

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 767 448**

51 Int. Cl.:

B09B 1/00 (2006.01)

B65G 5/00 (2006.01)

G21F 9/24 (2006.01)

G21F 9/34 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.06.2012 PCT/US2012/045084**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.01.2013 WO13003796**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.06.2012 E 12738296 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.01.2020 EP 2727118**

54 Título: **Secuestración abisal de desechos nucleares y otros tipos de desechos peligrosos**

30 Prioridad:

29.06.2011 US 201161502557 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

17.06.2020

73 Titular/es:

**GRAND ABYSS LLC (100.0%)
2448 East 81st Street, Suite 4040
Tulsa, OK 74137, US**

72 Inventor/es:

**MURDOCH, LAWRENCE C.;
ROBINOWITZ, MARVIN y
GERMANOVICH, LEONID**

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 767 448 T3

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

Secuestación abisal de desechos nucleares y otros tipos de desechos peligrosos

Antecedentes de la invención

5 Los reactores nucleares generan el 19 por ciento de la electricidad en los Estados Unidos, y este proceso genera desechos radiactivos de alto nivel en forma de combustibles de óxido de uranio u óxidos mixtos. Aproximadamente 1000 m³ (6200 bbl) de desechos de alto nivel se producen cada año a partir de reactores comerciales en los Estados Unidos, y las operaciones militares generan material adicional. Europa también está fuertemente involucrada en la energía nuclear (por ejemplo, más de las tres cuartas partes de la electricidad en Francia es generada por reactores nucleares), y otros países en todo el mundo han comenzado a buscar agresivamente la energía nuclear para alimentar sus economías en crecimiento.

10 Como resultado, la rata actual de generación de desechos nucleares es de aproximadamente 10.000 m³/año, y se espera que la cantidad de desechos radiactivos generados en todo el mundo aumente significativamente. Sin embargo, no hay formas seguras y confiables de eliminar los desechos nucleares en el sitio, es decir, en la fuente de la generación de desechos. Estos desechos incluyen, pero no están limitados a, combustible nuclear gastado de reactores nucleares, desechos de alto nivel del reprocesamiento de combustible nuclear gastado, desechos transuránicos principalmente de programas de defensa y relaves de molinos de uranio de la extracción y molienda de mineral de uranio. Los desechos nucleares de alto nivel se almacenan actualmente en el reactor donde se generaron. Las únicas opciones serias para la eliminación que se están considerando son colocar los desechos en formaciones geológicas de baja permeabilidad, como rocas apretadas o arcilla. El enfoque actual para la eliminación de desechos radiactivos no está exento de problemas. El Congreso ha ordenado un período de aislamiento de 10,000 años, pero es difícil garantizar que los desechos en las profundidades poco profundas de los depósitos actuales permanezcan aislados de la biosfera, o la intervención humana, incluso por una fracción de este tiempo.

15 La montaña Yucca, una instalación de 300 m de profundidad cerca de Las Vegas, es la única opción de los Estados Unidos para la eliminación de desechos de alto nivel. Esta instalación ha sido analizada durante 20 años, e incluso después de un gasto de \$50 billones, lo más pronto que podría abrir es 2017. Una considerable oposición política por parte del Congreso, el estado de Nevada y otros, pueden retrasar aún más la apertura. Por ejemplo, el Congreso no proporcionó ningún financiamiento para el desarrollo del sitio en el presupuesto federal de 2011. Existe una incertidumbre significativa sobre la factibilidad de que los desechos colocados a una profundidad de 300 m permanezcan aislados de la biosfera durante 10,000 años, y esta incertidumbre es la base de gran parte de la oposición a la montaña Yucca. Incluso si la montaña Yucca abre, toda su capacidad ha sido asignada y se están considerando opciones de capacidad adicional.

20 La política involucrada en la búsqueda de sitios de eliminación permanente es, en el mejor de los casos, difícil y, en el peor, intratable. Debido a que los desechos permanecen radiactivos durante mucho tiempo, nadie quiere que estos desechos viajen a través de su "patio trasero" en su camino hacia un sitio de eliminación permanente o en su "patio trasero" como el sitio de eliminación. A medida que los políticos y el público continúan debatiendo el tema, los desechos permanecen almacenados temporalmente en el sitio de formas que son posiblemente mucho menos seguras que cualquier solución de eliminación permanente propuesta. Por ejemplo, los reactores nucleares almacenan temporalmente los desechos en el sitio en piscinas de agua. El devastador terremoto y tsunami en el noreste de Japón, que destruyó las fuentes de energía y los sistemas de enfriamiento en la planta Fukushima Daiichi de Tokyo Electric Power Co, demuestra cuán tenue y potencialmente peligrosa es realmente esta práctica de almacenamiento.

25 Por lo tanto, existe la necesidad de un método seguro y confiable para eliminar los desechos nucleares en el sitio y uno que pueda lograr el período de aislamiento de 10,000 años requerido por el Congreso y buscado por otros países.

Resumen de la invención

30 Un sistema y método de acuerdo con esta invención implica el almacenamiento nuclear en fracturas hidráulicas accionadas por gravedad, un proceso denominado aquí "fractura por gravedad". A los fines de esta divulgación, los desechos nucleares o radiactivos se consideran desechos peligrosos, aunque en la industria medioambiental los desechos radiactivos a menudo no se etiquetan como "desechos peligrosos". El método crea un fluido denso que contiene desechos, introduce el fluido denso en una fractura y extiende la fractura hacia abajo hasta que se hace lo suficientemente larga como para propagarse de forma independiente. La fractura continuará propagándose hacia abajo a gran profundidad, aislando permanentemente los desechos.

35 El almacenamiento de desechos sólidos mezclando los desechos con fluidos e inyectándolos en fracturas hidráulicas es una tecnología bien conocida en la industria del petróleo. En el documento US5133624 se crea una fractura hidráulica, y los desechos se introducen en ella. En el documento US3274784 se proporcionan fracturas hidráulicas precreadas, convencionales, horizontales, en las que se inyectan los desechos. En el documento DE3901920 se utiliza la propagación horizontal y que, en ausencia de una fractura horizontal preexistente, solo puede ocurrir a profundidades poco profundas, generalmente no mayores de 500 m. Los desechos nucleares se inyectaron en fracturas hidráulicas en Oak Ridge en la década de 1960. La esencia de la invención difiere de las técnicas convencionales de fracturación hidráulica en que utiliza un fluido de fracturación más pesado que la roca circundante.

Esta diferencia es fundamental porque permite que las fracturas hidráulicas se propaguen hacia abajo (en lugar de horizontalmente) y transporten los desechos por gravedad en lugar de bombearlos. En un primer aspecto de la invención, se proporciona un método de eliminación nuclear como se establece en la reivindicación 1.

5 En otro aspecto, se proporciona un sistema para el secuestro abisal de desechos nucleares como se establece en la reivindicación 17.

Más específicamente, el método de eliminación de desechos nucleares incluye los pasos de mezclar los desechos con agua u otro fluido y un material de carga para hacer un fluido o pasta densa de una densidad, temperatura y viscosidad predeterminadas; e inyectar el fluido denso o la pasta a una presión y/o rata predeterminadas en un pozo para que el fluido o pasta entre en los estratos a una profundidad predeterminada y continúe viajando hacia abajo a través de los estratos hasta que el fluido o pasta quede inmovilizado. Antes del paso de mezclado, los desechos, si están en forma sólida, pueden triturarse en partículas de un tamaño predeterminado. La mezcla mezclada presurizada agrieta y dilata la estructura de la roca, que es preferiblemente una estructura de roca estable y de baja permeabilidad, como muchas rocas ígneas y metamórficas, así como algunas rocas sedimentarias. (Inicialmente, se evita apuntalar la fractura). Debido a que el fluido denso tiene una densidad mayor que la de la roca, el fluido o pasta tiene una tendencia absoluta a descender por gravedad (hasta que la relación de densidad cambie u otra mecánica detenga el desplazamiento hacia abajo) y permanezca muy por debajo de la superficie de la tierra. El fluido denso puede incluir agua, aceite, gel o cualquier fluido adecuado para proporcionar la viscosidad y densidad requeridas.

El pozo se perfora preferiblemente en y sobre el sitio que genera los desechos nucleares u otros desechos peligrosos, eliminando así la necesidad de transportar los desechos fuera del sitio y al sitio de eliminación. El pozo incluye una cadena de trabajo o tubería para recibir el fluido mezclado, los desechos y el material de carga; un empacador y una carcasa de acero cementado con perforaciones ubicadas en o alrededor de la profundidad predeterminada. La profundidad predeterminada está preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 10,000 a 30,000 pies (aproximadamente 3,000 a 9,000 metros) pero puede ser menos profunda o más profunda dependiendo de las propiedades de la roca y las limitaciones de perforación. El material de carga puede ser otro desecho nuclear (incluyendo, por ejemplo, radionucleidos tal como el uranio), otros desechos peligrosos o un metal tal como el bismuto, el plomo o el hierro con el fin de agregar peso al desecho primario que se está eliminando. Los metales o aleaciones que están en fase líquida a la temperatura y presión encontradas en el subsuelo son particularmente adecuados como material de carga.

La cadena de trabajo se puede tirar para la limpieza o el reemplazo de rutina. La mezcladora utilizada para mezclar el agua, los desechos y el material de carga está preferiblemente protegida, al igual que la unidad de bombeo (por ejemplo, un camión de bombeo) utilizada para bombear la mezcla a presión al pozo.

Breve descripción de los dibujos

La FIG. 1 es un diagrama de flujo de proceso de una realización preferida de un método de acuerdo con esta invención para la eliminación de desechos nucleares y otros desechos peligrosos. Se introduce un fluido denso en una fractura (véase la FIG. 2) y continúa propagándose hacia abajo por gravedad (véase la FIG: 3).

La FIG. 2 es muy adecuado para su uso en la práctica del método de la FIG. 1. En lugar de inyectar el fluido lateralmente en el pozo, las realizaciones alternativas del pozo podrían inyectar el fluido de otras maneras, incluso en la parte inferior.

La FIG. 3 ilustra el fluido denso de la FIG. 1 a medida que el fluido denso se introduce en una fractura y extiende la fractura hacia abajo hasta que se hace lo suficientemente larga como para propagarse independientemente. La fractura continúa propagándose hacia abajo a gran profundidad, aislando permanentemente los desechos. Aunque no se ilustra, el fluido denso puede propagarse hacia abajo y luego curvarse en una dirección horizontal creando un espacio de almacenamiento subhorizontal.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

Las fracturas hidráulicas se crean cuando la presión en una grieta llena de fluido hace que el material en la punta de la grieta falle. La fractura avanza y el fluido fluye hacia adelante para llenar el espacio recién creado. Las fracturas hidráulicas se crean comúnmente mediante el uso de una bomba para inyectar fluido en un pozo, pero esta no es la única ocurrencia. Son bien conocidos ejemplos geológicos en los que las fracturas hidráulicas crecen hacia arriba a través de la corteza terrestre porque las fracturas están llenas con líquido más ligero que su roca envolvente. Un dique lleno de magma que se propaga hacia arriba para alimentar una erupción volcánica es un ejemplo de fractura hidráulica que se propaga por gravedad.

Un sistema y método de acuerdo con esta invención implica propagar fracturas hidráulicas hacia abajo llenando las fracturas con fluido denso que contiene desechos. La propagación ocurre cuando la presión en la fractura crea una intensidad de tensión que excede la tenacidad o resistencia de la roca. Con referencia a las FIGS. 1 a 3, se crea un pozo abierto y se llena con el fluido denso hasta que la presión en el fondo es suficiente para crear una fractura (FIG. 3 en "a"). Un proceso de fractura similar ocurre durante la perforación sobrebalanceada cuando el peso del lodo es demasiado grande y hace que se pierda la circulación al iniciar una fractura y hacer que crezca lejos del pozo. El fluido

fluirá hacia la fractura y el nivel de fluido en el pozo caerá (FIG. 3 en "b"). Sin embargo, se espera que la fractura avance más rápido que la tasa de caída del nivel de líquido en el pozo, por lo que la altura total desde la punta de la fractura hasta la parte superior de la columna de líquido en el pozo se alarga. Esto aumenta la presión de conducción y promueve la propagación hacia abajo a medida que el fluido en el pozo drena por gravedad hacia la fractura (FIG. 3 en "c").

El tramo vertical de la fractura aumenta continuamente, haciendo que aumente la presión en el fondo de la fractura y asegurando una propagación continua hacia abajo, incluso después de que todo el líquido se haya drenado desde el pozo hacia la fractura (Figura 3 en "d") La distribución de la presión hace que la parte inferior de la fractura se abra y la parte superior se apriete en cierre. Se dejará un recubrimiento residual de fluido cuando se cierre la fractura, y esto disminuirá el volumen de fluido en la fractura. Eventualmente, el fluido original se extenderá como un recubrimiento delgado en la pared de fractura, extendiéndose desde el fondo del pozo hasta gran profundidad. En el caso de la pasta, la fractura puede apuntalarse si el líquido se filtra hacia la roca.

El proceso se repite poniendo fluido adicional en el pozo. Esto creará una nueva fractura que seguirá el camino de la anterior (FIG. 3 en "e"). El fluido adicional alcanza una profundidad aún mayor que el lote original. La profundidad máxima que pueden alcanzar los fluidos densos no está clara, pero podría superar las decenas de kilómetros.

Un método para eliminar los desechos nucleares practicado de acuerdo con esta invención, por lo tanto, retira de forma efectiva los desechos de la exposición a actividades humanas a una escala de tiempo relevante tanto para las acciones de la sociedad como para la vida media de muchos radionucleidos peligrosos. El método incluye los pasos de mezclar los desechos con materiales adecuados para crear un fluido o pasta densa que tenga una densidad y viscosidad predeterminadas; e inyectando el fluido denso a una presión o velocidad predeterminada en un pozo para que el fluido denso ingrese a los estratos a una profundidad predeterminada y continúe viajando hacia abajo a través de los estratos hasta que se detenga su flujo, por ejemplo, debido a que la relación sólido-líquido es demasiado alta para permitir el flujo. La propagación también puede detenerse cuando una cantidad suficiente del fluido o fluido/pasta densa se ha extendido como una película o residuo sobre la porción cerrada superior de la fractura.

Se puede usar aceite, gel o cualquier fluido adecuado para proporcionar la viscosidad y densidad requeridas. El material de carga agrega densidad a los desechos primarios, que pueden ser otros tipos de desechos nucleares, otros desechos peligrosos o un metal tal como, pero no limitado a, bismuto, plomo, hierro, cobre o metales o aleaciones de bajo punto de fusión (por ejemplo, mercurio, maderas metálicas, indalloy 15, galio) que podrían mezclarse y posiblemente disolver o amalgamar material de desecho de alto nivel. Las aleaciones de bajo punto de fusión son un líquido bajo las condiciones de presión y temperatura esperadas en el fondo del pozo de inyección. Los compuestos sólidos, tal como los metales utilizados para material de carga, se pueden mezclar con un líquido de alta resistencia al cizallamiento, incluyendo geles de polímeros que pueden entrecruzarse o geles inorgánicos que se pueden formar al hidratar minerales de arcilla, para crear una pasta densa. Antes del paso de mezcla, los desechos, si están en forma sólida, pueden triturarse a un tamaño predeterminado.

El fluido denso presurizado crea una fractura vertical o grieta en la estructura de la roca. El fluido denso entra en la grieta y sirve para apuntalar la estructura de la roca. La estructura de la roca es preferiblemente una formación de roca estable de baja permeabilidad, del tipo en el que los reactores nucleares se construyen típicamente de forma regular. Debido al material de carga, la densidad del fluido denso es mayor que la de la roca y esto provoca una tendencia absoluta de que el fluido viaje hacia abajo hasta que se inmoviliza. Si la densidad del fluido denso es exactamente igual a la de la roca, el fluido denso puede ser incapaz de superar la tenacidad a la fractura de la roca. Esto es necesario para la propagación de la fractura, por lo tanto, la densidad debería ser algo mayor para asegurar el crecimiento de la fractura. Cuánto más lo sea, depende de la magnitud de la tenacidad a la fractura, las propiedades del fluido y otros efectos estándar en la fracturación hidráulica industrial.

En términos generales, la densidad de la roca aumenta a medida que aumenta la profundidad. Por lo tanto, una vez que la fractura se propaga, se puede alcanzar un punto donde la densidad del fluido denso se vuelve igual a la densidad de la roca, lo que limita así cualquier propagación hacia abajo. Finalmente, la fractura se vuelve subhorizontal y el fluido denso llena la fractura horizontalmente. Esto es similar a los alféizares geológicos y no obstaculiza la tecnología propuesta, ya que la parte horizontal de la fractura en crecimiento también permite el almacenamiento seguro de desechos. La tenacidad a la fractura también aumenta con la profundidad porque aumenta con factores tales como la temperatura, la presión y el tamaño de la fractura. Sin embargo, el efecto de la tenacidad a la fractura se puede superar presurizando la fractura.

Por ejemplo, y solo a modo de ejemplo, el punto de inmovilización puede ocurrir a aproximadamente 2,000 a 50,000 pies (aproximadamente 600 a 15,000 metros) por debajo del punto de entrada inicial del fluido denso en los estratos. (La profundidad puede ser mayor y está limitada principalmente por las limitaciones de perforación y bombeo). El fluido denso se puede controlar utilizando medios trazadores convencionales para ver si se ha producido algún movimiento o migración hacia arriba en relación con las perforaciones en la carcasa del pozo, o si puede ser controlado usando medios de microsísmica para evaluar la migración hacia abajo debajo del fondo de la región accesible a la cubierta del pozo.

5 El pozo se perfora preferiblemente en y sobre el sitio que genera los desechos nucleares u otros desechos peligrosos, eliminando así la necesidad de transportar los desechos fuera del sitio y al sitio de eliminación. El pozo también elimina la necesidad de medios de almacenamiento temporal en el sitio porque los desechos pueden transportarse directamente al pozo para su eliminación permanente inmediata. Como se muestra en la FIG. 2, el pozo incluye una cadena de trabajo o tubería para recibir el agua mezclada, los desechos y el material de carga; un empacador y una carcasa de cemento con perforaciones ubicadas en o alrededor de la profundidad predeterminada. La profundidad predeterminada está preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 10,000 a 30,000 pies (aproximadamente 3,000 a 9,000 metros). La cadena de trabajo se puede tirar para la limpieza o reemplazo de rutina. El mezclador utilizado para mezclar el agua, los desechos y el material de carga está preferiblemente protegido, al igual que el camión de bombeo utilizado para bombear el fluido denso a presión dentro del pozo (véase FIG. 1).

10

Se han descrito e ilustrado realizaciones preferidas de un sistema y método para el secuestro abisal de desechos nucleares, pero no todas las realizaciones posibles. El sistema inventivo y el método en sí mismo están definidos y limitados por las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método para eliminar desechos nucleares, donde el método comprende los pasos de:
- 5 i) mezclar una corriente de desechos, que incluye un desecho radiactivo con un líquido para producir un fluido denso con una densidad mayor que la densidad de una formación rocosa para causar una tendencia absoluta de que el fluido viaje hacia abajo:
- ii) bombear el fluido denso en una cadena de tubos de un orificio de inyección en dicha formación rocosa; y
- 10 iii) el fluido denso después del paso (ii) que sale, a través de una perforación en una carcasa, del orificio de inyección que se encuentra a una profundidad predeterminada para permitir que dicho fluido denso fracture verticalmente los estratos de roca circundantes y continúe propagando la fractura verticalmente hacia abajo hasta que dicho fluido denso está inmovilizado.
2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en el que el fluido denso después de entrar en la fractura continúa fracturando verticalmente los estratos de roca circundantes y propagando la fractura hacia abajo a medida que el fluido denso drena desde el orificio de inyección.
- 15 3. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en el que el fluido denso después de entrar en la fractura continúa fracturando verticalmente los estratos de roca circundantes y propagando la fractura hacia abajo después de desprenderse de cualquier fluido denso que quede en el orificio de inyección.
- 20 4. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en el que el fluido denso después de entrar en la fractura continúa fracturando verticalmente los estratos de roca circundantes y propagando la fractura hacia abajo, y una porción del fluido denso que viaja hacia abajo permanece conectada por una película delgada a cualquier fluido denso que quede en el orificio de inyección.
5. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en el que la propagación de la fractura se detiene por debajo del punto de entrada inicial del fluido denso en los estratos de roca.
6. Un método de acuerdo con la reivindicación 5 en el que la detención por propagación de la fractura ocurre a una profundidad en un intervalo de aproximadamente 600 a 15,000 metros.
- 25 7. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en el que el método comprende además el paso de agregar un segundo fluido denso al orificio de inyección.
8. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en el que el método comprende además el paso de controlar un movimiento del fluido denso y la propagación de la fractura después de que el fluido denso haya salido de la perforación.
- 30 9. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en el que el fluido denso es una pasta.
10. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en el que el líquido incluye al menos una porción del mismo seleccionada del grupo que consiste en un gel de polímero entrecruzado y una pasta de arcilla hidratada.
11. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en el que el método comprende además el fluido denso que incluye un material sólido que se mezcla con la corriente de desechos.
- 35 12. Un método de acuerdo con la reivindicación 11 en el que el material sólido es un metal.
13. Un método de acuerdo con la reivindicación 12 en el que el metal se selecciona del grupo que consiste en bismuto, hierro, plomo y cobre.
14. Un método de acuerdo con la reivindicación 12 en el que el metal es un metal que tiene una temperatura de fusión menor que una temperatura en el fondo del orificio de inyección.
- 40 15. Un método de acuerdo con la reivindicación 12 en el que el metal se selecciona del grupo que consiste en mercurio, maderas metálicas, indalloy 15 y galio.
16. Un método de acuerdo con la reivindicación 11 en el que el material sólido es un radionúclido.
17. Un sistema adaptado al secuestro abisal de desechos nucleares, donde el sistema comprende:
- un material líquido y sólido;
- 45 medios adaptados para mezclar una corriente de desechos, que incluye un desecho radiactivo con el material líquido para producir un fluido denso; y
- medios adaptados para bombear el fluido denso en una cadena de tubos de un orificio de inyección;

5 el fluido denso tiene una densidad mayor que la densidad de una formación rocosa que rodea el orificio de inyección para causar una tendencia absoluta de que el fluido se desplace hacia abajo al salir de una perforación en una carcasa del orificio de inyección, que se encuentra a una profundidad predeterminada de 3000 a 9000 metros para permitir que dicho fluido denso fracture verticalmente los estratos de roca circundantes y en el que el fluido denso continúa propagando la fractura verticalmente hacia abajo hasta que dicho fluido denso se inmoviliza.

FIG. 1

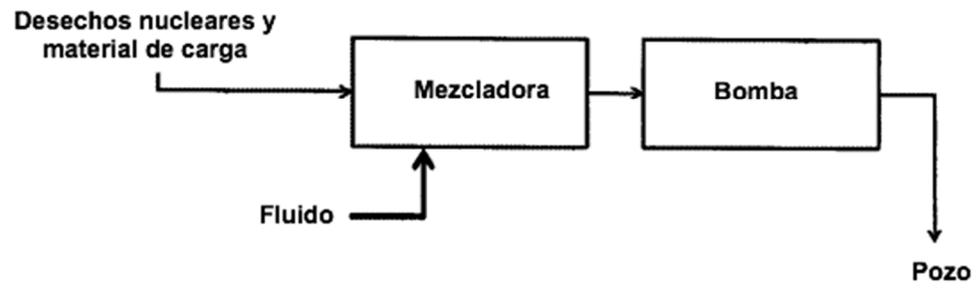


FIG. 2

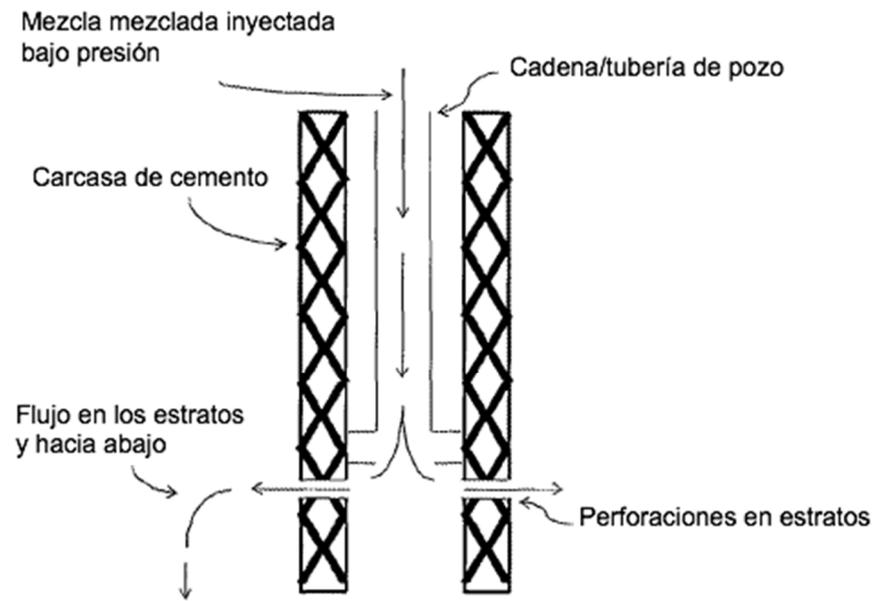


FIG. 3

