

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 739 541**

51 Int. Cl.:

E21B 43/26	(2006.01)
F03B 13/06	(2006.01)
C02F 1/44	(2006.01)
B65G 5/00	(2006.01)
H02K 7/18	(2006.01)
C02F 103/06	(2006.01)
F03D 9/17	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.06.2015 PCT/US2015/038363**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **07.01.2016 WO16003928**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.06.2015 E 15814576 (3)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.05.2019 EP 3161254**

54 Título: **Sistema de almacenamiento de energía de geofracturas hidráulicas con desalinización**

30 Prioridad:

30.06.2014 US 201414318742

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

31.01.2020

73 Titular/es:

**QUIDNET ENERGY INC. (100.0%)
720 Rusk Street No. 227
Houston, TX 77002, US**

72 Inventor/es:

**SCHMIDT, HOWARD K. y
MANDELL, AARON H.**

74 Agente/Representante:

SALVÀ FERRER, Joan

ES 2 739 541 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

Sistema de almacenamiento de energía de geofracturas hidráulicas con desalinización

5 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

1. Campo de la Invención

10 **[0001]** Esta invención se refiere al almacenamiento de energía y la desalinización del agua. Más particularmente, un fluido se inyecta en un pozo para formar una fractura hidráulica. El fluido puede ser bombeado hacia la fractura bajo presión y luego producirse desde la fractura bajo presión y usarse para generar energía o fluir a una unidad de ósmosis inversa para desalinización.

15 2. Discusión de la Técnica Relacionada

20 **[0002]** Una serie de factores que incluyen la seguridad energética, la volatilidad de los precios, la regulación del carbono, los incentivos fiscales y los temores del calentamiento global antropogénico están impulsando el rápido crecimiento de fuentes de energía renovables. Dado que los combustibles fósiles líquidos se consumen principalmente en la industria del transporte debido a su extraordinaria densidad energética (alrededor de 45 MJ/litro) y los biocombustibles proporcionan una ganancia de energía limitada, el papel clave de las fuentes de energía renovables es desplazar el consumo de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica. Actualmente, los EE.UU. consumen aproximadamente 1 TW (10^{12} vatios) de energía eléctrica, por lo que solo tecnologías renovables que eventualmente puedan entregar cientos de GW en general son opciones significativas a escala de red. Aparte de la energía hidroeléctrica, que ha estado funcionando prácticamente a plena capacidad durante décadas, solo los sistemas de energía solar y eólicos pueden ser considerados en este momento. Ninguno de estos es competitivo en costos hoy en día sin subsidios sustanciales financiados con fondos públicos, aunque se espera que los gastos de capital y los costos operativos disminuyan con el tiempo, y que eventualmente alcancen paridad de precios con las centrales eléctricas de carbón y gas. De estos, los aerogeneradores eólicos son los más económicos, con un gasto de capital (capex) de aproximadamente \$1,75/vatio, y solo Texas tiene una base instalada con una capacidad de producción máxima de aproximadamente 2,5 GW.

35 **[0003]** Estos dos recursos renovables clave, eólico y solar, sufren de intermitencia diariamente y según la estación, como se ilustra en la fig. 1. Por lo tanto, ninguno es adecuado para proporcionar potencia de carga base. Fluctuaciones de salida también causan inestabilidad de la red; sin medios dinámicos de nivelación de carga (por ejemplo, tecnologías de red inteligentes), las fuentes de energía renovables ahora deben limitarse a menos del diez por ciento de la energía suministrada en una red eléctrica determinada. Como resultado, la energía eléctrica renovable a nivel de red está limitada no solo por la economía de la fuente, sino también por las tecnologías de estabilización de la red.

40 **[0004]** Por lo tanto, se necesita tecnología de almacenamiento de energía eléctrica a gran escala en paralelo con las fuentes de energía renovables. La tabla 1 enumera las características de las posibles candidatas a tecnologías de almacenamiento de energía. Los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica más comunes en uso hoy en día se basan en algún tipo de tecnología de baterías; las principales candidatas incluyen baterías de plomo-ácido, de iones de litio y de flujo de vanadio. Estas, en general, son útiles no solo para nivelar las energías renovables en la fuente, sino también para los desplazamientos por picos y para mejorar la confiabilidad en el punto de uso. A partir de 2008, PG&E compró instalaciones para áreas residenciales con una capacidad nominal de 1 MW de suministro por 5 horas a un precio de \$2M USD. Esto fue justificado difiriendo la inversión en una mayor capacidad de transmisión (~2/3) y en parte por una mejor calidad de servicio (~1/3). Esto proporciona una escala útil y una referencia de precio para considerar tecnologías alternativas de almacenamiento: capacidad de 5,000 kW-hr, y precio \$400/kW-hr.

TABLA 1

	Costo relacionado con la energía (\$/kWh)	Costo relacionado con la potencia (\$/kW)	Balance de planta (\$/kWh)	Electrolizador (\$/kW)	Compresor (\$/scfm)	η Eficiencia de Descarga
Baterías de plomo-ácido (bajo)	175	200	50			0,85
Baterías de plomo-ácido (medio)	225	250	50			0,85
Baterías de plomo-ácido (alto)	250	300	50			0,85

ES 2 739 541 T3

(continuación)

Calidad de Potencia Banenes	100	250	40			0,85
Baterías Avanzadas	245	300	40			0,7
Micro-SMES	72,000	300	10,000			0,95
Medio-SMES (HTS proyectado)	2000	300	1500			0,95
SMES (HTS proyectado)	500	300	100			0,95
Volantes (de alta velocidad)	25,000	350	1000			0,93
Volantes (de baja velocidad)	300	280	80			0,9
Supercapacitores	82,000	300	10,000			0,95
Almacenamiento de Energía por Aire Comprimido (CAES)	3	425	50			0,79
Almacenamiento de Aire Comprimido en Recipientes (CAS)	50	517	50			0,7
Energía Hidroeléctrica Bombeada	10	600	2			0,87
Celda de Combustible de Hidrógeno/Almacenamiento de Gas (bajo)	15	500	50	300	112,5	0,59
Celda de Combustible de Hidrógeno/Almacenamiento de Gas (alto)	15	1500	50	600	112,5	0,59
Celda de Combustible/Almacenamiento Subterráneo	1	500	50	300	112,5	0,59
Motor de Hidrógeno/Almacenamiento de Gas	15	350	40	300	112,5	0,44

- 5 **[0005]** Como ejemplo aplicado, una turbina eólica con una capacidad nominal de 3 MW y un factor de utilización típico de 0,3 generará alrededor de 22,000 kW-h por día. Si se dedicaran tres unidades de almacenamiento basadas en baterías descritas anteriormente a cada turbina eólica, el gasto de capital se duplicaría con creces, basado en \$5,25M para una instalación de turbina eólica de 3 MW. Claramente, la tecnología actual de baterías es prohibitivamente cara para el almacenamiento general a escala de red, incluso con mejoras técnicas y economías de escala razonables.
- 10 **[0006]** Las tecnologías líderes para el almacenamiento de energía eléctrica a escala de red incluyen el almacenamiento de energía hidroeléctrica bombeada y aire comprimido (CAES). La energía hidroeléctrica bombeada utiliza energía eléctrica fuera de las horas pico para bombear el agua cuesta arriba hacia un depósito. Esto requiere un fácil acceso a grandes cantidades de agua y terreno convenientemente situados, siendo que ambos escasean en la región donde la densidad de la energía eólica es adecuada: las grandes llanuras de la región central de los EE.UU. Este enfoque técnico es, sin duda, probado y confiable, y también goza de una excelente eficiencia de ida y vuelta de ~ 87 %. Los sistemas de almacenamiento de aire comprimido dependen de la disponibilidad de minas abandonadas o del desarrollo de cavernas subterráneas profundas. Esta es una tecnología probada que se puede ubicar en aproximadamente el 85 % de los EE.UU. continentales y proporciona una eficiencia razonable de ~80 %. Dado que la compresión y expansión de aire genera grandes cambios de temperatura, plantas CAES, para hacer frente a este canal de energía parásita, es relativamente compleja y costosa. El gráfico en la fig. 2 muestra diversas tecnologías de almacenamiento en el espacio Potencia-Energía, y muestra claramente que la energía hidráulica bombeada y la CAES son independientes en la combinación de alta energía total con alta capacidad de potencia.
- 15
- 20
- 25 **[0007]** Otra aplicación clave para las tecnologías de almacenamiento radica en el desplazamiento pico o entrega de potencia adicional durante cortos períodos de extrema demanda. Esta región se denota como "Recursos Distribuidos" en la fig. 2. Los picos de demanda en las tardes de verano relacionados con el aire acondicionado son un buen ejemplo. Desafortunadamente, este es un período de baja productividad para las turbinas eólicas. El gráfico

en la fig. 3 muestra los costos de capital estimados de varias tecnologías candidatas para el servicio de esta aplicación.

[0008] Como se señaló anteriormente, esta aplicación está siendo abordada actualmente por algunos de los primeros usuarios, como PG&E, que se basan principalmente en la inversión diferida en líneas de transmisión y en la mejora de la calidad del servicio. Ciertamente, también hay una ventaja de marketing basada en el "sello verde" de energía distribuida. Hasta el momento en que se despliegue almacenamiento de energía hidráulica bombeada y/o CAES a gran escala, observamos que existe una interesante oportunidad de arbitraje para almacenar el exceso de energía nocturna de las turbinas eólicas y revenderlas durante la demanda máxima de las tardes de verano. Como anécdota, se dice que los parques eólicos en realidad pagan a los operadores de la red para que tomen su energía durante la noche. Los especialistas en energía eólica, como Green Mountain Energy, venden energía eólica a precios minoristas de \$0,19/kW-hr durante el día. Por lo tanto, existe una oportunidad de obtener aproximadamente \$0,20/kW-hr con un sistema de almacenamiento de doce horas. Esto podría ser una empresa bastante rentable si la tecnología de almacenamiento fuese lo suficientemente barata. La economía de las tecnologías existentes hace que esta sea una propuesta marginal en el mejor de los casos en un entorno de mercados de capital estrechos y demanda de altas tasas internas de rendimiento.

[0009] El documento US 2011/0030362 revela que la energía se almacena inyectando fluido en una fractura hidráulica en la tierra y devolviendo el fluido mientras se recupera la energía. El método descrito está especialmente adaptado para el almacenamiento de grandes cantidades de energía, como en los sistemas de energía eléctrica a escala de red. La fractura hidráulica se puede formar y tratar con resina para limitar la pérdida de fluido y aumentar la presión de propagación.

[0010] En muchas áreas, también hay escasez de agua dulce o potable. Uno de los métodos principales para la desalinización del agua es la ósmosis inversa. Este procedimiento requiere presión para superar la presión osmótica del agua salada y forzar el agua a través de una membrana semipermeable. Por lo tanto, existen oportunidades adicionales para combinar la tecnología de almacenamiento y la tecnología de desalinización.

BREVE RESUMEN DE LA INVENCION

[0011] La presente invención utiliza pozos para almacenar fluido a alta presión en fracturas hidráulicas en la tierra. El fluido se usa en equipos convencionales para producir energía, a medida que el fluido es extraído de vuelta del pozo. Las paredes de la fractura pueden hacerse menos permeables y la presión de propagación de la fractura puede ser aumentada inyectando una resina, como epoxi, en la fractura. Son descritas las capacidades de almacenamiento, los requisitos de capital y las tasas de rendimiento anticipadas que permiten una operación rentable para los recursos distribuidos y la gestión de la carga, así como el arbitraje nocturno de la energía eólica. Si el fluido almacenado es agua salina, como el agua producida a partir de estratos en la tierra, y hay demanda de agua dulce, una fracción seleccionada del agua salina producida a partir de la capacidad de almacenamiento puede ser dirigida a una unidad de ósmosis inversa para su desalinización.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0012]

- Fig. 1 muestra el patrón de viento diurno en Wildorado, Texas
- Fig. 2 muestra los costos y eficiencias de las tecnologías de almacenamiento de energía.
- Fig. 3 muestra las aplicaciones de servicios públicos distribuidos y renovables que coinciden
- Fig. 4 ilustra una fractura hidráulica en la tierra y un equipo para su formación.
- Fig. 5A es una sección transversal de una fractura mostrando una fuga de resina en la roca que rodea una fractura.
- Fig. 5B muestra resina al final de la fractura.
- Fig. 5C muestra apuntalante en la fractura.
- Fig. 6 ilustra una fractura hidráulica en la tierra alrededor de un pozo y equipo en la superficie de la tierra para controlar el retorno desde la fractura y generar energía o desalinizar el agua.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

[0013] La fracturación hidráulica es usada de manera rutinaria para mejorar las tasas de producción de los pozos de petróleo y gas perforados en depósitos de baja permeabilidad. Tales fracturas aumentan el área de superficie productiva efectiva de los pozos en la roca del depósito. De hecho, la explotación rentable de depósitos no convencionales, p. ej., la Formación de Barnett Shale y Bakken, solo se puede lograr a través de fracturación extensiva. Brevemente, después de que la cubierta del pozo es cementada en su lugar, se crean perforaciones en el estrato de interés, y luego se bombea un fluido por el pozo a alta presión para inducir fracturas en la formación de roca alrededor del pozo, como se ilustra en la fig. 4. El pozo 41 ha sido perforado en una formación subsuperficial. El camión de arena 42 puede llevar apuntalante al sitio del pozo. El fluido de fracturación se puede mezclar y almacenar en el tanque 45, desde el cual se extrae al camión mezclador 43, donde se mezcla con arena u otro apuntalante. Bombas de alta presión 44 se usan para forzar el fluido hacia abajo en el pozo 41 a una presión suficiente para formar una fractura 46

alrededor del pozo. Las partículas de apuntalante 47 pueden ser bombeadas hacia la fractura después de que se haya formado. La presión requerida para formar la fractura 46 generalmente depende linealmente de la profundidad; un 'gradiente de fractura' típico es de aproximadamente 5,5 kPa (0,8 PSI) por pie de profundidad del pozo. Por lo tanto, un pozo de 914,4 m (3000 pies) requiere una presión de aproximadamente 16,5 MPa (2.400 psi) en la superficie de la roca para crear una fractura hidráulica. En pozos poco profundos (de 304,8 a 609,6 m, es decir, 1.000 a 2.000 pies de profundidad), las fracturas hidráulicas normalmente se propagan horizontalmente. A mayores profundidades, las tensiones naturales en la roca tienden a conducir a fracturas orientadas verticalmente. Para nuestro propósito de almacenamiento de energía, la orientación de las fracturas no es importante. En cualquier caso, la energía se almacena por la deformación de la roca alrededor de la fractura, que es principalmente una deformación elástica. La fractura puede estar principalmente en un plano que se extiende desde el pozo a través de la formación de roca circundante, como se muestra en la fig. 4, o, en rocas naturalmente fracturadas como las formaciones de esquisto Barnett o Bakken, la fractura puede extenderse sobre un gran volumen, con muchas rutas de fluido diferentes.

[0014] Una fractura en un pozo podría extenderse radialmente desde el pozo, por ejemplo, en un orden de 100 metros a 1000 metros. Si la fractura está principalmente en un plano, el espesor de la fractura puede ser del orden de 0,5 a 2 cm en el pozo. La propagación de grietas se puede monitorear en tiempo real durante la operación de fractura utilizando métodos microsísmicos, mientras que el grado y el patrón de deformación en la superficie de la tierra se pueden medir simultáneamente con medidores de inclinación. La permeabilidad del fluido y las propiedades elásticas del estrato de roca fracturada determinan efectivamente la extensión de la fractura posible con un sistema de bombeo dado. A medida que la fractura aumenta en longitud, el área de superficie de la roca aumenta junto con la velocidad de los fluidos que entran en la roca en lugar de llenar la fractura propiamente dicha. Por lo tanto, rocas altamente permeables pueden ser difíciles de fracturar, mientras que rocas menos permeables se pueden fracturar a mayores distancias. Se pueden agregar aditivos para la pérdida de fluido (partículas) al fluido de la fractura para disminuir la velocidad de los fluidos que entran a la roca desde la fractura. La pérdida de fluido puede disminuirse aún más bombeando una resina de polímero en el fluido de fracturación. Preferiblemente, se puede usar una resina epoxi alifática, tal como se describe en el artículo "Water-Dispersible Resin System for Wellbore Stabilization" L. Eoff et al, SPE 64980, 2001. También se pueden usar furano, resinas fenólicas y otras resinas epoxi. El sistema de resina se puede bombear como una resina pura, una mezcla de resina/arena, o se puede dispersar en un fluido de fracturación a base de agua o aceite. La resina se puede mezclar con un diluyente o disolvente, que puede ser reactivo. Al comienzo de una resina de fractura, una barra de resina pura puede ir seguida de una dispersión de resina en el fluido de fracturación, y esto seguido con el fluido de fracturamiento. Se pueden agregar agentes apuntalantes y/o para la pérdida de fluidos a cualquiera de los fluidos. Los volúmenes de los diferentes fluidos se seleccionan preferiblemente para permitir que la resina epoxi u otra resina rellene la fractura hasta el extremo e infiltre la roca alrededor del extremo de la fractura. La inyección de resina o fluidos que contienen resina se puede aplicar repetidamente para obtener una menor pérdida de fluido por una fractura.

[0015] Figs. 5A, 5B y 5C ilustran, al mostrar secciones transversales de una fractura, un método para colocar una resina en una fractura para preparar la fractura para el almacenamiento de energía, como se describe en este documento. En la fig. 5A, una resina, dispersión de resina o mezcla líquida con resina 50 está presente en un pozo y en la fractura 51 que se ha formado en la roca. La resina 50 puede contener un aditivo para la pérdida de fluidos. La resina 52 filtrada en la roca rodea la fractura. En la fig. 5B, el fluido de desplazamiento 54, que puede ser agua que contiene un viscosificador, a base de aceite o que contiene un disolvente para la resina, se muestra moviendo la resina 50 hacia el final de la fractura. El fluido de desplazamiento 54 es preferiblemente más viscoso que la resina 50. La cantidad de resina filtrada en la roca 52 ha aumentado. En la fig. 5C solo queda una cantidad limitada de resina 50 en la fractura, y está presente cerca del extremo o final de la fractura. La fractura 51 puede contener apuntalante 55.

[0016] Después de la curación, la resina en o alrededor del extremo de la fractura aumentará la presión de propagación de la fractura y permitirá que se creen fracturas más amplias durante el almacenamiento del fluido. La tasa de fuga de fluido que se va a almacenar bajo presión en la fractura puede reducirse a un valor pequeño o mínimo. Con el logro de una baja pérdida de fluido por una fractura, un gas también se puede usar como fluido de trabajo para el procedimiento de almacenamiento, solo o con líquido.

[0017] A los efectos del almacenamiento de energía, estamos interesados en grandes fracturas con poca pérdida de fluido. Idealmente, la pérdida de fluido será cero, por lo que estratos de roca adecuados pueden ser completamente impermeables. Observamos que los aditivos utilizados para reducir o eliminar la pérdida de fluido de una fractura durante la fracturación serían útiles en esta aplicación para reducir o eliminar la pérdida de fluido en estratos rocosos ligeramente permeables. Materiales útiles para reducir la invasión de fluidos incluyen polímeros, sílice fina, arcillas, posiblemente nuevos materiales nanoestructurados como suspensiones de grafeno y mezclas de materiales seleccionados. Cualquier fluido inyectado en la fractura puede contener un apuntalante o puede no contener un apuntalante.

[0018] En estas condiciones, observamos que la energía utilizada para generar la fractura se puede dividir en tres categorías principales: fricción del fluido (pérdida, depende de las tasas de bombeo y del tamaño de las tuberías en el pozo), roca de craqueo (pequeña; pérdida), y flexión elástica de la roca que rodea la fractura. Es importante destacar que observamos que la energía utilizada para deformar la roca elásticamente es realmente almacenada como

energía potencial. Esta energía puede recuperarse de la corriente de fluido expulsada de la fractura y el pozo mientras la roca se relaja a su posición original. Por lo tanto, después de formarse una gran fractura, el espacio lleno de fluido puede ser usado para levantar (y flexionar) hidráulicamente la sobrecarga y almacenar energía mecánica. Esa energía puede recuperarse eficientemente permitiendo que el fluido presurizado escape a través de una turbina. El procedimiento de inyectar fluidos a una presión por encima del gradiente de fractura se puede repetir un número seleccionado de veces, alternativamente con el procedimiento de producir fluido nuevamente para generar energía. Así, la fractura funciona como un recipiente de almacenamiento elástico. En general, este esquema es conceptualmente similar a los sistemas de almacenamiento de energía hidroeléctrica bombeada. Sin embargo, en lugar de bombear agua solo cuesta arriba, bombearemos agua hacia abajo y la utilizaremos para elevar y flexionar hidráulicamente un gran bloque denso de tierra o deformar la tierra elásticamente. Los componentes clave (bombas, turbinas) y los canales de pérdida (fricción del fluido) son similares o comunes a ambos, por lo que esperamos que este nuevo enfoque tenga aproximadamente la misma eficiencia general que la energía hidroeléctrica bombeada, aproximadamente un 87 % en un viaje de ida y vuelta.

15 **[0019]** Una ventaja clave de este nuevo enfoque es que se puede utilizar un terreno plano, y son eliminados los movimientos de tierra masivos y los impactos ambientales.

20 **[0020]** A continuación mostramos un par de instalaciones de fractura de ejemplo para demostrar la escala de almacenamiento de energía disponible mediante este nuevo enfoque, suponiendo que la deformación o elevación de la roca que se produce alrededor de una fractura hidráulica se puede representar de la manera siguiente:

Ejemplo 1. Pozo de 1 km de profundidad, con una elevación promedio de 1 cm en un radio de 100 metros (fractura típica de un campo petrolífero)

25 **[0021]**

Profundidad del pozo:	1.000 m
Radio de la fractura:	100 m
Volumen de slug:	31.400.000 m ³
Densidad de la roca:	2.800 kg/m ³
Masa de slug:	87.900.000.000 kg
Peso de slug:	862.000.000.000 Newtons
Elevación promedio:	1 cm
Energía de elevación:	8.620.000.000 Joules
Capacidad de almacenamiento:	2.395 kW-hr

30 Ejemplo 2. Pozo de 1 km de profundidad, con una elevación promedio de 10 cm en un radio de 500 metros

[0022]

Profundidad del pozo:	1.000 m
Radio de la fractura:	500 m
Volumen de slug:	7,85 E 8 m ³
Densidad de la roca:	2.800 kg
Masa de slug:	2,20 E 12 kg
Peso de slug:	2,16 E 13 Newtons
Elevación promedio:	10 cm
Energía de elevación:	2,16 E 12 Joules
Capacidad de almacenamiento:	5,99 E 5 kW-hr

[0023] Aunque se describen explicaciones de las propiedades de la fractura hidráulica, el Solicitante no desea estar vinculado por una teoría científica particular con respecto a las propiedades de las fracturas hidráulicas.

[0024] A modo de comparación, una turbina eólica de 3 MW que funciona a un factor de utilización típico del 30 % genera 2,16E4 kW-h por día. Por lo tanto, la unidad descrita en el ejemplo 2 puede almacenar toda la producción diaria nominal de un parque eólico compuesto por 167 turbinas. Si se comprase un sistema de almacenamiento basado en baterías para esta cantidad de energía almacenada a los precios actuales (\$400/kW-hr), se requeriría una inversión de capital de aproximadamente \$239 millones. Esperamos que la inversión de capital para el almacenamiento de energía en dichas fracturas hidráulicas sea aproximadamente de tres a diez veces menor. La escala de almacenamiento de energía se encuentra claramente en el régimen de administración de carga (fig. 2), al que actualmente solo se puede acceder mediante energía hidroeléctrica bombeada y tecnología CAES. Si el sistema en este ejemplo tuviera un ciclo del 30 % de capacidad diaria, el valor de arbitraje sería de aproximadamente \$18,000 por día a \$0,10 por kW-h.

[0025] El fluido inyectado en una fractura puede ser líquido o gas. Un fluido adecuado es salmuera producida a partir de un estrato en la tierra debajo de los acuíferos de agua potable. La salmuera puede ser producida junto con la producción de hidrocarburos. Si se inyecta salmuera o agua que contiene sal disuelta en la fractura de la fig. 4 o 5, el fluido producido de vuelta será esencialmente de la misma composición que el fluido inyectado. La presión del fluido producido estará en un nivel elevado hasta que la fractura se cierre. El exceso de presión se puede usar para producir energía, como se describió anteriormente, o el exceso de presión se puede usar para desalinizar una porción del agua producida o toda el agua producida, como se ilustra en la fig. 6.

[0026] Haciendo referencia a la fig. 6, el pozo 60 ha sido perforado y se ha(n) formado fractura(s) hidráulica(s) 62 en el pozo. La fuga desde la fractura ha sido limitada, como se discutió anteriormente. Tubos fueron colocados en el pozo y se instaló la válvula 63 para controlar el flujo hacia dentro o hacia fuera del pozo. Luego, el pozo se puede conectar a la válvula 64 para controlar el flujo a las instalaciones de generación de energía, como se explicó anteriormente, durante una fase de flujo de retorno. El pozo también puede conectarse a la instalación de desalinización u otras instalaciones de tratamiento de agua a través de la válvula 65. Una instalación de tratamiento de agua preferida es una unidad de ósmosis inversa, como la unidad 66. Al utilizar una presión elevada del fluido que fluye desde el pozo 60, la membrana semipermeable 67 permite eliminar la sal disuelta del agua y la producción de agua dulce, como se muestra en la figura. Las válvulas 64 y 65 pueden ambas abrirse durante una fase de flujo de retorno del agua almacenada a presión elevada, permitiendo tanto la producción de energía como la producción de agua desalinizada. Alternativamente, cualquiera de las válvulas 64 y 65 puede ser cerrada y todo el fluido producido ser usado para un propósito, como la desalinización. Alternativamente, cualquiera de las válvulas también puede variar en apertura o cierre durante una fase de flujo de retorno. La variación de la apertura de las válvulas en respuesta a la variación en la presión del fluido producido durante una fase de retorno puede mejorar los resultados de los procedimientos combinados de generación de energía y desalinización.

[0027] Dependiendo de la salinidad del agua que se está tratando, la ósmosis inversa requerirá típicamente de 1,4 a 8,3 MPa (200-1200 psi) de presión diferencial a través de una membrana semipermeable. Este es típicamente el rango de fuerza motriz que se requiere para superar la presión osmótica y hacer que el agua fluya a través de la membrana semipermeable. Los caudales típicos son 610 - 1430 L/m²/día (15-35 gal/ft²/día (GFD)) para agua de mar, según las condiciones del procedimiento.

[0028] Se puede usar un rango de contenido de agua, desde una salinidad muy baja (pequeñas cantidades de TDS que salen de un estrato durante operación normal), a una salinidad moderada (usando agua subterránea salobre o agua producida junto con hidrocarburos como el inyectado), a salinidades elevadas (agua de procedimiento de alta salinidad). La ósmosis inversa se puede usar para controlar la calidad del agua de la instalación de almacenamiento durante la operación normal, es decir, eliminar los sólidos disueltos que pueden afectar el rendimiento del depósito, por ejemplo, causando la acumulación de incrustaciones en el pozo y/o dentro de las fracturas, así como un método para convertir las fuentes no potables de agua en calidad potable (por ejemplo, "desalinización hidráulica bombeada"). Se pueden usar dispositivos bien conocidos en procedimientos de ósmosis inversa, como dispositivos de recuperación de energía del intercambiador de presión (disponibles en Energy Recovery, Inc.). Esto proporciona una manera de integrar el almacenamiento de energía y el tratamiento/desalinización del agua. Si no se produce energía durante el retorno, el procedimiento se puede ver como esencialmente convirtiendo la energía almacenada directamente en trabajo útil mediante la desalinización del agua.

[0029] El agua inyectada en las fracturas ha sido descrita y tiene sal disuelta, pero también se puede usar agua potable (que no tiene sales disueltas) como fluido de trabajo. La presión del agua potable que fluye de vuelta desde una fractura se puede cambiar a agua para ser desalinizada de tal manera que el agua salina se pueda desalinizar utilizando ósmosis inversa. Intercambiadores de presión como los descritos anteriormente pueden usarse para este fin.

[0030] Aunque la presente invención ha sido descrita con respecto a detalles específicos, no se pretende que tales detalles se consideren como limitaciones en el alcance de la invención, excepto en la medida en que estén

incluidos en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un método para almacenar y producir energía y desalinizar agua, que comprende:
- 5 bombear agua que contiene una sal disuelta en un pozo (41) a una presión mayor que la presión de fracturación y en una fractura hidráulica (46) en una formación de roca alrededor del pozo (41);
antes de la fuga del agua que contiene una sal disuelta de la fractura hidráulica (46), reducir la presión en el pozo (41) para producir una porción del agua que contiene una sal disuelta en el pozo (41) como agua producida y usar la presión de una primera porción del agua producida para generar energía y usando la presión de una
10 segunda porción del agua producida para desalinizar la segunda porción del agua producida.
2. El método de la reivindicación 1, donde la primera porción y la segunda porción del agua producida varían según el agua producida se produce en el pozo (41).
- 15 3. Un método para operar un sistema de red eléctrica, que comprende:
- generar energía eléctrica durante períodos óptimos de producción utilizando una fuente primaria de energía para el sistema de red eléctrica;
usar una parte de la energía eléctrica generada durante los períodos óptimos de producción para bombear
20 agua que contiene una sal disuelta a una presión mayor que la presión de fracturación en una fractura hidráulica (46) en la tierra; durante un período de producción no óptimo, producir el agua que contiene una sal disuelta de la fractura hidráulica (46) y utilizar la presión de una primera porción del agua que contiene una sal disuelta para generar energía eléctrica para el sistema de red eléctrica; y
usar la presión de una segunda porción del agua que contiene una sal disuelta para desalinizar la segunda
25 porción del agua que contiene una sal disuelta.
4. Un método para desalinizar agua, que comprende:
- bombear agua que contiene una sal disuelta en un pozo (41) a una presión mayor que la presión de fracturación
30 y en una fractura hidráulica (46) en una formación de roca alrededor del pozo (41);
antes de la fuga del agua que contiene una sal disuelta de la fractura hidráulica (46), reducir la presión en el pozo (41) para producir una porción del agua que contiene una sal disuelta en el pozo (41) como agua producida y usar la presión del agua producida para desalinizar el agua producida.
- 35 5. Un método para desalinizar agua, que comprende:
- bombear agua potable en un pozo (41) a una presión mayor que la presión de fracturación y en una fractura
hidráulica (46) en una formación de roca alrededor del pozo (41);
40 antes de la fuga del agua potable de la fractura hidráulica (46), reducir la presión en el pozo (41) para producir una porción del agua en el pozo (41) como agua producida y usar la presión del agua producida para desalinizar el agua.
6. El método de la reivindicación 5, donde la presión del agua producida se usa para desalinizar el agua utilizando un intercambiador de presión para transferir la presión del agua producida a un agua salina.
- 45 7. Un sistema para almacenar y producir energía y desalinizar agua, que comprende:
- medios para bombear agua en un pozo (41) a una presión mayor que la presión de fracturación y en una
fractura hidráulica (46) en una formación de roca alrededor del pozo (41);
50 medios para reducir la presión en el pozo (41) antes de la fuga del agua de la fractura hidráulica (46), para producir una porción del agua en el pozo (41) como agua producida;
y válvula (63, 64, 65) medios para suministrar una primera porción del agua producida a un generador de energía eléctrica y suministrar una segunda porción del agua producida a una instalación de desalinización de
agua.
- 55 8. Un sistema de almacenamiento y desalinización de energía según la reivindicación 7, donde la instalación de desalinización de agua es una unidad de ósmosis inversa (66) que incorpora una membrana semipermeable (67), y el sistema incorpora un intercambiador de presión dispuesto de tal manera que la presión de la segunda porción del agua producida se intercambia con agua salina a ser desalinizada.
- 60

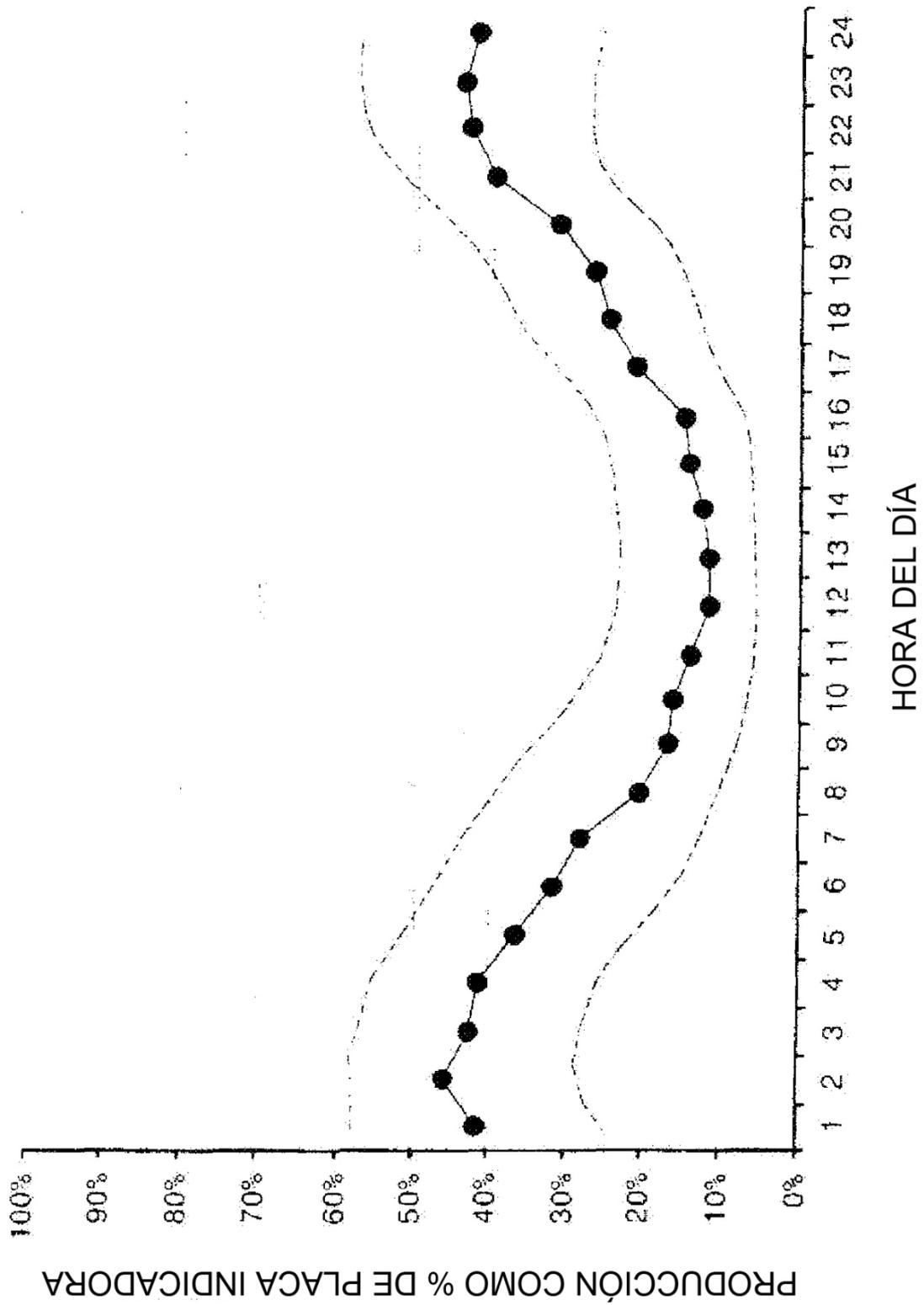


FIG. 1

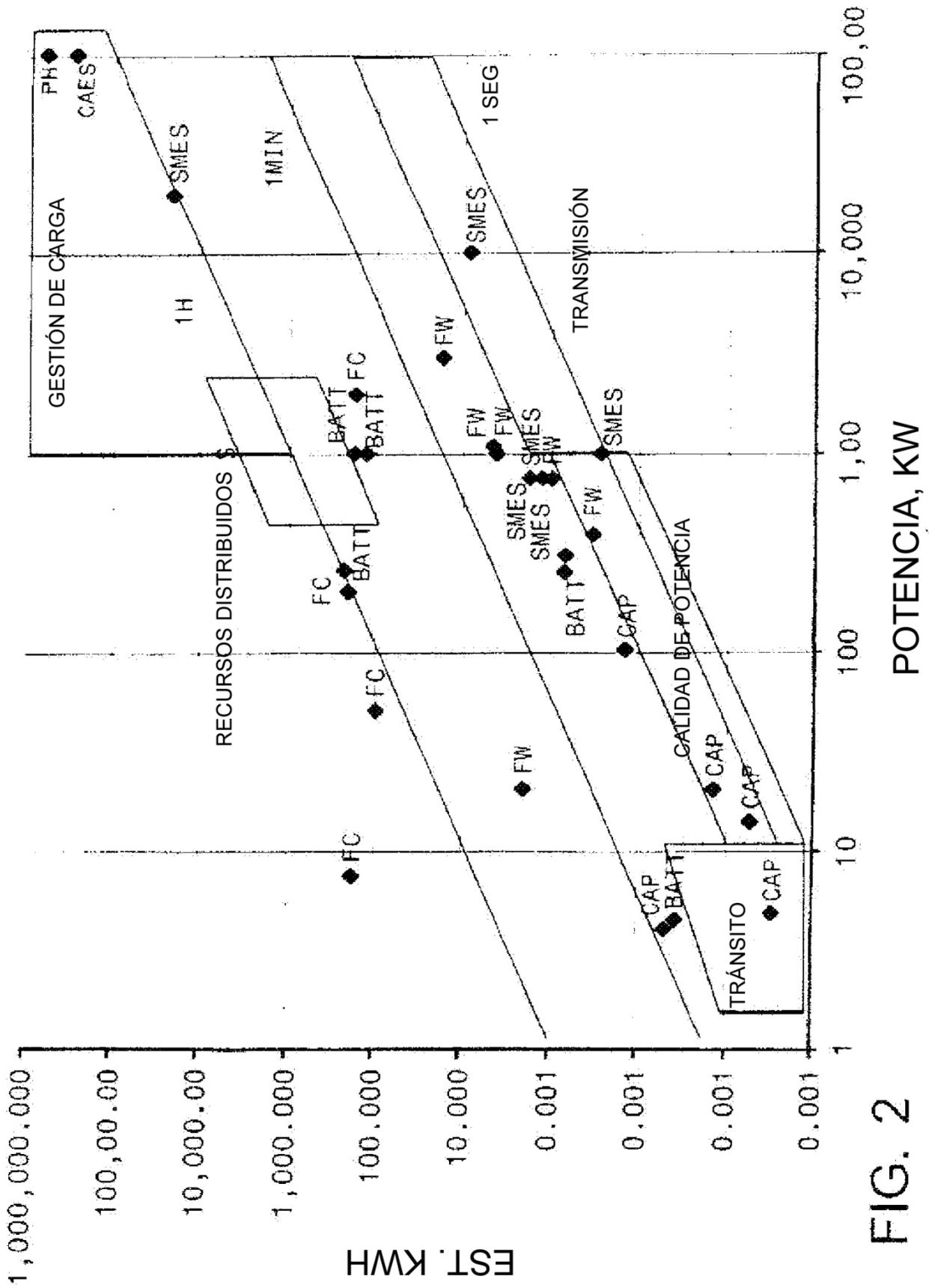


FIG. 2

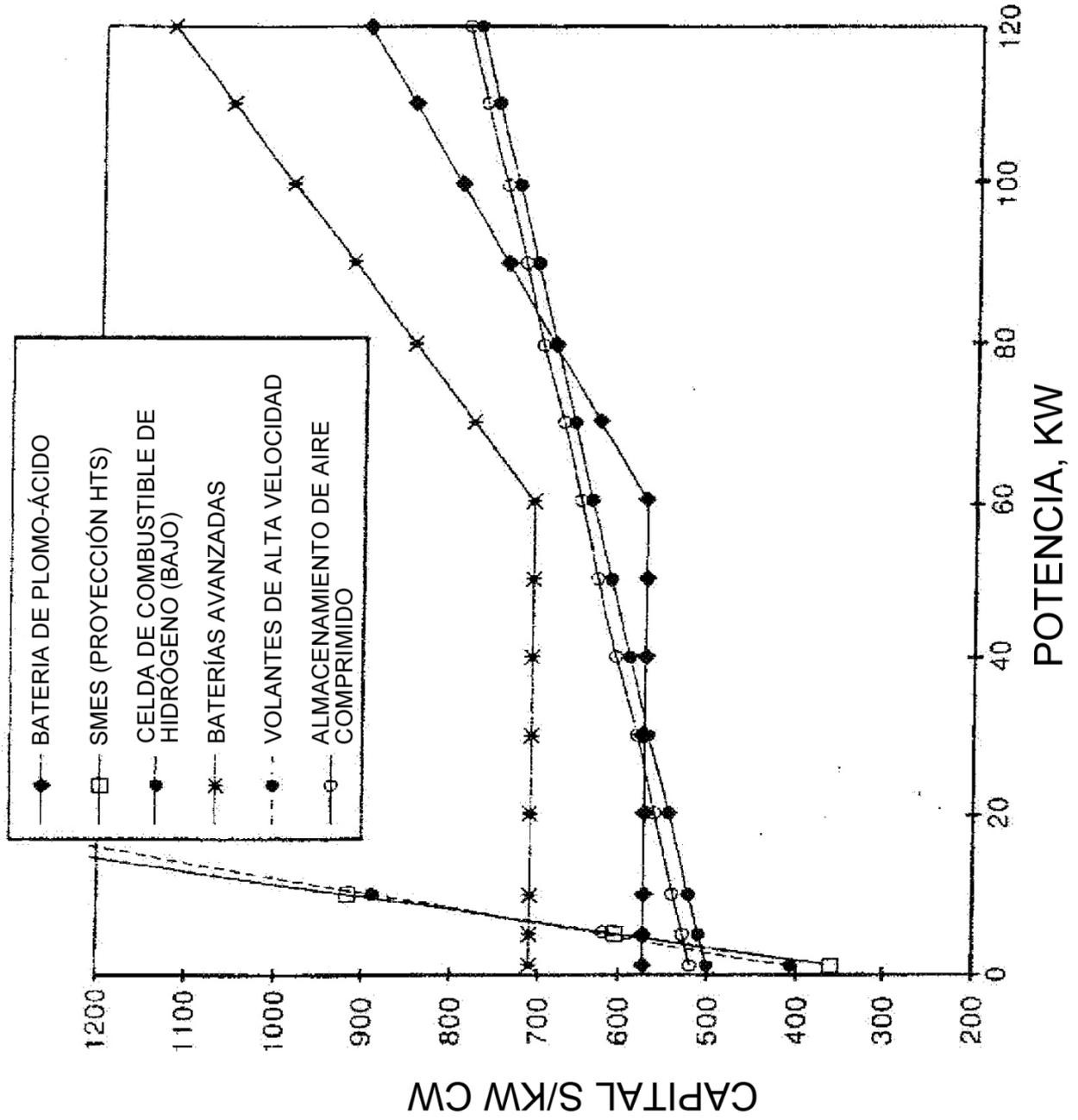
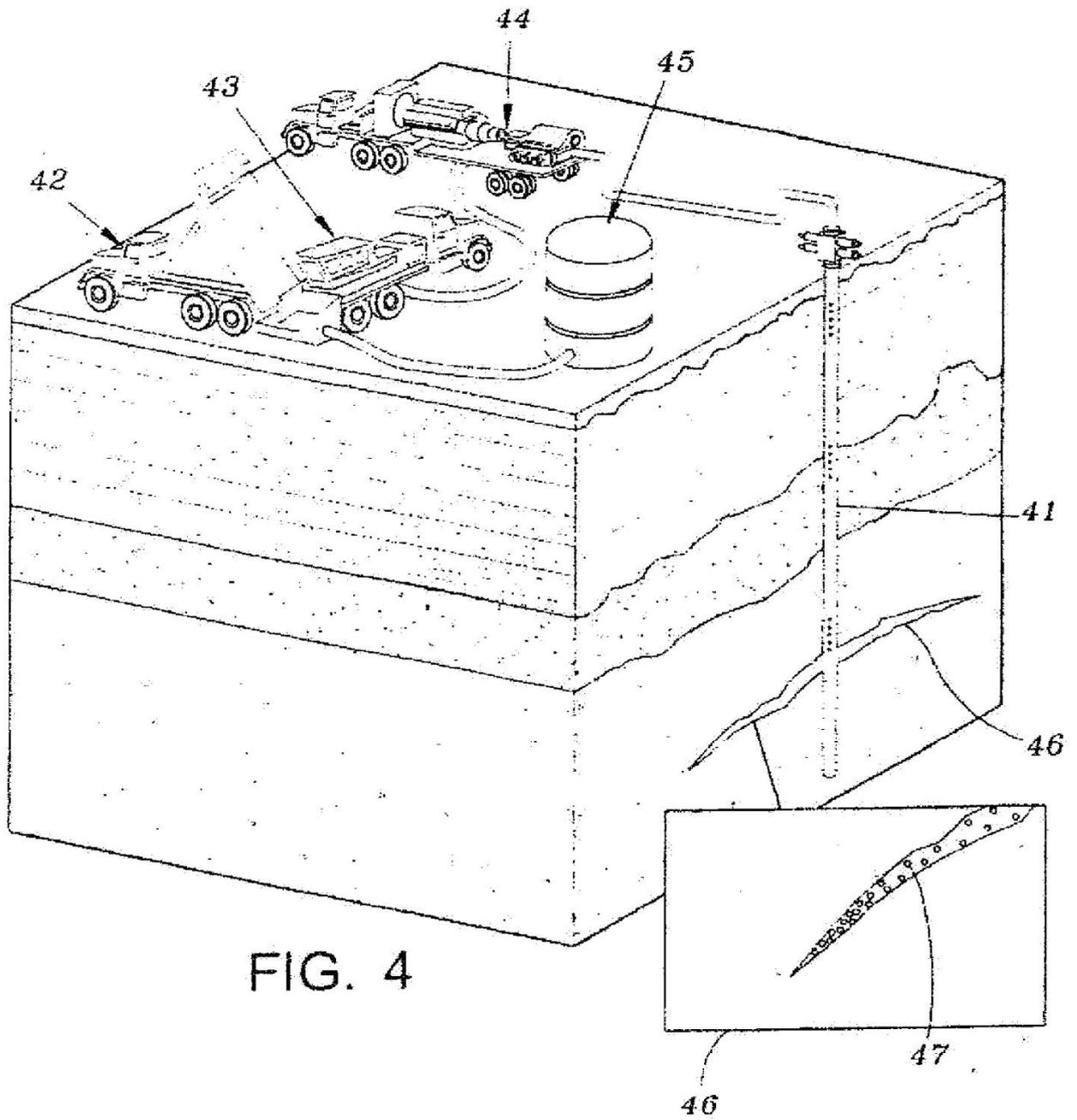


FIG. 3



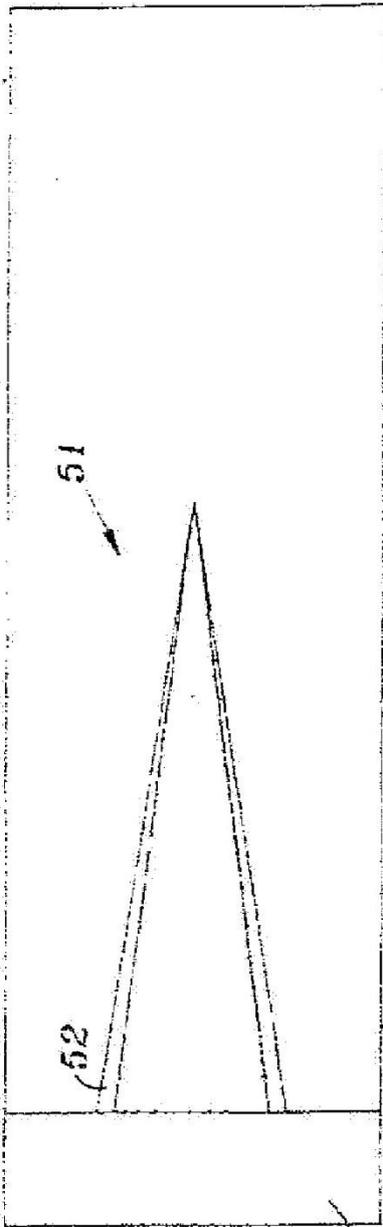


FIG. 5A

50

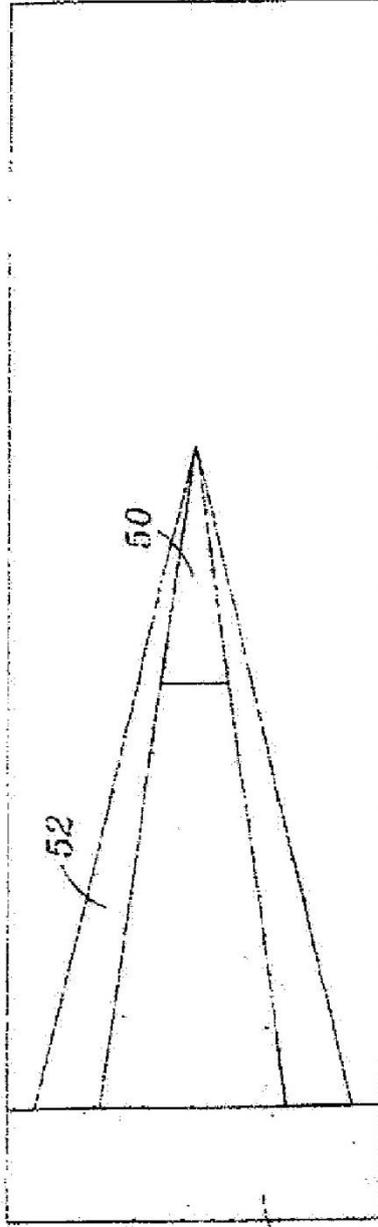


FIG. 5B

54

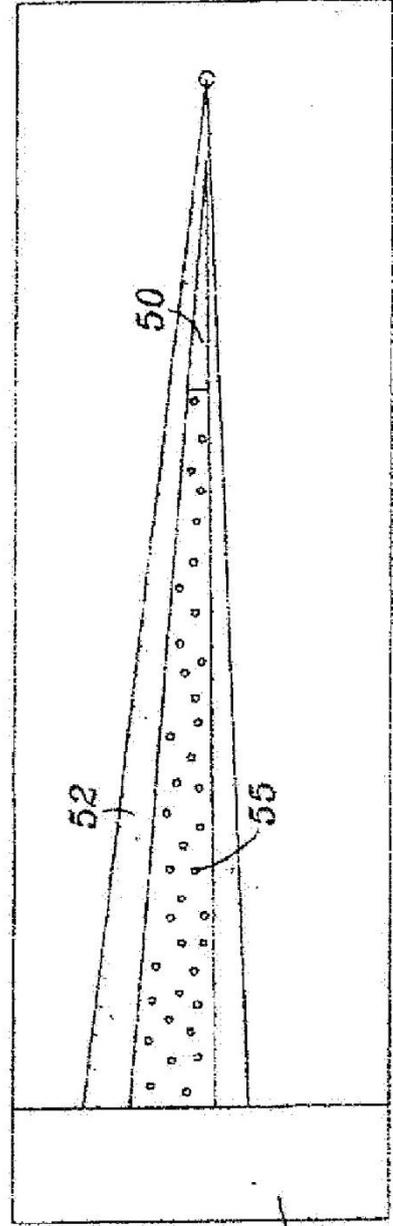


FIG. 5C

54

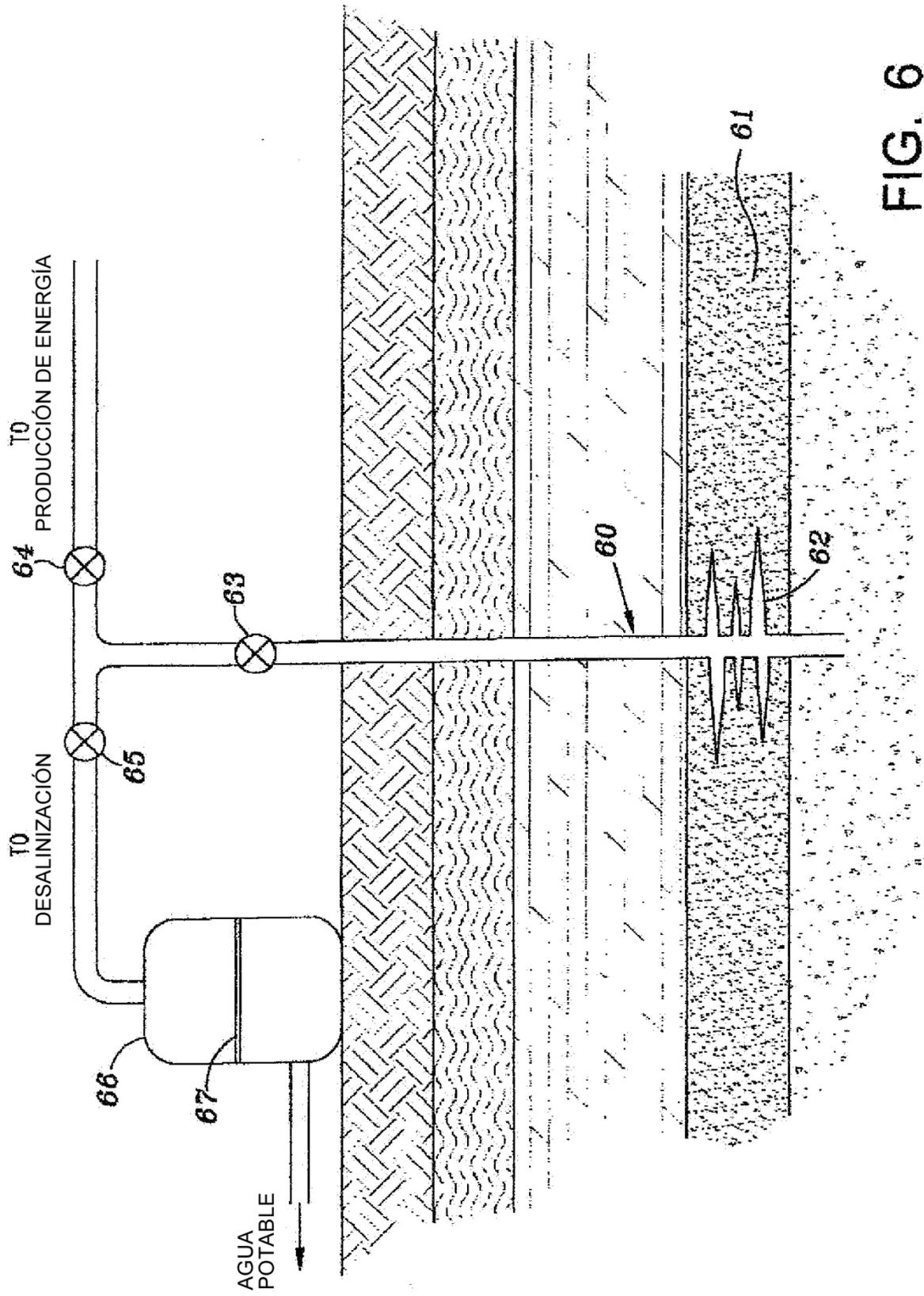


FIG. 6