la formación).

ES 2 295 691 T3

Una ventaja de la instalación de la University of Waterloo fue que se había hecho una serie completa de ensayos de obturador en el pozo de 6 pulgadas (0,152 m) de diámetro, a los 330 pies (101 m). La comparación del perfilador de la invención con los datos de Waterloo se muestra a continuación en este documento. El ensayo de obturador requirió 4 días para realizarse. La medición por el método de la invención requirió aproximadamente 1,5 horas, incluyendo el montaje.

El perfil de velocidad medido desde la parte inferior de la cubierta hasta el fondo del pozo se muestra en la Fig. 5, un gráfico de la velocidad (pies/segundos/psi) frente a la profundidad (m). Los datos sin procesar proporcionan el perfil de velocidad irregular (trazo más oscuro en la Fig. 5). Las disminuciones ocasionales hasta una velocidad cero o casi cero se deben a pausas operativas en la instalación. Pueden ignorarse, pero afectan a la curva de velocidad suavizada. La curva suavizada normalizada (la curva más clara, suavizada en un intervalo de 40 segundos) se muestra en la parte superior de la reducción de datos sin procesar. Como se explica adicionalmente a continuación en este documento, la expansión del revestimiento en un aumento accidental del pozo provocó que la velocidad de descenso del revestimiento se ralentizara debido a la sección transversal aumentada del pozo. Obviamente esto no estaba relacionado con el flujo saliente de una fractura. Según el diámetro del pozo volvía a su diámetro normal en una elevación menor, se recupera la velocidad del revestimiento. Para superar este efecto, se ajustó una curva decreciente monótona a los datos de velocidad para extrapolar sobre los puntos en la curva de velocidad.

La curva monótona se muestra como una curva de color claro diferente en la Fig. 6 con la curva suavizada de la Fig. 5. Esta curva monótona se usa para distribuir la transmisividad del pozo en las regiones apropiadas. Si la curva de velocidad monótona se normaliza (como se ilustra por la Fig. 6) al valor máximo (el valor de velocidad inicial), la curva es un gráfico de la fracción del flujo restante en el pozo por debajo del revestimiento como una función de la profundidad del revestimiento. Las disminuciones bruscas son una indicación de la pérdida de flujo según descende el revestimiento y cubre las vetas de flujo.

La Fig. 7 es un gráfico logarítmico del perfil de conductividad medido por la serie de ensayos de obturador de horquilla. La conductividad (K), en cm/s, se representa para ensayos de obturador en el eje vertical frente a la profundidad por debajo de la superficie (metros) en el eje horizontal. La mono conductividad deducida de las mediciones realizadas por la invención se representa en el mismo gráfico. Algunos de los valores del obturador grande son zonas de conductividad inferior medidas por la invención. Esto puede ser debido a la filtración del obturador.

La Fig. 8 es un gráfico logarítmico de los datos del obturador con profundidad en metros. Es digno de mención que los ensayos de obturador de horquilla promedian el flujo aparente sobre el intervalo de medición del obturador. Eso no es del todo igual que la medición de la velocidad lineal. Aún las vetas de flujo grandes se producen claramente en las mismas partes del pozo.

Se observa que la comparación del ensayo de la invención con los ensayos de obturador no es un ensayo del modelo, excepto en que debe haber una correlación de las zonas de flujo elevado y bajo. El aislamiento del obturador de un segmento del pozo depende del sellado del obturador a la pared del pozo y la conexión entre el intervalo aislado mediante el medio (por ejemplo, fracturas) para el pozo por encima o por debajo del par obturador.

Los obturadores comúnmente instalados casi siempre filtran más o menos. En zonas elevadamente fracturadas, el par obturador probablemente filtrará mucho. En secciones herméticas donde la pared del pozo es probablemente suave, y las vetas de flujo más allá del obturador son menos probables, la cantidad de filtración es probablemente pequeña, aunque todavía puede ser una fracción grande del flujo en el medio. El resultado es que una serie completa de ensayos de obturador (es decir, se mide el pozo completo) predecirá un flujo total mayor que el entrante, o saliente, del medio en un ensayo de transmisividad del pozo completo. La integral del ensayo de obturador es un límite superior en la capacidad de flujo del pozo completo. Los ensayos de obturador a menudo se hacen con mediciones de presión por encima y por debajo de los obturadores para la detección de filtración.

En el funcionamiento de la invención, sin embargo, existen dos segmentos o partes distintos del pozo (25): la sección sellada por encima del punto de eversión (EP), y el pozo no sellado por debajo del punto de eversión. Según descende el revestimiento (10), no sellará una pared del pozo extremadamente irregular o una rotura más grande en diámetro que el revestimiento (10). En dicho caso, hay flujo ascendente hasta vetas de flujo horizontales por encima del punto de eversión (EP). Sin embargo, cuando el punto de eversión (EP) alcanza una sección del pozo que puede sellarse, la filtración se detiene entre la parte no sellada y la sellada del pozo (25).

En la situación recién descrita, la integral del flujo del pozo (25) es correcta. El error introducido por un sellado imperfecto del pozo (25) es para comprimir la conductividad del pozo de la parte no sellada del pozo (si hay algo de conductividad en esa parte) en la zona inmediatamente por encima del segmento sellado del pozo. Se hace referencia a la Fig. 9, que muestra una secuencia de posiciones del revestimiento según descende (se invierte de dentro hacia afuera) el revestimiento (10) a través de una "rotura" en el pozo u otra ampliación del pozo (39). En la posición (A1), el diámetro del revestimiento coincide con el diámetro nominal del pozo (25). En (A2), el revestimiento se dilata en una ampliación. En (A3), el revestimiento está en su tamaño máximo, que es menor que el diámetro de la rotura. En (A4), el revestimiento está sellando de nuevo el pozo en menos del diámetro máximo del revestimiento. Finalmente, en la posición A5, el revestimiento (10) vuelve al diámetro nominal del pozo (25).

Entre las posiciones (A2) y (A4), el revestimiento (10) no está sellando el pozo (25) y el flujo puede continuar saliendo de la rotura (39). Para ese corto intervalo, no se cumple el supuesto de que el flujo sucede solamente desde el pozo por debajo del punto de inversión del revestimiento. En ese intervalo además la velocidad no cambiará con la profundidad. En (A4), el flujo entrante en la rotura (39) se detiene y el revestimiento puede presentar una disminución abrupta en la velocidad. Si no hay flujo saliente de la avería (39), no habrá una disminución en la velocidad del revestimiento en (A4).

Ahora se analiza otro efecto del diámetro del pozo que no es constante con la profundidad. El diámetro no uniforme del pozo (25) provoca una disminución en la velocidad de descenso del revestimiento según se dilata el revestimiento (10) en el diámetro más grande (por ejemplo, A2-A4 en la Fig. 9). Dicho acontecimiento podría interpretarse erróneamente como un intervalo permeable cubierto por el revestimiento. Sin embargo, cuando el pozo converge (A5), la velocidad del revestimiento aumenta (una contradicción de lo esperado de una velocidad que decrece de forma monótona según se cubren las vetas de flujo). La razón para el cambio de velocidad es que $v_z = Q_r/A_z$. Si Q_r , el flujo radial saliente del pozo es constante, v_z es inversamente proporcional a $A_z = \pi r_o^2$. Un pequeño cambio en r_o puede cambiar la velocidad significativamente (por ejemplo, un aumento de radio del 10% es un área y cambio de velocidad del 20%). Si está disponible un perfil de calibrado, se puede usar el diámetro correcto en el modelo.

Dicha variación de v_z se aborda ignorando temporalmente puntos en la curva de velocidad frente a la profundidad del pozo. El efecto del modelo es comprimir la conductividad de cualquier veta de flujo real dentro de la parte inferior del intervalo ampliado (Fig. 9 en A4), porque ahí es donde disminuirá la velocidad de descenso debido a cualquier pérdida en la rotura (39). El modelo, y la medición, reconocerán la diferencia entre la velocidad en (A1) y (A5) debido al flujo entrante en la rotura.

Estas dos alteraciones potenciales del perfil de conductividad deducidas de los datos provocarán regiones más cortas de conductividad de valor mayor que el real, pero se conserva la capacidad de flujo de la fractura total o el lecho permeable. Por lo tanto, el aparato de la invención y los resultados del método pueden producir algunos picos cortos para regiones ampliadas que pueden medirse mejor por obturadores convencionales, si los obturadores se localizan para abarcar una zona de rotura permeable limitada por zonas impermeables en las localizaciones del obturador.

La capacidad de medir filtraciones del obturador en el pozo por encima o por debajo del obturador de horquilla depende de la transmisividad del pozo por encima o por debajo y de la presión desarrollada entre los obturadores. Sin embargo, la generalización de que los obturadores producen solamente un límite superior en realidad parece ser válida. Además, la generalización de que un revestimiento descendente está midiendo de forma relativamente correcta la transmisividad del pozo por debajo del revestimiento parece ser válida.

Un ensayo potencialmente mejor de la invención, pero que no se ha realizado, sería un mapa métrico de flujo vertical de un pozo muy bombeado. Sin embargo, en dicho ensayo el pozo debe bombearse con una bajada del nivel del agua que supere la carga natural en cualquier sitio del pozo.

La experiencia ha demostrado que cuanto mayor es la carga que impulsa el revestimiento, mejor es la calidad de los datos, porque las alteraciones pequeñas no afectan a una velocidad relativamente alta de instalación. Sin embargo, para pozos muy permeables, se requiere una caudal relativamente grande para la adición de agua para mantener una carga sustancial.

La capacidad de medir filtraciones del obturador en el pozo por encima o por debajo del obturador de horquilla depende de la transmisividad del pozo por encima o por debajo y la presión desarrollada entre los obturadores. Sin embargo, la generalización de que los obturadores producen solamente un límite superior en realidad parecida para ser válida. Además, la generalización de que un revestimiento descendente está midiendo de forma relativamente correcta la transmisividad del pozo por debajo del revestimiento parece ser válida.

Un ensayo potencialmente mejor de la invención, pero que no se ha realizado, sería un mapa métrico de flujo vertical de un pozo muy bombeado. Sin embargo, en dicho ensayo el pozo debe bombearse con una bajada del nivel del agua que supere la carga natural en cualquier sitio del pozo.

La experiencia ha demostrado que cuanto mayor es la carga que impulsa el revestimiento, mejor es la calidad de los datos, porque las alteraciones pequeñas no afectan a una velocidad relativamente alta de instalación. Sin embargo, para pozos muy permeables, se requiere una caudal relativamente grande para la adición de agua para mantener una carga sustancial.

Para pozos con conductividad relativamente baja, la adición de agua puede ser relativamente lenta, pero la dificultad es que la velocidad de descenso del revestimiento puede ser tan lenta que no pueda hacerse la extensión completa en un tiempo razonable (por ejemplo, de unas pocas horas a un día). Como el descenso del revestimiento siempre se ralentiza, también puede ser que una medición sea práctica solamente en la parte superior del pozo donde la velocidad de descenso es mayor. La Fig. 10 muestra un perfil tomado en un pozo con la mayor parte de la conductividad entre 40 pies (13,2 m) (desde el fondo de la cubierta superficial) y 63 pies (20,6 m). A esa profundidad, el 92% de las vetas de flujo eficaz se han pasado. La instalación se terminó al 16 pies (38,3 m) de un pozo de 190 pies (62,7 m) porque la velocidad de descenso era muy lenta.

ES 2 295 691 T3

En contraste, otro perfil, mostrado en la Fig. 11, tomado en un pozo cercano muestra que aproximadamente el 35% del flujo del pozo era desde un par de fracturas solamente 3 pies (1 m) por encima del fondo del pozo. Esta instalación procedió fácilmente hasta el fondo a 185 pies (61,05 m).

Por consiguiente, la instalación de un revestimiento blanco para sellar el pozo a ensayar ofrece la capacidad de determinar el perfil de conductividad del régimen subterráneo. La medición de la velocidad de descenso del revestimiento puede proporcionar información útil acerca de la distribución y capacidad de las vetas de flujo salientes del pozo. Los efectos de las variaciones del diámetro del pozo, irregularidad, y fracturas en la formación tienen mucho menos influencia en la medición del revestimiento que la que pueden tener en las mediciones realizadas con un juego completo de ensayos de obturador de horquilla.

De forma ventajosa, la invención ofrece una medición relativamente directa de la distribución de las vetas de flujo en el pozo. Las mediciones geofísicas convencionales son mediciones muy indirectas de las posibles vetas de flujo de un pozo (aunque las mediciones del flujómetro y la temperatura son excepciones a la generalización). Además, el método de la invención genera resultados conservadores; siempre cierra filtraciones alrededor del revestimiento debidas a las irregularidades del pozo una vez que el punto de eversión alcanza la parte no alterada (diámetro nominal) cercana del pozo.

Los ejemplos precedentes pueden repetirse con éxito similar sustituyendo los reactivos y/o condiciones de funcionamiento usados en los ejemplos precedentes por los descritos genérica o específicamente en esta invención.

También es directamente evidente que la invención puede encontrar utilidad práctica en diversos tipos de conductos diferentes de pozos verticales. Por ejemplo, la técnica de la invención puede emplearse para ensayar y localizar filtraciones en tuberías convencionales. El método puede practicarse en pozos no verticales. Como alternativa, el revestimiento puede impulsarse por aire u otro fluido además de agua. Y, un especialista en la técnica de ingeniería hidráulica puede realizar una evaluación de los perfiles de carga deteniendo, después de la inversión, el descenso del revestimiento.

Aunque la invención se ha descrito en detalle con referencia particular a estas realizaciones preferidas, otras realizaciones pueden conseguir los mismos resultados. Serán obvias variaciones y modificaciones de la presente invención para los especialistas en la técnica y se pretenden cubrir en las reivindicaciones adjuntas todas estas modificaciones y equivalentes.

REIVINDICACIONES

1. Un método para determinar la conductividad hidráulica de material (27, 29) que rodea un conducto o pozo (25), **caracterizado** por las etapas de:

- fijar de forma estanca un extremo de un revestimiento flexible (10) al extremo próximo del pozo (25);

- hacer pasar el revestimiento (10) a lo largo del pozo (25) permitiendo al mismo tiempo que el revestimiento (10) se invierta de dentro hacia afuera en un punto de eversión (EP) que se mueve a través del pozo (25);

- medir la velocidad del punto de eversión; y

- calcular la conductividad hidráulica del material adyacente (27, 29) a partir de la velocidad del punto de eversión (EP).

2. El método de la reivindicación 1, en el que la etapa de hacer pasar el revestimiento (10) comprende impulsar el revestimiento (10) hacia abajo del pozo (25) permitiendo al mismo tiempo que el revestimiento se invierta de dentro hacia afuera en un punto de eversión (EP) que desciende por el pozo (25).

3. El método de la reivindicación 2, en el que impulsar el revestimiento (10) comprende presurizar el revestimiento con un fluido (30).

4. El método de la reivindicación 2, que comprende adicionalmente la etapa de controlar el nivel (34) del fluido (30) en el revestimiento (10).

5. El método de la reivindicación 4, en el que la etapa de controlar el nivel de fluido (34) comprende controlar un manómetro (PM) en el fluido (30) dentro del revestimiento (10).

6. El método de la reivindicación 3, que comprende las etapas adicionales de controlar la presión en el revestimiento (10) y controlar la tensión del revestimiento para determinar una presión de impulso.

7. El método de la reivindicación 3, que comprende la etapa adicional de medir la presión de fluido en el pozo (25) por debajo del extremo de eversión del revestimiento (10).

8. El método de la reivindicación 1, en el que la etapa de hacer pasar el revestimiento (10) comprende retirar el revestimiento (10) hacia arriba en el pozo (25) de modo que el revestimiento ascienda por el pozo (25).

9. El método de la reivindicación 8, que comprende la etapa adicional de controlar una tensión debida a la resistencia del revestimiento ascendente (10).

10. El método de la reivindicación 9, que comprende la etapa adicional de medir de la presión de fluido en el pozo (25) por debajo del extremo de eversión del revestimiento (10).

11. El método de la reivindicación 8, que comprende adicionalmente la etapa de medir el caudal de fluido (30) producido en el primer extremo del revestimiento (10).

12. El método de la reivindicación 11, que comprende la etapa adicional de calcular, a partir de la tensión controlada y el caudal del fluido (30) producido, un caudal de fluido total entrante en el pozo (25) desde el material adyacente (27, 29) de un segmento del pozo (25) en el extremo de eversión del revestimiento (10).

13. El método de la reivindicación 2, en el que la etapa de calcular una característica del material adyacente (27, 29) comprende calcular la conductividad determinando un caudal de fluido total saliente al interior del material adyacente de un segmento del pozo (25) en el extremo de eversión del revestimiento (10).

14. El método de la reivindicación 13, que comprende la etapa adicional de controlar los cambios en la velocidad del punto de eversión (EP), en el que cuando el revestimiento (10) cubre una veta de flujo en el material adyacente (27, 29), el caudal de fluido total se reduce por la cantidad de flujo en la veta de flujo, provocando simultáneamente un cambio en la velocidad del punto de eversión.

15. El método de la reivindicación 14, que comprende la etapa adicional de representar la velocidad del punto de eversión frente a la profundidad del pozo para localizar cambios en la conductividad asociados con cambios en la velocidad del punto de eversión.

16. El método de la reivindicación 1, que comprende las etapas adicionales de instalar un tubo secundario (40) al lado del revestimiento (10) en el pozo (25), y suministrar fluido mediante el tubo secundario (40) al pozo (25).

ES 2 295 691 T3

17. El método de la reivindicación 3, para determinar las características físicas de los materiales (27, 29) que rodean un pozo subterráneo (25), teniendo el pozo al menos algo de agua ambiental (33) que permanece en su interior, **caracterizado** por las etapas de:

5 medir de forma continua la velocidad de descenso del punto de eversión (EP);

 determinar un caudal total del agua ambiental (33) saliente al interior del material adyacente (27, 29) de un segmento del pozo (25) adyacente al punto de eversión (EP) del revestimiento (10); y

10 calcular a partir del caudal total una característica del material adyacente.

18. El método de la reivindicación 1, en el que la etapa de calcular una característica del material adyacente (27, 29) comprende calcular la conductividad del material adyacente.

15 19. El método de la reivindicación 17, que comprende la etapa adicional de controlar de forma continua la presión del fluido (30) dentro del revestimiento (10).

20 20. El método de la reivindicación 19, que comprende la etapa adicional de calcular la conductividad a partir del caudal total saliente al interior del material adyacente (27, 29).

25 21. El método de la reivindicación 20, que comprende la etapa adicional de controlar los cambios en la velocidad del punto de eversión (EP), en el que cuando el revestimiento (10) cubre una veta de flujo en el material adyacente (27, 29), el caudal de fluido total se reduce por la cantidad de flujo en la veta de flujo, provocando simultáneamente un cambio en la velocidad del punto de eversión.

22. El método de la reivindicación 21, que comprende la etapa adicional de representar la velocidad del punto de eversión frente a la profundidad del pozo para localizar cambios en la conductividad asociados con cambios en la velocidad del punto de eversión.

30 23. El método de la reivindicación 1, que comprende las etapas adicionales de:

 instalar un tubo secundario (40) aliado del revestimiento (10) en el pozo (25);

35 sacar el revestimiento (10) del pozo (25); y

 suministrar fluido mediante el tubo secundario (40) al pozo (25) por debajo del extremo de eversión del revestimiento (10).

40

45

50

55

60

65

Fig. 1

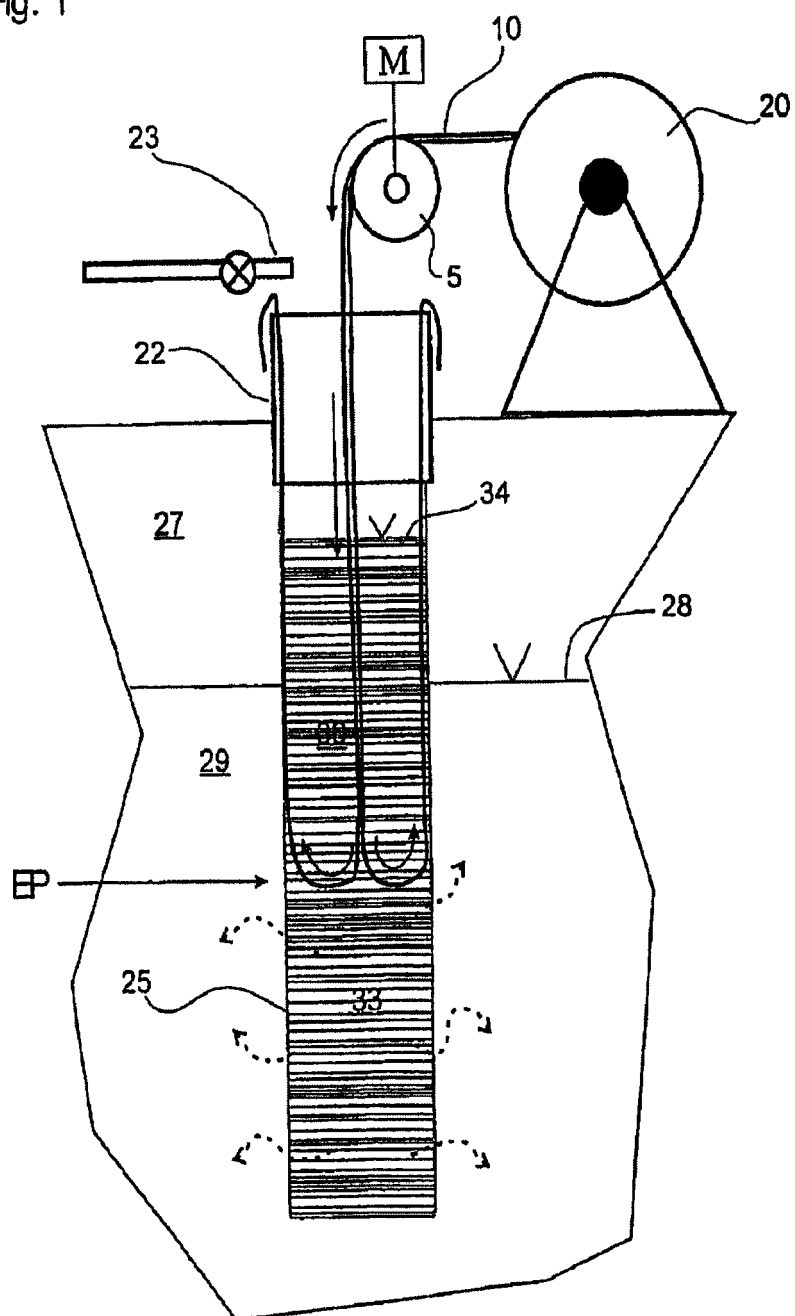


Fig. 1a

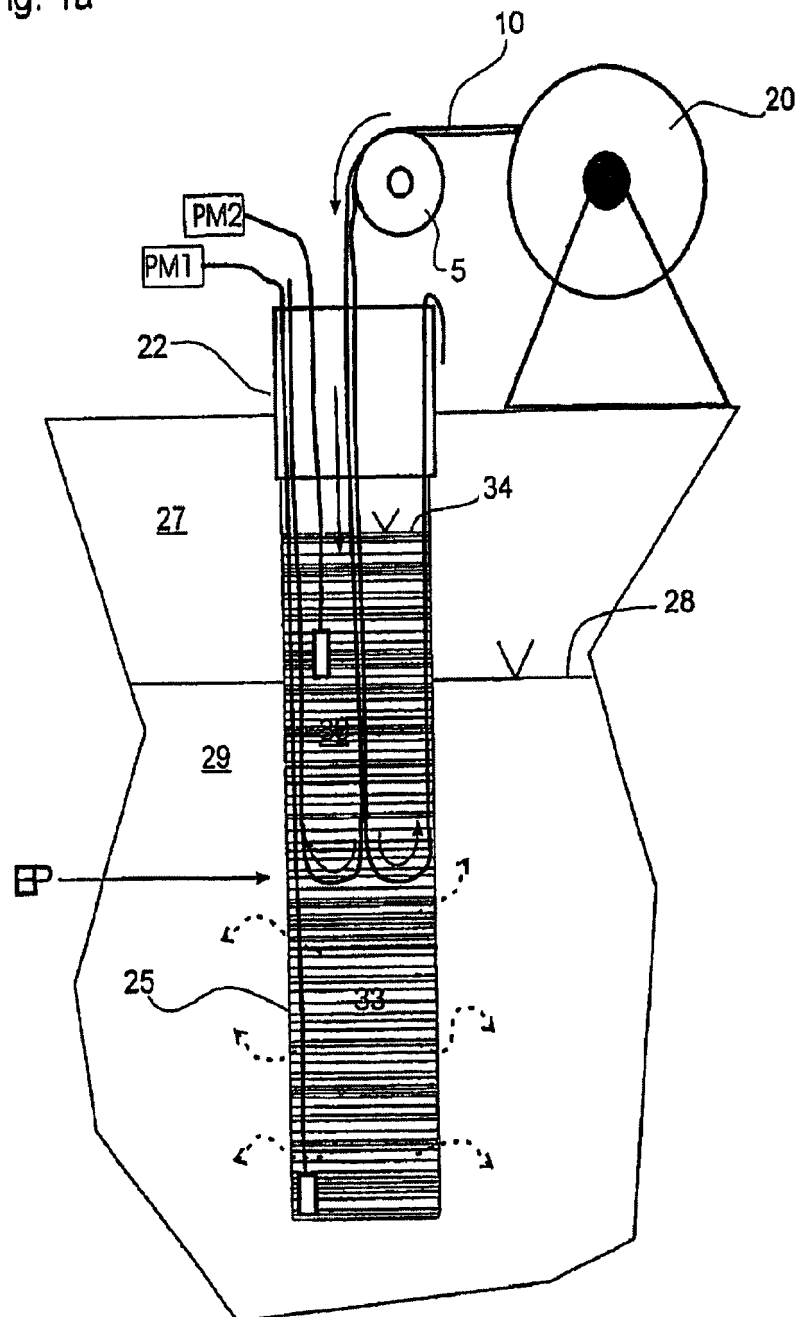


Fig. 2

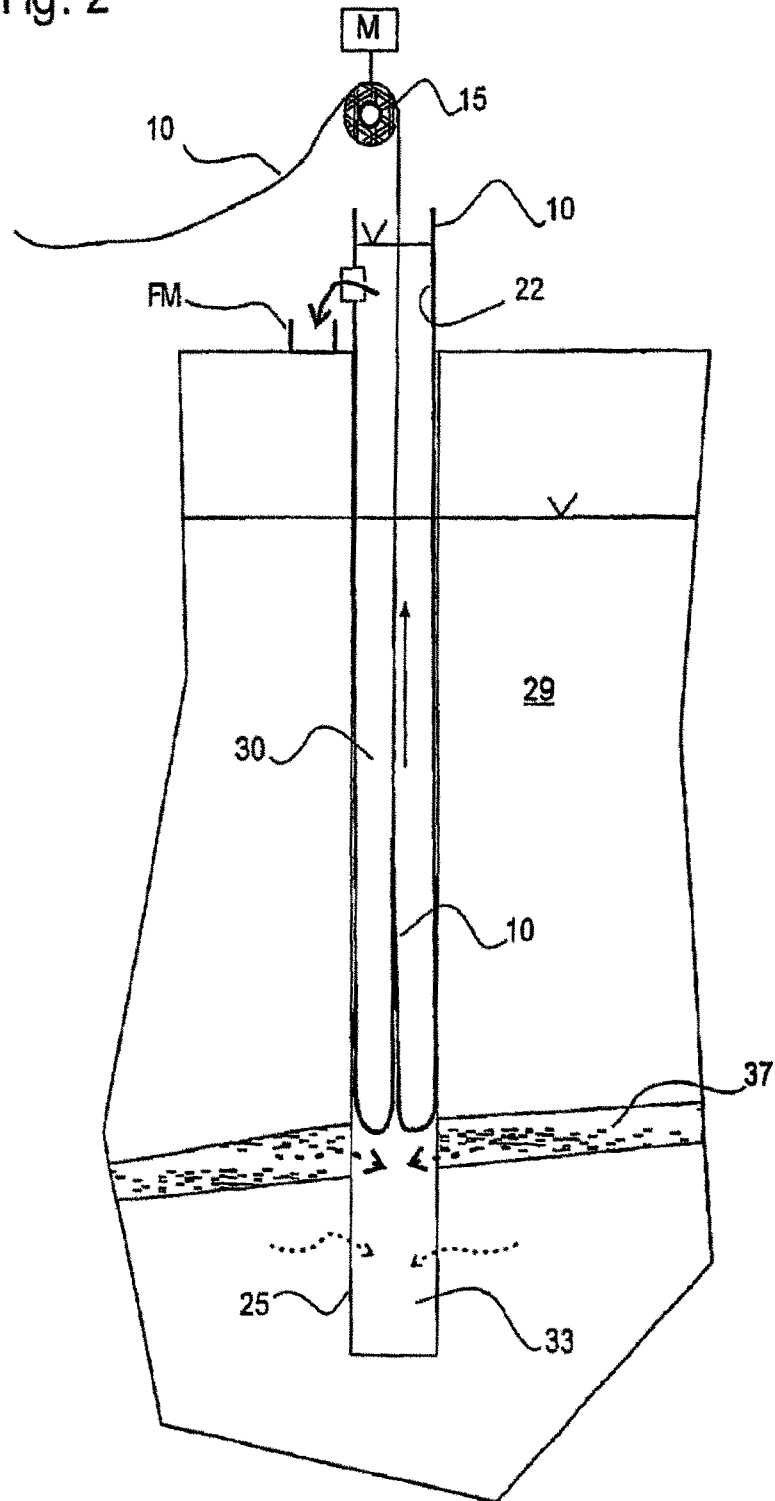


Fig. 3a

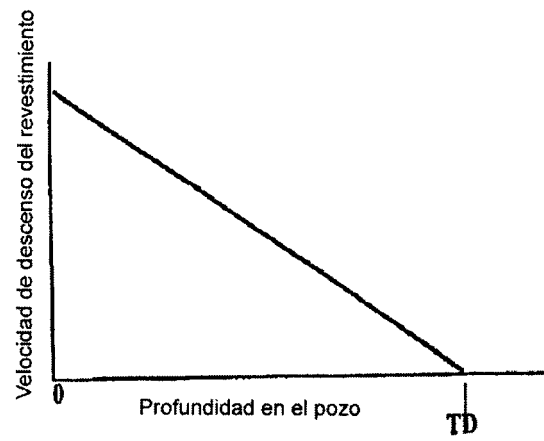


Fig. 3b

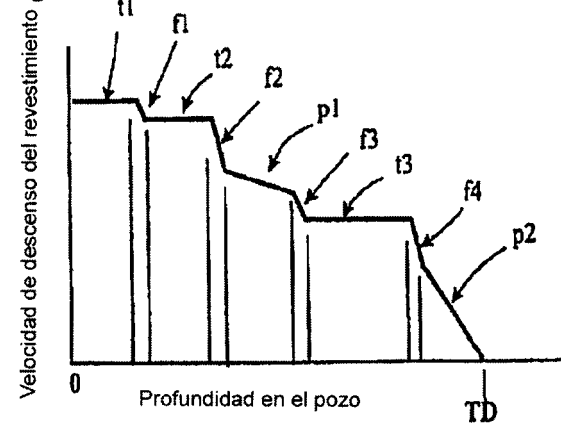
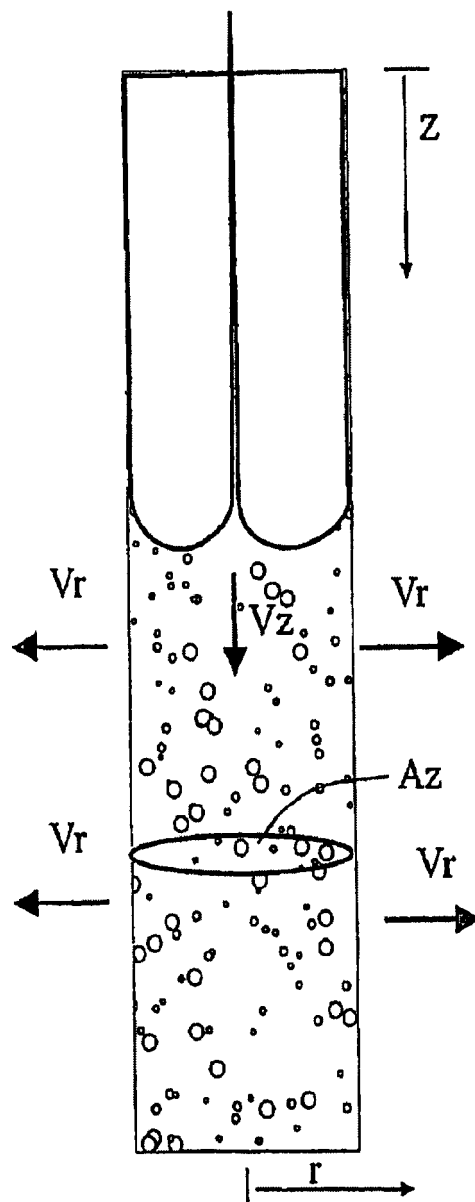
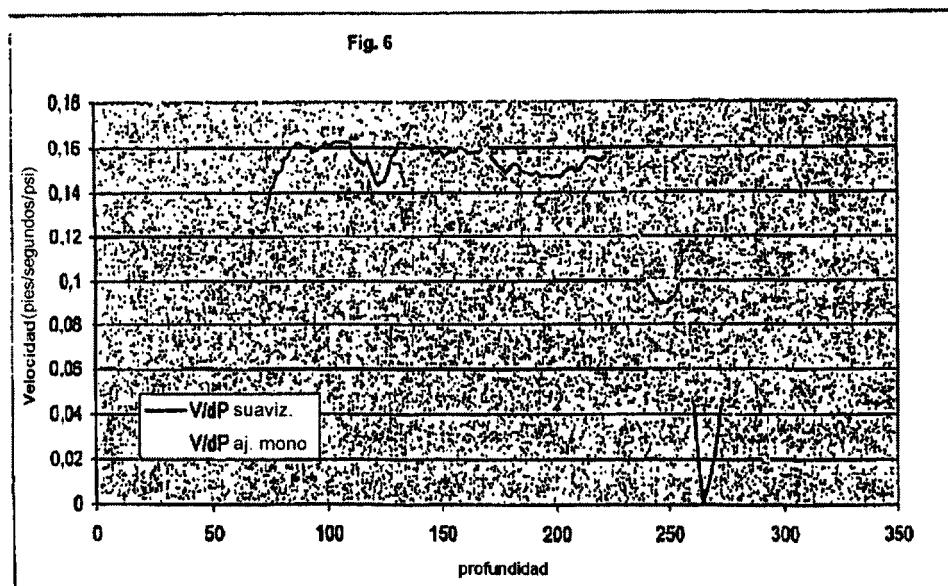
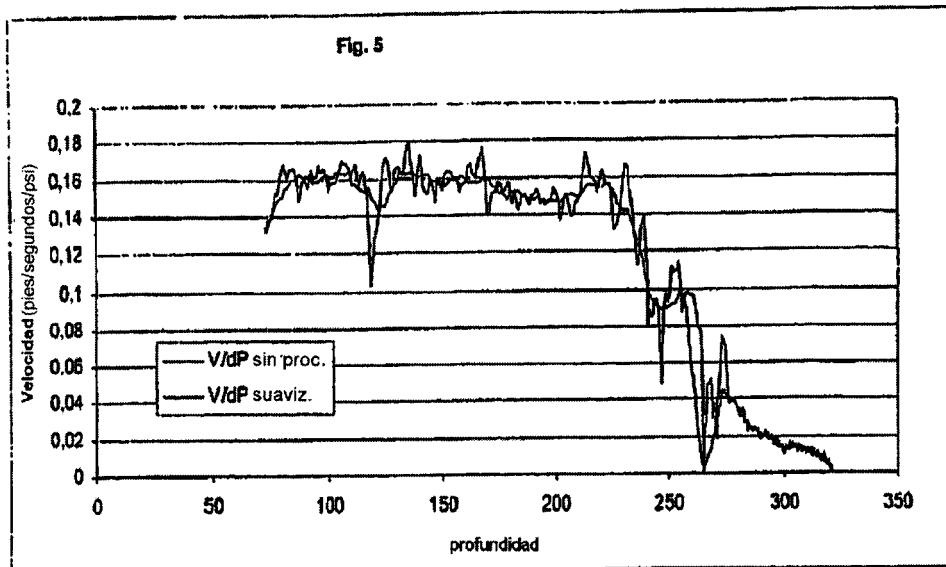


Fig. 4





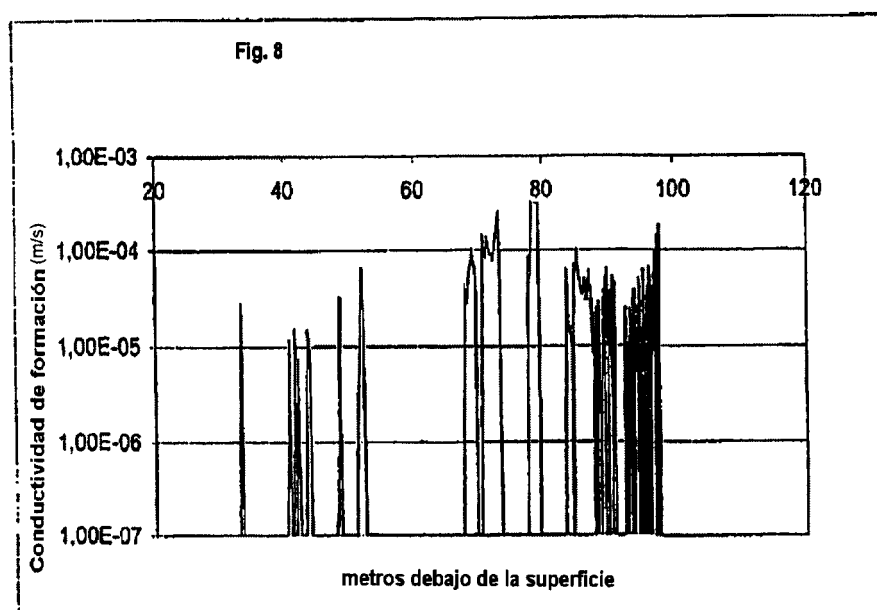
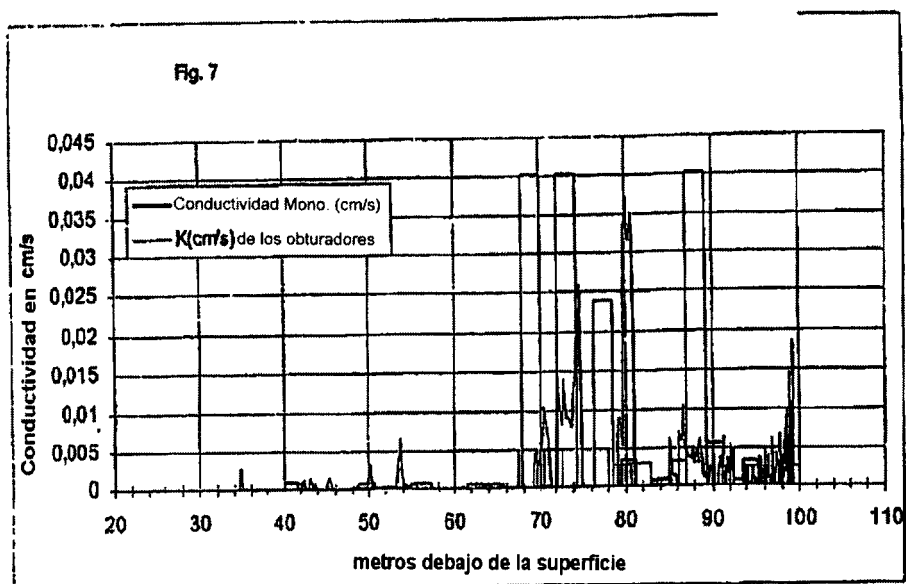
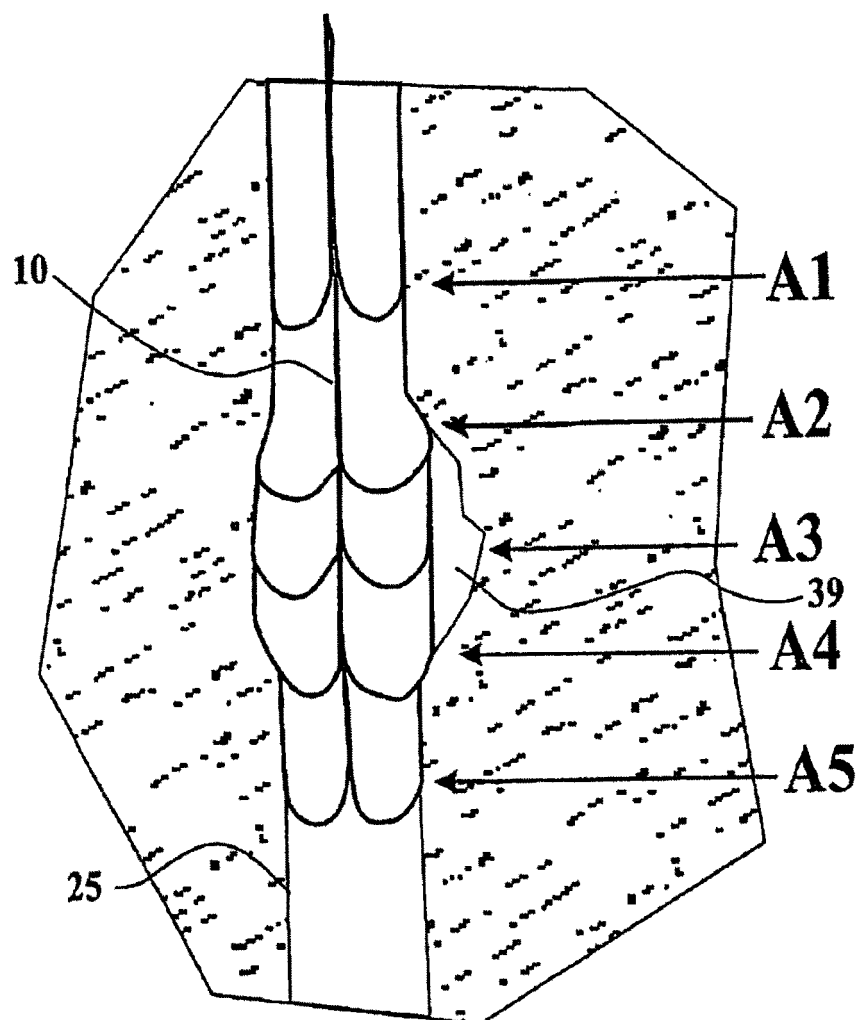


Fig. 9



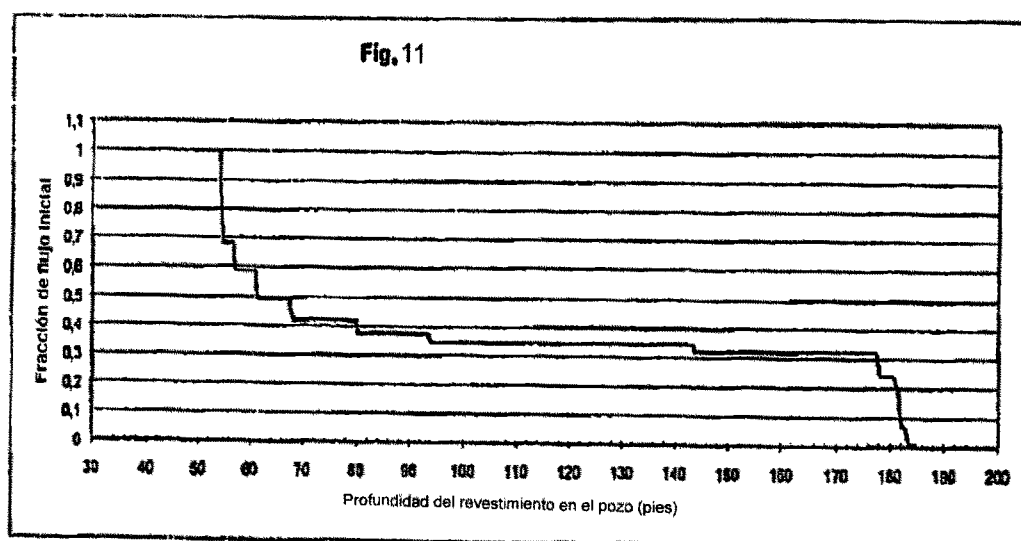
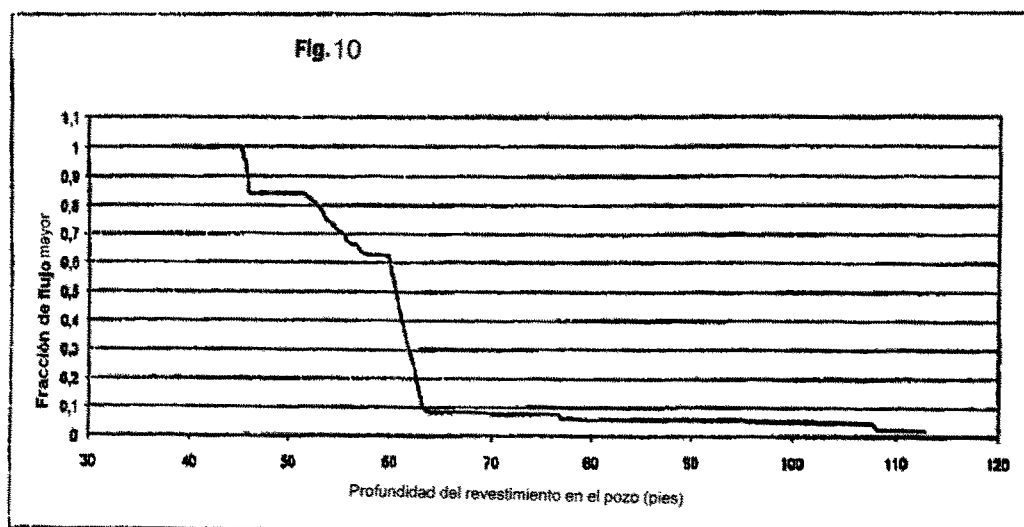


Fig. 12a

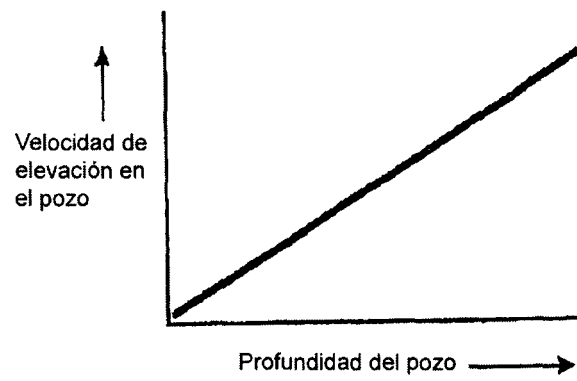


Fig. 12b

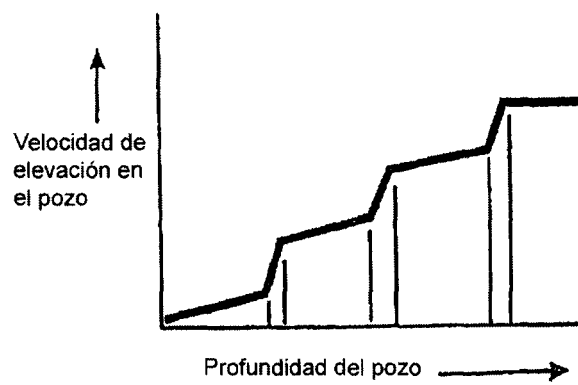


Fig. 13

