



304163

P A T E N T E
D E
I N V E N C I O N

por "PROCEDIMIENTO DE ALMACENAR GAS EN CAVERNAS SUBTERRÁNEAS EN RELACIÓN CON SU DISTRIBUCIÓN", a favor de DON WILLIAN ROGER CONNOLE, DON JAMES OWEN WATTS, Jr, DON JAMES MEREDITH PATTEN y DON NEIL ROBINSON (sin nombre intermedio), respectivamente domiciliados en, "1815 H Street, N. W., Washington, D.C.", "925, Church Street, Lynchburg, Virginia", "1815, H Street, N.W. Washington, D.C." y "Union Building, Charleston, West Virginia".- Estados Unidos de América, todos ellos de nacionalidad estadounidense.



MEMORIA DESCRIPTIVA

Esta solicitud se refiere a métodos para almacenar gas en cavernas subterráneas y a estructuras para tales cavernas.

5 La invención considera el almacenamiento económico de gas de tubería durante períodos de menos uso en cavernas formadas en estratos de roca, competentes, excavando un conducto de diámetro interior grande utilizando maquinaria de minería de grandes cargas, obturando el conducto en una forma nueva, y preferiblemente revistiendo la caverna con una
10 membrana impermeable. El gas almacenado es, preferiblemente, refrigerado y la refrigeración, también, es empleada preferiblemente para asegurar el sellado de las fisuras de las paredes de la caverna, por hielo, y para formar y mantener la membrana de revestimiento, también de hielo.

304163



Los Antecedentes de la Industria

La necesidad de almacenamiento en grandes cantidades, de gas natural, surge por motivo de la economía en los negocios de transmisión y distribución del gas natural. El gas natural es producido, en general, en áreas distantes de las áreas donde este es principalmente usado. Estas áreas productoras están conectadas con las áreas de distribución por tuberías de gas natural, de alta presión, de diámetro grande, cuyos propietarios compran gas de productores y lo venden a distribuidores. El tamaño y costos fijados de una tubería de gas natural son determinados por la máxima demanda diaria que se requiere que la tubería satisfaga. Esta máxima demanda diaria es establecida mayormente por el número de clientes de calefacción servidos directa o indirectamente por la tubería y las temperaturas experimentadas en los días más fríos. En vista de que las tuberías son diseñadas para que satisfagan las demandas de los días de más uso de, sus clientes, es obvio que, a menos que grandes volúmenes de gas puedan ser vendidos durante otros períodos que no sean los de días de uso máximo, o almacenados para ser usados durante los tiempos de uso máximo de estación, habrá una capacidad libre y sustancial en la tubería. Por este motivo los propietarios de tuberías y distribuidores son forzados a vender gas de períodos de menos uso en una base interrumpible, a precios sustancialmente menores que aquellos



a los cuales el gas es vendido para la calefacción y uso industrial de firmas. Debido a recientes aumentos en los precios del gas en el campo, a los aumentados costos de producción y labor y a los precios reducidos de los combustibles competidores, un suministro interrumpible de gas se está haciendo difícil de vender en algunas áreas y, en otras, no puede ser vendido en gran volumen a precios que compitan con otros combustibles.

Para proporcionar un retorno parcial de costos fijados a pesar de los volúmenes vendidos, las tarifas de las tuberías generalmente son establecidas en una llamada base de demanda y mercancía, en la mayoría de los casos. El cargo por la demanda está relacionado con aquella porción de una capacidad de tubería que un distribuidor tiene derecho a recibir en cualquier día dado, y no varía de mes a mes. El cargo por la mercancía es basado en los volúmenes de gas que realmente son entregados. Por lo tanto, se desprende que, a menos que un distribuidor pueda vender gas de períodos de menos uso o almacenarlos para usarlos durante períodos de uso máximo, su costo promedio para el gas entregado en el verano es mucho más alto que en el invierno. Si un distribuidor puede reducir la cantidad de gas que este requiere en un día de uso máximo, suministrando gas de almacenamiento, este puede reducir su cargo por la demanda, por consiguiente, reduciendo sustancialmente su costo total de gas.



Almacenamiento de gas, a bajo costo, en gran volumen, cerca de los centros de distribución es, por consiguiente, de gran importancia tanto para los propietarios de las tuberías como las compañías de distribución. Una tubería que puede almacenar grandes volúmenes cerca de su centro de carga, puede suministrar las demandas de los períodos máximos de sus clientes con gas almacenado durante períodos de menos uso y ahorrar la construcción de capacidad de tubería costosa a los campos de producción, en tanto que un distribuidor puede comprar gas en el verano pagando solamente el cargo por la mercancía, almacenar tal gas hasta el invierno y venderlo a los precios de gas para calefacción. El satisfacer las necesidades máximas del invierno haciendo las entregas desde el almacenamiento, el distribuidor también puede reducir su máxima demanda del día de la tubería, por consiguiente, ahorrando grandes sumas en cargos por la demanda.

Para proporcionar este almacenamiento tan urgentemente necesitado, un número de sistemas han sido probados. Quizás, el usado más extensamente es la reinyección de gas natural en los campos de gas o petróleo, agotados, o en ciertos tipos de formaciones subterráneas, naturales, para la entrega en los días de uso o demanda máxima. Las principales desventajas de este sistema son la falta de campos agotados y formaciones cerca de los centros del mercado, la dificultad



189

y gasto de definir con precisión y perforar estos campos y la alta relación del llamado "gas amortiguador o de cojín" (el cual debe permanecer en la formación) a la capacidad de almacenamiento útil de la formación.

5 Propano y otros hidrocarburos líquidos o fácilmente licuados (conocidos como L.P.G.) han sido almacenados tanto encima como debajo del terreno para ser usados en períodos de máximo uso, pero ambos métodos son mucho más caros que el proceso descrito en la presente. En adición, a causa de diferencias en la gravedad específica, el contenido de B.T.O. y otras características, hay un límite definido para la proporción de propano que puede ser mezclado con gas natural de tubería corriente, sin que ocurran problemas de utilización.

10 Los métodos de almacenamiento y construcción usados para estructuras de cavernas, utilizados hasta el presente, para el almacenamiento subterráneo del llamado L.P.G. son específicamente diferentes de los métodos de almacenamiento y construcción de la presente invención, como, por supuesto, la composición física y química del gas almacenado.

15 Estas diferencias incluyen un método más caro de excavación, condiciones de almacenamiento de temperatura mucho más alta y presión más baja, a ausencia de revestimiento de las cavernas estancos al gas, y densidades promedios más altas y pesos moleculares del gas almacenado.

20 El método de excavación empleado hasta el presente



para la construcción de cavernas de L.P.G. es de un costo considerable, en vista de que este comprende introducir el equipo de minería y excavar la roca a través de un barreno vertical. El mayor de estos, en el presente, es de alrededor de un 1.32 metro de diámetro. Sin embargo, puede ser
5 utilizado económicamente para el almacenamiento de L.P.G., con motivo del valor de calefacción relativamente alto de aquella mercancía almacenada comparada con su volumen. Sin embargo, gas natural de tubería, generalmente llamado gas
10 "seco", es mucho menos tenso y la utilización de tales métodos para construir cavernas del volumen requerido para el almacenamiento de cantidades económicamente valiosas de gas "seco" sería prohibitiva desde el punto de vista del costo. Estas desventajas y dificultades son vencidas por los métodos
15 y estructuras de nuestra invención que producen, a costos económicamente factibles, cavernas impermeables al gas que son capaces de almacenar grandes volúmenes de gas de composición de tubería, convencional.

Otro método conocido de almacenamiento de gas, y
20 otro que está siendo extensamente desarrollado en el presente momento, es el llamado método de gas natural licuado o L.N.G. Este método comprende reducir la temperatura del gas hasta que este se licúa a presiones atmosféricas, lo cual requiere refrigeración a alrededor de menos de 162°C.
25 El proceso de la presente invención logra un comparable au-



1858

mento en la densidad a un costo significativamente menor, porque el almacenamiento bajo presiones contenidas y económicamente logradas, permite que la temperatura de operación permanezca muchos puntos de grados más alta. Es eliminando la necesidad de la superrefrigeración, que se hacen grandes ahorros, en vista de que el costo de enfriar un producto en una cantidad fija sube pronunciadamente según la temperatura final es descendida.

Otra ventaja del sistema de la presente invención, cuando se le compara con L.N.G., es que se necesita significativamente menos equipo de extracción. El gas usualmente está por encima de la presión a la cual este será reinyectado y está mucho más cerca de la temperatura de inyección. Un resultado de esto es la habilidad de una cantidad dada de equipo de regasificación para satisfacer grandes "máximos de aguja" o emergencias.

Otra ventaja del sistema de la presente invención, comparado con L.N.G., es que no se requiere equipo de bombeo dentro de la caverna, para llevar el fluido almacenado a la superficie.

De acuerdo con la presente invención, está provisto un método para distribuir gas, particularmente gas natural, a través de un sistema de conducto que comprende, canalizar, por lo menos, una porción de dicho gas en una caverna subterránea, preacondicionada, teniendo paredes de roca competentes cubiertas con un material de sellado deformable,

304204



por presión que mantiene el gas en dicha caverna a una temperatura baja, predeterminada, y presión elevada, para asegurar el uso óptimo de dicha caverna como un lugar de almacenamiento, y periódicamente extraer gas de la misma para
5 satisfacer las demandas de la distribución.

La invención también proporciona un método para preparar y acondicionar una caverna para almacenar y distribuir gas, particularmente gas natural, el cual comprende abrir un conducto de acceso de un diámetro interior ancho a
10 un estrato de roca competente, seleccionado para proporcionar una caverna que tenga una montera suficientemente pesada para contener gas almacenado bajo presión, excavar dicha roca para formar una caverna, y bloquear dicho conducto de acceso con un tapón u obturador enchavetado a la pared de conducto
15 adyacente a la entrada de la caverna, en una manera en que contenga con seguridad la presión de almacenamiento contemplada.

La Presente Invención

Nosotros nos proponemos almacenar gas en cavernas
20 subterráneas excavadas en formaciones de roca, competentes, a combinaciones controladas de presión elevada y temperaturas reducidas que permitan que el material almacenado se aproveche de la ventaja de los aumentos en la densidad de los factores de supercomprensibilidad disponibles a tales
25 presiones y temperaturas. La más económica y particular



combinación de temperaturas y presiones variará dependiendo del tamaño de la caverna, costos de excavación, y los costos de compresión y refrigeración en un sitio dado. Una combinación ejemplar de temperatura y presión adecuadas para una caverna en una formación de roca verde de las montañas de Virginia Central sería del orden de -73°C. a -129°C. y de 21 a 63 kilogramos por centímetro cuadrado de presión.

Se ha sabido por algún tiempo que el gas pudiera ser almacenado en condiciones variantes y cuál sería la densidad apropiada para cada una de estas condiciones. Lo que no se ha apreciado hasta el presente, es cómo combinar factores para permitir un almacenamiento económico. La presente invención, utilizando un nuevo método para construir cavernas para gas natural, reduce el costo de excavación por un margen decisivo en comparación con métodos conocidos en el presente. El nuevo método de excavación es el de usar un equipo de minería grande y sistemas de transportación de gran capacidad. Esto, a la vez, requiere un pasadizo mucho mayor a la caverna para el cual se ha diseñado un nuevo obturador capaz de soportar una fuerza de presión presumida de más de 16,250 toneladas métricas.

Se cree que, dentro de la distancia económica de la mayoría de los centros de consumo de gas presentes y potenciales, de los Estados Unidos de Norteamérica y en países extranjeros, existen formaciones de roca que serán adecuadas

304163



para usar el proceso. Se pueden construir cavernas en formaciones de piedra verde, granito, neis de granito, ciertas pizarras, ciertos tipos de piedra caliza y piedra arenisca y otros tipos adecuados de roca.

5 Para un uso óptimo, las cavernas debieran estar situadas tan cerca del centro de consumo como sea posible. Sin embargo, las economías de escala en la construcción y operación de estas cavernas son grandes, entretanto que el valor de la caverna disminuye solo ligeramente si esta está
10 unas pocas millas más allá del centro de consumo. Por consiguiente, puede que resulte acertado construir una caverna grande equidistante de varios centros y adyacente a una tubería o conducto de transmisión de gas o una formación de roca más adecuada.

15 Los métodos de construcción y utilización de una caverna de la forma preferida de la invención serán ahora descritos conjuntamente con la estructura resultante de los mismos y ciertas variaciones de ellos en relación con los dibujos adjuntos en los cuales:

20 La Figura 1 es una sección vertical, esquemática, a través de una caverna construída de acuerdo con el método de la invención usando un declive después de terminar la excavación y antes de la obturación o revestimiento;

25 La Figura 2 es una sección similar a través de la caverna de la Figura 1, después de la obturación e inundación



en un método variante de sellado;

La Figura 3 es una sección similar a través de la caverna de la Figura 1, después de la obturación y revestimiento en la forma preferida;

5 La Figura 4 es una sección vertical, esquemática, a través de una caverna construída de acuerdo con el método usando un socavón antes de la obturación;

La Figura 5 es una sección similar a través de una caverna construída de acuerdo con la invención usando un pozo;

10 La Figura 6 es una sección vertical en una escala aumentada a través de una porción de pared y techo de la caverna de la Figura 3;

La Figura 7 es una sección vertical, en una escala aumentada, a través de la porción obturadora de la Figura 2 y 3;

La Figura 8 es una sección en la línea 8-8 de la Figura 7;

La Figura 9 es una sección horizontal, esquemática, a través de cualquiera de las cavernas de las Figuras 1 a la 5;

La Figura 10 es una sección vertical a través de una caverna parcialmente construída, hecha en una forma alterna;

25 La Figura 11 es una sección en la línea 11-11 de la



Figura 10;

La Figura 12 es una sección en la línea 12-12 de la Figura 10;

La Figura 13 muestra una sección vertical, a través
5 de una caverna parcialmente construída, hecha en otra forma alterna;

La Figura 14 es una sección de la Figura 13 tomada en la línea 14-14;

La Figura 15 muestra un nuevo sistema de entubado
10 diseñado para selectivamente extraer gas, del deseado contenido de calor, de las cavernas;

La Figura 16 es un diagrama de presión y temperatura de gas natural, mostrando el envolvente bifásico donde ocurre tanto la fase líquida como la de gas;

La Figura 17 es un gráfico de densidad y presión
15 que muestra la densidad aproximada de un gas natural de tubería a presiones y temperaturas seleccionadas.

CONSTRUCCION

a. Excavación

20 Después de seleccionar preliminarmente un sitio que se considere adecuado, este es taladrado hasta, por lo menos, la profundidad del fondo de la caverna, para determinar si los estratos de roca son adecuados para ser usados en el nuevo proceso. La caverna está situada a una profundidad,
25 en los estratos particulares, que es segura para el almacena-



miento de gas bajo las máximas presiones de operación contempladas, por ejemplo, para que el peso de la montera exceda el empuje hacia arriba a la máxima presión de operación. Por supuesto, formaciones fuertes permitirán que la caverna este más cerca de la superficie. Esto relativamente no tiene importancia, en vista de que el nuevo método de construcción impone una penalidad de costo muy pequeña al poner la caverna más profunda.

Una característica inherente de esta caverna es el medio de paso o conducto, o acceso. Dependiendo de la profundidad de la caverna por debajo de la superficie y sobre la topografía del sitio, el acceso a la caverna será a través de un declive 20 (un túnel en un ángulo a la superficie de la tierra), ilustrado en la Figura 1, socavón 21 (un túnel aproximadamente horizontal a la superficie de la tierra), ilustrado en la Figura 4, o un pozo 22 (un hueco vertical), ilustrado en la Figura 5. Este medio de acceso será de suficiente tamaño para la introducción en la caverna de equipo de minería de roca de un tamaño grande, convencional, y contendrá sistemas 23 de transportación continuos de rosario de cangilones o correa, de gran capacidad, relativamente grandes, o montacargas de cangilones 24 para que grandes volúmenes de material puedan ser sacados rápidamente de la caverna. Un socavón o declive puede ser recto, o puede ser curvado o escalonado, para adaptarse a las dimensiones u otros requisitos



físicos del sitio. Un pozo es general y directamente vertical.

Anteriormente, este método de excavación, a través de un paso de acceso de un gran diámetro interior, ha sido
5 usado en minería de extracción de carbón y minerales, no en la construcción de cavernas de almacenamiento. Las minas de carbón en los Estados Unidos han sido excavadas hasta 19.81 metros verticalmente en profundidad, usando un declive, y algunas minas en Australia han bajado hasta 609.60 metros de
10 profundidad, también usando un declive. Sin embargo, el aparente costo y problema de sellar el gran acceso aparentemente ha ocasionado que la resultante economía de mecanización no se obtenga en la excavación de una caverna de almacenamiento. Otra ventaja encontrada en la presente invención,
15 es que el barrenado encima de la caverna puede ser utilizado ventajosamente para el almacenamiento de L.P.G. como está mostrado en la Figura 3.

La caverna será excavada en un método convencional de bloque o cámaras y pilares como está ejemplificado por el plano en la Figura 9 con la altura, longitud
20 y ancho de las cámaras y la forma de la caverna siendo determinadas por el volumen de gas que se desea almacenar, las características de la formación y la excavación. El espacio entre los pilares 25 será gobernado por la longitud del palmo que una roca particular puede - -



sostener sin astillarse. La caverna será construída en tal forma como para reducir al mínimo el área de pared exterior, a fin de reducir al mínimo el aflujo de calor a través de las paredes de la caverna. La forma regular mostrada en la Figura 9 también puede ser variada para permitir un uso más eficiente del equipo de minería o laboreo, durante la excavación.

Una caverna, de acuerdo con la invención, puede ser formada por técnicas convencionales de voladura y excavación. Sin embargo, puede que sea preferible excavar por el método de desdoblamiento o corte previo el cual da una pared mucho más lisa y, por consiguiente, una superficie más fácil para formar en la misma la estructura reticular o celosía y membranas de sellado, como se explicará en lo adelante.

El desdoblamiento o corte previo consiste en perforar o taladrar pequeños huecos a intervalos regulares, a lo largo del borde del área que vaya a ser excavada, y obturar los huecos con justamente la suficiente dinamita para hacer, cuando esta sea detonada, que se forme una grieta entre los huecos adyacentes. Hasta el presente, el método ha sido usado en este país solamente para excavar desde la superficie.

La forma en que se ha planeado adaptar este método para la excavación de las cavernas está mostrado en las Fi-



guras 10 a la 14. Dos variantes están mostradas; las Figuras 10 a la 12, ilustrando la construcción en la que se usa la galería inclinada o declive 20, mientras que en las Figuras 13 y 14 se usa un pozo 22 circular.

5 El paso esencial aquí es laborear, por medios convencionales, una capa 26 superior. Esta capa, de alrededor de 3.04 metros de alto, estará al exacto plano del piso, incluyendo los pilares 25, excepto que todas las medidas se traslaparán alrededor de 15.24 centímetros, 27. Esto permite que la máquina perforadora o taladradora tope contra la pared y perfora o taladre los huecos requeridos para el desdoblamiento o corte preliminar.

10 El acceso a la capa superior es directamente fuera del pozo 22 cuando se usa ese método. Cuando se usa una galería inclinada 20 o socavón 21, sin embargo, una segunda galería inclinada 28 desde el socavón principal a la tapa superior tendrá que ser construída, en vista de que la principal galería inclinada debe terminar en el fondo de la caverna en un sumidero o colector.

15 Como se prefiere que la caverna tenga una altura de alrededor de 21.34 metros, en adición a la capa superior, la caverna será excavada desdoblando o cortando preliminarmente dos capas 29 y 30.

20 El material excavado es vertido en transportadores o cangilones a través de pozos vertederos 31, convencionales.

18 SEP 1954

En la caverna construída con galerías inclinadas, el material excavado de la capa superior caerá a través de dos pozos vertederos los cuales, por supuesto, debieran estar alineados verticalmente.

5 b. Obturación

A continuación, el método de acceso será sellado por medio de un obturador 32, diseñado generalmente, de concreto y acero reforzado.

10 La Figura 7 muestra el obturador en corte y muestra tra las ranuras 33 que han sido cortadas en el pasadizo para recibir el obturador. Estas ranuras tienen una profundidad de aproximadamente 0.3048 de metro y 1.21 metro de ancho yendo completamente alrededor del paso o conducto. En el medio se encuentran secciones intermedias de igual longitud.

15 Los cálculos han demostrado que un obturador de aproximadamente 30.48 metros de longitud será suficiente para resistir la presión presumida. En tal obturador, entonces habrán formadas aproximadamente 12 de estas ranuras concéntricas. Como está

20 mostrado en las Figuras 6, 7 y 8, barras 34 de acero forman la celosía o retículos de refuerzo que están separados aproximadamente cada 0.61 de metro en el obturador de 30.48 metros.

25 Acceso a y desde la caverna para el gas, equipo y personal, es mantenido por una tubería o tuberías 35 alrededor de las cuales es formado el obturador. Después de ter-

304.10



minar el obturador, el socavón, la galería inclinada o pozo pueden ser utilizados para el almacenamiento de L.P.G., L.N.G. u otros líquidos.

c. Sellado

5 Como el próximo paso en la construcción de la caverna, el interior será cuidadosamente limpiado e inspeccionado, toda la roca suelta extraída y cualesquieras aparentes fisuras en lechadas, si se considerase necesario. El interior de la caverna puede ser revestido con una malla de re-
10 fuerzo, de varillas 36 de acero o de fibras de vidrio de aproximadamente 10.16 centímetros desde la superficie interior de la caverna, e inicialmente sostenido en posición por cualquier medio conveniente.

 El interior primero es preferiblemente enfriado por
15 la introducción, a través de las tuberías 35, de aire, dióxido de carbono, nitrógeno, oxígeno u otro medio de enfriamiento refrigerado por medios 37 convencionales. El interior es enfriado por un período de tiempo suficiente para permitir que toda el agua de la superficie en la formación o en sus
20 fisuras o grietas, si hubiese alguna, sean congeladas y la roca sea enfriada hasta un grado suficiente y a suficiente profundidad, para permitir el mantenimiento de bajas temperaturas durante la formación de un sello de hielo.

 Si no se encuentra presente suficiente agua del terreno para asegurar que todas las fisuras y grietas estén lle-
25



nas, se puede emplear el método mostrado en la Figura 2. La caverna es llenada con agua 38 bajo suficiente carga hidrostática para permear muy bien la roca. El agua es entonces traída y la caverna es enfriada con suficiente rapidez para
5 congelar y aprisionar el agua en la roca 39 circundante.

Despues de enfriar la caverna, un sello 40 de acielte será formado aplicando agua sobre las paredes enfriadas. Esto forma, en efecto, una capa de hielo impermeable al gas almacenado y si la malla 36 es usada, esta capa será reforzada.
10 da. El propósito de la capa de hielo persigue tres fines: primero, sellar la caverna contra la migración de gas a través de cualesquieras fisuras o grietas que puedan existir en la formación de roca en la cual la caverna está situada; segundo, utilizar las propiedades plásticas del hielo para sellar cualesquierasfisuras o grietas que puedan existir o que
15 se puedan formar como resultado de ligeros movimientos en la formación durante la duración de la caverna, y para evitar la propagación de nuevas fisuras o grietas que se puedan formar durante el proceso de enfriamiento o después del mismo; y,
20 tercero, proporcionar un protector estructural, homogéneo, que se adherirá a la roca a bajas temperaturas. En vista de que la resistencia a la tracción del hielo es sustancialmente aumentada tanto por las bajas temperaturas como por el refuerzo, el nuevo protector de hielo evitará que la roca se
25 caiga o se astille. Si se desease, un revestimiento 41 imper-



meable al agua (Figura 6) puede ser aplicado a la superficie del hielo .

En el caso de que el gas a ser almacenado y el hielo sean químicamente reactivos, puede que sea necesario re-
5 vestir toda la superficie de la pared con un revestimiento
41 protector impermeable al agua.

d. Operación

Después de terminar el sello, las cavernas serán gradualmente llenadas con gas natural el cual ha sido enfria-
10 do y presionizado en o cerca de la superficie por el medio
37 e introducido a través de tuberías en el entubado 35 an-
teriormente descrito.

Tanto inicialmente como después de esto, la caverna será llenada gradualmente por aproximadamente 210 en la pri-
15 mavera, verano y otoño. Para conservar el sello, será esencial mantener la temperatura, aún cuando la caverna esté sus-
tancialmente vacía al principio de la primavera, bien por de-
bajo de 0°C. Como el calor circulará a través de las pare-
des al gas, este último tendrá que ser mantenido suficiente-
20 mente frío recirculándolo, sobreenfriándolo o por otro medio.

Este problema no continuará siendo tan significativo, en vista de que los cálculos han mostrado que la pérdida de calor, inicialmente grande, declinará asintóticamente a un ni-
vel mucho menor según pasa el tiempo. Similarmente la zona
25 39 de congelación progresará hacia afuera con el tiempo, lo



que da dos importantes beneficios adicionales. La resistencia de la estructura de roca aumentará con la temperatura decreciente y cualquier agua del terreno aprisionada se congelará, sellando adicionalmente la caverna en caso de daño
5 interno.

La temperatura presumida, medida, y presión presumida, exactas, de cada caverna, serán gobernadas principalmente por la economía de un sitio particular, en vista de que, por ejemplo, una caverna mayor permitirá un presión inferior, o
10 una temperatura inferior permitirá una caverna pequeña. Teniendo estos hechos en mente, el sistema de la invención, en general, es el de seleccionar una particular temperatura presumida o de operación y mantener aproximadamente esa temperatura durante todo el ciclo de llenado y descarga de la caverna
15 entretanto que se varía la presión.

Las cavernas construídas y operadas de acuerdo con esta explicación también pueden utilizar una invención anterior de método de almacenamiento descrita en la Solicitud de Patente Serie No. 297,522 presentada en los Estados Unidos
20 de Norteamérica en Julio 25 de 1963.

Esto es porque, como está mostrado en la Figura 17, aumentos adicionales y apreciables ocurren en la densidad encima del punto de ebullición y a temperaturas más bajas. El punto de ebullición está indicado en la cada línea de temperatura constante por la anotación de B.P.
25



10 SEP

La caverna necesariamente no permanecerá a la misma presión y temperatura cada año. Esto es porque puede ser anticipado que la capacidad demandada en un sitio particular aumentará según pasan los años. A causa de la intercambia-
5 bilidad de refrigeración y tamaño la capacidad puede ser aumentada más económicamente añadiendo refrigeración en vez de aumentando la caverna.

Refiriéndonos a la Figura 16, el eje horizontal representa la temperatura, desde alrededor de menos de 162°C .
10 a la izquierda a 38°C . en la derecha. El eje vertical representa presión, desde la presión atmosférica a 453.59 kilogramos.

Las líneas A, B y C encierran la región bifásica de gas natural y, a menudo, es llamada la línea del punto de
15 ebullición de condensación. El punto D representa la temperatura y presión aproximadas conque es recibido el gas de tubería para almacenamiento, a saber, varios cientos de kilogramos de presión y alrededor de 16°C .

La línea de puntos E, F, muestra una fluctuación
20 de operación, representativa, (-94°C .) para la caverna. Como se puede ver por la Figura 17, el gas natural, almacenado, fluctuará de alrededor de 24 gramos por litro, cuando esté a la capacidad mínima, a alrededor de 309.6 gramos por litro cuando esté a la presión de 40.25 kilogramos por centímetro
25 cuadrado.



El gas entra en la caverna después de pasar a través del equipo de compresión de refrigeración mostrado esquemáticamente en el 37, en las Figuras 1 y la 3. Este equipo regula la temperatura y la presión del gas inyectado, para que el gas dentro de la caverna sea mantenido sustancialmente a la misma temperatura, entretanto que la presión es gradualmente aumentada.

Entretanto que la Figura 17 muestra la operación a una temperatura constante y presión variante, en la práctica real, la temperatura puede variar algo, debido a las limitaciones del equipo, variaciones de la estación y para aprovecharse de la reducción de la temperatura según el gas es extraído de la caverna y la presión, consiguientemente, se reduce.

Cualquier tipo de equipo convencional de refrigeración y compresión será adecuado para usarlo con la caverna. En el presente se están usando para este tipo de trabajo máquinas del ciclo de freonetileno o cascada de nitrógeno. Ahora se están desarrollando máquinas que usan turboexpansores para aprovecharse de la presión de entrada del gas. Estas últimas máquinas lucen en el presente ofrecer considerables ventajas económicas cuando se adaptan al proceso de la invención. Según más y más gas es introducido a la caverna, un creciente por ciento del gas en la caverna se convertirá en líquido. Según el gas en la caverna asciende por la línea desde la F a la E, se encontrará que se pueden lograr grandes



aumentos en el gas almacenado, por ligeros aumentos en la presión.

5 Durante la extracción, la presión del gas descenderá gradualmente a lo largo de la línea desde la E a la F. Esta gradual disminución en la presión, debido a los fenómenos anteriormente mencionados, además ayudará a desviar la afluen-
10 cia del calor y a mantener la caverna a una temperatura apropiada. En instalaciones donde alta presión en el gas reinyectado no es importante, como por ejemplo, en un sistema de distribución de baja presión, el descenso de la presión desde la presión de la caverna a la presión de reinyección puede ser utilizado en conexión con una etapa de expansión del trabajo. La energía producida por esta etapa sobreenfría el gas de la caverna y, en efecto, acumula un yacimiento de frío en la caverna para desviar la afluencia del calor en el resto del año.

15 El gas natural, cuando se haya en la región bifásica y a las bajas temperaturas contempladas para almacenamiento, es una mezcla extremadamente inestable y no homogénea. Entretanto que la presión por toda la caverna será uniforme
20 en cualquier instante, la composición del gas puede variar de punto a punto y de nivel a nivel. Sin embargo, para usar estas cavernas en conexión con la distribución de tubería regular, puede que sea necesario extraer un gas de determinada y aproximada densidad constante y composición.

25 Para lograr este resultado, ha sido diseñado el sis-



tema de extracción mostrado en la Figura 15. Esto comprende una serie de tuberías 50 que se extienden hacia dentro de la caverna y terminan en elevaciones predeterminadas. Similarmente, las mismas pueden estar situadas en varias partes diferentes de la caverna. Cada tubería irá independientemente a la superficie, bien directamente como está mostrado o a través del obturador 32. En la superficie, cada tubería será controlada por su propia válvula 51 operada automáticamente. Debajo de cada válvula, se halla un calorímetro 52 de registro continuo el cual mide el contenido de B.T.U. del gas en la tubería particular en ese momento.

La información obtenida de estos calorímetros es registrada en una máquina 53 que automáticamente varía la salida de cada una de las distintas tuberías para que su salida cuando sea mezclada produzca un gas del requerido contenido de B.T.U. en la principal 54.

Cuando la presión es liberada del gas en la caverna, las porciones pequeñas, pero más pesadas, de los hidrocarburos tenderán a evaporarse más lentamente que las porciones más ligeras. Este proceso, a menudo, es llamado destilación parcial. Por tanto, extrayendo solamente de la parte gaseosa de la caverna, es también posible extraer un gas continuamente más pobre que el que fué introducido. El efecto neto de esto será recolectar más y más de las porciones pesadas, etano, propano, etc., en el gas de residuo o de

18 SEP



cojín. La presencia de estos gases más pesados, en años futuros, permitirá un aumento adicional en la densidad del fluido almacenado a la misma temperatura y presión.

5 No es necesario suministrar ninguna bomba dentro de la caverna para llevar el fluido almacenado a la superficie. Esto es cierto bien si la caverna está cerca de su capacidad o sustancialmente vacía. La razón es que, según la caverna es llenada, tanto la presión como la densidad aumentarán, pero la presión, en cualquier punto, permanece suficientemente alta para expulsar por fuerza la fase más densa del fluido almacenado en ese punto. La ausencia de equipo mecánico inaccesible en la caverna, por supuesto, aumenta su confiabilidad a través de los años.

15 También será necesario calentar el gas en una planta de regasificación, después de sacarlo de la caverna, a temperaturas que se puedan usar en tuberías o sistemas de distribución. La operación a baja temperatura puede ocasionar una condensación selectiva dentro de la caverna para lo cual una pluralidad de tuberías de extracción, en niveles distintos, como se ha descrito con anterioridad, serán provistas para efectuar el control.

20 El uso del barrenado 20 para contener otros líquidos después que la caverna sea terminada está mostrado en la Figura 3. Como estos líquidos no estarán bajo presión, una simple cubierta 53 será suficiente. Otra tubería o entubado

18 SEP 1964



(que no está mostrado) será usado para llenar y vaciar el
barreno.



N O T A

Hecha la descripción del presente invento se ha-
ce constar que esta solicitud se acoge a la prioridad de
la solicitud de Patente estadounidense Serial nº 309.949,
depositada el 19 de Septiembre de 1963, y que se declaran
5 como nuevas y de propia invención las reivindicaciones si-
guientes:

1. Procedimiento de almacenar gas en cavernas sub-
terráneas en relación con su distribución, concerniendo
particularmente a gas natural, a través de un sistema de
10 conducto, c a r a c t e r i z a d o por canalizar, por
lo menos, una porción de dicho gas en una caverna sub-
terránea, preacondicionada, teniendo paredes de roca ade-
cuada cubiertas con un material de obturación, deforma-
ble por presión, manteniendo el gas en la precitada ca-
15 verna a una baja temperatura y elevada presión, predeter-
minadas, para asegurar el uso óptimo de la referida caver-
na como un lugar de almacenamiento y, periódicamente, ex-
traer gas de la misma para satisfacer las demandas de
distribución.

20 2. Procedimiento, según la reivindicación 1, c a -
r a c t e r i z a d o por el hecho de que el gas alimen-
tado a la caverna es condensado desde la fase gaseosa a
la fase líquida mediante al aumento gradual de la presión
por la introducción de cantidades adicionales de gas pa-
25 ra almacenamiento, manteniendo, mientras tanto, el expre-



sado gas a una temperatura uniforme.

3. Procedimiento, según las reivindicaciones 1 o 2, caracterizado por el hecho de que dicho gas es almacenado en la caverna en un estado bifásico conteniendo una fase líquida y una fase gaseosa, comprendiendo cada fase diferentes composiciones químicas, siendo efectuada dicha extracción simultaneando la retirada de gas desde varias capas diferentes, tomando muestras del gas retirado desde cada capa para conocer en contenido de calor, y mezclando selectivamente el gas extraído para producir un gas distribuible del deseado contenido de calor.

4. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por el hecho de que dicho material obturador deformable a presión contiene barras de refuerzo.

5. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por el hecho de que dicho material deformable por presión está completamente cubierto, en sus superficies expuestas, con un revestimiento impermeable al agua.

6. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque para preparar y acondicionar una caverna para la distribución de gas, se abre un paso de acceso de un gran diáme-



- tro interior hasta un estrato de roca adecuado seleccionado para proporcionar una caverna que tenga una sobrecarga suficientemente pesada para contener gas almacenado bajo presión, excavando dicha roca para formar una
- 5 caverna y bloqueando el referido paso de acceso con un tapón enchavetado a la pared del paso adyacente a la entrada de la caverna, de una manera que asegure el poder contener la presión de almacenaje considerada.
- 7.- Procedimiento, según la reivindicación 6, c a r a c t e r i z a d o porque el precitado tapón comprende hormigón reforzado con acero.
- 10 8. Procedimiento, según las reivindicaciones 6 o 7, c a r a c t e r i z a d o por el hecho de que el precitado tapón ajusta en acanaladuras previamente cortadas
- 15 en la pared de acceso por dicho paso, siendo tales acanaladuras normales al eje del expresado paso.
9. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, c a r a c t e r i z a d o por el hecho de que dicha caverna está formada por laboreo de una delgada capa superior y seguidamente resquebrajando previamente las superficies de pared restantes.
- 20 10. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, c a r a c t e r i z a d o por el hecho de que dicha caverna es preacondicionada para el
- 25 almacenamiento de gas congelado in situ el agua del terre-



no adyacente a las paredes de la caverna.

11. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por el hecho de que dicha caverna es preacondicionada para el almacenamiento de gas por la introducción de agua en la misma para permeabilizar las grietas o fisuras, y dicha agua es congelada en las paredes laterales.

12. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por el hecho de que la caverna es revestida con una membrana de cierre sustancialmente impermeable al gas almacenado.

13. Procedimiento, según las reivindicaciones 11 o 12, caracterizado por el hecho de que la membrana comprende hielo que constituye material deformable por presión.

14. Procedimiento de almacenar gas en cavernas subterráneas en relación con su distribución.

Según se describe y reivindica en la presente memoria que consta de treinta y una hojas foliadas y mecanografiadas por una sola cara y de tres láminas de dibujos.

Madrid, a 18 de Septiembre de 1964

WILLIAM ROGER CONNOLE
JAMES OWEN WATTS Jr.
JAMES MEREDITH PATTEN
NEIL ROBINSON

p. a.

JAIME ISERN

P. P.

304163

304163

304163

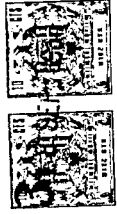


FIG. 1

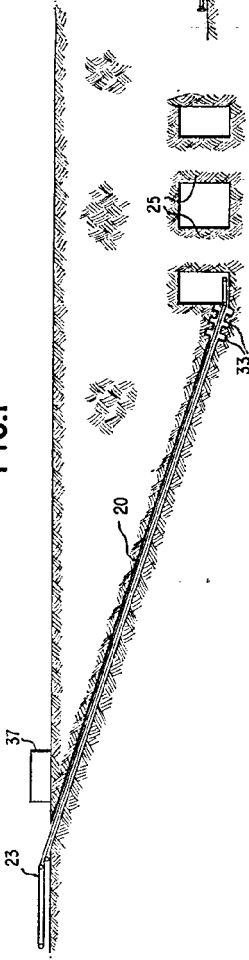


FIG. 2

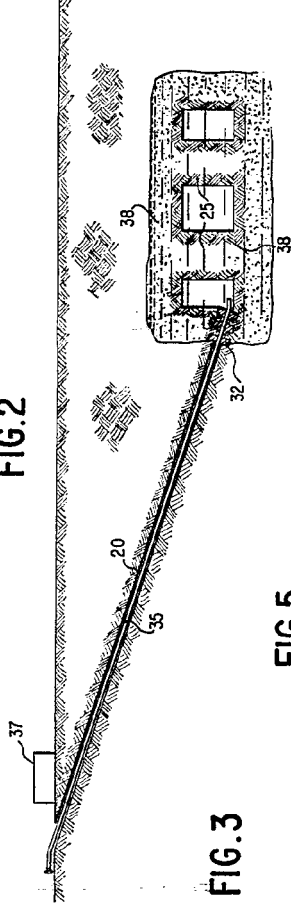


FIG. 3

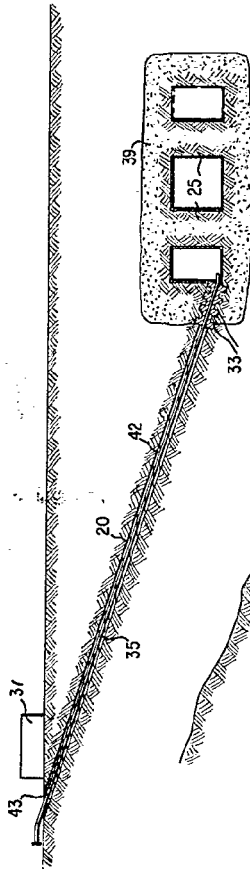


FIG. 5

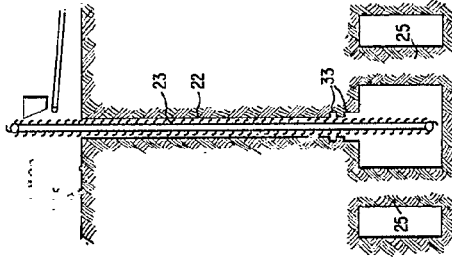
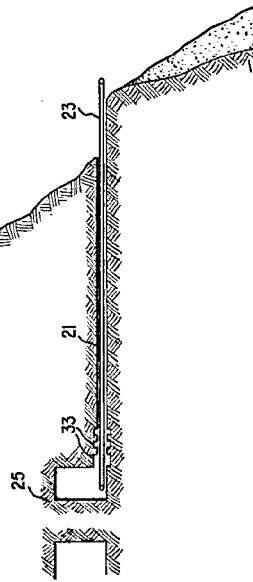


FIG. 4



Madrid, a 18 de Septiembre de 1964

WILLIAM SHERMAN & COMPANY

[Handwritten signature]

304163

FIG.1

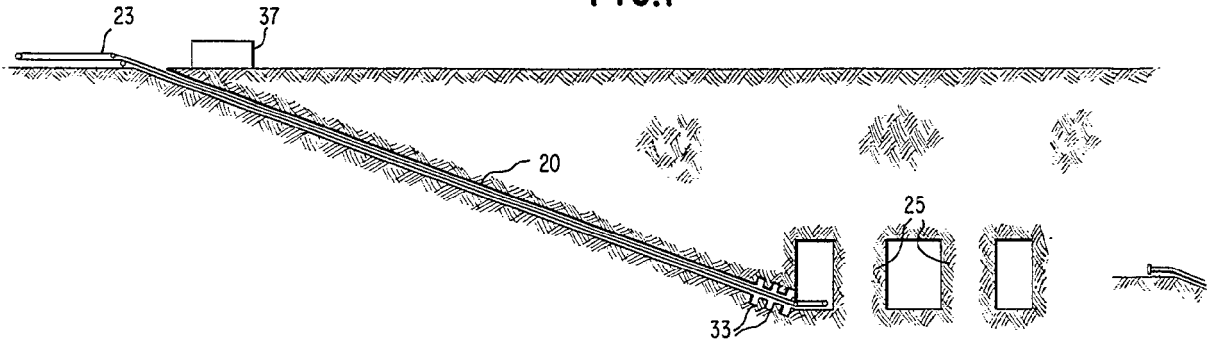


FIG. 2

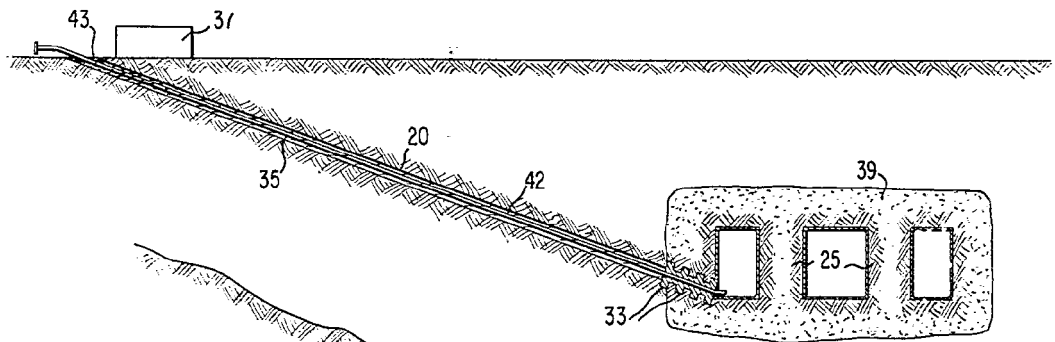
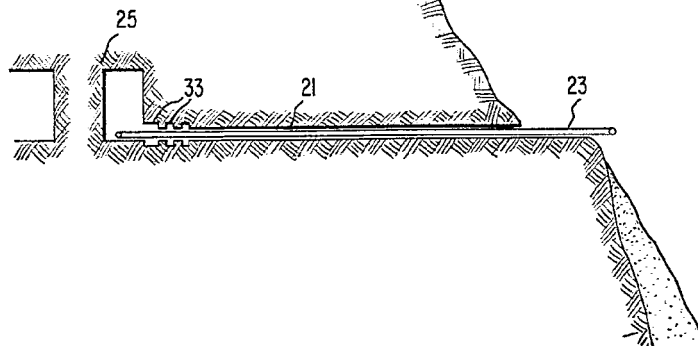


FIG.4



304163



FIG.2

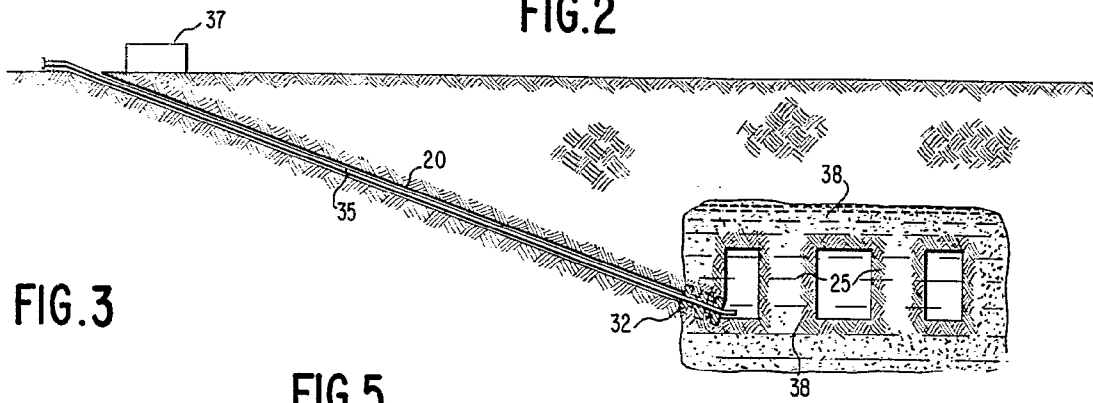
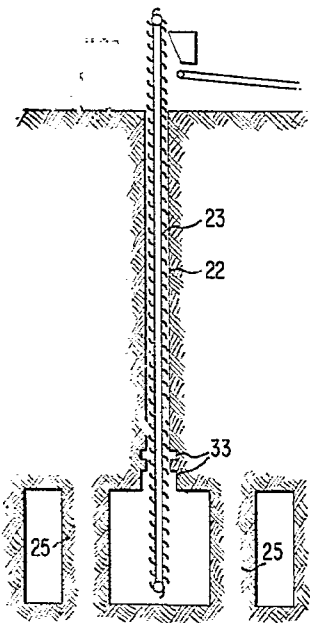


FIG.3

FIG.5



Madrid, a 18 de Septiembre de 1964

JOSE MARIA

A. E.

Escala variable

304162

304163

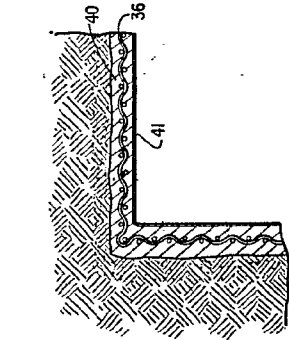
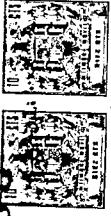


FIG. 6

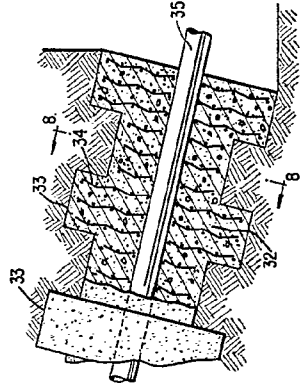


FIG. 7

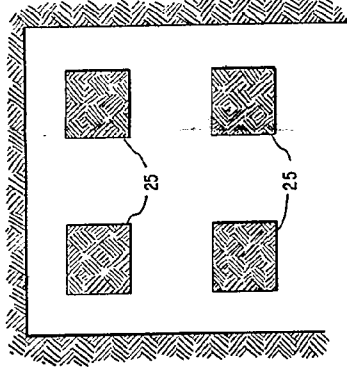


FIG. 9

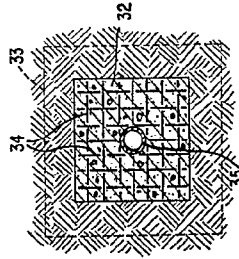


FIG. 8

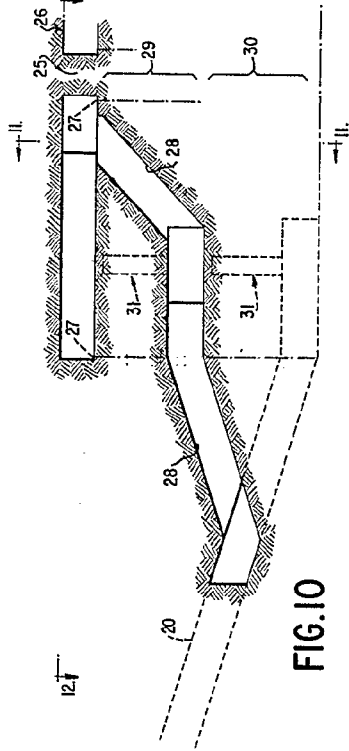


FIG. 10

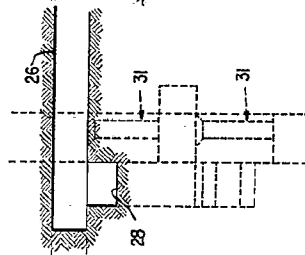


FIG. 11

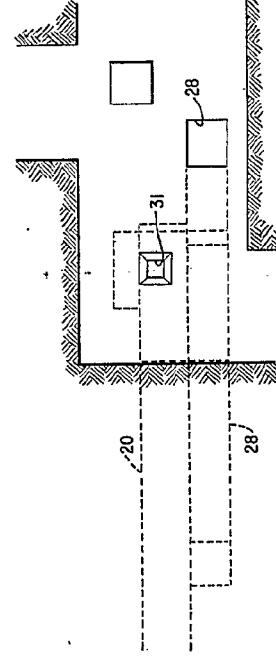


FIG. 12

MADRID, a 18 de Septiembre de 1964

[Handwritten signature]

3041611

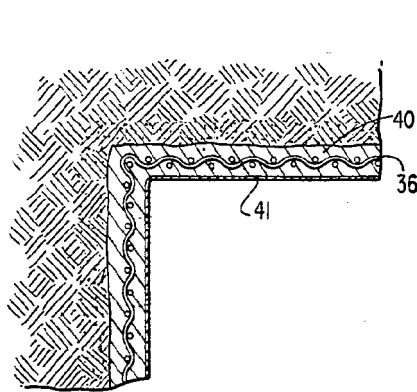


FIG. 6

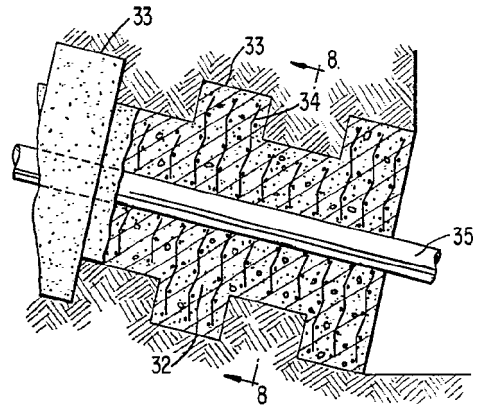


FIG. 7

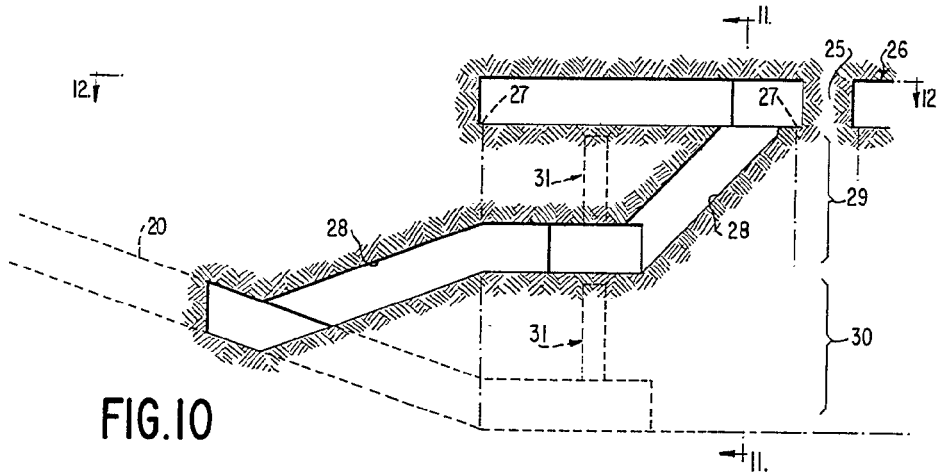


FIG. 10

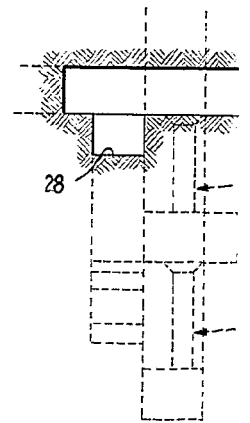


FIG. 11

304163

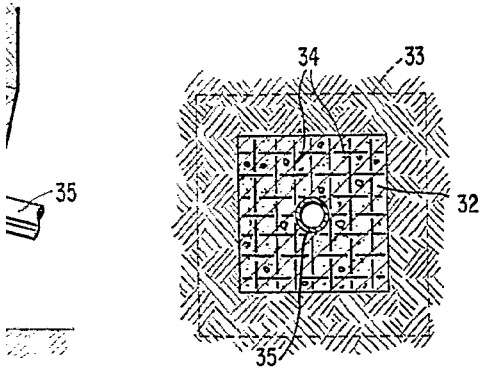


FIG. 8

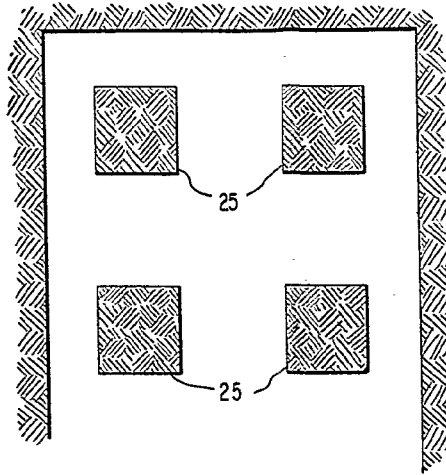


FIG. 9

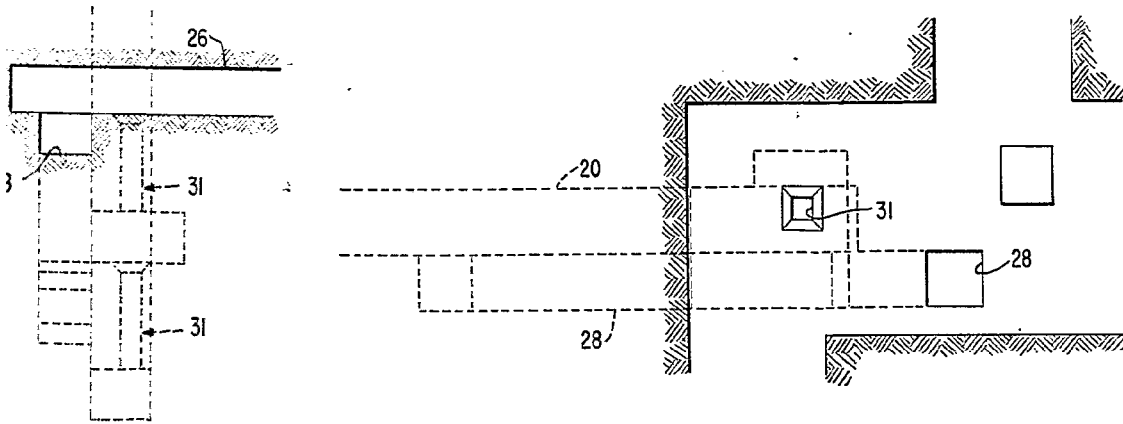


FIG. 12

FIG. II

MURIS, a 10 de Septiembre de 1901

304163

304163

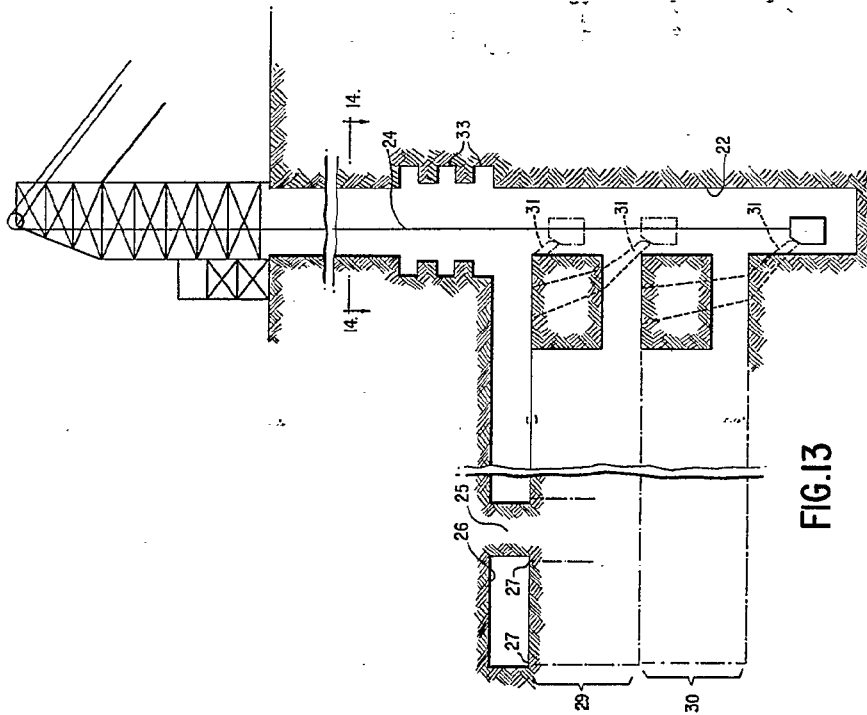


FIG. 13

FIG. 14

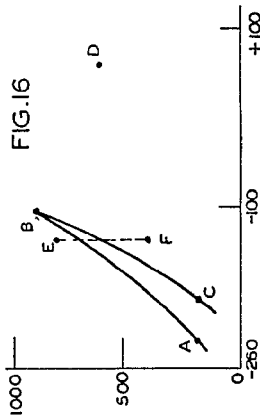
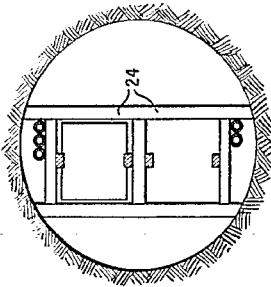


FIG. 16

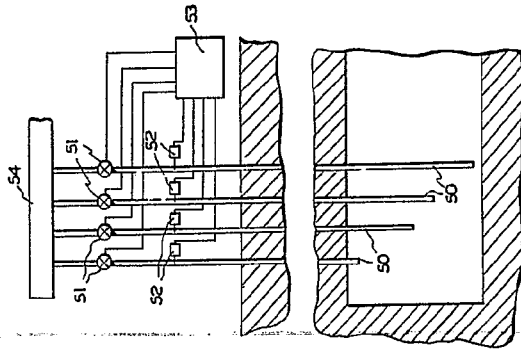


FIG. 15

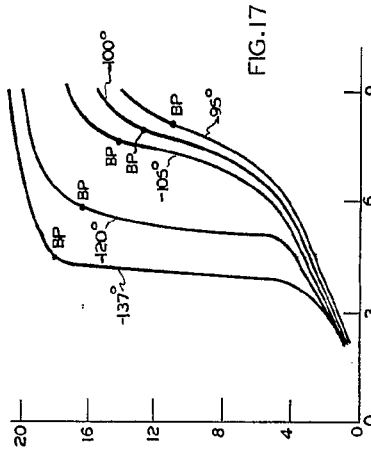
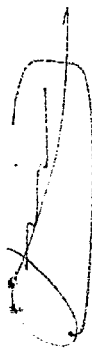


FIG. 17

Modificado el 18 de Septiembre de 1964

JAMES H. HARRIS



304163

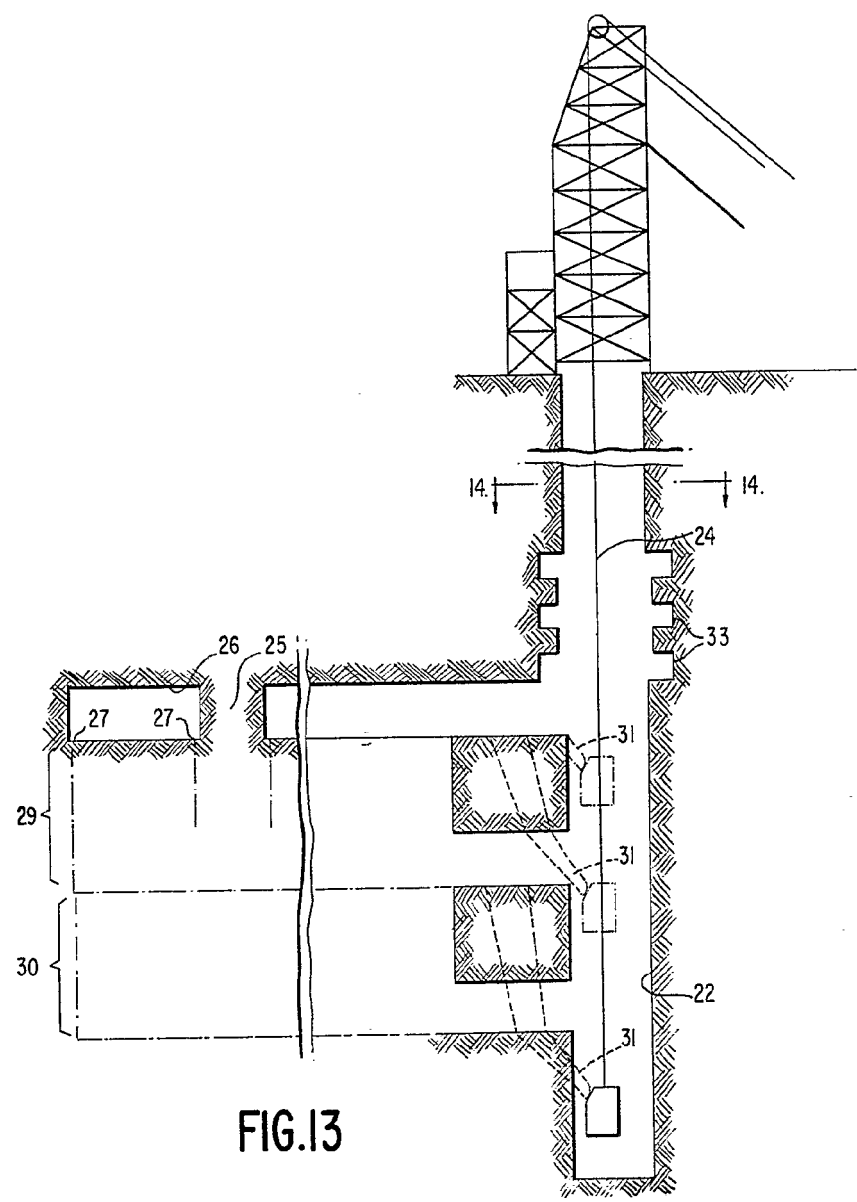


FIG. 13

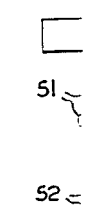
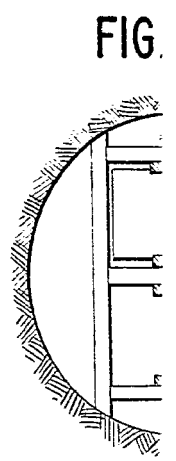
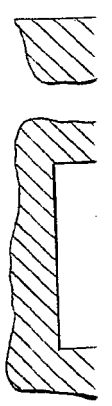
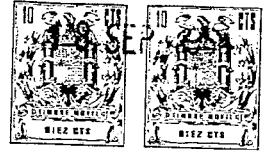


FIG. 15





304163

FIG.14

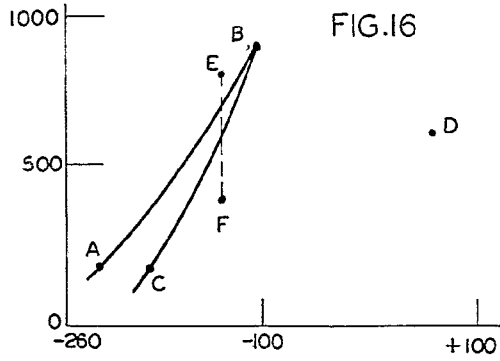
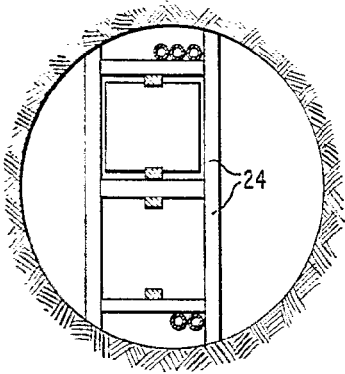
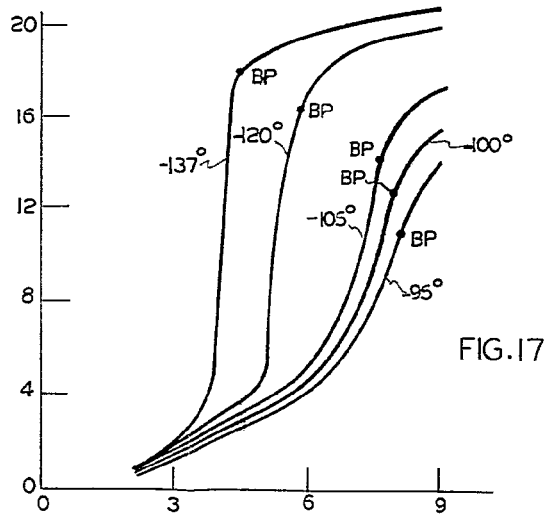
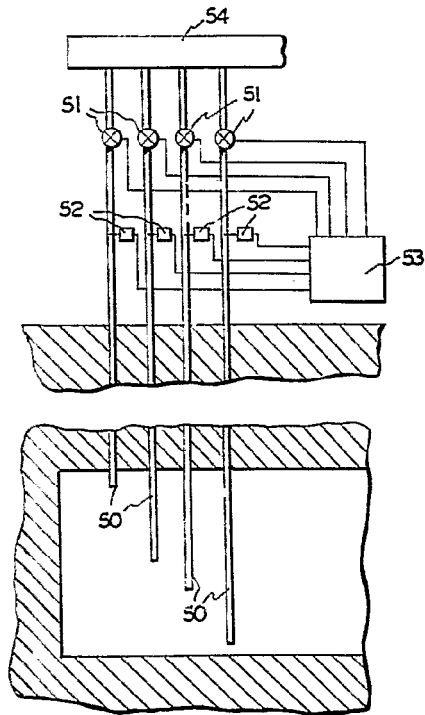


FIG.15



1933, le 19 de Septembre de 1934